



(10) **DE 11 2012 007 373 B4** 2025.06.05

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **11 2012 007 373.8**

(22) Anmeldetag: **12.12.2012**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **05.06.2025**

(51) Int Cl.: **H10K 85/00 (2023.01)**

C09K 11/06 (2006.01)

C07F 15/00 (2006.01)

H10K 50/11 (2023.01)

H10K 101/25 (2023.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:

2011-282465 23.12.2011 JP

(62) Teilung aus:

11 2012 007 343.6

(62) Teilung in:

11 2012 007 420.3

(73) Patentinhaber:

**Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.,
Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP**

(74) Vertreter:

**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB,
80802 München, DE**

(72) Erfinder:

**Inoue, Hideko, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP;
Yamaguchi, Tomoya, Atsugi-shi, Kanagawa-ken,
JP; Seo, Hiromi, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP;
Seo, Satoshi, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP;
Suzuki, Kunihiko, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP;
Kanamoto, Miki, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP**

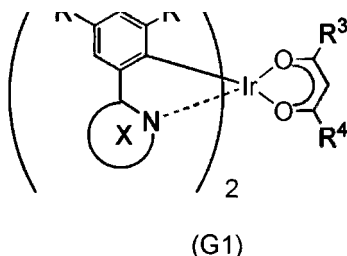
(56) Ermittelter Stand der Technik:

siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Licht emittierendes Element, elektronisches Gerät und Beleuchtungsvorrichtung**

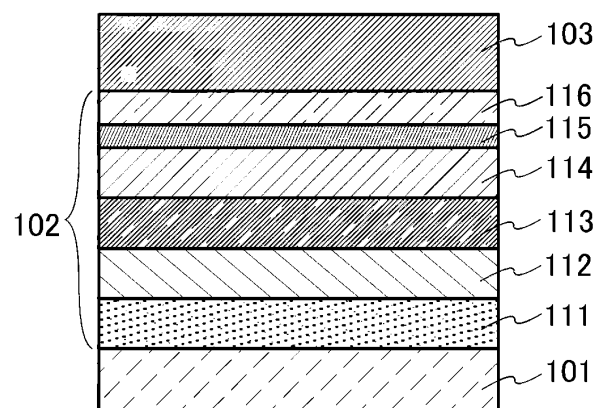
(57) Hauptanspruch: Licht emittierendes Element, umfassend:

ein Paar von Elektroden; und
eine lichtemittierende Schicht zwischen dem Paar von Elektroden, wobei die lichtemittierende Schicht umfasst:
eine erste organische Verbindung;
eine zweite organische Verbindung; und
einen metallorganischen Komplex, der durch die allgemeine Formel G1 dargestellt wird:



wobei X einen substituierten oder unsubstituierten sechsgliedrigen heteroaromatischen Ring darstellt, der zwei oder mehr Stickstoffatome enthält, die ein Stickstoffatom einschließen, das ein koordinierendes Atom ist, wobei R¹ bis R⁴ jeweils eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Koh-

lenstoffatomen darstellen, wobei die erste organische Verbindung und die zweite organische Verbindung eine Kombination sind, die einen Exciplex bildet, wobei ein T₁-Niveau der ersten organischen Verbindung höher ist als ein T₁-Niveau des metallorganischen Komplexes, wobei ein T₁-Niveau der zweiten organischen Verbindung höher ist als das ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

US **2010 / 0 123 127** **A1**

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft ein Licht emittierendes Element, ein elektronisches Gerät und eine Beleuchtungsvorrichtung, die jeweils einen metallorganischen Komplex verwenden.

Stand der Technik

[0002] Organische Verbindungen werden durch Absorption von Licht in einen angeregten Zustand versetzt. Durch diesen angeregten Zustand werden in einigen Fällen verschiedene Reaktionen (photochemische Reaktionen) bewirkt, oder in einigen Fällen wird eine Lumineszenz erzeugt. Infolgedessen haben die organischen Verbindungen zahlreiche Anwendungen.

[0003] Als Beispiel für die photochemischen Reaktionen ist eine Reaktion von Singulett-Sauerstoff mit einem ungesättigten organischen Molekül (Sauerstoffaddition) bekannt. Da der Grundzustand eines Sauerstoffmoleküls ein Triplett-Zustand ist, wird kein Sauerstoff in einem Singulett-Zustand (Singulett-Sauerstoff) durch eine direkte Photoanregung erzeugt. Jedoch wird in Anwesenheit eines anderen angeregten Triplett-Moleküls Singulett-Sauerstoff erzeugt, so dass eine Sauerstoffaddition-Reaktion bewirkt wird. In diesem Fall wird eine Verbindung, die das angeregte Triplett-Molekül bilden kann, als Photosensibilisator bezeichnet.

[0004] Wie oben beschrieben worden ist, wird zur Erzeugung von Singulett-Sauerstoff ein Photosensibilisator benötigt, der ein angeregtes Triplett-Molekül durch Photoanregung bilden kann. Jedoch ist der Grundzustand einer gewöhnlichen organischen Verbindung ein Singulett-Zustand; somit ist Photoanregung auf einen angeregten Triplett-Zustand ein verbotener Übergang und Erzeugung eines angeregten Triplett-Moleküls schwierig. Eine Verbindung, die Intersystem Crossing (intersystem crossing) vom angeregten Singulett-Zustand auf den angeregten Triplett-Zustand leicht bewirken kann (oder eine Verbindung, die den verbotenen Übergang, direkte Photoanregung, auf den angeregten Triplett-Zustand, ermöglicht), wird daher als derartiger Photosensibilisator erfordert. Mit anderen Worten: eine derartige Verbindung kann als Photosensibilisator verwendet werden und ist nützlich.

[0005] Die obige Verbindung emittiert häufig Phosphoreszenz. Phosphoreszenz bedeutet eine Lumineszenz, die beim Übergang zwischen verschiedenen Energien in Multiplizität erzeugt wird. Bei einer gewöhnlichen organischen Verbindung bedeutet Phosphoreszenz eine Lumineszenz, die beim Rückgang von dem angeregten Triplett-Zustand in den Singulett-Grundzustand erzeugt wird (im Gegensatz dazu bedeutet Fluoreszenz eine Lumineszenz, die beim Rückgang von dem angeregten Singulett-Zustand in den Singulett-Grundzustand erzeugt wird). Gebiete, in denen eine Verbindung, die Phosphoreszenz emittieren kann, d. h. eine Verbindung, die den angeregten Triplett-Zustand in Lumineszenz umwandeln kann (im Folgenden als phosphoreszierende Verbindung bezeichnet), angewendet wird, umfassen ein Licht emittierendes Element, das eine organische Verbindung als Licht emittierende Substanz enthält.

[0006] Dieses Licht emittierende Element weist eine einfache Struktur auf, bei der eine Licht emittierende Schicht, die eine organische Verbindung enthält, die eine Licht emittierende Substanz ist, zwischen Elektroden bereitgestellt ist. Dieses Licht emittierende Element hat als Flachbildschirmanzeigeelement der nächsten Generation Aufmerksamkeit erregt, weil es Eigenschaften aufweist, wie z. B. die Möglichkeit, dünner und leichter zu sein, schnelle Ansprechzeit, und Betrieb mit Gleichstrom bei niedriger Spannung. Eine Anzeigevorrichtung, die dieses Licht emittierende Element beinhaltet, hat weiterhin einen hervorragenden Kontrast und eine hervorragende Bildqualität sowie einen großen Betrachtungswinkel.

[0007] In dem Licht emittierenden Element, das eine organische Verbindung als Licht emittierende Substanz enthält, handelt es sich bei dem Lichtemissionsmechanismus um den Typ einer Ladungsträgerinjektion: eine Spannung wird zwischen Elektroden angelegt, wobei eine Licht emittierende Schicht dazwischen liegt, Elektronen und Löcher, die von den Elektroden injiziert werden, rekombinieren, so dass die Licht emittierende Substanz in einen angeregten Zustand versetzt wird, und dann wird Licht emittiert, wenn der angeregte Zustand in den Grundzustand zurückkehrt. Wie beim Fall der oben erwähnten Photoanregung umfassen die Typen des angeregten Zustandes einen angeregten Singulett-Zustand (S^*) und einen angeregten Triplett-Zustand (T^*). Das statistische Erzeugungsverhältnis davon in dem Licht emittierenden Element wird als S^* zu $T^* = 1:3$ betrachtet.

[0008] Bei Raumtemperatur zeigt eine Verbindung, die einen angeregten Singulett-Zustand in Lumineszenz umwandeln kann (im Folgenden als fluoreszierende Verbindung bezeichnet), nur Lumineszenz von dem angeregten Singulett-Zustand (Fluoreszenz) ohne Lumineszenz von dem angeregten Triplett-Zustand (Phosphoreszenz). Deshalb wird davon ausgegangen, dass die interne Quanteneffizienz (das Verhältnis der Anzahl erzeugter Photonen zu der Anzahl injizierter Ladungsträger) eines Licht emittierenden Elements, das die fluoreszierende Verbindung enthält, aufgrund S^* zu $T^* = 1:3$ eine theoretische Begrenzung auf 25 % hat.

[0009] Im Gegensatz dazu kann im Fall eines Licht emittierenden Elements, das die oben erwähnte phosphoreszierende Verbindung enthält, die interne Quanteneffizienz theoretisch auf 75 % bis 100 % erhöht werden. Mit anderen Worten: die Emissionseffizienz kann drei- bis viermal so hoch sein wie die des Licht emittierenden Elements, das eine fluoreszierende Verbindung enthält. Folglich ist in letzter Zeit das Licht emittierende Element, das eine phosphoreszierende Verbindung enthält, aktiv entwickelt worden, um ein hocheffizientes Licht emittierendes Element zu erzielen. Als phosphoreszierende Verbindung hat aufgrund seiner hohen Phosphoreszenzquanteneffizienz ein metallorganischer Komplex, der Iridium oder dergleichen als Zentralmetall aufweist, besondere Aufmerksamkeit erregt (siehe Patentedokument 1, Patentedokument 2 und Patentedokument 3). In Patentedokument 4 ist ein Licht emittierendes Element offenbart, welches einen metallorganischen Iridiumkomplex in einer Licht emittierenden Schicht verwendet.

[Referenz]

[Patentedokument]

[Patentedokument 1] JP 2007 - 137 872 A

[Patentedokument 2] JP 2008 - 069 221 A

[Patentedokument 3] WO 2008 / 035 664 A1

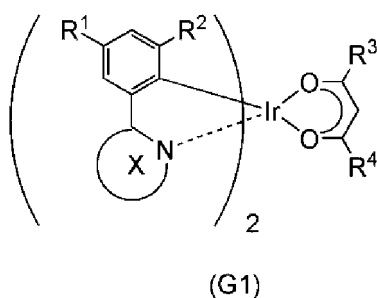
[Patentedokument 4] US 2010 / 0 123 127 A1

Offenbarung der Erfindung

[0010] Phosphoreszierende Materialien, die verschiedene Farben emittieren, sind entwickelt worden, wie in Patentedokumenten 1 bis 3 berichtet ist, aber nicht viele rote Licht emittierende Materialien, die eine hohe Farbreinheit erzielen, sind berichtet worden.

[0011] Angesichts des Obigen wird nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein Licht emittierendes Element, ein elektronisches Gerät oder eine Beleuchtungsvorrichtung mit einer hohen Emissionseffizienz bereitgestellt.

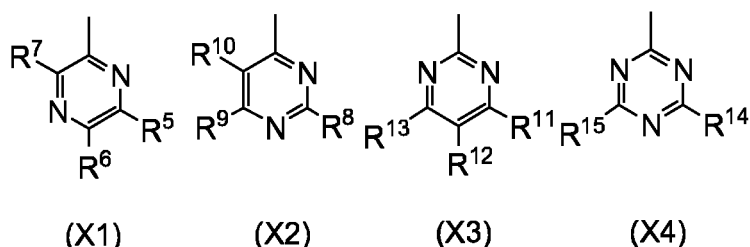
[0012] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Licht emittierendes Element, umfassend: ein Paar von Elektroden; und eine lichtemittierende Schicht zwischen dem Paar von Elektroden, wobei die lichtemittierende Schicht umfasst: eine erste organische Verbindung; eine zweite organische Verbindung; und einen metallorganischen Komplex, der eine Struktur aufweist, die durch nachfolgende allgemeine Formel (G1) dargestellt wird, wobei die erste organische Verbindung und die zweite organische Verbindung eine Kombination sind, die einen Exciplex bildet, wobei ein T1-Niveau der ersten organischen Verbindung höher ist als ein T1-Niveau des metallorganischen Komplexes, wobei ein T1-Niveau der zweiten organischen Verbindung höher ist als das T1-Niveau des organometallischen Komplexes, und wobei ein Emissionsspektrum des Exciplexes mit einem Absorptionsspektrum des organometallischen Komplexes überlappt.



[0013] In der Formel stellt X einen substituierten oder unsubstituierten sechsgliedrigen heteroaromatischen Ring dar, der zwei oder mehr Stickstoffatome aufweist, die ein Stickstoffatom einschließen, das ein koordinierendes Atom ist. Beispiele für einen Substituenten, der an X gebunden ist, umfassen eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe und eine Phenylgruppe mit einer substituierten oder unsubstituierten Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen. Außerdem stellen R¹ bis R⁴ jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar.

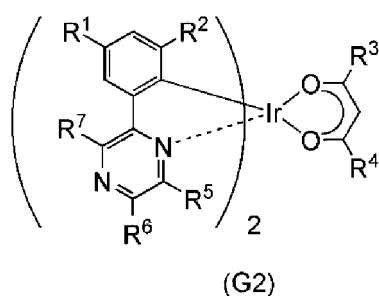
[0014] In der allgemeinen Formel (G1) stellen R¹ und R² jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar, wodurch ein Diederwinkel, der durch Kohlenstoffatome des Benzolrings, der an Iridium gebunden ist, gebildet wird, groß sein kann. Durch Vergrößerung des Diederwinkels kann ein sekundärer Peak eines Emissionsspektrums des metallorganischen Komplexes wie nachstehend theoretisch verringert werden, wodurch die Halbwertsbreite reduziert werden kann. Es sei angemerkt, dass es besonders bevorzugt ist, dass R¹ und R² jeweils eine Methylgruppe darstellen.

[0015] Bei der obigen Struktur wird vorzugsweise der substituierte oder unsubstituierte sechsgliedrige heteroaromatische Ring, der die zwei oder mehr Stickstoffatome aufweist, die das Stickstoffatom einschließen, welches das koordinierende Atom ist, durch eine der allgemeinen Formeln (X1) bis (X4) dargestellt.



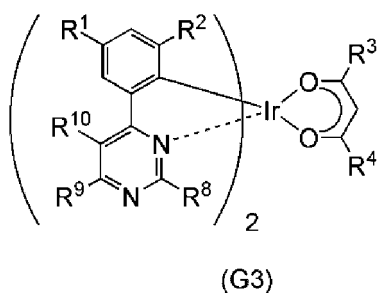
[0016] Es sei angemerkt, dass in den Formeln R⁵ bis R¹⁵ getrennt Wasserstoff, eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe darstellen. Beispiele für einen Substituenten, der an die Phenylgruppe gebunden ist, umfassen eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform des Licht emittierenden Elements der vorliegenden Erfindung wird der metallorganische Komplex durch eine allgemeine Formel (G2) dargestellt.



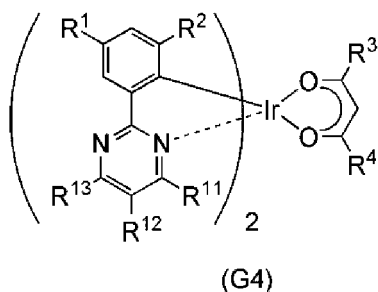
[0018] In der Formel stellen R¹ bis R⁴ jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar, und R⁵ bis R⁷ stellen getrennt eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe dar. Es sei angemerkt, dass R⁵ und R⁶ Wasserstoff darstellen können.

[0019] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der metallorganische Komplex durch eine allgemeine Formel (G3) dargestellt.



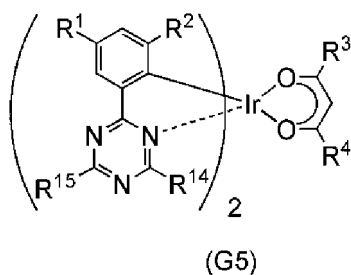
[0020] In der Formel stellen R^1 bis R^4 jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar. Ferner stellen R^8 bis R^{10} getrennt eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe dar. R^8 und R^{10} können Wasserstoff darstellen.

[0021] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der metallorganische Komplex durch eine allgemeine Formel (G4) dargestellt.



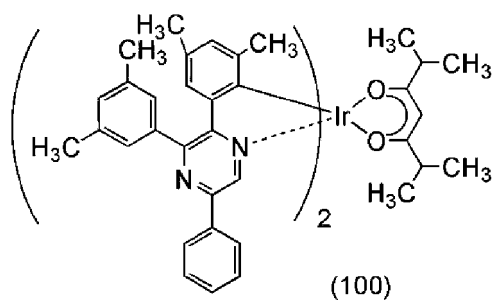
[0022] In der Formel stellen R^1 bis R^4 jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar. Ferner stellen R^{11} bis R^{13} getrennt Wasserstoff, eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe dar. R^{11} kann Wasserstoff darstellen, und es ist bevorzugt, dass R^{12} oder R^{13} Wasserstoff darstellt.

[0023] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der metallorganische Komplex durch eine allgemeine Formel (G5) dargestellt.

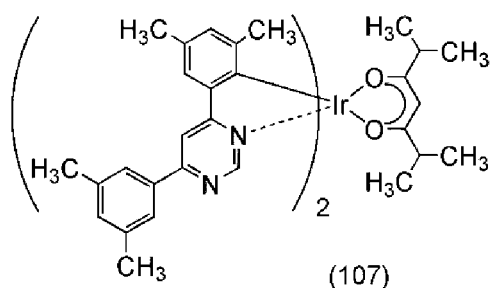


[0024] In der Formel stellen R^1 bis R^4 jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar. Ferner stellen R^{14} und R^{15} getrennt eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe dar. Es sei angemerkt, dass R^{14} und R^{15} Wasserstoff darstellen können.

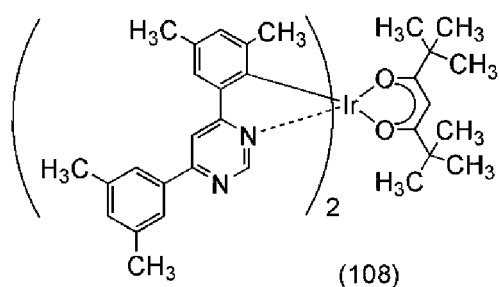
In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der metallorganische Komplex durch eine Strukturformel (100) dargestellt.



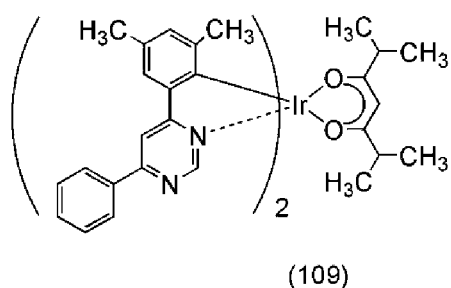
[0025] Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein metallorganischer Komplex, der durch eine Strukturformel (107) dargestellt wird.



[0026] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der metallorganische Komplex durch eine Strukturformel (108) dargestellt.

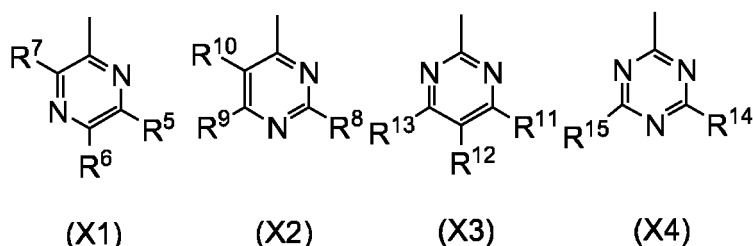


In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der metallorganische Komplex durch eine Strukturformel (109) dargestellt.



[0027] Außerdem ist der metallorganische Komplex aus dem folgenden Grund sehr wirksam: der metallorganische Komplex kann Phosphoreszenz emittieren, d. h. er kann Lumineszenz von einem angeregten Triplett-Zustand bereitstellen und kann Emission zeigen, und deshalb ist eine höhere Effizienz möglich, wenn der metallorganische Komplex für ein Licht emittierendes Element Anwendung findet.

[0028] Bei der obigen Struktur wird der substituierte oder unsubstituierte sechsgliedrige heteroaromatische Ring, der die zwei oder mehr Stickstoffatome aufweist, die das Stickstoffatom einschließen, welches das koordinierende Atom ist, vorzugsweise durch eine der allgemeinen Formeln (X1) bis (X4) dargestellt.



[0029] Es sei angemerkt, dass in den Formeln R^5 bis R^{15} getrennt Wasserstoff, eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe darstellen. Beispiele für einen Substituenten, der an die Phenylgruppe gebunden ist, umfassen eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen.

[0030] Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind ein elektronisches Gerät und eine Beleuchtungsvorrichtung, die jeweils das Licht emittierende Element beinhalten.

[0031] Es kann ein metallorganischer Komplex bereitgestellt werden, der eine hohe Emissionseffizienz aufweist und durch Verringern der Halbwertsbreite eines Emissionsspektrums eine verbesserte Farbreinheit erzielt. Ferner kann ein neuartiger metallorganischer Komplex mit einer hervorragenden Sublimationseigenschaft bereitgestellt werden. Unter Verwendung des neuartigen metallorganischen Komplexes kann ein Licht emittierendes Element, ein elektronisches Gerät oder eine Beleuchtungsvorrichtung mit einer hohen Emissionseffizienz bereitgestellt werden. Alternativ ist es möglich, ein Licht emittierendes Element, ein elektronisches Gerät oder eine Beleuchtungsvorrichtung mit niedrigem Stromverbrauch bereitzustellen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 zeigt eine Struktur eines Licht emittierenden Elements.

Fig. 2 zeigt eine Struktur eines Licht emittierenden Elements.

Fig. 3A und **Fig. 3B** zeigen Strukturen von Licht emittierenden Elementen.

Fig. 4 zeigt eine Licht emittierende Vorrichtung.

Fig. 5A und **Fig. 5B** zeigen eine Licht emittierende Vorrichtung.

Fig. 6A bis **Fig. 6D** zeigen elektronische Geräte.

Fig. 7A bis **Fig. 7C** zeigen ein elektronisches Gerät.

Fig. 8 zeigt Beleuchtungsvorrichtungen.

Fig. 9 zeigt ein ^1H -NMR-Diagramm eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (100) dargestellt wird.

Fig. 10 zeigt ein UV-VIS-Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (100) dargestellt wird.

Fig. 11 zeigt ein ^1H -NMR-Diagramm eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (107) dargestellt wird.

Fig. 12 zeigt ein UV-VIS-Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (107) dargestellt wird.

Fig. 13 zeigt ein ^1H -NMR-Diagramm eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (108) dargestellt wird.

Fig. 14 zeigt ein UV-VIS-Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (108) dargestellt wird.

Fig. 15 zeigt ein Licht emittierendes Element.

- Fig. 16** zeigt Stromdichte-Leuchtdichte-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 1.
- Fig. 17** zeigt Spannungs-Leuchtdichte-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 1.
- Fig. 18** zeigt Leuchtdichte-Stromeffizienz-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 1.
- Fig. 19** zeigt Spannungs-Strom-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 1.
- Fig. 20** zeigt ein Emissionsspektrum eines Licht emittierenden Elements 1.
- Fig. 21** zeigt die Zuverlässigkeit eines Licht emittierenden Elements 1.
- Fig. 22** zeigt die Zuverlässigkeit eines Licht emittierenden Elements 1.
- Fig. 23** zeigt Stromdichte-Leuchtdichte-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 2.
- Fig. 24** zeigt Spannungs-Leuchtdichte-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 2.
- Fig. 25** zeigt Leuchtdichte-Stromeffizienz-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 2.
- Fig. 26** zeigt Spannungs-Strom-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 2.
- Fig. 27** zeigt ein Emissionsspektrum eines Licht emittierenden Elements 2.
- Fig. 28** zeigt die Zuverlässigkeit eines Licht emittierenden Elements 2.
- Fig. 29** zeigt die Zuverlässigkeit eines Licht emittierenden Elements 2.
- Fig. 30** zeigt Stromdichte-Leuchtdichte-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 3.
- Fig. 31** zeigt Spannungs-Leuchtdichte-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 3.
- Fig. 32** zeigt Leuchtdichte-Stromeffizienz-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 3.
- Fig. 33** zeigt Spannungs-Strom-Eigenschaften eines Licht emittierenden Elements 3.
- Fig. 34** zeigt ein Emissionsspektrum eines Licht emittierenden Elements 3.
- Fig. 35** zeigt die Zuverlässigkeit eines Licht emittierenden Elements 3.
- Fig. 36** zeigt die Zuverlässigkeit eines Licht emittierenden Elements 3.
- Fig. 37** zeigt TG/DTA-Ergebnisse eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (100) dargestellt wird.
- Fig. 38** zeigt Phosphoreszenzspektren von $[\text{Ir}(\text{ppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmprr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung).
- Fig. 39** zeigt Ergebnisse eines Vergleichs eines Diederwinkels, der durch Kohlenstoffatome eines Benzolrings gebildet wird, zwischen $[\text{Ir}(\text{ppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmprr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung)
- Fig. 40** zeigt ein ^1H -NMR-Diagramm eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (121) dargestellt wird.
- Fig. 41** zeigt ein UV-VIS-Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (121) dargestellt wird.
- Fig. 42** zeigt TG/DTA-Ergebnisse eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (121) dargestellt wird.
- Fig. 43** zeigt ein ^1H -NMR-Diagramm eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (122) dargestellt wird.
- Fig. 44** zeigt ein UV-VIS-Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (122) dargestellt wird.
- Fig. 45** zeigt TG/DTA-Ergebnisse eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (122) dargestellt wird.
- Fig. 46** zeigt LC/MS-Messergebnisse eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (122) dargestellt wird.
- Fig. 47** zeigt ein ^1H -NMR-Diagramm eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (123) dargestellt wird.

Fig. 48 zeigt ein UV-VIS-Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (123) dargestellt wird.

Fig. 49 zeigt LC/MS-Messergebnisse eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (123) dargestellt wird.

Fig. 50 zeigt ein ^1H -NMR-Diagramm eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (124) dargestellt wird.

Fig. 51 zeigt ein UV-VIS-Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (124) dargestellt wird.

Fig. 52 zeigt TG/DTA-Ergebnisse eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (124) dargestellt wird.

Fig. 53 zeigt LC/MS-Messergebnisse eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (124) dargestellt wird.

Fig. 54 zeigt ein ^1H -NMR-Diagramm eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (125) dargestellt wird.

Fig. 55 zeigt ein UV-VIS-Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (125) dargestellt wird.

Fig. 56 zeigt TG/DTA-Ergebnisse eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (125) dargestellt wird.

Fig. 57 zeigt Stromdichte-Leuchtdichte-Eigenschaften von Licht emittierenden Elementen 4 bis 7.

Fig. 58 zeigt Spannungs-Leuchtdichte-Eigenschaften von Licht emittierenden Elementen 4 bis 7.

Fig. 59 zeigt Leuchtdichte-Stromeffizienz-Eigenschaften von Licht emittierenden Elementen 4 bis 7.

Fig. 60 zeigt Spannungs-Strom-Eigenschaften von Licht emittierenden Elementen 4 bis 7.

Fig. 61 zeigt Emissionsspektren von Licht emittierenden Elementen 4 bis 7.

Fig. 62 zeigt die Zuverlässigkeit von Licht emittierenden Elementen 4 bis 7.

Fig. 63 zeigt die Zuverlässigkeit von Licht emittierenden Elementen 4 bis 7.

Fig. 64 zeigt ein ^1H -NMR-Diagramm eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (126) dargestellt wird.

Fig. 65 zeigt ein ^1H -NMR-Diagramm eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (127) dargestellt wird.

Fig. 66 zeigt ein ^1H -NMR-Diagramm eines metallorganischen Komplexes, der durch die Strukturformel (106) dargestellt wird.

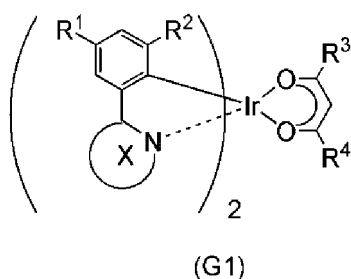
Beste Art zum Ausführen der Erfindung

[0032] Im Folgenden werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung in Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen detailliert beschrieben. [0052]

(Ausführungsform 1)

[0033] Bei dieser Ausführungsform werden metallorganische Komplexe beschrieben, die in Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung Verwendung finden.

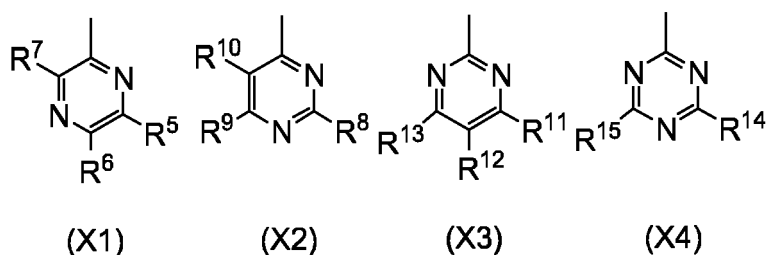
[0034] Ein metallorganischer Komplex zur Verwendung in der vorliegenden Erfindung ist ein metallorganischer Komplex, in dem ein β -Diketon und ein sechsgliedriger heteroaromatischer Ring Liganden sind, wobei der sechsgliedrige heteroaromatische Ring zwei oder mehr Stickstoffatome aufweist, die ein Stickstoffatom einschließen, das ein koordinierendes Atom ist. Es sei angemerkt, dass eine Ausführungsform eines metallorganischen Komplexes, der bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, und in dem ein β -Diketon und ein sechsgliedriger heteroaromatischer Ring Liganden sind, wobei der sechsgliedrige heteroaromatische Ring zwei oder mehr Stickstoffatome aufweist, die ein Stickstoffatom einschließen, das ein koordinierendes Atom ist, ein metallorganischer Komplex mit der Struktur ist, die durch die allgemeine Formel (G1) dargestellt wird.



[0035] In der allgemeinen Formel (G1) stellt X einen substituierten oder unsubstituierten sechsgliedrigen heteroaromatischen Ring dar, der zwei oder mehr Stickstoffatome aufweist, die ein Stickstoffatom einschließen, das ein koordinierendes Atom ist. Außerdem stellen R¹ bis R⁴ jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar.

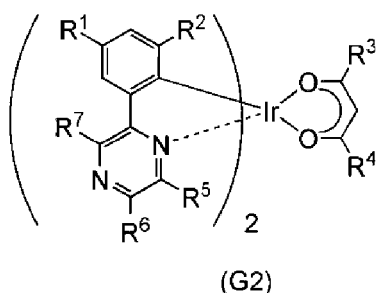
[0036] Es sei angemerkt, dass spezifische Beispiele für die substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen in R¹ bis R⁴ umfassen: eine Methylgruppe, eine Ethylgruppe, eine Propylgruppe, eine Isopropylgruppe, eine Butylgruppe, eine sek-Butylgruppe, eine Isobutylgruppe, eine tert-Butylgruppe, eine Pentylgruppe, eine Isopentylgruppe, eine sek-Pentylgruppe, eine tert-Pentylgruppe, eine Neopentylgruppe, eine Hexylgruppe, eine Isohexylgruppe, eine sek-Hexylgruppe, eine tert-Hexylgruppe, eine Neoheptylgruppe, eine 3-Methylpentylgruppe, eine 2-Methylpentylgruppe, eine 2-Ethylbutylgruppe, eine 1,2-Dimethylbutylgruppe und eine 2,3-Dimethylbutylgruppe.

[0037] Es ist bevorzugt, dass der substituierte oder unsubstituierte sechsgliedrige heteroaromatische Ring X, der die zwei oder mehr Stickstoffatome aufweist, die das Stickstoffatom einschließen, welches das koordinierende Atom ist, insbesondere durch eine der allgemeinen Formeln (X1) bis (X4) dargestellt wird.



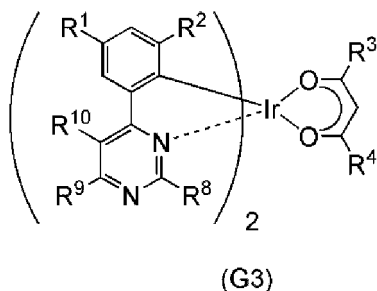
[0038] Es sei angemerkt, dass in einem metallorganischen Komplex nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zwei substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppen je mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen an die Position-2 und die Position-4 einer Phenylgruppe gebunden sind, die an sowohl metallisches Iridium als auch einen substituierten oder unsubstituierten sechsgliedrigen heteroaromatischen Ring gebunden ist, der zwei oder mehr Stickstoffatome aufweist, die ein Stickstoffatom einschließen, das ein koordinierendes Atom ist, was zu einer Verringerung der Halbwertsbreite eines erhaltenen Emissionsspektrums führt, so dass der metallorganische Komplex einen Vorteil hat, verbesserte Farbreinheit zu erzielen. Darüber hinaus hat der Ligand eine β -Diketon-Struktur, wodurch die Löslichkeit des metallorganischen Komplexes in einem organischen Lösungsmittel erhöht wird und Reinigung verstärkt wird, was bevorzugt ist. Die β -Diketon-Struktur ist vorzugsweise enthalten, um einen metallorganischen Komplex mit einer hohen Emissionseffizienz zu erzielen. Das Enthalten der β -Diketon-Struktur hat Vorteile wie z. B. eine höhere Sublimationseigenschaft und ein hervorragendes Aufdampfungsvermögen.

[0039] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der metallorganische Komplex durch die allgemeine Formel (G2) dargestellt.



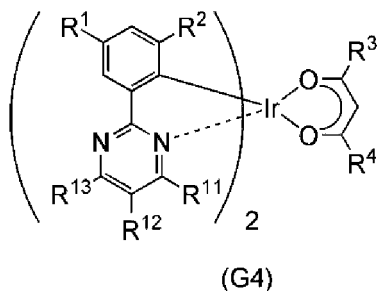
[0040] In der allgemeinen Formel (G2) stellen R¹ bis R⁴ jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar, und R⁵ bis R⁷ stellen getrennt eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe dar. Es sei angemerkt, dass R⁵ und R⁶ Wasserstoff darstellen können. Konkrete Beispiele für R¹ bis R⁷ umfassen die konkreten Beispiele für R¹ bis R⁴ in der allgemeinen Formel (G1). Ferner kann die substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe in R⁵ bis R⁷ eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen aufweisen.

[0041] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der metallorganische Komplex durch die allgemeine Formel (G3) dargestellt.



[0042] In der allgemeinen Formel (G3) stellen R¹ bis R⁴ jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar. Des Weiteren stellen R⁸ bis R¹⁰ getrennt eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe dar. Es sei angemerkt, dass R⁸ und R¹⁰ Wasserstoff darstellen können. Konkrete Beispiele für R¹ bis R⁴ und R⁸ bis R¹⁰ umfassen die konkreten Beispiele für R¹ bis R⁴ in der allgemeinen Formel (G1). Ferner kann die substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe in R⁸ bis R¹⁰ eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen aufweisen.

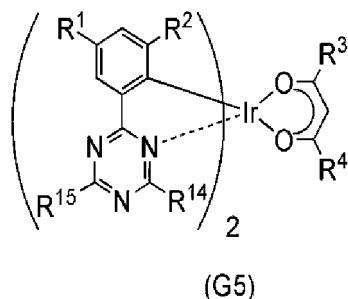
[0043] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der metallorganische Komplex durch die allgemeine Formel (G4) dargestellt.



[0044] In der allgemeinen Formel (G4) stellen R¹ bis R⁴ jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar. Des Weiteren stellen R¹¹ bis R¹³ getrennt Wasserstoff, eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe dar. Es sei angemerkt, dass R¹¹ Wasserstoff darstellen kann, und es ist bevorzugt,

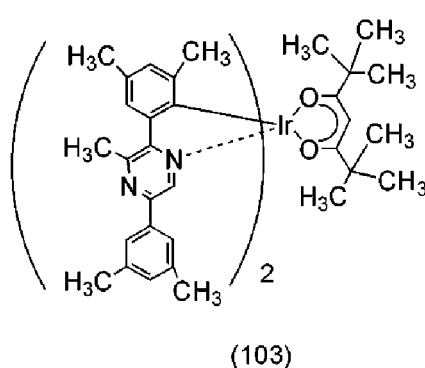
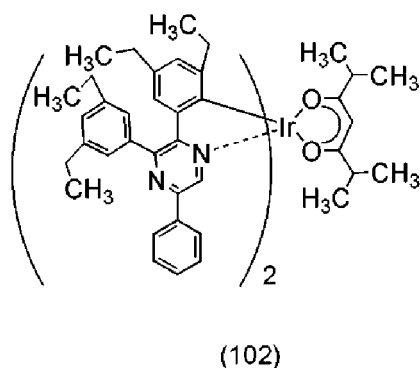
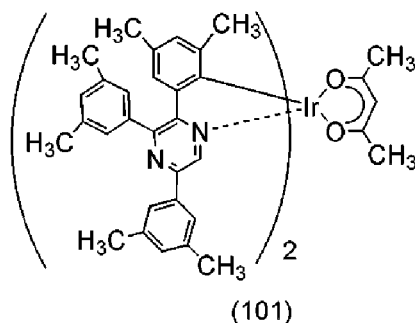
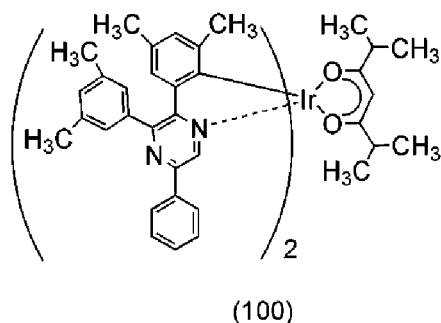
dass R^{12} oder R^{13} Wasserstoff darstellt. Konkrete Beispiele für R^1 bis R^4 und R^{11} bis R^{13} umfassen die konkreten Beispiele für R^1 bis R^4 in der allgemeinen Formel (G1). Ferner kann die substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe in R^{11} bis R^{13} eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen aufweisen.

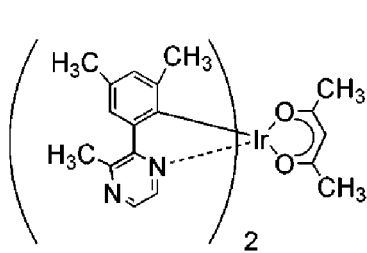
In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der metallorganische Komplex durch die allgemeine Formel (G5) dargestellt.



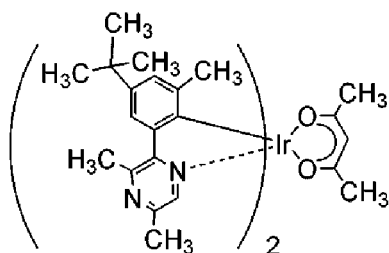
[0045] In der allgemeinen Formel (G5) stellen R^1 bis R^4 jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar. Des Weiteren stellen R^{14} und R^{15} getrennt eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe dar. Es sei angemerkt, dass R^{14} und R^{15} Wasserstoff darstellen können. Konkrete Beispiele für R^1 bis R^4 sowie R^{14} und R^{15} umfassen die konkreten Beispiele für R^1 bis R^4 in der allgemeinen Formel (G1). Ferner kann die substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe in R^{14} und R^{15} eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen aufweisen.

[0046] Im Folgenden sind spezifische Strukturformeln der zuvor beschriebenen metallorganischen Komplexe (Strukturformeln (100) bis (127)) gezeigt, die jeweils eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind.

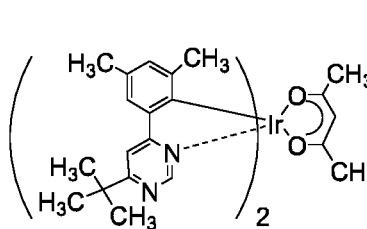




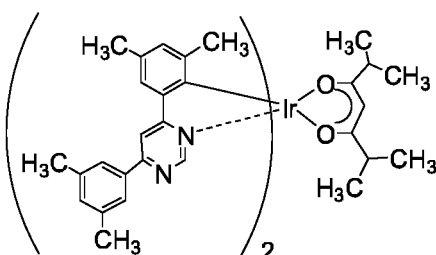
(104)



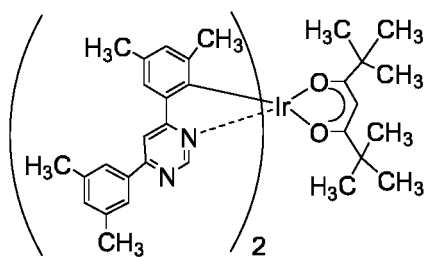
(105)



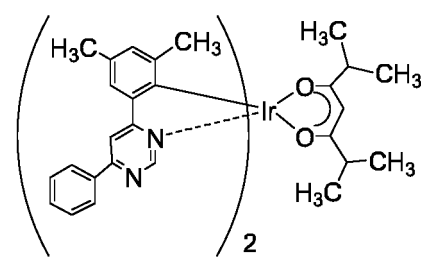
(106)



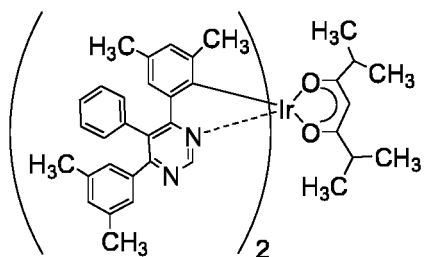
(107)



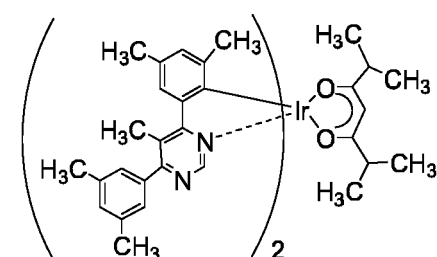
(108)



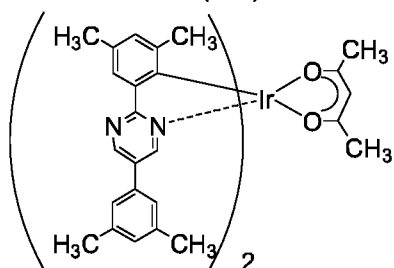
(109)



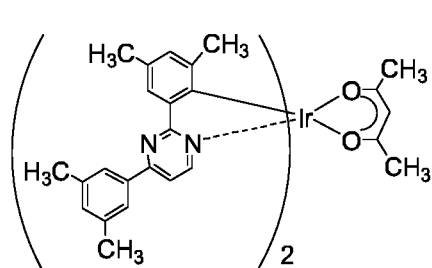
(110)



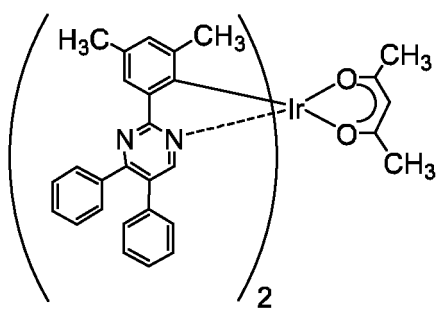
(111)



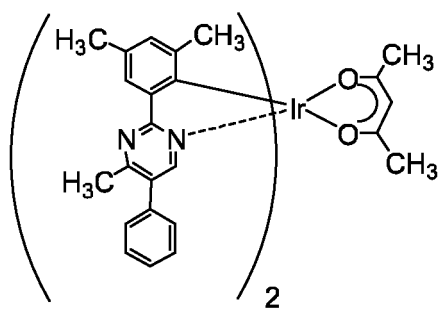
(112)



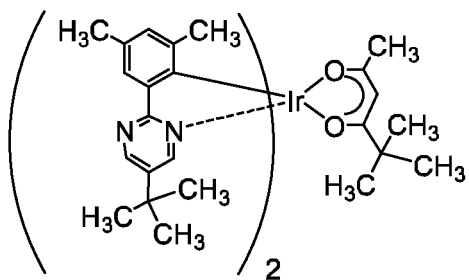
(113)



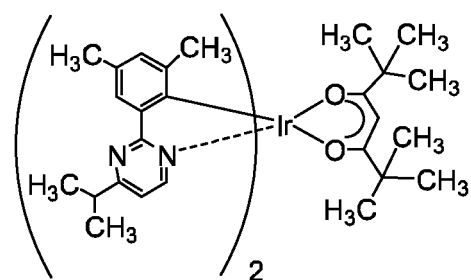
(114)



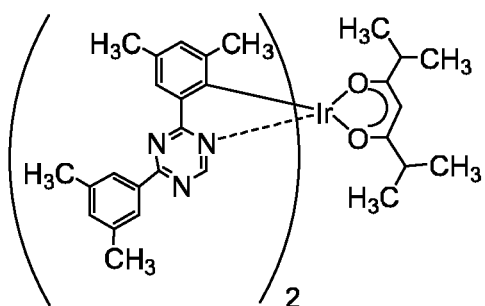
(115)



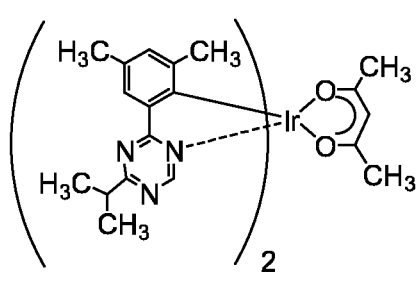
(116)



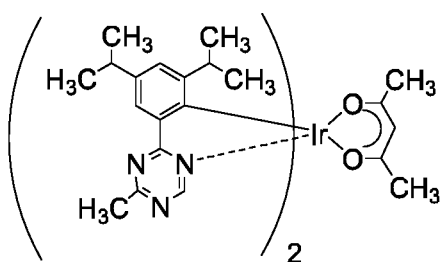
(117)



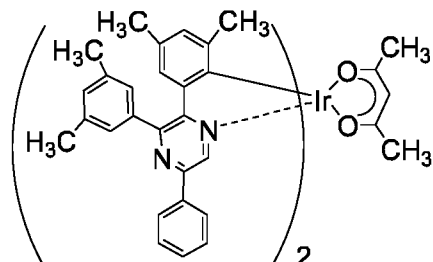
(118)



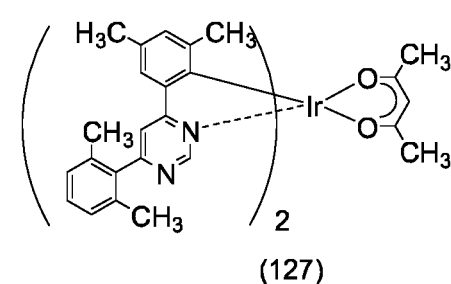
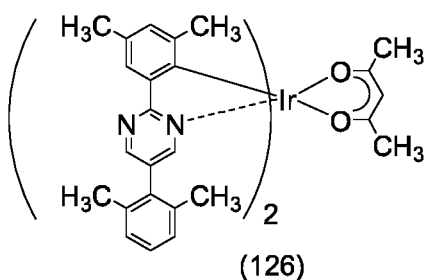
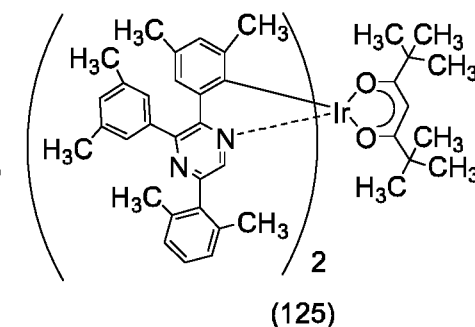
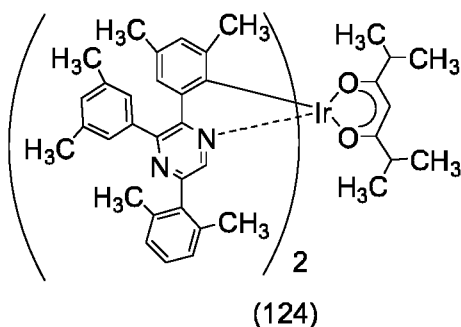
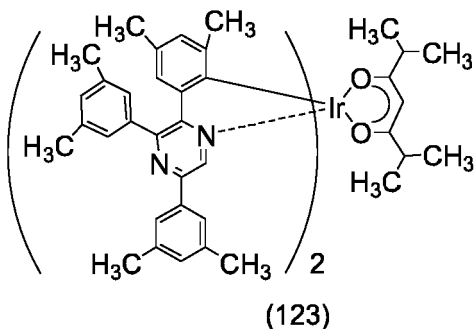
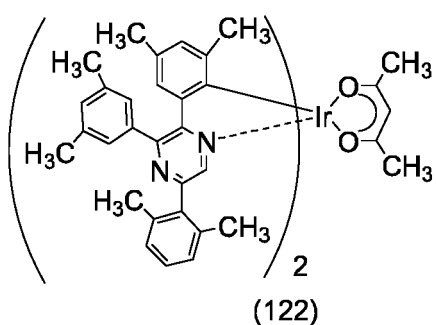
(119)



(120)



(121)

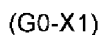


[0047] Es sei angemerkt, dass metallorganische Komplexe, die durch die Strukturformeln (100) bis (127) dargestellt werden, neuartige Substanzen sind, die Phosphoreszenz emittieren können. Es sei angemerkt, dass diese Substanzen in Form von geometrischen Isomeren und Stereoisomeren vorliegen können, was von der Art des Liganden abhängt. Der metallorganische Komplex zur Verwendung in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst alle diese Isomere.

[0048] Im Folgenden wird ein Beispiel für ein Verfahren zum Herstellen eines metallorganischen Komplexes mit der Struktur, die durch die allgemeine Formel (G1) dargestellt wird, beschrieben.

((Verfahren zum Herstellen eines sechsgliedrigen heterocyclischen Derivats, das durch eine allgemeine Formel (G0-X1) dargestellt wird))

[0049] Ein Beispiel für ein Verfahren zum Herstellen eines sechsgliedrigen heterocyclischen Derivats, das durch die allgemeine Formel (G0-X1) dargestellt wird, wird beschrieben.



[0051] Vier Syntheschemas (A1), (A2), (A3) und (A4) eines Pyrazin-Derivats, das durch die allgemeinen Formel (G0-X1) dargestellt wird, welches ein sechsgliedriges Heterocyclus ist, sind im Folgenden gezeigt.



[0053] In dem Syntheschema (A2) wird eine Boronsäure vom 3,5-disubstituierten Phenyl (a1-2) und ein Halogenid von Pyrazin (a2-2) gekoppelt, um das Derivat (G0-X1) zu gewinnen.

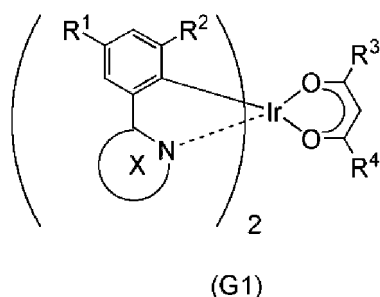
[0055] In dem Syntheschema (A4) werden ein Pyrazin vom 3,5-disubstituierten Phenyl (a1-4) und eine Lithiumverbindung oder ein Grignard-Reagenz (a2-4) umgesetzt, um das Derivat (G0-X1) zu gewinnen. Es sei angemerkt, dass in der Formel Y ein Halogenelement darstellt.

17/160

[0057] Da die Verbindungen (a1-1), (a2-1), (a1-2), (a2-2), (a1-3), (a2-3), (a1-4) und (a2-4) in den vorstehenden Schemas viele Varianten, die im Handel erhältlich sind, haben oder ihre Synthese möglich ist, kann eine große Vielfalt an Pyrazin-Derivaten als Pyrazin-Derivat, das durch die allgemeine Formel (G0-X1) dargestellt wird, hergestellt werden. Folglich ist ein Merkmal des metallorganischen Komplexes die Fülle an Ligandenvarianten.

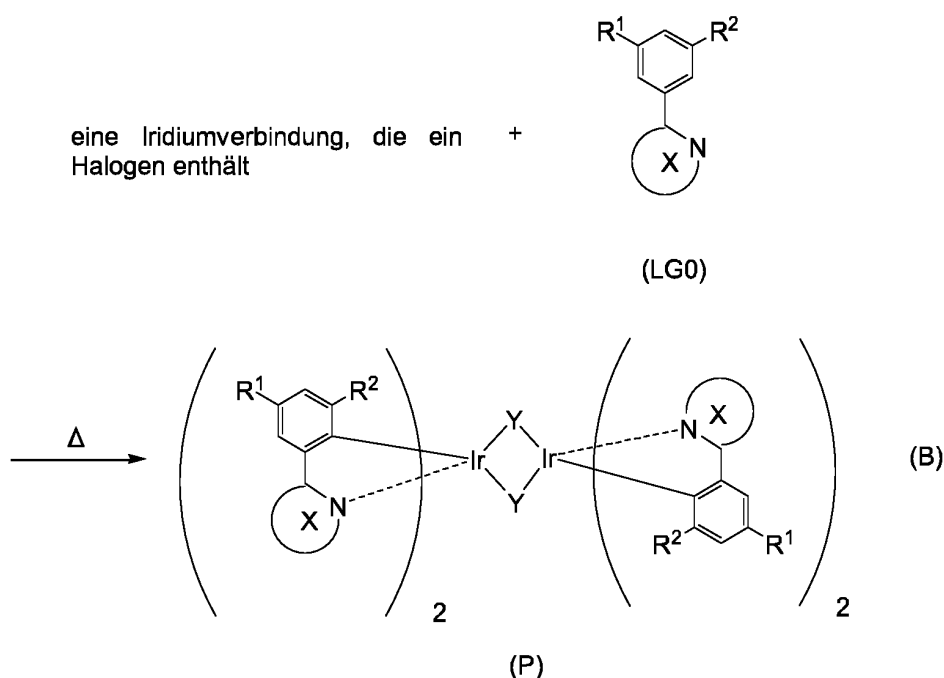
((Verfahren zum Herstellen eines metallorganischen Komplexes, der durch die allgemeine Formel (G1) dargestellt wird))

[0058] Als Nächstes wird ein Syntheseverfahren des metallorganischen Komplexes beschrieben, der durch die allgemeine Formel (G1) dargestellt wird.



[0059] Es sei angemerkt, dass in der allgemeinen Formel (G1) X einen substituierten oder unsubstituierten sechsgliedrigen heteroaromatischen Ring darstellt, der zwei oder mehr Stickstoffatome aufweist, die ein Stickstoffatom einschließen, das ein koordinierendes Atom ist. Außerdem stellen R¹ bis R⁴ jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar.

[0060] Syntheschema (B) des metallorganischen Komplexes, der durch die allgemeine Formel (G1) dargestellt wird, ist im Folgenden gezeigt.

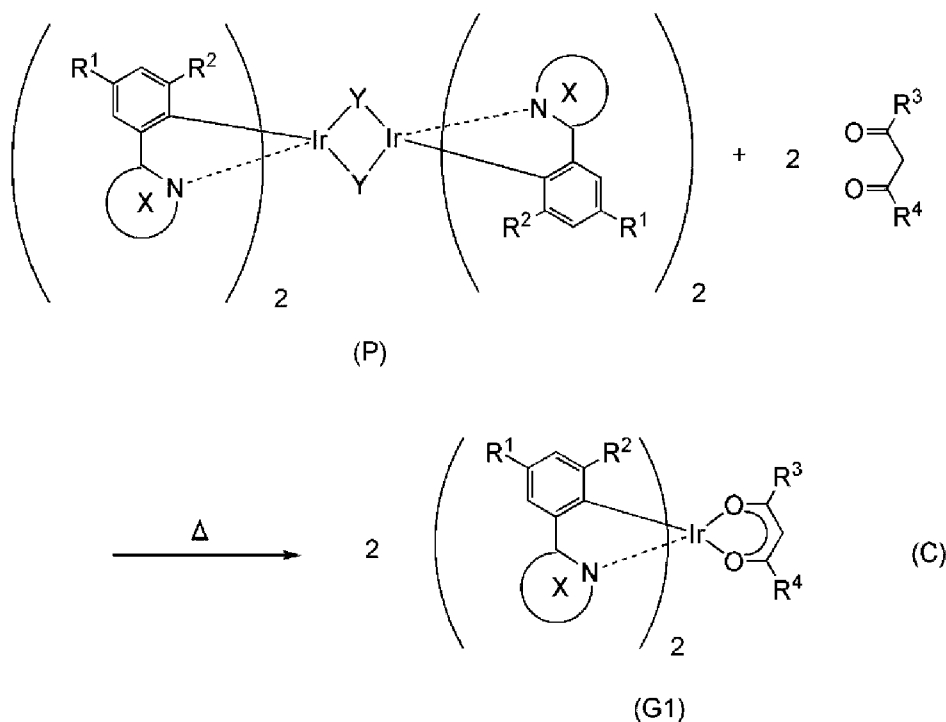


[0061] Es sei angemerkt, dass in dem Syntheschema (B) X einen substituierten oder unsubstituierten sechsgliedrigen heteroaromatischen Ring darstellt, der zwei oder mehr Stickstoffatome aufweist, die ein Stickstoffatom einschließen, das ein koordinierendes Atom ist. Außerdem stellt Y ein Halogen dar, und R¹ und R² stellen jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar.

[0062] Wie in dem Syntheschema (B) gezeigt, werden ein sechsgliedriges heterocyclisches Derivat, das durch eine allgemeine Formel (LG0) dargestellt wird, und eine Iridiumverbindung, die ein Halogen enthält (wie z. B. Iridiumchlorid, Iridiumbromid oder Iridiumiodid), in einer Inertgasatmosphäre ohne Verwendung eines Lösungsmittels, einzig unter Verwendung eines Lösungsmittels auf Alkoholbasis (z. B. Glycerin, Ethylenglycol, 2-Methoxyethanol oder 2-Ethoxyethanol) oder unter Verwendung einer Lösungsmittelmischung aus Wasser und einem oder mehreren der Lösungsmittel auf Alkoholbasis erwärmt, wodurch ein zweikerniger Komplex (P), bei dem es sich um eine Art eines metallorganischen Komplexes handelt, der eine halogenverbrückte Struktur beinhaltet, gewonnen werden kann.

[0063] Es gibt keine besondere Beschränkung in Bezug auf ein Erwärmungsmittel, und so kann ein Ölbad, ein Sandbad oder ein Aluminiumblock verwendet werden. Alternativ können Mikrowellen als Erwärmungsmittel verwendet werden.

[0064] Des Weiteren wird, wie in einem Syntheschema (C) gezeigt, der zweikernige Komplex (P), der in dem Syntheschema (B) gewonnen worden ist, mit einem β -Diketon-Derivat in einer Inertgasatmosphäre umgesetzt, wodurch ein Proton des β -Diketon-Derivats abgetrennt wird und ein monoanionisches β -Diketon-Derivat an das Zentralmetall, Iridium, koordiniert wird. Auf diese Weise kann der metallorganische Komplex, der durch die allgemeine Formel (G1) dargestellt wird, gewonnen werden.



[0065] Es sei angemerkt, dass in dem Syntheschema (C) X einen substituierten oder unsubstituierten sechsgliedrigen heteroaromatischen Ring darstellt, der zwei oder mehr Stickstoffatome aufweist, die ein Stickstoffatom einschließen, das ein koordinierendes Atom ist. Außerdem stellt Y ein Halogen dar, und R¹ bis R⁴ stellen jeweils eine substituierte oder unsubstituierte Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen dar.

[0066] Es gibt keine besondere Beschränkung in Bezug auf ein Erwärmungsmittel, und so kann ein Ölbad, ein Sandbad oder ein Aluminiumblock verwendet werden. Alternativ können Mikrowellen als Erwärmungsmittel verwendet werden.

[0067] Das Obige ist die Beschreibung des Beispiels für ein Verfahren zum Herstellen des metallorganischen Komplexes, die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und es können auch andere Syntheseverfahren angewendet werden.

[0068] Der zuvor beschriebene metallorganische Komplex kann Phosphoreszenz emittieren und kann deshalb als Licht emittierendes Material oder als Licht emittierende Substanz für ein Licht emittierendes Element verwendet werden.

[0069] Unter Verwendung des metallorganischen Komplexes kann ein Licht emittierendes Element, eine Licht emittierende Vorrichtung, ein elektronisches Gerät oder eine Beleuchtungsvorrichtung mit einer hohen Emissionseffizienz erhalten werden. Alternativ ist es möglich, ein Licht emittierendes Element, eine Licht emittierende Vorrichtung, ein elektronisches Gerät oder eine Beleuchtungsvorrichtung mit niedrigem Stromverbrauch zu erhalten.

[0070] Die Struktur bei dieser Ausführungsform kann angemessen mit einer der Strukturen der anderen Ausführungsformen kombiniert werden.

(Ausführungsform 2)

[0071] Bei der Ausführungsform 2, die eine Vergleichsausführungsform darstellt und nicht von der vorliegenden Erfindung umfasst ist, wird ein Licht emittierendes Element, in dem der metallorganische Komplex, der bei der Ausführungsform 1 beschrieben worden ist, für eine Licht emittierende Schicht verwendet wird, anhand von **Fig. 1** beschrieben.

[0072] In einem Licht emittierenden Element, das in **Fig. 1** gezeigt ist, ist eine EL-Schicht 102, die eine Licht emittierende Schicht 113 beinhaltet, zwischen einem Paar von Elektroden (einer ersten Elektrode (Anode) 101 und einer zweiten Elektrode (Kathode) 103) angeordnet, und die EL-Schicht 102 beinhaltet eine Lochinjektionsschicht 111, eine Lochtransportschicht 112, eine Elektronentransportschicht 114, eine Elektroneninjectionsschicht 115, eine Ladungserzeugungsschicht (E) 116 und dergleichen, zusätzlich zu der Licht emittierenden Schicht 113.

[0073] Wenn eine Spannung an ein derartiges Licht emittierendes Element angelegt wird, rekombinieren Löcher, die von der Seite der ersten Elektrode 101 injiziert werden, und Elektronen, die von der Seite der zweiten Elektrode 103 injiziert werden, in der Licht emittierenden Schicht 113, so dass der metallorganische Komplex in einen angeregten Zustand versetzt wird. Wenn der metallorganische Komplex vom angeregten Zustand zu dem Grundzustand zurückkehrt, dann wird Licht emittiert. Auf diese Weise dient der metallorganische Komplex als Licht emittierende Substanz in dem Licht emittierenden Element.

[0074] Die Lochinjektionsschicht 111, die in der EL-Schicht 102 enthalten ist, ist eine Schicht, die eine Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft und eine Akzeptorsubstanz enthält. Wenn durch die Akzeptorsubstanz Elektronen aus der Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft extrahiert werden, werden Löcher erzeugt. Auf diese Weise werden Löcher von der Lochinjektionsschicht 111 über die Lochtransportschicht 112 in die Licht emittierende Schicht 113 injiziert.

[0075] Die Ladungserzeugungsschicht (E) 116 ist eine Schicht, die eine Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft und eine Akzeptorsubstanz enthält. Durch die Akzeptorsubstanz werden Elektronen aus der Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft extrahiert, und die extrahierten Elektronen werden von der Elektroneninjectionsschicht 115 mit einer Elektroneninjectionseigenschaft über die Elektronentransportschicht 114 in die Licht emittierende Schicht 113 injiziert.

[0076] Ein spezifisches Beispiel, in dem das Licht emittierende Element hergestellt wird, wird beschrieben.

[0077] Für die erste Elektrode (Anode) 101 und die zweite Elektrode (Kathode) 103 können ein Metall, eine Legierung, eine elektrisch leitende Verbindung, eine Mischung davon, und dergleichen verwendet werden. Insbesondere können Indiumoxid-Zinnoxid (Indiumzinnoxid; indium tin oxide (ITO)), Indiumoxid-Zinnoxid, das Silizium oder Siliziumoxid enthält, Indiumoxid-Zinkoxid (Indiumzinkoxid), Indiumoxid, das Wolframoxid und Zinkoxid enthält, Gold (Au), Platin (Pt), Nickel (Ni), Wolfram (W), Chrom (Cr), Molybdän (Mo), Eisen (Fe), Kobalt (Co), Kupfer (Cu), Palladium (Pd) und Titan (Ti) verwendet werden. Weiterhin können ein Element, das zur Gruppe 1 oder Gruppe 2 des Periodensystems gehört, so beispielsweise ein Alkalimetall wie z. B. Lithium (Li) oder Cäsium (Cs), ein Erdalkalimetall wie z. B. Calcium (Ca) oder Strontium (Sr), Magnesium (Mg), eine Legierung, die ein solches Element enthält (MgAg, AlLi), ein Seltenerdmetall wie z. B. Europium (Eu) oder Ytterbium (Yb), eine Legierung, die ein solches Element enthält, Graphen, und dergleichen verwendet werden. Die erste Elektrode (Anode) 101 und die zweite Elektrode (Kathode) 103 können zum Beispiel unter Verwendung eines Sputterverfahrens, eines Aufdampfverfahrens (einschließlich eines Vakuumaufdampfverfahrens) oder dergleichen hergestellt werden.

[0078] Als Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft, die für die Lochinjektionsschicht 111, die Lochtransportschicht 112 und die Ladungserzeugungsschicht (E) 116 verwendet wird, können beispielsweise

das Folgende angegeben werden: aromatische Aminverbindungen, wie z. B. 4,4'-Bis[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: NPB oder α -NPD), N,N'-Bis(3-methylphenyl)-N,N'-diphenyl-[1,1'-biphenyl]-4,4'-diamin (Abkürzung: TPD), 4,4',4''-Tris(carbazol-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: TCTA), 4,4',4''-Tris(N,N-diphenylamino)triphenylamin (Abkürzung: TDATA), 4,4',4''-Tris[N-(3-methylphenyl)-N-phenylamino]triphenylamin (Abkürzung: MTDATA) und 4,4'-Bis[N-(spiro-9,9'-bifluoren-2-yl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: BSPB); 3-[N-(9-Phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA1); 3,6-Bis[N-(9-phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA2); 3-[N-(1-Naphthyl)-N-(9-phenylcarbazol-3-yl)amino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCN1); und dergleichen. Weiterhin können die folgenden Carbazol-Derivate und dergleichen verwendet werden: 4,4'-Di(N-carbazolyl)biphenyl (Abkürzung: CBP), 1,3,5-Tris[4-(N-carbazolyl)phenyl]benzol (Abkürzung: TCPB) und 9-[4-(10-Phenyl-9-anthracenyl)phenyl]-9H-carbazol (Abkürzung: CzPA). Die hier genannten Substanzen sind hauptsächlich solche mit einer Löcherbeweglichkeit von 10^{-6} cm²/Vs oder höher. Es sei angemerkt, dass jede Substanz außer den obigen Substanzen verwendet werden kann, sofern die Lochtransporteigenschaft höher ist als die Elektronentransporteigenschaft.

[0079] Eine hochmolekulare Verbindung, wie z. B. Poly(N-vinylcarbazol) (Abkürzung: PVK), Poly(4-vinyltriphenylamin) (Abkürzung: PVTPA), Poly[N-(4-[N'-(4-(4-diphenylamino)phenyl)phenyl-N'-phenylamino]phenyl) methacrylamid] (Abkürzung: PTPDMA) oder Poly[N,N'-bis(4-butylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidin] (Abkürzung: Poly-TPD), kann auch verwendet werden.

[0080] Als Beispiele für die Akzeptorsubstanz, die für die Lochinjektionsschicht 111 und die Ladungserzeugungsschicht (E) 116 verwendet wird, kann ein Oxid eines Übergangsmetalls oder ein Oxid eines Metalls, das zu einer der Gruppe 4 bis Gruppe 8 des Periodensystems gehört, angegeben werden. Konkret gesprochen, wird Molybdänoxid besonders bevorzugt.

[0081] Die Licht emittierende Schicht 113 enthält den metallorganischen Komplex, der bei der Ausführungsform 1 beschrieben worden ist, als Gastmaterial, das als Licht emittierende Substanz dient, und eine Substanz als Wirtsmaterial, die eine höhere Triplettanregungsenergie hat als dieser metallorganische Komplex.

[0082] Bevorzugte Beispiele für die Substanz (d. h. Wirtsmaterial), die zum Dispergieren jedes der zuvor genannten metallorganischen Komplexe verwendet wird, umfassen: jede der Verbindungen mit einem Arylamin-Gerüst, wie z. B. 2,3-Bis(4-diphenylaminophenyl)chinoxalin (Abkürzung: TPAQn) und NPB, Carbazol-Derivate wie z. B. CBP und 4,4',4''-Tris(carbazol-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: TCTA) und Metallkomplexe wie z. B. Bis[2-(2-hydroxyphenyl)pyridinato]zink (Abkürzung: Znpp₂), Bis[2-(2-hydroxyphenyl)benzoxazolato]zink (Abkürzung: Zn(BOX)₂), Bis(2-methyl-8-chinolinolato)(4-phenylphenolato)aluminium (Abkürzung: BAlq), und Tris(8-chinolinolato)aluminium (Abkürzung: Alq₃). Alternativ kann eine hochmolekulare Verbindung wie z. B. PVK verwendet werden.

[0083] Es sei angemerkt, dass dann, wenn die Licht emittierende Schicht 113 den zuvor beschriebenen metallorganischen Komplex (Gastmaterial) und das Wirtsmaterial enthält, Phosphoreszenz mit einer hohen Effizienz von der Licht emittierenden Schicht 113 emittiert werden kann.

[0084] Die Elektronentransportschicht 114 ist eine Schicht, die eine Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft enthält. Für die Elektronentransportschicht 114 können Metallkomplexe, wie z. B. Alq₃, Tris(4-methyl-8-chinolinolato)aluminium (Abkürzung: Almq₃), Bis(10-hydroxybenzo[h]chinolinato)beryllium (Abkürzung: BeBq₂), BAlq, Zn(BOX)₂ oder Bis[2-(2-hydroxyphenyl)benzothiazolato]zink (Abkürzung: Zn(BTZ)₂), verwendet werden. Alternativ kann eine heteroaromatische Verbindung wie z. B. 2-(4-Biphenyl)-5-(4-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazol (Abkürzung: PBD), 1,3-Bis[5-(p-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazol-2-yl]benzol (Abkürzung: OXD-7), 3-(4-tert-Butylphenyl)-4-phenyl-5-(4-biphenyl)-1,2,4-triazol (Abkürzung: TAZ), 3-(4-tert-Butylphenyl)-4-(4-ethylphenyl)-5-(4-biphenyl)-1,2,4-triazol (Abkürzung: p-EtTAZ), Bathophenanthrolin (Abkürzung: BPhen), Bathocuproin (Abkürzung: BCP) oder 4,4'-Bis(5-methylbenzoxazol-2-yl)stilben (Abkürzung: BzOs) verwendet werden. Alternativ kann eine hochmolekulare Verbindung wie z. B. Poly(2,5-pyridindiy) (Abkürzung: PPy), Poly[(9,9-dihexylfluoren-2,7-diyl)-co-(pyridin-3,5-diyl)] (Abkürzung: PF-Py) oder Poly[(9,9-dioctylfluoren-2,7-diyl)-co-(2,2'-bipyridin-6,6'-diyl)] (Abkürzung: PF-BPy) verwendet werden. Die hier genannten Substanzen sind hauptsächlich solche mit einer Elektronenbeweglichkeit von 10^{-6} cm²/Vs oder höher. Es sei angemerkt, dass jede andere Substanz als die vorstehenden Substanzen für die Elektronentransportschicht 114 verwendet werden kann, solange die Elektronentransporteigenschaft höher ist als die Lochtransporteigenschaft.

[0085] Des Weiteren ist die Elektronentransportschicht 114 nicht auf eine einzelne Schicht beschränkt und eine gestapelte Schicht kann verwendet werden, in der zwei oder mehr Schichten, welche eine der zuvor beschriebenen Substanzen enthalten, gestapelt sind.

[0086] Die Elektroneninjectionsschicht 115 ist eine Schicht, die eine Substanz mit einer hohen Elektroneninjectionseigenschaft enthält. Für die Elektroneninjectionsschicht 115 kann ein Alkalimetall, ein Erdalkalimetall oder eine Verbindung davon, wie z. B. Lithiumfluorid (LiF), Cäsiumfluorid (CsF), Calciumfluorid (CaF₂) oder Lithiumoxid (LiOx), verwendet werden. Alternativ kann auch eine Seltenerdmetallverbindung, wie z. B. Erbiumfluorid (ErF₃), verwendet werden. Alternativ können die vorstehenden Substanzen zum Ausbilden der Elektronentransportschicht 114 verwendet werden.

[0087] Alternativ kann ein Verbundmaterial, in dem eine organische Verbindung und ein Elektronendonator (Donator) gemischt sind, für die Elektroneninjectionsschicht 115 verwendet werden. Ein solches Verbundmaterial hat eine hervorragende Elektroneninjectionseigenschaft und eine hervorragende Elektronentransporteigenschaft, weil durch den Elektronendonator Elektronen in der organischen Verbindung erzeugt werden. In diesem Fall ist die organische Verbindung bevorzugt ein Material, das die erzeugten Elektronen gut transportieren kann. Beispielsweise können insbesondere die vorstehenden Substanzen zum Ausbilden der Elektronentransportschicht 114 (wie z. B. ein Metallkomplex und eine heteroaromatische Verbindung) verwendet werden. Als Elektronendonator kann eine Substanz verwendet werden, die bezüglich der organischen Verbindung eine elektronenliefernde Eigenschaft hat. Insbesondere werden ein Alkalimetall, ein Erdalkalimetall und ein Seltenerdmetall bevorzugt, und es können Lithium, Cäsium, Magnesium, Calcium, Erbium, Ytterbium und dergleichen angegeben werden. Des Weiteren kann ein Alkalimetalloxid oder ein Erdalkalimetalloxid, wie z. B. Lithiumoxid, Calciumoxid, Bariumoxid und dergleichen, angegeben werden. Eine Lewis-Base wie z. B. Magnesiumoxid kann alternativ verwendet werden. Eine organische Verbindung wie z. B. Tetrathiafulvalen (Abkürzung: TTF) kann alternativ verwendet werden.

[0088] Es sei angemerkt, dass die oben beschriebene Lochinjectionsschicht 111, Lochtransportschicht 112, Licht emittierende Schicht 113, Elektronentransportschicht 114, Elektroneninjectionsschicht 115 und Ladungserzeugungsschicht (E) 116 jeweils durch ein Verfahren, wie z. B. ein Aufdampfverfahren (z. B. ein Vakuumaufdampfverfahren), ein Tintenstrahlverfahren oder ein Beschichtungsverfahren ausgebildet werden können.

[0089] In dem zuvor beschriebenen Licht emittierenden Element fließt in Folge einer Potentialdifferenz zwischen der ersten Elektrode 101 und der zweiten Elektrode 103 ein Strom, und Löcher und Elektronen rekombinieren in der EL-Schicht 102, wobei Licht emittiert wird. Dann wird das emittierte Licht durch die erste Elektrode 101 und/oder durch die zweite Elektrode 103 nach außen entnommen. Deshalb müssen/muss die erste Elektrode 101 und/oder die zweite Elektrode 103 eine Elektrode sein, die lichtdurchlässig ist.

[0090] Das zuvor beschriebene Licht emittierende Element kann Phosphoreszenz emittieren, die von dem metallorganischen Komplex abgeleitet ist, und kann somit eine höhere Effizienz aufweisen als ein Licht emittierendes Element, das eine fluoreszierende Verbindung enthält.

[0091] Es sei angemerkt, dass das Licht emittierende Element ein Beispiel für ein Licht emittierendes Element ist, das unter Verwendung des vorstehend beschriebenen metallorganischen Komplexes hergestellt wird. Außerdem können als Licht emittierende Vorrichtung, die das zuvor beschriebene Licht emittierende Element beinhaltet, eine Licht emittierende passiv-Matrix-Vorrichtung und eine Licht emittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung hergestellt werden. Es ist auch möglich, eine Licht emittierende Vorrichtung mit einer Mikro-hohlraum- (microcavity-) Struktur herzustellen, die ein Licht emittierendes Element beinhaltet, das von den zuvor beschriebenen Licht emittierenden Elementen unterschiedlich ist, welches bei einer anderen Ausführungsform beschrieben wird. Jede der zuvor beschriebenen Licht emittierenden Vorrichtungen ist in der vorliegenden Erfindung eingeschlossen.

[0092] Es sei angemerkt, dass beim Herstellen der Licht emittierenden aktiv-Matrix-Vorrichtung keine besondere Beschränkung bezüglich der Struktur des TFT besteht. Es kann zum Beispiel angemessen ein staggered TFT oder ein inverted staggered TFT verwendet werden. Des Weiteren kann eine über einem TFT-Substrat ausgebildete Treiberschaltung unter Verwendung eines n-Typ-TFT und/oder eines p-Typ-TFT ausgebildet werden. Des Weiteren besteht keine besondere Beschränkung bezüglich der Kristallinität eines Halbleiterfilms, der für den TFT verwendet wird. Beispielsweise kann ein amorpher Halbleiterfilm, ein kristalliner Halbleiterfilm, ein Oxidhalbleiterfilm oder dergleichen verwendet werden.

[0093] Es sei angemerkt, dass die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden kann.

(Ausführungsform 3)

[0094] Bei dieser Ausführungsform, die eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, wird ein Licht emittierendes Element beschrieben, in dem zwei oder mehr Arten von organischen Verbindungen sowie ein metallorganischer Komplex für eine Licht emittierende Schicht verwendet werden.

[0095] Ein Licht emittierendes Element, das bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, beinhaltet eine EL-Schicht 203 zwischen einem Paar von Elektroden (einer Anode 201 und einer Kathode 202), wie in Fig. 2 gezeigt. Es sei angemerkt, dass die EL-Schicht 203 mindestens eine Licht emittierende Schicht 204 beinhaltet und eine Lochinjektionsschicht, eine Lochtransportschicht, eine Elektronentransportschicht, eine Elektroneninjectionsschicht, eine Ladungserzeugungsschicht (E) und dergleichen beinhalten kann. Es sei angemerkt, dass für die Lochinjektionsschicht, die Lochtransportschicht, die Elektronentransportschicht, die Elektroneninjectionsschicht und die Ladungserzeugungsschicht (E) die Substanzen verwendet werden können, die bei der Ausführungsform 2 beschrieben worden sind.

[0096] Die Licht emittierende Schicht 204, die bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, enthält eine phosphoreszierende Verbindung 205, die den metallorganischen Komplex verwendet, der bei der Ausführungsform 1 beschrieben worden ist, eine erste organische Verbindung 206 und eine zweite organische Verbindung 207. Es sei angemerkt, dass die phosphoreszierende Verbindung 205 ein Gastmaterial in der Licht emittierenden Schicht 204 ist. Eine der ersten organischen Verbindung 206 und der zweiten organischen Verbindung 207, deren Gehalt höher ist als derjenige der anderen in der Licht emittierenden Schicht 204, ist zudem ein Wirtsmaterial in der Licht emittierenden Schicht 204.

[0097] Wenn die Licht emittierende Schicht 204 die Struktur hat, bei der das Gastmaterial in dem Wirtsmaterial dispergiert ist, kann eine Kristallisation der Licht emittierenden Schicht unterdrückt werden. Es ist ebenfalls möglich, ein Konzentrationsquenching (Konzentrationslöschung) infolge einer hohen Konzentration des Gastmaterials zu unterdrücken, so dass das Licht emittierende Element eine höhere Emissionseffizienz haben kann.

[0098] Es sei angemerkt, dass ein Triplett-Anregungsenergieniveau (T_1 -Niveau) sowohl der ersten organischen Verbindung 206 als auch der zweiten organischen Verbindung 207 höher liegt als dasjenige der phosphoreszierenden Verbindung 205. Der Grund dafür ist, dass dann, wenn das T_1 -Niveau der ersten organischen Verbindung 206 (oder der zweiten organischen Verbindung 207) niedriger liegt als dasjenige der phosphoreszierenden Verbindung 205, die Triplett-Anregungsenergie der phosphoreszierenden Verbindung 205, welche zur Lichtemission beiträgt, durch die erste organische Verbindung 206 (oder die zweite organische Verbindung 207) gelöscht wird, wodurch die Emissionseffizienz reduziert wird.

[0099] Um die Effizienz der Energieübertragung von einem Wirtsmaterial auf ein Gastmaterial zu verbessern, werden hier der Förster-Mechanismus (Dipol-Dipol-Wechselwirkung) und der Dexter-Mechanismus (Elektronenaustausch-Wechselwirkung) in Betracht gezogen, welche als Mechanismen der Energieübertragung zwischen Molekülen bekannt sind. Entsprechend den Mechanismen ist bevorzugt, dass ein Emissionsspektrum eines Wirtsmaterials (ein Fluoreszenzspektrum im Fall der Energieübertragung von einem angeregten Singulettzustand, und ein Phosphoreszenzspektrum im Fall der Energieübertragung von einem angeregten Triplettzustand) weit ein Absorptionsspektrum eines Gastmaterials (genauer gesagt, das Spektrum eines Absorptionsbandes auf der Seite der längsten Wellenlänge (der niedrigsten Energie)) überlappt. Es ist jedoch im Allgemeinen schwierig, eine Überlappung zwischen einem Fluoreszenzspektrum eines Wirtsmaterials und einem Absorptionsspektrum des Absorptionsbandes auf der Seite der längsten Wellenlänge (der niedrigsten Energie) eines Gastmaterials zu erhalten. Der Grund dafür ist das Folgende: wenn das Fluoreszenzspektrum des Wirtsmaterials das Absorptionsspektrum des Absorptionsbandes auf der Seite der längsten Wellenlänge (der niedrigsten Energie) des Gastmaterials überlappt, wird das T_1 -Niveau des Wirtsmaterials niedriger als das T_1 -Niveau der phosphoreszierenden Verbindung und das zuvor beschriebene Problem der Auslöschung tritt auf, da ein Phosphoreszenzspektrum des Wirtsmaterials auf der Seite einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) liegt als das Fluoreszenzspektrum. Wenn das Wirtsmaterial derart konstruiert wird, dass das T_1 -Niveau des Wirtsmaterials höher liegt als das T_1 -Niveau der phosphoreszierenden Verbindung, um das Problem der Auslöschung zu umgehen, verschiebt sich jedoch das Fluoreszenzspektrum des Wirtsmaterials zur Seite einer kürzeren Wellenlänge (höheren Energie), so dass das Fluoreszenzspektrum nicht das Absorptionsspektrum des Absorptionsbandes auf der Seite der

längsten Wellenlänge (der niedrigsten Energie) des Gastmaterials überlappt. Aus diesem Grund ist es im Allgemeinen schwierig, eine Überlappung zwischen einem Fluoreszenzspektrum eines Wirtsmaterials und einem Absorptionsspektrum in einem Absorptionsband auf der Seite der längsten Wellenlänge (der niedrigsten Energie) eines Gastmaterials zu erhalten, um die Energieübertragung von einem angeregten Singulettzustand eines Wirtsmaterials zu maximieren.

[0100] Bei dieser Ausführungsform bildet daher eine Kombination aus der ersten organischen Verbindung 206 und der zweiten organischen Verbindung 207 einen Exciplex (auch als angeregten Komplex bezeichnet). In diesem Fall bilden die erste organische Verbindung 206 und die zweite organische Verbindung 207 einen Exciplex zum Zeitpunkt der Rekombination von Ladungsträgern (Elektronen und Löchern) in der Licht emittierenden Schicht 204. Auf diese Weise werden das Fluoreszenzspektrum der ersten organischen Verbindung 206 und dasjenige der zweiten organischen Verbindung 207 in der Licht emittierenden Schicht 204 in ein Emissionsspektrum des Exciplex umgewandelt, das im Bereich längerer Wellenlängen liegt. Wenn weiterhin die erste organische Verbindung 206 und die zweite organische Verbindung 207 so ausgewählt werden, dass das Emissionsspektrum des Exciplex weit mit dem Absorptionsspektrum des Gastmaterials überlappt, kann die Energieübertragung aus einem angeregten Singulettzustand maximiert werden. Es sei angemerkt, dass auch im Fall eines angeregten Triplettzustandes eine Energieübertragung von dem Exciplex, nicht von dem Wirtsmaterial, stattfindet.

[0101] Für die phosphoreszierende Verbindung 205 wird der metallorganische Komplex verwendet, der bei der Ausführungsform 1 beschrieben worden ist. Die Kombination aus der ersten organischen Verbindung 206 und der zweiten organischen Verbindung 207 kann so ausgewählt werden, dass ein Exciplex gebildet wird, aber eine Kombination aus einer Verbindung, die dazu neigt, Elektronen aufzunehmen (eine Verbindung mit einer Elektroneneinfangeigenschaft), und einer Verbindung, die dazu neigt, Löcher aufzunehmen (eine Verbindung mit einer Locheneinfangeigenschaft), wird bevorzugt verwendet.

[0102] Als Beispiele für eine Verbindung, die dazu neigt, Elektronen aufzunehmen, werden das Folgende angegeben: 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2mDBTPDBq-II), 2-[4-(3,6-Diphenyl-9H-carbazol-9-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2CzPDBq-III), 7-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 7mDBTPDBq-II) und 6-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 6mDBTPDBq-II).

[0103] Als Beispiele für eine Verbindung, die dazu neigt, Löcher aufzunehmen, kann das Folgende angegeben werden: 4-Phenyl-4'-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)triphenylamin (Abkürzung: PCBA1BP), 3-[N-(1-Naphthyl)-N-(9-phenylcarbazol-3-yl)amino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCN1), 4,4',4''-Tris[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]triphenylamin (Abkürzung: 1'-TNATA), 2,7-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]spiro-9,9'-bifluoren (Abkürzung: DPA2SF), N,N'-Bis(9-phenylcarbazol-3-yl)-N,N'-diphenylbenzol-1,3-diamin (Abkürzung: PCA2B), N-(9,9-Dimethyl-2-N',N'-diphenylamino-9H-fluoren-7-yl)diphenylamin (Abkürzung: DPNF), N,N',N''-Triphenyl-N,N',N''-tris(9-phenylcarbazol-3-yl)benzol-1,3,5-triamin (Abkürzung: PCA3B), 2-[N-(9-Phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]spiro-9,9'-bifluoren (Abkürzung: PCASF), 2-[N-(4-Diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]spiro-9,9'-bifluoren (Abkürzung: DPASF), N,N'-Bis[4-(carbazol-9-yl)phenyl]-N,N'-diphenyl-9,9-dimethylfluoren-2,7-diamin (Abkürzung: YGA2F), 4,4'-Bis[N-(3-methylphenyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: TPD), 4,4'-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: DPAB), N-(9,9-Dimethyl-9H-fluoren-2-yl)-N-{9,9-dimethyl-2-[N'-phenyl-N'-(9,9-dimethyl-9H-fluoren-2-yl)amino]-9H-fluoren-7-yl}phenylamin (Abkürzung: DFLADFL), 3-[N-(9-Phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA1), 3-[N-(4-Diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzDPA1), 3,6-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzDPA2), 4,4'-Bis[N-(4-[N-(3-methylphenyl)-N'-phenylamino]phenyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: DNTPD), 3,6-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-(1-naphthyl)amino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzTPN2) und 3,6-Bis[N-(9-phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA2).

[0104] Bezüglich der oben beschriebenen ersten und zweiten organischen Verbindungen 206 und 207 ist die vorliegende Erfindung nicht auf die vorstehenden Beispiele beschränkt. Die Kombination wird derart bestimmt, dass ein Exciplex gebildet werden kann, wobei das Emissionsspektrum des Exciplex das Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung 205 überlappt und der Peak des Emissionsspektrums des Exciplex eine längere Wellenlänge aufweist als der Peak des Absorptionsspektrums der phosphoreszierenden Verbindung 205.

[0105] Es sei angemerkt, dass in dem Fall, in dem eine Verbindung, die dazu neigt, Elektronen aufzunehmen, und eine Verbindung, die dazu neigt, Löcher aufzunehmen, für die erste organische Verbindung 206

und die zweite organische Verbindung 207 verwendet werden, der Ladungsträgerausgleich durch das Mischungsverhältnis der Verbindungen gesteuert werden kann. Insbesondere beträgt das Verhältnis der ersten organischen Verbindung zu der zweiten organischen Verbindung vorzugsweise 1:9 bis 9:1.

[0106] In dem Licht emittierenden Element, das bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, kann die Effizienz der Energieübertragung dank einer Energieübertragung, die eine Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des Exciplex und dem Absorptionsspektrum einer phosphoreszierenden Verbindung nützt, verbessert werden; folglich kann eine hohe externe Quanteneffizienz des Licht emittierenden Elements erhalten werden.

[0107] Es sei angemerkt, dass bei einer weiteren Struktur der vorliegenden Erfindung die Licht emittierende Schicht 204 unter Verwendung, abgesehen von der phosphoreszierenden Verbindung 205 (Gastmaterial), eines Wirtsmoleküls mit einer Locheinfangeigenschaft und eines Wirtsmoleküls mit einer Elektroneneinfangeigenschaft als zwei Arten von organischen Verbindungen (die erste organische Verbindung 206 und die zweite organische Verbindung 207) derart ausgebildet sein kann, dass ein Phänomen (bei dem ein Gast mit komplementären Wirten gekoppelt wird; guest coupled with complementary hosts, GCCH) auftritt, wobei Löcher und Elektronen in Gastmoleküle, die in den zwei Arten von Wirtsmolekülen existieren, eingeleitet werden und die Gastmoleküle in einen angeregten Zustand versetzt werden.

[0108] Zu dieser Zeit können das Wirtsmolekül mit einer Locheinfangeigenschaft und das Wirtsmolekül mit einer Elektroneneinfangeigenschaft aus den oben angegebenen Verbindungen, die dazu neigen, Löcher aufzunehmen, bzw. aus den oben angegebenen Verbindungen, die dazu neigen, Elektronen aufzunehmen, ausgewählt werden.

[0109] Es sei angemerkt, dass das bei dieser Ausführungsform beschriebene Licht emittierende Element ein Strukturbeispiel für ein Licht emittierendes Element ist; es ist möglich, ein Licht emittierendes Element mit einer weiteren Struktur, die bei einer weiteren Ausführungsform beschrieben wird, auf eine Licht emittierende Vorrichtung anzuwenden. Ferner können als Licht emittierende Vorrichtung, die das zuvor beschriebene Licht emittierende Element beinhaltet, eine Licht emittierende passiv-Matrix-Vorrichtung und eine Licht emittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung hergestellt werden. Es kann ebenfalls eine Licht emittierende Vorrichtung mit einer Mikrohohlraum-Struktur hergestellt werden, die ein Licht emittierendes Element beinhaltet, das von den zuvor beschriebenen Licht emittierenden Elementen unterschiedlich ist, welches bei einer anderen Ausführungsform beschrieben wird. Jede der zuvor beschriebenen Licht emittierenden Vorrichtungen ist in der vorliegenden Erfindung eingeschlossen.

[0110] Es sei angemerkt, dass beim Herstellen der Licht emittierenden aktiv-Matrix-Vorrichtung keine besondere Beschränkung bezüglich der Struktur des TFT besteht. Es kann zum Beispiel angemessen ein staggered TFT oder ein inverted staggered TFT verwendet werden. Des Weiteren kann eine Treiberschaltung, die über einem TFT-Substrat ausgebildet wird, unter Verwendung eines n-Typ-TFT und/oder eines p-Typ-TFT ausgebildet werden. Außerdem gibt es auch keine besondere Beschränkung der Kristallinität eines Halbleiterfilms, der für den TFT verwendet wird. Beispielsweise kann ein amorpher Halbleiterfilm, ein kristalliner Halbleiterfilm, ein Oxidhalbleiterfilm oder dergleichen verwendet werden.

[0111] Es sei angemerkt, dass die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden kann.

(Ausführungsform 4)

[0112] Bei dieser Ausführungsform wird als eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein Licht emittierendes Element (nachstehend als Licht emittierendes Tandem-Element bezeichnet) beschrieben, bei dem eine Ladungserzeugungsschicht zwischen einer Vielzahl von EL-Schichten bereitgestellt ist.

[0113] Ein Licht emittierendes Element, das bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, ist ein Licht emittierendes Tandem-Element, das eine Vielzahl von EL-Schichten (eine erste EL-Schicht 302(1) und eine zweite EL-Schicht 302(2)) zwischen einem Paar von Elektroden (einer ersten Elektrode 301 und einer zweiten Elektrode 304) beinhaltet, wie in **Fig. 3A** gezeigt.

[0114] Bei dieser Ausführungsform dient die erste Elektrode 301 als Anode, und die zweite Elektrode 304 dient als Kathode. Es sei angemerkt, dass die erste Elektrode 301 und die zweite Elektrode 304 Strukturen haben können, die denjenigen bei der Ausführungsform 2 ähnlich sind. Obwohl die Vielzahl von EL-Schichten

(die erste EL-Schicht 302(1) und die zweite EL-Schicht 302(2)) eine Struktur haben kann, die derjenigen der bei der Ausführungsform 2 oder 3 beschriebenen EL-Schicht ähnlich ist, kann eine der EL-Schichten eine Struktur haben, die derjenigen der bei der Ausführungsform 2 oder 3 beschriebenen EL-Schicht ähnlich ist. Mit anderen Worten: die Strukturen der ersten EL-Schicht 302(1) und der zweiten EL-Schicht 302(2) können gleich oder voneinander unterschiedlich sein und können derjenigen der bei der Ausführungsform 2 oder 3 beschriebenen EL-Schicht ähnlich sein.

[0115] Des Weiteren ist eine Ladungserzeugungsschicht (I) 305 zwischen der Vielzahl von EL-Schichten (der ersten EL-Schicht 302(1) und der zweiten EL-Schicht 302(2)) bereitgestellt. Die Ladungserzeugungsschicht (I) 305 hat eine Funktion zum Injizieren von Elektronen in eine der EL-Schichten und Injizieren von Löchern in die andere der EL-Schichten, wenn eine Spannung zwischen der ersten Elektrode 301 und der zweiten Elektrode 304 angelegt wird. Wenn bei dieser Ausführungsform eine Spannung so angelegt wird, dass das Potential der ersten Elektrode 301 höher ist als dasjenige der zweiten Elektrode 304, injiziert dann die Ladungserzeugungsschicht (I) 305 Elektronen in die erste EL-Schicht 302(1) und Löcher in die zweite EL-Schicht 302(2).

[0116] Es sei angemerkt, dass hinsichtlich der Lichtextraktionseffizienz die Ladungserzeugungsschicht (I) 305 vorzugsweise eine Durchlässigkeit von sichtbarem Licht aufweist (konkret gesagt: die Ladungserzeugungsschicht (I) 305 weist einen Durchlässigkeitsgrad von sichtbarem Licht von 40 % oder mehr auf). Des Weiteren fungiert die Ladungserzeugungsschicht (I) 305 selbst dann, wenn sie niedrigere Leitfähigkeit aufweist als die erste Elektrode 301 oder die zweite Elektrode 304.

[0117] Die Ladungserzeugungsschicht (I) 305 kann eine Struktur, bei der ein Elektronenakzeptor (Akzeptor) zu einer organischen Verbindung mit einer hohen Lochtransporteigenschaft zugesetzt ist, oder eine Struktur, bei der ein Elektronendonator (Donator) zu einer organischen Verbindung mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft zugesetzt ist, haben. Alternativ können beide dieser Strukturen gestapelt sein.

[0118] Im Fall der Struktur, bei der ein Elektronenakzeptor zu einer organischen Verbindung mit einer hohen Lochtransporteigenschaft zugesetzt ist, kann als organische Verbindung mit einer hohen Lochtransporteigenschaft zum Beispiel eine aromatische Aminverbindung, wie z. B. NPB, TPD, TDATA, MTDATA oder 4,4'-Bis [N-(spiro-9,9'-bifluoren-2-yl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: BSPB), oder dergleichen verwendet werden. Die hier angegebenen Substanzen sind hauptsächlich Substanzen, die eine Löcherbeweglichkeit von 10^{-6} cm²/Vs oder höher aufweisen. Es sei angemerkt, dass eine andere Substanz als die zuvor beschriebenen Substanzen verwendet werden kann, solange sie organische Verbindungen mit einer höheren Lochtransporteigenschaft als einer Elektronentransporteigenschaft sind.

[0119] Als Elektronenakzeptor können ferner 7,7,8,8-Tetracyano-2,3,5,6-tetrafluorchinodimethan (Abkürzung: F₄-TCNQ), Chloranil oder dergleichen verwendet werden. Alternativ kann ein Übergangsmetalloxid verwendet werden. Es kann ebenfalls ein Oxid von Metallen, die zu Gruppe 4 bis Gruppe 8 des Periodensystems gehören, verwendet werden. Vanadiumoxid, Nioboxid, Tantaloxid, Chromoxid, Molybdänoxid, Wolframoxid, Manganoxid oder Rheniumoxid sind insbesondere bevorzugt verwendet, weil ihre Elektronenakzeptoreigenschaft hoch ist. Unter diesen Oxiden ist Molybdänoxid besonders bevorzugt, weil es an der Luft stabil und nur wenig hygroskopisch ist und leicht gehandhabt werden kann.

[0120] Im Gegensatz dazu kann im Fall der Struktur, bei der einer organischen Verbindung mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft ein Elektronendonator zugesetzt ist, als organische Verbindung mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft zum Beispiel ein Metallkomplex mit einem Chinolin-Gerüst oder einem Benzochinolin-Gerüst, wie z. B. Alq, Almq₃, BeBq₂ oder BALq, oder dergleichen verwendet werden. Alternativ ist es möglich, einen Metallkomplex mit einem Liganden auf Oxazol-Basis oder einem Liganden auf Thiazol-Basis wie z. B. Zn(BOX)₂ oder Zn(BTZ)₂ zu verwenden. Anstelle eines solchen Metallkomplexes kann alternativ auch PBD, OXD-7, TAZ, BPhen, BCP oder dergleichen verwendet werden. Die hier genannten Substanzen sind hauptsächlich solche mit einer Elektronenbeweglichkeit von 10^{-6} cm²/Vs oder höher. Es sei angemerkt, dass eine andere Substanz als die zuvor beschriebenen Substanzen verwendet werden kann, solange sie organische Verbindungen mit einer höheren Elektronentransporteigenschaft als einer Lochtransporteigenschaft sind.

[0121] Als Elektronendonator kann ein Alkalimetall, ein Erdalkalimetall, ein Seltenerdmetall, ein Metall, das zur Gruppe 2 oder 13 des Periodensystems gehört, oder ein Oxid oder ein Carbonat davon verwendet werden. Insbesondere wird Lithium (Li), Cäsium (Cs), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Ytterbium (Yb), Indium

(In), Lithiumoxid, Cäsiumcarbonat oder dergleichen bevorzugt verwendet. Eine organische Verbindung wie z. B. Tetrathianaphthacen kann alternativ als Elektronendonator verwendet werden.

[0122] Es sei angemerkt, dass das Ausbilden der Ladungserzeugungsschicht (I) 305 unter Verwendung eines der obigen Materialien einen Anstieg der Betriebsspannung, der durch den Stapel der EL-Schichten verursacht wird, unterdrücken kann.

[0123] Bei dieser Ausführungsform wird das Licht emittierende Element mit zwei EL-Schichten beschrieben, aber die vorliegende Erfindung kann ähnlicherweise auf ein Licht emittierendes Element angewendet werden, in dem n EL-Schichten (302(1) bis 302(n)) (n ist drei oder mehr) gestapelt sind, wie in **Fig. 3B** gezeigt. Wenn wie in dem Licht emittierenden Element nach dieser Ausführungsform mehrere EL-Schichten zwischen einem Paar von Elektroden angeordnet sind, dann kann eine Lichtemission mit einer hohen Leuchtdichte durch Bereitstellen der Ladungserzeugungsschichten (I) (305(1) bis 305(n-1)) zwischen den EL-Schichten, erhalten werden, wobei die Stromdichte niedrig gehalten wird. Da die Stromdichte niedrig gehalten werden kann, kann das Element eine lange Lebensdauer haben. Wenn das Licht emittierende Element für Beleuchtungsanordnungen verwendet wird, kann ein Spannungsabfall aufgrund des Widerstandes eines Elektrodenmaterials reduziert werden, so dass eine gleichmäßige Lichtemission in einer großen Fläche erhalten werden kann. Außerdem ist es möglich, eine Licht emittierende Vorrichtung zu erhalten, die bei einer niedrigen Spannung betrieben werden kann und niedrigen Stromverbrauch aufweist.

[0124] Indem die EL-Schichten so hergestellt werden, dass sie Licht mit voneinander unterschiedlichen Farben emittieren, kann das Licht emittierende Element Licht mit der erwünschten Gesamtfarbe emittieren. Wenn zum Beispiel ein Licht emittierendes Element mit zwei EL-Schichten hergestellt wird, so dass die Emissionsfarbe der ersten EL-Schicht und die Emissionsfarbe der zweiten EL-Schicht Komplementärfarben sind, kann das Licht emittierende Element ein Gesamtlicht mit weißer Farbe emittieren. Es sei angemerkt, dass das Wort „komplementär“ ein Farbverhältnis bedeutet, bei dem eine achromatische Farbe erzielt wird, wenn Farben gemischt werden. Mit anderen Worten: wenn Licht, das aus einer Licht emittierenden Substanz erhalten wird, und Licht in einer komplementären Farbe gemischt werden, kann eine weiße Lichtemission erzielt werden.

[0125] Dasselbe kann des Weiteren auf ein Licht emittierendes Element mit drei EL-Schichten angewendet werden. Beispielsweise kann das Licht emittierende Element als Ganzes weißes Licht emittieren, wenn die Emissionsfarbe der ersten EL-Schicht rot ist, die Emissionsfarbe der zweiten EL-Schicht grün ist und die Emissionsfarbe der dritten EL-Schicht blau ist.

[0126] Es sei angemerkt, dass die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden kann.

(Ausführungsform 5)

[0127] Bei dieser Ausführungsform wird eine Licht emittierende Vorrichtung beschrieben.

[0128] Eine Licht emittierende Vorrichtung, die bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, hat eine Struktur eines optischen Mikroresonators (eines Mikrohohlraums), bei der ein Lichtresonanzeffekt zwischen einem Paar von Elektroden ausgenutzt wird. Die Licht emittierende Vorrichtung beinhaltet eine Vielzahl von Licht emittierenden Elementen, die jeweils mindestens eine EL-Schicht 405 zwischen einem Paar von Elektroden (einer reflektierenden Elektrode 401 und einer halbdurchlässigen und halbrelektierenden Elektrode 402) aufweisen, wie in **Fig. 4** gezeigt. Des Weiteren beinhaltet die EL-Schicht 405 mindestens Licht emittierende Schichten 404 (404R, 404G und 404B), die jeweils als Licht emittierender Bereich dienen, und kann ferner eine Lochinjektionsschicht, eine Lochtransportschicht, eine Elektronentransportschicht, eine Elektroneninjectionsschicht, eine Ladungserzeugungsschicht (E) und dergleichen beinhalten. Es sei angemerkt, dass die Licht emittierende Schicht 404 den metallorganischen Komplex enthält.

[0129] Bei dieser Ausführungsform wird eine Licht emittierende Vorrichtung beschrieben, die Licht emittierende Elemente (ein erstes Licht emittierendes Element (R) 410R, ein zweites Licht emittierendes Element (G) 410G und ein drittes Licht emittierendes Element (B) 410B) mit unterschiedlichen Strukturen beinhaltet, wie in **Fig. 4** gezeigt.

[0130] Das erste Licht emittierende Element (R) 410R hat eine Struktur, bei der eine erste durchsichtige leitende Schicht 403a; eine EL-Schicht 405, die eine erste Licht emittierende Schicht (B) 404B, eine zweite

Licht emittierende Schicht (G) 404G und eine dritte Licht emittierende Schicht (R) 404R als Teile beinhaltet; und eine halbdurchsichtige und halbrelektierende Elektrode 402 nacheinander über einer reflektierenden Elektrode 401 gestapelt sind. Das zweite Licht emittierende Element (G) 410G hat eine Struktur, bei der eine zweite durchsichtige leitende Schicht 403b, die EL-Schicht 405 und die halbdurchsichtige und halbrelektierende Elektrode 402 nacheinander über der reflektierenden Elektrode 401 gestapelt sind. Das dritte Licht emittierende Element (B) 410B hat eine Struktur, bei der die EL-Schicht 405 und die halbdurchsichtige und halbrelektierende Elektrode 402 nacheinander über der reflektierenden Elektrode 401 gestapelt sind.

[0131] Es sei angemerkt, dass die reflektierende Elektrode 401, die EL-Schicht 405 und die halbdurchsichtige und halbrelektierende Elektrode 402 den lichtemittierenden Elementen (dem ersten Licht emittierenden Element (R) 410R, dem zweiten Licht emittierenden Element (G) 410G und dem dritten Licht emittierenden Element (B) 410B) gemeinsam sind. Die erste Licht emittierende Schicht (B) 404B emittiert Licht (λ_B) mit einem Peak in einem Wellenlängenbereich von 420 nm bis 480 nm. Die zweite Licht emittierende Schicht (G) 404G emittiert Licht (λ_G) mit einem Peak in einem Wellenlängenbereich von 500 nm bis 550 nm. Die dritte Licht emittierende Schicht (R) 404R emittiert Licht (λ_R) mit einem Peak in einem Wellenlängenbereich von 600 nm bis 760 nm. Bei jedem der Licht emittierenden Elemente (des ersten Licht emittierenden Elements (R) 410R, des zweiten Licht emittierenden Elements (G) 410G und des dritten Licht emittierenden Elements (B) 410B) überlappt daher Licht, das von der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B emittiert wird, Licht, das von der zweiten Licht emittierenden Schicht (G) 404G emittiert wird, und Licht, das von der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R emittiert wird, miteinander. Dementsprechend kann Licht mit einem breiten Emissionsspektrum emittiert werden, das einen sichtbaren Lichtbereich umfasst. Es sei angemerkt, dass die obigen Wellenlängen die Beziehung von $\lambda_B < \lambda_G < \lambda_R$ erfüllen.

[0132] Jedes der bei dieser Ausführungsform beschriebenen Licht emittierenden Elemente hat eine Struktur, bei der die EL-Schicht 405 zwischen der reflektierenden Elektrode 401 und der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 bereitgestellt ist. Licht, das von den Licht emittierenden Schichten in der EL-Schicht 405 in allen Richtungen emittiert wird, gerät mit der reflektierenden Elektrode 401 und der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402, welche als optischer Mikrosesonator (Mikrohohlraum) dienen, in Resonanz. Es sei angemerkt, dass die reflektierende Elektrode 401 unter Verwendung eines leitenden Materials mit Reflexionsvermögen ausgebildet ist, und ein Film verwendet wird, dessen Reflexionsvermögen für sichtbares Licht 40 % bis 100 %, bevorzugt 70 % bis 100 % ist und dessen spezifischer Widerstand $1 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ oder niedriger ist. Zusätzlich ist die halbdurchsichtige und halbrelektierende Elektrode 402 unter Verwendung eines leitenden Materials mit Reflexionsvermögen und eines leitenden Materials mit einer Lichtdurchlässigkeit ausgebildet, und ein Film wird verwendet, dessen Reflexionsvermögen für sichtbares Licht 20 % bis 80 %, bevorzugt 40 % bis 70 % ist und dessen spezifischer Widerstand $1 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ oder niedriger ist.

[0133] Bei dieser Ausführungsform unterscheiden sich die Dicken der durchsichtigen leitenden Schichten (der ersten durchsichtigen leitenden Schicht 403a und der zweiten durchsichtigen leitenden Schicht 403b), die in dem ersten Licht emittierenden Element (R) 410R bzw. dem zweiten Licht emittierenden Element (G) 410G bereitgestellt sind, zwischen den Licht emittierenden Elementen, wodurch sich die Licht emittierenden Elemente in der optischen Weglänge von der reflektierenden Elektrode 401 zu der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 voneinander unterscheiden. Mit anderen Worten: in Licht mit einem breiten Emissionsspektrum, das von den Licht emittierenden Schichten jedes der Licht emittierenden Elemente emittiert wird, kann Licht mit einer Wellenlänge, das zwischen der reflektierenden Elektrode 401 und der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 in Resonanz gerät, verstärkt werden, während Licht mit einer Wellenlänge, das dazwischen nicht in Resonanz gerät, abgeschwächt werden kann. Deswegen kann dann, wenn sich die Elemente in der optischen Weglänge von der reflektierenden Elektrode 401 zu der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 voneinander unterscheiden, Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen entnommen werden.

[0134] Es sei angemerkt, dass die optische Weglänge (auch als optische Distanz bezeichnet) als ein Produkt einer tatsächlichen Distanz und eines Brechungsindex dargestellt wird und bei dieser Ausführungsform ein Produkt einer tatsächlichen Dicke und n (Brechungsindex) ist. Das heißt: eine optische Weglänge = tatsächliche Dicke $\times n$.

[0135] Des Weiteren ist die Gesamtdicke von der reflektierenden Elektrode 401 zu der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 auf $m\lambda_R/2$ (m ist eine natürliche Zahl) bei dem ersten Licht emittierenden Element (R) 410R eingestellt. Die Gesamtdicke von der reflektierenden Elektrode 401 zu der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 ist auf $m\lambda_G/2$ (m ist eine natürliche Zahl) bei dem zweiten

Licht emittierenden Element (G) 410G eingestellt. Die Gesamtdicke von der reflektierenden Elektrode 401 zu der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 ist auf $m\lambda_B/2$ (m ist eine natürliche Zahl) bei dem dritten Licht emittierenden Element (B) 410B eingestellt.

[0136] Auf diese Weise wird das Licht (λ_R), das von der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R in der EL-Schicht 405 emittiert wird, hauptsächlich aus dem ersten Licht emittierenden Element (R) 410R entnommen, das Licht (λ_G), das von der zweiten Licht emittierenden Schicht (G) 404G in der EL-Schicht 405 emittiert wird, wird hauptsächlich aus dem zweiten Licht emittierenden Element (G) 410G entnommen, und das Licht (λ_B), das von der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B in der EL-Schicht 405 emittiert wird, wird hauptsächlich aus dem dritten Licht emittierenden Element (B) 410B entnommen. Es sei angemerkt, dass das Licht, das aus jedem der Licht emittierenden Elemente entnommen wird, von der Seite der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 emittiert wird.

[0137] Zudem kann, streng genommen, die Gesamtdicke von der reflektierenden Elektrode 401 zu der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 die Gesamtdicke von einem Reflexionsbereich in der reflektierenden Elektrode 401 zu einem Reflexionsbereich in der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 sein. Es ist jedoch schwierig, genaue Positionen der Reflexionsbereiche in der reflektierenden Elektrode 401 und der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 zu bestimmen. Deshalb wird angenommen, dass die obige Wirkung ausreichend erhalten werden kann, wo immer die Reflexionsbereiche in der reflektierenden Elektrode 401 und der halbdurchsichtigen und halbrelektierenden Elektrode 402 liegen.

[0138] Als Nächstes ist bei dem ersten Licht emittierenden Element (R) 410R die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode 401 zu der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R auf eine gewünschte Dicke $((2m'+1)\lambda_R/4)$, wobei m' eine natürliche Zahl ist) eingestellt. Somit kann Licht, das von der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R emittiert wird, verstärkt werden. Licht (erstes reflektiertes Licht), das von der reflektierenden Elektrode 401 reflektiert wird, aus dem von der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R emittierten Licht interferiert mit Licht (erstem einfallendem Licht), das direkt in die halbdurchsichtige und halbrelektierende Elektrode 402 von der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R eintritt. Deswegen können durch die Einstellung der optischen Weglänge von der reflektierenden Elektrode 401 zu der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R auf den gewünschten Wert $((2m'+1)\lambda_R/4)$, wobei m' eine natürliche Zahl ist) die Phasen des ersten reflektierten Lichts und des ersten einfallenden Lichts aufeinander angepasst werden, und das von der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R emittierte Licht kann verstärkt werden.

[0139] Es sei angemerkt, dass, streng genommen, die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode 401 zu der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R die optische Weglänge von einem Reflexionsbereich in der reflektierenden Elektrode 401 zu einem Licht emittierenden Bereich in der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R sein kann. Es ist jedoch schwierig, genaue Positionen des Reflexionsbereichs in der reflektierenden Elektrode 401 und des Licht emittierenden Bereichs in der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R zu bestimmen. Deshalb wird angenommen, dass die obige Wirkung ausreichend erhalten werden kann, wo immer der Reflexionsbereich und der Licht emittierende Bereich in der reflektierenden Elektrode 401 bzw. der dritten Licht emittierenden Schicht (R) 404R liegen.

[0140] Als Nächstes ist bei dem zweiten Licht emittierenden Element (G) 410G die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode 401 zu der zweiten Licht emittierenden Schicht (G) 404G auf eine gewünschte Dicke $((2m''+1)\lambda_G/4)$, wobei m'' eine natürliche Zahl ist) eingestellt. Somit kann Licht, das von der zweiten Licht emittierenden Schicht (G) 404G emittiert wird, verstärkt werden. Licht (zweites reflektiertes Licht), das von der reflektierenden Elektrode 401 reflektiert wird, aus dem von der zweiten Licht emittierenden Schicht (G) 404G emittierten Licht interferiert mit Licht (zweitem einfallendem Licht), das direkt in die halbdurchsichtige und halbrelektierende Elektrode 402 von der zweiten Licht emittierenden Schicht (G) 404G eintritt. Deswegen können durch die Einstellung der optischen Weglänge von der reflektierenden Elektrode 401 zu der zweiten Licht emittierenden Schicht (G) 404G auf den gewünschten Wert $((2m''+1)\lambda_G/4)$, wobei m'' eine natürliche Zahl ist) die Phasen des zweiten reflektierten Lichts und des zweiten einfallenden Lichts aufeinander angepasst werden, und das von der zweiten Licht emittierenden Schicht (G) 404G emittierte Licht kann verstärkt werden.

[0141] Es sei angemerkt, dass, streng genommen, die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode 401 zu der zweiten Licht emittierenden Schicht (G) 404G die optische Weglänge von einem Reflexionsbereich in der reflektierenden Elektrode 401 zu einem Licht emittierenden Bereich in der zweiten Licht emittierenden Schicht (G) 404G sein kann. Es ist jedoch schwierig, genaue Positionen des Reflexionsbereichs in

der reflektierenden Elektrode 401 und des Licht emittierenden Bereichs in der zweiten Licht emittierenden Schicht (G) 404G zu bestimmen. Deshalb wird angenommen, dass die obige Wirkung ausreichend erhalten werden kann, wo immer der Reflexionsbereich und der Licht emittierende Bereich in der reflektierenden Elektrode 401 bzw. der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G liegen.

[0142] Als Nächstes ist bei dem dritten Licht emittierenden Element (B) 410B die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode 401 zu der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B auf eine gewünschte Dicke $((2m'''+1)\lambda_B/4$, wobei m''' eine natürliche Zahl ist) eingestellt. Somit kann Licht, das von der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B emittiert wird, verstärkt werden. Licht (drittes reflektiertes Licht), das von der reflektierenden Elektrode 401 reflektiert wird, aus dem von der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B emittierten Licht interferiert mit Licht (drittem einfallendem Licht), das direkt in die halbdurchsichtige und halb-reflektierende Elektrode 402 von der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B eintritt. Deswegen können durch die Einstellung der optischen Weglänge von der reflektierenden Elektrode 401 zu der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B auf den gewünschten Wert $((2m'''+1)\lambda_B/4$, wobei m''' eine natürliche Zahl ist) die Phasen des dritten reflektierten Lichts und des dritten einfallenden Lichts aufeinander angepasst werden, und das von der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B emittierte Licht kann verstärkt werden.

[0143] Es sei angemerkt, dass, streng genommen, die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode 401 zu der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B bei dem dritten Licht emittierenden Element die optische Weglänge von einem Reflexionsbereich in der reflektierenden Elektrode 401 zu einem Licht emittierenden Bereich in der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B sein kann. Es ist jedoch schwierig, genaue Positionen des Reflexionsbereichs in der reflektierenden Elektrode 401 und des Licht emittierenden Bereichs in der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B zu bestimmen. Deshalb wird angenommen, dass die obige Wirkung ausreichend erhalten werden kann, wo immer der Reflexionsbereich und der Licht emittierende Bereich in der reflektierenden Elektrode 401 bzw. der ersten Licht emittierenden Schicht (B) 404B liegen.

[0144] Es sei angemerkt, dass zwar jedes der Licht emittierenden Elemente bei der oben beschriebenen Struktur eine Vielzahl von Licht emittierenden Schichten in der EL-Schicht beinhaltet, aber die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt ist. Zum Beispiel kann die Struktur des Licht emittierenden Tandem-Elements, das bei der Ausführungsform 4 beschrieben worden ist, kombiniert werden, in welchem Falle eine Vielzahl von EL-Schichten und eine dazwischen liegende Ladungserzeugungsschicht in einem Licht emittierenden Element bereitgestellt werden, und eine oder mehrere Licht emittierende Schichten in jeder der EL-Schichten ausgebildet sind.

[0145] Die bei dieser Ausführungsform beschriebene Licht emittierende Vorrichtung hat eine Mikrohohlraum-Struktur, bei der Licht mit Wellenlängen, die abhängig von den Licht emittierenden Elementen unterschiedlich sind, entnommen werden kann, auch wenn sie die gleichen EL-Schichten beinhalten. Damit ist es unnötig, Licht emittierende Elemente für Farben von R, G und B herzustellen. Die obige Struktur ist deshalb vorteilhaft für eine Farbanzeige dank der Leichtigkeit, mit der man eine Anzeige mit höherer Auflösung oder dergleichen erzielen kann. Zusätzlich kann die Intensität einer Emission mit einer vorbestimmten Wellenlänge in der Richtung nach vorne vergrößert werden, wodurch der Stromverbrauch verringert werden kann. Die obige Struktur ist nützlich besonders in dem Fall, in dem sie auf eine Farbanzeige (Bildanzeigevorrichtung), die Pixel von drei oder mehr Farben beinhaltet, angewendet wird, aber sie kann auch auf Beleuchtung oder dergleichen angewendet werden.

(Ausführungsform 6)

[0146] Bei dieser Ausführungsform wird eine Licht emittierende Vorrichtung beschrieben, die ein Licht emittierendes Element beinhaltet, in dem der vorstehend beschriebene metallorganische Komplex für eine Licht emittierende Schicht verwendet wird.

[0147] Die Licht emittierende Vorrichtung kann entweder eine Licht emittierende passiv-Matrix-Vorrichtung oder eine Licht emittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung sein. Es sei angemerkt, dass eines der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Licht emittierenden Elemente auf die bei dieser Ausführungsform beschriebene Licht emittierende Vorrichtung angewendet werden kann.

[0148] Bei dieser Ausführungsform wird eine Licht emittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung anhand von **Fig. 5A** und **Fig. 5B** beschrieben.

[0149] Es sei angemerkt, dass **Fig. 5A** eine Draufsicht, die eine Licht emittierende Vorrichtung zeigt, ist und **Fig. 5B** eine Querschnittsansicht entlang der Punktlinie A-A' in **Fig. 5A** ist. Die Licht emittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung nach dieser Ausführungsform beinhaltet einen Pixelabschnitt 502, der über einem Elementsubstrat 501 bereitgestellt ist, einen Treiberschaltungsabschnitt (eine Sourceleitungs-Treiberschaltung) 503 und Treiberschaltungsabschnitte (Gateleitungs-Treiberschaltungen) 504 (504a und 504b). Der Pixelabschnitt 502, der Treiberschaltungsabschnitt 503 und die Treiberschaltungsabschnitte 504 sind mit einem Dichtungsmittel 505 zwischen dem Elementsubstrat 501 und dem Abdichtungssubstrat 506 abgedichtet.

[0150] Über dem Elementsubstrat 501 ist zusätzlich eine Anschlussleitung (lead wiring) 507 angeordnet. Die Anschlussleitung 507 ist vorgesehen, um einen externen Eingangsanschluss, über den ein Signal (beispielsweise ein Videosignal, ein Taktsignal, ein Startsignal und ein Rücksetzsignal) oder ein Potential von außen übertragen wird, mit dem Treiberschaltungsabschnitt 503 und den Treiberschaltungsabschnitten 504 zu verbinden. Hierbei ist ein Beispiel gezeigt, in dem eine flexible gedruckte Schaltung (flexible printed circuit: FPC) 508 als externer Eingangsanschluss bereitgestellt ist. Nur die FPC 508 ist zwar gezeigt, aber diese FPC kann mit einer gedruckten Leiterplatte (printed wiring board: PWB) versehen sein. Die Licht emittierende Vorrichtung in dieser Beschreibung umfasst in ihrer Kategorie nicht nur die Licht emittierende Vorrichtung selbst, sondern auch die Licht emittierende Vorrichtung, die mit der FPC oder der PWB versehen ist.

[0151] Als Nächstes wird eine Querschnittsstruktur anhand von **Fig. 5B** beschrieben. Der Treiberschaltungsabschnitt und der Pixelabschnitt sind über dem Elementsubstrat 501 ausgebildet. Gezeigt sind hier der Treiberschaltungsabschnitt 503, der die Sourceleitungs-Treiberschaltung ist, und der Pixelabschnitt 502.

[0152] Der Treiberschaltungsabschnitt 503 ist ein Beispiel, in dem eine CMOS-Schaltung gebildet ist, die eine Kombination aus einem n-Kanal-TFT 509 und einem p-Kanal-TFT 510 ist. Es sei angemerkt, dass eine in dem Treiberschaltungsabschnitt beinhaltete Schaltung unter Verwendung von verschiedenen CMOS-Schaltungen, PMOS-Schaltungen oder NMOS-Schaltungen, gebildet sein kann. Bei dieser Ausführungsform wird ein Treiber-integrierter Typ beschrieben, in dem die Treiberschaltung über dem Substrat gebildet ist; die Treiberschaltung ist nicht notwendigerweise über dem Substrat gebildet und kann auch außerhalb des Substrats gebildet sein.

[0153] Der Pixelabschnitt 502 beinhaltet eine Vielzahl von Pixeln, die jeweils einen TFT 511 zum Schalten, einen TFT 512 zur Stromsteuerung und eine erste Elektrode (Anode) 513, die elektrisch mit einer Leitung (einer Source-Elektrode oder einer Drain-Elektrode) des TFT 512 zur Stromsteuerung verbunden ist, beinhalten. Es sei angemerkt, dass ein Isolator 514 ausgebildet ist, um Endbereiche der ersten Elektrode (Anode) 513 zu bedecken. Bei dieser Ausführungsform ist der Isolator 514 unter Verwendung eines positiven lichtempfindlichen Acrylharzes ausgebildet.

[0154] Der Isolator 514 weist vorzugsweise eine gekrümmte Oberfläche mit einer Krümmung in deren oberem Endbereich oder deren unterem Endbereich auf, um gute Bedeckung mit einem Film zu erhalten, der über dem Isolator 514 nachfolgend gestapelt wird. Im Fall der Verwendung eines positiven lichtempfindlichen Acrylharzes als Material für den Isolator 514, weist beispielsweise der Isolator 514 vorzugsweise eine gekrümmte Oberfläche mit einem Krümmungsradius (0,2 μm bis 3 μm) im oberen Endbereich auf. Es sei angemerkt, dass der Isolator 514 unter Verwendung eines negativen lichtempfindlichen Harzes oder eines positiven lichtempfindlichen Harzes ausgebildet sein kann. Das Material für den Isolator 514 ist nicht auf eine organische Verbindung beschränkt, und eine anorganische Verbindung, wie z. B. Siliziumoxid oder Siliziumoxynitrid, kann auch verwendet werden.

[0155] Eine EL-Schicht 515 und eine zweite Elektrode (Kathode) 516 sind über der ersten Elektrode (Anode) 513 gestapelt. Die EL-Schicht 515 weist mindestens eine Licht emittierende Schicht auf, die den metallorganischen Komplex enthält. Die EL-Schicht 515 kann angemessen, zusätzlich zu der Licht emittierenden Schicht, weiterhin eine Lochinjektionsschicht, eine Lochtransportschicht, eine Elektronentransportschicht, eine Elektroneninjektionsschicht, eine Ladungserzeugungsschicht und dergleichen aufweisen.

[0156] Ein Licht emittierendes Element 517 hat eine gestapelte Struktur aus der ersten Elektrode (Anode) 513, der EL-Schicht 515 und der zweiten Elektrode (Kathode) 516. Für die erste Elektrode (Anode) 513, die EL-Schicht 515 und die zweite Elektrode (Kathode) 516 können die Materialien verwendet werden, die bei der Ausführungsform 2 beschrieben worden sind. Obwohl es nicht dargestellt ist, ist die zweite Elektrode (Kathode) 516 elektrisch mit der FPC 508 verbunden, die ein externer Eingangsanschluss ist.

[0157] Obwohl die Querschnittsansicht von **Fig. 5B** nur das einzelne Licht emittierende Element 517 zeigt, ist eine Vielzahl von Licht emittierenden Elementen in Form einer Matrix in dem Pixelabschnitt 502 angeordnet. Licht emittierende Elemente, die drei Arten von Licht (R, G und B) emittieren, werden wahlweise in dem Pixelabschnitt 502 hergestellt, wodurch eine Licht emittierende Vorrichtung hergestellt werden kann, die eine Vollfarbanzeige durchführen kann. Alternativ kann eine Licht emittierende Vorrichtung durch eine Kombination mit Farbfiltern hergestellt werden, die Vollfarbanzeige durchführen kann.

[0158] Das Dichtungssubstrat 506 ist zudem mit dem Dichtungsmittel 505 an dem Elementsubstrat 501 angebracht, so dass das Licht emittierende Element 517 in einem Raum 518, der von dem Elementsubstrat 501, dem Dichtungssubstrat 506 und dem Dichtungsmittel 505 umschlossen wird, bereitgestellt ist. Der Raum 518 kann mit einem Inertgas (wie z. B. Stickstoff oder Argon) oder mit dem Dichtungsmittel 505 gefüllt werden.

[0159] Ein Harz auf Epoxid-Basis wird bevorzugt für das Dichtungsmittel 505 verwendet. Es ist bevorzugt, dass ein solches Material möglichst wenig Feuchtigkeit oder Sauerstoff durchlässt. Als das Dichtungssubstrat 506 kann ein Glassubstrat, ein Quarzsubstrat oder ein Kunststoffsubstrat, das aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (fiberglass reinforced plastic: FRP), Polyvinylfluorid (PVF), Polyester, Acryl oder dergleichen hergestellt wird, verwendet werden.

[0160] Auf die zuvor beschriebene Weise kann eine Licht emittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung hergestellt werden.

[0161] Es sei angemerkt, dass die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden kann.

(Ausführungsform 7)

[0162] Bei dieser Ausführungsform werden anhand von **Fig. 6A** bis **Fig. 6D** sowie **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** Beispiele für verschiedene elektronische Geräte beschrieben, die unter Verwendung einer Licht emittierenden Vorrichtung hergestellt werden. Auf die Licht emittierende Vorrichtung wird der metallorganische Komplex angewendet.

[0163] Beispiele für die elektronischen Geräte, auf die die Licht emittierende Vorrichtung angewendet wird, sind ein Fernsehgerät (auch als Fernseher oder Fernsehempfänger bezeichnet), ein Monitor eines Computers oder dergleichen, eine Kamera, wie z. B. eine Digitalkamera oder eine Digitalvideokamera, ein digitaler Fotorahmen, ein Mobiltelefon (auch als Handy oder Mobiltelefonvorrichtung bezeichnet), eine tragbare Spielkonsole, ein tragbares Informationsendgerät, eine Audiowiedergabevorrichtung und eine große Spieleinrichtung, wie z. B. eine Pachinko-Einrichtung. Konkrete Beispiele für diese elektronischen Geräte sind in **Fig. 6A** bis **Fig. 6D** gezeigt.

[0164] **Fig. 6A** zeigt ein Beispiel für ein Fernsehgerät. Bei einem Fernsehgerät 7100 ist ein Anzeigeabschnitt 7103 in einem Gehäuse 7101 eingebaut. Bilder können auf dem Anzeigeabschnitt 7103 angezeigt werden, und die Licht emittierende Vorrichtung kann für den Anzeigeabschnitt 7103 verwendet werden. Zusätzlich wird hierbei das Gehäuse 7101 von einem Fuß 7105 getragen.

[0165] Eine Bedienung des Fernsehgeräts 7100 kann mittels eines Bedienungsschalters des Gehäuses 7101 oder einer separaten Fernbedienung 7110 durchgeführt werden. Durch Bedienungstasten 7109 der Fernbedienung 7110 können die Fernsehsender und die Lautstärke gesteuert werden, und Bilder, die auf dem Anzeigeabschnitt 7103 angezeigt werden, können gesteuert werden. Ferner kann die Fernbedienung 7110 einen Anzeigeabschnitt 7107 zum Anzeigen von Daten, die von der Fernbedienung 7110 ausgegeben werden, aufweisen.

[0166] Es sei angemerkt, dass das Fernsehgerät 7100 mit einem Empfänger, einem Modem und dergleichen ausgestattet ist. Mit dem Empfänger kann eine allgemeine Fernsehsendung empfangen werden. Weiterhin kann dann, wenn das Fernsehgerät 7100 drahtgebunden oder drahtlos über das Modem mit einem Kommunikationsnetzwerk verbunden ist, eine unidirektionale (von einem Sender zu einem Empfänger) oder eine bidirektionale (zwischen einem Sender und einem Empfänger, zwischen Empfängern oder dergleichen) Datenkommunikation durchgeführt werden.

[0167] Fig. 6B zeigt einen Computer, der einen Hauptkörper 7201, ein Gehäuse 7202, einen Anzeigeabschnitt 7203, eine Tastatur 7204, einen externen Verbindungsanschluss 7205, eine Zeigevorrichtung 7206 und dergleichen beinhaltet. Es sei angemerkt, dass dieser Computer unter Verwendung der Licht emittierenden Vorrichtung für den Anzeigeabschnitt 7203 hergestellt wird.

[0168] Fig. 6C zeigt eine tragbare Spielekonsole mit zwei Gehäusen, einem Gehäuse 7301 und einem Gehäuse 7302, welche über einen Gelenkabschnitt 7303 miteinander verbunden sind, so dass die tragbare Spielekonsole geöffnet oder geschlossen werden kann. Ein Anzeigeabschnitt 7304 ist in dem Gehäuse 7301 eingebaut, und ein Anzeigeabschnitt 7305 ist in dem Gehäuse 7302 eingebaut. Außerdem beinhaltet die tragbare Spielkonsole in Fig. 6C einen Lautsprecherabschnitt 7306, einen Aufzeichnungsmedien-Einsetzabschnitt 7307, eine LED-Lampe 7308, Eingabemittel (eine Bedienungstaste 7309, einen Verbindungsanschluss 7310, einen Sensor 7311 (einen Sensor mit einer Funktion zum Messen von Kraft, Verschiebung, Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Winkelgeschwindigkeit, Drehzahl, Abstand, Licht, Flüssigkeit, Magnetismus, Temperatur, chemischer Substanz, Ton, Zeit, Härte, elektrischem Feld, Strom, Spannung, elektrischer Leistung, Strahlung, Durchflussmenge, Feuchtigkeit, Steigungsgrad, Schwingung, Geruch oder Infrarotstrahlen) und ein Mikrofon 7312) und dergleichen. Natürlich ist die Struktur der tragbaren Spielkonsole nicht auf die obige Struktur beschränkt, solange die Licht emittierende Vorrichtung für mindestens einen des Anzeigeabschnitts 7304 und des Anzeigeabschnitts 7305 verwendet wird, und die tragbare Spielkonsole kann angemessen andere Zubehörteile beinhalten. Die tragbare Spielkonsole in Fig. 6C hat eine Funktion zum Lesen eines Programms oder der Daten, das/die in einem Speichermedium gespeichert ist/sind, um es/sie auf dem Anzeigeabschnitt anzuzeigen, und eine Funktion zum Teilen einer Information mit einer anderen tragbaren Spielkonsole über drahtlose Kommunikation. Die Funktionen der tragbaren Spielkonsole in Fig. 6C sind nicht auf diese Beispiele beschränkt, und die tragbare Spielkonsole kann verschiedene Funktionen aufweisen.

[0169] Fig. 6D zeigt ein Beispiel für ein Mobiltelefon. Ein Mobiltelefon 7400 beinhaltet einen Anzeigeabschnitt 7402, der in einem Gehäuse 7401 eingebaut ist, Bedienungsknöpfe 7403, einen externen Verbindungsanschluss 7404, einen Lautsprecher 7405, ein Mikrofon 7406 und dergleichen. Es sei angemerkt, dass das Mobiltelefon 7400 unter Verwendung der Licht emittierenden Vorrichtung für den Anzeigeabschnitt 7402 hergestellt wird.

[0170] Wenn der Anzeigeabschnitt 7402 des Mobiltelefons 7400 in Fig. 6D mit einem Finger oder dergleichen berührt wird, können Daten in das Mobiltelefon 7400 eingegeben werden. Ferner können Bedienungen wie z. B. Anrufen und Schreiben einer E-Mail durch Berühren des Anzeigeabschnitts 7402 mit einem Finger oder dergleichen durchgeführt werden.

[0171] Es gibt hauptsächlich drei Bildschirmmodi für den Anzeigeabschnitt 7402. Der erste Modus ist ein Anzeigemodus, bei dem hauptsächlich Bilder angezeigt werden. Der zweite Modus ist ein Eingabemodus, bei dem hauptsächlich Daten wie z. B. ein Text eingegeben werden. Der dritte Modus ist ein Anzeige-Eingabe-Modus, bei dem zwei Modi, der Anzeigemodus und der Eingabemodus, kombiniert werden.

[0172] Beispielsweise wird im Fall von Anrufen oder Schreiben einer E-Mail ein Texteingabemodus, bei dem hauptsächlich ein Text eingegeben wird, für den Anzeigeabschnitt 7402 ausgewählt, so dass ein auf dem Bildschirm angezeigter Text eingegeben werden kann. In diesem Fall ist es bevorzugt, eine Tastatur oder Nummerknöpfe auf dem fast ganzen Bildschirm des Anzeigeabschnitts 7402 anzuzeigen.

[0173] Wenn eine Detektionsvorrichtung mit einem Sensor zum Detektieren der Neigung, wie z. B. einem Kreiselinstrument oder einem Beschleunigungssensor, innerhalb des Mobiltelefons 7400 bereitgestellt ist, kann die Anzeige auf dem Bildschirm des Anzeigeabschnitts 7402 durch Bestimmen der Ausrichtung des Mobiltelefons 7400 (ob das Mobiltelefon horizontal oder vertikal für ein Querformat oder ein Hochformat gestellt ist) automatisch umgeschaltet werden.

[0174] Die Bildschirmmodi werden durch Berühren des Anzeigeabschnitts 7402 oder Bedienen der Bedienungsknöpfe 7403 des Gehäuses 7401 umgeschaltet. Die Bildschirmmodi können auch in Abhängigkeit von der Art eines Bildes, das auf dem Anzeigeabschnitt 7402 angezeigt wird, umgeschaltet werden. Beispielsweise wird dann, wenn ein Signal für ein Bild, das auf dem Anzeigeabschnitt angezeigt wird, ein Signal für Daten eines bewegten Bildes ist, der Bildschirmmodus auf den Anzeigemodus umgeschaltet. Wenn das Signal ein Signal für Textdaten ist, wird der Bildschirmmodus auf den Eingabemodus umgeschaltet.

[0175] Außerdem kann dann, bei dem Eingabemodus, wenn Eingabe durch Berühren des Anzeigeabschnitts 7402 für einen bestimmten Zeitraum nicht durchgeführt wird, während ein Signal, das durch einen optischen Sensor in dem Anzeigeabschnitt 7402 detektiert wird, detektiert wird, der Bildschirmmodus gesteuert werden, um von dem Eingabemodus auf den Anzeigemodus umgeschaltet zu werden.

[0176] Der Anzeigeabschnitt 7402 kann als Bildsensor dienen. Beispielsweise wird ein Handflächenabdruck, ein Fingerabdruck oder dergleichen fotografiert, wenn der Anzeigeabschnitt 7402 mit der Handfläche oder dem Finger berührt wird, wodurch persönliche Authentifizierung durchgeführt werden kann. Ferner kann dann, wenn eine Hintergrundbeleuchtung oder eine Abtast-Lichtquelle, die Nahinfrarotlicht emittiert, in dem Anzeigeabschnitt bereitgestellt ist, ein Bild einer Fingervene, einer Handflächenvene oder dergleichen aufgenommen werden.

[0177] **Fig. 7A** und **Fig. 7B** zeigen einen Tablet-Computer, der zusammengeklappt werden kann. In **Fig. 7A** ist der Tablet-Computer geöffnet. Der Tablet-Computer beinhaltet ein Gehäuse 9630, einen Anzeigeabschnitt 9631a, einen Anzeigeabschnitt 9631b, einen Knopf 9034 zum Schalten der Anzeigemodi, einen Netzschalter 9035, einen Knopf 9036 zum Schalten auf einen Stromsparermodus, eine Klammer 9033 und einen Bedienungsknopf 9038. Der Tablet-Computer wird unter Verwendung der Licht emittierenden Vorrichtung für den Anzeigeabschnitt 9631a und/oder den Anzeigeabschnitt 9631b hergestellt.

[0178] Ein Teil des Anzeigeabschnitts 9631a kann ein Touchscreen-Gebiet 9632a sein, und Daten können eingegeben werden, wenn eine angezeigte Bedienungstaste 9637 berührt wird. Obwohl eine Struktur als Beispiel gezeigt ist, bei der eine Hälfte des Anzeigeabschnitts 9631a nur eine Anzeigefunktion hat und die andere Hälfte auch eine Touchscreenfunktion hat, ist der Anzeigeabschnitt 9631a nicht auf die Struktur beschränkt. Der ganze Bereich des Anzeigeabschnitts 9631a kann eine Touchscreenfunktion haben. Beispielsweise kann der Anzeigeabschnitt 9631a Tastaturknöpfe in dem ganzen Gebiet anzeigen, das ein Touchscreen sein soll, und der Anzeigeabschnitt 9631b kann als Anzeigebildschirm verwendet werden.

[0179] Wie bei dem Anzeigeabschnitt 9631a kann ein Teil des Anzeigeabschnitts 9631b ein Touchscreen-Gebiet 9632b sein. Wenn ein Knopf 9639 zum Schalten einer Tastaturanzeige, der auf dem Touchscreen angezeigt wird, mit einem Finger, einem Stift oder dergleichen berührt wird, kann eine Tastatur auf dem Anzeigeabschnitt 9631b angezeigt werden.

[0180] Berührungsempfindliche Eingabe kann an dem Touchscreen-Gebiet 9632a und dem Touchscreen-Gebiet 9632b zur gleichen Zeit durchgeführt werden.

[0181] Der Schalter 9034 zum Schalten der Anzeigemodi kann beispielsweise die Anzeige zwischen dem Hochformat, dem Querformat und dergleichen, und zwischen monochromer Anzeige und Farbanzeige schalten. Der Knopf 9036 zum Schalten auf einen Stromsparermodus kann die Anzeigeleuchtdichte entsprechend der Menge an Außenlicht, das von einem optischen Sensor in dem Tablet detektiert wird, beim Verwenden des Tablet-Computers steuern. Zusätzlich zu dem optischen Sensor kann eine weitere Detektionsvorrichtung wie z. B. ein Sensor zum Detektieren einer Neigung, so beispielsweise ein Kreiselinstrument oder ein Beschleunigungssensor, in dem Tablet-Computer eingebaut sein.

[0182] Es sei angemerkt, dass **Fig. 7A** ein Beispiel zeigt, in dem der Anzeigeabschnitt 9631a und der Anzeigeabschnitt 9631b die gleiche Anzeigefläche aufweisen. Jedoch kann ohne Beschränkung darauf einer der Anzeigeabschnitte anders sein als der andere Anzeigeabschnitt hinsichtlich der Größe und Anzeigequalität. Beispielsweise können Bilder mit höherer Auflösung auf einem der Anzeigeabschnitte 9631a und 9631 b angezeigt werden.

[0183] Der Tablet-Computer ist in **Fig. 7B** geschlossen. Der Tablet-Computer beinhaltet das Gehäuse 9630, eine Solarzelle 9633, eine Lade- und Entladesteuerschaltung 9634, eine Batterie 9635 und einen Gleichspannungswandler 9636. In **Fig. 7B** ist eine Struktur, die die Batterie 9635 und den Gleichspannungswandler 9636 beinhaltet, als Beispiel für die Lade- und Entladesteuerschaltung 9634 gezeigt.

[0184] Da der Tablet-Computer zusammengeklappt werden kann, kann das Gehäuse 9630 geschlossen werden, wenn er nicht verwendet wird. Somit können der Anzeigeabschnitt 9631a und der Anzeigeabschnitt 9631b geschützt werden. Daher kann ein Tablet-Computer, der hohe Haltbarkeit und hohe Zuverlässigkeit hinsichtlich der Langzeitverwendung aufweist, bereitgestellt werden.

[0185] Der Tablet-Computer in **Fig. 7A** und **Fig. 7B** kann zusätzlich eine Funktion zum Anzeigen verschiedener Arten von Daten (z. B. eines Standbildes, eines bewegten Bildes und eines Textbildes), eine Funktion zum Anzeigen eines Kalenders, eines Datums, der Zeit oder dergleichen auf dem Anzeigeabschnitt, eine berührungsempfindliche Eingabefunktion zum Bedienen oder Bearbeiten der Daten durch Berührungseingabe, die auf dem Anzeigeabschnitt angezeigt werden, eine Funktion zum Steuern der Verarbeitung mittels verschiedener Arten von Software (Programmen) und dergleichen aufweisen.

[0186] Die Solarzelle 9633 an einer Oberfläche des Tablet-Computers kann dem Touchscreen, dem Anzeigeabschnitt, einem Bildsignalverarbeitungsabschnitt oder dergleichen Leistung zuführen. Es sei angemerkt, dass die Solarzelle 9633 an einer oder beiden Oberflächen des Gehäuses 9630 angeordnet sein kann, um die Batterie 9635, die Leistung zuführt, aufzuladen, was bevorzugt ist. Die Verwendung einer Lithiumionenbatterie als die Batterie 9635 ist vorteilhaft, weil die Größe verringert wird und so weiter.

[0187] Die Struktur und der Betrieb der Lade- und Entladesteuerschaltung 9634, die in **Fig. 7B** gezeigt ist, werden in Bezug auf ein Blockdiagramm in **Fig. 7C** beschrieben. Die Solarzelle 9633, die Batterie 9635, der Gleichspannungswandler 9636, ein Wandler 9638, Schalter SW1 bis SW3 und der Anzeigeabschnitt 9631 sind in **Fig. 7C** gezeigt, und die Batterie 9635, der Gleichspannungswandler 9636, der Wandler 9638 und die Schalter SW1 bis SW3 entsprechen der Lade- und Entladesteuerschaltung 9634, die in **Fig. 7B** gezeigt ist.

[0188] Zuerst wird ein Beispiel für den Betrieb in dem Fall, in dem Strom bzw. Leistung von der Solarzelle 9633 unter Verwendung von Außenlicht erzeugt wird, beschrieben. Die Spannung der von der Solarzelle 9633 erzeugten Leistung wird durch den Gleichspannungswandler 9636 erhöht oder verringert, so dass die Leistung eine zum Aufladen der Batterie 9635 benötigte Spannung aufweist. Wenn die Leistung von der Solarzelle 9633 für den Betrieb des Anzeigeabschnitts 9631 verwendet wird, wird dann der Schalter SW1 eingeschaltet, und die Spannung der Leistung wird durch den Wandler 9638 erhöht oder verringert, so dass sie zu einer Spannung, die für den Anzeigeabschnitt 9631 erforderlich ist, wird. Ferner wird dann, wenn keine Anzeige auf dem Anzeigeabschnitt 9631 erfolgt, der Schalter SW1 ausgeschaltet, und der Schalter SW2 wird eingeschaltet, so dass ein Aufladen der Batterie 9635 durchgeführt werden kann.

[0189] Es sei angemerkt, dass die Solarzelle 9633 als Beispiel für ein Mittel zur Leistungserzeugung beschrieben worden ist; die Batterie 9635 kann jedoch ohne Beschränkung darauf auch mittels eines anderen Mittels zur Leistungserzeugung, wie z. B. eines piezoelektrischen Elements oder eines thermoelektrischen Wandlerelements (Peltier-Elements), aufgeladen werden. Die Batterie 9635 kann beispielsweise mittels eines kontaktfreien Leistungsübertragungsmoduls, das durch drahtloses (kontaktloses) Übertragen und Empfangen der Leistung die Batterie aufladen kann, oder mittels eines anderen Lademittels in Kombination aufgeladen werden.

[0190] Es ist unnötig zu erwähnen, dass eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung nicht auf das elektronische Gerät in **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** beschränkt ist, solange der Anzeigeabschnitt, der bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, enthalten ist.

[0191] Wie oben beschrieben worden ist, können die elektronischen Geräte durch die Verwendung der Licht emittierenden Vorrichtung erhalten werden. Die Licht emittierende Vorrichtung hat einen sehr großen Einsatzbereich und kann auf elektronische Geräte auf verschiedenen Feldern angewendet werden.

[0192] Es sei angemerkt, dass die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden kann.

(Ausführungsform 8)

[0193] Bei dieser Ausführungsform werden anhand von **Fig. 8** Beispiele für eine Beleuchtungsvorrichtung beschrieben, auf die eine Licht emittierende Vorrichtung enthaltend den metallorganischen Komplex nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung angewendet wird.

[0194] **Fig. 8** zeigt ein Beispiel, in dem die Licht emittierende Vorrichtung als eine Raumbeleuchtungsvorrichtung 8001 verwendet wird. Da die Licht emittierende Vorrichtung eine große Fläche haben kann, kann sie für eine Beleuchtungsvorrichtung mit einer großen Fläche verwendet werden. Zudem kann auch eine Beleuchtungsvorrichtung 8002, bei der ein Licht emittierender Bereich eine gekrümmte Oberfläche aufweist, unter Verwendung eines Gehäuses mit einer gekrümmten Oberfläche erhalten werden. Ein Licht emittierendes Element in der Licht emittierenden Vorrichtung, die bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, ist in Form

eines dünnen Films, was ermöglicht, dass das Gehäuse freier konstruiert wird. Folglich kann die Beleuchtungsanordnung in verschiedenen Arten kunstvoll konstruiert werden. Darüber hinaus kann eine Wand des Zimmers mit einer großen Beleuchtungsanordnung 8003 versehen sein.

[0195] Außerdem kann dann, wenn die Licht emittierende Vorrichtung für einen Tisch verwendet wird, indem sie als Oberfläche des Tisches verwendet wird, eine Beleuchtungsanordnung 8004 mit einer Funktion als Tisch erhalten werden. Wenn die Licht emittierende Vorrichtung als Teil anderer Möbel verwendet wird, wird eine Beleuchtungsanordnung mit einer Funktion als die Möbel erhalten.

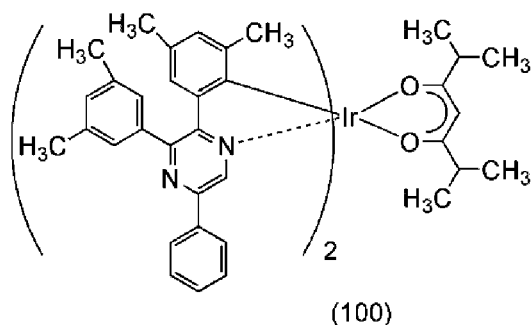
[0196] Auf diese Weise können verschiedene Beleuchtungsanordnungen erhalten werden, auf die die Licht emittierende Vorrichtung angewendet wird. Es sei angemerkt, dass solche Beleuchtungsanordnungen ebenfalls Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind.

[0197] Es sei angemerkt, dass die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden kann.

[Beispiel 1]

((Synthesebeispiel 1))

[0198] In diesem Beispiel wird ein Syntheseverfahren von Bis{4,6-dimethyl-2-[3-(3,5-dimethylphenyl)-5-phenyl-2-pyrazinyl-κN]phenyl-κC}(2,6-dimethyl-3,5-heptandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmdppr-P)₂(dibm)]), welches durch die Strukturformel (100) bei der Ausführungsform 1 dargestellt wird, beschrieben. Die Struktur von [Ir(dmdppr-P)₂(dibm)] (Abkürzung) ist im Folgenden gezeigt.



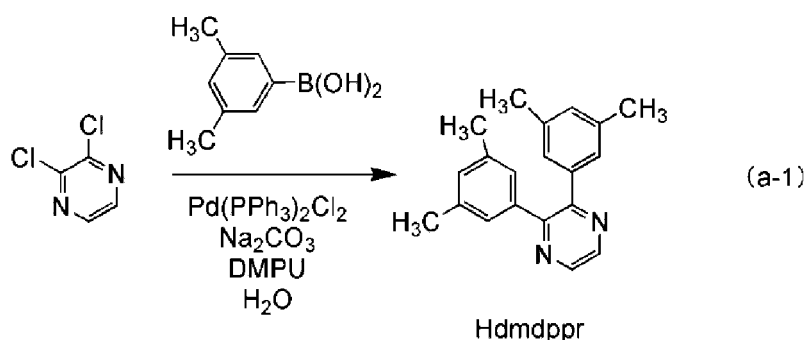
(100)
[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)]

(Schritt 1: Herstellung von 2,3-Bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin (Abkürzung: Hdmdppr))

[0199] Zunächst wurden 5,00 g 2,3-Dichlorpyrazin, 10,23 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 7,19 g Natriumcarbonat, 0,29 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid (Pd(PPh₃)₂Cl₂), 20 ml Wasser und 20 ml Acetonitril in einen Rundkolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 60 Minuten lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Hier wurden weiter 2,55 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 1,80 g Natriumcarbonat, 0,070 g Pd(PPh₃)₂Cl₂, 5 ml Wasser und 5 ml Acetonitril in den Kolben gegeben, und eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) wurde erneut 60 Minuten lang durchgeführt, so dass eine Erwärmung durchgeführt wurde.

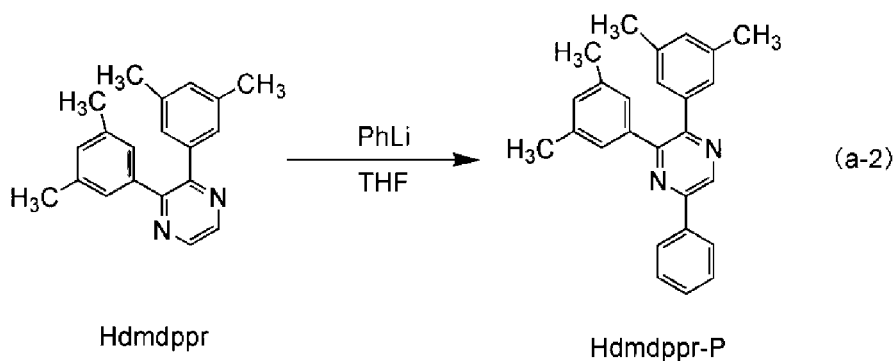
[0200] Anschließend wurde dieser Lösung Wasser zugegeben, und es wurde die organische Schicht mit Dichlormethan extrahiert. Die gewonnene organische Schicht wurde mit einer gesättigten, wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat, Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Hexan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 5:1 gereinigt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Feststoff wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Dichlormethan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Volumenverhältnis von 10:1 gereinigt, so dass Hdmdppr (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrazin-Derivat war, als weißes Pulver in einer Ausbeute von 44 % gewonnen wurde. Es sei angemerkt, dass die Bestrahlung mit Mikrowellen unter Verwendung eines Mikrowellen-Synthese-Systems (Disco-

ver, hergestellt von CEM Corporation) durchgeführt wurde. Ein Syntheschema von Schritt 1 ist in (a-1) gezeigt.



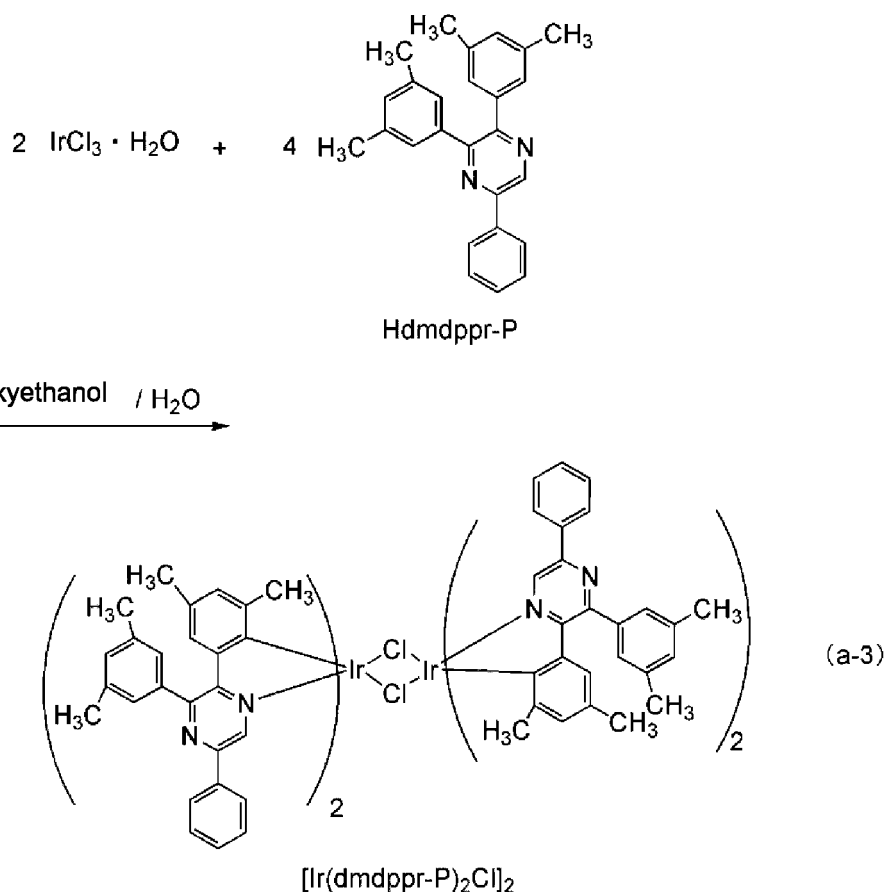
⟨Schritt 2: Herstellung von 2,3-Bis(3,5-dimethylphenyl)-5-phenylpyrazin (Abkürzung: Hdmdppr-P)⟩

[0201] Zunächst wurden 4,28 g Hdmdppr (Abkürzung), welches in Schritt 1 gewonnen worden war, und 80 ml trockenes THF in einen Dreihalskolben gegeben, und die Luft in dem Kolben wurde durch Stickstoff ersetzt. Nachdem der Kolben mit Eis abgekühlt worden war, wurde 9,5 ml Phenyllithium (1,9M-Lösung von Phenyllithium in Butylether) tropfenweise zugegeben, und die Mischung wurde 23,5 Stunden lang bei Raumtemperatur gerührt. Die Reaktionslösung wurde ins Wasser gegossen, und die Lösung wurde mit Chloroform extrahiert. Die gewonnene organische Schicht wurde mit Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Manganoxid wurde der gewonnenen Mischung zugegeben, und die Mischung wurde 30 Minuten lang gerührt. Dann wurde die Lösung gefiltert, und das Lösungsmittel wurde abdestilliert. Der gewonnene Rückstand wurde durch Kieselgel-Säulenchromatographie mit Dichlormethan als Fließmittel gereinigt, so dass Hdmdppr-P (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrazin-Derivat war, als orange Öl in einer Ausbeute von 26 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 2 ist in (a-2) gezeigt.



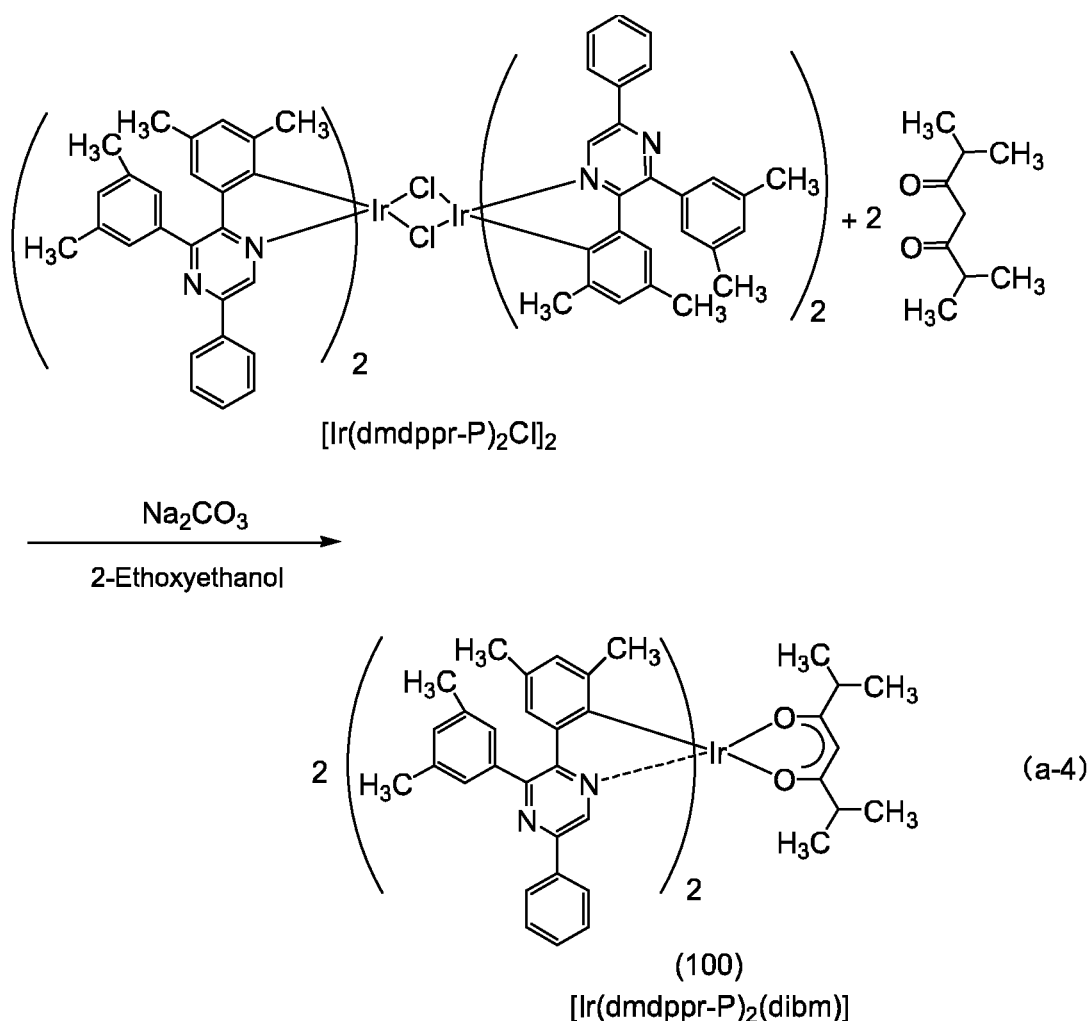
⟨Schritt 3: Herstellung von Di-μ-chlor-tetrakis{4,6-dimethyl-2-[3-(3,5-dimethylphenyl)-5-phenyl-2-pyrazinyl-κN]phenyl-κC}diiridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmdppr-P)₂Cl]₂)⟩

[0202] Anschließend wurden 15 ml 2-Ethoxyethanol, 5 ml Wasser, 1,40 g Hdmdppr-P (Abkürzung), welches in Schritt 2 gewonnen worden war, und 0,51 g Iridiumchloridhydrat (IrCl₃·H₂O) (hergestellt von Sigma-Aldrich Corporation) in einen Rundkolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Danach wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde anschließend einer Saugfiltration unterzogen und mit Ethanol gewaschen, um [Ir(dmdppr-P)₂Cl]₂ (Abkürzung), welches ein zweikerniger Komplex war, als rötlichbraunes Pulver in einer Ausbeute von 58 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 3 ist in (a-3) gezeigt.



(Schritt 4: Herstellung von Bis{4,6-dimethyl-2-[3-(3,5-dimethylphenyl)-5-phenyl-2-pyrazinyl-κN]phenyl-κC}{2,6-dimethyl-3,5-heptandionato-κ²O,O'}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmdppr-P)₂(dibm)]))

[0203] Darüber hinaus wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 0,94 g [Ir(dmdppr-P)₂Cl]₂, welches der in Schritt 3 gewonnene zweikernige Komplex ist, 0,23 g Diisobutylmethan (Abkürzung: Hdibm) und 0,52 g Natriumcarbonat in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde 60 Minuten lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 120 W) durchgeführt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde einer Saugfiltration mit Ethanol unterzogen. Der gewonnene Feststoff wurde mit Wasser und Ethanol gewaschen, und eine Umkristallisation wurde mit einer Lösungsmittelmischung aus Dichlormethan und Ethanol durchgeführt, so dass [Ir(dmdppr-P)₂(dibm)] (Abkürzung) als dunkelrotes Pulver in einer Ausbeute von 75 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 4 ist in (a-4) gezeigt.



[0204] Ein Analyseergebnis durch Kernspinresonanzspektroskopie ($^1\text{H-NMR}$) an dem durch das oben beschriebene Syntheseverfahren gewonnenen dunkelroten Pulver wird im Folgenden beschrieben. **Fig. 9** zeigt das $^1\text{H-NMR}$ -Diagramm. Diese Ergebnisse zeigen, dass $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (100) dargestellt wird, in dem Synthesebeispiel 1 gewonnen wurde.

[0205] $^1\text{H-NMR}$. $\delta(\text{CDCl}_3)$: 0,79 (d, 6H), 0,96 (d, 6H), 1,41 (s, 6H), 1,96 (s, 6H), 2,24-2,28 (m, 2H), 2,41 (s, 12H), 5,08 (s, 1H), 6,46 (s, 2H), 6,82 (s, 2H), 7,18 (s, 2H), 7,39-7,50 (m, 10H), 8,03 (d, 4H), 8,76 (s, 2H).

[0206] Dann wurden ein UV-VIS-Absorptionsspektrum (im Folgenden der Einfachheit halber als „Absorptionsspektrum“ bezeichnet) einer Dichlormethanolösung von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) und ein Emissionsspektrum davon gemessen. Die Messung des Absorptionsspektrums wurde bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein UV-VIS-Spektrophotometer (V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) verwendet wurde und wobei die Dichlormethanolösung (0,062 mmol/l) in eine Quarzzelle gegeben wurde. Zudem wurde die Messung des Emissionsspektrums bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K.K.) verwendet wurde und wobei die entgaste Dichlormethanolösung (0,010 mmol/l) in eine Quarzzelle gegeben wurde. Messergebnisse der erhaltenen Absorptions- und Emissionsspektren sind in **Fig. 10** gezeigt, wobei die horizontale Achse der Wellenlänge entspricht und die vertikalen Achsen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität entsprechen. In **Fig. 10** sind zwei durchgezogene Linien gezeigt; die dünne Linie entspricht dem Absorptionsspektrum und die dicke Linie entspricht dem Emissionsspektrum. Es sei angemerkt, dass das Absorptionsspektrum in **Fig. 10** die Ergebnisse ist, die dadurch erhalten wurden, dass das Absorptionsspektrum von nur Dichlormethan in einer Quarzzelle von dem Absorptionsspektrum der Dichlormethanolösung (0,062 mmol/l) in einer Quarzzelle subtrahiert wurde.

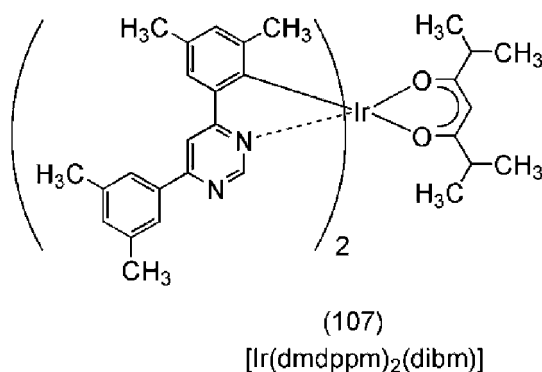
[0207] Wie in **Fig. 10** gezeigt, weist $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) einen Emissionspeak bei ca. 640 nm auf, und es wurde eine rötlichorange Lichtemission aus der Dichlormethanolösung beobachtet.

[0208] Außerdem wurde der Prozentsatz des Gewichtsverlusts (weight loss percentage) von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) durch eine Hochvakuum-Differentialthermoanalyse (high vacuum differential type differential thermal balance) (TG/DTA 2410SA, hergestellt von Bruker AXS K.K.) gemessen. Die Temperatur wurde mit einer Rate von 10 °C/Min. unter einem Vakuumgrad von 1×10^{-3} Pa erhöht. Als Ergebnis wurde gefunden, dass der Prozentsatz des Gewichtsverlusts von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) 100 % war, wie in **Fig. 37** gezeigt, was auf eine vorteilhafte Sublimationseigenschaft des metallorganischen Komplexes hindeutete. Als Vergleichsbeispiel ist der Prozentsatz des Gewichtsverlusts einer Verbindung A gezeigt, in der Methylgruppen nicht an die Position-3 und die Position-5 gebunden sind. Ein Vergleich mit einem Prozentsatz des Gewichtsverlusts von 78 % der Verbindung A zeigte, dass der metallorganische Komplex eine verbesserte Sublimationseigenschaft hat, da er die Methylgruppen in der Position-3 und der Position-5 aufweist.

[Beispiel 2]

«Synthesebeispiel 2»

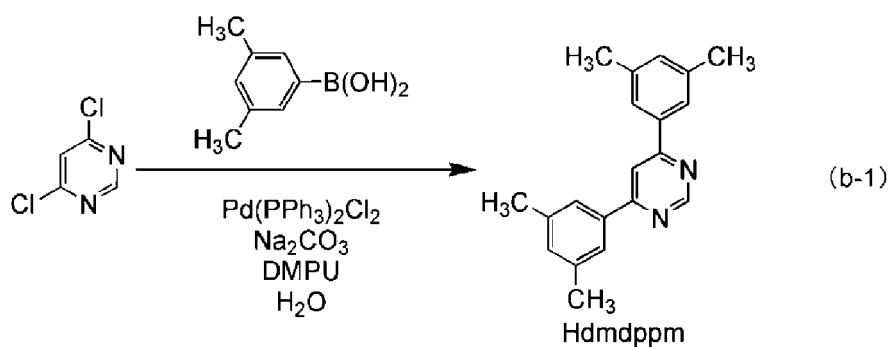
[0209] In diesem Beispiel wird ein Syntheseverfahren von Bis{2-[6-(3,5-dimethylphenyl)-4-pyrimidinyl- κN3]-4,6-dimethylphenyl- κC }(2,6-dimethyl-3,5-heptandionato- $\kappa^2\text{O},\text{O}'$)iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dibm})]$), welches durch die Strukturformel (107) bei der Ausführungsform 1 dargestellt wird, beschrieben. Die Struktur von $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) ist im Folgenden gezeigt.



(Schritt 1: Herstellung von 4,6-Bis(3,5-dimethylphenyl)pyrimidin (Abkürzung: Hdmdppm))

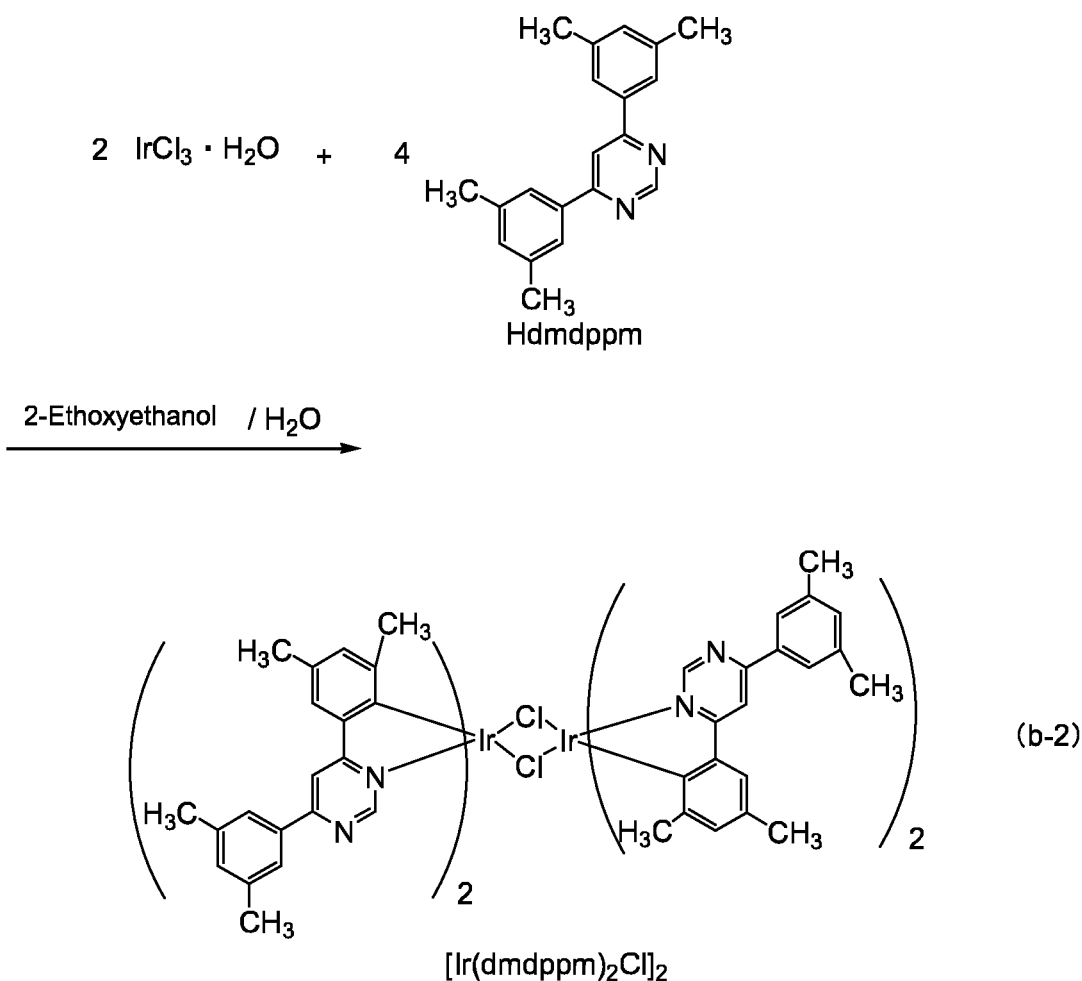
[0210] Zunächst wurden 5,97 g 4,6-Dichlorpyrimidin, 12,04 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 8,48 g Natriumcarbonat, 0,34 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$), 20 ml Wasser und 20 ml 1,3-Dimethyl-3,4,5,6-tetrahydro-2(1H)pyrimidinon (Abkürzung: DMPU) in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 60 Minuten lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Hier wurden weiter 2,58 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 1,78 g Natriumcarbonat, 0,070 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$, 5 ml Wasser und 5 ml DMPU in den Kolben gegeben, und eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) wurde erneut 60 Minuten lang durchgeführt, so dass eine Erwärmung durchgeführt wurde.

[0211] Der gewonnene Rückstand wurde anschließend einer Saugfiltration mit Wasser unterzogen und mit Wasser und Ethanol gewaschen. Der gewonnene Rückstand wurde in Dichlormethan aufgelöst, durch eine Filterhilfe gefiltert, bei der Celite, Aluminiumoxid und Celite in dieser Reihenfolge gestapelt waren, und dann mit Ethanol gewaschen, so dass Hdmdppm, welches das herzustellende Pyrimidin-Derivat war, als weißes Pulver in einer Ausbeute von 56 % gewonnen wurde. Es sei angemerkt, dass die Bestrahlung mit Mikrowellen unter Verwendung eines Mikrowellen-Synthese-Systems (Discover, hergestellt von CEM Corporation) durchgeführt wurde. Ein Syntheschema von Schritt 1 ist in (b-1) gezeigt.



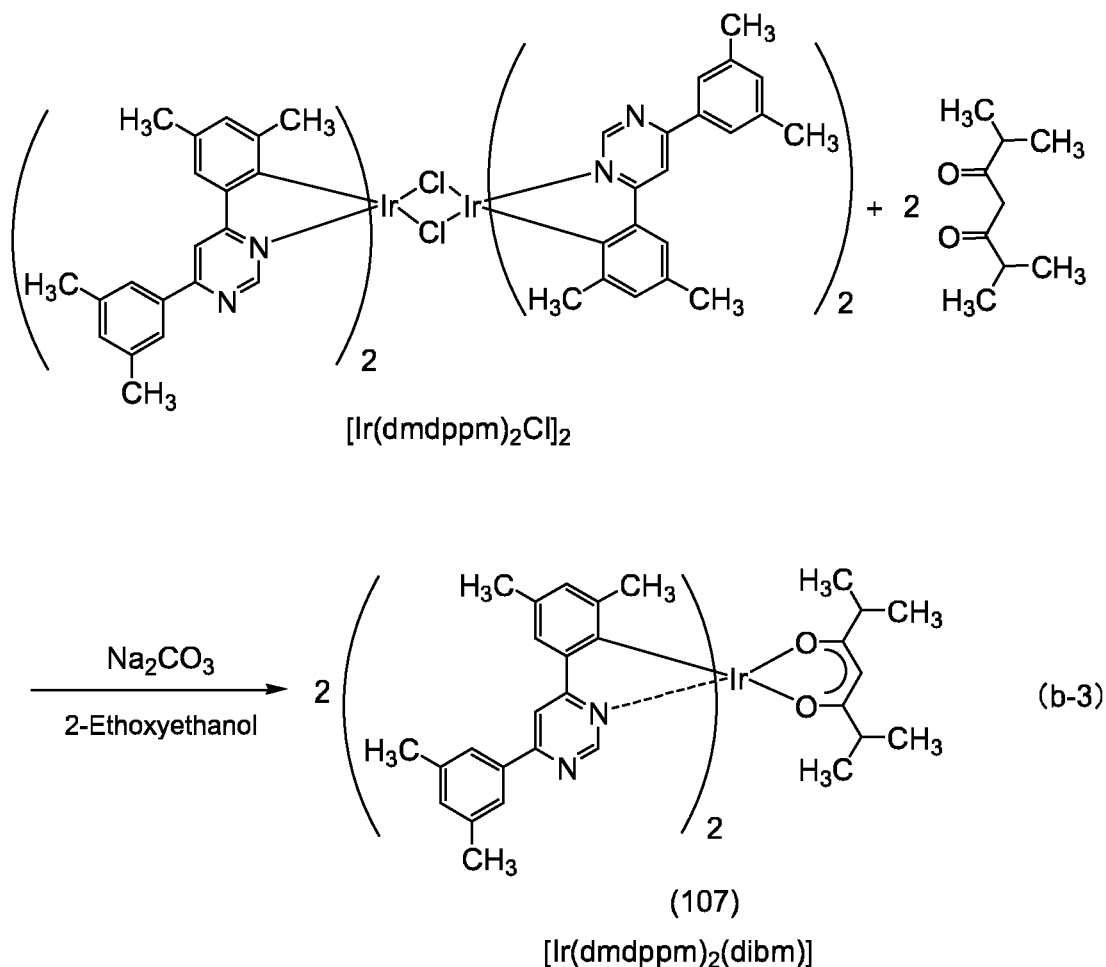
⟨Schritt 2: Herstellung von Di- μ -chlor-tetrakis{2-[6-(3,5-dimethylphenyl)-4-pyrimidinyl- κ N3]-4,6-dimethylphenyl- κ C}diiridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2\text{Cl}]_2$)⟩

[0212] Anschließend wurden 15 ml 2-Ethoxyethanol, 5 ml Wasser, 2,10 g Hdmdppm (Abkürzung), welches in Schritt 1 gewonnen worden war, und 1,07 g Iridiumchloridhydrat ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (hergestellt von Sigma-Aldrich Corporation) in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und dann wurde der gewonnene Rückstand einer Saugfiltration unterzogen und mit Ethanol gewaschen, um $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches ein zweikerniger Komplex ist, als rötlichbraunes Pulver in einer Ausbeute von 74 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 2 ist in (b-2) gezeigt.



(Schritt 3: Herstellung von Bis{2-[6-(3,5-dimethylphenyl)-4-pyrimidinyl-κN3]-4,6-dimethylphenyl-κC}(2,6-dimethyl-3,5-heptandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmdppm)₂(dibm)]))

[0213] Darüber hinaus wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 1,09 g [Ir(dmdppm)₂Cl]₂ (Abkürzung), welches der in Schritt 2 gewonnene zweikernige Komplex ist, 0,32 g Diisobutylmethan (Abkürzung: Hdibm) und 0,72 g Natriumcarbonat in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde 60 Minuten lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 120 W) durchgeführt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde einer Saugfiltration mit Ethanol unterzogen. Der gewonnene Feststoff wurde mit Wasser und Ethanol gewaschen, und eine Umkristallisation wurde mit einer Lösungsmittelmischung aus Dichlormethan und Ethanol durchgeführt, so dass [Ir(dmdppm)₂(dibm)] (Abkürzung) als rotes Pulver in einer Ausbeute von 62 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 3 ist in (b-3) gezeigt.



[0214] Ein Analyseergebnis durch Kernspinresonanzspektroskopie (¹H-NMR) an dem durch das oben beschriebene Syntheseverfahren gewonnenen roten Pulver wird im Folgenden beschrieben. **Fig. 11** zeigt das ¹H-NMR-Diagramm. Diese Ergebnisse zeigten, dass [Ir(dmdppm)₂(dibm)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (107) dargestellt wird, in dem Synthesebeispiel 2 gewonnen wurde.

[0215] ¹H-NMR. δ(CDCl₃): 0,69 (d, 6H), 0,82 (d, 6H), 1,51 (s, 6H), 2,17-2,23 (m, 2H), 2,31 (s, 6H), 2,45 (s, 12H), 5,19 (s, 1H), 6,61 (s, 2H), 7,17 (s, 2H), 7,56 (s, 2H), 7,82 (s, 4H), 8,11 (d, 2H), 8,88 (d, 2H).

[0216] Dann wurden ein UV-VIS-Absorptionsspektrum (im Folgenden der Einfachheit halber als „Absorptionsspektrum“ bezeichnet) einer Dichlormethanolösung von [Ir(dmdppm)₂(dibm)] (Abkürzung) und ein Emissionsspektrum davon gemessen. Die Messung des Absorptionsspektrums wurde bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein UV-VIS-Spektrophotometer (V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) verwendet wurde und wobei die Dichlormethanolösung (0,072 mmol/l) in eine Quarzelle gegeben wurde. Zudem wurde die Messung des Emissionsspektrums bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K.K.) verwendet wurde und wobei

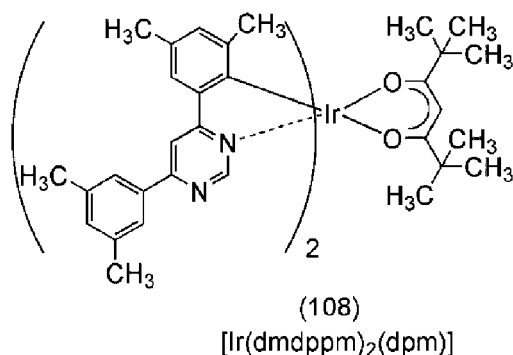
die entgaste Dichlormethanolösung (0,072 mmol/l) in eine Quarzzone gegeben wurde. Messergebnisse der erhaltenen Absorptions- und Emissionsspektren sind in **Fig. 12** gezeigt, wobei die horizontale Achse der Wellenlänge entspricht und die vertikalen Achsen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität entsprechen. In **Fig. 12** sind zwei durchgezogene Linien gezeigt; die dünne Linie entspricht dem Absorptionsspektrum und die dicke Linie entspricht dem Emissionsspektrum. Es sei angemerkt, dass das Absorptionsspektrum in **Fig. 12** die Ergebnisse ist, die dadurch erhalten wurden, dass das Absorptionsspektrum von nur Dichlormethanol in einer Quarzzone von dem Absorptionsspektrum der Dichlormethanolösung (0,072 mmol/l) in einer Quarzzone subtrahiert wurde.

[0217] Wie in **Fig. 12** gezeigt, weist $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) einen Emissionspeak bei ca. 609 nm auf, und es wurde eine rötlichorange Lichtemission aus der Dichlormethanolösung beobachtet.

[Beispiel 3]

«Synthesebeispiel 3»

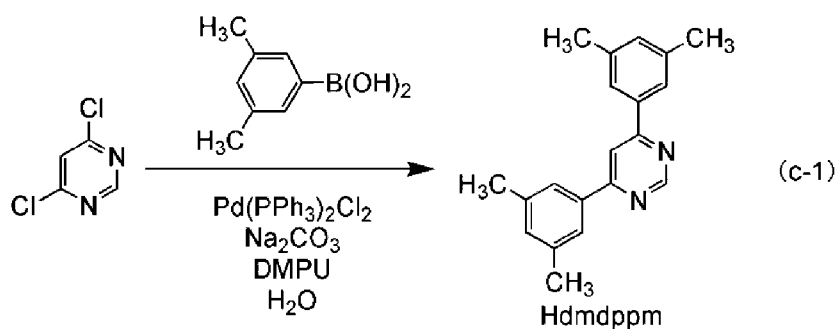
[0218] In diesem Beispiel wird ein Syntheseverfahren von Bis{2-[6-(3,5-dimethylphenyl)-4-pyrimidinyl- $\kappa\text{N}3$]-4,6-dimethylphenyl- κC }(2,2',6,6'-tetramethyl-3,5-heptandionato- $\kappa^2\text{O},\text{O}'$)iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dpm})]$), welches durch die Strukturformel (108) bei der Ausführungsform 1 dargestellt wird, beschrieben. Die Struktur von $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dpm})]$ (Abkürzung) ist im Folgenden gezeigt.



(Schritt 1: Herstellung von 4,6-Bis(3,5-dimethylphenyl)pyrimidin (Abkürzung: Hdmdppm))

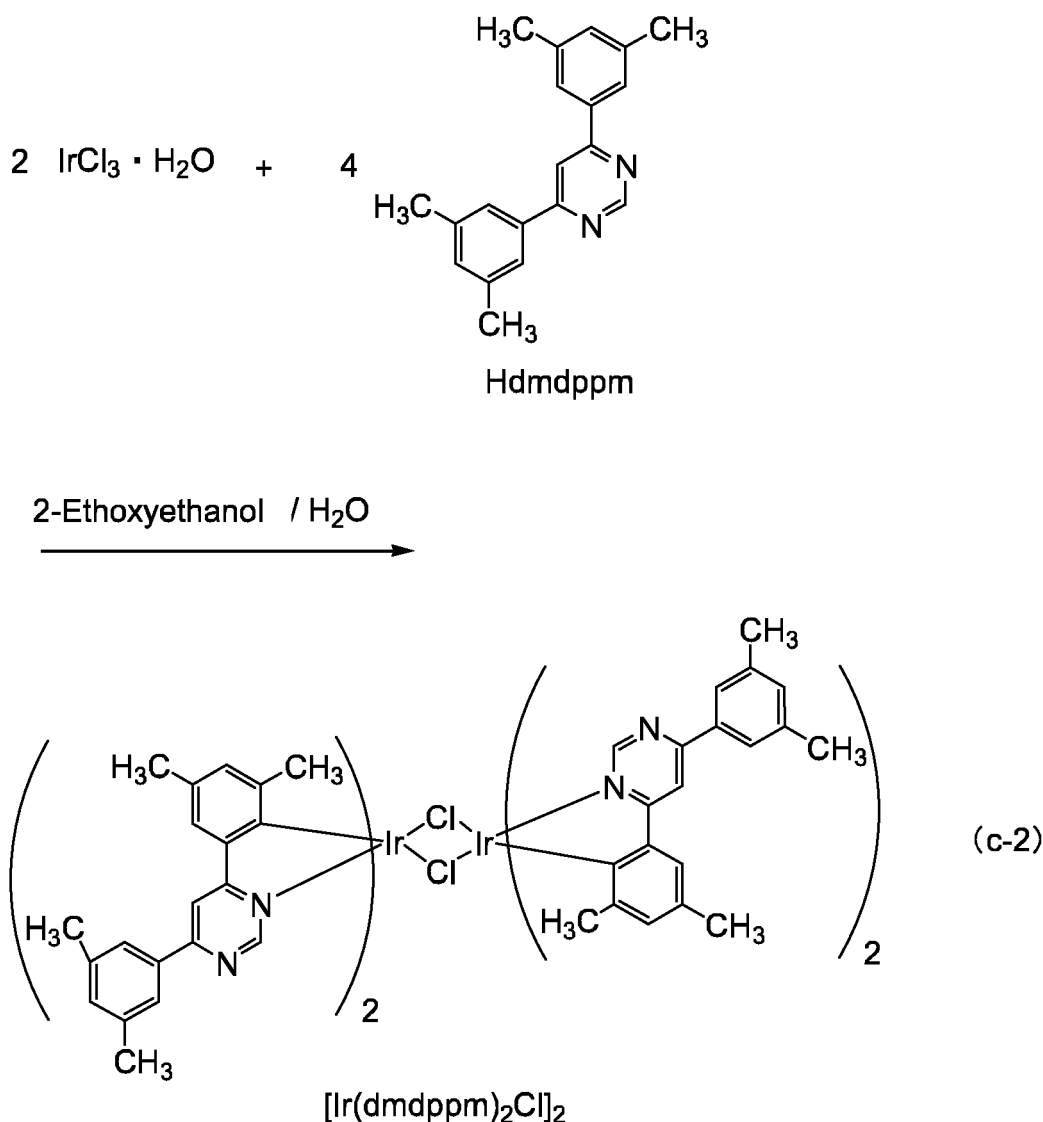
[0219] Zunächst wurden 5,97 g 4,6-Dichlorpyrimidin, 12,04 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 8,48 g Natriumcarbonat, 0,34 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$), 20 ml Wasser und 20 ml 1,3-Dimethyl-3,4,5,6-tetrahydro-2(1H)pyrimidinon (Abkürzung: DMPU) in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 60 Minuten lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Hier wurden weiter 2,58 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 1,78 g Natriumcarbonat, 0,070 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$, 5 ml Wasser und 5 ml DMPU in den Kolben gegeben, und eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) wurde erneut 60 Minuten lang durchgeführt, so dass eine Erwärmung durchgeführt wurde.

[0220] Anschließend wurde der gewonnene Rückstand einer Saugfiltration mit Wasser unterzogen und mit Wasser und Ethanol gewaschen. Der gewonnene Feststoff wurde in Dichlormethanol aufgelöst, durch eine Filterhilfe gefiltert, bei der Celite, Aluminiumoxid und Celite in dieser Reihenfolge gestapelt waren, und dann mit Ethanol gewaschen, so dass Hdmdppm (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrimidin-Derivat war, als weißes Pulver in einer Ausbeute von 56 % gewonnen wurde. Es sei angemerkt, dass die Bestrahlung mit Mikrowellen unter Verwendung eines Mikrowellen-Synthese-Systems (Discover, hergestellt von CEM Corporation) durchgeführt wurde. Ein Syntheschema von Schritt 1 ist in (c-1) gezeigt.



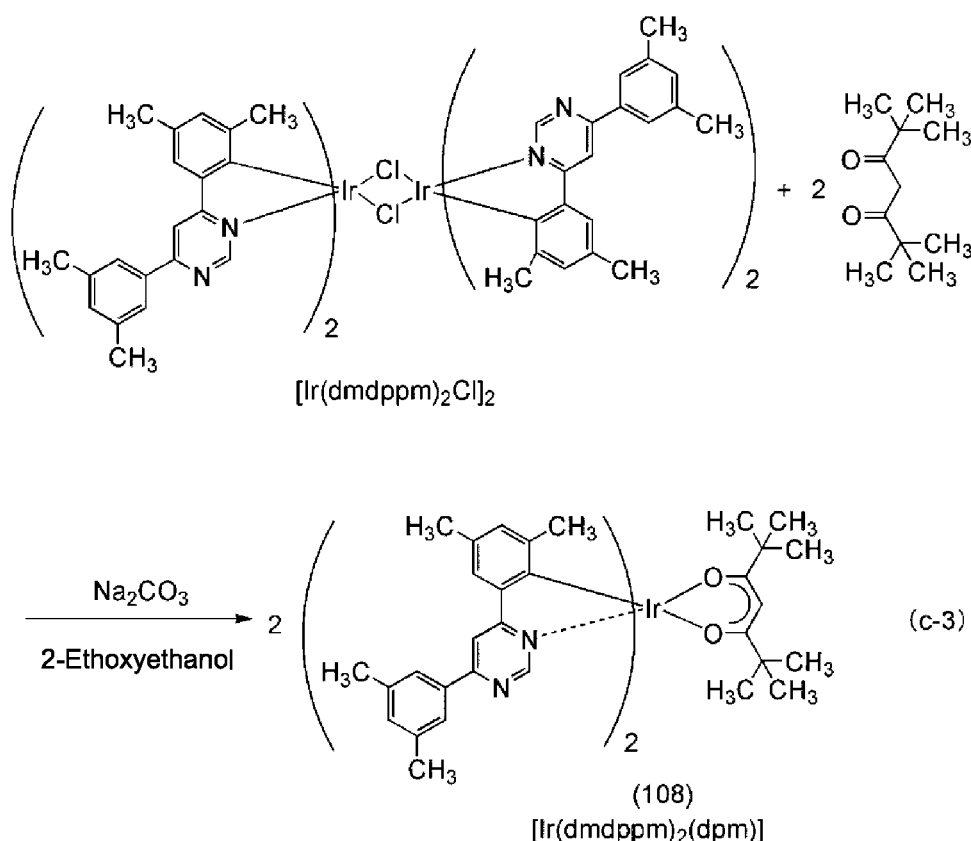
⟨Schritt 2: Herstellung von Di-μ-chlor-tetrakis{2-[6-(3,5-dimethylphenyl)-4-pyrimidinyl-κN3]-4,6-dimethylphenyl-κC}diiridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2\text{Cl}]_2$)⟩

[0221] Anschließend wurden 15 ml 2-Ethoxyethanol, 5 ml Wasser, 2,10 g Hdmdppm (Abkürzung), welches in Schritt 1 gewonnen worden war, und 1,07 g Iridiumchloridhydrat ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (hergestellt von Sigma-Aldrich Corporation) in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Danach wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und anschließend wurde der gewonnene Rückstand einer Saugfiltration unterzogen und mit Ethanol gewaschen, um $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches ein zweikerniger Komplex ist, als rötlichbraunes Pulver in einer Ausbeute von 74 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 2 ist in (c-2) gezeigt.



⟨Schritt 3: Herstellung von Bis{2-[6-(3,5-dimethylphenyl)-4-pyrimidinyl-κN3]-4,6-dimethylphenyl-κC}{2,2',6,6'-tetramethyl-3,5-heptandionato-κ²O,O'}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmdppm)₂(dpm)]⟩

[0222] Darüber hinaus wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 1,08 g [Ir(dmdppm)₂Cl]₂ (Abkürzung), welches der in Schritt 2 gewonnene zweikernige Komplex ist, 0,37 g Dipivaloylmethan (Abkürzung: Hdpm) und 0,71 g Natriumcarbonat in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde 60 Minuten lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 120 W) durchgeführt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde einer Saugfiltration mit Ethanol unterzogen. Der gewonnene Feststoff wurde mit Wasser und Ethanol gewaschen. Der gewonnene Feststoff wurde in Dichlormethan aufgelöst und durch eine Filterhilfe gefiltert, bei der Celite, Aluminiumoxid und Celite in dieser Reihenfolge gestapelt waren. Dann wurde eine Umkristallisation mit einer Lösungsmittelmischung aus Dichlormethan und Ethanol durchgeführt; somit wurde [Ir(dmdppm)₂(dpm)] (Abkürzung) als rotes Pulver in einer Ausbeute von 21 % gewonnen. Ein Syntheschema von Schritt 3 ist in (c-3) gezeigt.



[0223] Ein Analyseergebnis durch Kernspinresonanzspektroskopie (¹H-NMR) an dem durch das oben beschriebene Syntheseverfahren gewonnenen roten Pulver wird im Folgenden beschrieben. **Fig. 13** zeigt das ¹H-NMR-Diagramm. Diese Ergebnisse zeigten, dass [Ir(dmdppm)₂(dpm)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (108) dargestellt wird, in dem Synthesebeispiel 3 gewonnen wurde.

[0224] ¹H-NMR. δ(CDCl₃): 0,84 (s, 18H), 1,51 (s, 6H), 2,31 (s, 6H), 2,45 (s, 12H), 5,52 (s, 1H), 6,60 (s, 2H), 7,17 (s, 2H), 7,55 (s, 2H), 7,81 (s, 4H), 8,10 (s, 2H), 8,84 (d, 2H).

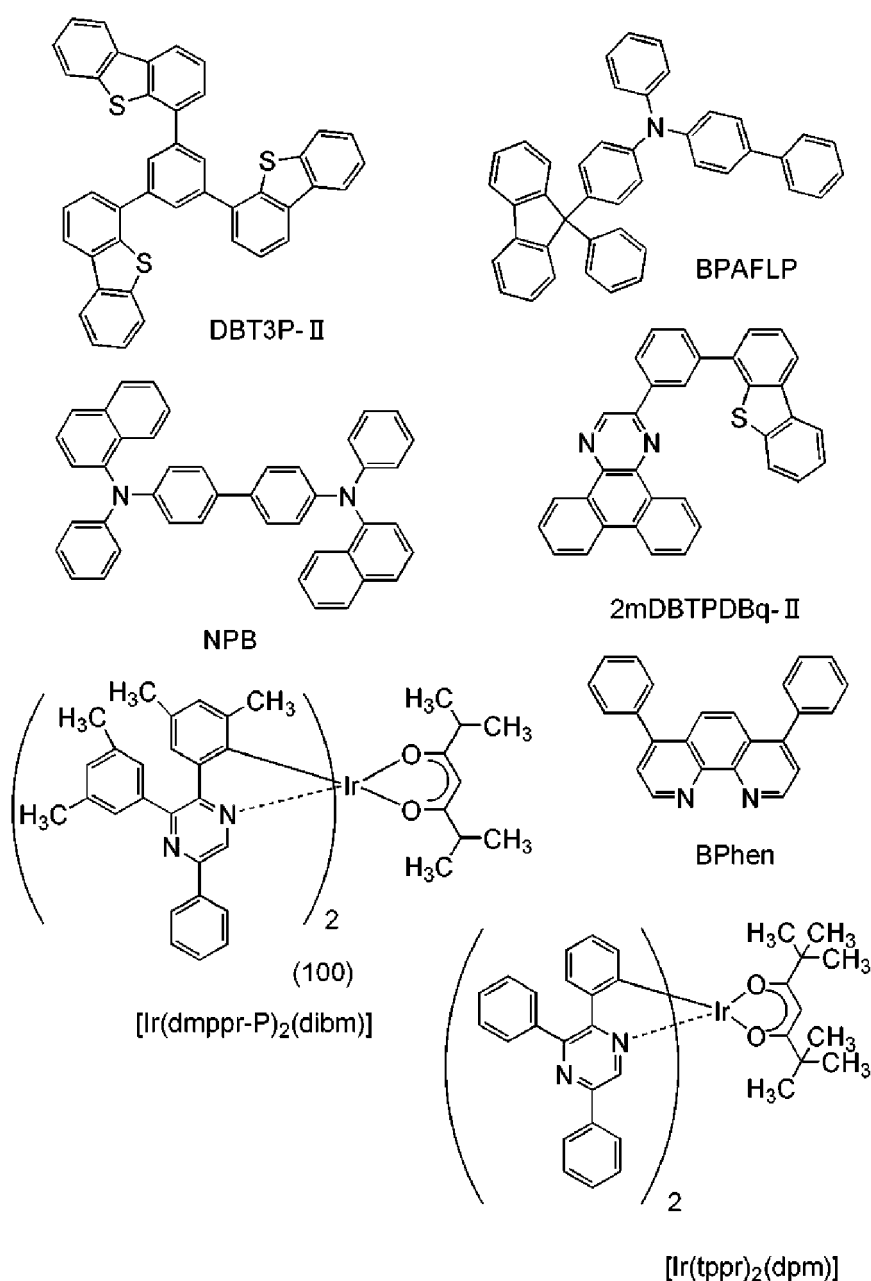
[0225] Dann wurden ein UV-VIS-Absorptionsspektrum (im Folgenden der Einfachheit halber als „Absorptionsspektrum“ bezeichnet) einer Dichlormethanolösung von [Ir(dmdppm)₂(dpm)] (Abkürzung) und ein Emissionsspektrum davon gemessen. Die Messung des Absorptionsspektrums wurde bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein UV-VIS-Spektrophotometer (V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) verwendet wurde und wobei die Dichlormethanolösung (0,070 mmol/l) in eine Quarzzelle gegeben wurde. Zudem wurde die Messung des Emissionsspektrums bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K.K.) verwendet wurde und wobei die entgaste Dichlormethanolösung (0,070 mmol/l) in eine Quarzzelle gegeben wurde. Messergebnisse der erhaltenen Absorptions- und Emissionsspektren sind in **Fig. 14** gezeigt, wobei die horizontale Achse der Wel-

lenlänge entspricht und die vertikalen Achsen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität entsprechen. In **Fig. 14** sind zwei durchgezogene Linien gezeigt; die dünne Linie entspricht dem Absorptionsspektrum und die dicke Linie entspricht dem Emissionsspektrum. Es sei angemerkt, dass das Absorptionsspektrum in **Fig. 14** die Ergebnisse ist, die dadurch erhalten wurden, dass das Absorptionsspektrum von nur Dichlormethan in einer Quarzzone von dem Absorptionsspektrum der Dichlormethanolösung (0,070 mmol/l) in einer Quarzzone subtrahiert wurde.

[0226] Wie in **Fig. 14** gezeigt, weist $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dpm})]$ (Abkürzung) einen Emissionspeak bei ca. 615 nm auf, und es wurde eine rötlichorange Lichtemission aus der Dichlormethanolösung beobachtet.

[Beispiel 4]

[0227] In diesem Beispiel wird ein Licht emittierendes Element 1 anhand von **Fig. 15** beschrieben, bei dem $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (100) dargestellt wird, für eine Licht emittierende Schicht verwendet wird. Chemische Formeln von Materialien in diesem Beispiel sind im Folgenden gezeigt.



«Herstellung des Licht emittierenden Elements 1»

[0228] Zunächst wurde Indiumzinnoxid, das Siliziumoxid enthielt (indium tin oxide containing silicon oxide: ITSO), durch ein Sputterverfahren über einem Glassubstrat 1100 abgeschieden, so dass eine erste Elektrode 1101, die als Anode diente, ausgebildet wurde. Die Dicke betrug 110 nm, und die Elektrodenfläche betrug 2 mm × 2 mm.

[0229] Nachfolgend wurde als Vorbehandlung zum Ausbilden des Licht emittierenden Elements über dem Substrat 1100 eine UV-Ozon-Behandlung 370 Sekunden lang durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrats mit Wasser gewaschen worden war und das Substrat 1 Stunde lang bei 200 °C geheizt worden war.

[0230] Danach wurde das Substrat in eine Vakuumaufdampfeinrichtung überführt, in der der Druck auf ca. 10^{-4} Pa verringert worden war, und in einer Heizkammer der Vakuumaufdampfeinrichtung 30 Minuten lang im Vakuum bei 170 °C geheizt, und dann wurde das Substrat 1100 etwa 30 Minuten lang abgekühlt.

[0231] Dann wurde das Substrat 1100 an einem Halter in der Vakuumaufdampfeinrichtung derart befestigt, dass eine Oberfläche des Substrats 1100, über der die erste Elektrode 1101 ausgebildet war, nach unten ausgerichtet bereitgestellt war. In diesem Beispiel wird ein Fall beschrieben, in dem eine Lochinjektionsschicht 1111, eine Lochtransportschicht 1112, eine Licht emittierende Schicht 1113, eine Elektronentransportschicht 1114 und eine Elektroneninjectionsschicht 1115, die in einer EL-Schicht 1102 enthalten sind, nacheinander durch ein Vakuumaufdampfverfahren ausgebildet werden.

[0232] Nachdem der Druck der Vakuumaufdampfeinrichtung auf 10^{-4} Pa verringert worden war, wurden 1,3,5-Tri(dibenzothiophen-4-yl)benzol (Abkürzung: DBT3P-II) und Molybdän(VI)oxid co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von DBT3P-II (Abkürzung) zu Molybdänoxid 4:2 betrug, wodurch die Lochinjektionsschicht 1111 über der ersten Elektrode 1101 ausgebildet wurde. Die Dicke der Lochinjektionsschicht 1111 betrug 40 nm. Es sei angemerkt, dass die Co-Aufdampfung ein Aufdampfverfahren ist, bei dem mehrere verschiedenen Substanzen gleichzeitig aus jeweiligen verschiedenen Aufdampfquellen aufgedampft werden.

[0233] Danach wurde 4-Phenyl-4'-(9-phenylfluoren-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: BPAFLP) in einer Dicke von 20 nm durch Aufdampfung abgeschieden, so dass die Lochtransportschicht 1112 ausgebildet wurde.

[0234] Dann wurde die Licht emittierende Schicht 1113 über der Lochtransportschicht 1112 auf die folgende Weise ausgebildet. 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2mDBTPDBq-II), 4,4'-Bis[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: NPB) und Bis{4,6-dimethyl-2-[3-(3,5-dimethylphenyl)-5-phenyl-2-pyrazinyl-kN]phenyl-kC}(2,6-dimethyl-3,5-heptandionato-k²O,O')iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmdppr-P)₂(dibm)]) wurden co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von 2mDBTPDBq-II (Abkürzung) zu NPB (Abkürzung) und [Ir(dmdppr-P)₂(dibm)] (Abkürzung) 0,8:0,2:0,05 betrug. Die Dicke der Licht emittierenden Schicht 1113 betrug 40 nm.

[0235] Dann wurde 2mDBTPDBq-II (Abkürzung) in einer Dicke von 10 nm über der Licht emittierenden Schicht 1113 durch Aufdampfung abgeschieden, und Bathophenanthrolin (Abkürzung: BPhen) wurde dann in einer Dicke von 20 nm durch Aufdampfung abgeschieden, wodurch die Elektronentransportschicht 1114 mit einer gestapelten Struktur ausgebildet wurde. Darüber hinaus wurde Lithiumfluorid in einer Dicke von 1 nm über der Elektronentransportschicht 1114 durch Aufdampfung abgeschieden, wodurch die Elektroneninjectionsschicht 1115 ausgebildet wurde.

[0236] Zuletzt wurde über der Elektroneninjectionsschicht 1115 Aluminium in einer Dicke von 200 nm durch Aufdampfung abgeschieden, um eine zweite Elektrode 1103, die als Kathode diente, auszubilden; somit wurde das Licht emittierende Element 1 erhalten. Es sei angemerkt, dass in allen vorstehenden Aufdampfschritten die Aufdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0237] Eine Elementstruktur des Licht emittierenden Elements 1, das auf die oben beschriebene Weise erhalten wurde, ist in Tabelle 1 gezeigt.

[Tabelle 1]

	Erste Elektrode	Lochinjektions-schicht	Lochtransport-schicht	Licht emittierende Schicht	Elektroden-transport-schicht		Elektroneninjektions-schicht	Zweite Elektrode
Licht emittierendes Element 1	ITSO (110nm)	DBT3P-II: MoOx (4:2 40nm)	BPAFLP (20nm)	*	**	BPhen (20nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)
* 2mDBTPDBq-II:NPB: [Ir(dmdppr-P) ₂ (dibm)] (0,8:0,2:0,05 40nm)								
** 2mDBTPDBq-II(10nm)								

[0238] Des Weiteren wurde das hergestellte Licht emittierende Element 1 in einem Handschuhkasten, der eine Stickstoffatmosphäre enthielt, abgedichtet, damit es nicht der Luft ausgesetzt war (konkret gesagt, wurde ein Dichtungsmittel auf eine Außenkante des Elements aufgebracht, und eine Wärmebehandlung wurde 1 Stunde lang bei 80 °C zum Zeitpunkt der Abdichtung durchgeführt).

«Betriebseigenschaften des Licht emittierenden Elements 1»

[0239] Betriebseigenschaften des hergestellten Licht emittierenden Elements 1 wurden gemessen. Es sei angemerkt, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer bei 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0240] Fig. 16 zeigt Stromdichte-Leuchtdichte-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 1. In Fig. 16 stellt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) dar, und die horizontale Achse stellt die Stromdichte (mA/cm²) dar. Fig. 17 zeigt Spannungs-Leuchtdichte-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 1. In Fig. 17 stellt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) dar, und die horizontale Achse stellt die Spannung (V) dar. Fig. 18 zeigt zudem Leuchtdichte-Stromeffizienz-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 1. In Fig. 18 stellt die vertikale Achse die Stromeffizienz (cd/A) dar, und die horizontale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m²) dar. Fig. 19 zeigt Spannungs-Strom-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 1. In Fig. 19 stellt die vertikale Achse den Strom (mA) dar, und die horizontale Achse stellt die Spannung (V) dar.

[0241] Fig. 18 beweist eine hohe Effizienz des Licht emittierenden Elements 1, in dem ein Teil der Licht emittierenden Schicht [Ir(dmdppr-P)₂(dibm)] (Abkürzung) verwendet. Tabelle 2 zeigt die Anfangswerte der Haupt-eigenschaften des Licht emittierenden Elements 1 bei einer Leuchtdichte von ca. 1000 cd/m².

[Tabelle 2]

	Spannung (V)	Strom (mA)	Stromdichte (mA/cm ²)	Farbart (x; y)	Leuchtdichte (cd/m ²)	Stromeffizienz (cd/A)	Leistungseffizienz (lm/W)	Quanteneffizienz (%)
Licht emittierendes Element 1	3,3	0,22	5,6	(0,69;0,31)	920	16,0	16,0	26,0

[0242] Die zuvor angegebenen Ergebnisse zeigen, dass das Licht emittierende Element 1, das in diesem Beispiel hergestellt wurde, ein Licht emittierendes Element mit einer hohen Leuchtdichte und einer hohen Stromeffizienz ist. Bezüglich der Farbreinheit kann es weiterhin gefunden werden, dass das Licht emittierende Element rotes Licht mit einer hervorragenden Farbreinheit emittiert.

[0243] Fig. 20 zeigt ein Emissionsspektrum zum Zeitpunkt einer Zuführung eines Stroms mit einer Stromdichte von 2,5 mA/cm² zu dem Licht emittierenden Element 1. Das Emissionsspektrum des Licht emittierenden Elements 1 hat, wie in Fig. 20 gezeigt, einen Peak bei ca. 640 nm, und es wird darauf hingedeutet, dass der Peak aus einer Emission des metallorganischen Komplexes [Ir(dmdppr-P)₂(dibm)] (Abkürzung) stammt. Es sei angemerkt, dass Fig. 20 auch ein Emissionsspektrum eines Licht emittierenden Vergleichselements 1 als Vergleichsbeispiel zeigt. Das Licht emittierende Vergleichselement 1 wurde unter Verwendung eines metallorganischen Komplexes [Ir(tppr)₂(dpm)] (Abkürzung) statt des metallorganischen Komplexes [Ir(dmdppr-P)₂(dibm)] (Abkürzung), welcher bei dem Licht emittierenden Element 1 verwendet wurde, herge-

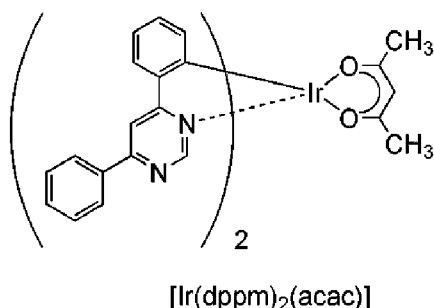
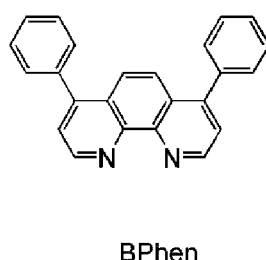
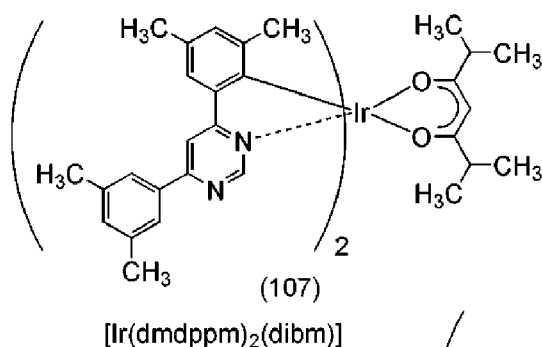
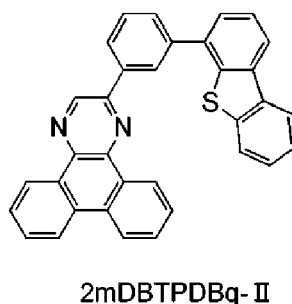
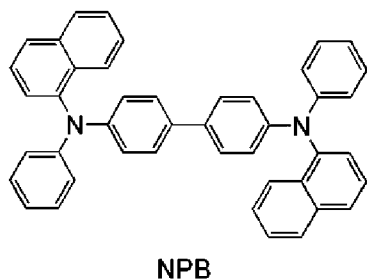
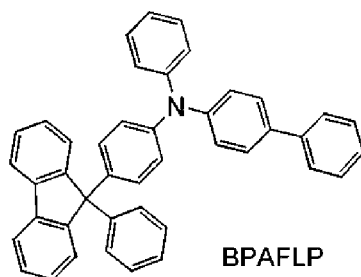
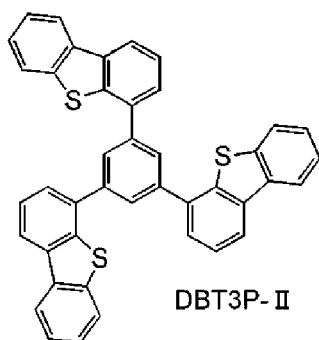
stellt. Daher wurde es betrachtet, dass die Halbwertsbreite des Emissionsspektrums des Licht emittierenden Elements 1 kleiner als diejenige des Emissionsspektrums des Licht emittierenden Vergleichselements 1 ist. Man kann vermuten, dass dies ein Effekt ist, der durch die Struktur des metallorganischen Komplexes $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) gebracht wurde, bei welcher Methylgruppen an die Position-2 und die Position-4 der an Iridium gebundenen Phenylgruppe gebunden sind. Somit kann man sagen, dass das Licht emittierende Element 1 eine hohe Emissionseffizienz hat und eine hohe Farbreinheit erzielt.

[0244] Das Licht emittierende Element 1 wurde Zuverlässigkeitstesten unterzogen. Die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsteste sind in **Fig. 21** und **Fig. 22** dargestellt. In **Fig. 21** stellt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) bei einer Anfangsleuchtdichte von 100 % dar, und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) des Elements dar. Es sei angemerkt, dass bei einem der Zuverlässigkeitsteste das Licht emittierende Element 1 unter den Bedingungen betrieben wurde, bei denen die Anfangsleuchtdichte auf 5000 cd/m^2 eingestellt wurde und die Stromdichte konstant war. Das Licht emittierende Element 1 behielt nach 100 Stunden etwa 68 % der Anfangsleuchtdichte. In **Fig. 22** stellt ferner die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) bei einer Anfangsleuchtdichte von 100 % dar, und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) des Elements dar. Es sei angemerkt, dass bei der anderen der Zuverlässigkeitsteste das Licht emittierende Element 1 mit einem Stromwert von 0,3 mA betrieben wurde. Das Licht emittierende Element 1 behielt nach 100 Stunden etwa 90 % der Anfangsleuchtdichte.

[0245] Folglich zeigten beide Zuverlässigkeitsteste, die unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt wurden, dass das Licht emittierende Element 1 hochzuverlässig ist. Zudem wurde es bestätigt, dass unter Verwendung des vorstehend beschriebenen metallorganischen Komplexes ein Licht emittierendes Element mit einer langen Lebensdauer erhalten werden kann.

[Beispiel 5]

[0246] In diesem Beispiel wird ein Licht emittierendes Element 2 beschrieben, bei dem $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches durch eine Strukturformel (107) dargestellt wird, für eine Licht emittierende Schicht verwendet wird. Es sei angemerkt, dass in der Beschreibung des Licht emittierenden Elements 2 in diesem Beispiel **Fig. 15** benutzt wird, welche in der Beschreibung des Licht emittierenden Elements 1 in dem Beispiel 4 benutzt worden ist. Chemische Formeln von Materialien in diesem Beispiel sind im Folgenden gezeigt.



«Herstellung des Licht emittierenden Elements 2»

[0247] Zuerst wurde Indiumzinnoxid, das Siliziumoxid enthielt (indium tin oxide containing silicon oxide: ITSO), durch ein Sputterverfahren über dem Glassubstrat 1100 abgeschieden, so dass die erste Elektrode 1101, die als Anode diente, ausgebildet wurde. Die Dicke betrug 110 nm, und die Elektrodenfläche betrug 2 mm × 2 mm.

[0248] Dann wurde als Vorbehandlung zum Ausbilden des Licht emittierenden Elements über dem Substrat 1100 eine UV-Ozonbehandlung 370 Sekunden lang durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrats mit Wasser gewaschen worden war und das Substrat 1 Stunde lang bei 200 °C geheizt worden war.

[0249] Danach wurde das Substrat in eine Vakuumaufdampfeinrichtung überführt, in der der Druck auf ca. 10⁻⁴ Pa verringert worden war, und in einer Heizkammer der Vakuumaufdampfeinrichtung 30 Minuten lang im Vakuum bei 170 °C geheizt, und dann wurde das Substrat 1100 etwa 30 Minuten lang abgekühlt.

[0250] Das Substrat 1100 wurde dann an einem Halter in der Vakuumaufdampfeinrichtung derart befestigt, dass sich eine Oberfläche des Substrats 1100, über der die erste Elektrode 1101 ausgebildet war, nach unten richtete. In diesem Beispiel wird ein Fall beschrieben, in dem die Lochinjektionsschicht 1111, die Lochtransporterschicht 1112, die Licht emittierende Schicht 1113, die Elektronentransporterschicht 1114 und die Elekt-

roneninjektionsschicht 1115, welche in der EL-Schicht 1102 enthalten sind, durch ein Vakuumaufdampfverfahren nacheinander ausgebildet werden.

[0251] Nachdem der Druck der Vakuumaufdampfeinrichtung auf 10^{-4} Pa verringert worden war, wurden 1,3,5-Tri(dibenzothiophen-4-yl)benzol (Abkürzung: DBT3P-II) und Molybdän(VI)oxid co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von DBT3P-II (Abkürzung) zu Molybdänoxid 4:2 betrug, wodurch die Lochinjektionsschicht 1111 über der ersten Elektrode 1101 ausgebildet wurde. Die Dicke der Lochinjektionsschicht 1111 betrug 40 nm. Es sei angemerkt, dass die Co-Aufdampfung ein Aufdampfverfahren ist, bei dem mehrere verschiedenen Substanzen gleichzeitig aus jeweiligen verschiedenen Aufdampfquellen aufgedampft werden.

[0252] Dann wurde 4-Phenyl-4'-(9-phenylfluoren-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: BPAFLP) in einer Dicke von 20 nm durch Aufdampfung abgeschieden, so dass die Lochtransportschicht 1112 ausgebildet wurde.

[0253] Dann wurde die Licht emittierende Schicht 1113 über der Lochtransportschicht 1112 auf die folgende Weise ausgebildet. 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2mDBTPDBq-II), 4,4'-Bis[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: NPB) und Bis{2-[6-(3,5-dimethylphenyl)-4-pyrimidinyl-κN3]-4,6-dimethylphenyl-κC}(2,6-dimethyl-3,5-heptandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmdppm)₂(dibm)]) wurden co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von 2mDBTPDBq-II (Abkürzung) zu NPB (Abkürzung) und [Ir(dmdppm)₂(dibm)] (Abkürzung) 0,8:0,2:0,05 betrug. Die Dicke der Licht emittierenden Schicht 1113 betrug 40 nm.

[0254] Dann wurde 2mDBTPDBq-II (Abkürzung) in einer Dicke von 10 nm über der Licht emittierenden Schicht 1113 durch Aufdampfung abgeschieden, und Bathophenanthrolin (Abkürzung: BPhen) wurde dann in einer Dicke von 20 nm durch Aufdampfung abgeschieden, wodurch die Elektronentransportschicht 1114 mit einer gestapelten Struktur ausgebildet wurde. Darüber hinaus wurde Lithiumfluorid in einer Dicke von 1 nm über der Elektronentransportschicht 1114 durch Aufdampfung abgeschieden, wodurch die Elektroneninjektionsschicht 1115 ausgebildet wurde.

[0255] Zuletzt wurde über der Elektroneninjektionsschicht 1115 Aluminium in einer Dicke von 200 nm durch Aufdampfung abgeschieden, um die zweite Elektrode 1103, die als Kathode diente, auszubilden; somit wurde das Licht emittierende Element 2 erhalten. Es sei angemerkt, dass in allen vorstehenden Aufdampfschritten die Aufdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0256] Eine Elementstruktur des Licht emittierenden Elements 2, das auf die oben beschriebene Weise erhalten wurde, ist in Tabelle 3 gezeigt.

[Tabelle 3]

	Erste Elektrode	Lochinjektionsschicht	Lochtransportschicht	Licht emittierende Schicht	Elektronentransportschicht		Elektroneninjektionsschicht	Zweite Elektrode
Licht emittierendes Element 2	ITSO (110nm)	DBT3P-II : MoOx (4:2 40nm)	BPAFLP (20nm)	*	**	BPhen (20nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)
* 2mDBTPD Bq-II:NPB: [Ir(dmdppm) ₂ (dibm)] (0,8:0,2:0,05 40nm)								
** 2mDBTP DBq-II(10 nm)								

[0257] Des Weiteren wurde das hergestellte Licht emittierende Element 2 in einem Handschuhkasten, der eine Stickstoffatmosphäre enthielt, abgedichtet, damit es nicht der Luft ausgesetzt war (konkret gesagt, wurde ein Dichtungsmittel auf eine Außenkante des Elements aufgebracht, und eine Wärmebehandlung wurde 1 Stunde lang bei 80 °C zum Zeitpunkt der Abdichtung durchgeführt).

«(Betriebseigenschaften des Licht emittierenden Elements 2)»

[0258] Betriebseigenschaften des hergestellten Licht emittierenden Elements 2 wurden gemessen. Es sei angemerkt, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer bei 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0259] Fig. 23 zeigt Stromdichte-Leuchtdichte-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 2. In Fig. 23 stellt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar, und die horizontale Achse stellt die Stromdichte (mA/cm^2) dar. Fig. 24 zeigt Spannungs-Leuchtdichte-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 2. In Fig. 24 stellt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar, und die horizontale Achse stellt die Spannung (V) dar. Fig. 25 zeigt ferner Leuchtdichte-Stromeffizienz-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 2.

[0260] In Fig. 25 stellt die vertikale Achse die Stromeffizienz (cd/A) dar, und die horizontale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 26 zeigt Spannungs-Strom-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 2. In Fig. 26 stellt die vertikale Achse den Strom (mA) dar, und die horizontale Achse stellt die Spannung (V) dar.

[0261] Fig. 25 beweist eine hohe Effizienz des Licht emittierenden Elements 2, in dem ein Teil der Licht emittierenden Schicht $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) verwendet. Tabelle 4 zeigt die Anfangswerte der Haupteigenschaften des Licht emittierenden Elements 2 bei einer Leuchtdichte von etwa 1000 cd/m^2 .

[Tabelle 4]

	Spannung (V)	Strom (mA)	Stromdichte $[\text{mA/cm}^2]$	Farbart (x; y)	Leuchtdichte (cd/m^2)	Stromeffizienz (cd/A)	Leistungseffizienz (lm/W)	Quanteneffizienz (%)
Licht emittierendes Element 2	2,9	0,062	1,6	(0,62;0,38)	870	56	60	31

[0262] Die zuvor angegebenen Ergebnisse zeigen, dass das Licht emittierende Element 2, das in diesem Beispiel hergestellt wurde, ein Licht emittierendes Element mit einer hohen Leuchtdichte und einer hohen Stromeffizienz ist. Bezüglich der Farbreinheit kann es weiterhin gefunden werden, dass das Licht emittierende Element rötlichoranges Licht mit einer hervorragenden Farbreinheit emittiert.

[0263] Fig. 27 zeigt ein Emissionsspektrum zum Zeitpunkt einer Zuführung eines Stroms mit einer Stromdichte von $2,5 \text{ mA/cm}^2$ zu dem Licht emittierenden Element 2. Das Emissionsspektrum des Licht emittierenden Elements 2 hat, wie in Fig. 27 gezeigt, einen Peak bei ca. 610 nm , und es wird darauf hingedeutet, dass der Peak aus einer Emission des metallorganischen Komplexes $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) stammt. Es sei angemerkt, dass Fig. 27 auch ein Emissionsspektrum eines Licht emittierenden Vergleichselements 2 als Vergleichsbeispiel zeigt. Das Licht emittierende Vergleichselement 2 wurde unter Verwendung eines metallorganischen Komplexes $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) statt des metallorganischen Komplexes $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches bei dem Licht emittierenden Element 2 verwendet wurde, hergestellt. Daher wurde es betrachtet, dass die Halbwertsbreite des Emissionsspektrums des Licht emittierenden Elements 2 kleiner als diejenige des Emissionsspektrums des Licht emittierenden Vergleichselements 2 ist. Man kann vermuten, dass dies ein Effekt ist, der durch die Struktur des metallorganischen Komplexes $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) gebracht wurde, bei welcher Methylgruppen an die Position-2 und die Position-4 der an Iridium gebundenen Phenylgruppe gebunden sind. Somit kann man sagen, dass das Licht emittierende Element 2 eine hohe Emissionseffizienz hat und eine hohe Farbreinheit erzielt.

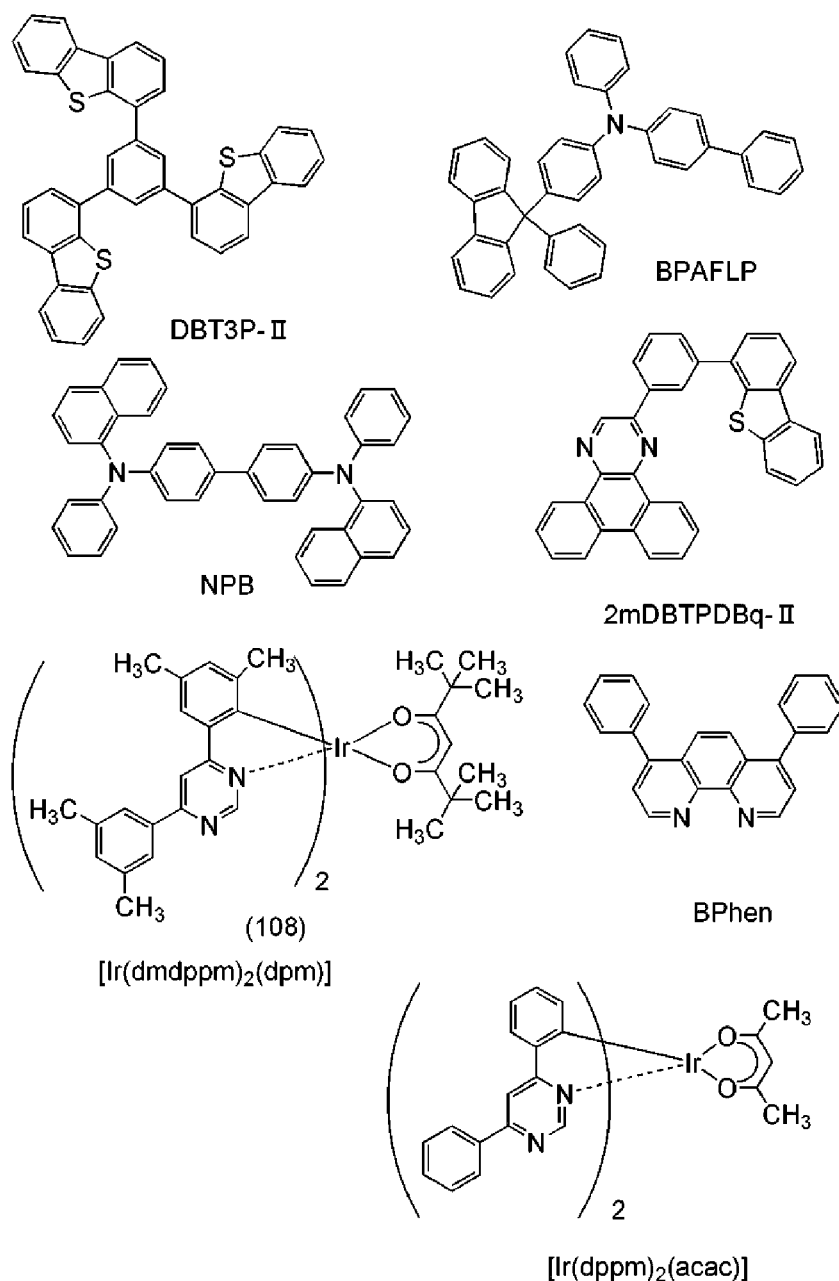
[0264] Das Licht emittierende Element 2 wurde Zuverlässigkeitstesten unterzogen. Die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsteste sind in Fig. 28 und Fig. 29 dargestellt. In Fig. 28 stellt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) bei einer Anfangsleuchtdichte von 100 % dar, und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) des Elements dar. Es sei angemerkt, dass bei einem der Zuverlässigkeitsteste das Licht emittierende Element 2 unter den Bedingungen betrieben wurde, wobei die Anfangsleuchtdichte auf 5000 cd/m^2 eingestellt wurde und die Stromdichte konstant war. Das Licht emittierende Element 2 behielt nach 100 Stunden etwa 86 % der Anfangsleuchtdichte. In Fig. 29 stellt ferner die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) bei einer Anfangsleuchtdichte von 100 % dar, und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) des Elements dar. Es sei angemerkt, dass bei dem anderen der Zuverlässigkeitsteste das Licht emittierende Element 2 mit einem Stromwert von $0,3 \text{ mA}$ betrieben wurde. Das Licht emittierende Element 2 behielt nach 100 Stunden etwa 90 % der Anfangsleuchtdichte.

[0265] Folglich zeigten beide Zuverlässigkeitsteste, die unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt wurden, dass das Licht emittierende Element 2 hochzuverlässig ist. Zudem wurde es bestätigt, dass unter Ver-

wendung des vorstehend beschriebenen metallorganischen Komplexes ein Licht emittierendes Element mit einer langen Lebensdauer erhalten werden kann.

[Beispiel 6]

[0266] In diesem Beispiel wird ein Licht emittierendes Element 3 beschrieben, bei der $[\text{Ir}(\text{dmdppm})_2(\text{dpm})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (108) dargestellt wird, für eine Licht emittierende Schicht verwendet wird. Es sei angemerkt, dass in der Beschreibung des Licht emittierenden Elements 3 in diesem Beispiel **Fig. 15** benutzt wird, welche in der Beschreibung des Licht emittierenden Elements 1 in Beispiel 4 benutzt worden ist. Chemische Formeln von Materialien in diesem Beispiel sind im Folgenden gezeigt.



«Herstellung des Licht emittierenden Elements 3»

[0267] Zuerst wurde Indiumzinnoxid, das Siliziumoxid enthielt (indium tin oxide containing silicon oxide: ITSO), durch ein Sputterverfahren über dem Glassubstrat 1100 abgeschieden, so dass die erste Elektrode 1101, die als Anode diente, ausgebildet wurde. Die Dicke betrug 110 nm, und die Elektrodenfläche betrug 2 mm × 2 mm.

[0268] Dann wurde als Vorbehandlung zum Ausbilden des Licht emittierenden Elements über dem Substrat 1100 eine UV-Ozonbehandlung 370 Sekunden lang durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrats mit Wasser gewaschen worden war und das Substrat 1 Stunde lang bei 200 °C geheizt worden war.

[0269] Danach wurde das Substrat in eine Vakuumaufdampfeinrichtung überführt, in der der Druck auf ca. 10^{-4} Pa verringert worden war, und in einer Heizkammer der Vakuumaufdampfeinrichtung 30 Minuten lang im Vakuum bei 170 °C geheizt, und dann wurde das Substrat 1100 etwa 30 Minuten lang abgekühlt.

[0270] Das Substrat 1100 wurde dann an einem Halter in der Vakuumaufdampfeinrichtung derart befestigt, dass sich eine Oberfläche des Substrats 1100, über der die erste Elektrode 1101 ausgebildet war, nach unten richtete. In diesem Beispiel wird ein Fall beschrieben, in dem die Lochinjektionsschicht 1111, die Lochtransportschicht 1112, die Licht emittierende Schicht 1113, die Elektronentransportschicht 1114 und die Elektroneninjectionsschicht 1115, welche in der EL-Schicht 1102 enthalten sind, durch ein Vakuumaufdampfverfahren nacheinander ausgebildet werden.

[0271] Nachdem der Druck der Vakuumaufdampfeinrichtung auf 10^{-4} Pa verringert worden war, wurden 1,3,5-Tri(dibenzothiophen-4-yl)benzol (Abkürzung: DBT3P-II) und Molybdän(VI)oxid co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von DBT3P-II (Abkürzung) zu Molybdänoxid 4:2 betrug, wodurch die Lochinjektionsschicht 1111 über der ersten Elektrode 1101 ausgebildet wurde. Die Dicke der Lochinjektionsschicht 1111 betrug 40 nm. Es sei angemerkt, dass die Co-Aufdampfung ein Aufdampfverfahren ist, bei dem mehrere verschiedenen Substanzen gleichzeitig aus jeweiligen verschiedenen Aufdampfquellen aufgedampft werden.

[0272] Dann wurde 4-Phenyl-4'-(9-phenylfluoren-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: BPAFLP) in einer Dicke von 20 nm durch Aufdampfung abgeschieden, so dass die Lochtransportschicht 1112 ausgebildet wurde.

[0273] Dann wurde die Licht emittierende Schicht 1113 über der Lochtransportschicht 1112 auf die folgende Weise ausgebildet. 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2mDBTPDBq-II), 4,4'-Bis[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: NPB) und Bis{2-[6-(3,5-dimethylphenyl)-4-pyrimidinyl-κN3]-4,6-dimethylphenyl-κC}(2,2',6, 6'-tetramethyl-3,5-heptandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmdppm)₂(dpm)]) wurden co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von 2mDBTPDBq-II (Abkürzung) zu NPB (Abkürzung) und [Ir(dmdppm)₂(dpm)] (Abkürzung) 0,8:0,2:0,025 betrug. Die Dicke der Licht emittierenden Schicht 1113 betrug 40 nm.

[0274] Dann wurde 2mDBTPDBq-II (Abkürzung) in einer Dicke von 10 nm über der Licht emittierenden Schicht 1113 durch Aufdampfung abgeschieden, und Bathophenanthrolin (Abkürzung: BPhen) wurde dann in einer Dicke von 20 nm durch Aufdampfung abgeschieden, wodurch die Elektronentransportschicht 1114 mit einer gestapelten Struktur ausgebildet wurde. Darüber hinaus wurde Lithiumfluorid in einer Dicke von 1 nm über der Elektronentransportschicht 1114 durch Aufdampfung abgeschieden, wodurch die Elektroneninjectionsschicht 1115 ausgebildet wurde.

[0275] Zuletzt wurde über der Elektroneninjectionsschicht 1115 Aluminium in einer Dicke von 200 nm durch Aufdampfung abgeschieden, um die zweite Elektrode 1103, die als Kathode diente, auszubilden; somit wurde das Licht emittierende Element 3 erhalten. Es sei angemerkt, dass in allen vorstehenden Aufdampfschritten die Aufdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0276] Eine Elementstruktur des Licht emittierenden Elements 3, das auf die oben beschriebene Weise erhalten wurde, ist in Tabelle 5 gezeigt.

[Tabelle 5]

	Erste Elektrode	Lochinjektionsschicht	Lochtransportschicht	Licht emittierende Schicht	Elektronentransportschicht		Elektroneninjectionsschicht	Zweite Elektrode
Licht emittierendes Element 3	ITSO (110nm)	DBT3P-II : moOx (4:2 40nm)	BPAFLP (20nm)	*	**	BPhen (20nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)
* 2mDBTPDBq-II:NPB: [Ir(dmdppm) ₂ (dpm)] (0,8:0,2:0,05 40nm)								

	Erste Elekt-rode	Lochinjek-tion sschicht	Locht-ransp ort-schicht	Licht emittie-ren de Schicht	Elektronentransp ortschicht	Elektroneninj ektions-schich t	Zweite Elekt-rode
** 2mDBTPDBq-II(10nm)							

[0277] Des Weiteren wurde das hergestellte Licht emittierende Element 3 in einem Handschuhkasten, der eine Stickstoffatmosphäre enthielt, abgedichtet, damit es nicht der Luft ausgesetzt war (konkret gesagt, wurde ein Dichtungsmittel auf eine Außenkante des Elements aufgebracht, und eine Wärmebehandlung wurde 1 Stunde lang bei 80 °C zum Zeitpunkt der Abdichtung durchgeführt).

⟨⟨Betriebseigenschaften des Licht emittierenden Elements 3⟩⟩

[0278] Betriebseigenschaften des hergestellten Licht emittierenden Elements 3 wurden gemessen. Es sei angemerkt, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer bei 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0279] Fig. 30 zeigt Stromdichte-Leuchtdichte-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 3. In Fig. 30 stellt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) dar, und die horizontale Achse stellt die Stromdichte (mA/cm²) dar. Fig. 31 zeigt Spannungs-Leuchtdichte-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 3. In Fig. 31 stellt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) dar, und die horizontale Achse stellt die Spannung (V) dar. Fig. 32 zeigt ferner Leuchtdichte-Stromeffizienz-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 3. In Fig. 32 stellt die vertikale Achse die Stromeffizienz (cd/A) dar, und die horizontale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m²) dar. Fig. 33 zeigt Spannungs-Strom-Eigenschaften des Licht emittierenden Elements 3. In Fig. 33 stellt die vertikale Achse den Strom (mA) dar, und die horizontale Achse stellt die Spannung (V) dar.

[0280] Fig. 32 beweist eine hohe Effizienz des Licht emittierenden Elements 3, in dem ein Teil der Licht emittierenden Schicht [Ir(dmdppm)₂(dpm)] (Abkürzung) verwendet. Tabelle 6 zeigt die Anfangswerte der Haupteigenschaften des Licht emittierenden Elements 3 bei einer Leuchtdichte von etwa 1000 cd/m².

[Tabelle 6]

	Spann- u ng (V)	Stro- m (mA)	Strom- dichte (mA/cm ²)	Farbart (x;y)	Leucht- dicht e (cd/m ²)	Stromeffi- zien z (cd/A)	Leistungsef- fizi enz (lm/W)	Quanteneff- fizi enz (%)
Licht emit- tierendes Element 3	3	0,091	2,3	0,62;0,38	1200	52	55	30,3

[0281] Die zuvor angegebenen Ergebnisse zeigen, dass das Licht emittierende Element 3, das in diesem Beispiel hergestellt wurde, ein Licht emittierendes Element mit einer hohen Leuchtdichte und einer hohen Stromeffizienz ist. Bezüglich der Farbreinheit kann es weiterhin gefunden werden, dass das Licht emittierende Element rötlichoranges Licht mit einer hervorragenden Farbreinheit emittiert.

[0282] Fig. 34 zeigt ein Emissionsspektrum zum Zeitpunkt einer Zuführung eines Stroms mit einer Stromdichte von 2,5 mA/cm² zu dem Licht emittierenden Element 3. Das Emissionsspektrum des Licht emittierenden Elements 3 hat, wie in Fig. 34 gezeigt, einen Peak bei ca. 610 nm, und es wird darauf hingedeutet, dass der Peak aus einer Emission des metallorganischen Komplexes [Ir(dmdppm)₂(dpm)] (Abkürzung) stammt. Es sei angemerkt, dass Fig. 34 auch das Emissionsspektrum eines Licht emittierenden Vergleichselements 3 als Vergleichsbeispiel zeigt. Das Licht emittierende Vergleichselement 3 wurde unter Verwendung eines metallorganischen Komplexes [Ir(dppm)₂(acac)] (Abkürzung) statt des metallorganischen Komplexes [Ir(dmdppm)₂(dpm)] (Abkürzung), welches bei dem Licht emittierenden Element 3 verwendet wurde, hergestellt. Daher wurde es betrachtet, dass die Halbwertsbreite des Emissionsspektrums des Licht emittierenden Elements 3 kleiner als diejenige des Emissionsspektrums des Licht emittierenden Vergleichselements 3 ist. Man kann vermuten, dass dies ein Effekt ist, der durch die Struktur des metallorganischen Komplexes [Ir(dmdppm)₂(dpm)] (Abkürzung) gebracht wurde, bei welcher Methylgruppen an die Position-2 und die Position-4 der an

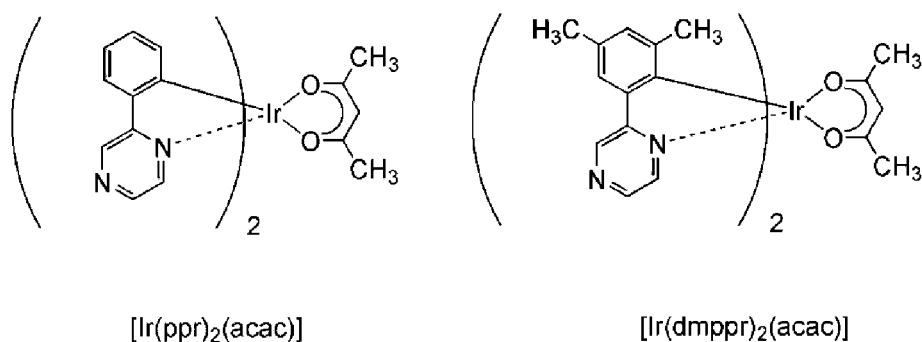
Iridium gebundenen Phenylgruppe gebunden sind. Somit kann man sagen, dass das Licht emittierende Element 3 eine hohe Emissionseffizienz hat und eine hohe Farbreinheit erzielt.

[0283] Das Licht emittierende Element 3 wurde Zuverlässigkeitstesten unterzogen. Die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsteste sind in **Fig. 35** und **Fig. 36** dargestellt. In **Fig. 35** stellt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) bei einer Anfangsleuchtdichte von 100 % dar, und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) des Elements dar. Es sei angemerkt, dass bei einem der Zuverlässigkeitsteste das Licht emittierende Element 3 unter den Bedingungen betrieben wurde, wobei die Anfangsleuchtdichte auf 5000 cd/m² eingestellt wurde und die Stromdichte konstant war. Das Licht emittierende Element 3 behielt nach 100 Stunden etwa 85 % der Anfangsleuchtdichte. In **Fig. 36** stellt ferner die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) bei einer Anfangsleuchtdichte von 100 % dar, und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) des Elements dar. Es sei angemerkt, dass bei dem anderen Zuverlässigkeitstest das Licht emittierende Element 3 mit einem Stromwert von 0,3 mA betrieben wurde. Das Licht emittierende Element 3 behielt nach 100 Stunden etwa 90 % der Anfangsleuchtdichte.

[0284] Folglich zeigten beide Zuverlässigkeitsteste, die unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt wurden, dass das Licht emittierende Element 3 hochzuverlässig ist. Zudem wurde es bestätigt, dass unter Verwendung des vorstehend beschriebenen metallorganischen Komplexes ein Licht emittierendes Element mit einer langen Lebensdauer erhalten werden kann.

[Beispiel 7]

[0285] In diesem Beispiel werden Phosphoreszenzspektren, die durch Berechnung erhalten wurden, beschrieben. Es sei angemerkt, dass chemische Formeln von metallorganischen Komplexen in diesem Beispiel im Folgenden gezeigt sind.



«Berechnungsbeispiel»

[0286] Die stabilsten Strukturen von $[\text{Ir}(\text{ppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) in einem Singulett-Grundzustand (S_0) und dem niedrigsten angeregten Triplett-Zustand (T_1) und die stabilsten Strukturen von $[\text{Ir}(\text{dmprr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung), welches ein analoges Modell des metallorganischen Komplexes ist, in einem Singulett-Grundzustand (S_0) und dem niedrigsten angeregten Triplett-Zustand (T_1) wurden mittels der Dichtefunktionaltheorie (density functional theory: DFT) berechnet. Des Weiteren wurde eine Schwingungsanalyse (vibration analysis) an jeder der stabilsten Strukturen durchgeführt, und eine Wahrscheinlichkeit des Übergangs zwischen Schwingungszuständen in den S_0 - und T_1 -Zuständen wurde ermittelt, so dass die Phosphoreszenzspektren berechnet wurden. In der DFT wird die Gesamtenergie als die Summe von potentieller Energie, elektrostatischer Energie zwischen Elektronen, elektronischer kinetischer Energie und Austausch-Korrelationsenergie (exchange-correlation energy) einschließlich aller komplizierten Wechselwirkungen zwischen Elektronen dargestellt. In der DFT wird eine Austausch-Korrelationswechselwirkung durch ein Funktional (eine Funktion einer anderen Funktion) eines Einelektronenpotentials, das als Elektronendichte dargestellt wird, angenähert, um schnelle Berechnungen zu ermöglichen. Hierbei wurde B3PW91, das ein Hybridfunktional ist, verwendet, um das Gewicht jedes Parameters in Bezug auf Austausch-Korrelationsenergie zu bestimmen.

[0287] Zusätzlich wurde als Basisfunktionen 6-311G (eine Basisfunktion eines Triple-Split-Valenzbasissatzes (triple split valence basis set) unter Verwendung von drei Kontraktionsfunktionen für ein Valenzorbital) für jedes von H-, C-, N- und O-Atomen verwendet, und LanL2DZ wurde für ein Ir-Atom verwendet. Entsprechend der obigen Basisfunktion werden beispielsweise im Fall von Wasserstoffatomen 1s- bis 3s-Orbitale betrach-

tet, während im Fall von Kohlenstoffatomen 1s- bis 4s- sowie 2p- bis 4p-Orbitale betrachtet werden. Außerdem wurden die p-Funktion und die d-Funktion als Polarisationsbasissätze (polarization basis sets) zu Wasserstoffatomen bzw. anderen Atomen als Wasserstoffatomen hinzugefügt, um die Rechengenauigkeit zu verbessern. Es sei angemerkt, dass Gaussian 09 als Quantenchemie-Rechenprogramm verwendet wurde. Ein hochleistungsfähiger Computer (Altix 4700, hergestellt von SGI Japan, Ltd.) wurde für die Berechnungen verwendet.

[0288] Es sei angemerkt, dass die durch das vorstehende Berechnungsverfahren erhaltenen Phosphoreszenzspektren von $[\text{Ir}(\text{ppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung), welches ein analoges Modell des metallorganischen Komplexes ist, in **Fig. 38** gezeigt sind. Die Berechnungen wurden durchgeführt, wobei die Halbwertsbreite 135 cm^{-1} war und der Franck-Condon-Faktor (Franck-Condon factor) in Betracht gezogen wurde.

[0289] Wie in **Fig. 38** gezeigt, ist die Intensität des sekundären Peaks bei ca. 640 nm in dem Phosphoreszenzspektrum von $[\text{Ir}(\text{ppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) hoch, während die Intensität des sekundären Peaks bei ca. 690 nm in dem Phosphoreszenzspektrum von $[\text{Ir}(\text{dmppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) niedrig ist. Die sekundären Peaks werden Streckschwingung einer C-C-Bindung oder einer C-N-Bindung in dem Liganden zugeschrieben. In $[\text{Ir}(\text{dmppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) ist die Wahrscheinlichkeit des Übergangs zwischen Schwingungszuständen derartiger Streckschwingung niedrig. Folglich kann man verstehen, dass das Spektrum von $[\text{Ir}(\text{dmppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung), welches das analoge Modell des metallorganischen Komplexes ist, schmaler als dasjenige von $[\text{Ir}(\text{ppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) ist.

[0290] Der Diederwinkel, der von Kohlenstoffatomen des Benzolrings gebildet wird, wurde zwischen $[\text{Ir}(\text{ppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung), welches das analoge Modell des metallorganischen Komplexes ist, verglichen, was durch das obige Berechnungsverfahren erhalten wurden. Die Ergebnisse des Vergleichs sind in Tabelle 7 gezeigt. Die Positionen der Diederwinkel, die jeweils von Kohlenstoffatomen des Benzolrings gebildet wurden und miteinander verglichen wurden, sind in **Fig. 39** gezeigt.

[Tabelle 7]

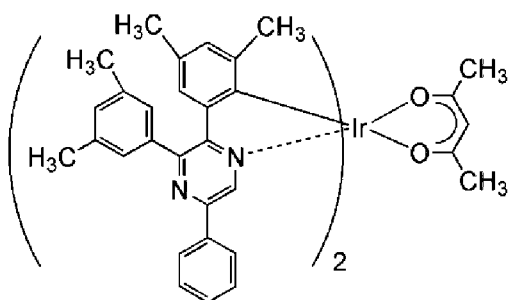
	$[\text{Ir}(\text{ppr})_2(\text{acac})]$	$[\text{Ir}(\text{dmppr})_2(\text{acac})]$
S_0	$1,2^\circ$	$3,8^\circ$
T_1	$-1,7^\circ$	$6,1^\circ$

[0291] Die Werte der Diederwinkel in $[\text{Ir}(\text{ppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) in den S_0 - und T_1 -Zuständen sind klein, wie in Tabelle 7 gezeigt, was darauf hindeutet, dass sein Benzolring sehr flach ist und dass die Wahrscheinlichkeit des Übergangs zwischen Schwingungszuständen infolge der Streckschwingung der C-C-Bindung oder der C-N-Bindung in dem Liganden hoch ist. Im Gegensatz dazu sind die Werte der Diederwinkel in $[\text{Ir}(\text{dmppr})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) in den S_0 - und T_1 -Zuständen groß, was darauf hindeutet, dass sein Benzolring weniger flach ist und dass die Wahrscheinlichkeit des Übergangs zwischen Schwingungszuständen infolge der Streckschwingung der C-C-Bindung oder der C-N-Bindung in dem Liganden niedrig ist. Dies kann den zwei Methylgruppen, die an die Phenylgruppe gebunden sind, zugeschrieben werden. Mit anderen Worten: es wurde gefunden, dass dann, wenn zwei Alkylgruppen an die Position-2 und die Position-4 einer an Iridium gebundenen Phenylgruppe gebunden sind, die Halbwertsbreite eines Phosphoreszenzspektrums klein ist und die Farbreinheit von emittiertem Licht hoch ist.

[Beispiel 8]

⟨⟨Synthesebeispiel 4⟩⟩

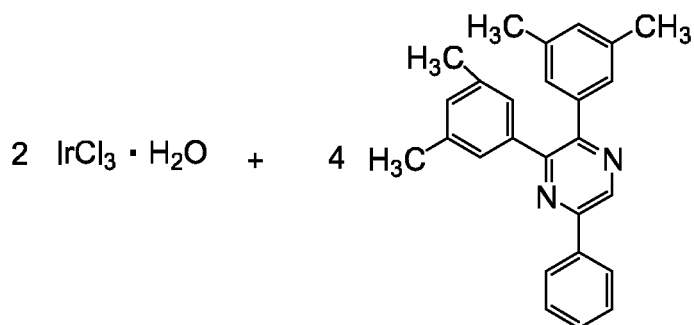
[0292] In Synthesebeispiel 4 wird ein Syntheseverfahren von Bis{4,6-dimethyl-2-[3-(3,5-dimethylphenyl)-5-phenyl-2-pyrazinyl-κN]phenyl-κC}{ 2,4-pentandionato-κ²O,O' }iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{acac})]$), welches durch die Strukturformel (121) bei der Ausführungsform 1 dargestellt wird, beschrieben. Die Struktur von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) ist im Folgenden gezeigt.



(121)

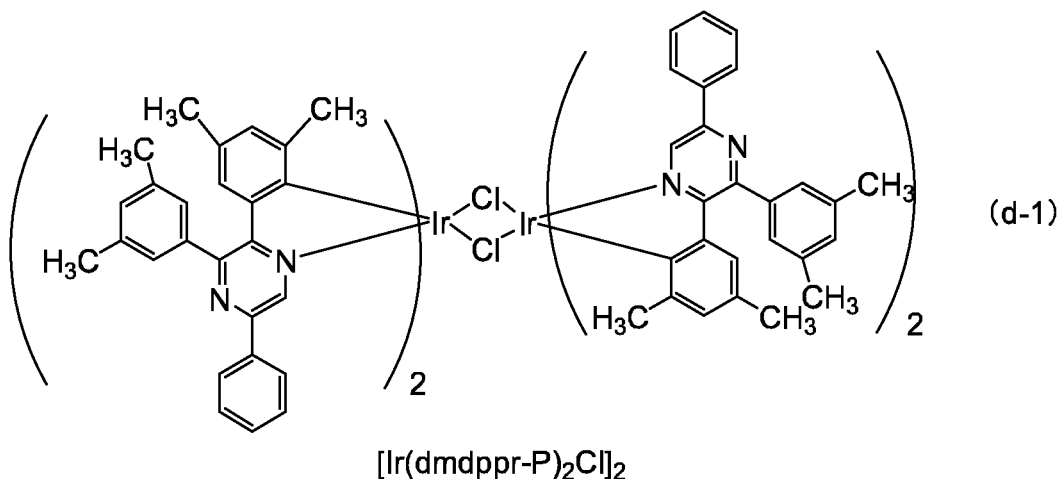
 $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{acac})]$

[0293] <Schritt 1: Herstellung von Di- μ -chlor-tetrakis{4,6-dimethyl-2-[3-(3,5-dimethylphenyl)-5-phenyl-2-pyrazinyl- κN]phenyl- κC }diiridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2\text{Cl}]_2$)> Zuerst wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 10 ml Wasser, 3,18 g Hdmdppr-P (Abkürzung) und 1,27 g Iridiumchloridhydrat ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (hergestellt von Sigma-Aldrich Corporation) in einen Rundkolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und dann wurde der gewonnene Rückstand einer Saugfiltration unterzogen und mit Ethanol gewaschen, um $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches ein zweikerniger Komplex ist, als rötlichbraunes Pulver in einer Ausbeute von 67 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 1 ist in (d-1) gezeigt.



Hdmdppr-P

2-Ethoxyethanol / H_2O

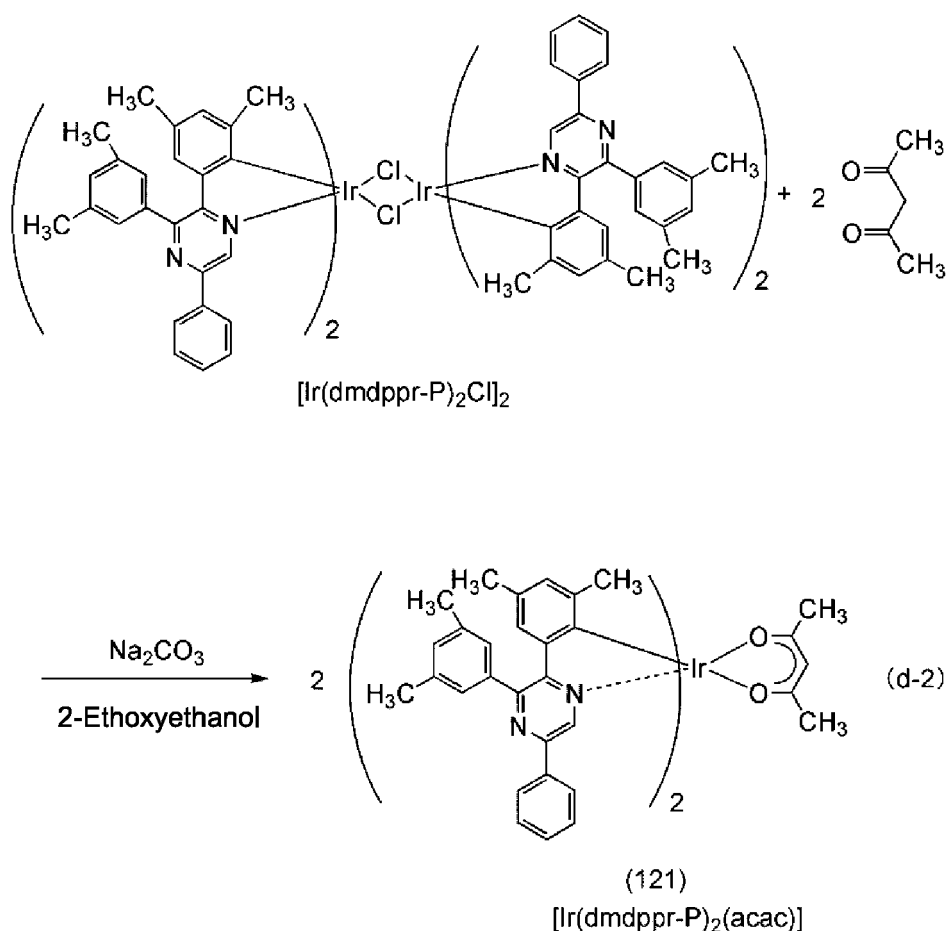


(d-1)

 $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2\text{Cl}]_2$

⟨Schritt 2: Herstellung von Bis{4,6-dimethyl-2-[3-(3,5-dimethylphenyl)-5-phenyl-2-pyrazinyl-κN]phenyl-κC}{2,4-pentandionato-κ²O,O'}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmdppr-P)₂(acac)]⟩

[0294] Des Weiteren wurden 40 ml 2-Ethoxyethanol, 2,8 g [Ir(dmdppr-P)₂Cl]₂ (Abkürzung), welches der zweikernige Komplex ist und in Schritt 1 gewonnen worden war, 0,46 g Acetylaceton (Abkürzung: Hacac) und 1,6 g Natriumcarbonat in einen Rundkolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde 1 Stunde lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 120 W) durchgeführt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde einer Saugfiltration mit Ethanol unterzogen und mit Wasser und Ethanol gewaschen. Der gewonnene Feststoff wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Ethylacetat und Hexan als Fließmittel in einem Verhältnis von 1:10 gereinigt, und eine Umkristallisation wurde mit einer Lösungsmittelmischung aus Dichlormethan und Ethanol durchgeführt, so dass [Ir(dmdppr-P)₂(acac)] (Abkürzung) als dunkelrotes Pulver in einer Ausbeute von 24 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 2 ist in (d-2) gezeigt.



[0295] Ein Analyseergebnis durch Kernspinresonanzspektroskopie (¹H-NMR) an dem in Schritt 2 gewonnenen dunkelroten Pulver wird im Folgenden beschrieben. **Fig. 40** zeigt das ¹H-NMR-Diagramm. Diese Ergebnisse zeigten, dass [Ir(dmdppr-P)₂(acac)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (121) dargestellt wird, in dem Synthesebeispiel 4 gewonnen wurde.

[0296] ¹H-NMR. δ(CDCl₃): 1,41 (s, 6H), 1,81 (s, 6H), 1,95 (s, 6H), 2,42 (s, 12H), 5,06 (s, 1H), 6,46 (s, 2H), 6,81 (s, 2H), 7,19 (s, 2H), 7,41-7,49 (m, 10H), 8,05 (d, 4H), 8,83 (s, 2H).

[0297] Dann wurden ein UV-VIS-Absorptionsspektrum (im Folgenden der Einfachheit halber als „Absorptionsspektrum“ bezeichnet) einer Dichlormethanolösung von [Ir(dmdppr-P)₂(acac)] (Abkürzung) und ein Emissionsspektrum davon gemessen. Die Messung des Absorptionsspektrums wurde bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein UV-VIS-Spektrophotometer (V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) verwendet wurde und wobei die Dichlormethanolösung (0,085 mmol/l) in eine Quarzzone gegeben wurde. Zudem wurde die Messung des Emissionsspektrums bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein Fluores-

zenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K.K.) verwendet wurde und wobei die entgaste Dichlormethanolösung (0,085 mmol/l) in eine Quarzszelle gegeben wurde. Messergebnisse der erhaltenen Absorptions- und Emissionsspektren sind in **Fig. 41** gezeigt, wobei die horizontale Achse der Wellenlänge entspricht und die vertikalen Achsen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität entsprechen. In **Fig. 41** sind zwei durchgezogene Linien gezeigt; die dünne Linie entspricht dem Absorptionsspektrum und die dicke Linie entspricht dem Emissionsspektrum. Es sei angemerkt, dass das Absorptionsspektrum in **Fig. 41** die Ergebnisse ist, die dadurch erhalten wurden, dass das Absorptionsspektrum von nur Dichlormethan in einer Quarzszelle von dem Absorptionsspektrum der Dichlormethanolösung (0,085 mmol/l) in einer Quarzszelle subtrahiert wurde.

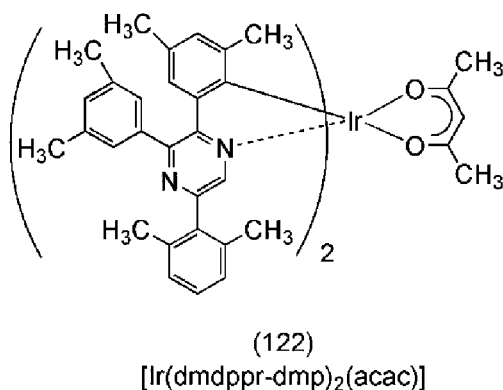
[0298] Wie in **Fig. 41** gezeigt, weist $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) einen Emissionspeak bei ca. 633 nm auf, und es wurde eine rote Lichtemission aus der Dichlormethanolösung beobachtet.

[0299] Außerdem wurde der Prozentsatz des Gewichtsverlusts (weight loss percentage) von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) durch eine Hochvakuum-Differentialthermoanalyse (high vacuum differential type differential thermal balance) (TG/DTA 2410SA, hergestellt von Bruker AXS K.K.) gemessen. Die Temperatur wurde mit einer Rate von 10 °C/Min. unter einem Vakuumgrad von 8×10^{-4} Pa erhöht. Als Ergebnis wurde es gefunden, dass der Prozentsatz des Gewichtsverlusts von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) 100 % war, wie in **Fig. 42** gezeigt, was auf eine vorteilhafte Sublimationseigenschaft des metallorganischen Komplexes hindeutete.

[Beispiel 9]

⟨⟨Synthesebeispiel 5⟩⟩

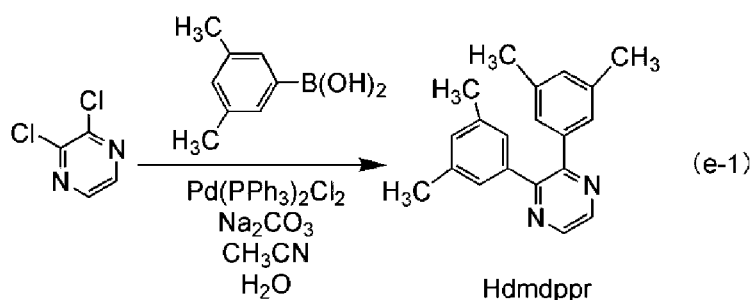
[0300] In Synthesebeispiel 5 wird ein Syntheseverfahren von Bis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-3-(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl-κ N]phenyl-κ C}(2,4-pentandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$), welches durch die Strukturformel (122) bei der Ausführungsform 1 dargestellt wird, beschrieben. Die Struktur von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) ist im Folgenden gezeigt.



(Schritt 1: Herstellung von 2,3-Bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin (Abkürzung: Hdmdppr))

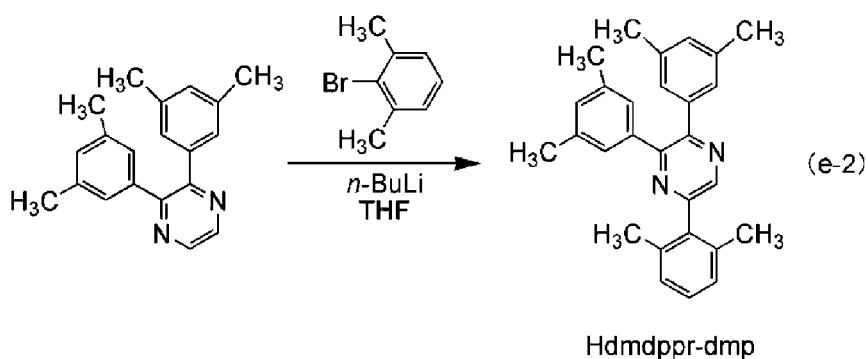
[0301] Zunächst wurden 5,00 g 2,3-Dichlorpyrazin, 10,23 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 7,19 g Natriumcarbonat, 0,29 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$), 20 ml Wasser und 20 ml Acetonitril in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 60 Minuten lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Hier wurden weiter 2,55 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 1,80 g Natriumcarbonat, 0,070 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$, 5 ml Wasser und 5 ml Acetonitril in den Kolben gegeben, und eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) wurde erneut 60 Minuten lang durchgeführt, so dass eine Erwärmung durchgeführt wurde. Anschließend wurde dieser Lösung Wasser zugegeben, und es wurde die organische Schicht mit Dichlormethan extrahiert. Die gewonnene organische Schicht wurde mit einer gesättigten, wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat, Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Hexan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 5:1 gereinigt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Feststoff wurde durch Flash-Säulen-

chromatographie mit Dichlormethan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 10:1 gereinigt, so dass Hdmdppr (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrazin-Derivat war, als weißes Pulver in einer Ausbeute von 44 % gewonnen wurde. Es sei angemerkt, dass die Bestrahlung mit Mikrowellen unter Verwendung eines Mikrowellen-Synthese-Systems (Discover, hergestellt von CEM Corporation) durchgeführt wurde. Ein Syntheschema von Schritt 1 ist in (e-1) gezeigt.



(Schritt 2: Herstellung von 5-(2,6-Dimethylphenyl)-2,3-bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin (Abkürzung: Hdmdppr-dmp))

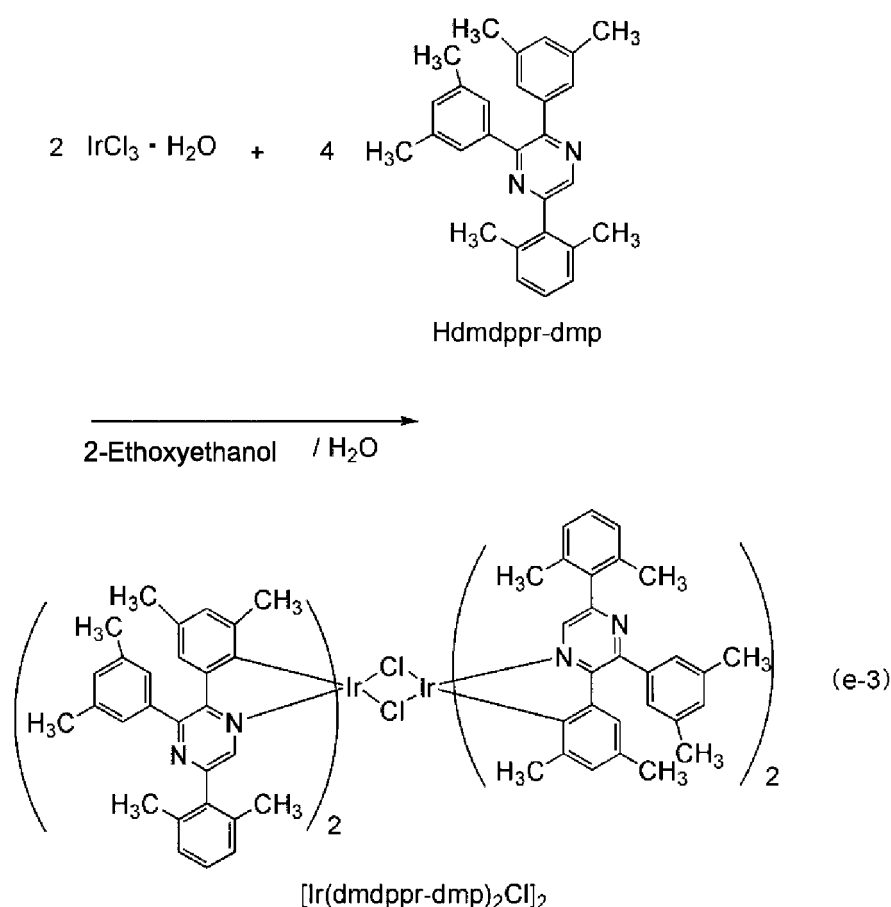
[0302] Dann wurden 2,81 g 2-Bromo-m-xylen und 30 ml trockenes THF in einen 200 ml Dreihalskolben gegeben, und die Luft in dem Kolben wurde durch Stickstoff ersetzt. Nachdem der Kolben auf -78 °C abgekühlt worden war, wurde 9,4 ml n-Butyllithium (1,6M-Lösung von n-Butyllithium in Hexan) tropfenweise zugegeben, und die Mischung wurde 1 Stunde lang bei -78 °C gerührt. Hier wurden 4,01 g Hdmdppr (Abkürzung), welches in Schritt 1 gewonnen worden war, und 40 ml trockenes THF zugegeben, und die Mischung wurde 16,5 Stunden lang bei Raumtemperatur gerührt. Die Reaktionslösung wurde ins Wasser gegossen, und die Lösung wurde einer Extraktion mit Chloroform unterzogen. Die gewonnene organische Schicht wurde mit Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Manganoxid wurde der gewonnenen Mischung zugegeben, und die Mischung wurde 30 Minuten lang gerührt. Dann wurde die Lösung gefiltert, und das Lösungsmittel wurde abdestilliert. Der gewonnene Rückstand wurde durch Kieselgel-Säulenchromatographie mit Dichlormethan und Hexan als Fließmittel in einem Verhältnis von 1:1 gereinigt, so dass Hdmdppr-dmp (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrazin-Derivat war, als gelblichweißes Pulver in einer Ausbeute von 10 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 2 ist in (e-2) gezeigt.



(Schritt 3: Herstellung von Di-μ-chlor-tetrakis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-3-(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl-κN]phenyl-κC} diiridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmdppr-dmp)₂Cl]₂))

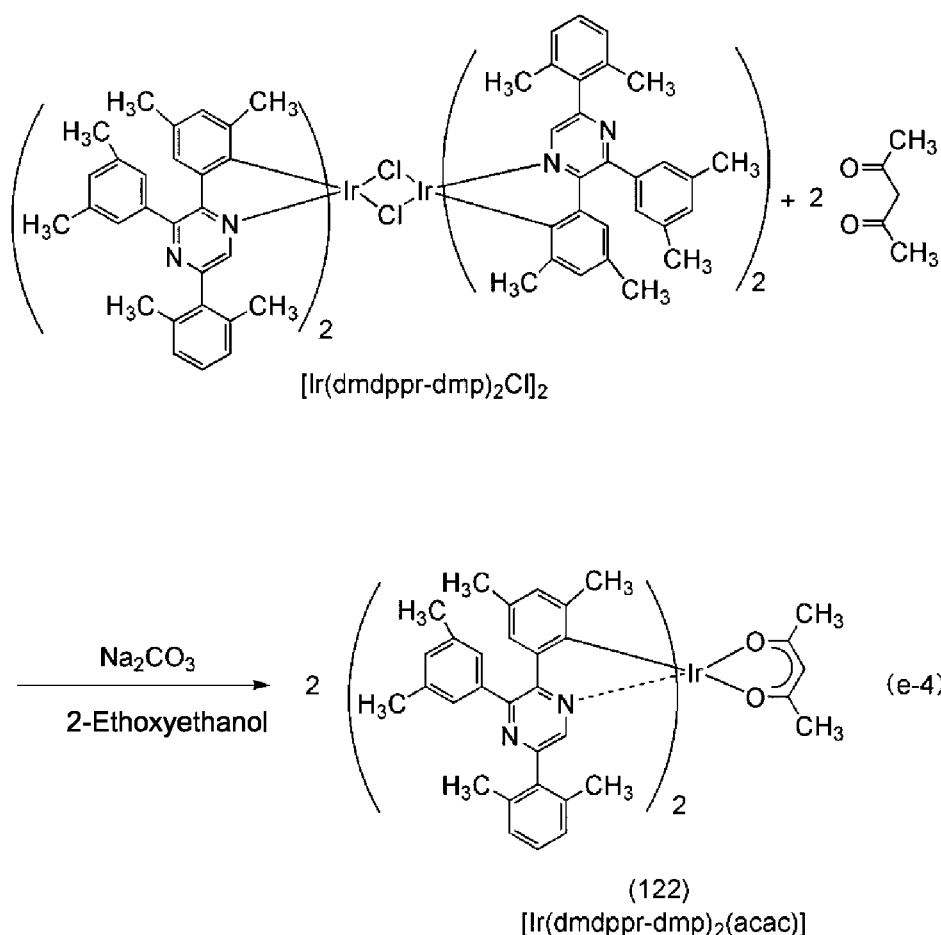
[0303] Anschließend wurden 15 ml 2-Ethoxyethanol, 5 ml Wasser, 1,12 g Hdmdppr-dmp (Abkürzung), welches in Schritt 2 gewonnen worden war, und 0,39 g Iridiumchloridhydrat (IrCl₃·H₂O) (hergestellt von Sigma-Aldrich Corporation) in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Danach wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und anschließend wurde der gewonnene Rückstand einer Saugfiltration unterzogen und mit Hexan gewaschen, um [Ir(dmdppr-dmp)₂Cl]₂ (Abkürzung), welches ein zweikerniger Komplex ist, als rötlichbraunes Pul-

ver in einer Ausbeute von 98 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 3 ist in (e-3) gezeigt.



⟨Schritt 4: Herstellung von Bis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-3-(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl-κ N] phenyl-κC} (2,4-pentandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$)⟩

[0304] Des Weiteren wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 1,28 g $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches der zweikernige Komplex ist, derin Schritt 3 gewonnen worden war, 0,19 g Acetylaceton (Abkürzung: Hacac) und 0,68 g Natriumcarbonat in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde 60 Minuten lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 120 W) durchgeführt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde einer Saugfiltration mit Ethanol unterzogen. Der gewonnene Feststoff wurde mit Wasser und Ethanol gewaschen. Der gewonnene Feststoff wurde in Dichlormethan aufgelöst und durch eine Filterhilfe gefiltert, bei der Celite, Aluminiumoxid und Celite in dieser Reihenfolge gestapelt waren. Dann wurde eine Umkristallisation mit einer Lösungsmittelmischung aus Dichlormethan und Ethanol durchgeführt; somit wurde $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) als rotes Pulver in einer Ausbeute von 51 % gewonnen. Ein Syntheschema von Schritt 4 ist in (e-4) gezeigt.



[0305] Ein Analyseergebnis durch Kernspinresonanzspektroskopie (¹H-NMR) an dem in Schritt 4 gewonnenen roten Pulver wird im Folgenden beschrieben. **Fig. 43** zeigt das ¹H-NMR-Diagramm. Diese Ergebnisse zeigten, dass [Ir(dmdppr-dmp)₂(acac)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (122) dargestellt wird, in dem Synthesebeispiel 5 gewonnen wurde.

[0306] ¹H-NMR. δ(CDCl₃): 1,48 (s, 6H), 1,75 (s, 6H), 1,94 (s, 6H), 2,12 (s, 12H), 2,35 (s, 12H), 5,17 (s, 1H), 6,47 (s, 2H), 6,81 (s, 2H), 7,08 (d, 4H), 7,12 (s, 2H), 7,18 (t, 2H), 7,40 (s, 4H), 8,36 (s, 2H).

[0307] Dann wurden ein UV-VIS-Absorptionsspektrum (im Folgenden der Einfachheit halber als „Absorptionsspektrum“ bezeichnet) einer Dichlormethanolösung von [Ir(dmdppr-dmp)₂(acac)] (Abkürzung) und ein Emissionsspektrum davon gemessen. Die Messung des Absorptionsspektrums wurde bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein UV-VIS-Spektrophotometer (V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) verwendet wurde und wobei die Dichlormethanolösung (0,062 mmol/l) in eine Quarzzelle gegeben wurde. Zudem wurde die Messung des Emissionsspektrums bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K.K.) verwendet wurde und wobei die entgaste Dichlormethanolösung (0,062 mmol/l) in eine Quarzzelle gegeben wurde. Messergebnisse der erhaltenen Absorptions- und Emissionsspektren sind in **Fig. 44** gezeigt, wobei die horizontale Achse der Wellenlänge entspricht und die vertikalen Achsen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität entsprechen. In **Fig. 44** sind zwei durchgezogene Linien gezeigt; die dünne Linie entspricht dem Absorptionsspektrum und die dicke Linie entspricht dem Emissionsspektrum. Es sei angemerkt, dass das Absorptionsspektrum in **Fig. 44** die Ergebnisse ist, die dadurch erhalten wurden, dass das Absorptionsspektrum von nur Dichlormethan in einer Quarzzelle von dem Absorptionsspektrum der Dichlormethanolösung (0,062 mmol/l) in einer Quarzzelle subtrahiert wurde.

[0308] Wie in **Fig. 44** gezeigt, weist [Ir(dmdppr-dmp)₂(acac)] (Abkürzung) einen Emissionspeak bei ca. 610 nm auf, und es wurde eine rötlichorange Lichtemission aus der Dichlormethanolösung beobachtet.

[0309] Außerdem wurde der Prozentsatz des Gewichtsverlusts (weight loss percentage) von [Ir(dmdppr-dmp)₂(acac)] (Abkürzung) durch eine Hochvakuum-Differentialthermowaage (high vacuum differential type

differential thermal balance) (TG/DTA 2410SA, hergestellt von Bruker AXS K.K.) gemessen. Die Temperatur wurde mit einer Rate von 10 °C/Min. unter einem Vakuumgrad von 8×10^{-4} Pa erhöht. Als Ergebnis wurde gefunden, dass der Prozentsatz des Gewichtsverlusts von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) 100 % war, wie in **Fig. 45** gezeigt, was auf eine vorteilhafte Sublimationseigenschaft des metallorganischen Komplexes hindeutete.

[0310] Dann wurde $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung), welches in diesem Beispiel gewonnen wurde, durch Flüssigchromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (liquid chromatography mass spectrometry: LC/MS) analysiert.

[0311] Bei der LC/MS-Analyse wurde flüssigchromatographische (LC-) Trennung mit ACQUITY UPLC (hergestellt von Waters Corporation) durchgeführt und die Massenspektrometrie- (MS-) Analyse wurde mit Xevo G2 ToF MS (hergestellt von Waters Corporation) durchgeführt. ACQUITY UPLC BEH C8 ($2,1 \times 100$ mm, $1,7 \mu\text{m}$) wurde als Säule für die LC-Trennung verwendet und die Säulentemperatur betrug 40 °C. Acetonitril wurde als mobile Phase A verwendet und eine 0,1 % wässrige Ameisensäurelösung wurde als mobile Phase B verwendet. Des Weiteren wurde eine Probe auf solch eine Weise hergestellt, dass $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) in Chloroform in einer gegebenen Konzentration aufgelöst wurde und die Mischung mit Acetonitril verdünnt wurde. Die Injektionsmenge betrug 5,0 μl .

[0312] Bei der LC-Trennung wurde ein Gradientenverfahren eingesetzt, bei dem die Zusammensetzung der mobilen Phasen verändert wurde. Das Verhältnis der mobilen Phase A zu der mobilen Phase B betrug 85:15 für 0 bis 1 Minute nach dem Beginn der Messung und anschließend wurde die Zusammensetzung verändert, so dass das Verhältnis der mobilen Phase A zu der mobilen Phase B in der 10. Minute 95:5 betrug. Die Zusammensetzung wurde linear verändert.

[0313] Bei der MS-Analyse wurde die Ionisation durch ein Elektrospray-Ionisations- (ESI-) Verfahren durchgeführt. Die Kapillarspannung (capillary voltage) und die Fragmentorspannung (sample cone voltage) betrugen 3,0 kV bzw. 30 V. Die Detektion wurde in einem positiven Modus durchgeführt. Der Massebereich für die Messung betrug $m/z = 100$ bis 1200.

[0314] Ein Bestandteil mit m/z von 1075,45, welcher die Trennung und die Ionisation unter den oben beschriebenen Bedingungen erfuhr, wurde mit einem Argongas in einer Kollisionszelle kollidiert, so dass er in Produkt-Ionen dissoziierte. Energie (Kollisionsenergie) zur Kollision mit Argon betrug 70 eV. Die Ergebnisse der Detektion der dissoziierten Produkt-Ionen mittels Flugzeit- (time of flight: TOF-) MS sind in **Fig. 46** gezeigt.

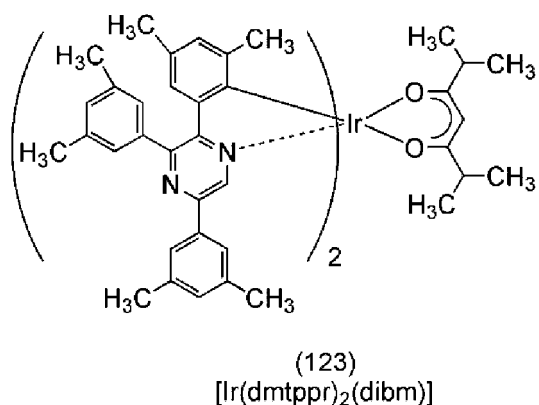
[0315] Die Ergebnisse in **Fig. 46** zeigen, dass die Produkt-Ionen von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (122) dargestellt wird, hauptsächlich bei ca. m/z 973,38, m/z 957,35, m/z 679,18, m/z 577,13 und m/z 477,10 detektiert wurden. Es sei angemerkt, dass die Ergebnisse in **Fig. 46** Eigenschaften, die aus $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) stammen, zeigen und daher als wichtige Daten zum Identifizieren von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung), welches in der Mischung enthalten ist, angesehen werden können.

[0316] Es wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei ca. m/z 973,38 ein Kation in einem Zustand ist, in dem Acetylaceton und ein Proton aus der Verbindung mit der Strukturformel (122) eliminiert wurden, und dies ist charakteristisch für den metallorganischen Komplex. Es wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei ca. m/z 957,35 aus der Eliminierung einer Methylgruppe aus dem Produkt-Ion bei ca. m/z 973,38 resultierte, was darauf hindeutet, dass $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) eine Methylgruppe enthält.

[Beispiel 10]

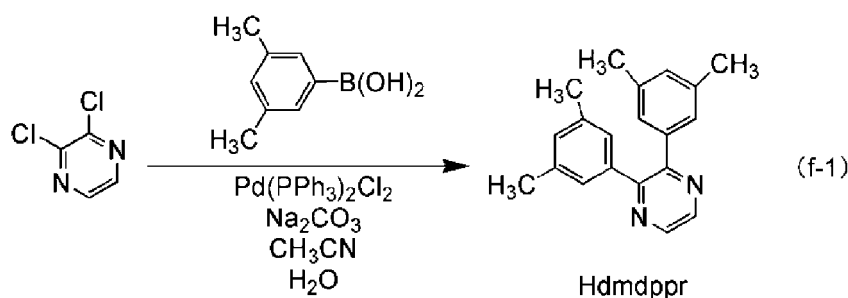
⟨⟨Synthesebeispiel 6⟩⟩

[0317] In Synthesebeispiel 6 wird ein Syntheseverfahren von Bis{4,6-dimethyl-2-[3,5-bis(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl-κN]phenyl-κC}(2,6-dimethyl-3,5-heptandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$), welches durch die Strukturformel (123) bei der Ausführungsform 1 dargestellt wird, beschrieben. Die Struktur von $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) ist im Folgenden gezeigt.



(Schritt 1: Herstellung von 2,3-Bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin (Abkürzung: Hdmdppr))

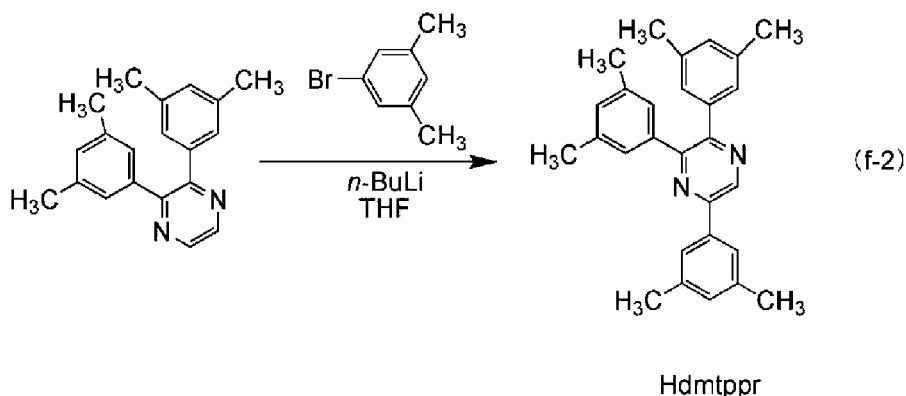
[0318] Zunächst wurden 5,00 g 2,3-Dichlorpyrazin, 10,23 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 7,19 g Natriumcarbonat, 0,29 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$), 20 ml Wasser und 20 ml Acetonitril in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 60 Minuten lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Hier wurden weiter 2,55 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 1,80 g Natriumcarbonat, 0,070 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$, 5 ml Wasser und 5 ml Acetonitril in den Kolben gegeben, und eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) wurde erneut 60 Minuten lang durchgeführt, so dass eine Erwärmung durchgeführt wurde. Anschließend wurde dieser Lösung Wasser zugegeben, und es wurde die organische Schicht mit Dichlormethan extrahiert. Die gewonnene organische Schicht wurde mit einer gesättigten, wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat, Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Hexan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 5:1 gereinigt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Feststoff wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Dichlormethan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 10:1 gereinigt, so dass Hdmdppr (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrazin-Derivat war, als weißes Pulver in einer Ausbeute von 44 % gewonnen wurde. Es sei angemerkt, dass die Bestrahlung mit Mikrowellen unter Verwendung eines Mikrowellen-Synthese-Systems (Discover, hergestellt von CEM Corporation) durchgeführt wurde. Ein Syntheschema von Schritt 1 ist in (f-1) gezeigt.



⟨Schritt 2: Herstellung von 2,3,5-Tris(3,5-dimethylphenyl)pyrazin (Abkürzung: Hamtppr)⟩

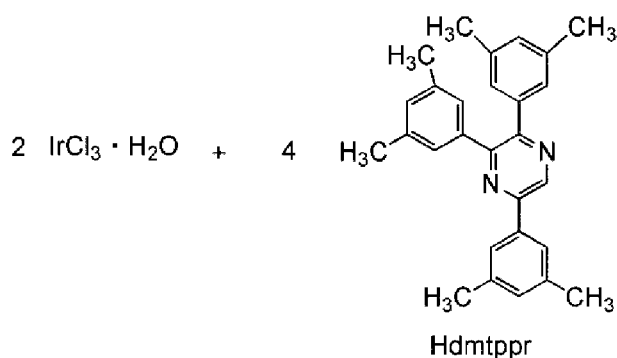
[0319] Zuerst wurden 2,81 g 5-Bromo-m-xylen und 30 ml trockenes THF in einen 200 ml Dreihalskolben gegeben, und die Luft in dem Kolben wurde durch Stickstoff ersetzt. Nachdem der Kolben auf -78°C abgekühlt worden war, wurde 9,4 ml n-Butyllithium (1,6M-Lösung von n-Butyllithium in Hexan) tropfenweise zugegeben, und die Mischung wurde 1 Stunde lang bei -78°C gerührt. Hier wurden 4,02 g Hdmdppr (Abkürzung), welches in Schritt 1 gewonnen worden war, und 40 ml trockenes THF zugegeben, und die Mischung wurde 18 Stunden lang bei Raumtemperatur gerührt. Die Reaktionslösung wurde ins Wasser gegossen, und die Lösung wurde einer Extraktion mit Chloroform unterzogen. Die gewonnene organische Schicht wurde mit Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen, und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Manganoxid wurde der gewonnenen Mischung zugegeben, und die Mischung wurde 30 Minuten lang gerührt. Dann wurde die Lösung gefiltert, und das Lösungsmittel wurde abdestilliert. Der gewonnene Rückstand wurde

durch Kieselgel-Säulenchromatographie mit Dichlormethan und Hexan als Fließmittel in einem Verhältnis von 1:1 gereinigt, so dass Hdmtppr (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrazin-Derivat war, als oranges Öl in einer Ausbeute von 37 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 2 ist in (f-2) gezeigt.

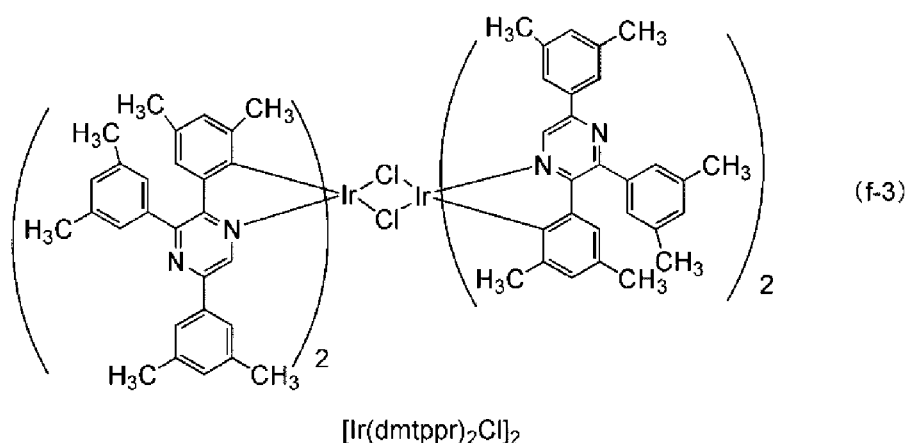


⟨Schritt 3: Herstellung von Di-μ-chlor-tetrakis{4,6-dimethyl-2-[3,5-bis(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl-κN]phenyl-κC}diiridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2\text{Cl}]_2$)⟩

[0320] Anschließend wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 10 ml Wasser, 1,95 g Hdmtppr (Abkürzung), welches in Schritt 2 gewonnen worden war, und 0,72 g Iridiumchloridhydrat ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (hergestellt von Sigma-Aldrich Corporation) in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Danach wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und anschließend wurde der gewonnene Rückstand einer Saugfiltration unterzogen und mit Ethanol gewaschen, um $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches ein zweikerniger Komplex ist, als rötlichbraunes Pulver in einer Ausbeute von 78 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 3 ist in (f-3) gezeigt.

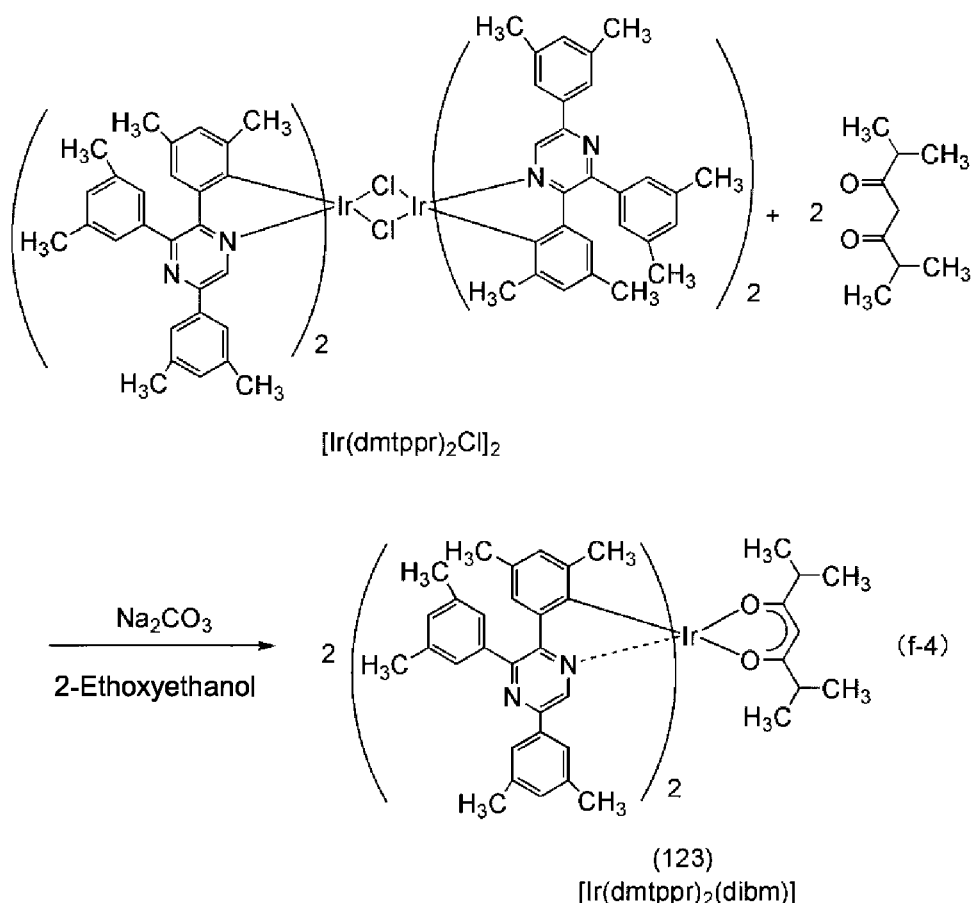


2-Ethoxyethanol / H₂O



(Schritt 4: Herstellung von Bis{4,6-dimethyl-2-[3,5-bis(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl-kN]phenyl-kC}(2,6-dimethyl-3,5-heptandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmtppr)₂(dibm)]))

[0321] Darüber hinaus wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 0,89 g [Ir(dmtppr)₂Cl]₂ (Abkürzung), welches der in Schritt 3 gewonnene zweikernige Komplex ist, 0,20 g Diisobutyrylmethan (Abkürzung: Hdibm) und 0,47 g Natriumcarbonat in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde 60 Minuten lang eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 200 W) durchgeführt. Hier wurde 0,20 g Hdibm zugegeben, und eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 200 W) wurde erneut 60 Minuten lang durchgeführt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und 0,20 g Hdibm, 0,47 g Natriumcarbonat und 30 ml 2-Ethoxyethanol wurden zugegeben. Die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Danach wurde eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 200 W) 2 Stunden lang durchgeführt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde einer Saugfiltration mit Ethanol unterzogen. Der gewonnene Feststoff wurde mit Wasser und Ethanol gewaschen. Der gewonnene Feststoff wurde in Dichlormethan aufgelöst und durch eine Filterhilfe gefiltert, bei der Celite, Aluminiumoxid und Celite in dieser Reihenfolge gestapelt waren. Dann wurde eine Umkristallisation mit einer Lösungsmittelmischung aus Dichlormethan und Ethanol durchgeführt; somit wurde [Ir(dmtppr)₂(dibm)] (Abkürzung) als dunkelrotes Pulver in einer Ausbeute von 73 % gewonnen. Ein Syntheschema von Schritt 4 ist in (f-4) gezeigt.



[0322] Ein Analyseergebnis durch Kernspinresonanzspektroskopie (^1H -NMR) an dem in Schritt 4 gewonnenen dunkelroten Pulver wird im Folgenden beschrieben. **Fig. 47** zeigt das ^1H -NMR-Diagramm. Diese Ergebnisse zeigten, dass $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (123) dargestellt wird, in dem Synthesebeispiel 6 gewonnen wurde.

[0323] ^1H -NMR. $\delta(\text{CDCl}_3)$: 0,78 (d, 6H), 0,99 (d, 6H), 1,41 (s, 6H), 1,96 (s, 6H), 2,24-2,30 (m, 2H), 2,35 (s, 12H), 2,42 (s, 12H), 5,07 (s, 1H), 6,46 (s, 2H), 6,78 (s, 2H), 7,04 (s, 2H), 7,18 (s, 2H), 7,47 (s, 2H), 7,49 (s, 2H), 7,67 (s, 4H), 8,77 (s, 2H).

[0324] Dann wurden ein UV-VIS-Absorptionsspektrum (im Folgenden der Einfachheit halber als „Absorptionsspektrum“ bezeichnet) einer Dichlormethanolösung von $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) und ein Emissionsspektrum davon gemessen. Die Messung des Absorptionsspektrums wurde bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein UV-VIS-Spektrophotometer (V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) verwendet wurde und wobei die Dichlormethanolösung (0,068 mmol/l) in eine Quarzzelle gegeben wurde. Zudem wurde die Messung des Emissionsspektrums bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K.K.) verwendet wurde und wobei die entgaste Dichlormethanolösung (0,31 $\mu\text{mol/l}$) in eine Quarzzelle gegeben wurde. Messergebnisse der erhaltenen Absorptions- und Emissionsspektren sind in **Fig. 48** gezeigt, wobei die horizontale Achse der Wellenlänge entspricht und die vertikalen Achsen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität entsprechen. In **Fig. 48** sind zwei durchgezogene Linien gezeigt; die dünne Linie entspricht dem Absorptionsspektrum und die dicke Linie entspricht dem Emissionsspektrum. Es sei angemerkt, dass das Absorptionsspektrum in **Fig. 48** die Ergebnisse ist, die dadurch erhalten wurden, dass das Absorptionsspektrum von nur Dichlormethan in einer Quarzzelle von dem Absorptionsspektrum der Dichlormethanolösung (0,068 mmol/l) in einer Quarzzelle subtrahiert wurde.

[0325] Wie in **Fig. 48** gezeigt, weist $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) einen Emissionspeak bei ca. 629 nm auf, und es wurde eine rötlichorange Lichtemission aus der Dichlormethanolösung beobachtet.

[0326] Als Nächstes wurde $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches in diesem Beispiel gewonnen wurde, durch Flüssigchromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (liquid chromatography mass spectrometry: LC/MS) analysiert.

[0327] Bei der LC/MS-Analyse wurde flüssigchromatographische (LC-) Trennung mit ACQUITY UPLC (hergestellt von Waters Corporation) durchgeführt und die Massenspektrometrie- (MS-) Analyse wurde mit Xevo G2 ToF MS (hergestellt von Waters Corporation) durchgeführt. ACQUITY UPLC BEH C8 ($2,1 \times 100 \text{ mm}$, $1,7 \mu\text{m}$) wurde als Säule für die LC-Trennung verwendet und die Säulentemperatur betrug 40°C . Acetonitril wurde als mobile Phase A verwendet und eine $0,1\%$ wässrige Ameisensäurelösung wurde als mobile Phase B verwendet. Des Weiteren wurde eine Probe auf solch eine Weise hergestellt, dass $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) in Chloroform in einer gegebenen Konzentration aufgelöst wurde und die Mischung mit Acetonitril verdünnt wurde. Die Injektionsmenge betrug $5,0 \mu\text{l}$.

[0328] Bei der LC-Trennung wurde ein Gradientenverfahren eingesetzt, bei dem die Zusammensetzung der mobilen Phasen verändert wurde. Das Verhältnis der mobilen Phase A zu der mobilen Phase B betrug 90:10 für 0 bis 1 Minute nach dem Beginn der Messung. Anschließend wurde die Zusammensetzung derart verändert, dass das Verhältnis der mobilen Phase A zu der mobilen Phase B nach 2 Minuten 95:5 betrug, und das Verhältnis wurde 10 Minuten lang gleich gehalten. Die Zusammensetzung wurde linear verändert.

[0329] Bei der MS-Analyse wurde die Ionisation durch ein Elektrospray-Ionisations- (ESI-) Verfahren durchgeführt. Die Kapillarspannung (capillary voltage) und die Fragmentorspannung (sample cone voltage) betrugen $3,01075 \text{ kV}$ bzw. 30 V . Die Detektion wurde in einem positiven Modus durchgeführt. Der Massebereich für die Messung betrug $m/z = 100$ bis 1200 .

[0330] Ein Bestandteil mit m/z von $1131,52$, welcher die Trennung und die Ionisation unter den oben beschriebenen Bedingungen erfuhr, wurde mit einem Argongas in einer Kollisionszelle kollidiert, so dass er in Produkt-Ionen dissoziierte. Energie (Kollisionsenergie) zur Kollision mit Argon betrug 70 eV . Das Ergebnis der Detektion der dissoziierten Produkt-Ionen mittels Flugzeit (time of flight: TOF)-MS sind in **Fig. 49** gezeigt.

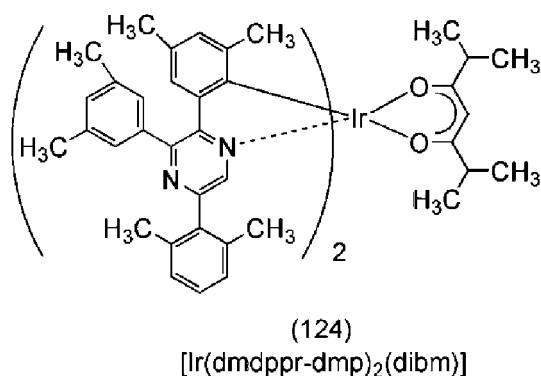
[0331] Die Ergebnisse in **Fig. 49** zeigen, dass die Produkt-Ionen von $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (123) dargestellt wird, hauptsächlich bei ca. $m/z 973,38$ und $m/z 583,13$ detektiert wurden. Es sei angemerkt, dass die Ergebnisse in **Fig. 49** Eigenschaften, die aus $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) stammen, zeigen und daher als wichtige Daten zum Identifizieren von $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches in der Mischung enthalten ist, angesehen werden können.

[0332] Es wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei ca. $m/z 973,38$ ein Kation in einem Zustand ist, in dem Acetylaceton und ein Proton aus der Verbindung mit der Strukturformel (123) eliminiert wurden, und dies ist charakteristisch für den metallorganischen Komplex. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei ca. $m/z 583,17$ ein Kation in einem Zustand ist, in dem Hdmtppr-dmp (Abkürzung), welches der Ligand ist, und Acetylaceton aus der Verbindung mit der Strukturformel (123) eliminiert wurden, welches charakteristisch für den metallorganischen Komplex ist.

[Beispiel 11]

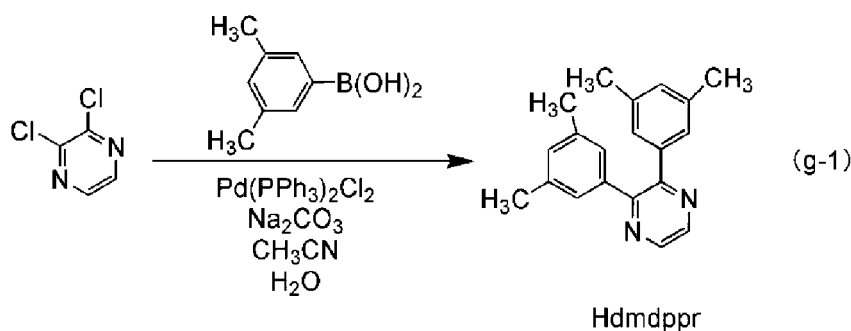
⟨⟨Synthesebeispiel 7⟩⟩

[0333] In Synthesebeispiel 7 wird ein Syntheseverfahren von Bis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-3-(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl- κ , N]phenyl- κC](2,6-dimethyl-3,5-heptandionato- $\kappa^2\text{O}, \text{O}'$)iridium(III)} (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$), welches durch die Strukturformel (124) bei der Ausführungsform 1 dargestellt wird, beschrieben. Die Struktur von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) ist im Folgenden gezeigt.



(Schritt 1: Herstellung von 2,3-Bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin (Abkürzung: Hdmdppr))

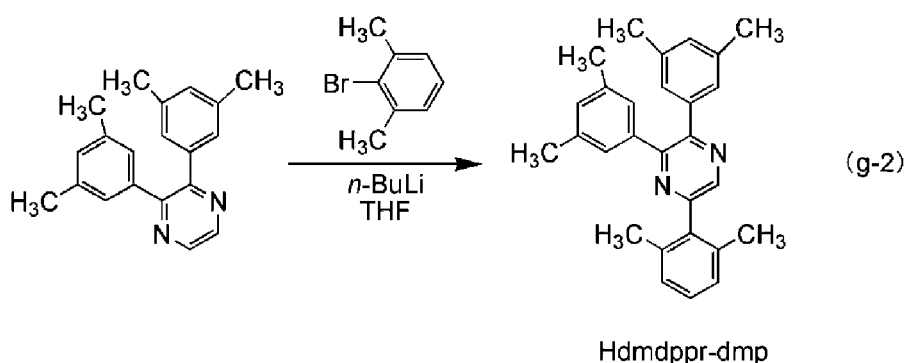
[0334] Zunächst wurden 5,00 g 2,3-Dichlorpyrazin, 10,23 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 7,19 g Natriumcarbonat, 0,29 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$), 20 ml Wasser und 20 ml Acetonitril in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 60 Minuten lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Hier wurden weiter 2,55 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 1,80 g Natriumcarbonat, 0,070 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$, 5 ml Wasser und 5 ml Acetonitril in den Kolben gegeben, und eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) wurde erneut 60 Minuten lang durchgeführt, so dass eine Erwärmung durchgeführt wurde. Anschließend wurde dieser Lösung Wasser zugegeben, und es wurde die organische Schicht mit Dichlormethan extrahiert. Die gewonnene organische Schicht wurde mit einer gesättigten, wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat, Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Hexan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 5:1 gereinigt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Feststoff wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Dichlormethan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 10:1 gereinigt, so dass Hdmdppr (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrazin-Derivat war, als weißes Pulver in einer Ausbeute von 44 % gewonnen wurde. Es sei angemerkt, dass die Bestrahlung mit Mikrowellen unter Verwendung eines Mikrowellen-Synthese-Systems (Discover, hergestellt von CEM Corporation) durchgeführt wurde. Ein Syntheschema von Schritt 1 ist in (g-1) gezeigt.



(Schritt 2: Herstellung von 5-(2,6-Dimethylphenyl)-2,3-bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin (Abkürzung: Hdmdppr-dmp))

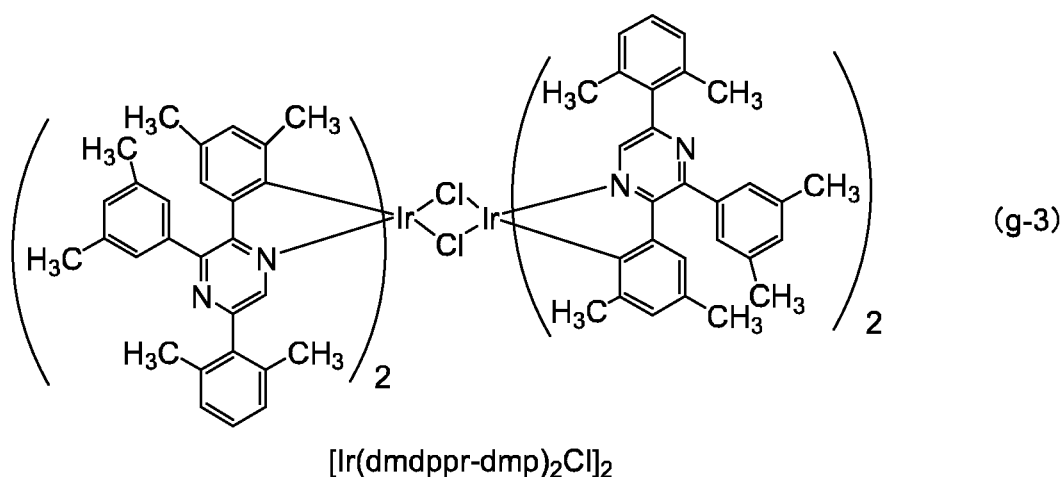
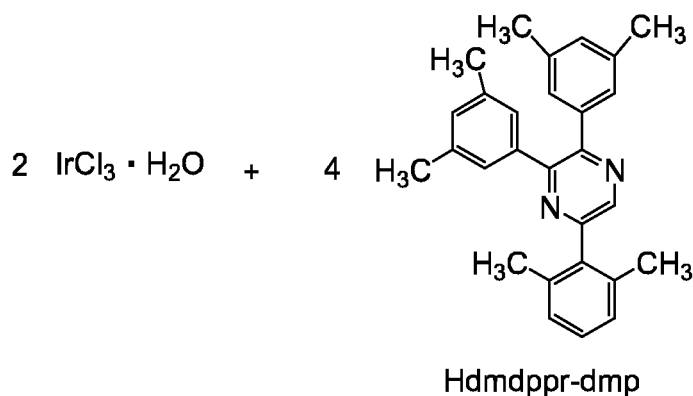
[0335] Zuerst wurden 2,81 g 2-Bromo-m-xylen und 30 ml trockenes THF in einen 200 ml Dreihalskolben gegeben, und die Luft in dem Kolben wurde durch Stickstoff ersetzt. Nachdem der Kolben auf -78°C abgekühlt worden war, wurde 9,4 ml n-Butyllithium (1,6M-Lösung von n-Butyllithium in Hexan) tropfenweise zugegeben, und die Mischung wurde 1 Stunde lang bei -78°C gerührt. Hier wurden 4,01 g Hdmdppr (Abkürzung), welches in Schritt 1 erhalten worden war, und 40 ml trockenes THF zugegeben, und die Mischung wurde 16,5 Stunden lang bei Raumtemperatur gerührt. Die Reaktionslösung wurde ins Wasser gegossen, und die Lösung wurde einer Extraktion mit Chloroform unterzogen. Die gewonnene organische Schicht wurde mit Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Manganoxid wurde der gewonnenen Mischung zugegeben, und die Mischung wurde 30 Minuten lang gerührt. Dann

wurde die Lösung gefiltert, und das Lösungsmittel wurde abdestilliert. Der gewonnene Rückstand wurde durch Kieselgel-Säulenchromatographie mit Dichlormethan und Hexan als Fließmittel in einem Verhältnis von 1:1 gereinigt, so dass Hdmdppr-dmp (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrazin-Derivat war, als gelblichweißes Pulver in einer Ausbeute von 10 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 2 ist in (g-2) gezeigt.



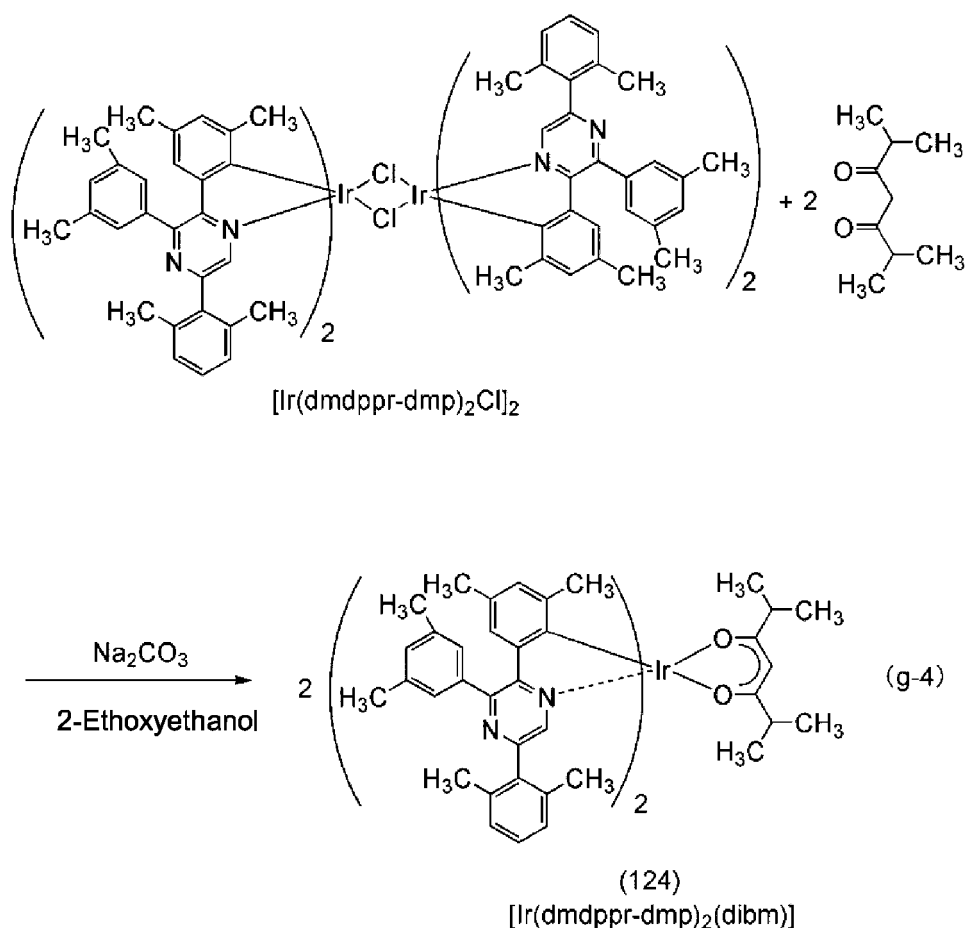
(Schritt 3: Herstellung von Di- μ -chlor-tetrakis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-3-(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl- κ N]phenyl- κ C}diiridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2\text{Cl}]_2$))

[0336] Anschließend wurden 15 ml 2-Ethoxyethanol, 5 ml Wasser, 1,12 g Hdmdppr-dmp (Abkürzung), welches in Schritt 2 gewonnen worden war, und 0,39 g Iridiumchloridhydrat ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (hergestellt von Sigma-Aldrich Corporation) in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und dann wurde der gewonnene Rückstand einer Saugfiltration unterzogen und mit Hexan gewaschen, um $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches ein zweikerniger Komplex ist, als rötlichbraunes Pulver in einer Ausbeute von 98 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 3 ist in (g-3) gezeigt.



⟨Schritt 4: Herstellung von Bis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-3-(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl-κ N] phenyl-κ C}(2,6-dimethyl-3,5-heptandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})] \rangle \rangle$

[0337] Darüber hinaus wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 0,80 g $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches der in Schritt 3 gewonnene zweikernige Komplex ist, 0,19 g Diisobutylmethan (Abkürzung: Hdibm) und 0,42 g Natriumcarbonat in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde 60 Minuten lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 120 W) durchgeführt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde in Dichlormethan aufgelöst und durch eine Filterhilfe gefiltert, bei der Celite, Aluminiumoxid und Celite in dieser Reihenfolge gestapelt waren. Dann wurde eine Umkristallisation mit einer Lösungsmittelmischung aus Dichlormethan und Methanol durchgeführt; somit wurde $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) als rotes Pulver in einer Ausbeute von 48 % gewonnen. Ein Syntheschema von Schritt 4 ist in (g-4) gezeigt.



[0338] Ein Analyseergebnis durch Kernspinresonanzspektroskopie (¹H-NMR) an dem in Schritt 4 gewonnenen roten Pulver wird im Folgenden beschrieben. **Fig. 50** zeigt das ¹H-NMR-Diagramm. Diese Ergebnisse zeigten, dass [Ir(dmdppr-dmp)₂(dibm)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (124) dargestellt wird, in dem Synthesebeispiel 7 gewonnen wurde.

[0339] ¹H-NMR. δ(CDCl₃): 0,80 (d, 6H), 0,81 (d, 6H), 1,47 (s, 6H), 1,95 (s, 6H), 2,10 (s, 12H), 2,23-2,28 (m, 2H), 2,34 (s, 12H), 5,19 (s, 1H), 6,48 (s, 2H), 6,81 (s, 2H), 7,06 (d, 4H), 7,11 (s, 2H), 7,16 (t, 2H), 7,40 (s, 4H), 8,22 (s, 2H).

[0340] Dann wurden ein UV-VIS-Absorptionsspektrum (im Folgenden der Einfachheit halber als „Absorptionsspektrum“ bezeichnet) einer Dichlormethanolösung von [Ir(dmdppr-dmp)₂(dibm)] (Abkürzung) und ein Emissionsspektrum davon gemessen. Die Messung des Absorptionsspektrums wurde bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein UV-VIS-Spektrophotometer (V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) verwendet wurde und wobei die Dichlormethanolösung (0,059 mmol/l) in eine Quarzzelle gegeben wurde. Zudem wurde die Messung des Emissionsspektrums bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K.K.) verwendet wurde und wobei die entgaste Dichlormethanolösung (0,059 mmol/l) in eine Quarzzelle gegeben wurde. Messergebnisse der erhaltenen Absorptions- und Emissionsspektren sind in **Fig. 51** gezeigt, wobei die horizontale Achse der Wellenlänge entspricht und die vertikalen Achsen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität entsprechen. In **Fig. 51** sind zwei durchgezogene Linien gezeigt; die dünne Linie entspricht dem Absorptionsspektrum und die dicke Linie entspricht dem Emissionsspektrum. Es sei angemerkt, dass das Absorptionsspektrum in **Fig. 51** die Ergebnisse ist, die dadurch erhalten wurden, dass das Absorptionsspektrum von nur Dichlormethan in einer Quarzzelle von dem Absorptionsspektrum der Dichlormethanolösung (0,059 mmol/l) in einer Quarzzelle subtrahiert wurde.

[0341] Wie in **Fig. 51** gezeigt, weist [Ir(dmdppr-dmp)₂(dibm)] (Abkürzung) einen Emissionspeak bei ca. 616 nm auf, und es wurde eine rötlichorange Lichtemission aus der Dichlormethanolösung beobachtet.

[0342] Außerdem wurde der Prozentsatz des Gewichtsverlusts (weight loss percentage) von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) durch eine Hochvakuum-Differentialthermowaage (high vacuum differential type differential thermal balance) (TG/DTA 2410SA, hergestellt von Bruker AXS K.K.) gemessen. Die Temperatur wurde mit einer Rate von 10 °C/Min. unter einem Vakuumgrad von 1×10^{-3} Pa erhöht. Als Ergebnis wurde gefunden, dass der Prozentsatz des Gewichtsverlusts von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) 100 % war, wie in **Fig. 52** gezeigt, was auf eine vorteilhafte Sublimationseigenschaft des metallorganischen Komplexes hindeutete.

[0343] Als Nächstes wurde $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches in diesem Beispiel gewonnen wurde, durch Flüssigchromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (liquid chromatography mass spectrometry: LC/MS) analysiert.

[0344] Bei der LC/MS-Analyse wurde flüssigchromatographische (LC-) Trennung mit ACQUITY UPLC (hergestellt von Waters Corporation) durchgeführt und die Massenspektrometrie- (MS-) Analyse wurde mit Xevo G2 ToF MS (hergestellt von Waters Corporation) durchgeführt. ACQUITY UPLC BEH C8 (2,1 × 100 mm, 1,7 µm) wurde als Säule für die LC-Trennung verwendet und die Säulentemperatur betrug 40 °C. Acetonitril wurde als mobile Phase A verwendet und eine 0,1 % wässrige Ameisensäurelösung wurde als mobile Phase B verwendet. Des Weiteren wurde eine Probe auf solch eine Weise hergestellt, dass $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) in Chloroform in einer gegebenen Konzentration aufgelöst wurde und die Mischung mit Acetonitril verdünnt wurde. Die Injektionsmenge betrug 5,0 µl.

[0345] Bei der LC-Trennung wurde ein Gradientenverfahren eingesetzt, bei dem die Zusammensetzung der mobilen Phasen verändert wurde. Das Verhältnis der mobilen Phase A zu der mobilen Phase B betrug 90:10 für 0 bis 1 Minute nach dem Beginn der Messung und anschließend wurde die Zusammensetzung verändert, so dass das Verhältnis der mobilen Phase A zu der mobilen Phase B in der 10. Minute 95:5 betrug. Die Zusammensetzung wurde linear verändert.

[0346] Bei der MS-Analyse wurde die Ionisation durch ein Elektrospray-Ionisations- (ESI-) Verfahren durchgeführt. Die Kapillarspannung (capillary voltage) und die Fragmentorspannung (sample cone voltage) betrugen 3,0 kV bzw. 30 V. Die Detektion wurde in einem positiven Modus durchgeführt. Der Massebereich für die Messung betrug $m/z = 100$ bis 1200.

[0347] Ein Bestandteil mit m/z von 1131,52, welcher die Trennung und die Ionisation unter den oben beschriebenen Bedingungen erfuhr, wurde mit einem Argongas in einer Kollisionszelle kollidiert, so dass er in Produkt-Ionen dissoziierte. Energie (Kollisionsenergie) zur Kollision mit Argon betrug 70 eV. Die Ergebnisse der Detektion der dissoziierten Produkt-Ionen mittels Flugzeit- (time of flight: TOF-) MS sind in **Fig. 53** gezeigt.

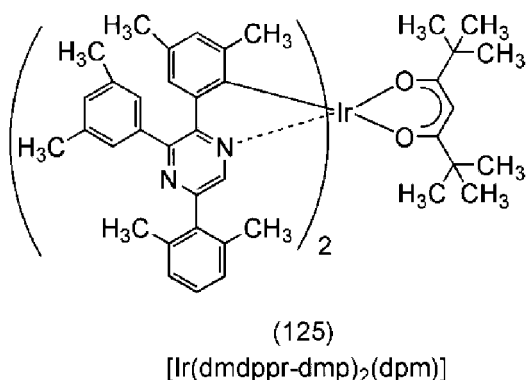
[0348] Die Ergebnisse in **Fig. 53** zeigen, dass die Produkt-Ionen von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (124) dargestellt wird, hauptsächlich bei ca. m/z 973,38, m/z 959,36, m/z 581,16, m/z 555,15 und m/z 393,23 detektiert wurden. Es sei angemerkt, dass die Ergebnisse in **Fig. 53** Eigenschaften, die aus $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) stammen, zeigen und daher als wichtige Daten zum Identifizieren von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches in der Mischung enthalten ist, angesehen werden können.

[0349] Es wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei ca. m/z 973,38 ein Kation in einem Zustand ist, in dem Acetylaceton und ein Proton aus der Verbindung mit der Strukturformel (124) eliminiert wurden, und dies ist charakteristisch für den metallorganischen Komplex. Es wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei ca. m/z 959,36 aus der Eliminierung einer Methylgruppe aus dem Produkt-Ion bei ca. m/z 973,38 resultierte, was darauf hindeutet, dass $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) eine Methylgruppe enthält.

[Beispiel 12]

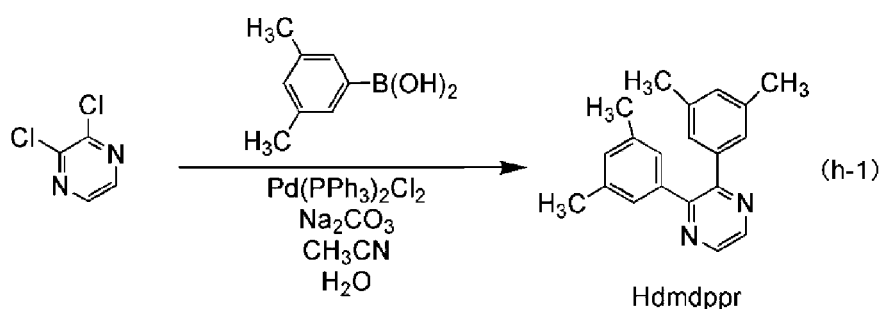
⟨⟨Synthesebeispiel 8⟩⟩

[0350] In Synthesebeispiel 8 wird ein Syntheseverfahren von Bis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-3-(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl-κ N]phenyl-κC} (2,2',6,6'-tetramethyl-3,5-heptandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dpm})]$), welches durch die Strukturformel (125) bei der Ausführungsform 1 dargestellt wird, beschrieben. Die Struktur von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dpm})]$ (Abkürzung) ist im Folgenden gezeigt.



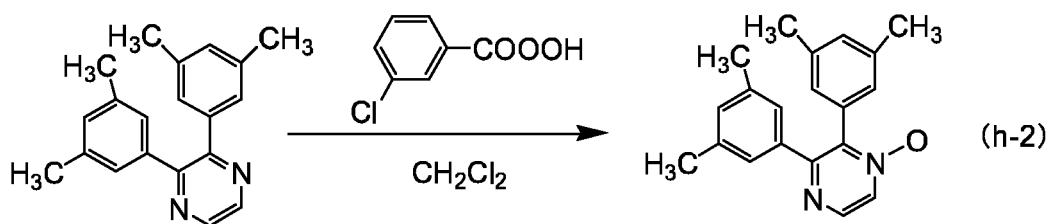
(Schritt 1: Herstellung von 2,3-Bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin (Abkürzung: Hdmdppr))

[0351] Zunächst wurden 5,00 g 2,3-Dichlorpyrazin, 10,23 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 7,19 g Natriumcarbonat, 0,29 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$), 20 ml Wasser und 20 ml Acetonitril in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 60 Minuten lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Hier wurden weiter 2,55 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 1,80 g Natriumcarbonat, 0,070 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$, 5 ml Wasser und 5 ml Acetonitril in den Kolben gegeben, und eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) wurde erneut 60 Minuten lang durchgeführt, so dass eine Erwärmung durchgeführt wurde. Anschließend wurde dieser Lösung Wasser zugegeben, und es wurde die organische Schicht mit Dichlormethan extrahiert. Die gewonnene organische Schicht wurde mit einer gesättigten, wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat, Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Hexan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 5:1 gereinigt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Feststoff wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Dichlormethan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 10:1 gereinigt, so dass Hdmdppr (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrazin-Derivat war, als weißes Pulver in einer Ausbeute von 44 % gewonnen wurde. Es sei angemerkt, dass die Bestrahlung mit Mikrowellen unter Verwendung eines Mikrowellen-Synthese-Systems (Discover, hergestellt von CEM Corporation) durchgeführt wurde. Ein Syntheschema von Schritt 1 ist in (h-1) gezeigt.



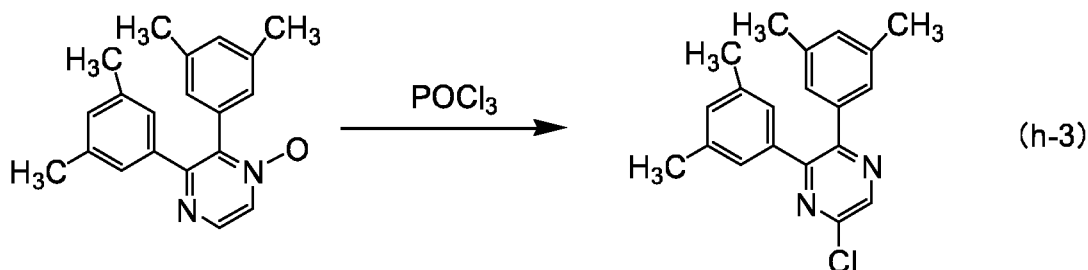
(Schritt 2: Herstellung von 2,3-Bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin-1-oxid)

[0352] Als Nächstes wurden 6,6 g Hdmdppr (Abkürzung), welches in Schritt 1 gewonnen worden war, 7,8 g 3-Chlorperbenzoesäure und 90 ml Dichlormethan in einen 300 ml Dreihalskolben gegeben, und die Luft in dem Kolben durch Stickstoff ersetzt. Die Mischung wurde 24 Stunden lang bei Raumtemperatur gerührt, die Reaktionslösung wurde dann ins Wasser gegossen, und die Lösung wurde einer Extraktion mit Dichlormethan unterzogen. Die gewonnene organische Schicht wurde mit einer gesättigten, wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat gewaschen und dann mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, wodurch das herzustellende Pyrazin-Derivat als gelbes Pulver in einer Ausbeute von 100 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 2 ist in (h-2) gezeigt.



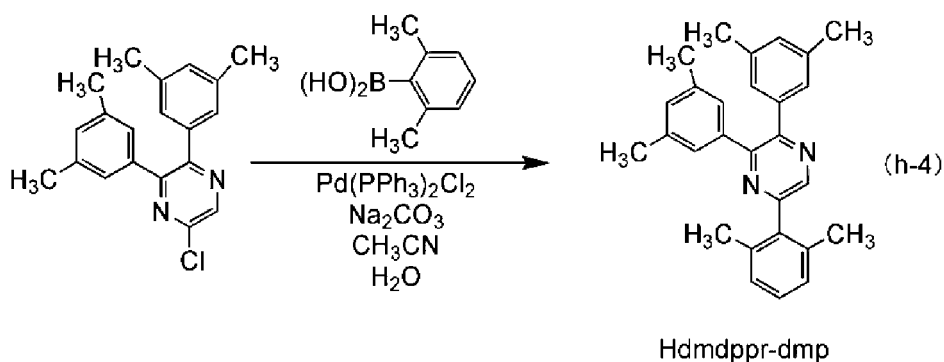
(Schritt 3: Herstellung von 5-Chlor-2,3-bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin)

[0353] Anschließend wurde 7,0 g 2,3-Bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin-1-oxid, welches in Schritt 2 gewonnen worden war, in einen 100 ml Dreihalskolben gegeben, und die Luft in dem Kolben wurde durch Stickstoff ersetzt. Hier wurde 20 ml Phosphoroxychlorid zugegeben, und die Mischung wurde 1 Stunde lang bei 100 °C gerührt. Die Reaktionslösung wurde ins Wasser gegossen, und die Lösung wurde einer Extraktion mit Chloroform unterzogen. Die gewonnene organische Schicht wurde mit einer gesättigten, wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat, Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, wodurch das herzustellende Pyrazin-Derivat als graues Pulver in einer Ausbeute von 90 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 3 ist in (h-3) gezeigt.



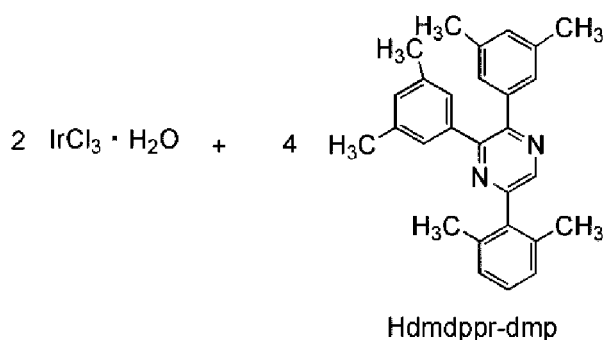
(Schritt 4: Herstellung von 5-(2,6-Dimethylphenyl)-2,3-bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin (Abkürzung: Hdmdppr-dmp))

[0354] Dann wurden 1,21 g 5-Chlor-2,3-bis(3,5-dimethylphenyl)pyrazin, welches in Schritt 3 gewonnen worden war, 1,10 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,78 g Natriumcarbonat, 15 mg $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$, 14 ml Wasser und 14 ml Acetonitril in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling (Sprudeln oder Aufwallen) mit Argon unterzogen. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 3 Stunden lang unterzogen. Hier wurden weiter 0,55 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,39 g Natriumcarbonat und 7 mg $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ in den Kolben gegeben, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling mit Argon unterzogen. Dieser Reaktionsbehälter wurde erneut einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 3 Stunden lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Die Mischung wurde einer Saugfiltration unterzogen, und der gewonnene Feststoff wurde mit Ethanol gewaschen. Der gewonnene Feststoff wurde in Dichlormethan aufgelöst und durch eine Filterhilfe gefiltert, bei der Celite, Aluminiumoxid und Celite in dieser Reihenfolge gestapelt waren, so dass Hdmdppr-dmp (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrazin-Derivat war, als weißes Pulver in einer Ausbeute von 89 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 4 ist in (h-4) gezeigt.

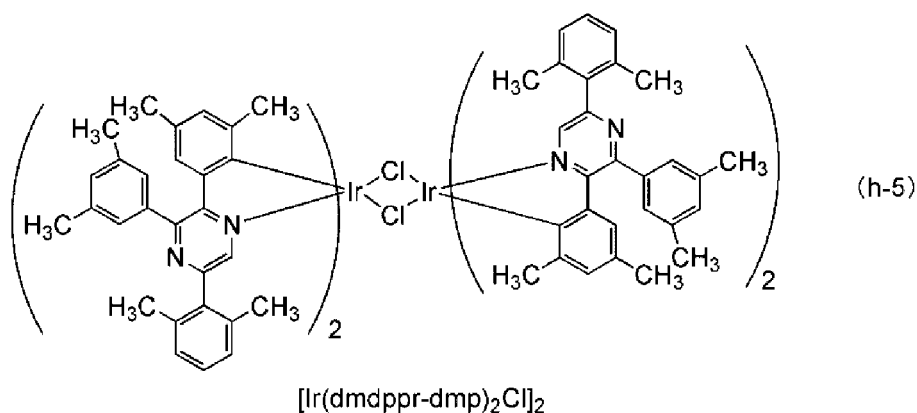


(Schritt 5: Herstellung von Di- μ -chlor-tetrakis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-3-(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl- κ N]phenyl- κ C]diiridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2\text{Cl}]_2$))

[0355] Anschließend wurden 15 ml 2-Ethoxyethanol, 5 ml Wasser, 1,12 g Hdmdppr-dmp (Abkürzung), welches in Schritt 4 gewonnen worden war, und 0,39 g Iridiumchloridhydrat ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (hergestellt von Sigma-Aldrich Corporation) in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und anschließend wurde der gewonnene Rückstand einer Saugfiltration unterzogen und mit Hexan gewaschen, um $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches ein zweikerniger Komplex ist, als rötlichbraunes Pulver in einer Ausbeute von 98 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 3 ist in (h-5) gezeigt.



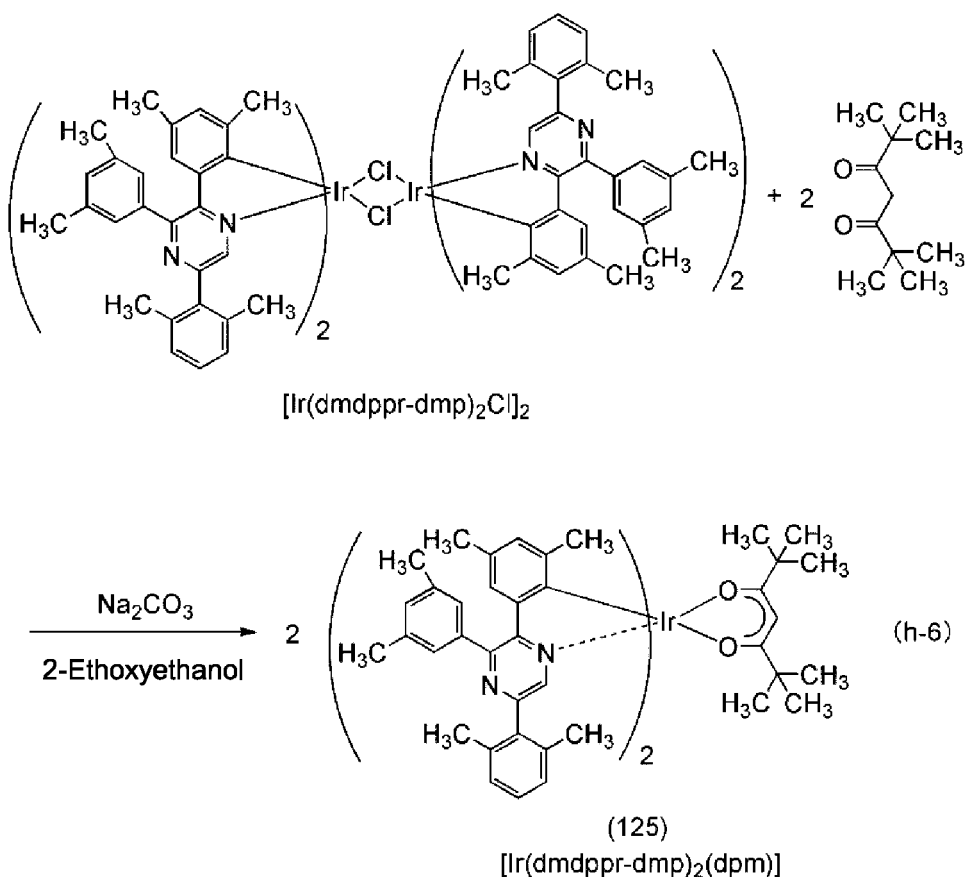
2-Ethoxyethanol / H_2O



(Schritt 6: Herstellung von Bis[4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-3-(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl-κ N] phenyl-κC}{2,2',6,6'-tetramethyl-3,5-heptandionato-κ²O,O'}iridium(III)

(Abkürzung: [Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)]))

[0356] Darüber hinaus wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 1,38 g [Ir(dmdppr-dmp)₂Cl]₂ (Abkürzung), welches der in Schritt 5 gewonnene zweikernige Komplex ist, 0,39 g Dipivaloylmethan (Abkürzung: Hdpm) und 0,73 g Natriumcarbonat in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde 60 Minuten lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 120 W) durchgeführt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde einer Saugfiltration mit Methanol unterzogen. Der gewonnene Feststoff wurde mit Wasser und Methanol gewaschen. Der gewonnene Feststoff wurde in Dichlormethan aufgelöst und durch eine Filterhilfe gefiltert, bei der Celite, Aluminiumoxid und Celite in dieser Reihenfolge gestapelt waren. Dann wurde eine Umkristallisation mit einer Lösungsmittelmischung aus Dichlormethan und Methanol durchgeführt; somit wurde [Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)] (Abkürzung) als dunkelrotes Pulver in einer Ausbeute von 59 % gewonnen. Ein Syntheschema von Schritt 6 ist in (h-6) gezeigt.



[0357] Ein Analyseergebnis durch Kernspinresonanzspektroskopie (¹H-NMR) an dem in Schritt 6 gewonnenen dunkelroten Pulver wird im Folgenden beschrieben. **Fig. 54** zeigt das ¹H-NMR-Diagramm. Diese Ergebnisse zeigten, dass [Ir(dmdppr-dmp)₂(dibm)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (125) dargestellt wird, in dem Synthesebeispiel 8 gewonnen wurde.

[0358] ¹H-NMR. δ(CDCl₃): 0,90 (s, 18H), 1,46 (s, 6H), 1,95 (s, 6H), 2,10 (s, 12H), 2,34 (s, 12H), 5,57 (s, 1H), 6,47 (s, 2H), 6,81 (s, 2H), 7,06 (d, 4H), 7,11 (s, 2H), 7,16 (t, 2H), 7,38 (s, 4H), 8,19 (s, 2H).

[0359] Dann wurden ein UV-VIS-Absorptionsspektrum (im Folgenden der Einfachheit halber als „Absorptionsspektrum“ bezeichnet) einer Dichlormethanolösung von [Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)] (Abkürzung) und ein Emissionsspektrum davon gemessen. Die Messung des Absorptionsspektrums wurde bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein UV-VIS-Spektrophotometer (V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) verwendet wurde und wobei die Dichlormethanolösung (0,058 mmol/l) in eine Quarzzone gegeben wurde. Zudem wurde die Messung des Emissionsspektrums bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei ein Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K.K.) verwendet wurde und wobei

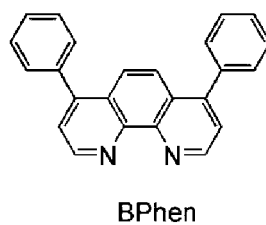
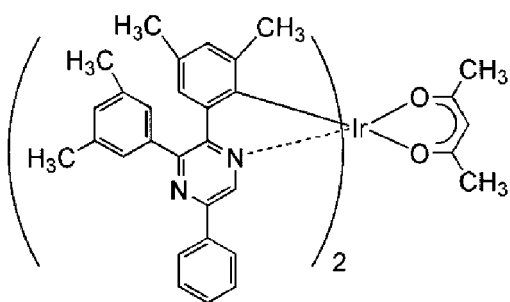
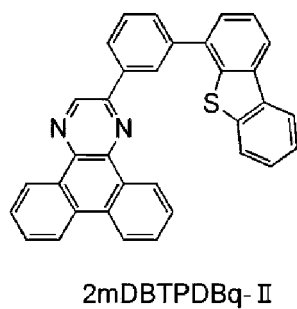
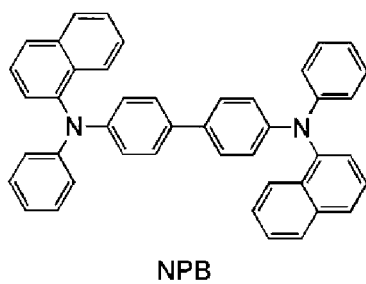
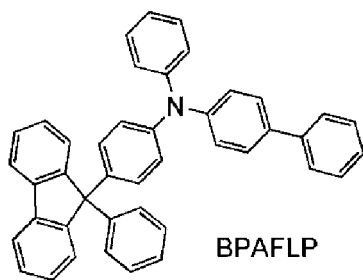
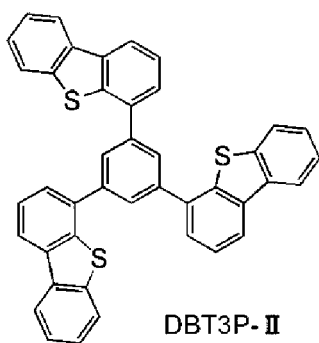
die entgaste Dichlormethanolösung (0,058 mmol/l) in eine Quarzzelle gegeben wurde. Messergebnisse der erhaltenen Absorptions- und Emissionsspektren sind in **Fig. 55** gezeigt, wobei die horizontale Achse der Wellenlänge entspricht und die vertikalen Achsen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität entsprechen. In **Fig. 55** sind zwei durchgezogene Linien gezeigt; die dünne Linie entspricht dem Absorptionsspektrum und die dicke Linie entspricht dem Emissionsspektrum. Es sei angemerkt, dass das Absorptionsspektrum in **Fig. 55** die Ergebnisse ist, die dadurch erhalten wurden, dass das Absorptionsspektrum von nur Dichlormethan in einer Quarzzelle von dem Absorptionsspektrum der Dichlormethanolösung (0,058 mmol/l) in einer Quarzzelle subtrahiert wurde.

[0360] Wie in **Fig. 55** gezeigt, weist $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dpm})]$ (Abkürzung) einen Emissionspeak bei ca. 618 nm auf, und es wurde eine rötlichorange Lichtemission aus der Dichlormethanolösung beobachtet.

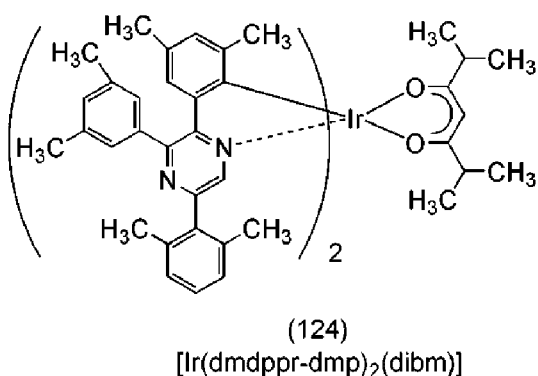
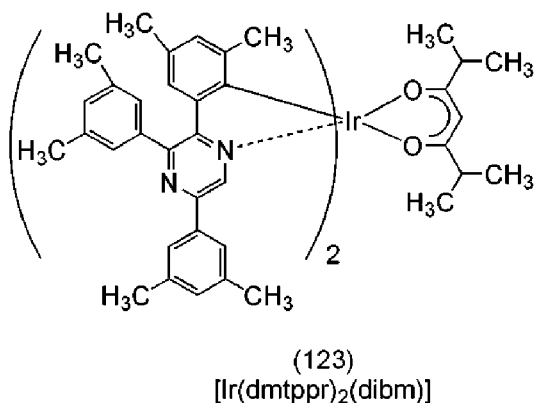
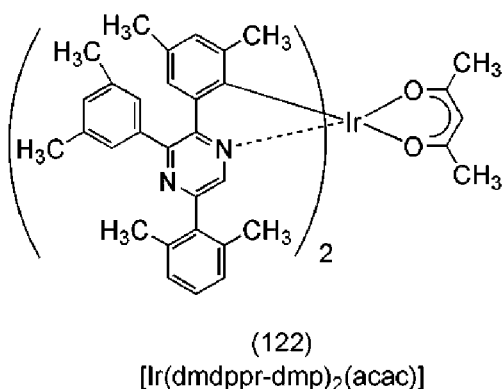
[0361] Außerdem wurde der Prozentsatz des Gewichtsverlusts (weight loss percentage) von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dpm})]$ (Abkürzung) durch eine Hochvakuum-Differentialthermowaage (high vacuum differential type differential thermal balance) (TG/DTA 2410SA, hergestellt von Bruker AXS K.K.) gemessen. Die Temperatur wurde mit einer Rate von 10 °C/Min. unter einem Vakuumgrad von 1×10^{-3} Pa erhöht. Als Ergebnis wurde gefunden, dass der Prozentsatz des Gewichtsverlusts von $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dpm})]$ (Abkürzung) 97 % war, wie in **Fig. 56** gezeigt, was auf eine vorteilhafte Sublimationseigenschaft des metallorganischen Komplexes hindeutete.

[Beispiel 13]

[0362] In diesem Beispiel werden die folgenden Licht emittierenden Elemente beschrieben, in denen jeweils ein metallorganischer Komplex für eine Licht emittierende Schicht verwendet wird: ein Licht emittierendes Element 4, in dem $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (121) dargestellt wird, verwendet wird; ein Licht emittierendes Element 5, in dem $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (122) dargestellt wird, verwendet wird; ein Licht emittierendes Element 6, in dem $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (123) dargestellt wird, verwendet wird; und ein Licht emittierendes Element 7, in dem $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (124) dargestellt wird, verwendet wird. Es sei angemerkt, dass in der Beschreibung der Licht emittierenden Elemente 4 bis 7 in diesem Beispiel **Fig. 15** benutzt wird, welche in der Beschreibung des Licht emittierenden Elements 1 in dem Beispiel 4 benutzt worden ist. Chemische Formeln von Materialien in diesem Beispiel sind im Folgenden gezeigt.



(121)
 $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{acac})]$



((Herstellung von Licht emittierenden Elementen 4 bis 7))

[0363] Zuerst wurde Indiumzinnoxid, das Siliziumoxid enthielt (indium tin oxide containing silicon oxide: ITSO), durch ein Sputterverfahren über dem Glassubstrat 1100 abgeschieden, so dass die erste Elektrode 1101, die als Anode diente, ausgebildet wurde. Die Dicke betrug 110 nm, und die Elektrodenfläche betrug 2 mm × 2 mm.

[0364] Dann wurde als Vorbehandlung zum Ausbilden des Licht emittierenden Elements über dem Substrat 1100 eine UV-Ozonbehandlung 370 Sekunden lang durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrats mit Wasser gewaschen worden war und das Substrat 1 Stunde lang bei 200°C geheizt worden war.

[0365] Danach wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfanrichtung überführt, in der der Druck auf ca. 10⁻⁴ Pa verringert worden war, und in einer Heizkammer der Vakuumverdampfanrichtung 30 Minuten lang im Vakuum bei 170 °C geheizt, und dann wurde das Substrat 1100 etwa 30 Minuten lang abgekühlt.

[0366] Das Substrat 1100 wurde dann an einem Halter in der Vakuumverdampfanrichtung derart befestigt, dass sich eine Oberfläche des Substrats 1100, über der die erste Elektrode 1101 ausgebildet war, nach unten richtete. In diesem Beispiel wird ein Fall beschrieben, in dem die Lochinjektionsschicht 1111, die Lochtransporterschicht 1112, die Licht emittierende Schicht 1113, die Elektronentransporterschicht 1114 und die Elekt-

roneninjektionsschicht 1115, welche in der EL-Schicht 1102 enthalten sind, durch ein Vakuumaufdampfverfahren nacheinander ausgebildet werden.

[0367] Nachdem der Druck der Vakuumaufdampfeinrichtung auf 10^{-4} Pa verringert worden war, wurden 1,3,5-Tri(dibenzothiophen-4-yl)benzol (Abkürzung: DBT3P-II) und Molybdän(VI)oxid co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von DBT3P-II (Abkürzung) zu Molybdänoxid 4:2 betrug, wobei die Lochinjektionsschicht 1111 über der ersten Elektrode 1101 ausgebildet wurde. Die Dicke der Lochinjektionsschicht 1111 betrug 20 nm. Es sei angemerkt, dass die Co-Aufdampfung ein Aufdampfverfahren ist, bei dem mehrere verschiedenen Substanzen gleichzeitig aus jeweiligen verschiedenen Aufdampfquellen aufgedampft werden.

[0368] Dann wurde 4-Phenyl-4'-(9-phenylfluoren-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: BPAFLP) in einer Dicke von 20 nm durch Aufdampfung abgeschieden, so dass die Lochtransportschicht 1112 ausgebildet wurde.

[0369] Als Nächstes wurde die Licht emittierende Schicht 1113 über der Lochtransportschicht 1112 auf die folgende Weise ausgebildet. Im Fall des Licht emittierenden Elements 4 wurden 2mDBTPDBq-II (Abkürzung), NPB (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von 2mDBTPDBq-II (Abkürzung) zu NPB (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) 0,8:0,2:0,05 betrug. Die Dicke der Licht emittierenden Schicht 1113 betrug 40 nm. Im Fall des Licht emittierenden Elements 5 wurden 2mDBTPDBq-II (Abkürzung), NPB (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von 2mDBTPDBq-II (Abkürzung) zu NPB (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) 0,8:0,2:0,05 betrug. Die Dicke der Licht emittierenden Schicht 1113 betrug 40 nm. Im Fall des Licht emittierenden Elements 6 wurden 2mDBTPDBq-II (Abkürzung), NPB (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von 2mDBTPDBq-II (Abkürzung) zu NPB (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmtppr})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) 0,8:0,2:0,05 betrug. Die Dicke der Licht emittierenden Schicht 1113 betrug 40 nm. Im Fall des Licht emittierenden Elements 7 wurden 2mDBTPDBq-II (Abkürzung), NPB (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von 2mDBTPDBq-II (Abkürzung) zu NPB (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{dmppr-dmp})_2(\text{dibm})]$ (Abkürzung) 0,8:0,2:0,05 betrug. Die Dicke der Licht emittierenden Schicht 1113 betrug 40 nm.

[0370] Dann wurde 2mDBTPDBq-II (Abkürzung) in einer Dicke von 20 nm über der Licht emittierenden Schicht 1113 durch Aufdampfung abgeschieden, und Bathophenanthrolin (Abkürzung: BPhen) wurde dann in einer Dicke von 20 nm durch Aufdampfung abgeschieden, wodurch die Elektronentransportschicht 1114 mit einer gestapelten Struktur ausgebildet wurde. Darüber hinaus wurde Lithiumfluorid in einer Dicke von 1 nm über der Elektronentransportschicht 1114 durch Aufdampfung abgeschieden, wodurch die Elektroneninjektionsschicht 1115 ausgebildet wurde.

[0371] Zuletzt wurde über der Elektroneninjektionsschicht 1115 Aluminium in einer Dicke von 200 nm durch Aufdampfung abgeschieden, um die zweite Elektrode 1103, die als Kathode diente, auszubilden; somit wurden die Licht emittierenden Elemente 4 bis 7 erhalten. Es sei angemerkt, dass in allen Aufdampfschritten die Aufdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0372] Elementstrukturen der Licht emittierenden Elemente 4 bis 7, die auf die oben beschriebene Weise erhalten wurden, sind in Tabelle 8 gezeigt.

[Tabelle 8]

	Erste Elekt- rode	Lochinjekti- ons schicht	Lochtrans- port schicht	Licht emittieren de Schicht	Elektronentrans- port	schic- ht	Elektronen- inj ektions- schic ht	Zweite Elekt- rode
Licht emit- tierendes Element 4	ITSO (110nm)	DBT3P-II : MoOx (4:2 20nm)	BPAFLP (20nm)	*	2mDBTPDBq-II (20nm)	BPhe n (20n m)	LiF (1nm)	Al (200nm)
Licht emit- tierendes Element 5				**				
Licht emit- tierendes Element 6				***				
Licht emit- tierendes Element 7				****				
* 2mDBTPDBq-II:NPB: [Ir(dmdppr-P) ₂ (acac)] (0,8:0,2:0.05 40nm)								
** 2mDBTPDBq-I:NPB: [Ir(dmdppr-dmp) ₂ (acac)] (0.8:0,2:0,05 40nm)								
*** 2mDBTPDBq-II:NPB: [Ir(dmtppr) ₂ (dibm)] (0,8:0.2:0,05 40nm)								
**** 2mDBTPDBq-I:NPB: [Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dibm)] (0,8:0,2:0.05 40nm)								

[0373] Des Weiteren wurden die hergestellten Licht emittierenden Elemente 4 bis 7 in einem Handschuhkasten, der eine Stickstoffatmosphäre enthielt, abgedichtet, damit sie nicht der Luft ausgesetzt waren (ein Dichtungsmittel wurde insbesondere auf eine Außenkante des Elements aufgebracht, und eine Wärmebehandlung wurde 1 Stunde lang bei 80 °C zum Zeitpunkt der Abdichtung durchgeführt).

«Betriebseigenschaften der Licht emittierenden Elemente 4 bis 7»

[0374] Betriebseigenschaften der hergestellten Licht emittierenden Elemente 4 bis 7 wurden gemessen. Es sei angemerkt, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer bei 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0375] Fig. 57 zeigt Stromdichte-Leuchtdichte-Eigenschaften der Licht emittierenden Elemente 4 bis 7. In Fig. 57 stellt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) dar, und die horizontale Achse stellt die Stromdichte (mA/cm²) dar. Fig. 58 zeigt Spannungs-Leuchtdichte-Eigenschaften der Licht emittierenden Elemente 4 bis 7. In Fig. 58 stellt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) dar, und die horizontale Achse stellt die Spannung (V) dar. Fig. 59 zeigt weiterhin Leuchtdichte-Stromeffizienz-Eigenschaften der Licht emittierenden Elemente 4 bis 7. In Fig. 59 stellt die vertikale Achse die Stromeffizienz (cd/A) dar, und die horizontale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m²) dar. Fig. 60 zeigt Spannungs-Strom-Eigenschaften der Licht emittierenden Elemente 4 bis 7. In Fig. 60 stellt die vertikale Achse den Strom (mA) dar, und die horizontale Achse stellt die Spannung (V) dar.

[0376] Fig. 59 beweist eine hohe Effizienz der Licht emittierenden Elemente 4 bis 7, die in einem Teil ihrer Licht emittierenden Schichten das Folgende enthalten: [Ir(dmdppr-P)₂(acac)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (121) dargestellt wird, [Ir(dmdppr-dmp)₂(acac)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (122) dargestellt wird, [Ir(dmtppr)₂(dibm)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (123) dargestellt wird, bzw. [Ir(dmdppr-dmp)₂(dibm)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (124) dargestellt wird. Tabelle 9 zeigt die Anfangswerte der Haupteigenschaften der Licht emittierenden Elemente 4 bis 7 bei einer Leuchtdichte von ca. 1000 cd/m².

[Tabelle 9]

	Span- nu ng (V)	Stro- m (mA)	Strom- dichte (mA/cm ²)	Farbart (x;y)	Leucht- dicht e (cd/m ²)	Stromeffi- zien z (cd/A)	Leistungsef- fizi enz (lm/W)	Quantenef- fizi enz (%)
Licht emit- tierendes Element 4	3,9	0,22	5,5	(0,68;0, 32)	1100	20	16	25
Licht emit- tierendes Element 5	3,3	0,1	2,5	(0,66;0, 34)	1000	40	38	29
Licht emit- tierendes Element 6	3,3	0,19	4,8	(0,68;0, 32)	920	19	18	23
Licht emit- tierendes Element 7	3,3	0,088	2,2	(0,66;0, 34)	850	38	37	27

[0377] Die zuvor angegebenen Ergebnisse zeigen, dass die Licht emittierenden Elemente 4 bis 7, die in diesem Beispiel hergestellt wurden, Licht emittierende Elemente mit einer hohen Leuchtdichte und einer hohen Stromeffizienz sind. Bezüglich der Farbreinheit kann weiterhin gefunden werden, dass die Licht emittierenden Elemente rötlichorange Licht mit einer hervorragenden Farbreinheit emittieren.

[0378] Fig. 61 zeigt Emissionsspektren zum Zeitpunkt einer Zuführung eines Stroms mit einer Stromdichte von 2,5 mA/cm² zu den Licht emittierenden Elementen 4 bis 7. Die Emissionsspektren der Licht emittierenden Elemente 5 und 7 haben, wie in Fig. 61 gezeigt, jeweils einen Peak bei ca. 617 nm, und die Emissionsspektren der Licht emittierenden Elemente 4 und 6 haben jeweils einen Peak bei ca. 630 nm. Es wird daher darauf hingedeutet, dass die Peaks aus einer Emission der metallorganischen Komplexe, die in den entsprechenden Licht emittierenden Elementen enthalten sind, stammen. Zudem wurde beobachtet, dass die Halbwertsbreiten der Emissionsspektren der Licht emittierenden Elemente 4 bis 7 klein sind. Man kann vermuten, dass dies ein Effekt ist, der durch die Struktur jedes der metallorganischen Komplexe in diesem Beispiel gebracht wurde, bei welcher Methylgruppen an die Position-2 und die Position-4 der an Iridium gebundenen Phenylgruppe gebunden sind. Somit kann man sagen, dass die Licht emittierenden Elemente 4 bis 7 eine hohe Emissionseffizienz haben und eine hohe Farbreinheit erzielen.

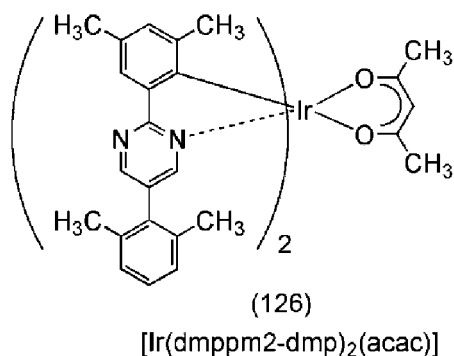
[0379] Die Licht emittierenden Elemente 4 bis 7 wurden Zuverlässigkeitstesten unterzogen. Die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsteste sind in Fig. 62 und Fig. 63 dargestellt. In Fig. 62 stellt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) bei einer Anfangsleuchtdichte von 100 % dar, und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) des Elements dar. Es sei angemerkt, dass bei einem der Zuverlässigkeitsteste die Licht emittierenden Elemente 4 bis 7 unter den Bedingungen betrieben wurden, wobei die Anfangsleuchtdichte auf 5000 cd/m² eingestellt wurde und die Stromdichte konstant war. Folglich behält das Licht emittierende Element 4 nach 100 Stunden etwa 60 % der Anfangsleuchtdichte; das Licht emittierende Element 5 behält nach 38 Stunden etwa 88 % der Anfangsleuchtdichte; das Licht emittierende Element 6 behält nach 40 Stunden etwa 80 % der Anfangsleuchtdichte; und das Licht emittierende Element 7 behält nach 39 Stunden etwa 86 % der Anfangsleuchtdichte. In Fig. 63 stellt ferner die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) bei einer Anfangsleuchtdichte von 100 % dar, und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) des Elements dar. Es sei angemerkt, dass bei dem anderen Zuverlässigkeitstest die Licht emittierenden Elemente 4 bis 7 mit einem Stromwert von 0,3 mA betrieben wurden. Folglich behält das Licht emittierende Element 4 nach 100 Stunden etwa 86 % der Anfangsleuchtdichte; das Licht emittierende Element 5 behält nach 100 Stunden etwa 91 % der Anfangsleuchtdichte; das Licht emittierende Element 6 behält nach 100 Stunden etwa 90 % der Anfangsleuchtdichte; und das Licht emittierende Element 7 behält nach 100 Stunden etwa 86 % der Anfangsleuchtdichte.

[0380] Folglich zeigten beide Zuverlässigkeitsteste, die unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt wurden, dass die Licht emittierenden Elemente 4 bis 7 hochzuverlässig sind. Zudem wurde es bestätigt, dass unter Verwendung des vorstehend beschriebenen metallorganischen Komplexes ein Licht emittierendes Element mit einer langen Lebensdauer erhalten werden kann.

[Beispiel 14]

((Synthesebeispiel 9))

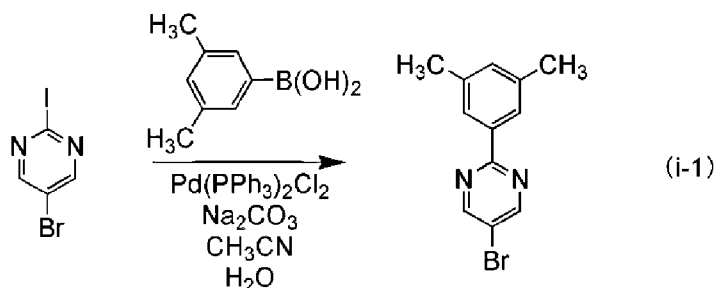
[0381] In Synthesebeispiel 9 wird ein Syntheseverfahren von Bis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-2-pyrimidinyl-κN]phenyl-κC}(2,4-pentandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmppm2-dmp)₂(acac)]), welches durch die Strukturformel (126) bei der Ausführungsform 1 dargestellt wird, beschrieben. Die Struktur von [Ir(dmppm2-dmp)₂(acac)] (Abkürzung) ist im Folgenden gezeigt.



(Schritt 1: Herstellung von 5-Bromo-2-(3,5-dimethylphenyl)pyrimidin)

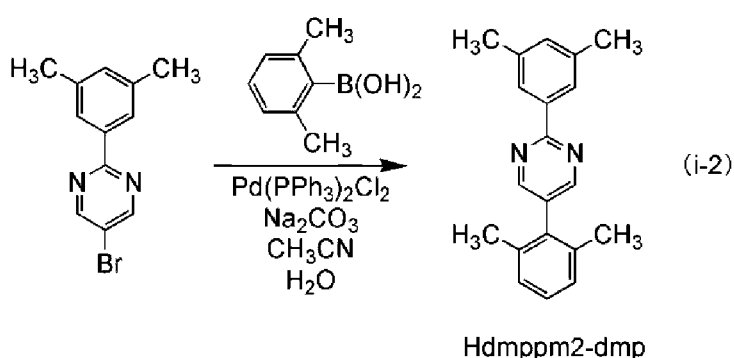
[0382] Zunächst wurden 2,97 g 5-Bromo-2-iodopyrimidin, 1,62 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 1,21 g Natriumcarbonat, 0,093 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$), 20 ml Wasser und 20 ml Acetonitril in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling (Sprudeln oder Aufwallen) mit Argon unterzogen. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Hier wurden weiter 0,40 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 0,30 g Natriumcarbonat und 0,024 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ in den Kolben gegeben, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling mit Argon unterzogen. Dieser Reaktionsbehälter wurde erneut einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang unterzogen, um erwärmt zu werden.

[0383] Anschließend wurde dieser Lösung Wasser zugegeben, und es wurde die organische Schicht mit Dichlormethan extrahiert. Die gewonnene organische Schicht wurde mit Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Hexan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 5:1 gereinigt. Der Feststoff, der durch Konzentrieren einer Fraktion gewonnen wurde, wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Dichlormethan und Hexan als Fließmittel in einem Verhältnis von 1:1 gereinigt, so dass das herzustellende Pyrimidin-Derivat als weißes Pulver in einer Ausbeute von 33 % gewonnen wurde. Es sei angemerkt, dass die Bestrahlung mit Mikrowellen unter Verwendung eines Mikrowellen-Synthese-Systems (Discover, hergestellt von CEM Corporation) durchgeführt wurde. Ein Syntheschema von Schritt 1 ist in (i-1) gezeigt.



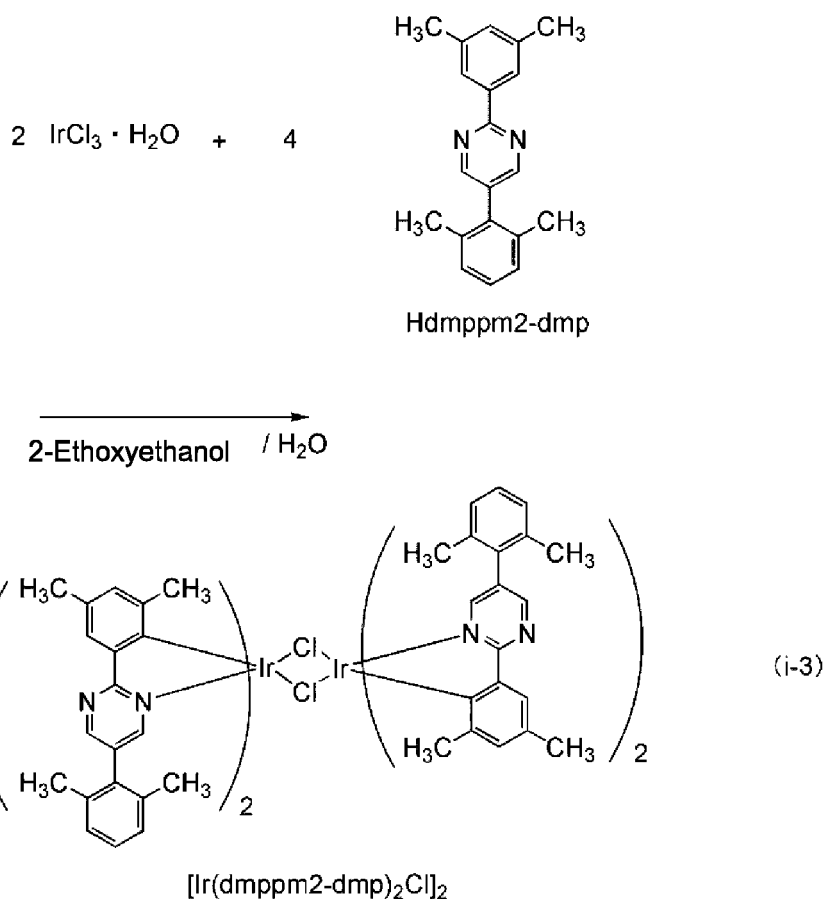
(Schritt 2: Herstellung von 5-(2,6-Dimethylphenyl)-2-(3,5-dimethylphenyl)pyrimidin (Abkürzung: Hdmpm2-dmp))

[0384] Dann wurden 0,91 g 5-Bromo-2-(3,5-dimethylphenyl)pyrimidin, 1,05 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,74 g Natriumcarbonat, 0,029 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$), 13 ml Wasser und 13 ml Acetonitril in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling (Sprudeln oder Aufwallen) mit Argon unterzogen. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 4 Stunden lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Hier wurden weiter 1,07 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,73 g Natriumcarbonat und 0,029 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ in den Kolben gegeben, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling mit Argon unterzogen. Dieser Reaktionsbehälter wurde erneut einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 3 Stunden lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Danach wurde die gewonnene Mischung einer Saugfiltration mit Wasser unterzogen. Der gewonnene Feststoff wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Toluol und Hexan als Fließmittel in einem Verhältnis von 1:1 gereinigt, so dass Hdmpm2-dmp (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrimidin-Derivat war, als weißes Pulver in einer Ausbeute von 83 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 2 ist in (i-2) gezeigt.



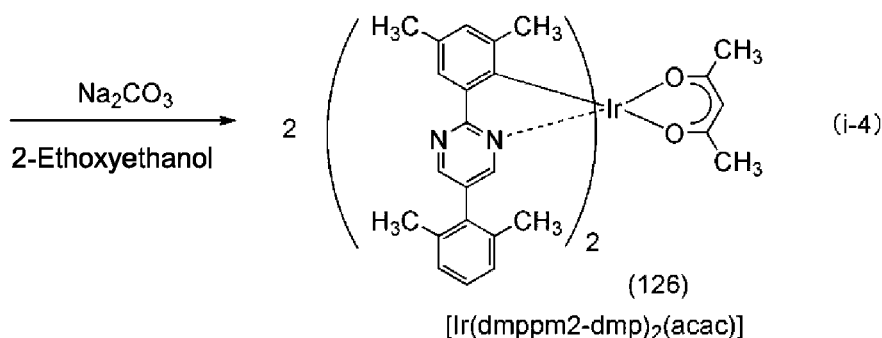
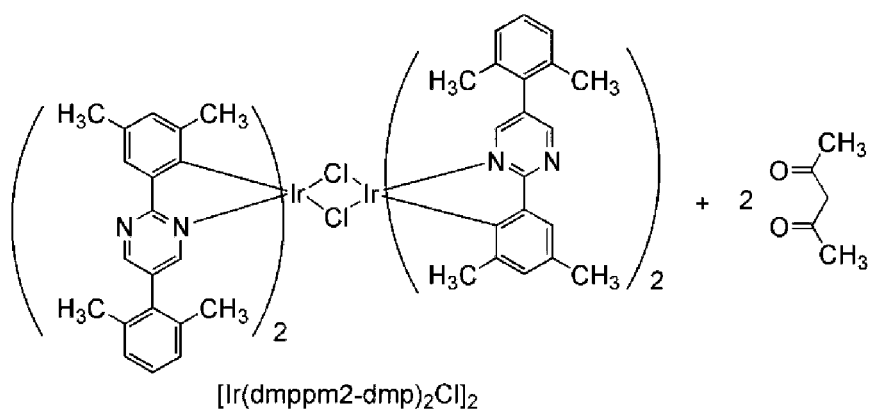
⟨Schritt 3: Herstellung von Di- μ -chlor-tetrakis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-2-pyrimidinyl- κ N]phenyl- κ C}diiridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmpm2-dmp})_2\text{Cl}]_2$)⟩

[0385] Anschließend wurden 15 ml 2-Ethoxyethanol, 5 ml Wasser, 0,83 g Hdmpm2-dmp (Abkürzung), welches in Schritt 2 gewonnen worden war, und 0,39 g Iridiumchloridhydrat ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (hergestellt von Sigma-Aldrich Corporation) in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und dann wurde der gewonnene Rückstand einer Saugfiltration unterzogen und mit Hexan gewaschen, um $[\text{Ir}(\text{dmpm2-dmp})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches ein zweikerniger Komplex ist, als braunes Pulver in einer Ausbeute von 91 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 3 ist in (i-3) gezeigt.



⟨Schritt 4: Herstellung von Bis[4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-2-pyrimidinyl-κN]phenyl-κC](2,4-pentandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmppm2-dmp})_2(\text{acac})]$)⟩

[0386] Dann wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 0,95 g $[\text{Ir}(\text{dmppm2-dmp})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches der in Schritt 3 gewonnene zweikernige Komplex ist, 0,18 g Acetylaceton (Abkürzung: Hacac) und 0,63 g Natriumcarbonat in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben durch Argon ersetzt. Anschließend wurde 60 Minuten lang eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 120 W) durchgeführt. Hier wurde 0,18 g Hacac zugegeben, und eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 200 W) wurde erneut 60 Minuten lang durchgeführt, so dass eine Erwärmung durchgeführt wurde. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde einer Saugfiltration mit Methanol unterzogen. Der gewonnene Feststoff wurde mit Wasser und Methanol gewaschen. Nachdem der gewonnene Feststoff durch Flash-Säulenchromatographie mit Hexan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 5:1 gereinigt worden war, wurde eine Umkristallisation mit einer Lösungsmischung aus Dichlormethan und Methanol durchgeführt; somit wurde $[\text{Ir}(\text{dmppm2-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) als gelboranges Pulver in einer Ausbeute von 14 % gewonnen. Ein Syntheschema von Schritt 4 ist in (i-4) gezeigt.



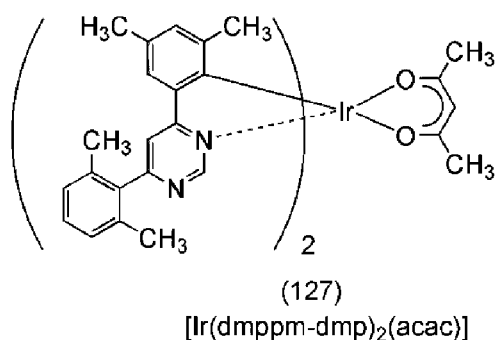
[0387] Ein Analyseergebnis durch Kernspinresonanzspektroskopie (^1H -NMR) an dem in Schritt 4 gewonnenen gelborangen Pulver wird im Folgenden beschrieben. **Fig. 64** zeigt das ^1H -NMR-Diagramm. Diese Ergebnisse zeigten, dass $[\text{Ir}(\text{dmppm2-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (126) dargestellt wird, in dem Synthesebeispiel 9 gewonnen wurde.

[0388] ^1H -NMR. $\delta(\text{CDCl}_3)$: 1,58 (s, 6H), 1,62 (s, 6H), 2,03 (s, 6H), 2,15 (s, 6H), 2,28 (s, 6H), 5,17 (s, 1H), 6,63 (d, 2H), 7,15 (t, 4H), 7,24 (t, 2H), 7,81 (d, 2H), 8,39 (d, 2H), 8,53 (d, 2H).

[Beispiel 15]

⟨⟨Synthesebeispiel 10⟩⟩

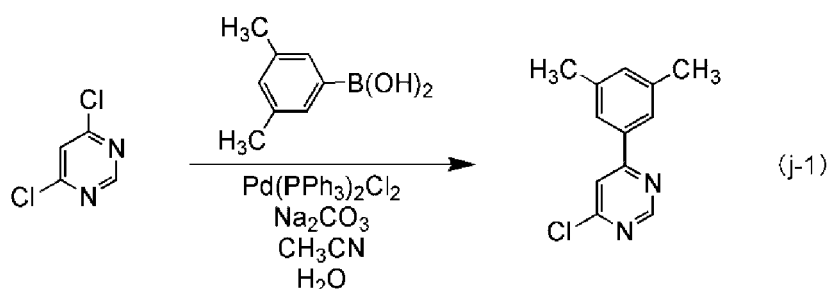
[0389] In Synthesebeispiel 10 wird ein Syntheseverfahren von Bis{4,6-dimethyl-2-[6-(2,6-dimethylphenyl)-4-pyrimidinyl- κN3]phenyl- κC }(2,4-pentandionato- $\kappa^2\text{O},\text{O}'$)iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmppm-dmp})_2(\text{acac})]$), welches durch die Strukturformel (127) bei der Ausführungsform 1 dargestellt wird, beschrieben. Die Struktur von $[\text{Ir}(\text{dmppm-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) ist im Folgenden gezeigt.



(Schritt 1: Herstellung von 4-Chlor-6-(3,5-dimethylphenyl)pyrimidin)

[0390] Zunächst wurden 5,05 g 4,6-Dichlorpyrimidin, 5,08 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 3,57 g Natriumcarbonat, 0,14 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$), 20 ml Acetonitril und 20 ml Wasser in einen Rundkolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling (Sprudeln oder Aufwallen) mit Argon unterzogen. Anschließend wurde 1 Stunde lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Nach der Erwärmung wurden 2,54 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 1,79 g Natriumcarbonat und 0,066 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ zugegeben, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling mit Argon unterzogen.

[0391] Anschließend wurde 1 Stunde lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Nach der Erwärmung wurden 1,27 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure und 0,091 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ zugegeben, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling mit Argon unterzogen. Des Weiteren wurde 1 Stunde lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Eine organische Schicht wurde mit Dichlormethan extrahiert, und die Lösung des Extrakts wurde mit Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, und dann wurde der gewonnene Rückstand durch Kieselgel-Säulenchromatographie mit Dichlormethan als Fließmittel gereinigt, so dass das herzustellende Pyrimidin-Derivat als gelber Kristall in einer Ausbeute von 31 % gewonnen wurde. Es sei angemerkt, dass die Bestrahlung mit Mikrowellen unter Verwendung eines Mikrowellen-Synthese-Systems (Discover, hergestellt von CEM Corporation) durchgeführt wurde. Ein Syntheschema von Schritt 1 ist in (j-1) gezeigt.



(Schritt 2: Herstellung von 6-(2,6-Dimethylphenyl)-4-(3,5-dimethylphenyl)pyrimidin (Abkürzung: Hdmpm-dmp))

[0392] Anschließend wurden 1,18 g 4-Chlor-6-(3,5-dimethylphenyl)pyrimidin, welches in Schritt 1 gewonnen worden war, 0,754 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,535 g Natriumcarbonat, 0,036 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$), 10 ml Acetonitril und 10 ml Wasser in einen Rundkolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling (Sprudeln oder Aufwallen) mit Argon unterzogen. Eine Erwärmung wurde 1 Stunde lang durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Ferner wurden 0,380 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,268 g Natriumcarbonat und 0,020 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ zugegeben, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling mit Argon unterzogen.

[0393] Anschließend wurde 3 Stunden lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Dann wurden 0,404 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,277 g Natriumcarbonat und 0,019 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ zugegeben, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling mit Argon unterzogen. Eine Erwärmung wurde 3 Stunden lang durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Zudem wurden 10 ml Acetonitril und 10 ml Wasser zugegeben, und eine Erwärmung wurde 3 Stunden lang durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Eine organische Schicht wurde mit Dichlormethan extrahiert, und die Lösung des Extrakts wurde mit Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, um einen Rückstand zu gewinnen.

[0394] Ähnlicherweise wurden 1,13 g 4-Chlor-6-(3,5-dimethylphenyl)pyrimidin, welches in Schritt 1 gewonnen worden war, 0,802 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,548 g Natriumcarbonat, 0,040 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$, 20 ml Acetonitril und 20 ml Wasser in einen Rundkolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling (Sprudeln oder Aufwallen) mit Argon unterzo-

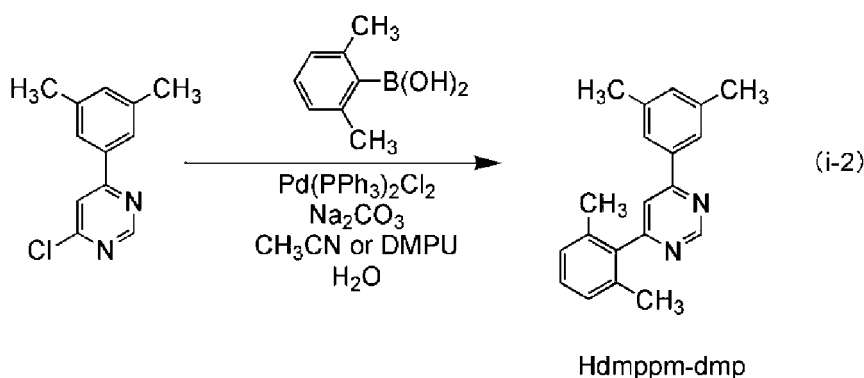
gen. Eine Erwärmung wurde dann 2 Stunden lang durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Ferner wurden 0,408 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,288 g Natriumcarbonat und 0,021 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ zugegeben, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling mit Argon unterzogen.

[0395] Dann wurde eine Erwärmung 4 Stunden lang durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Ferner wurden 7 ml Acetonitril, 0,214 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,273 g Natriumcarbonat und 0,020 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ zugegeben, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling mit Argon unterzogen. Eine Erwärmung wurde 2,5 Stunden lang durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Eine organische Schicht wurde mit Dichlormethan extrahiert, und die Lösung des Extrakts wurde mit Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, um einen Rückstand zu gewinnen.

[0396] Die gewonnenen zwei Rückstände wurden durch Kieselgel-Säulenchromatographie mit Dichlormethan als Fließmittel gereinigt. Der Feststoff, der durch Konzentrieren einer Fraktion gewonnen wurde, wurde in Dichlormethan aufgelöst und durch eine Filterhilfe gefiltert, bei der Celite, Aluminiumoxid und Celite in dieser Reihenfolge gestapelt waren, um einen 0,3 g groben Kristall (gelb) zu gewinnen.

[0397] Danach wurden 1,10 g 4-Chlor-6-(3,5-dimethylphenyl)pyrimidin, welches durch die obige Kieselgel-Säulenchromatographie gewonnen worden war, 0,753 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,534 g Natriumcarbonat, 0,038 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$, 20 ml 1,3-Dimethyl-3,4,5,6-tetrahydro-2(1H)pyrimidinon (Abkürzung: DMPU) und 20 ml Wasser in einen Rundkolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling (Sprudeln oder Aufwallen) mit Argon unterzogen. Eine Erwärmung wurde dann 1 Stunde lang durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Ferner wurden 0,376 g 2,6-Dimethylphenylboronsäure, 0,269 g Natriumcarbonat und 0,011 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ zugegeben, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling mit Argon unterzogen.

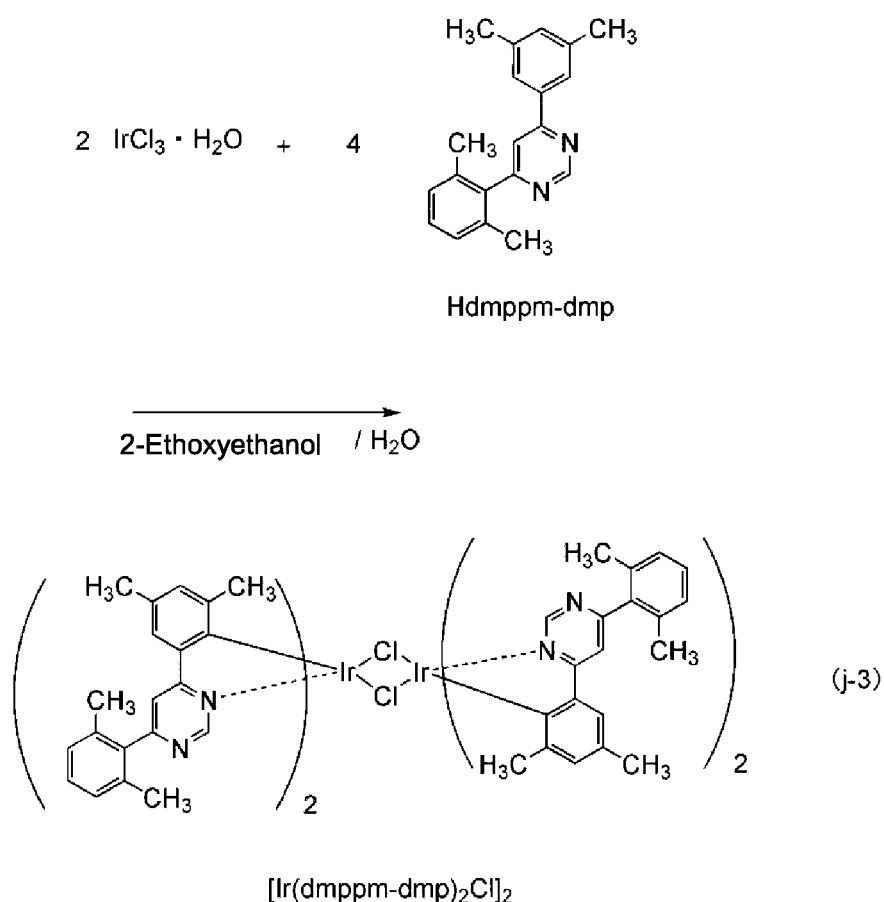
[0398] Als Nächstes wurde eine Erwärmung 2 Stunden lang durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) durchgeführt. Eine organische Schicht wurde mit Dichlormethan extrahiert, und die Lösung des Extrakts wurde mit Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, um einen Rückstand zu gewinnen. Dieser Rückstand und der gelbe grobe Kristall wurden verbunden und durch Kieselgel-Säulenchromatographie mit Dichlormethan und Ethylacetat als Fließmittel gereinigt, um Hdmppm-dmp (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrimidin-Derivat war, als gelbe ölige Substanz in einer Ausbeute von 34 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 2 ist in (j-2) gezeigt.



⟨Schritt 3: Herstellung von Di-μ-chlor-tetrakis{4,6-dimethyl-2-[6-(2,6-dimethylphenyl)-4-pyrimidinyl-κN3]phenyl-κC}diiridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmppm-dmp})_2\text{Cl}]_2$)⟩

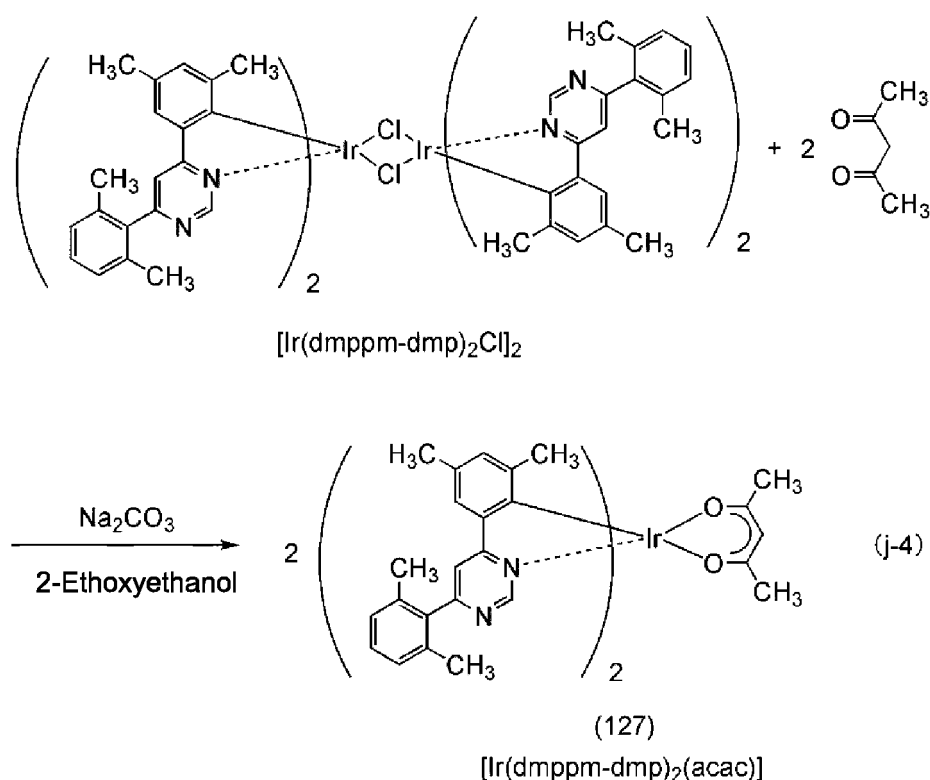
[0399] Anschließend wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 10 ml Wasser, 1,00 g Hdmppm-dmp (Abkürzung), welches in Schritt 2 erhalten worden war, und 0,568 g Iridiumchloridhydrat ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (hergestellt von Sigma-Aldrich Corporation) in einen Rundkolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und anschließend wurde der gewonnene Rückstand einer Saugfiltration unterzogen und mit Hexan gewaschen, um $[\text{Ir}(\text{dmppm-dmp})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches ein zweikerniger Komplex ist, als schwarzer

Feststoff in einer Ausbeute von 79 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 3 ist in (j-3) gezeigt.



⟨Schritt 4: Herstellung von Bis{4,6-dimethyl-2-[6-(2,6-dimethylphenyl)-4-pyrimidinyl-κN3]phenyl-xC}(2,4-pentandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{dmppm-dmp})_2(\text{acac})]$)⟩

[0400] Dann wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 0,606 g $[\text{Ir}(\text{dmppm-dmp})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches der in Schritt 3 gewonnene zweikernige Komplex ist, 0,138 g Acetylaceton (Abkürzung: Hacac) und 0,489 g Natriumcarbonat in einen Rundkolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben durch Argon ersetzt. Anschließend wurde 1 Stunde lang eine Erwärmung durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 120 W) durchgeführt. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Feststoff wurde durch Flash-Säulenchromatographie mit Ethylacetat und Hexan als Fließmittel in einem Verhältnis von 1:2 gereinigt. Dann wurde eine Umkristallisation mit einer Lösungsmittelmischung aus Dichlormethan und Hexan durchgeführt; somit wurde $[\text{Ir}(\text{dmppm-dmp})_2(\text{acac})]$ (Abkürzung) als dunkelrotes Pulver in einer Ausbeute von 50 % gewonnen. Ein Syntheschema von Schritt 4 ist in (j-4) gezeigt.



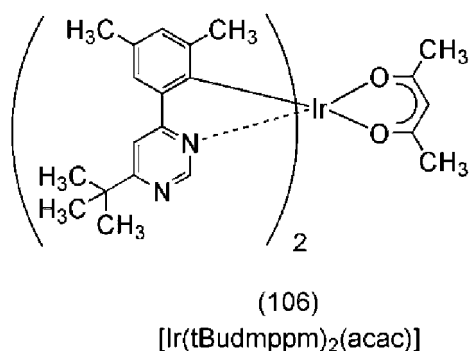
[0401] Ein Analyseergebnis durch Kernspinresonanzspektroskopie (¹H-NMR) an dem in Schritt 4 gewonnenen dunkelroten Pulver wird im Folgenden beschrieben. **Fig. 65** zeigt das ¹H-NMR-Diagramm. Diese Ergebnisse zeigten, dass [Ir(dmppm-dmp)₂(acac)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (127) dargestellt wird, in dem Synthesebeispiel 10 gewonnen wurde.

[0402] ¹H-NMR. δ(DMSO-d₆): 1,43 (s, 6H), 1,70 (s, 6H), 2,19 (s, 12H), 2,18 (s, 6H), 5,34 (s, 1H), 6,54 (s, 2H), 7,23 (d, 4H), 7,30-7,33 (m, 2H), 7,79 (s, 2H), 8,23 (s, 2H), 8,95 (ds, 2H).

[Beispiel 16]

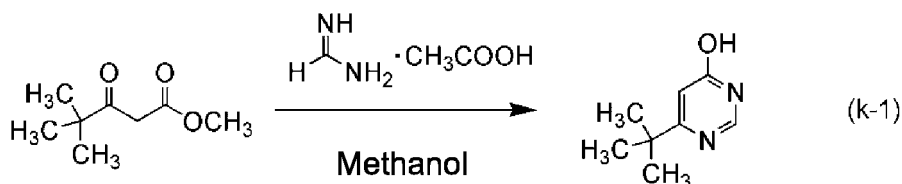
⟨⟨Synthesebeispiel 11⟩⟩

[0403] In Synthesebeispiel 11 wird ein Syntheseverfahren von Bis{4,6-dimethyl-2-[6-tert-butyl-4-pyrimidinyl-κN3]phenyl-κC}(2,4-pentandionato -κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: [Ir(tBudmppm)₂(acac)]), welches durch die Strukturformel (106) bei der Ausführungsform 1 dargestellt wird, beschrieben. Die Struktur von [Ir(tBudmppm)₂(acac)] (Abkürzung) ist im Folgenden gezeigt.



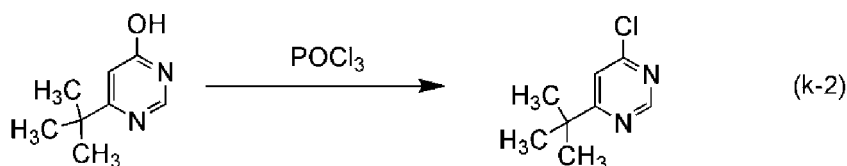
⟨Schritt 1: Herstellung von 4-tert-Butyl-6-hydroxypyrimidin⟩

[0404] Zunächst wurden 7,2 g Formamidinhydrochlorid, 7,5 g Natriummethoxid und 70 ml Methanol in einen 100 ml Dreihalskolben gegeben. Anschließend wurde 10 g Methyl-4,4-dimethyl-3-oxovalerat zu dieser Mischung zugegeben. Die Mischung wurde 24 Stunden lang bei Raumtemperatur gerührt. Danach wurde eine Mischung aus 17 ml Wasser und 7,2 ml Essigsäure zu der Reaktionslösung zugegeben, und die Mischung wurde bei Raumtemperatur gerührt. Diese Mischung wurde konzentriert, und der resultierende Rückstand wurde ins Wasser aufgelöst. Die Lösung wurde mit Ethylacetat extrahiert. Die gewonnene Lösung des Extrakts wurde mit einer gesättigten Salzlösung gewaschen und Magnesiumsulfat wurde zum Trocknen zugegeben. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Nachdem das Lösungsmittel dieser Lösung abdestilliert worden war, wurde der gewonnene Feststoff mit Ethylacetat gewaschen, so dass das herzustellende Pyrimidin-Derivat als weißer Feststoff in einer Ausbeute von 49 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 1 ist in (k-1) gezeigt.



⟨Schritt 2: Herstellung von 4-tert-Butyl-6-chlorpyrimidin⟩

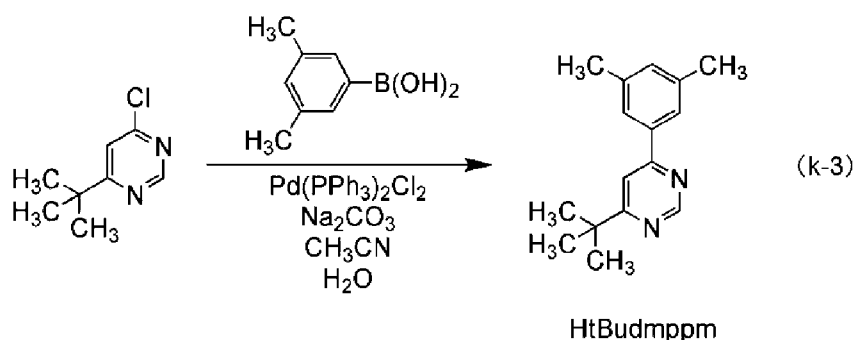
[0405] Anschließend wurden 4,7 g 4-tert-Butyl-6-hydroxypyrimidin, welches in Schritt 1 gewonnen worden war, und 14 ml Phosphorylchlorid in einen 50 ml Dreihalskolben gegeben, und die Mischung wurde 1,5 Stunden lang erwärmt und einem Rückfluss unterzogen. Nach dem Rückfluss wurde Phosphorylchlorid unter reduziertem Druck abdestilliert. Der gewonnene Rückstand wurde in Dichlormethan aufgelöst, mit Wasser und einer gesättigten, wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat gewaschen, und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, und dann wurde der gewonnene Rückstand durch Kieselgel-Säulenchromatographie mit Hexan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 10:1 gereinigt, so dass das herzustellende Pyrimidin-Derivat als weißer Feststoff in einer Ausbeute von 78 % gewonnen wurde. Ein Syntheschema von Schritt 2 ist in (k-2) gezeigt.



⟨Schritt 3: Herstellung von 4-tert-Butyl-6-(3,5-dimethylphenyl)pyrimidin (Abkürzung: HtBudmppm)⟩

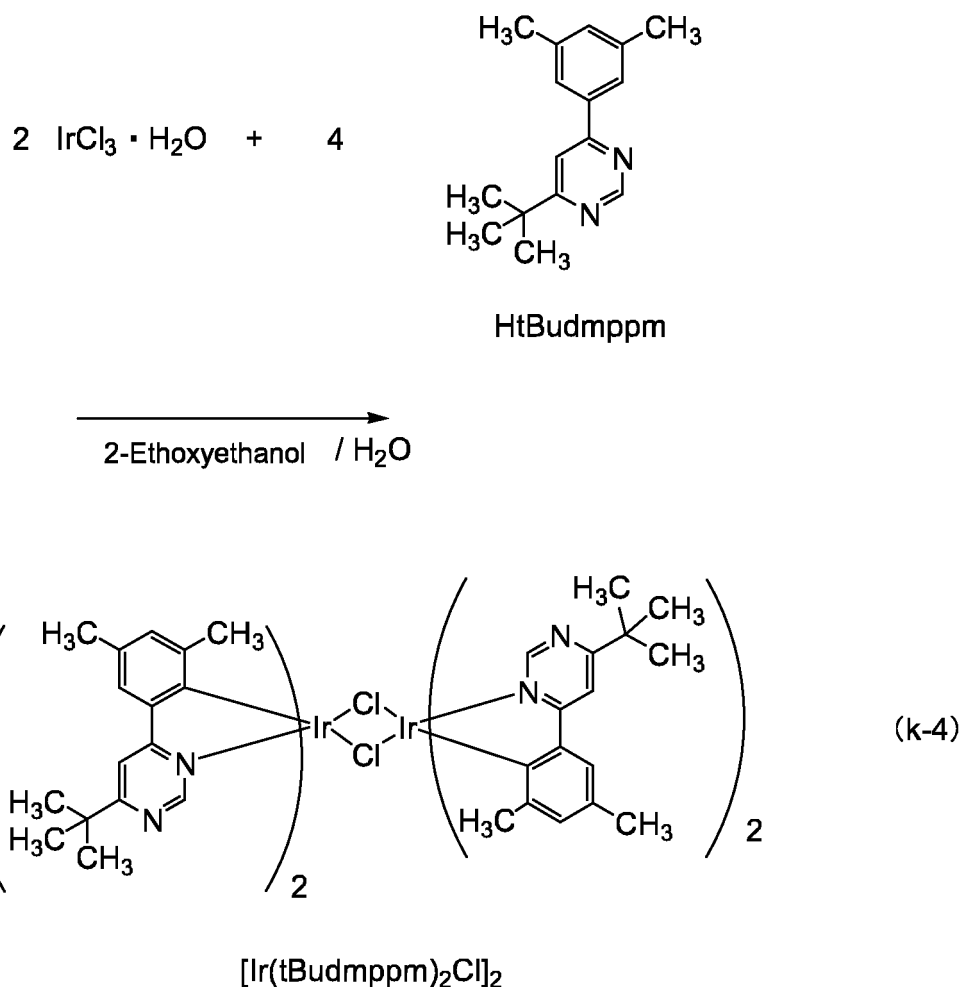
[0406] Dann wurden 2,01 g 4-tert-Butyl-6-chlorpyrimidin, welches in Schritt 2 gewonnen worden war, 3,63 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 2,48 g Natriumcarbonat, 0,10 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$), 20 ml Wasser und 20 ml DMF in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling (Sprudeln oder Aufwallen) mit Argon unterzogen. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 60 Minuten lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Hier wurden weiter 0,90 g 3,5-Dimethylphenylboronsäure, 0,64 g Natriumcarbonat und 0,025 g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ in den Kolben gegeben, und die Mischung wurde 15 Minuten lang einem Bubbling mit Argon unterzogen. Dieser Reaktionsbehälter wurde einer Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) erneut 60 Minuten lang unterzogen, um erwärmt zu werden. Anschließend wurde dieser Lösung Wasser zugegeben, und es wurde die organische Schicht mit Dichlormethan extrahiert. Die gewonnene organische Schicht wurde mit Wasser und einer gesättigten Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Lösung gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde durch Kieselgel-Säulenchromatographie mit Dichlormethan und Ethylacetat als Fließmittel in einem Verhältnis von 10:1 gereinigt, so dass HtBudmppm (Abkürzung), welches das herzustellende Pyrimidin-Derivat war, als hellgelbes Öl in einer Ausbeute von 96 % gewonnen wurde. Es sei angemerkt, dass die Bestrahlung mit Mikrowellen unter Verwendung eines Mikro-

wellen-Synthese-Systems (Discover, hergestellt von CEM Corporation) durchgeführt wurde. Ein Syntheschema von Schritt 3 ist in (k-3) gezeigt.



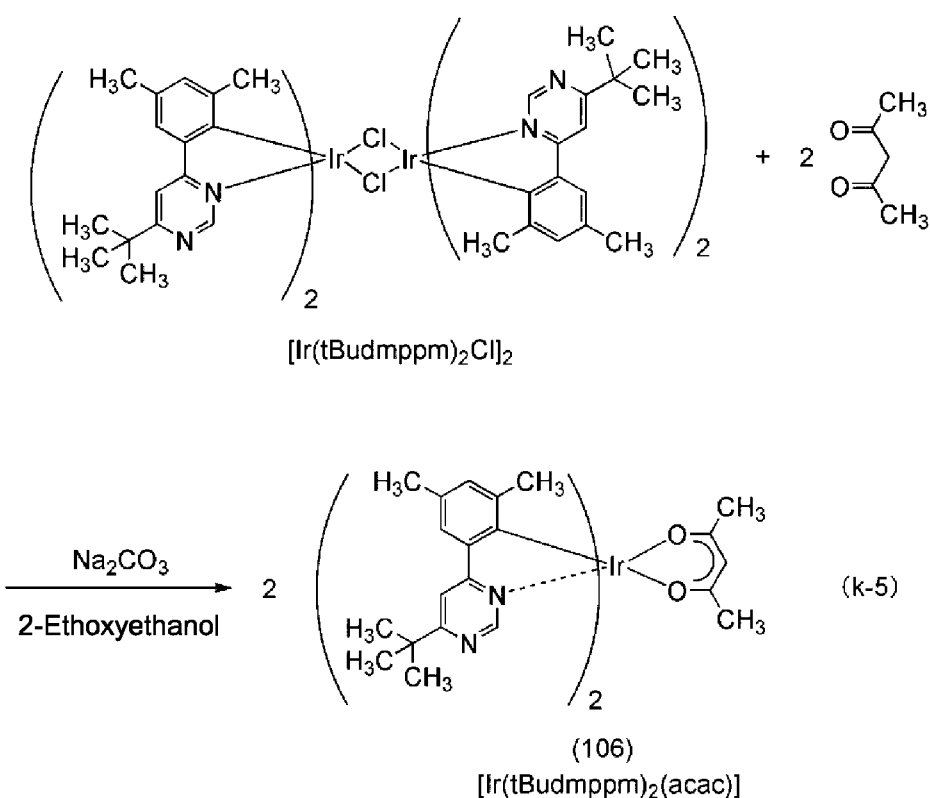
⟨Schritt 4: Herstellung von Di-μ-chlor-tetrakis{4,6-dimethyl-2-[6-tert-butyl-4-pyrimidinyl-κN3]phenyl-κC}diiridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{tBudmppm})_2\text{Cl}]_2$)⟩

[0407] Anschließend wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 10 ml Wasser, 2,69 g HtBudmppm (Abkürzung), welches in Schritt 3 gewonnen worden war, und 1,48 g Iridiumchloridhydrat ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (hergestellt von Sigma-Aldrich Corporation) in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) 1 Stunde lang durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und dann wurde der gewonnene Rückstand einer Saugfiltration unterzogen und mit Ethanol gewaschen, um $[\text{Ir}(\text{tBudmppm})_2\text{Cl}]_2$ (Abkürzung), welches ein zweikerniger Komplex ist, als grünes Pulver in einer Ausbeute von 62 % zu gewinnen. Ein Syntheschema von Schritt 4 ist in (k-4) gezeigt.



⟨Schritt 5: Herstellung von Bis{4,6-dimethyl-2-[6-tert-butyl-4-pyrimidinyl-κN3]phenyl-κC}(2,4-pentandionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: [Ir(tBudmppm)₂(acac)]⟩

[0408] Dann wurden 30 ml 2-Ethoxyethanol, 0,98 g [Ir(tBudmppm)₂Cl]₂ (Abkürzung), welches der in Schritt 4 gewonnene zweikernige Komplex ist, 0,21 g Acetylaceton (Abkürzung: Hacac) und 0,73 g Natriumcarbonat in einen Vorlagekolben gegeben, der mit einem Rücklaufrohr ausgestattet war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde 60 Minuten lang eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 200 W) durchgeführt. Hier wurde 0,21 g Hacac (Abkürzung) zugegeben, und eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) wurde erneut 60 Minuten lang durchgeführt, so dass eine Erwärmung durchgeführt wurde. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert, und der gewonnene Rückstand wurde einer Saugfiltration mit Ethanol unterzogen. Der gewonnene Feststoff wurde mit Wasser und Ethanol gewaschen. Der gewonnene Feststoff wurde in Dichlormethan aufgelöst und durch eine Filterhilfe gefiltert, bei der Celite, Aluminiumoxid und Celite in dieser Reihenfolge gestapelt waren. Dann wurde eine Umkristallisation mit einer Lösungsmittelmischung aus Dichlormethan und Ethanol durchgeführt; somit wurde [Ir(tBudmppm)₂(acac)] (Abkürzung) als gelboranges Pulver in einer Ausbeute von 61 % gewonnen. Ein Syntheschema von Schritt 5 ist in (k-5) gezeigt.



[0409] Ein Analyseergebnis durch Kernspinresonanzspektroskopie (¹H-NMR) an dem in Schritt 5 gewonnenen gelborangen Pulver wird im Folgenden beschrieben. **Fig. 66** zeigt das ¹H-NMR-Diagramm. Diese Ergebnisse zeigten, dass [Ir(tBudmppm)₂(acac)] (Abkürzung), welches durch die Strukturformel (106) dargestellt wird, in dem Synthesebeispiel 11 gewonnen wurde.

[0410] ¹H-NMR. δ(CDCl₃): 1,38 (s, 6H), 1,46 (s, 18H), 1,69 (s, 6H), 2,26 (s, 6H), 5,17 (s, 1H), 6,55 (s, 2H), 7,43 (s, 2H), 7,71 (s, 2H), 8,87 (s, 2H).

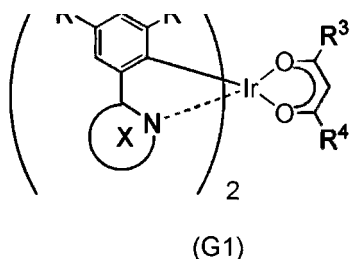
Erläuterung der Bezugszeichen

[0411] 101: erste Elektrode, 102: EL-Schicht, 103: zweite Elektrode, 111: Lochinjektionsschicht, 112: Lochtransportschicht, 113: Licht emittierende Schicht, 114: Elektronentransportschicht, 115: Elektroneninjektionsschicht, 116: Ladungserzeugungsschicht, 201: Anode, 202: Kathode, 203: EL-Schicht, 204: Licht emittierende Schicht, 205: phosphoreszierende Verbindung, 206: erste organische Verbindung, 207: zweite organische Verbindung, 301: erste Elektrode, 302(1): erste EL-Schicht, 302(2): zweite EL-Schicht, 302(n-1): (n-1)-te EL-Schicht, 302(n): (n)-te EL-Schicht, 304: zweite Elektrode, 305: Ladungserzeugungsschicht (I),

305(1): erste Ladungserzeugungsschicht (I), 305(2): zweite Ladungserzeugungsschicht (I), 305(n-2): (n-2)-te Ladungserzeugungsschicht (I), 305(n-1): (n-1)-te Ladungserzeugungsschicht (I), 401: reflektierende Elektrode, 402: halbdurchsichtige und halbrelektierende Elektrode, 403a: erste durchsichtige leitende Schicht, 403b: zweite durchsichtige leitende Schicht, 404B: erste Licht emittierende Schicht (B), 404G: zweite Licht emittierende Schicht (G), 404R: dritte Licht emittierende Schicht (R), 405: EL-Schicht, 410R: erstes Licht emittierendes Element (R), 410G: zweites Licht emittierendes Element (G), 410B: drittes Licht emittierendes Element (B), 501: Elementsubstrat, 502: Pixelabschnitt, 503: Treiberschaltungsabschnitt (Sourceleitungs-Treiberschaltung), 504a und 504b: Treiberschaltungsabschnitt (Gateleitungs-Treiberschaltung), 505: Dichtungsmittel, 506: Dichtungssubstrat, 507: Leitung, 508: flexible gedruckte Schaltung (flexible printed circuit: FPC), 509: n-Kanal-TFT, 510: p-Kanal-TFT, 511: TFT zum Schalten, 512: TFT zur Stromsteuerung, 513: erste Elektrode (Anode), 514: Isolator, 515: EL-Schicht, 516: zweite Elektrode (Kathode), 517: Licht emittierendes Element, 518: Raum, 1100: Substrat, 1101: erste Elektrode, 1102: EL-Schicht, 1103: zweite Elektrode, 1111: Lochinjektionsschicht, 1112: Lochtransportschicht, 1113: Licht emittierende Schicht, 1114: Elektronentransportschicht, 1115: Elektroneninjectionsschicht, 7100: Fernsehgerät, 7101: Gehäuse, 7103: Anzeigeabschnitt, 7105: Fuß, 7107: Anzeigeabschnitt, 7109: Bedienungstaste, 7110: Fernbedienung, 7201: Hauptkörper, 7202: Gehäuse, 7203: Anzeigeabschnitt, 7204: Tastatur, 7205: externer Verbindungsanschluss, 7206: Zeigevorrichtung, 7301: Gehäuse, 7302: Gehäuse, 7303: Gelenkabschnitt, 7304: Anzeigeabschnitt, 7305: Anzeigeabschnitt, 7306: Lautsprecherabschnitt, 7307: Aufzeichnungsmedien-Einsetzabschnitt, 7308: LED-Lampe, 7309: Bedienungstaste, 7310: Verbindungsanschluss, 7311: Sensor, 7312: Mikrofon, 7400: Mobiltelefon, 7401: Gehäuse, 7402: Anzeigeabschnitt, 7403: Bedienungsknopf, 7404: externer Verbindungsanschluss, 7405: Lautsprecher, 7406: Mikrofon, 8001: Beleuchtungsvorrichtung, 8002: Beleuchtungsvorrichtung, 8003: Beleuchtungsvorrichtung, 8004: Beleuchtungsvorrichtung, 9033: Klammer, 9034: Schalter zum Schalten der Anzeigemodi, 9035: Netzschalter, 9036: Knopf zum Schalten auf einen Stromsparmodus, 9038: Bedienungsknopf, 9630: Gehäuse, 9631: Anzeigeabschnitt, 9631a: Anzeigeabschnitt, 9631b: Anzeigeabschnitt, 9632a: Touchscreen-Gebiet, 9632b: Touchscreen-Gebiet, 9633: Solarzelle, 9634: Lade- und Entladesteuerschaltung, 9635: Batterie, 9636: Gleichspannungswandler, 9637: Bedienungstaste, 9638: Wandler und 9639: Knopf.

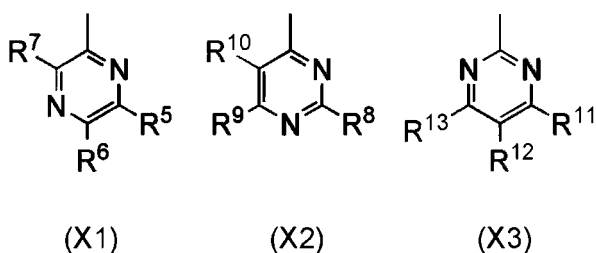
Patentansprüche

1. Licht emittierendes Element, umfassend:
ein Paar von Elektroden; und
eine lichtemittierende Schicht zwischen dem Paar von Elektroden, wobei die lichtemittierende Schicht umfasst:
eine erste organische Verbindung;
eine zweite organische Verbindung; und
einen metallorganischen Komplex, der durch die allgemeine Formel G1 dargestellt wird:



wobei X einen substituierten oder unsubstituierten sechsgliedrigen heteroaromatischen Ring darstellt, der zwei oder mehr Stickstoffatome enthält, die ein Stickstoffatom einschließen, das ein koordinierendes Atom ist,
wobei R¹ bis R⁴ jeweils eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen darstellen,
wobei die erste organische Verbindung und die zweite organische Verbindung eine Kombination sind, die einen Exciplex bildet,
wobei ein T₁-Niveau der ersten organischen Verbindung höher ist als ein T₁-Niveau des metallorganischen Komplexes,
wobei ein T₁-Niveau der zweiten organischen Verbindung höher ist als das T₁-Niveau des organometallischen Komplexes, und
wobei ein Emissionsspektrum des Exciplexes mit einem Absorptionsspektrum des organometallischen Komplexes überlappt.

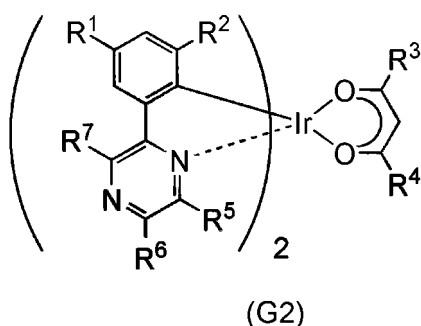
2. Licht emittierendes Element nach Anspruch 1,
wobei X eine der Formeln X1 bis X3 darstellt:



und

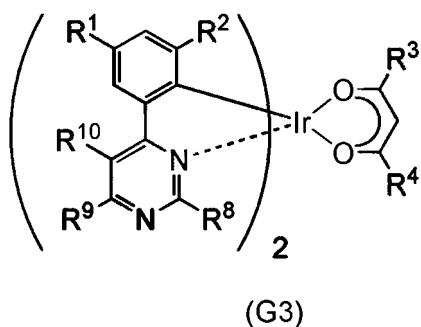
wobei R⁵ bis R¹³ jeweils Wasserstoff, eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe darstellen.

3. Licht emittierendes Element nach Anspruch 1,
wobei der metallorganische Komplex durch die Formel G2 dargestellt wird:



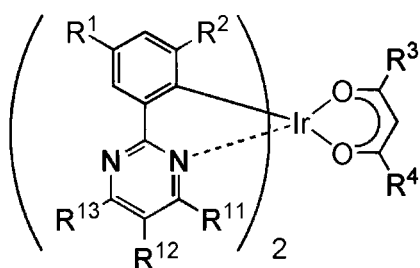
wobei R⁵ und R⁶ jeweils Wasserstoff, eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe darstellen, und
wobei R⁷ eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe darstellt.

4. Licht emittierendes Element nach Anspruch 1,
wobei der metallorganische Komplex durch die Formel G3 dargestellt wird:



wobei R⁸ und R¹⁰ jeweils Wasserstoff, eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe darstellen, und
wobei R⁹ eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe darstellt.

5. Licht emittierendes Element nach Anspruch 1,
wobei der organometallische Komplex durch die Formel G4 dargestellt wird:



(G4)

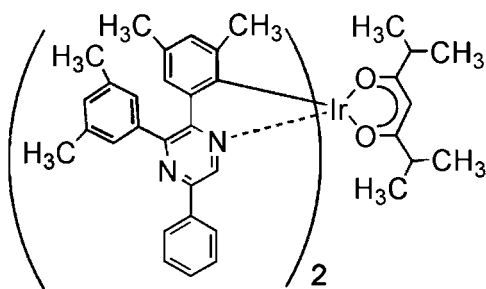
und

wobei R¹¹ bis R¹³ jeweils Wasserstoff, eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe darstellen, und

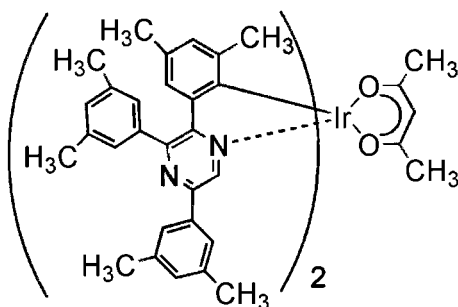
wobei eines von R¹² und R¹³ eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen oder eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe darstellt.

6. Licht emittierendes Element nach Anspruch 1,
wobei R¹ und R² jeweils eine Methylgruppe sind.

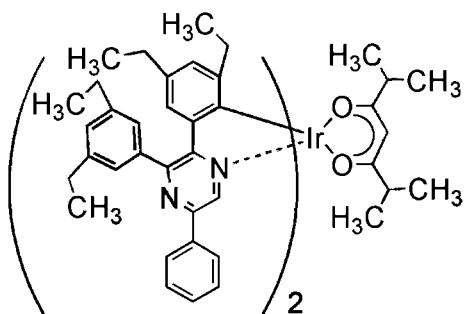
7. Licht emittierendes Element nach Anspruch 1,
wobei der organometallische Komplex durch eine der Formeln 100 bis 105 und 121 bis 125 dargestellt wird:



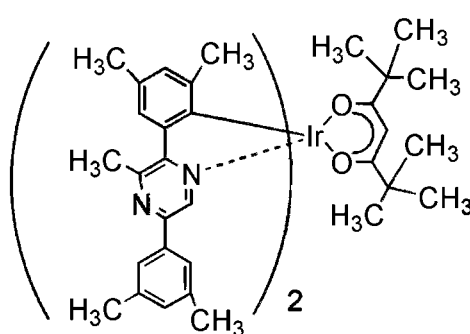
(100)



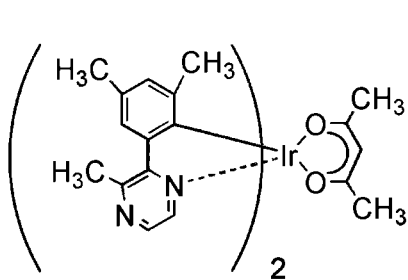
(101)



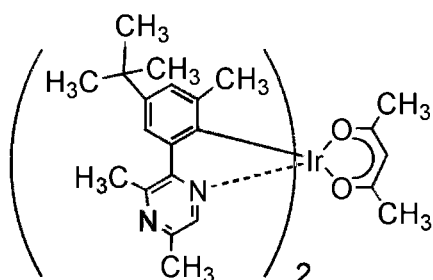
(102)



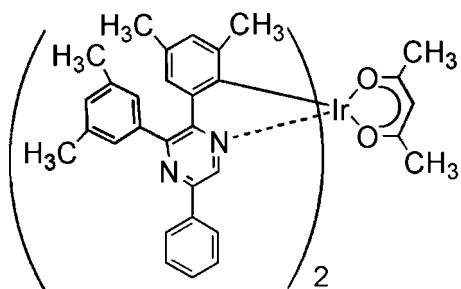
(103)



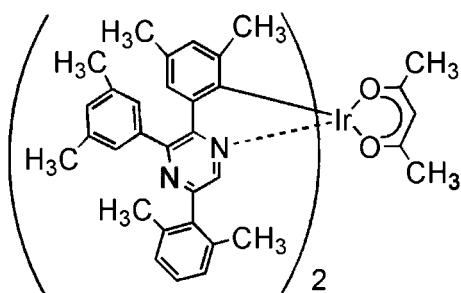
(104)



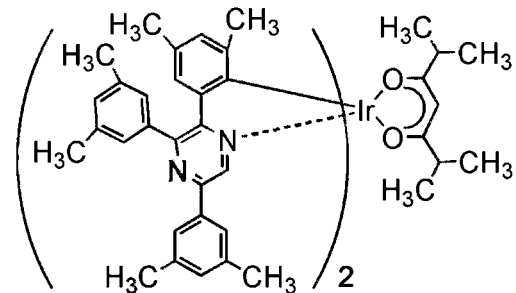
(105)



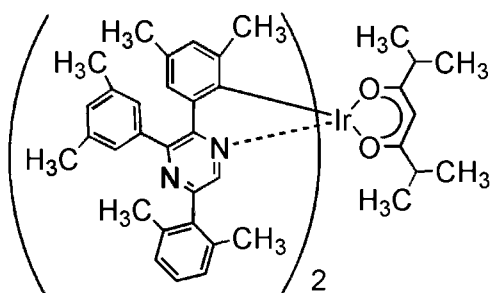
(121)



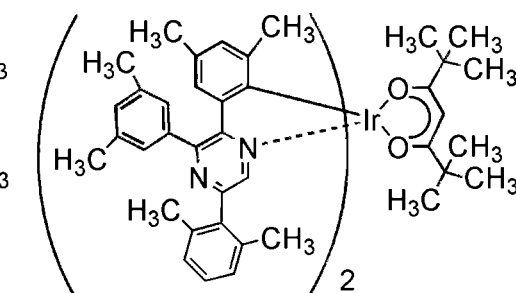
(122)



(123)

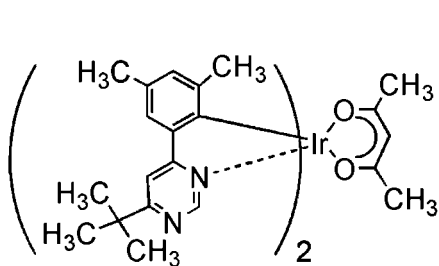


(124)

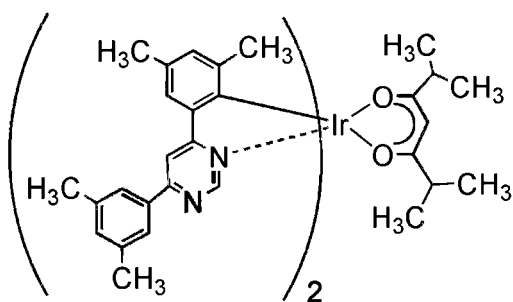


(125)

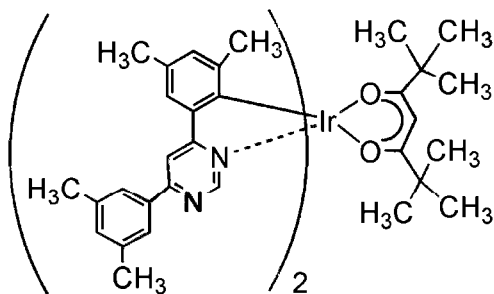
8. Licht emittierendes Element nach Anspruch 1,
wobei der organometallische Komplex durch eine der Formeln 106 bis 111 und 127 dargestellt wird:



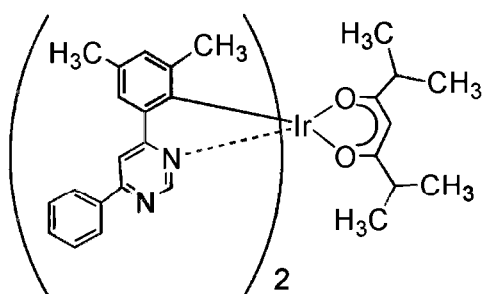
(106)



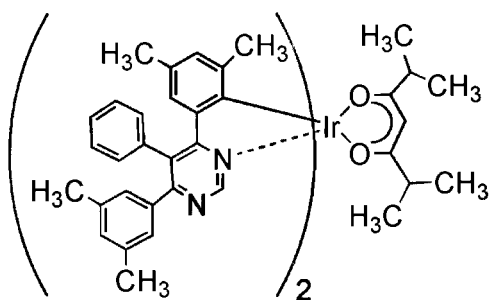
(107)



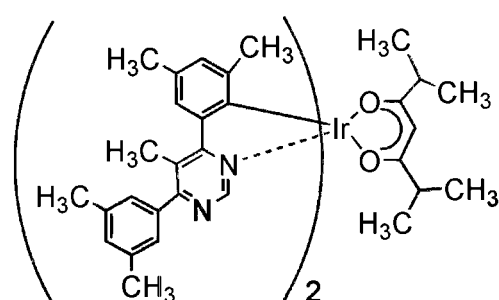
(108)



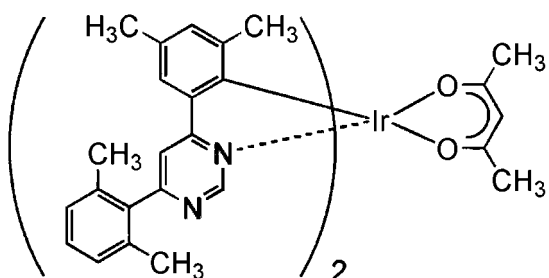
(109)



(110)

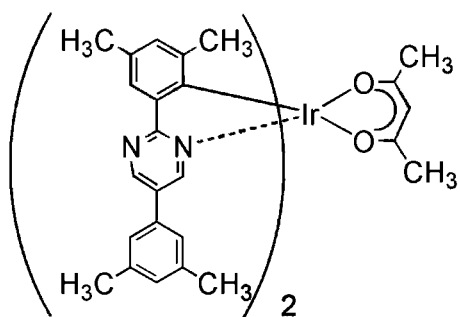


(111)

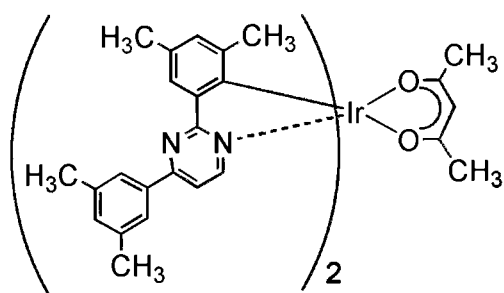


(127)

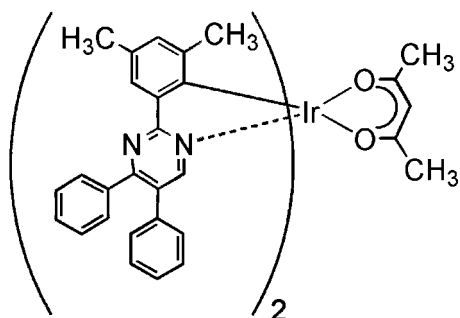
9. Licht emittierendes Element nach Anspruch 1, wobei der organometallische Komplex durch eine der Formeln 112 bis 117 und 126 dargestellt wird:



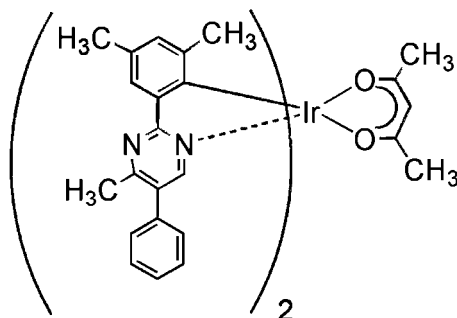
(112)



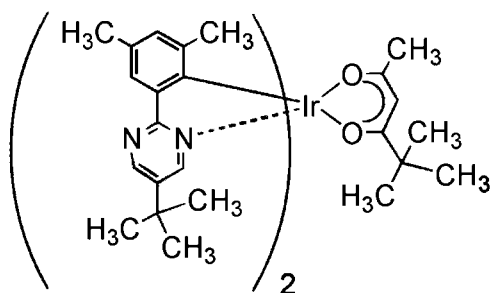
(113)



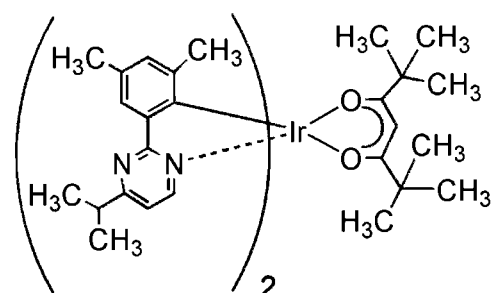
(114)



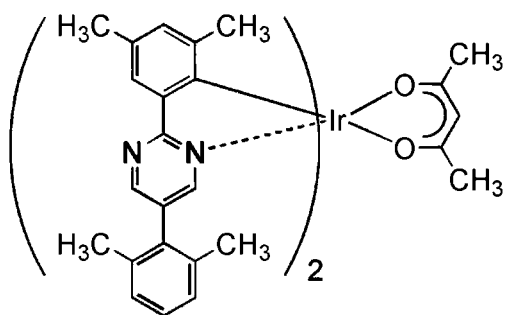
(115)



(116)



(117)



(126)

10. Elektronisches Gerät, umfassend:
 einen Anzeigeabschnitt, der das lichtemittierende Element nach Anspruch 1 umfasst,
 wobei das elektronische Gerät aus einem Fernsehgerät, einem Monitor, einer Kamera, einem Fotorahmen,
 einem tragbaren Informationsendgerät, einer Audiowiedergabevorrichtung und einer Spieleinrichtung ausge-
 wählt ist.

11. Beleuchtungsvorrichtung, umfassend das lichtemittierende Element nach Anspruch 1.

Es folgen 58 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

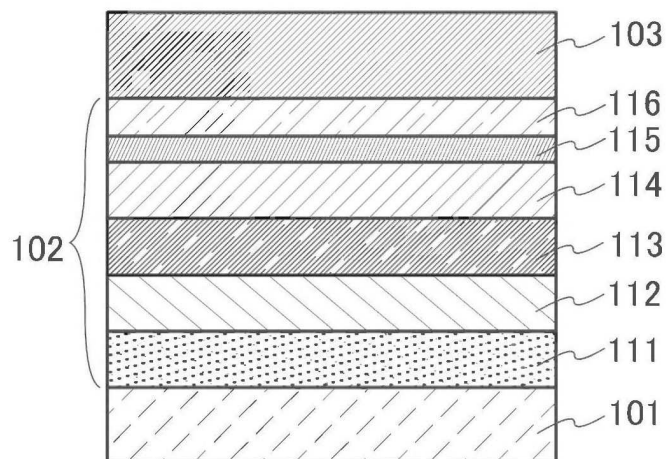


FIG. 2

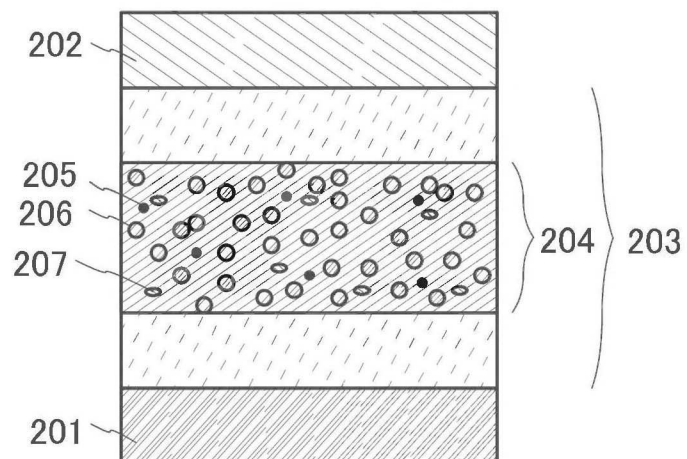


FIG. 3A

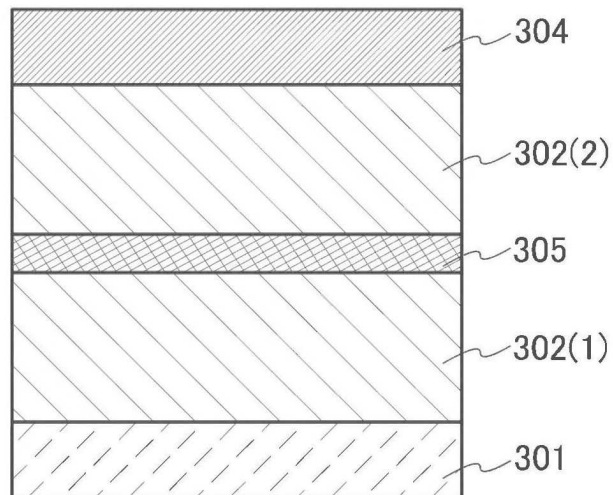


FIG. 3B

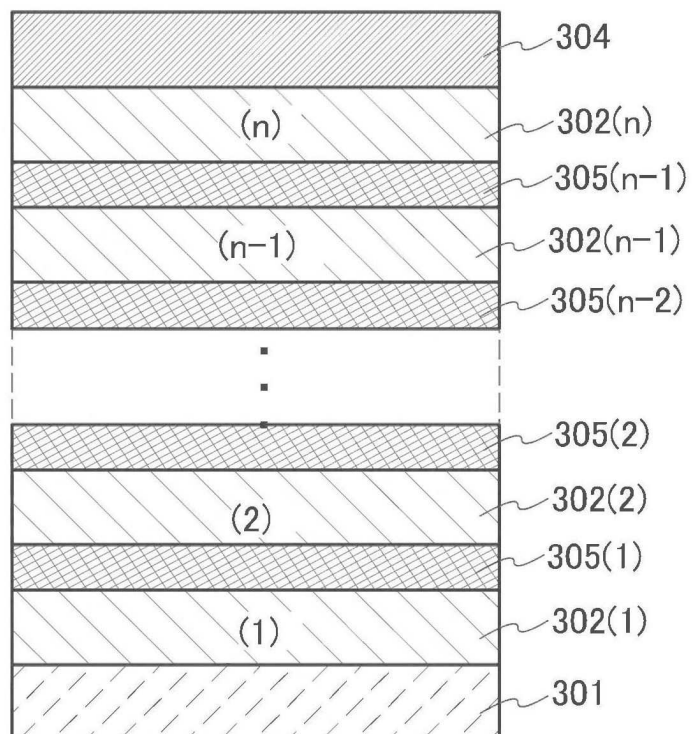
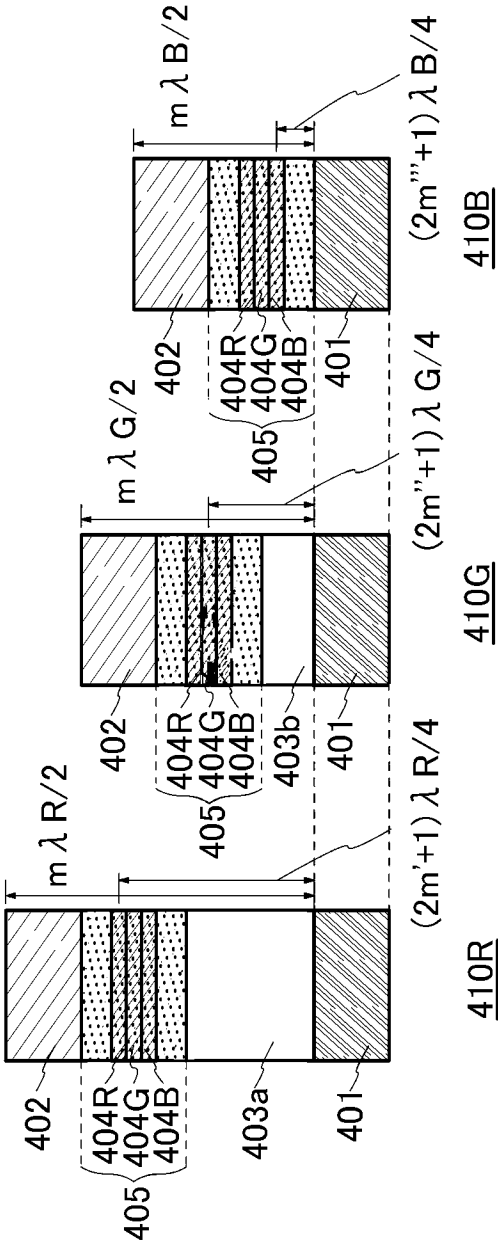


FIG. 4



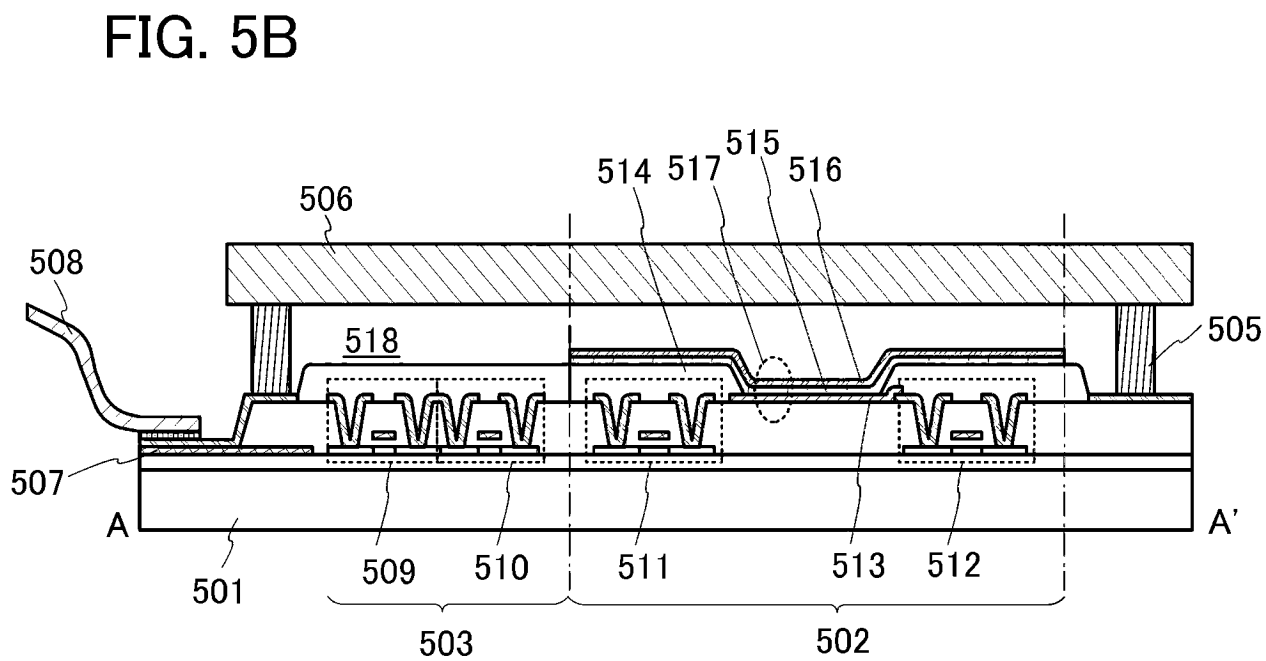
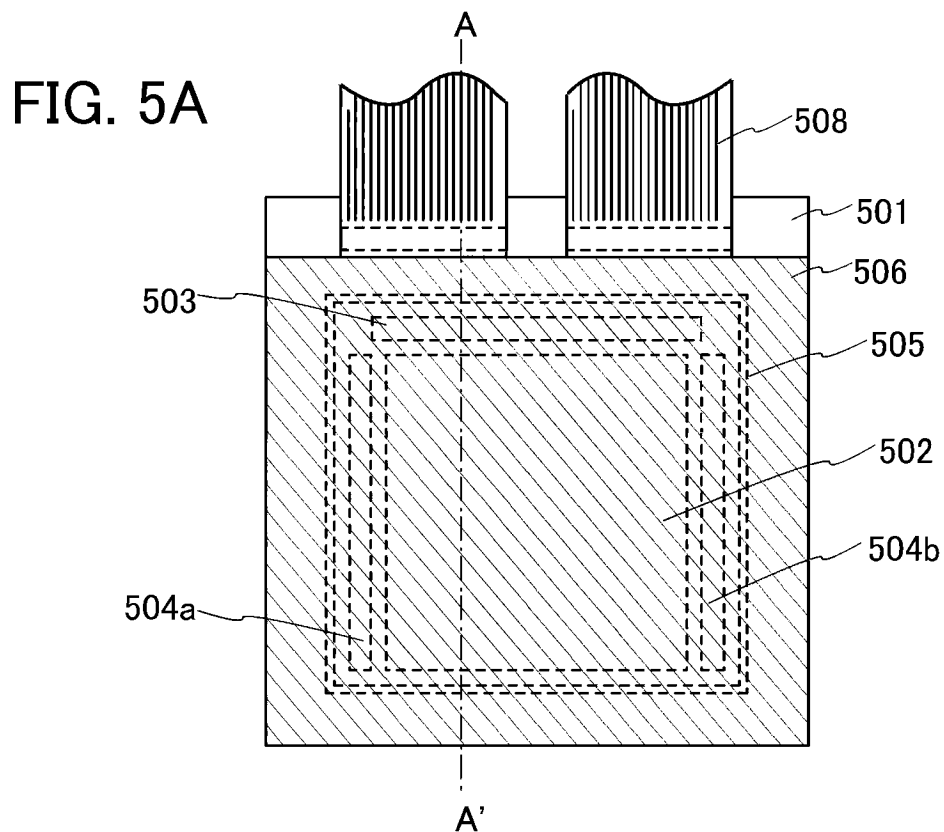


FIG. 6A

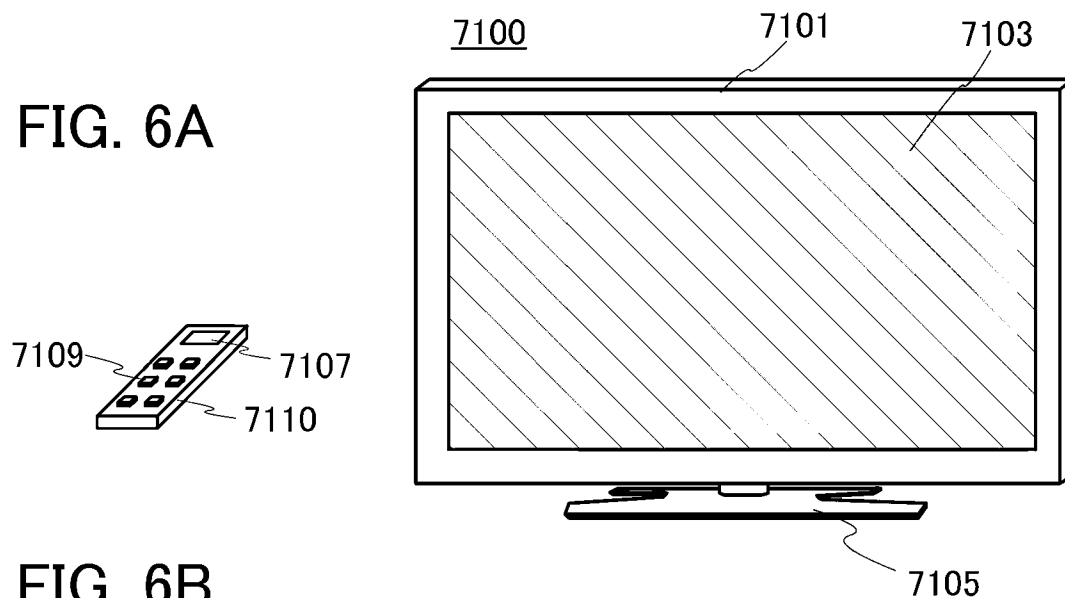


FIG. 6B

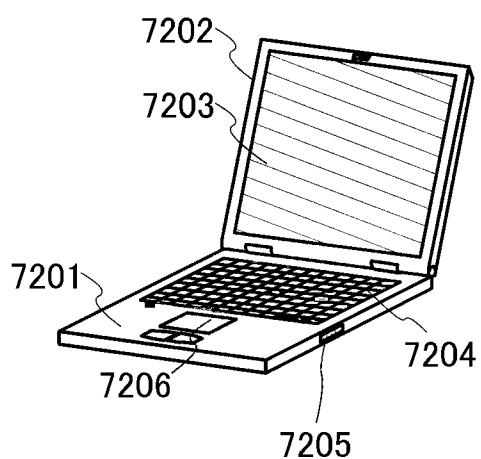


FIG. 6C

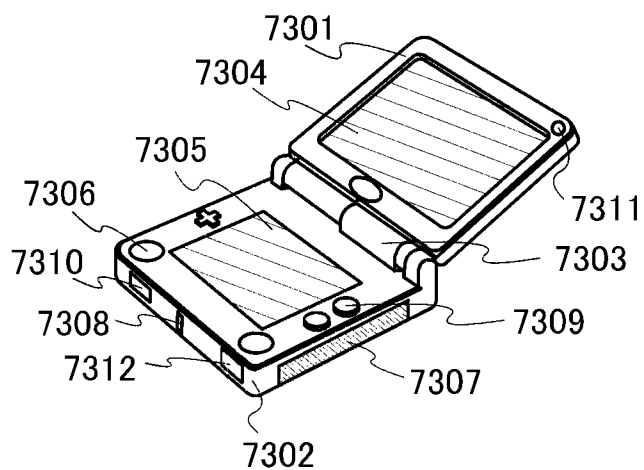


FIG. 6D

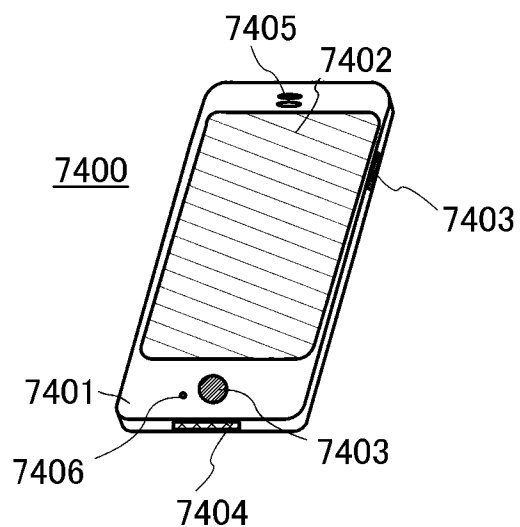


FIG. 7A

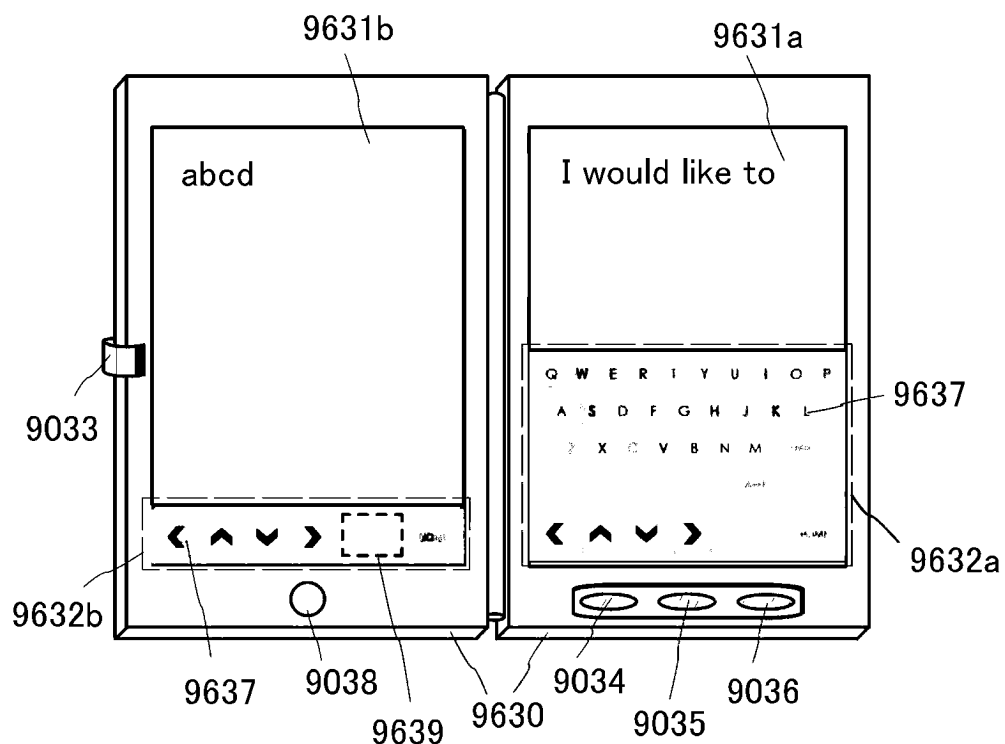


FIG. 7B

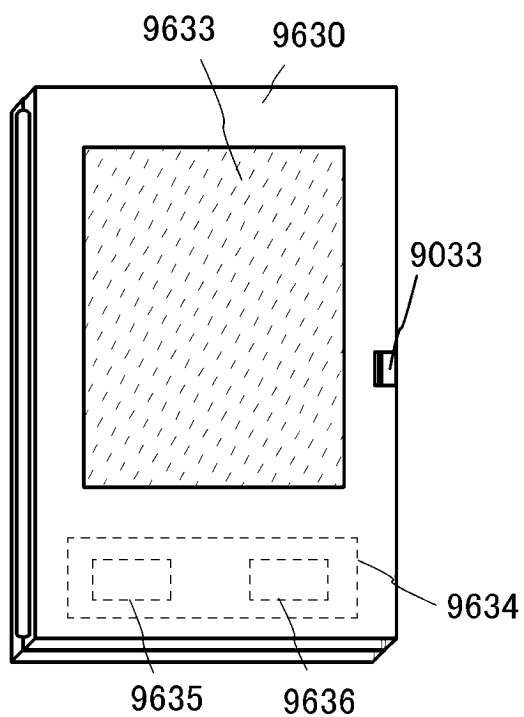


FIG. 7C

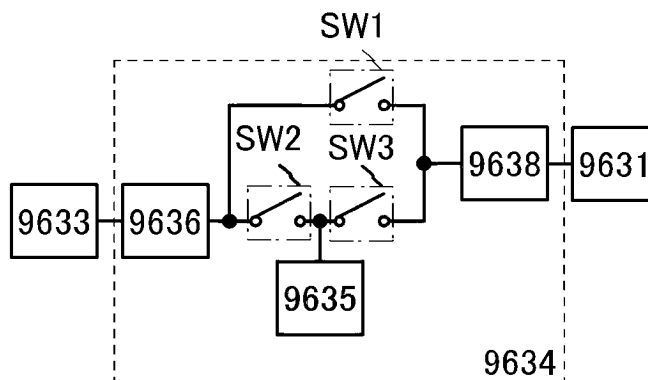


FIG. 8

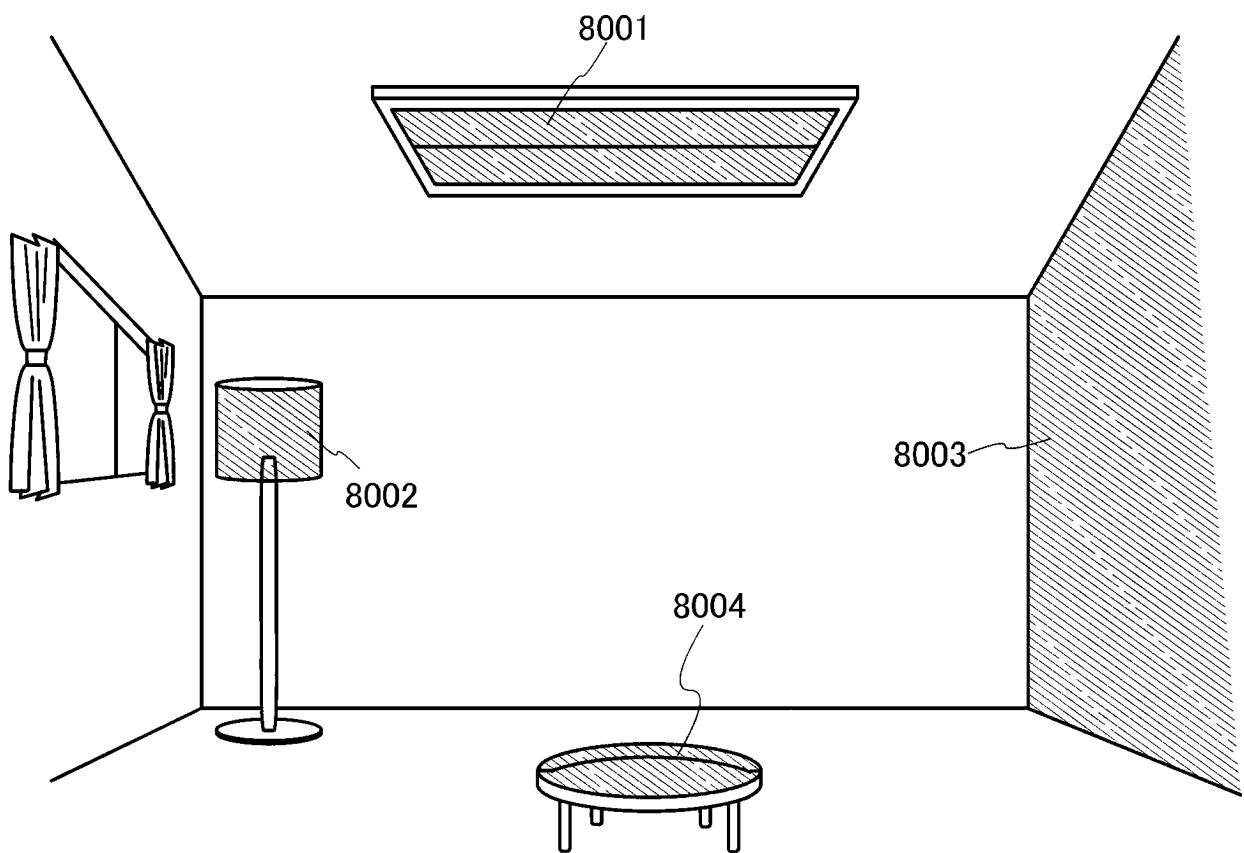


FIG. 9

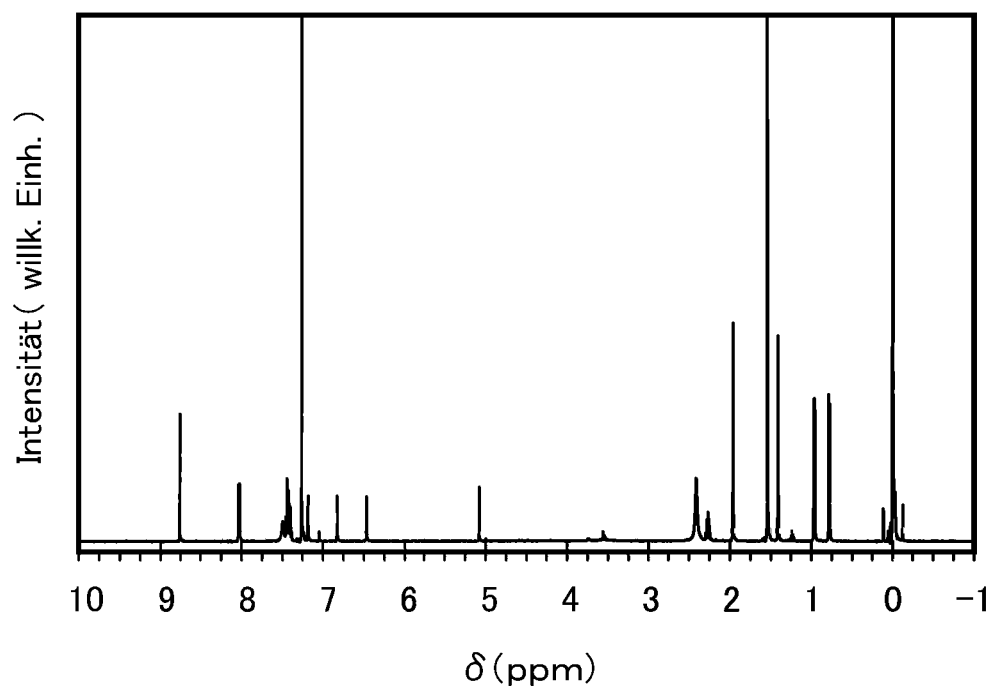


FIG. 10

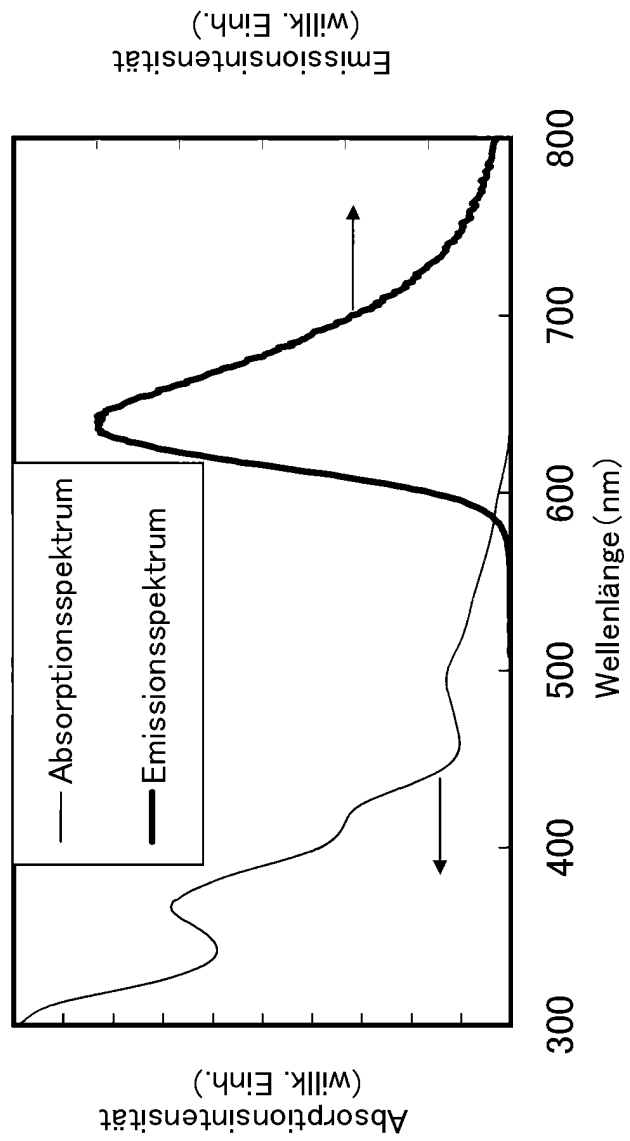
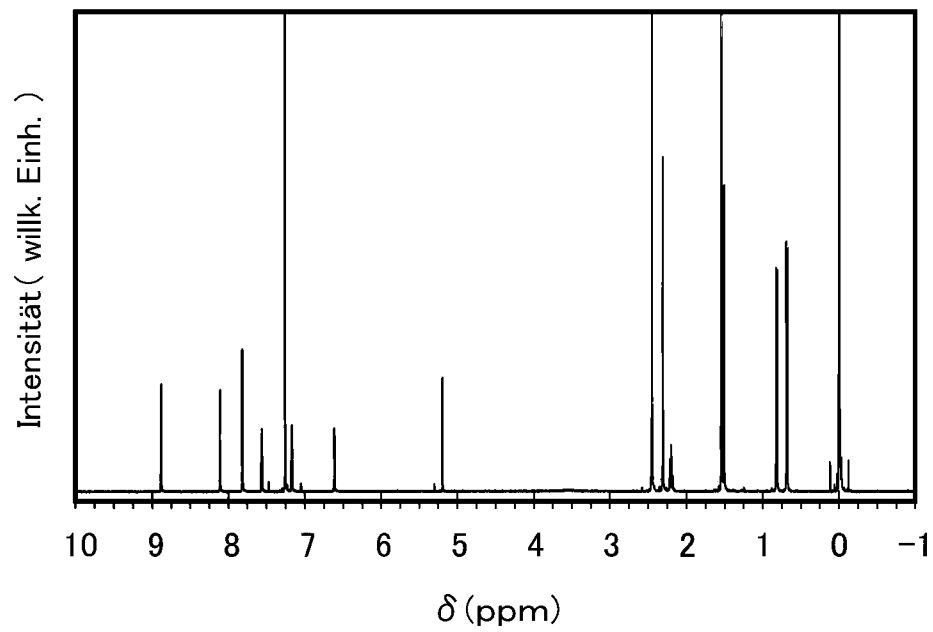


FIG. 11



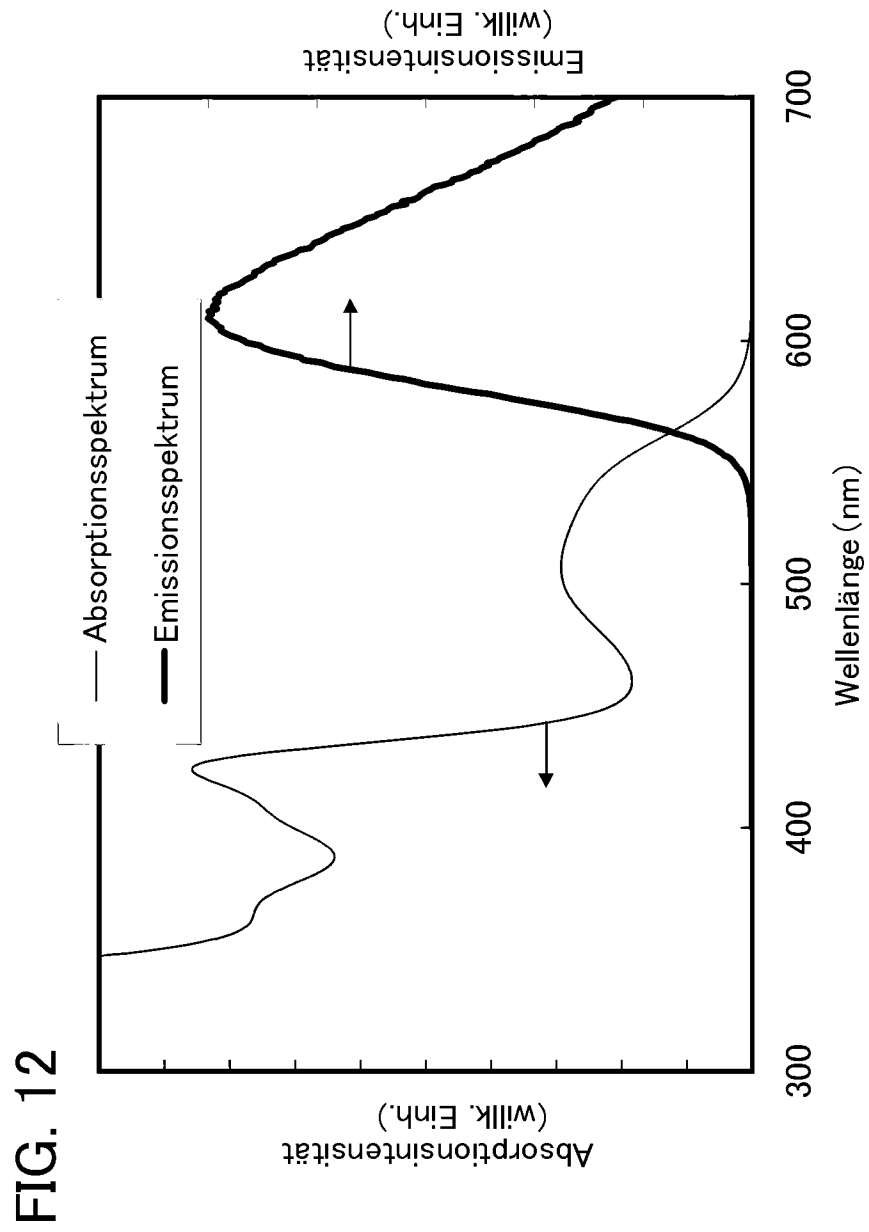


FIG. 13

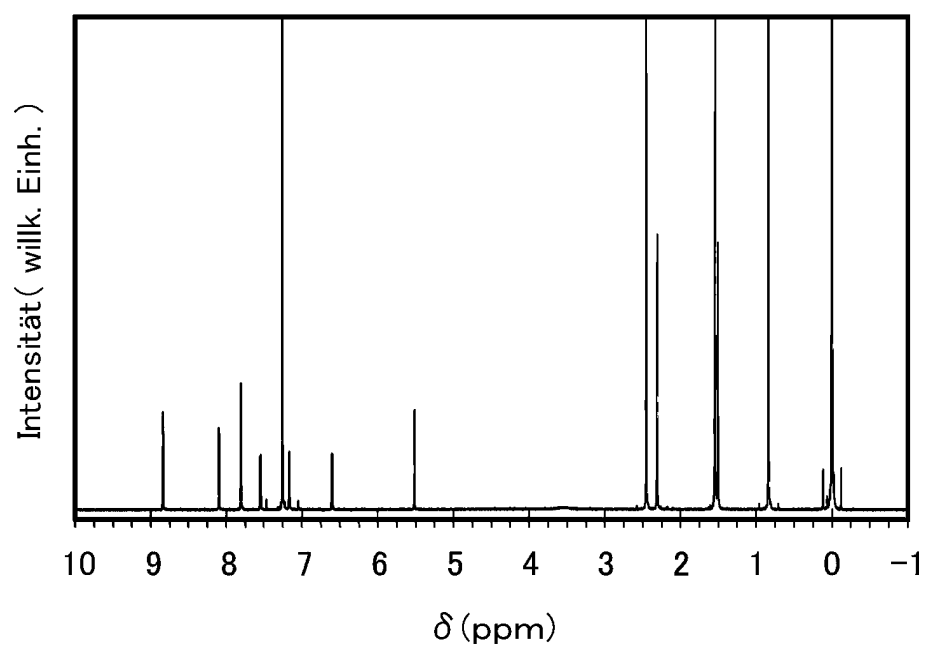


FIG. 14

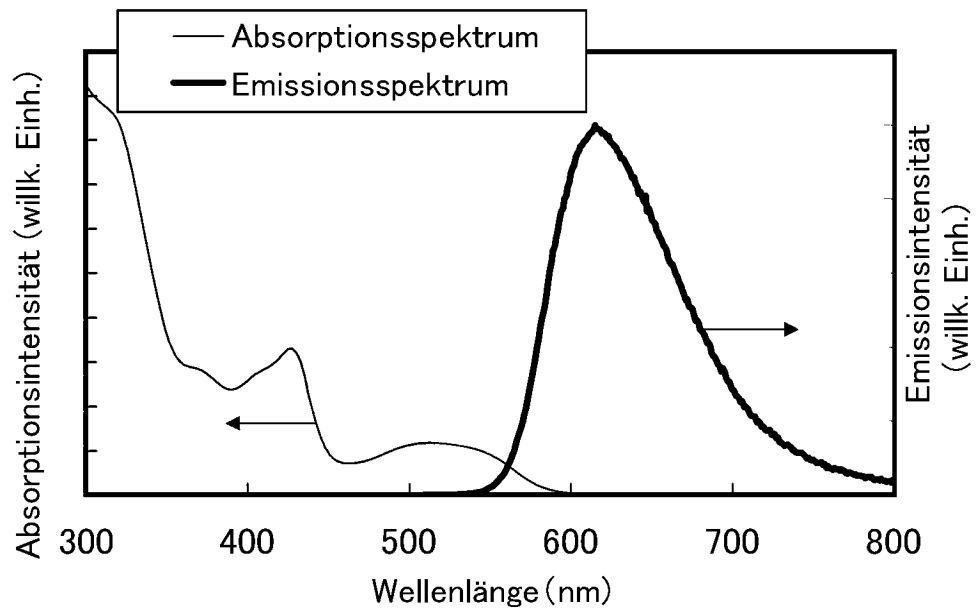


FIG. 15

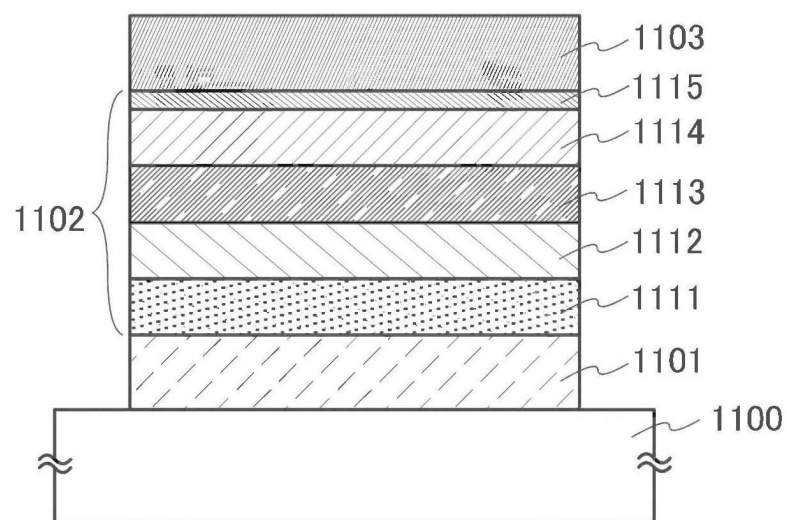


FIG. 16

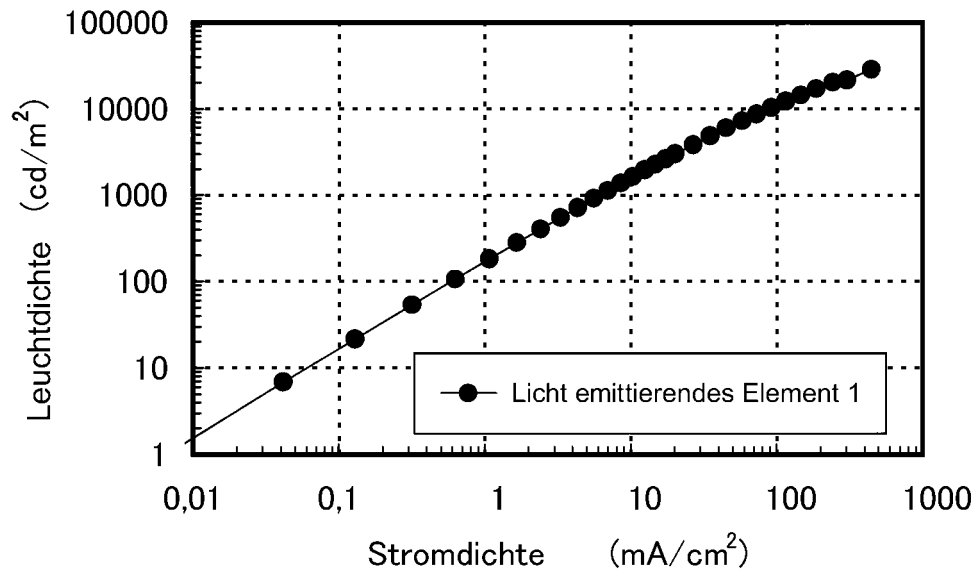


FIG. 17

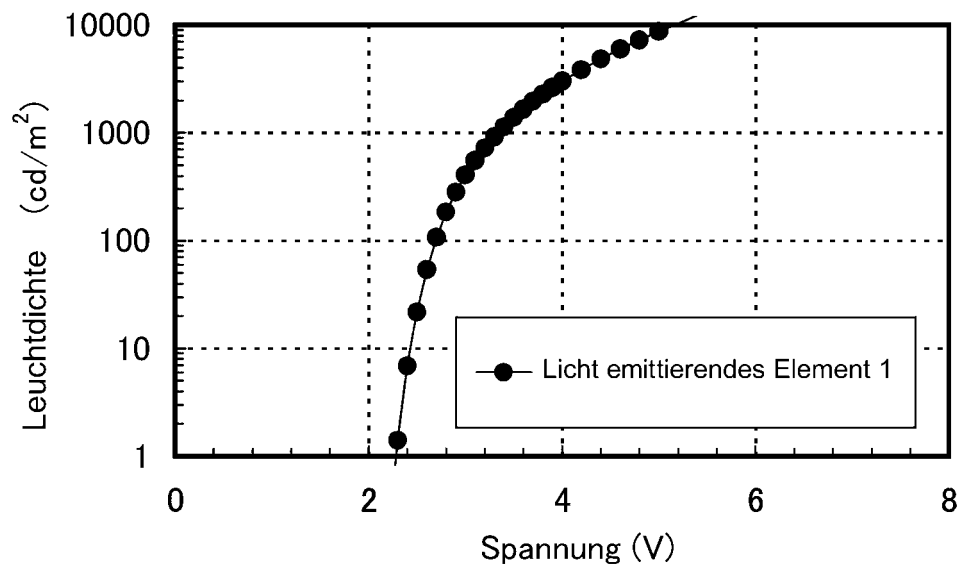


FIG. 18

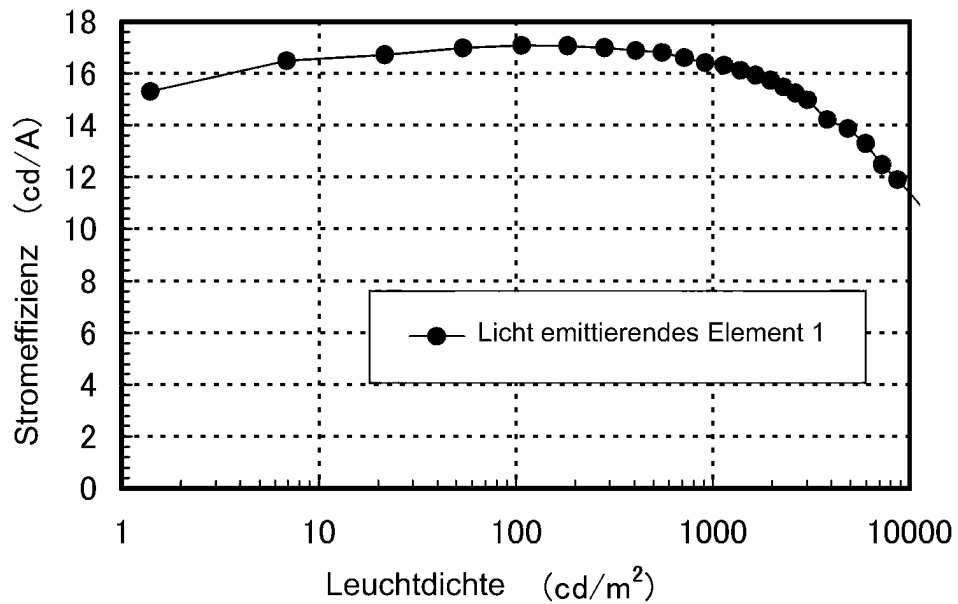


FIG. 19

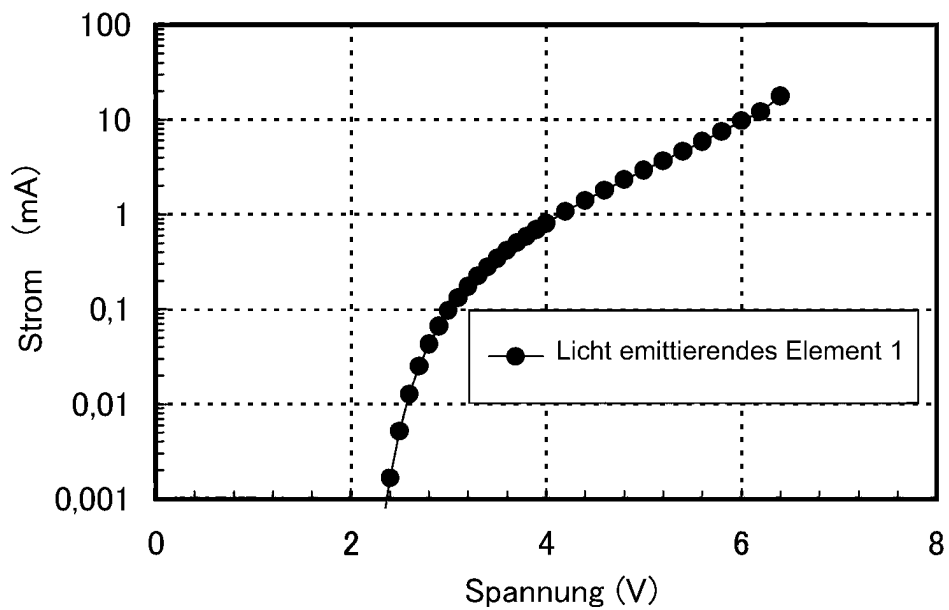


FIG. 20

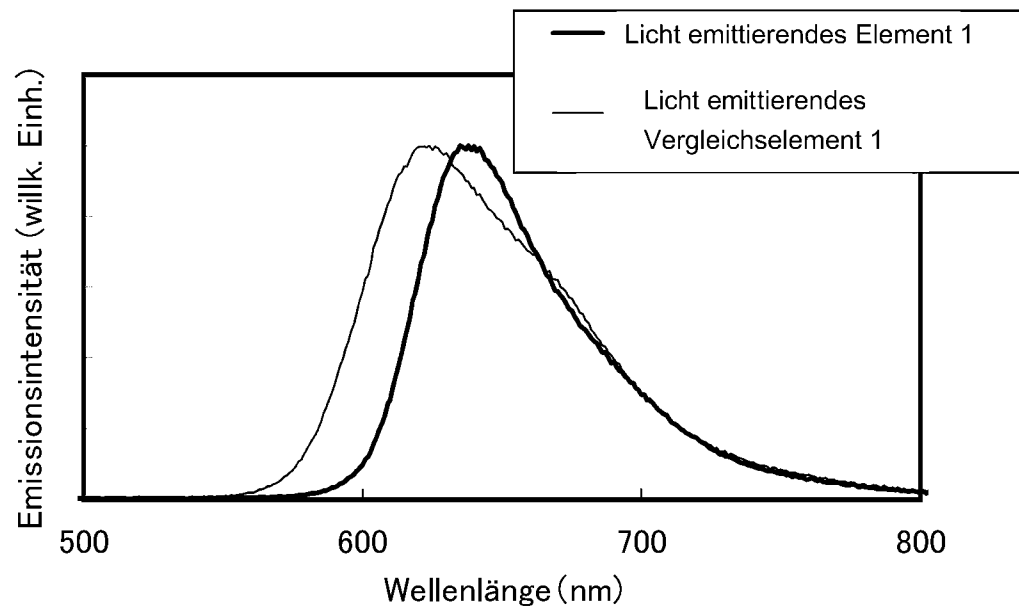


FIG. 21

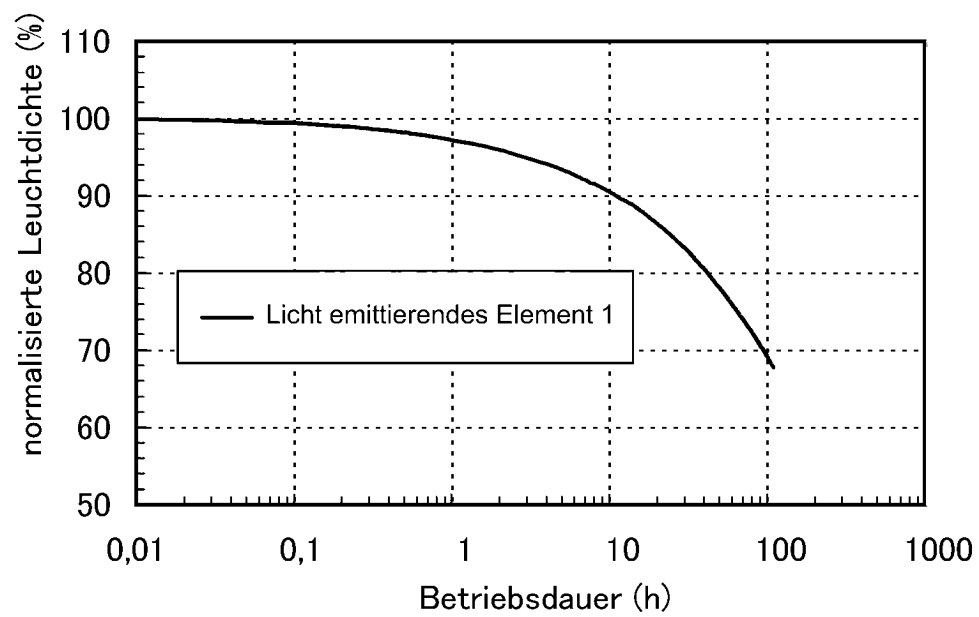


FIG. 22

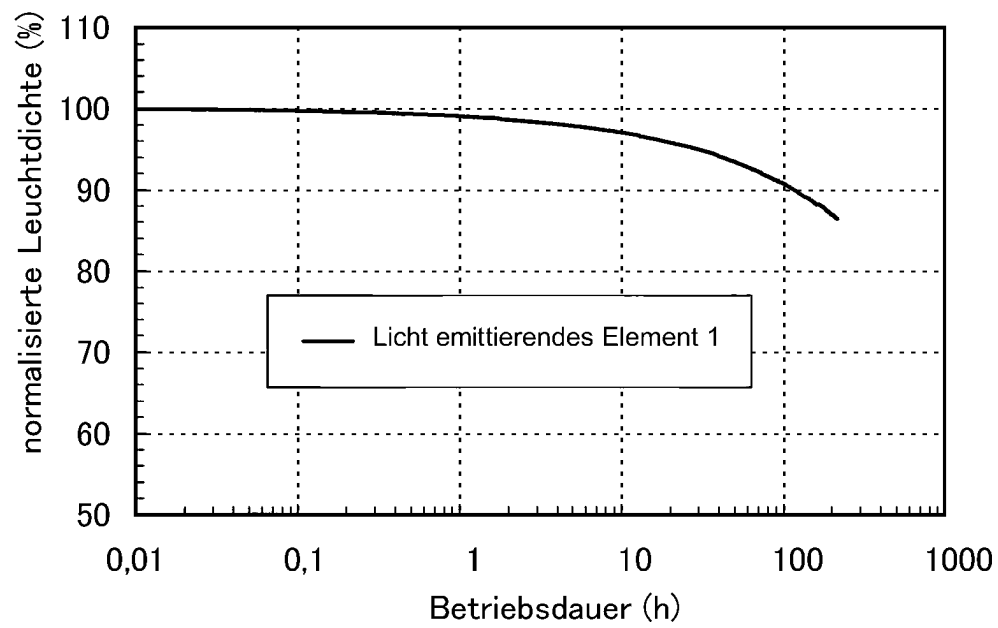


FIG. 23

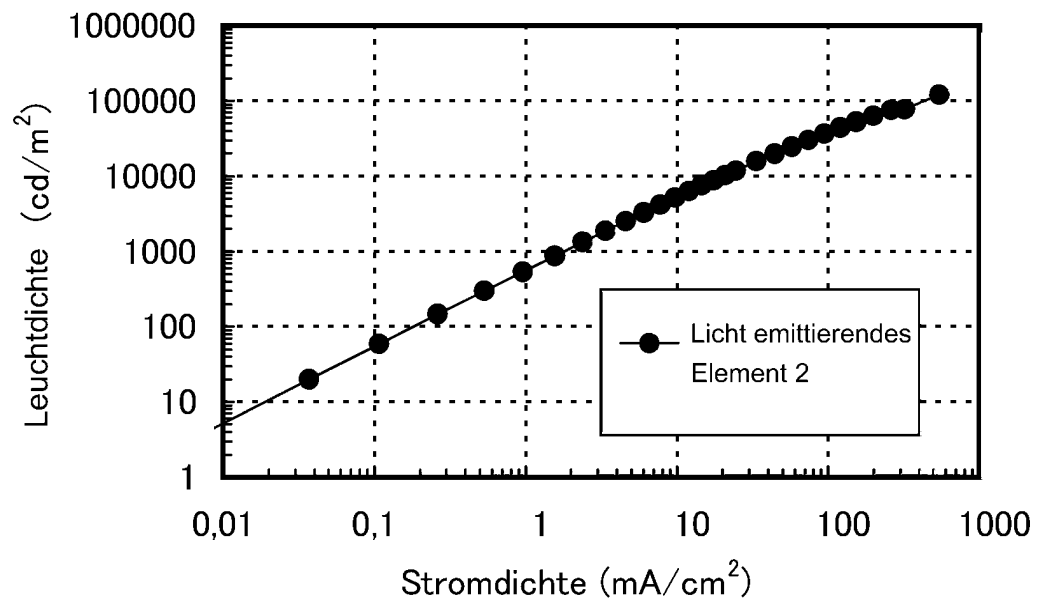


FIG. 24

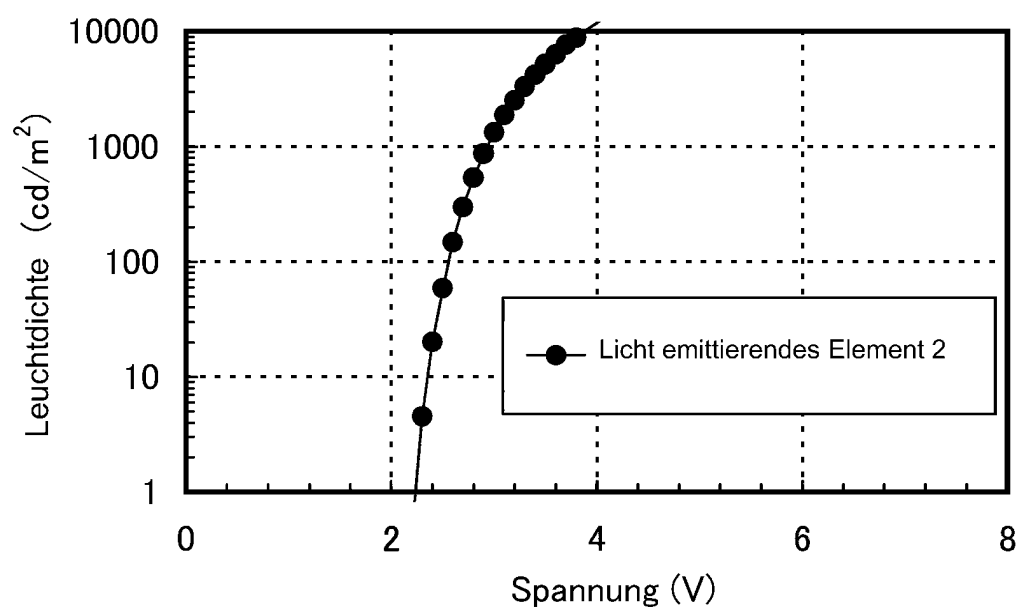


FIG. 25

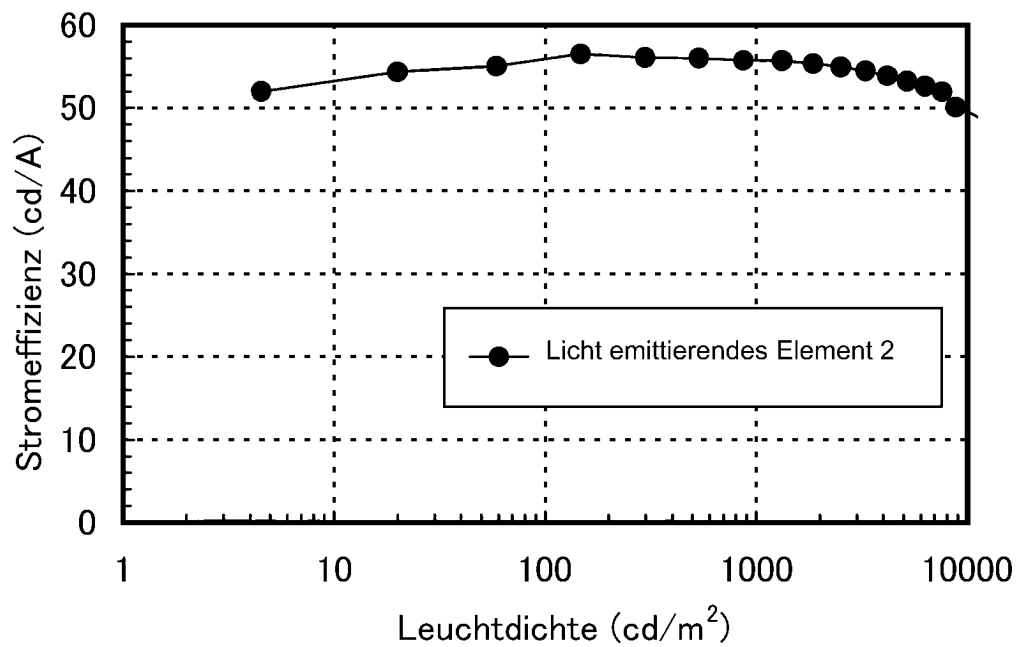


FIG. 26

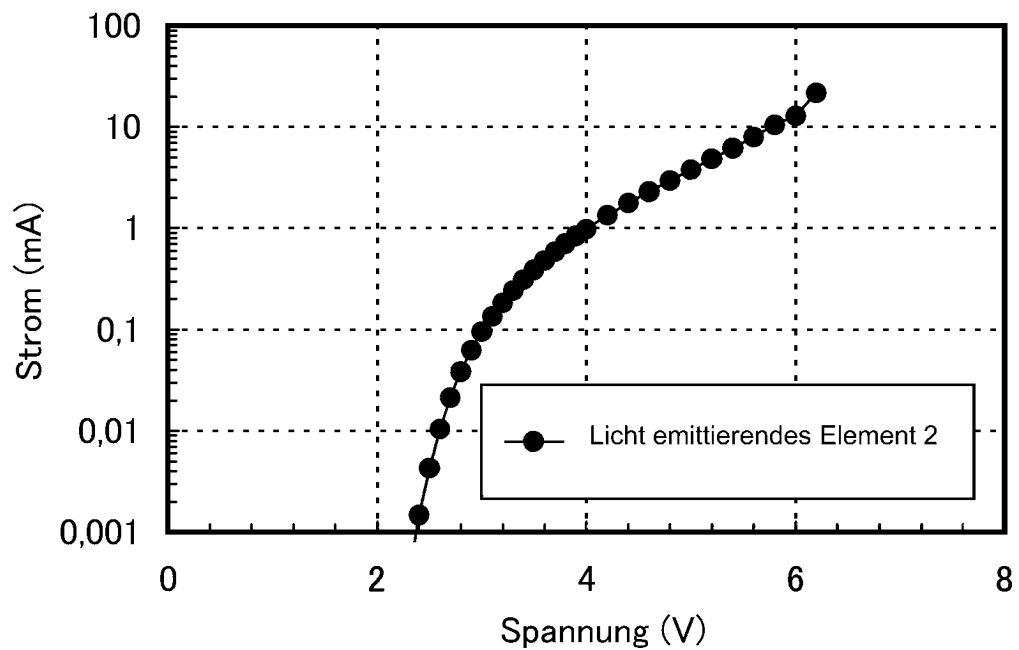


FIG. 27

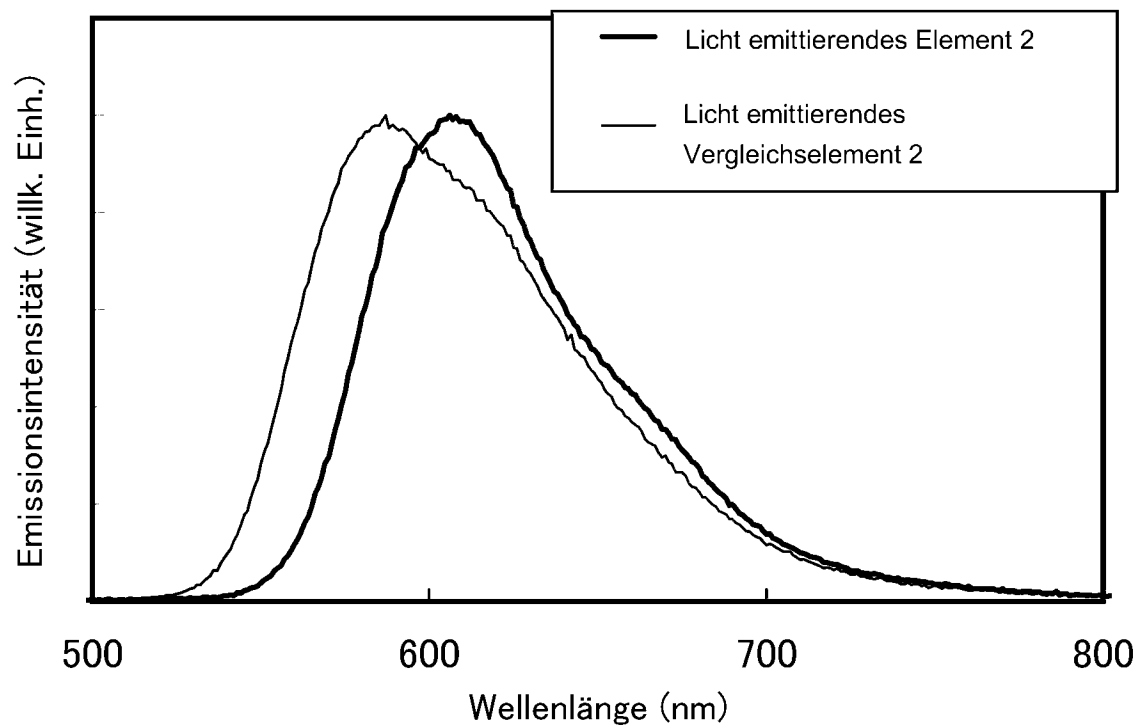


FIG. 28

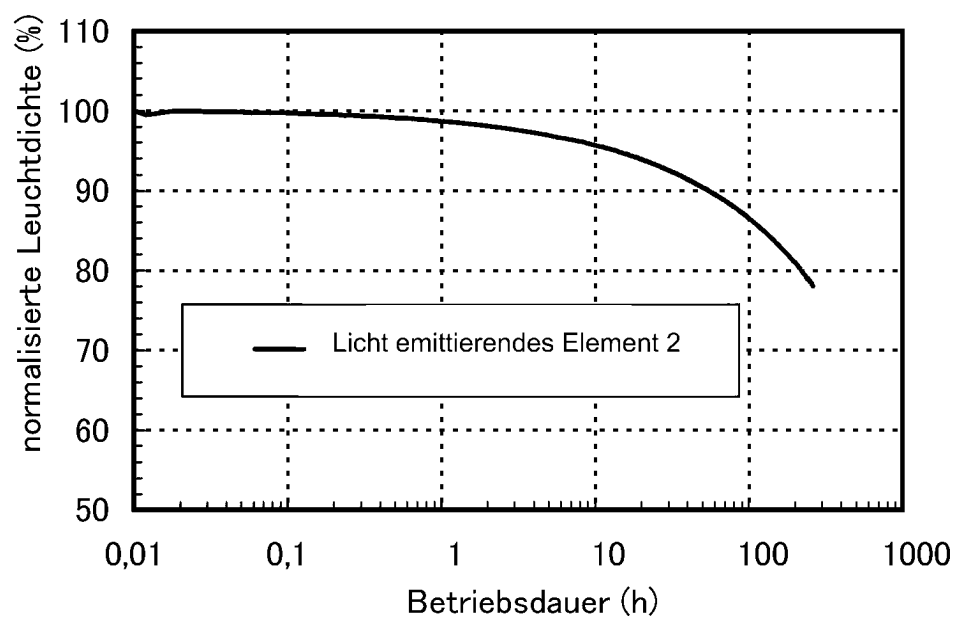


FIG. 29

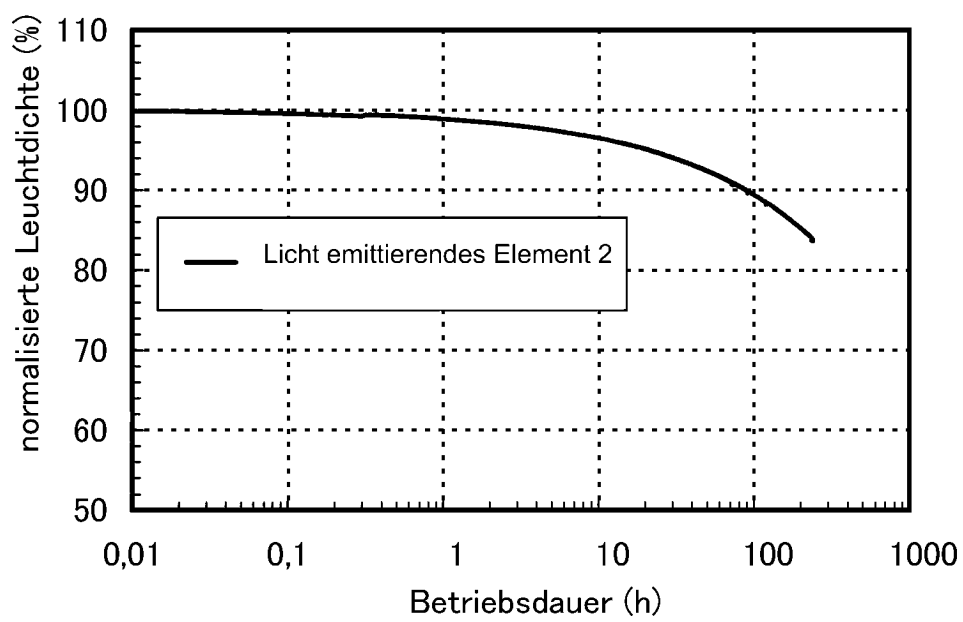


FIG. 30

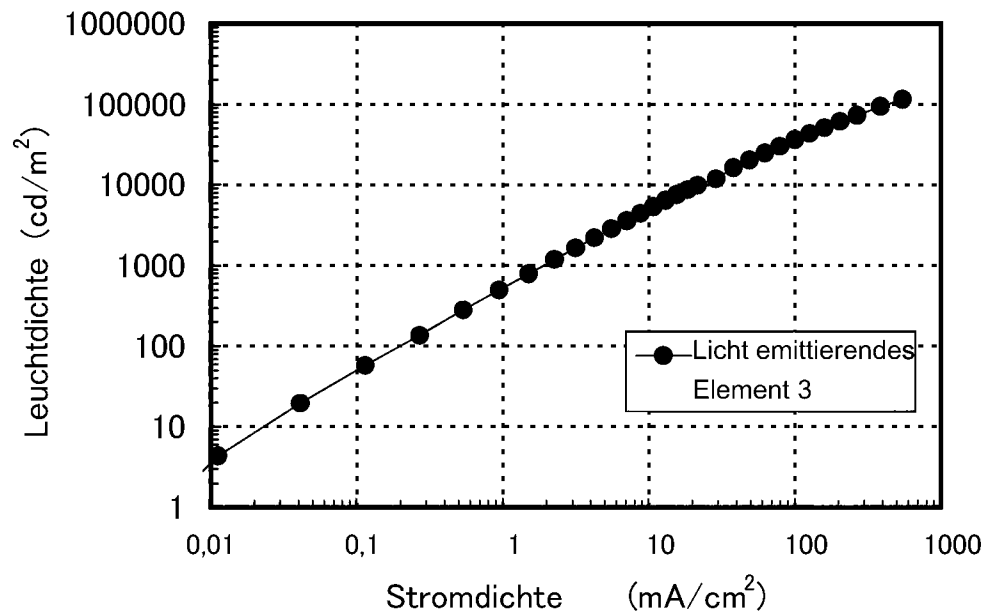


FIG. 31

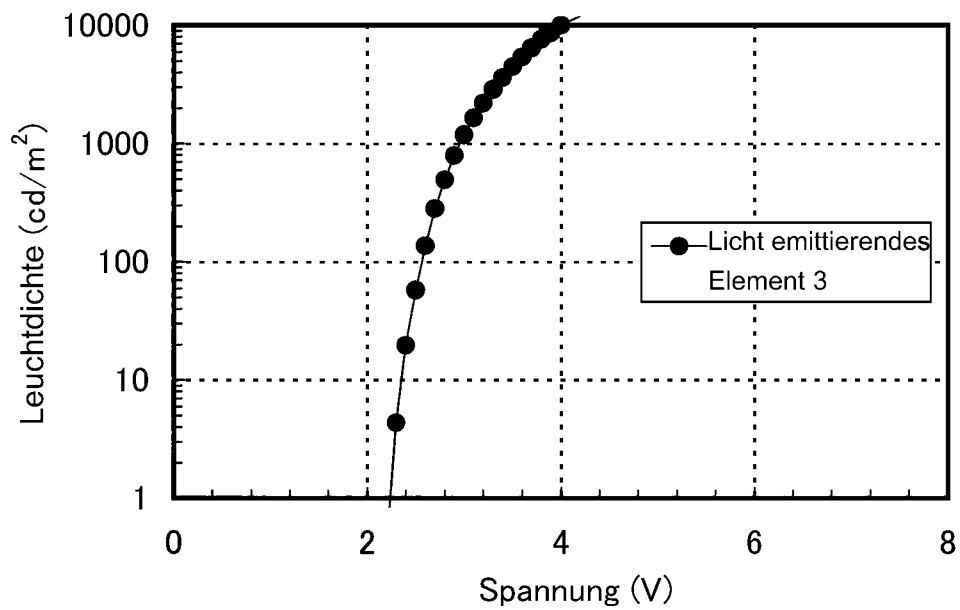


FIG. 32

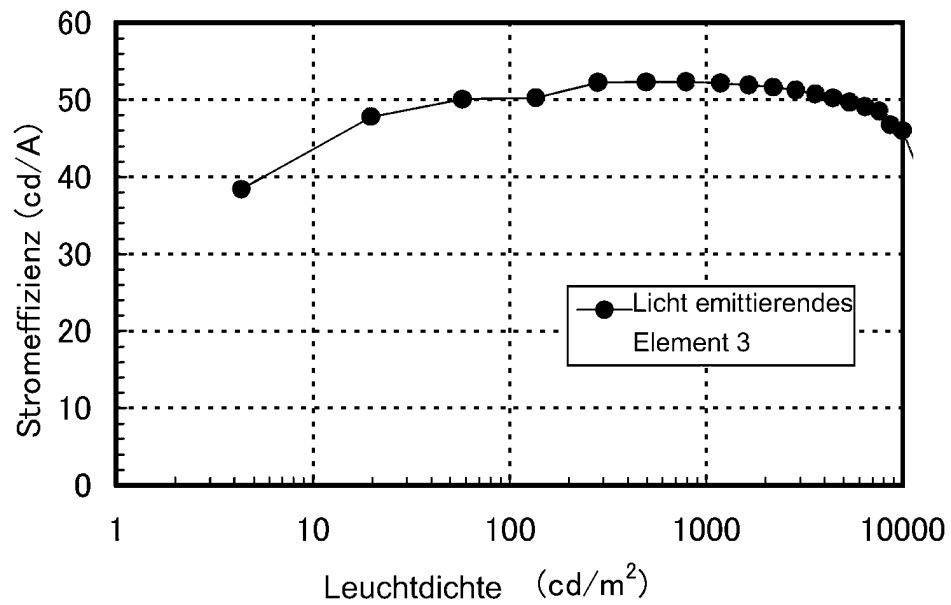


FIG. 33

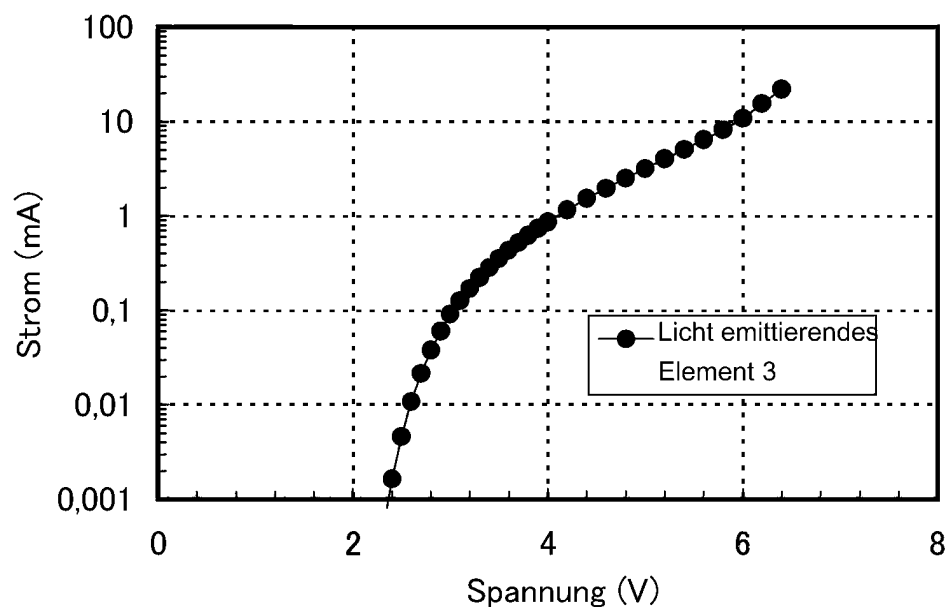


FIG. 34

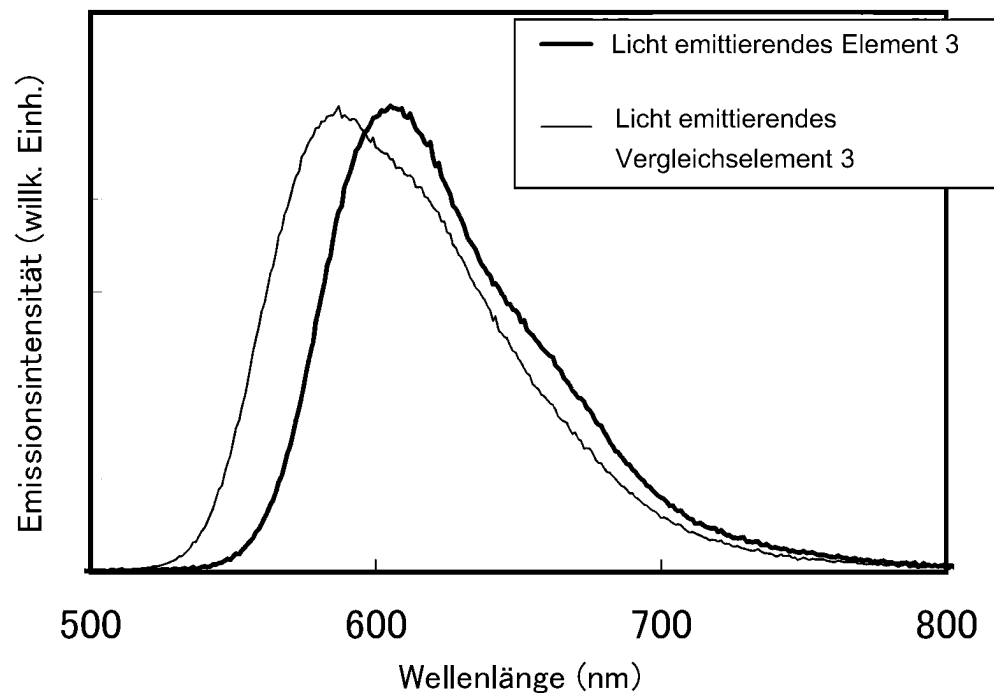


FIG. 35

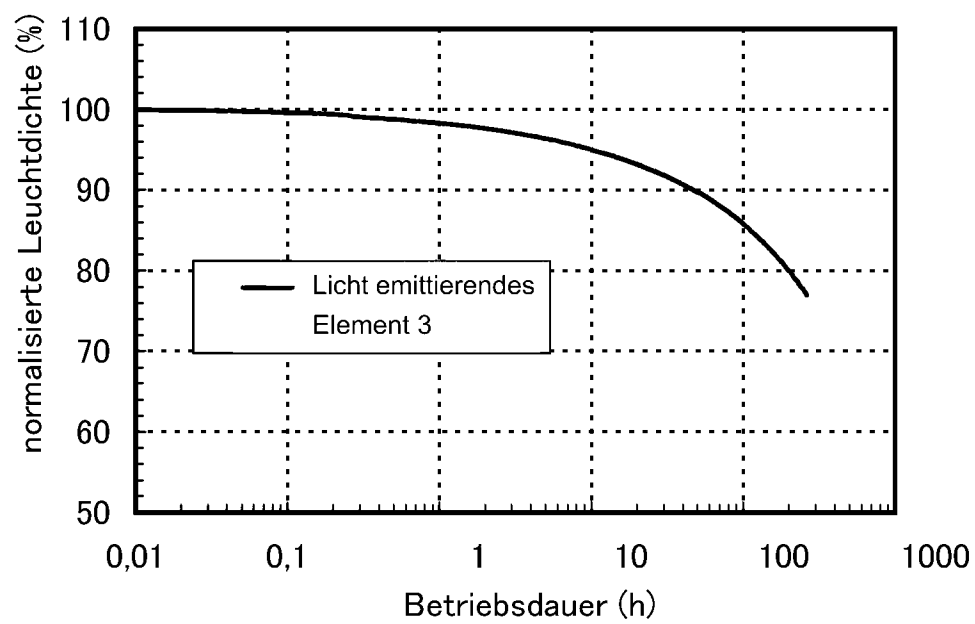


FIG. 36

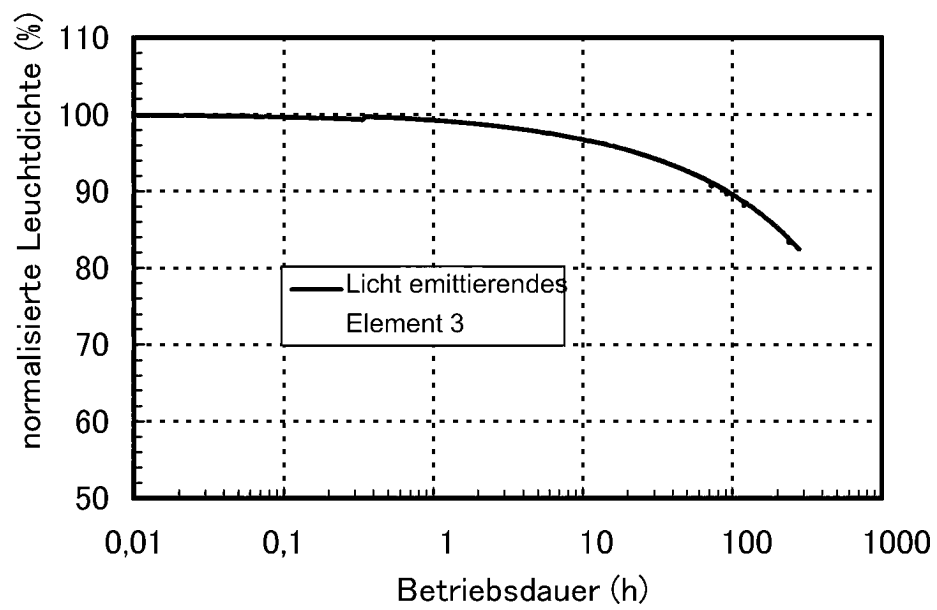


FIG. 37

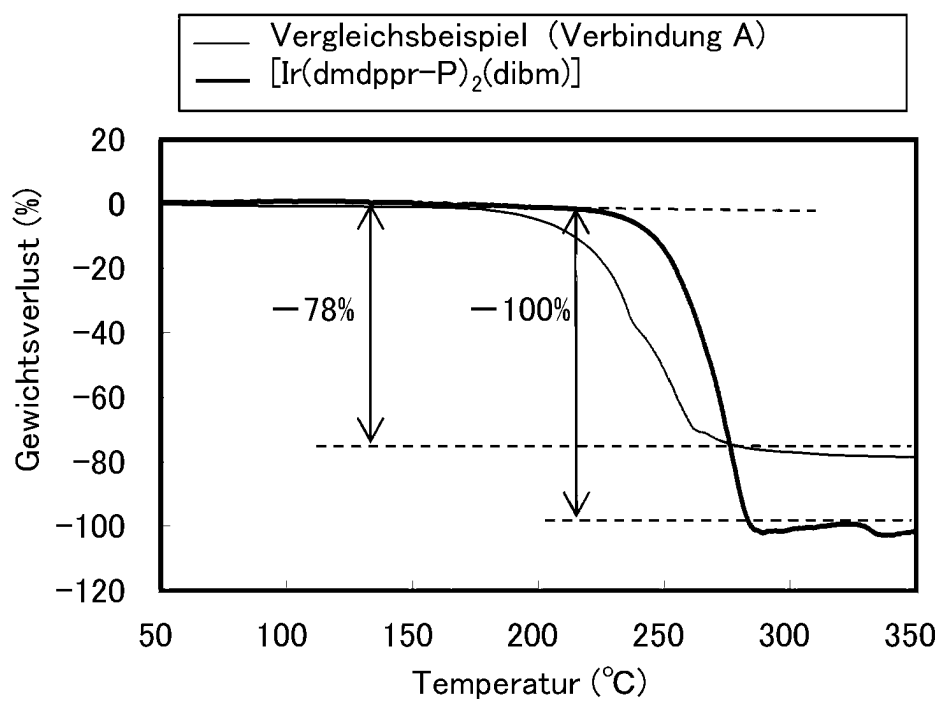


FIG. 38

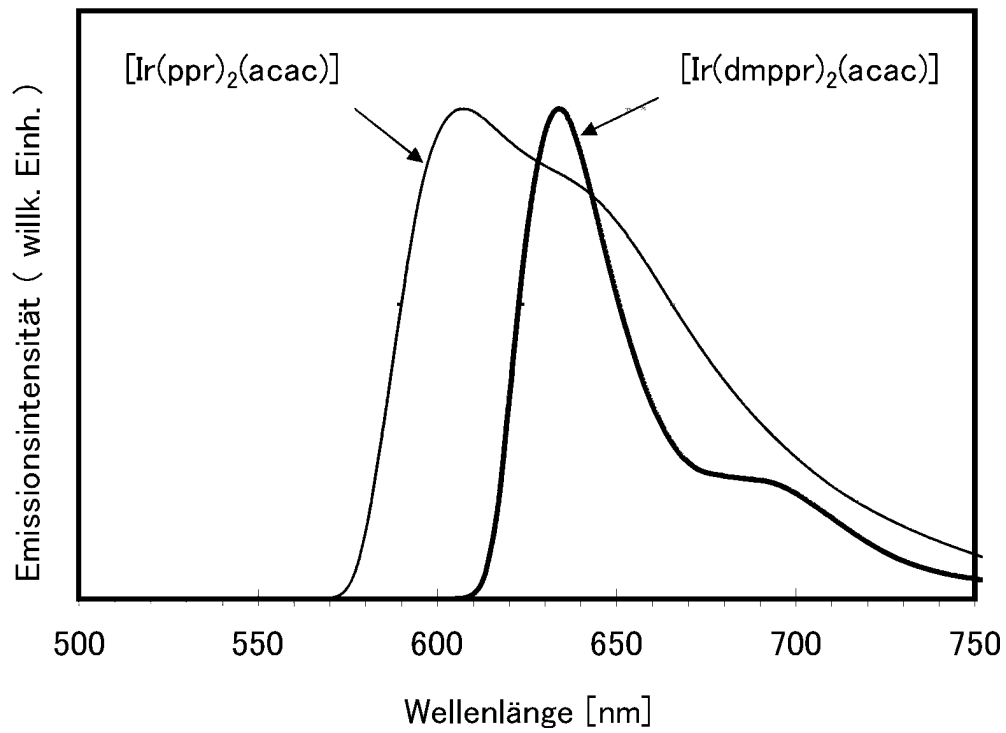


FIG. 39

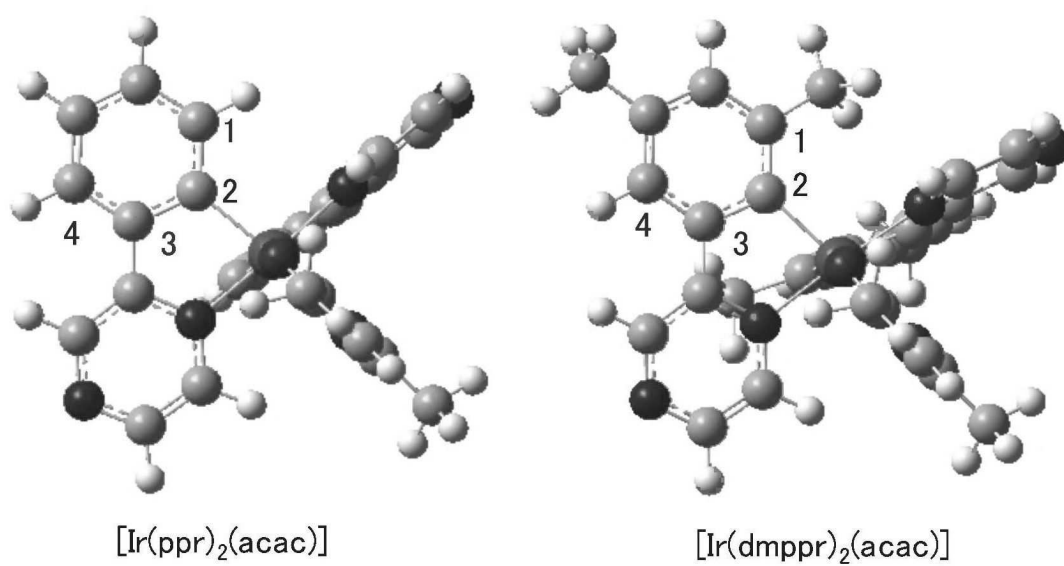


FIG. 40

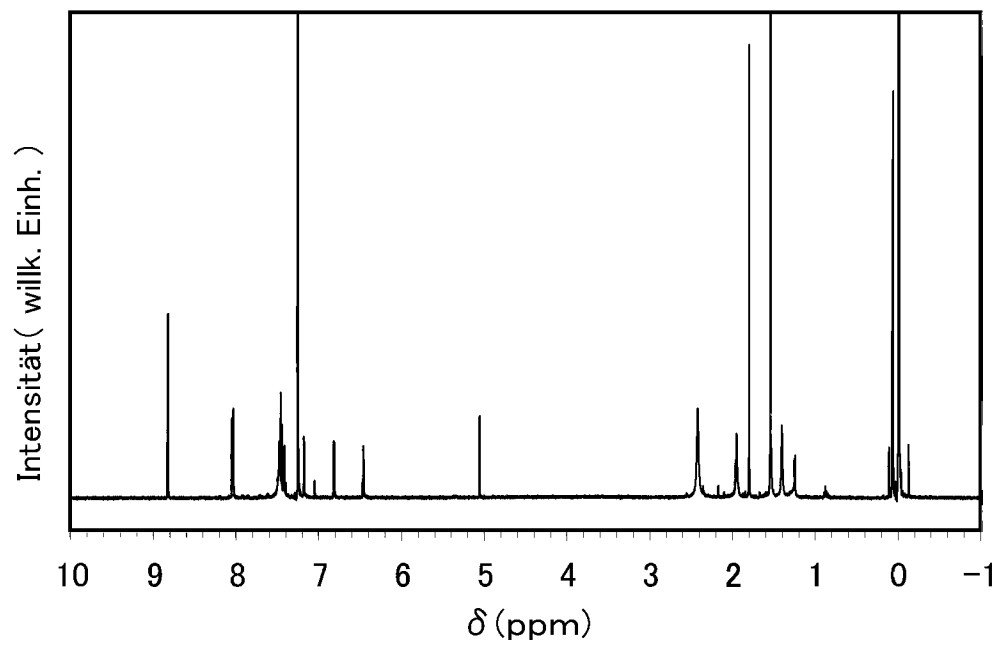


FIG. 41

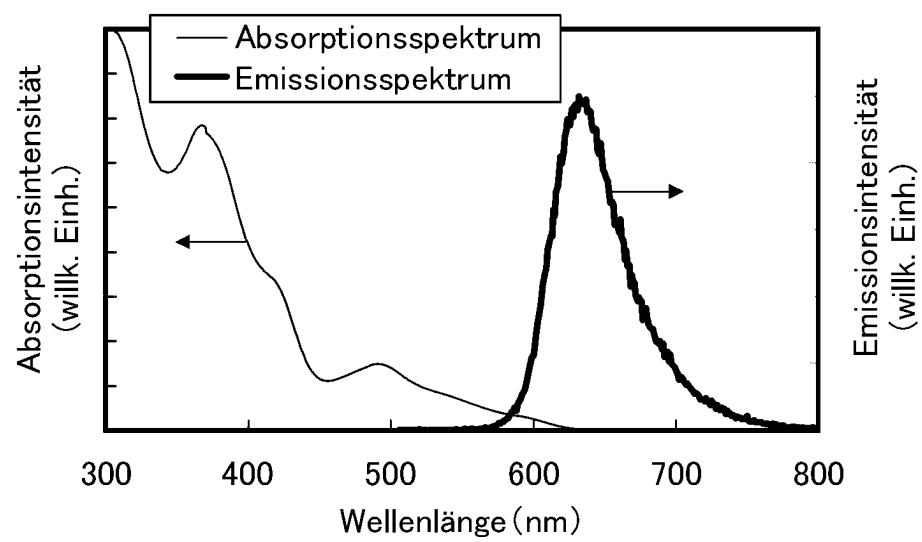


FIG. 42

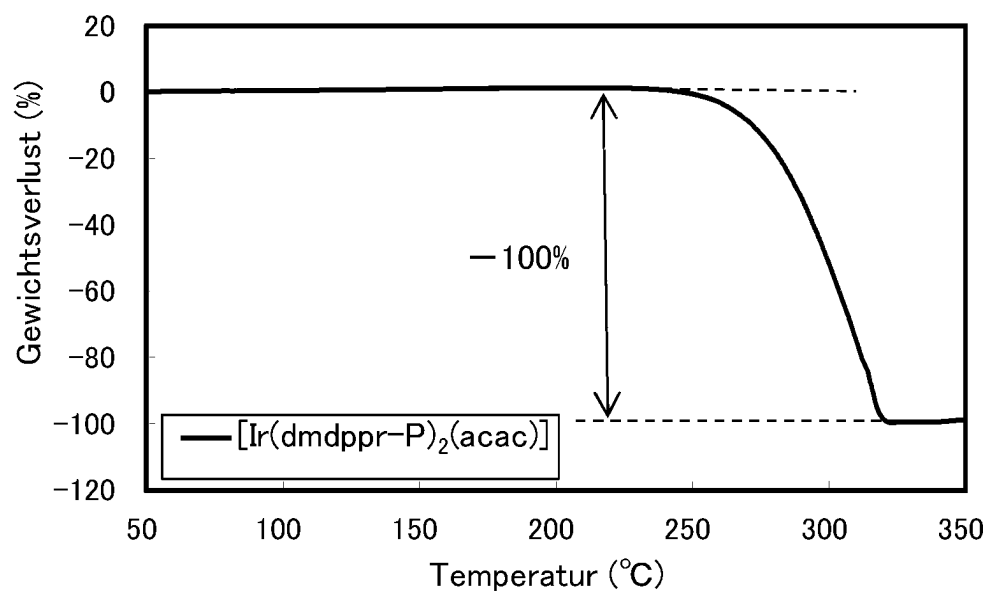


FIG. 43

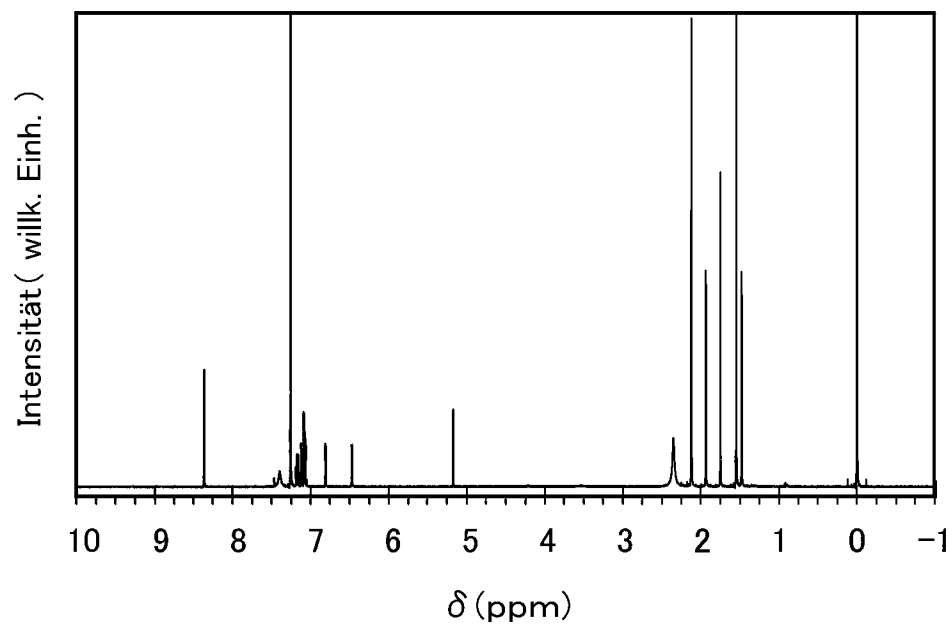


FIG. 44

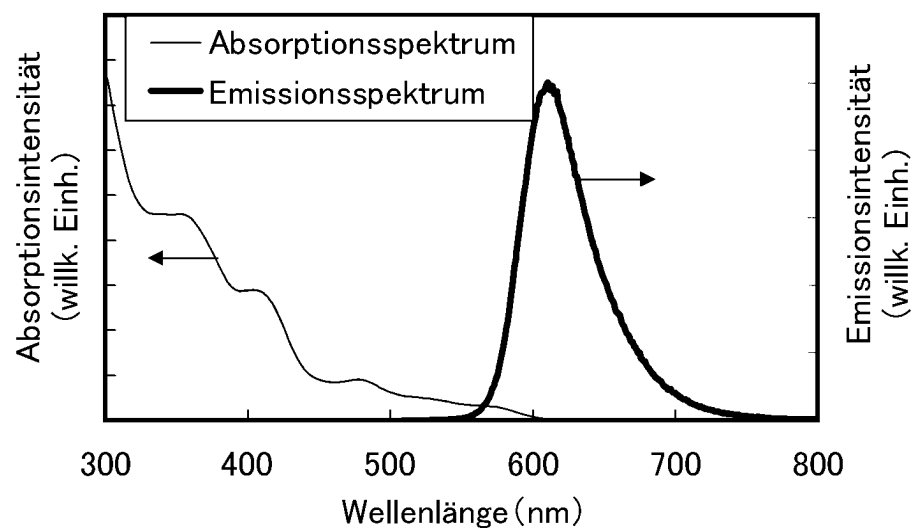


FIG. 45

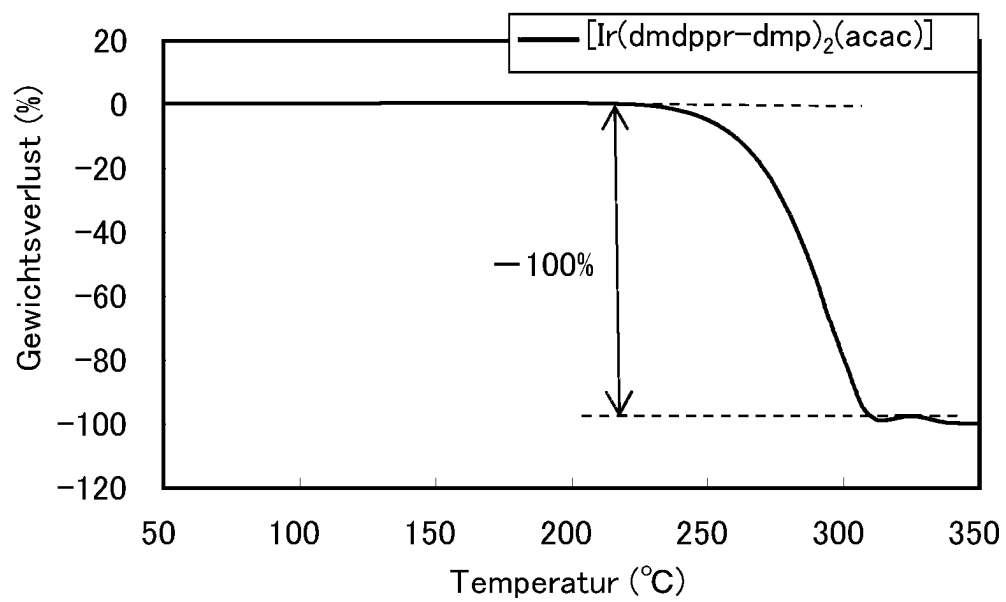


FIG. 46

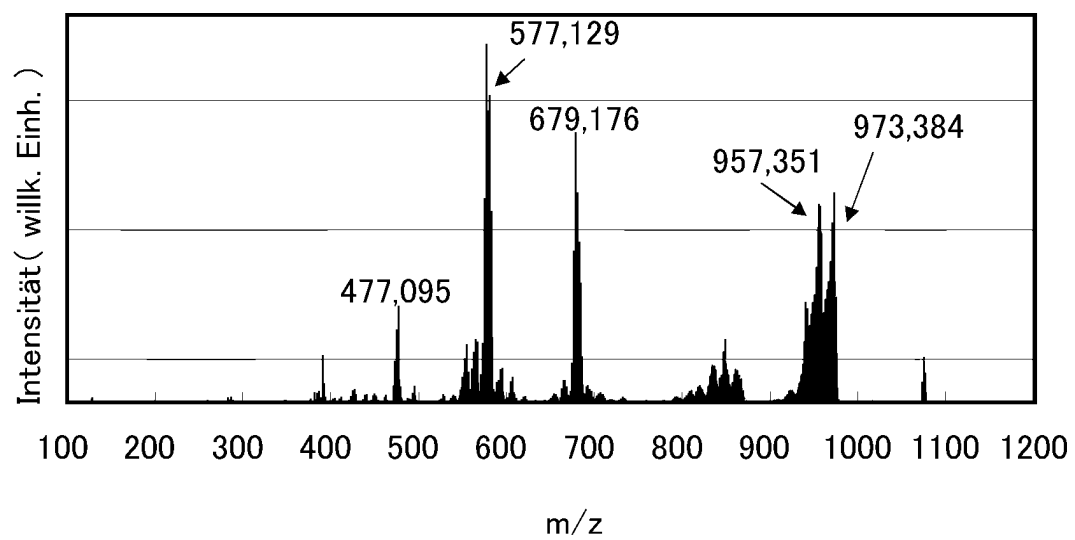


FIG. 47

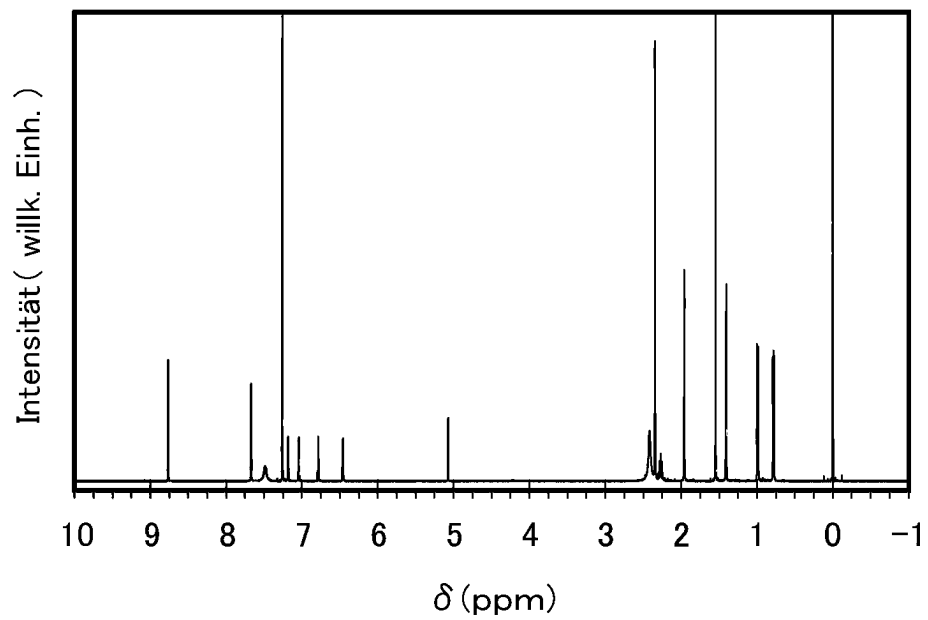


FIG. 48

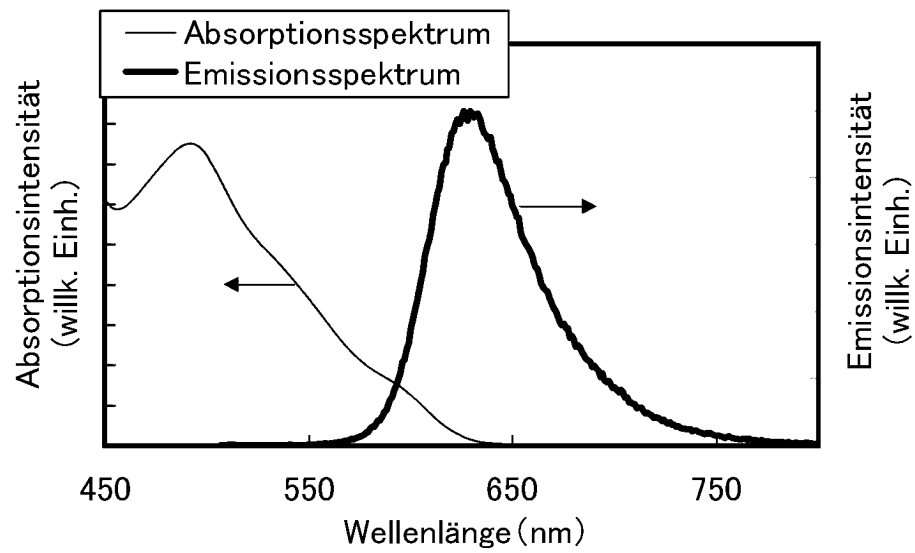


FIG. 49

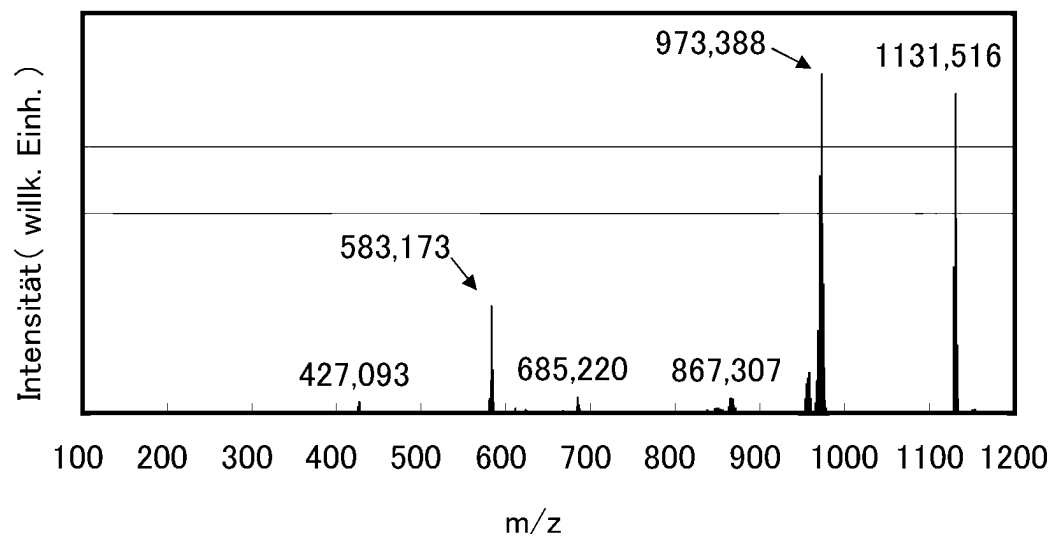


FIG. 50

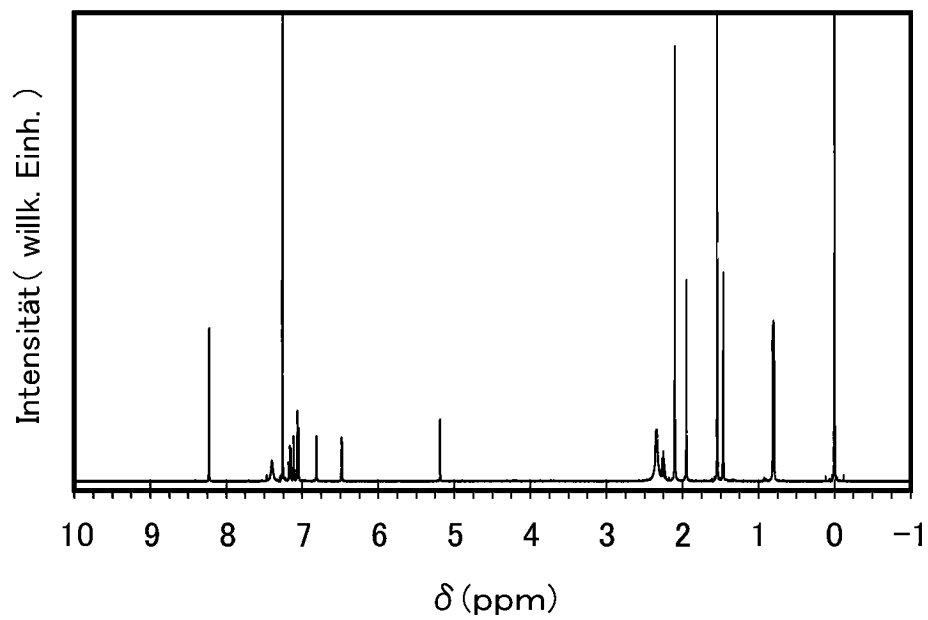


FIG. 51

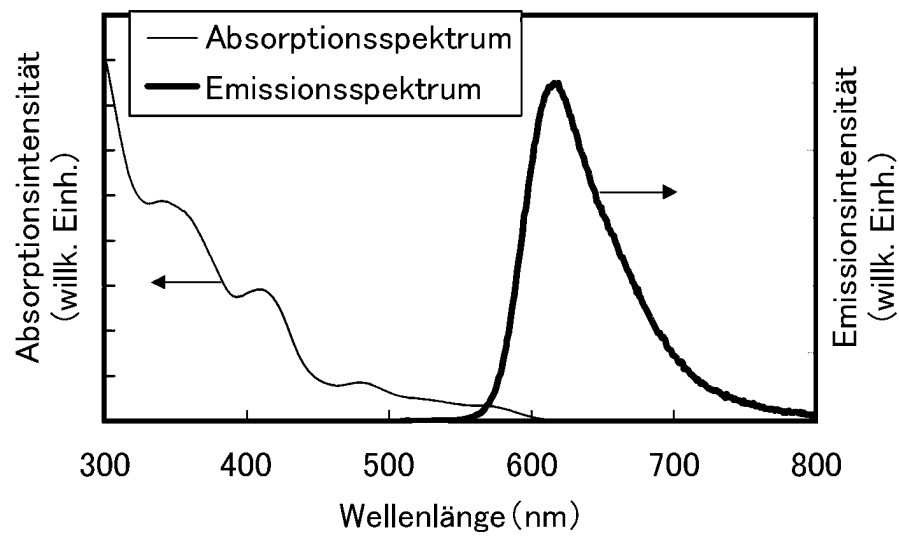


FIG. 52

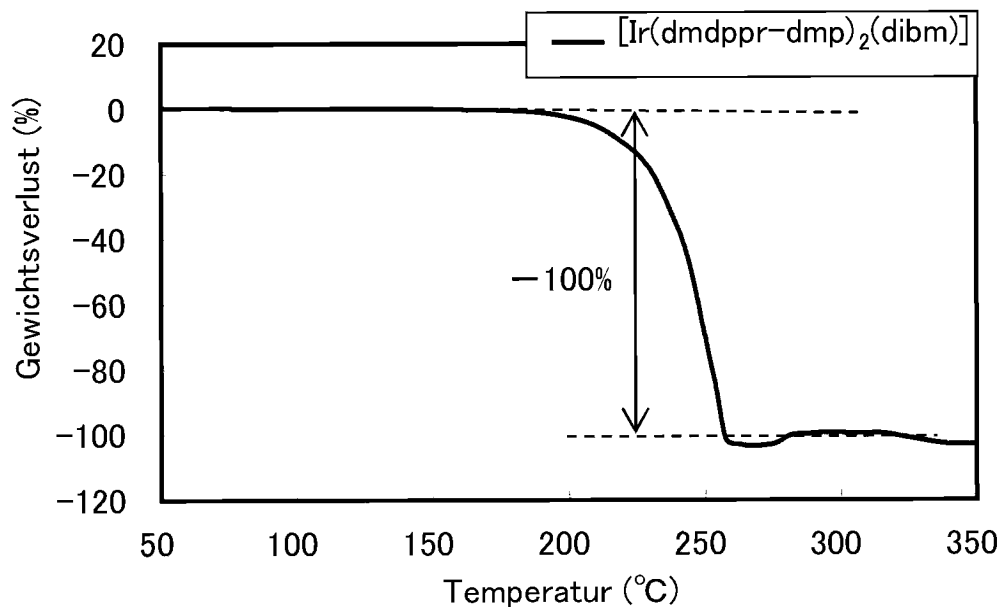


FIG. 53

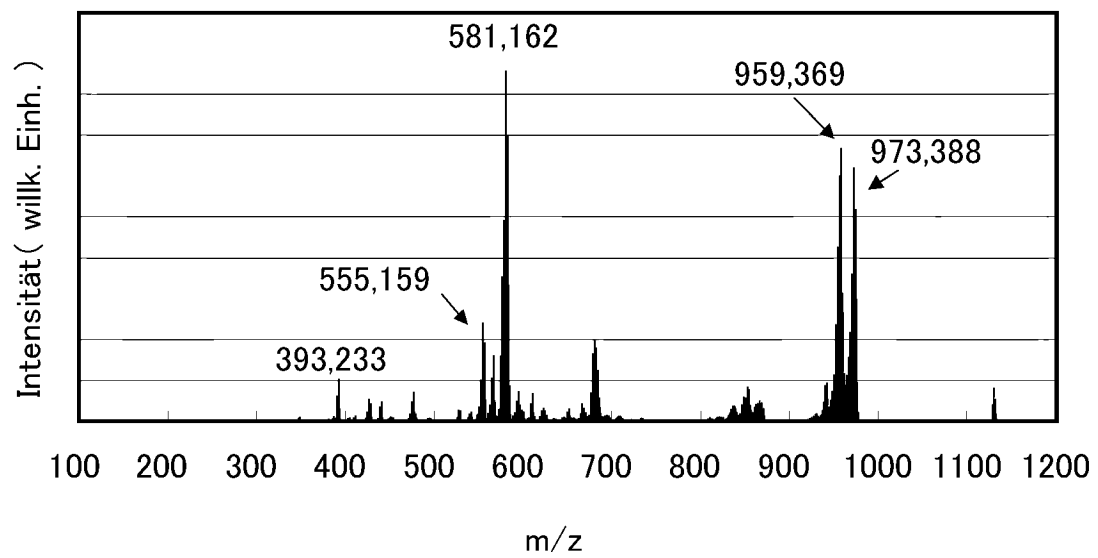


FIG. 54

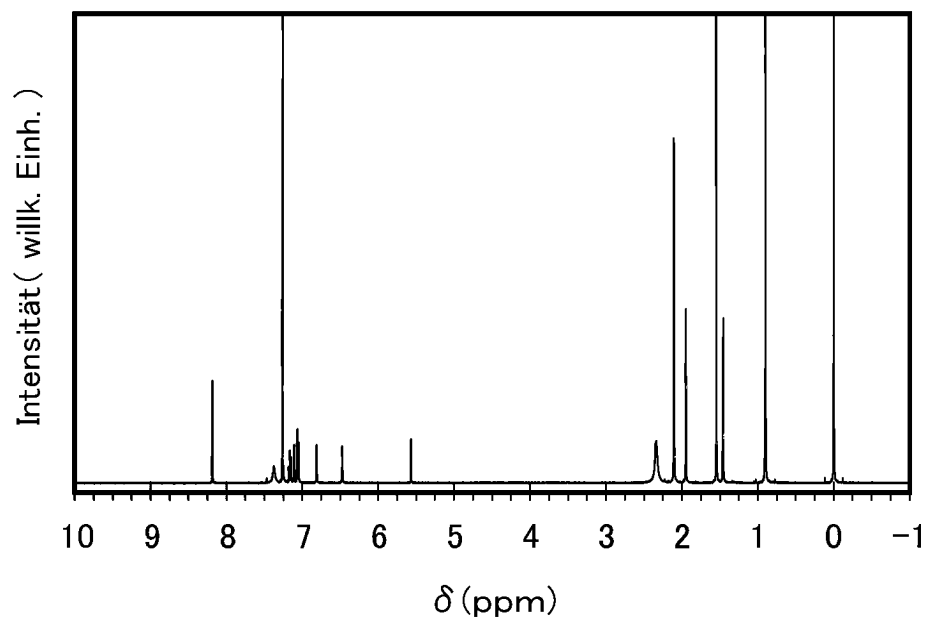


FIG. 55

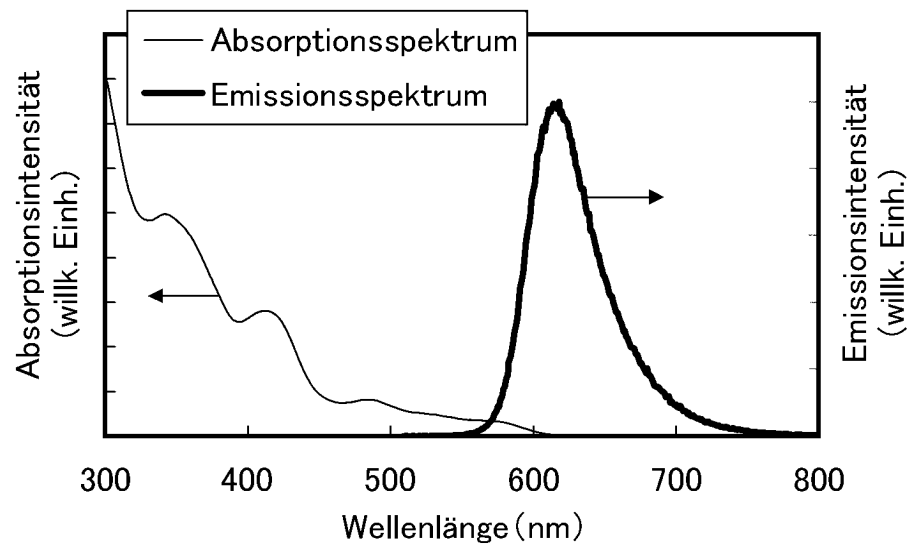


FIG. 56

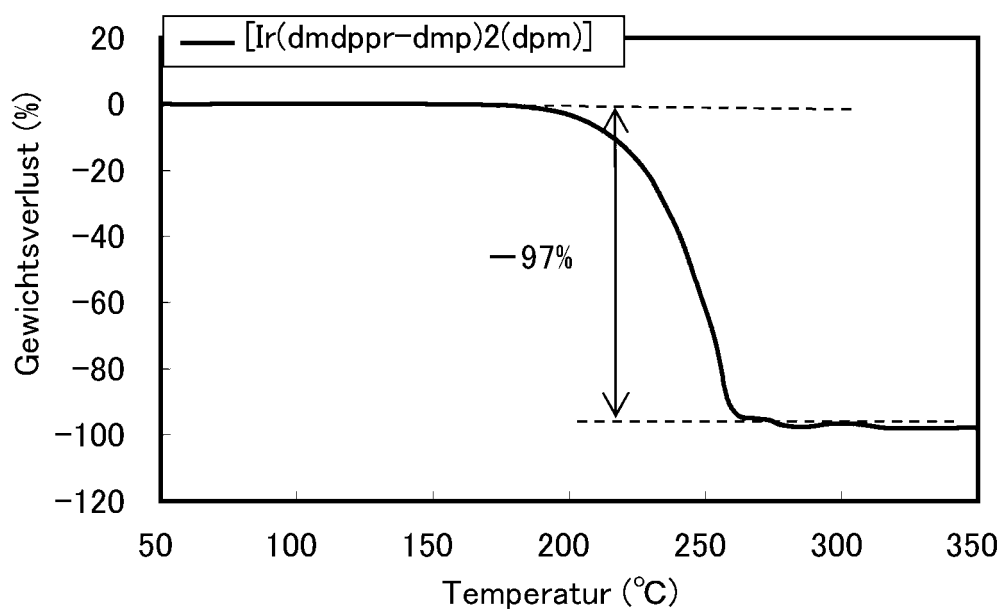


FIG. 57

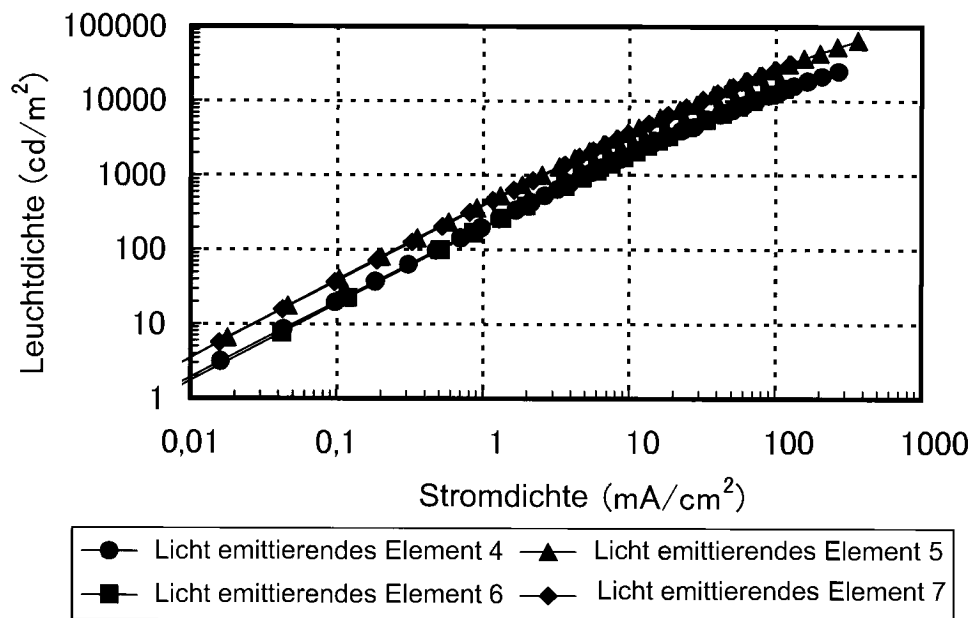


FIG. 58

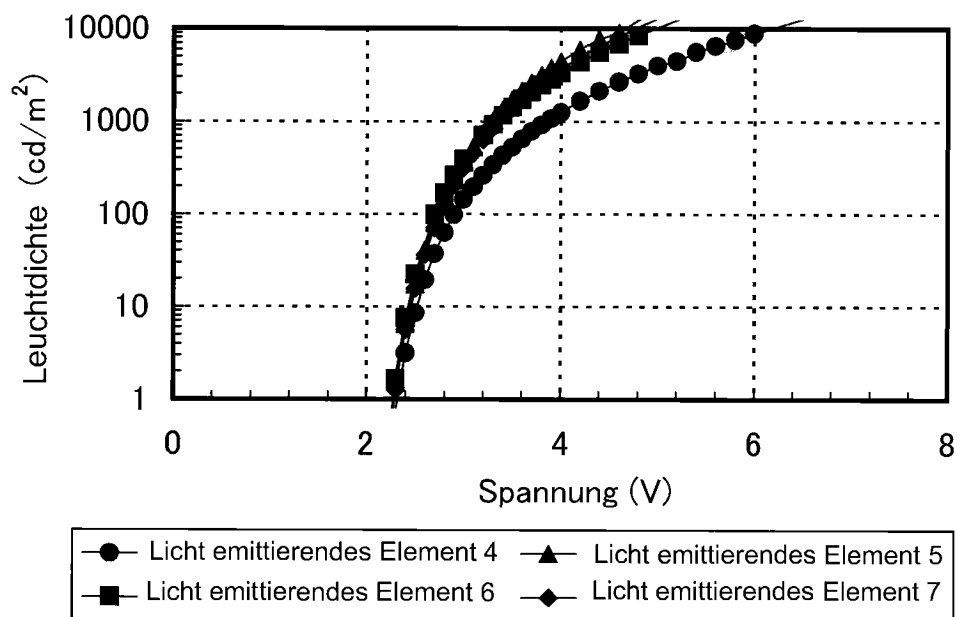


FIG. 59

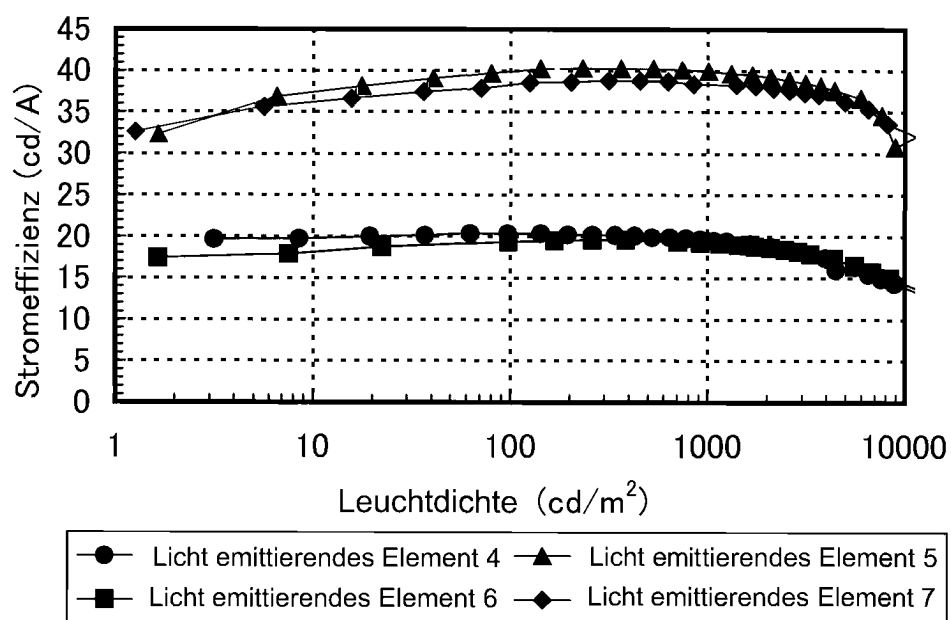


FIG. 60

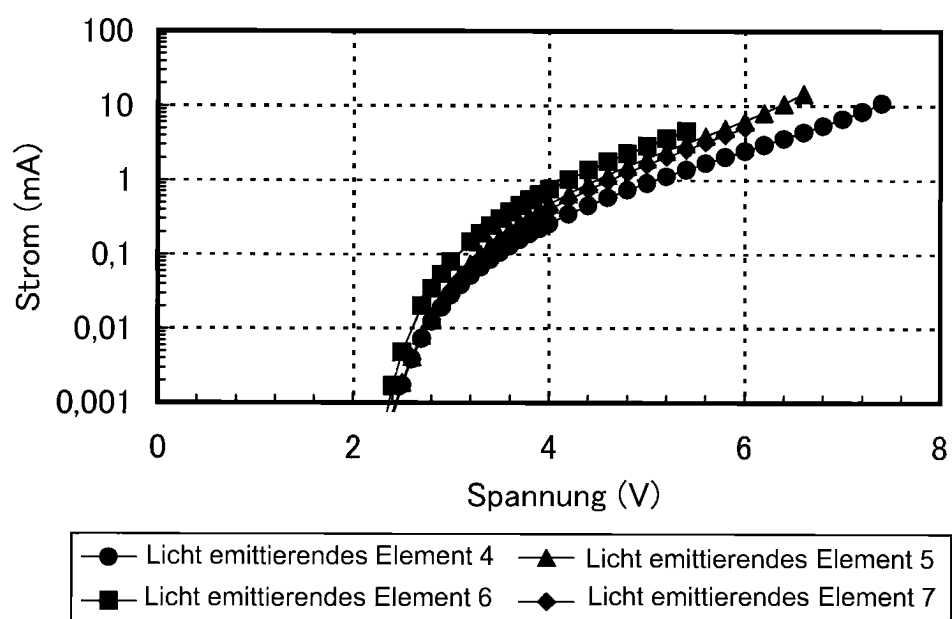


FIG. 61

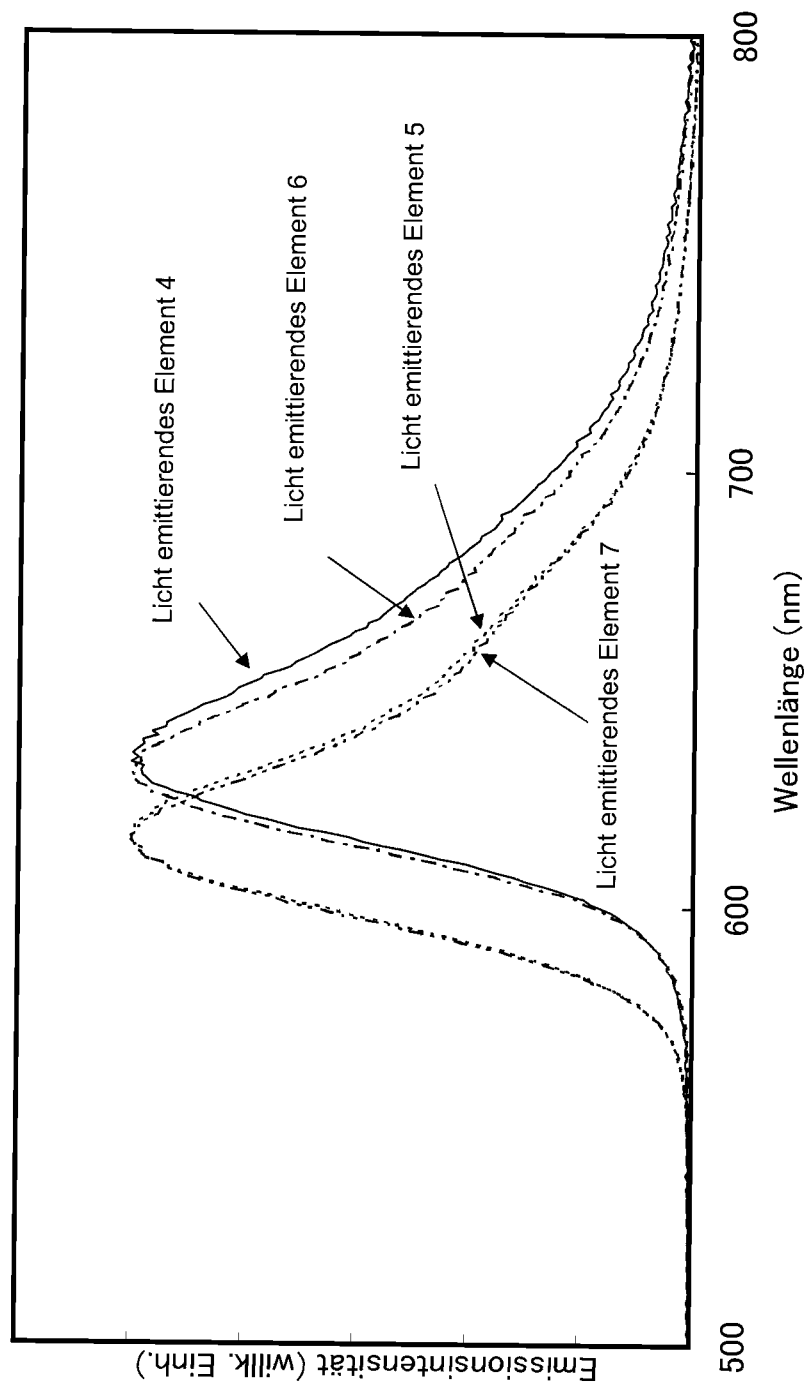


FIG. 62

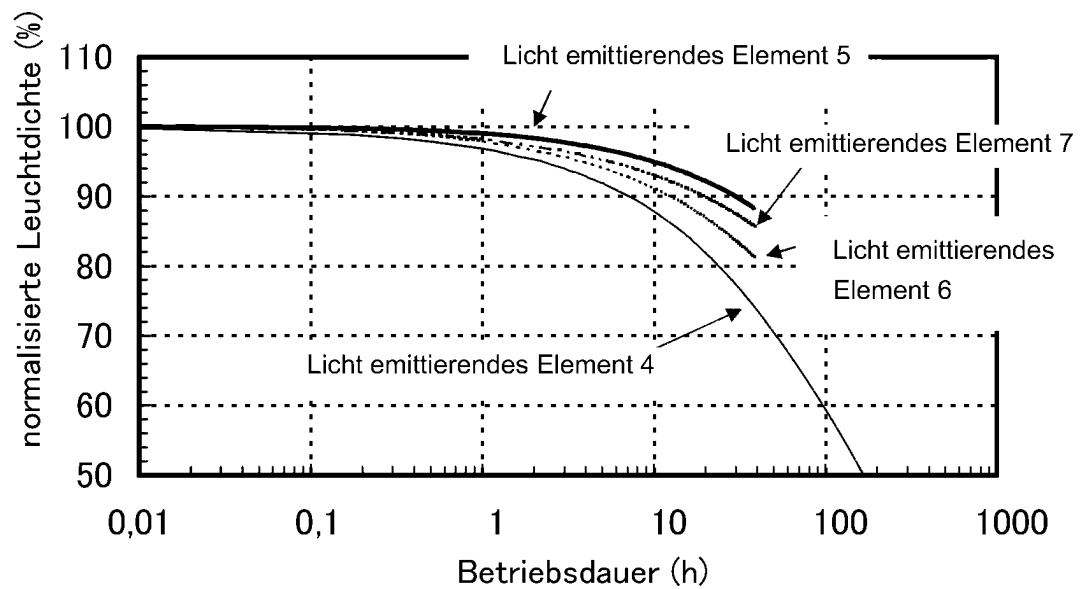


FIG. 63

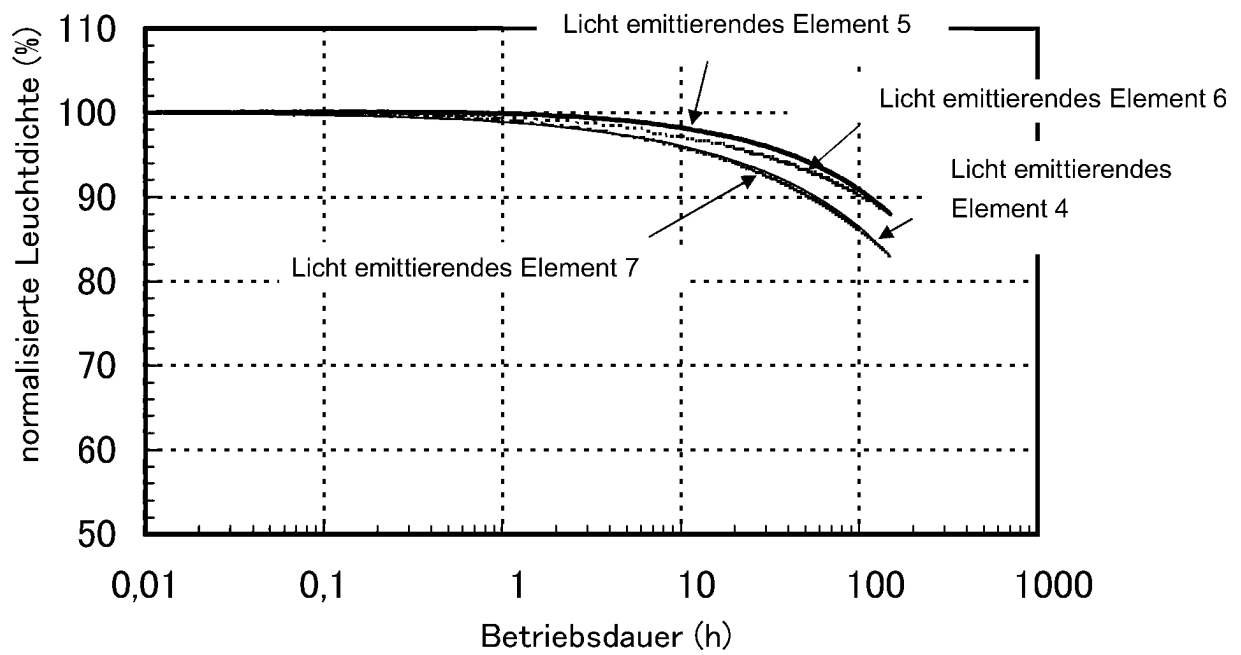


FIG. 64

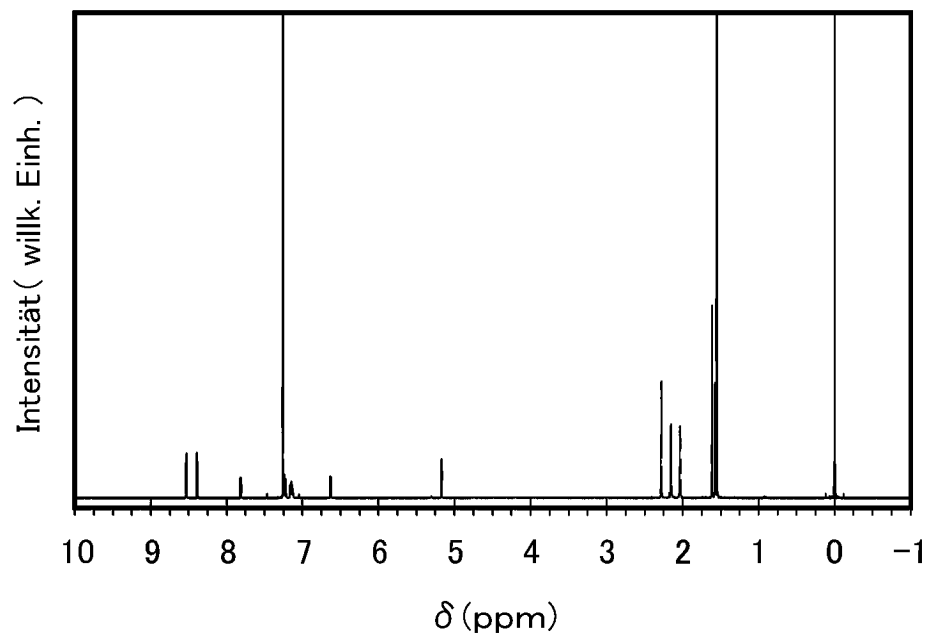


FIG. 65

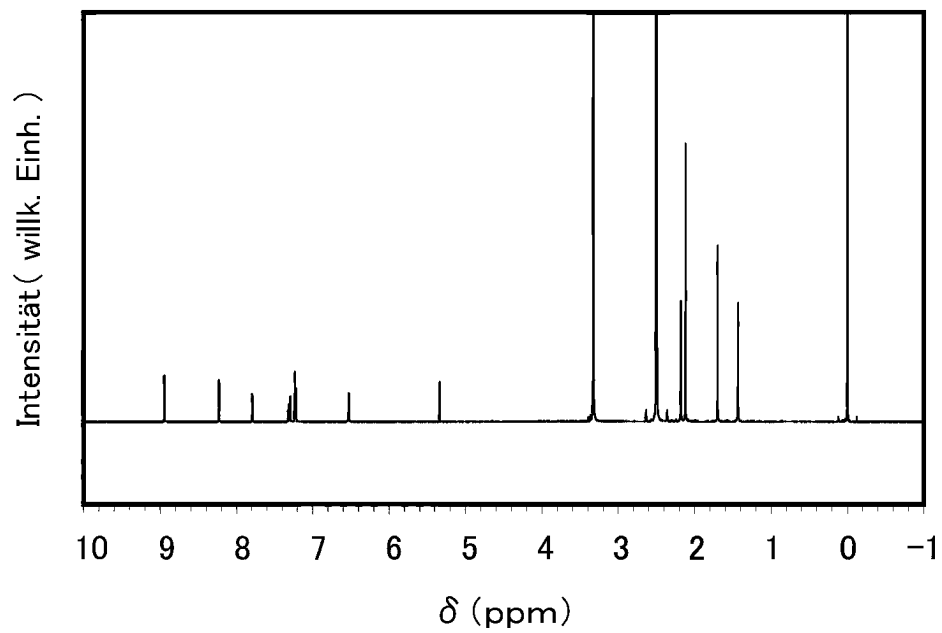


FIG. 66

