



(10) DE 20 2012 013 752 U1 2021.04.08

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: 20 2012 013 752.2

(51) Int Cl.: **H01L 51/54 (2006.01)**

(22) Anmelddatum: 06.02.2012

H01L 51/50 (2006.01)

(67) aus Patentanmeldung: 11 2012 007 313.4

C09K 11/06 (2006.01)

(47) Eintragungstag: 01.03.2021

C07D 409/10 (2006.01)

(45) Bekanntmachungstag im Patentblatt: 08.04.2021

C07D 471/04 (2006.01)

C07F 15/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

2011031462

16.02.2011

JP

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:

GLAWE DELFS MOLL Partnerschaft mbB von
Patent- und Rechtsanwälten, 20148 Hamburg, DE

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:

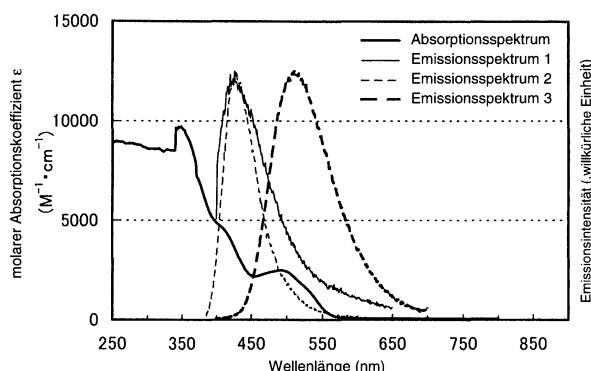
Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.,
Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Lichtemittierendes Element**

(57) Hauptanspruch: Licht emittierendes Element, das umfasst:

ein Paar Elektroden; und
eine Licht emittierende Schicht, die einen Iridiumkomplex, eine erste organische Verbindung und eine zweite organische Verbindung zwischen dem Paar Elektroden umfasst,
wobei die erste organische Verbindung eine heterocyclische Verbindung ist,
wobei die zweite organische Verbindung eine Carbazolverbindung ist,
wobei die erste organische Verbindung und die zweite organische Verbindung so ausgewählt sind, dass von der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung ein Exciplex gebildet wird,
wobei eine Differenz zwischen dem Energiewert eines Peaks des Emissionsspektrums des Exciplexes und dem Energiewert eines Peaks des Absorptionsbands an der längsten Wellenlängenseite in dem Absorptionsspektrum des Iridiumkomplexes 0,2 eV oder weniger beträgt,
wobei das Absorptionsband einem direkten Übergang von dem Singulett-Grundzustand zu dem tiefsten angeregten Triplett-Zustand des Iridiumkomplexes entspricht, und
wobei das Niveau einer Triplettanregungsenergie sowohl der ersten organischen Verbindung als auch der zweiten organischen Verbindung höher als dasjenige des Iridiumkomplexes ist.



Beschreibung**Technisches Gebiet**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft lichtemittierende Element, welche ein organisches Elektrolumineszenz (EL) Phänomen einsetzen (im Folgenden werden solche lichtemittierende Elemente auch als EL-Elemente bezeichnet.)

Stund der Technik

[0002] Ein organisches EL-Element wurde aktiv erforscht und entwickelt. In einer elementaren Struktur des organischen EL-Elementes, ist eine Schicht enthaltend eine lumineszente organische Verbindung (im Folgenden auch als lichtemittierende Schicht bezeichnet) zwischen einem Elektrodenpaar angeordnet. Das organische EL-Element hat Aufmerksamkeit als ein Flachbildschirm der nächsten Generation erweckt, aufgrund von Eigenschaften, wie das es dünner und leichter ist, schnelle Ansprechzeiten zur Eingabe von Signalen besitzt und der Eigenschaft eines Gleichstrom-Niederspannungsantriebs. Zusätzlich weist ein Display, welches solch ein lichtemittierendes Element einsetzt, ein Merkmal auf, dass es ausgezeichnet im Kontrast und in der Bildqualität ist, und einen breiten Blickwinkel aufweist. Da es des Weiteren eine plane Lichtquelle ist, wurde versucht das organische EL-Element al seine Lichtquelle einzusetzen, wie als Hintergrundbeleuchtung eines Flüssigkristall-displays und als eine Beleuchtungseinrichtung.

[0003] Der Emissionsmechanismus des organischen EL-Elementes ist eine Träger-Injektions-Art. Das heißt durch Anlegen von Spannung werden durch eine lichtemittierende Schicht, welche zwischen Elektroden angeordnet ist, Elektronen und Löcher, welche von den Elektroden injiziert werden, rekombiniert, so dass eine lichtemittierende Substanz angeregt wird und Licht wird emittiert, wenn sich der angeregte Zustand in den GrundZustand entspannt. Es gibt zwei Arten von angeregten Zuständen: ein Singulett-Zustand (S^*) und ein Triplett-Zustand (T^*). Das Verhältnis der statistischen Erzeugung der angeregten Zustände wird als $S^*:T^* = 1:3$ angegeben.

[0004] Im Allgemeinen ist der GrundZustand einer lichtemittierenden organischen Verbindung ein Singulett-Zustand. Daher wird die Lichtheission von dem angeregten Singulett-Zustand (S^*) als Fluoreszenz bezeichnet, da sie durch den Elektronenübergang zwischen Vielfachen des gleichen Spins auftritt. Auf der anderen Seite wird Lichtheission von dem angeregten TriplettZustand (T^*) als Phosphoreszenz bezeichnet, bei welcher der Elektronenübergang zwischen Vielfachen mit unterschiedlichem Spin auftritt. Hierbei wird bei einer Verbindung, welche Fluoreszenz emittiert (im Folgenden als eine fluoreszierende Verbindung bezeichnet), Phosphoreszenz im Allgemeinen bei Raumtemperatur nicht beobachtet, und es wird nur Fluoreszenz beobachtet. Folglich wird angenommen, dass die interne Quanteneffizienz (das Verhältnis der erzeugten Photonen zu den injizierten Trägern) in einem lichtemittierenden Element, enthaltend eine fluoreszierende Verbindung, eine theoretische Grenze von 25 % aufweist, basierend auf $S^*:T^* = 1:3$.

[0005] Wenn auf der anderen Seite eine Verbindung verwendet wird, welche Phosphoreszenz emittiert (im Folgenden als eine phosphoreszierende Verbindung bezeichnet), kann theoretische eine interne Quanteneffizienz von 100 % erzielt werden. Das heißt, es kann eine höhere Emissionsausbeute erzielt werden, als wenn eine fluoreszierende Verbindung verwendet wird. Aus diesen Gründen wurde ein lichtemittierendes Element enthaltend eine phosphoreszierende Verbindung in den letzten Jahren aktiv entwickelt, um ein sehr effizientes lichtemittierendes Element zu erhalten. Als die phosphoreszierende Verbindung hat ein organometallischer Komplex mit Iridium oder dergleichen als centrales Metallbesondere Aufmerksamkeit erlangt, aufgrund der hohen Phosphoreszenz-Quantenausbeute; eine organometallische Verbindung mit Iridium als ein zentrales Metall als ein phosphoreszierendes Material ist zum Beispieln dem Patentdokument 1 offenbart.

[0006] Wenn eine lichtemittierende Schicht eines lichtemittierenden Elementes unter Verwendung einer oben beschriebenen phosphoreszierenden Verbindung gebildet wird, wird die lichtemittierende Schicht häufig so gebildet, dass die phosphoreszierende Verbindung in einer Matrix einer anderen Verbindung dispergiert ist, um Konzentrationsquenchen oder Quenching aufgrund von Triplett-Triplett-Annihilation in der phosphoreszierenden Verbindung zu unterdrücken. Hierbei wird die Verbindung, welche als Matrix dient, als Wirtsmaterial und die Verbindung, welche in der Matrix dispergiert ist, wie eine phosphoreszierende Verbindung, als Gastmaterial bezeichnet.

Referenz

Patentdokument

[0007] Patentdokument 1: PCT internationale Veröffentlichung Nr. 00/70655

Offenbarung der Erfindung

[0008] Man sagt jedoch, dass die Lichtextraktionsausbeute eines organischen EL-Elementes ungefähr 20 % bis 30 % beträgt. Demzufolge weist die externe Quanteneffizienz eines lichtemittierenden Elementes mit einer phosphoreszierenden Verbindung eine Grenze von höchstens ungefähr 25 % auf, wenn man die Lichtabsorption durch eine reflektierende Elektrode und eine transparente Elektrode berücksichtigt.

[0009] Ein Gegenstand einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein lichtemittierendes Element mit hoher externer Quanteneffizienz bereitzustellen. Ein weiterer Gegenstand einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein lichtemittierendes Element mit einer langen Lebensdauer bereitzustellen.

[0010] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein lichtemittierendes Element, welches eine lichtemittierende Schicht enthaltend eine phosphoreszierende Verbindung, eine erste organische Verbindung und eine zweite organische Verbindung zwischen einem Elektrodenpaar umfasst, wobei eine Kombination der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung ein Exciplex bildet.

[0011] Eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein lichtemittierendes Element, welches eine lichtemittierende Schicht, enthaltend eine phosphoreszierende Verbindung, eine erste organische Verbindung und eine zweite organische Verbindung zwischen einem Elektrodenpaar, wobei eine Kombination der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung ein Exciplex bildet und der Exciplex auf die phosphoreszierende Verbindung Phosphoreszenz emittiert.

[0012] Eine andere Verbindung der vorliegenden Erfindung ist ein lichtemittierendes Element, welches eine lichtemittierende Schicht enthält, mit einer phosphoreszierenden Verbindung, einer ersten organischen Verbindung und einer zweiten organischen Verbindung zwischen einem Elektrodenpaar, in welcher ein Exciplex aus einem Singulett-Exziton der ersten organischen Verbindung gebildet wird.

[0013] Eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein lichtemittierendes Element, welches eine phosphoreszierende Verbindung, eine erste organische Verbindung und eine zweite organische Verbindung zwischen einem Elektrodenpaar enthält, wobei ein Exiplex von einem Anion der ersten organischen Verbindung und einem Kation der zweiten organischen Verbindung gebildet wird.

[0014] Bei dem zuvor genannten lichtemittierenden Element ist es bevorzugt, dass die Anregungsenergie des Exciplex zu der phosphoreszierenden Verbindung übertragen wird, so dass die phosphoreszierende Verbindung Phosphoreszenz emittiert.

[0015] Bei dem zuvor genannten lichtemittierenden Element ist es bevorzugt, dass wenigstens eine der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung eine fluoreszierende Verbindung ist.

[0016] Bei dem zuvor genannten lichtemittierenden Element ist es bevorzugt, dass die phosphoreszierende Verbindung ein organometallischer Komplex ist.

[0017] Das lichtemittierende Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann in einer lichtemittierenden Einrichtung, einer elektronischen Einrichtung und einer Beleuchtungseinrichtung eingesetzt werden.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann ein lichtemittierendes Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz bereitgestellt werden. Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann ein lichtemittierendes Element mit einer langen Lebensdauer bereitgestellt werden.

Figurenliste

Fig. 1A und **Fig. 1B** zeigen jeweils ein Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum gemäß Beispiel 1.

Fig. 2A und **Fig. 2B** zeigen jeweils ein Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum gemäß Beispiel 2.

Fig. 3 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik eines lichtemittierenden Elements des Beispiels 3.

Fig. 4 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 3.

Fig. 5 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 3.

Fig. 6 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 3.

Fig. 7 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements des Beispiels 3.

Fig. 8 zeigt die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsuntersuchungen des lichtemittierenden Elements des Beispiels 3.

Fig. 9 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik eines lichtemittierenden Elements des Beispiels 4.

Fig. 10 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 4.

Fig. 11 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 4.

Fig. 12 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 4.

Fig. 13 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements des Beispiels 4.

Fig. 14 zeigt die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsuntersuchungen des lichtemittierenden Elements des Beispiels 4.

Fig. 15 zeigt die Struktur der lichtemittierenden Elemente der Beispiele.

Fig. 16A bis **Fig. 16C** zeigen jeweils ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 17 zeigt die Energieniveaus eines Exciplex, angewendet auf eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 18A und **Fig. 18B** zeigen jeweils ein Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum gemäß Beispiel 5.

Fig. 19 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik eines lichtemittierenden Elements des Beispiels 6.

Fig. 20 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 6.

Fig. 21 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 6.

Fig. 22 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 6.

Fig. 23 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements des Beispiels 6.

Fig. 24 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements des Beispiels 6.

Fig. 25 zeigt ein Konzept einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 26A und **Fig. 26B** zeigen jeweils ein Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum gemäß Beispiel 7.

Fig. 27 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik eines lichtemittierenden Elements des Beispiels 8.

Fig. 28 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 8.

Fig. 29 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 8.

Fig. 30 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 8.

Fig. 31 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements des Beispiels 8.

Fig. 32A und **Fig. 32B** zeigen jeweils ein Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum gemäß Beispiel 9.

Fig. 33 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik eines lichtemittierenden Elements des Beispiels 10.

Fig. 34 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 10.

Fig. 35 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 10.

Fig. 36 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 10.

Fig. 37 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements des Beispiels 10.

Fig. 38 zeigt die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsuntersuchungen des lichtemittierenden Elements des Beispiels 10.

Fig. 39A und **Fig. 39B** zeigen jeweils ein Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum gemäß Beispiel 11.

Fig. 40 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik eines lichtemittierenden Elements des Beispiels 12.

Fig. 41 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 12.

Fig. 42 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 12.

Fig. 43 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 12.

Fig. 44 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements des Beispiels 12.

Fig. 45 zeigt die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsuntersuchungen des lichtemittierenden Elements des Beispiels 12.

Fig. 46A und **Fig. 46B** zeigen jeweils ein Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum gemäß Beispiel 13.

Fig. 47 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik eines lichtemittierenden Elements des Beispiels 14.

Fig. 48 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 14.

Fig. 49 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 14.

Fig. 50 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 14.

Fig. 51 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements des Beispiels 14.

Fig. 52A und **Fig. 52B** zeigen jeweils ein Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum gemäß Beispiel 15.

Fig. 53 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik eines lichtemittierenden Elements des Beispiels 16.

Fig. 54 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 16.

Fig. 55 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 16.

Fig. 56 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 16.

Fig. 57 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements des Beispiels 16.

Fig. 58A und **Fig. 58B** zeigen jeweils ein Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum gemäß Beispiel 17.

Fig. 59 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik eines lichtemittierenden Elements des Beispiels 18.

Fig. 60 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 18.

Fig. 61 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 18.

Fig. 62 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik des lichtemittierenden Elements des Beispiels 18.

Fig. 63 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements des Beispiels 18.

Fig. 64 zeigt die Berechnungsergebnisse gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 65(A1), Fig. 65(A2), Fig. 65(B1), Fig. 65(B2), Fig. 65(C1) und **Fig. 65(C2)** zeigen die Berechnungsergebnisse gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

BESTE ART ZUR DURCHFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0019] Ausführungsformen werden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Es sollte festgehalten werden, dass die Erfindung nicht auf die folgende Beschreibung beschränkt ist, und Fachleuten auf diesem Gebiet ist klar, dass verschiedene Änderungen und Modifikationen durchgeführt werden können, ohne sich von dem Umfang und dem Geist der Erfindung zu entfernen. Daher sollte die Erfindung nicht so ausgelegt werden, dass sie auf die Beschreibung in den folgenden Ausführungsformen beschränkt ist. Es sollte festgehalten werden, dass in den nachfolgend beschriebenen Strukturen der Erfindung die gleichen Teile oder Teile mit ähnlichen Funktionen durch die gleichen Bezugszeichen in unterschiedlichen Zeichnungen bezeichnet werden und die Beschreibung dieser Teile wird nicht wiederholt.

(Ausführungsform 1)

[0020] In dieser Ausführungsform wird ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben.

[0021] Das lichtemittierende Element dieser Ausführungsform umfasst eine lichtemittierende Schicht enthaltend ein Gastmaterial als eine lichtemittierende Substanz, eine erste organische Verbindung und eine zweite organische Verbindung. Insbesondere wird eine phosphoreszierende Verbindung als das Gastmaterial verwendet. Es sollte festgehalten werden, dass eine der ersten und zweiten organischen Verbindungen, deren Anteil größer ist als der der anderen lichtemittierenden Schichten, als Wirtsmaterial bezeichnet werden.

[0022] Die Struktur, bei welcher das Gastmaterial in dem Wirtsmaterial dispergiert wird, kann verhindern, dass die lichtemittierende Schicht kristallisiert. Des Weiteren ist es möglich, Konzentrations-Quenching aufgrund der hohen Konzentration des Gastmaterials zu unterdrücken und daher kann das lichtemittierende Element eine höhere Emissionseffizienz aufweisen.

[0023] Es sollte festgehalten werden, dass es in dieser Ausführungsform bevorzugt ist, dass das Niveau einer Triplett-Anregungsenergie (T_1 -Niveau) jeder der ersten und zweiten organischen Verbindung höher ist als das des Gastmaterials. Dies liegt daran, dass, wenn das T_1 -Niveau der ersten organischen Verbindung (oder der zweiten organischen Verbindung) niedriger als das des Gastmaterials ist, die Triplett-Anregungsenergie des Gastmaterials, welche zur Lichtemission beiträgt, durch die erste organische Verbindung (oder die zweite organische Verbindung) gequencht wird und demzufolge die Emissionseffizienz verringert wird.

<Elementare Verfahren der Lichtemission>

[0024] Zunächst wird eine Beschreibung der allgemeinen elementaren Verfahren der Lichtemission in einem lichtemittierenden Element unter Verwendung einer phosphoreszierenden Verbindung als ein Gastmaterial gegeben.

[0025] (1) Der Fall, bei dem ein Elektron und ein Loch in einem Gastmolekül rekombinieren und das Gastmolekül angeregt wird (direktes Rekombinations-Verfahren)

[0026] (1-1) Wenn der angeregte Zustand des Gastmoleküls ein angeregter Triplett-Zustand ist, emittiert das Gastmolekül Phosphoreszenz.

[0027] (1-2) Wenn der angeregte Zustand des Gastmoleküls ein angeregter Singulett-Zustand ist, unterläuft das Gastmolekül in dem angeregten Singulett-Zustand ein Intersystem-Crossing in einen angeregten Triplett-Zustand und emittiert Phosphoreszenz.

[0028] In anderen Worten kann bei den direkten Rekombinations-Verfahren in (1), solange die Effizienz des Intersystem-Crossings und die Phosphoreszenz-Quantumsausbeute des Gastmoleküls hoch sind, eine hohe Emissionseffizienz erzielt werden. Es sollte festgehalten werden, wie oben beschrieben, dass das T_1 -Niveau des Wirtsmoleküls vorzugsweise höher ist als das T_1 -Niveau des Gastmoleküls.

[0029] (2) Der Fall, bei dem ein Elektron und ein Loch in einem Wirtsmolekül rekombinieren und das Wirtsmolekül in einen angeregten Zustand versetzt wird (Energietransferverfahren bzw. Energie-übertragungsverfahren).

[0030] (2-1) Wenn der angeregte Zustand des Wirtsmoleküls ein angeregter Triplett-Zustand ist und das T_1 -Niveau des Wirtsmoleküls höher ist als das des Gastmoleküls, wird die Anregungsenergie von dem Wirtsmolekül auf das Gastmolekül übertragen und daher wird das Gastmolekül in einen angeregten Triplett-Zustand überführt. Das Gastmolekül in dem angeregten Triplett-Zustand emittiert Phosphoreszenz. Es sollte festgehalten werden, dass die Energieübertragung in ein Singulett-Anregungsenergieniveau (S_1 -Niveau) des Gastmaterials theoretisch auftreten kann, es ist jedoch unwahrscheinlich, dass dies ein Hauptenergieübertragungsverfahren ist, da in vielen Fällen das S_1 -Niveau des Gastmaterials eine höhere Energie als das T_1 -Niveau des Wirtsmaterials aufweist; daher wird hier keine Beschreibung dieses Verfahrens angeführt.

[0031] (2-2) Wenn der angeregte Zustand des Wirtsmoleküls ein angeregter Singulett-Zustand ist das S_1 -Niveau des Wirtsmaterials höher ist als das S_1 -Niveau und das T_1 -Niveau des Gastmoleküls, wird die Anregungsenergie von dem Wirtsmolekül auf das Gastmolekül übertragen und daher wird das Gastmolekül in einen angeregten Singulett-Zustand oder einen angeregten Triplett-Zustand überführt. Das Gastmolekül in dem angeregten Triplett-Zustand emittiert Phosphoreszenz. Zusätzlich unterläuft das Gastmolekül in dem angeregten Singulett-Zustand Intersystem-Crossing in einen angeregten Triplett-Zustand und emittiert Phosphoreszenz.

[0032] In anderen Worten, bei dem Energieübertragungsverfahren in (2) ist es wichtig, wie effizient beide, die Triplett-Anregungsenergie und die Singulett-Anregungsenergie des Wirtsmoleküls auf das Gastmolekül übertragen werden können.

[0033] Im Hinblick auf die oben beschriebenen Energieübertragungsverfahren wird die Emissionseffizienz verringt, wenn das Wirtsmolekül selbst deaktiviert wird, indem die Anregungsenergie als Licht oder Wärme emittiert wird, bevor die Anregungsenergie des Wirtsmoleküls auf das Gastmolekül übertragen wird. Die Erfinder haben herausgefunden, dass wenn das Wirtsmolekül sich in dem angeregten Singulett-Zustand (das obige (2-2)) befindet, es unwahrscheinlich ist, dass die Energie auf das Gastmolekül übertragen wird, d.h. die phosphoreszierende Verbindung, und die Emissionseffizienz neigt dazu, verringert zu werden, im Vergleich mit dem Fall, wenn sich das Wirtsmolekül in einem angeregten Triplett-Zustand befindet (das obige (2-1)). Daher haben sich die Erfinder auf diese Tatsache als einen Gegenstand fokussiert. Der Grund hierfür folgt aus der Betrachtung eines detaillierteren Übertragungsverfahrens.

<Energieübertragungsverfahren>

[0034] Das Folgende beschreibt die Energieübertragungsverfahren zwischen den Molekülen im Detail.

[0035] Zunächst werden als ein Mechanismus der Energieübertragung zwischen Molekülen die folgenden zwei Mechanismen vorgeschlagen. Ein Molekül, welches Anregungsenergie bereitstellt, wird als Wirtsmolekül bezeichnet, während ein Molekül, welches die Anregungsenergie erhält, als Gastmolekül bezeichnet wird.

«Förster-Mechanismus (Dipol-Dipol-Interaktion)»

[0036] Bei dem Förster-Mechanismus (auch als Förster-Resonanz-Energi transfer bezeichnet) ist ein direkter intermolekularer Kontakt für die Energieübertragung nicht notwendig. Durch ein Resonanzphänomen dipolarer Oszillation zwischen einem Wirtsmolekül und einem Gastmolekül erfolgt die Energieübertragung. Durch das Resonanzphänomen der dipolaren Oszillation stellt das Wirtsmolekül dem Gastmolekül Energie zur Verfügung und daher wird das Wirtsmolekül in einen Grundzustand versetzt und das Gastmolekül wird in einen angeregten Zustand versetzt. Geschwindigkeitskonstante $k_{h^* \rightarrow g}$ des Förster-Mechanismus wird durch die Formel (1) ausgedrückt.

[Formel (1)]

$$k_{h^* \rightarrow g} = \frac{9000c^4 K^2 \phi \ln 10}{128\pi^5 n^4 N \tau R^6} \int \frac{f'_h(v) \epsilon_g(v)}{v^4} dv \quad (1)$$

[0037] In der Formel (1) bezeichnet v eine Frequenz, $f'_h(v)$ bezeichnet ein normalisiertes Emissionsspektrum eines Wirtsmoleküls (ein Fluoreszenzspektrum bei der Energieübertragung von einem angeregten Singulett-Zustand und ein Phosphoreszenzspektrum bei der Energieübertragung von einem angeregten Triplett-Zustand, $\epsilon_g(v)$ bezeichnet einen molaren Absorptionskoeffizienten eines Gastmoleküls, N bezeichnet die Avogadro'sche Zahl, n bezeichnet einen Brechungsindex eines Mediums, R bezeichnet einen intermolekularen Abstand zwischen dem Wirtsmolekül und dem Gastmolekül, τ bezeichnet eine gemessene Lebensdauer eines Anregungszustandes (Fluoreszenzlebensdauer oder Phosphoreszenzlebensdauer), c bezeichnet die Lichtgeschwindigkeit, Φ bezeichnet eine Lumineszenzquantenausbeute (eine Fluoreszenzquantenausbeute bei der Energieübertragung von einem angeregten Singulett-Zustand und eine Phosphoreszenzquantenausbeute bei der Energieübertragung von einem angeregten Triplett-Zustand) und K^2 bezeichnet einen Koeffizienten (0 bis 4) der Orientierung eines Übergangsdipolmoments zwischen dem Wirtsmolekül und dem Gastmolekül. Sollte festgehalten werden, dass $K^2 = 2/3$ in statistischer Orientierung.

<<Dexter-Mechanismus (Elektronenaustauschinteraktion)>>

[0038] Bei dem Dexter-Mechanismus (auch als ein Dexter-Elektronentransfer bezeichnet) befinden sich ein Wirtsmolekül und ein Gastmolekül in der Nähe eines kontakteffektiven Bereichs, in dem ihre Orbitale überlappen und das Wirtsmolekül, welches sich in einem angeregten Zustand befindet, und das Gastmolekül, welches sich in einem Grundzustand befindet, tauschen ihre Elektronen aus, was zu einer Energieübertragung führt.

Die Geschwindigkeitskonstante $k_{h^* \rightarrow g}$ des Dexter-Mechanismus wird durch die Formel (2) ausgedrückt.
[Formel (2)]

$$k_{h^* \rightarrow g} = \left(\frac{2\pi}{h} \right) K^2 \exp \left(- \frac{2R}{L} \right) \int f'_h(v) \epsilon'_g(v) dv \quad (2)$$

[0039] In der Formel (2), bezeichnet h eine Planck'sche Konstante, K bezeichnet eine Konstante mit einer Energiedimension, v bezeichnet eine Frequenz, $f'_h(v)$ bezeichnet ein normalisiertes Emissionsspektrum eines Wirtsmoleküls (ein Fluoreszenzspektrum bei der Energieübertragung von einem angeregten Singulett-Zustand und ein Phosphoreszenzspektrum bei der Energieübertragung von einem angeregten Triplett-Zustand), $\epsilon'_g(v)$ bezeichnet ein normalisiertes Absorptionsspektrum eines Gastmoleküls, L bezeichnet einen wirksamen Molekularradius, und R bezeichnet einen intermolekularen Abstand zwischen dem Wirtsmolekül und dem Gastmolekül.

[0040] Hierbei soll die Effizienz der Energieübertragung von dem Wirtsmolekül auf das Gastmolekül (Energie- transfereffizienz Φ_{ET}) durch die Formel (3) ausgedrückt werden. In der Formel bezeichnet k_r eine Geschwindigkeitskonstante eines Lichtemissionsverfahrens (Fluoreszenz bei der Energieübertragung von einem angeregten Singulett-Zustand und Phosphoreszenz bei der Energieübertragung von einem angeregten Triplett-Zustand) eines Wirtsmoleküls, k_n bezeichnet eine Geschwindigkeitskonstante eines Nicht-Lichtemissionsverfahrens (thermische Deaktivierung oder Intersystem-Crossing eines Wirtsmoleküls und τ bezeichnet eine gemessene Lebensdauer eines angeregten Zustandes eines Wirtsmoleküls).

[Formel (3)]

$$\Phi_{ET} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{k_r + k_n + k_{h^* \rightarrow g}} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{\left(\frac{1}{\tau}\right) + k_{h^* \rightarrow g}} \quad (3)$$

[0041] Zunächst kann gemäß der Formel (3) die Energietransfereffizienz Φ_{ET} erhöht werden, indem die Geschwindigkeitskonstante $k_{h^* \rightarrow g}$ der Energieübertragung weiter erhöht wird, im Vergleich mit einer anderen konkurrierenden Geschwindigkeitskonstante $k_r + k_n$ ($= 1/\tau$). Um die Geschwindigkeitskonstante $k_{h^* \rightarrow g}$ der Energieübertragung zu basierend auf den Formeln (1) und (2), bei dem Förster-Mechanismus und dem Dexter-Mechanismus, zu erhöhen, ist es bevorzugt, dass ein Emissionsspektrum eines Wirtsmoleküls (ein Fluoreszenzspektrum bei der Energieübertragung von einem angeregten Singulett-Zustand und einem Phosphoreszenzspektrum bei einer Energieübertragung von einem angeregten Triplet-Zustand) mit einem Absorptionspektrum eines Wirtsmoleküls deutlich überlappt.

[0042] Hierbei haben die vorliegenden Erfinder berücksichtigt, dass das Absorptionsband auf der Seite der längsten Wellenlänge (Seite der niedrigsten Energie) in den Absorptionsspektrum des Gastmoleküls wichtig ist bei der Berücksichtigung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des Wirtsmoleküls und dem Absorptionsspektrum des Gastmoleküls.

[0043] In dieser Ausführungsform wird eine phosphoreszierende Verbindung als das Gastmaterial verwendet. In einem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung ist ein Absorptionsband, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zur Lichtemission beiträgt, eine Absorptionswellenlänge, die einem direkten Übergang von dem Singulett-Grundzustand zu dem angeregten Triplet-Zustand entspricht und eine Nähe der Absorptionswellenlänge, welche auf der Seite der längsten Wellenlänge angeordnet ist. Daher nimmt man an, dass es bevorzugt ist, dass das Emissionsspektrum (ein Fluoreszenzspektrum und ein Phosphoreszenzspektrum) des Wirtsmaterials mit dem Absorptionsband auf der Seite der längsten Wellenlänge in dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung überlappt.

[0044] Zum Beispiel weisen die meisten organometallischen Komplexe, insbesondere lichtemittierende Iridiumkomplexe, ein breites Absorptionsband bei ungefähr 500 nm bis 600 nm als das Absorptionsband auf der Seite der längsten Wellenlänge auf (tatsächlich kann das breite Absorptionsband auf der Seite einer kürzeren oder längeren Wellenlänge sein, abhängig von der Emissionswellenlänge). Dieses Absorptionsband basiert hauptsächlich auf einer Triplet-MLCT (Metall-Ligand-Charge-Transfer) Übergang. Es sollte festgehalten werden, dass man annimmt, dass das Absorptionsband auch Absorption basierend auf einem Triplet $\pi-\pi^*$ -Übergang und einer Singulett MLCT-Übergang umfasst und dass diese Absorptionen einander überlappen, um ein breites Absorptionsband auf der Seite der längsten Wellenlänge in dem Absorptionsspektrum zu bilden. In anderen Worten, der Unterschied zwischen dem niedrigsten angeregten Singulett-Zustand und dem niedrigsten angeregten Triplet-Zustand ist klein und die Absorption basierend auf diesen Zuständen überlappen einander um ein breites Absorptionsband auf der Seite der längsten Wellenlänge in dem Absorptionsspektrum zu bilden. Daher ist es, wie oben beschrieben, bevorzugt, dass das breite Absorptionsband auf der Seite der längsten Wellenlänge mit dem Emissionsspektrum des Wirtsmaterials deutlich überlappt, wenn ein organometallischer Komplex (insbesondere Iridiumkomplex) als das Gastmaterial verwendet werden.

[0045] Hierbei wird zunächst der Energieübergang von einem Wirtsmaterial in einen angeregten Triplet-Zustand berücksichtigt. Aus der oben beschriebenen Diskussion ist es bevorzugt, dass bei der Energieübertragung von einem angeregten Triplet-Zustand das phosphoreszierende Spektrum des Wirtsmaterials und das Absorptionsband auf der Seite der längsten Wellenlänge des Gastmaterials sich wesentlich überlappen.

[0046] Es sollte festgehalten werden, dass im Allgemeinen eine fluoreszierende Verbindung als das Wirtsmaterial verwendet wird; daher ist die Phosphoreszenz-Lebensdauer (τ) 1 ms oder länger, was extrem lang ist (d.h., $k_r + k_n$ ist niedrig). Dies liegt daran, dass der Übergang von dem angeregten Triplet-Zustand zu dem Grundzustand (Singulett) ein verbotener Übergang ist. Formel (3) zeigt, dass dies gegenüber der Energietransfereffizient Φ_{ET} bevorzugt ist. Dies legt auch nahe, dass die Energie eher von dem Wirtsmaterial in dem angeregten Triplet-Zustand zu dem Gastmaterial in dem angeregten Triplet-Zustand übertragen wird.

[0047] Eine Frage betrifft hier die Energieübertragung von dem Wirtsmaterial in dem angeregten Singulett-Zustand. Um nicht nur die Energieübertragung von dem angeregten Triplet-Zustand, sondern auch die Energieübertragung von dem angeregten Singulett-Zustand durchzuführen, wird aus der obigen Diskussion deutlich, dass das Wirtsmaterial so ausgebildet werden muss, dass nicht nur das Phosphoreszenzspektrum, son-

dern auch dessen Fluoreszenzspektrum mit dem Absorptionsband auf der Seite der längsten Wellenlänge des Gastmaterials überlappt. In anderen Worten, wenn das Wirtsmaterial nicht so ausgebildet ist, dass es sein Fluoreszenzspektrum in einer Position aufweist, die der des Phosphoreszenzspektrums ähnlich ist, ist es nicht möglich, eine wirksame Energieübertragung von Wirtsmaterial sowohl in dem angeregten Singulett-Zustand als auch dem angeregten Triplett-Zustand zu erzielen.

[0048] Das S₁-Niveau unterscheidet sich jedoch deutlich von dem T₁-Niveau (S1-Niveau > T₁-Niveau); daher unterscheidet sich auch die Fluoreszenzemissionswellenlänge deutlich von der Phosphoreszenzemissionswellenlänge (Fluoreszenzemissionswellenlänge < Phosphoreszenzemissionswellenlänge). Zum Beispiel 4,4'-Di(N-carbazolyl)biphenyl (Abkürzung: CBP), welches herkömmlich als ein Wirtsmaterial in einem lichtemittierenden Element, welches eine phosphoreszierende Verbindung enthält, verwendet wird, ein Phosphoreszenzspektrum bei ungefähr 500 nm auf und ein Fluoreszenzspektrum bei ungefähr 400 nm, welche sich um ungefähr 100 nm deutlich voneinander unterscheiden. Dieses Beispiel zeigt, dass es extreme schwierig ist, ein Wirtsmaterial auszubilden, dessen Fluoreszenzspektrum sich in einer ähnlichen Position wie das Phosphoreszenzspektrum befindet. Daher haben die vorliegenden Erfinder es als eine Hauptherausforderung empfunden, die Effizienz bei der Energieübertragung von dem Wirtsmaterial in den angeregten Singulett-Zustand zu dem Gastmaterial zu verbessern.

[0049] Sollte festgehalten werden, dass die Fluoreszenzlebensdauer (τ) einer fluoreszierenden Verbindung, welche als das Wirtsmaterial verwendet wird, in der Größenordnung von Nanosekunden liegt, was extrem kurz ist, (d.h., $k_r + k_n$ ist hoch). Dies liegt daran, dass der Übergang von dem angeregten Singulett-Zustand zu dem Grundzustand (Singulett) ein erlaubter Übergang ist. Formel (3) zeigt, dass die bezüglich der Energietransfereffizienz Φ_{ET} nicht bevorzugt ist. Dies legt auch nahe, dass die Energie unwahrscheinlich von dem Wirtsmaterial in dem angeregten Singulett-Zustand zu dem Gastmaterial übertragen wird.

[0050] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein geeignetes Verfahren, welches solch ein Problem der Effizienz der Energieübertragung von dem Wirtsmaterial in dem angeregten Singulett-Zustand zu dem Gastmaterial überwindet.

[0051] Es sollte festgehalten werden, dass man bisher annahm, dass ein lichtemittierendes Element, welches eine phosphoreszierende Verbindung enthält, theoretisch eine interne Quanteneffizienz von 100% erzielen kann, da es das Intersystem-Crossing ermöglicht, sowohl den angeregten Singulett-Zustand als auch den angeregten Triplett-Zustand in Lichthemission umzuwandeln (Bezugnahme auf „(1) Direktes Rekombinationsverfahren“, welches oben beschrieben ist). Zusätzlich wurde diskutiert, dass ein lichtemittierendes Element mit einer externen Quanteneffizienz von soviel wie 20% unter der Annahme, dass die Lichtextraktionseffizienz 20% ist, eine interne Quanteneffizienz von im Wesentlichen 100% erzielt. Man nimmt jedoch an, dass diese herkömmlichen lichtemittierenden Elemente keine interne Quanteneffizienz von 100% erzielen aus dem Grund der oben beschriebenen Energieübertragung von dem angeregten Singulett-Zustand des Wirtsmaterials übersehen wurde. Dies basiert auf der Tatsache, dass die vorliegenden Erfinder eine externe Quanteneffizienz von 30% erzielt haben, indem eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung durchgeführt wurde, welche nachfolgend beschrieben wird. In anderen Worten entspricht eine externe Quanteneffizienz von wenigstens 30% einer internen Quanteneffizienz von 100% und eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein geeignetes Verfahren um diese zu erzielen. Es sollte festgehalten werden, dass dies zeigt, dass eine herkömmliche externe Quanteneffizienz von 20% einer internen Quanteneffizienz von 70% oder weniger entsprechen kann.

<Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung>

[0052] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein lichtemittierendes Element, welches eine lichtemittierende Schicht mit einer phosphoreszierenden Verbindung, einer ersten organischen Verbindung und einer zweiten organischen Verbindung zwischen einem Elektrodenpaar umfasst, wobei eine Kombination der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung eine Exciplex bildet.

[0053] Die erste organische Verbindung und die zweite organische Verbindung bilden ein Exciplex (auch als ein angeregter Komplex bezeichnet) durch Trägerrekombination (oder aus einem Singulett-Exziton). In dem Fall, indem der gebildete Exciplex Licht emittiert, ist dessen Emissionswellenlänge an der Seite der längeren Wellenlänge in Bezug auf die Emissionswellenlänge (Fluoreszenzwellenlänge) jeder der ersten und zweiten organischen Verbindungen angeordnet. In anderen Worten kann durch die Bildung des Exciplex das Fluoreszenzspektrum der ersten organischen Verbindung und das Fluoreszenzspektrum der zweiten organischen Verbindung in ein Emissionsspektrum umgewandelt werden, welches an der Seite der längeren Wellenlänge angeordnet ist.

[0054] Daher ist, wie in **Fig. 25** dargestellt, auch wenn das Fluoreszenzspektrum der ersten organischen Verbindung (oder der zweiten organischen Verbindung) auf der Seite der kürzeren Wellenlänge in Bezug auf das Absorptionsband der phosphoreszierenden Verbindung angeordnet ist, die an der Seite der längsten Wellenlänge angeordnet ist, und keine Überlappung mit dem Absorptionsband aufweist, ein Emissionsspektrum mit einer langen Wellenlänge erzielt werden, indem ein Exciplex gebildet wird, um so eine große Überlappung mit dem Absorptionsband zu erhalten. Das lichtemittierende Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung überträgt Energie durch Einsatz der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des Exciplex und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung und weist daher eine hohe Energietransfereffizienz auf. Daher kann in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein lichtemittierendes Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz erzielt werden. Zusätzlich existiert das Exciplex nur in einem angeregten Zustand und besitzt keinen Grundzustand, der Energie absorbieren kann. Daher nimmt man nicht an, dass ein Phänomen auftreten kann, bei welchem die phosphoreszierende Verbindung durch umgekehrte Energieübertragung des angeregten Singulett-Zustandes und des angeregten Triplet-Zustandes der phosphoreszierenden Verbindung zu dem Exciplex vor der Lichtemission deaktiviert werden kann (d.h. die Emissionseffizienz wird verringert). Dies trägt auch zur Verbesserung der externen Quanteneffizienz bei.

[0055] Zusätzlich nimmt man an, dass der Exciplex einen extrem kleinen Unterschied zwischen der angeregten Singulett-Energie und der angeregten Triplet-Energie aufweist. In anderen Worten liegen das Emissionsspektrum des Exciplex des Singulett-Zustandes und dessen Emissionsspektrums des Triplet-Zustandes nahe beieinander. Demzufolge überlappt in dem Fall, in dem ein Design eingesetzt wird, bei welchem das Emissionsspektrum des Exciplex (im Allgemeinen das Emissionsspektrum des Exciplex von dem Singulett-Zustand) mit dem Absorptionsband der phosphoreszierenden Verbindung an der Seite der längsten Wellenlänge überlappt, wie oben beschrieben, das Emissionsspektrum des Exciplex von dem Triplet-Zustand (welches bei Raumtemperatur nicht beobachtet wird und in vielen Fällen auch nicht bei niedriger Temperatur beobachtet wird) auch mit dem mit dem Absorptionsband der phosphoreszierenden Verbindung, welche an der Seite der längsten Wellenlänge angeordnet ist. Des Weiteren bedeutet dies, dass die Energie auf die phosphoreszierende Verbindung effizient von dem Exciplex sowohl im Singulett-Zustand als auch im Triplet-Zustand übertragen werden kann.

[0056] Molekulare Orbitalberechnungen wurden wie unten beschrieben durchgeführt, um zu bestätigen ob ein Exciplex tatsächlich solche Eigenschaften besitzt oder nicht. Im Allgemeinen formt eine Kombination aus einer heteroaromatischen Verbindung und eines aromatischen Amin häufig ein Exciplex unter dem Einfluss des tiefsten unbesetzten Orbital (LUMO) Niveau der heteroaromatischen Verbindung, welche tiefer ist als das LUMO-Niveau des aromatischen Amin (die Eigenschaft einfach Elektronen aufzunehmen) und dem höchsten besetzten Orbital (HOMO) Niveau des aromatischen Amins, welches flacher ist als das HOMO-Niveau der heteroaromatischen Verbindung (die Eigenschaft einfach Löcher aufzunehmen). Daher wurden Berechnungen durchgeführt, unter Verwendung einer Kombination aus Dibenzo[f,h]chinolin (Abkürzung: DBq), welches ein typisches Gerüst ist, das das LUMO einer heteroaromatischen Verbindung bildet, und Triphenylamin (Abkürzung: TPA), welches ein typisches Gerüst zur Bildung des HOMO eines aromatischen Amins ist.

[0057] Zunächst wurden die optimalen Molekularstrukturen und Anregungsenergien von DBq allein und TPA allein in dem niedrigsten angeregten Singulett-Zustand (S_1) und dem niedrigsten angeregten Triplet-Zustand (T_1) berechnet, unter Verwendung der TD-DFT (time-dependent density functional theory). Des Weiteren wurde auch die Anregungsenergie eines Dimer von DBq und TPA berechnet. Bei der DFT, wird die gesamte Energie dargestellt als die Summe der Potentialenergie, elektrostatischen Energie zwischen Elektronen, elektrokinetischen Energie und Austauschkorrelationsenergie, einschließlich aller komplizierten Interaktionen zwischen den Elektronen. Des Weiteren wird bei der DFT, eine Austauschkorrelations-Interaktion durch ein Funktional (eine Funktion einer anderen Funktion) eines Elektronenpotentials angenähert, dargestellt in Bezug auf die Elektronendichte um Hochgeschwindigkeits-, Hochgenaue-Berechnungen zu ermöglichen. Hier wurde B3LYP, welches ein Hybridfunktional ist, verwendet um die Wichtigkeit jedes Parameter in Bezug auf eine Austauschkorrelationsenergie zu spezifizieren. Zusätzlich wurde als eine Grundfunktion 6-311 (eine Grundfunktion eines Triple-Split Valence Basis Set unter Verwendung von drei Kontraktionsfunktionen für jedes Valenzorbital) auf alle Atome angewendet.. Durch die obige Grundfunktion werden zum Beispiel 1s bis 3s Orbitale in dem Fall von Wasserstoffatomen betrachtet, während 1s bis 4s und 2p bis 4p Orbitale in dem Fall von Kohlenstoffatomen betrachtet werden. Um die Genauigkeit der Berechnung noch weiter zu verbessern, wurden die p Funktion und die d Funktion als Polarisationsbasissets zu den Wasserstoffatomen und den andern Atomen als Wasserstoffatomen hinzugefügt.

[0058] Es sollte festgehalten werden, dass Gaussian 09 als Quantenchemisches Computerprogramm verwendet wurde. Ein Hochleistungscomputer (Altix 4700, hergestellt von SGI Japan, Ltd.) wurde für die Berechnungen verwendet.

[0059] Zunächst wurden die HOMO-Niveaus und die LUMO-Niveaus von DBq allein, TPA allein und ein Dimer von DBq und TPA berechnet. **Fig. 64** zeigt die HOMO-Niveaus und die LUMO-Niveaus und **Fig. 65(A1)**, **Fig. 65(A2)**, **Fig. 65(B1)**, **Fig. 65(B2)**, **Fig. 65(C1)** und **Fig. 65(C2)** zeigen die HOMO und LUMO Verteilungen.

[0060] **Fig. 65(A1)** zeigt die LUMO Verteilung von DBq allein; **Fig. 65(A2)** die HOMO Verteilung von DBq allein; **Fig. 65(B1)** die LUMO Verteilung von TPA allein; **Fig. 65(B2)** die HOMO Verteilung von TPA allein; **Fig. 65(C1)** die LUMO Verteilung des Dimers von DBq und TPA; und **Fig. 65(C2)** die HOMO Verteilung des Dimers von DBq und TPA.

[0061] Wie in **Fig. 64** dargestellt wird, wird nahegelegt, dass das Dimer von DBq und TPA einen Exciplex aus DBq und TPA bildet, unter dem Einfluß des LUMO-Niveaus (-1,99 eV) von DBq, welches tiefer (niedriger) als das LUMO-Niveau von TPA ist und des HOMO-Niveaus (-5,21 eV) von TPA, welches flacher (höher) als das HOMO-Niveau von DBq ist. Tatsächlich, wie aus **Fig. 65(C1)** und **Fig. 65(C2)** deutlich wird, ist das LUMO des Dimers von DBq und TPA auf der DBq Seite verteilt und das HOMO ist auf der TPA Seite verteilt.

[0062] Nachfolgend werden die Anregungsenergien, welche von den Molekularstrukturen von DBq allein in S_1 und T_1 erhalten werden, gezeigt. Hierbei entsprechen die S_1 und T_1 Anregungsenergien den Fluoreszenz- und Phosphoreszenzwellenlängen, welche nur von DBq erhalten werden. Die S_1 Anregungsenergie von DBq allein beträgt 3,294 eV und die Fluoreszenzwellenlänge beträgt 376,4 nm. Die T_1 Anregungsenergie von DBq allein beträgt 2,460 eV und die Phosphoreszenzwellenlänge beträgt 504,1 nm.

[0063] Zusätzlich werden die von den optimalen Molekularstrukturen von TPA allein in S_1 und T_1 erhaltenen Anregungsenergien gezeigt. Hierbei entsprechen die S_1 und T_1 Anregungsenergien den Fluoreszenz- und Phosphoreszenzwellenlängen, welche nur von TPA erhalten werden. Die S_1 Anregungsenergie von TPA allein beträgt 3,508 eV und die Fluoreszenzwellenlänge beträgt 353,4 nm. Die T_1 Anregungsenergie von TPA allein beträgt 2,610 eV und die Phosphoreszenzwellenlänge beträgt 474,7 nm.

[0064] Des Weiteren werden die von den optimalen Molekularstrukturen des Dimers von DBq und TPA in S_1 und T_1 erhaltenen Anregungsenergien gezeigt. Die S_1 und T_1 Anregungsenergien entsprechen den Fluoreszenz- und Phosphoreszenzwellenlängen, die von dem Dimer von DBq und TPA erhalten werden. Die S_1 Anregungsenergie des Dimers von DBq und TPA beträgt 2,036 eV und die Fluoreszenzwellenlänge beträgt 609,1 nm. Die T_1 Anregungsenergie des Dimers von DBq und TPA beträgt 2,030 eV und die Phosphoreszenzwellenlänge beträgt 610,0 nm.

[0065] Aus dem Obigen hat man herausgefunden, dass jede der Phosphoreszenzwellenlängen von DBq allein und von TPA allein zu der Seite der längeren Wellenlängen um ungefähr 100 nm in Bezug auf die Fluoreszenzwellenlänge verschoben wird. Dieses Ergebnis zeigt eine ähnliche Tendenz zu dem der CBP (gemessene Werte), welche oben beschrieben sind, und unterstützt die Gültigkeit der Berechnungen.

[0066] Auf der anderen Seite, hat man herausgefunden dass die Fluoreszenzwellenlänge des Dimers von DBq und TPA auf der Seite der längeren Wellenlänge in bezug auf die Fluoreszenzwellenlängen von DBq allein und TPA allein liegen. Dieses Ergebnis zeigt eine Tendenz, ähnlich der unten beschriebenen Beispiele (gemessene Werte), und unterstützt die Gültigkeit der Berechnungen. Man hat auch herausgefunden, dass der Unterschied zwischen der Fluoreszenzwellenlänge und der Phosphoreszenzwellenlänge des Dimers von DBq und TPA nur 0,9 nm beträgt und dass diese Wellenlängen im Wesentlichen gleich sind.

[0067] Diese Resultate zeigen, dass der Exciplex die Singulett-Anregungsenergie und die Triplet-Anregungsenergie zu im Wesentlichen der gleichen Energie zusammenfassen kann. Daher wird wie oben gezeigt, dass der Exciplex effizient Energie auf die phosphoreszierende Verbindung sowohl vom Singulett-Zustand als auch von Triplet-Zustand übertragen kann.

[0068] Solch eine Wirkung ist für die Verwendung eines Exciplex als ein Medium zur Energieübertragung spezifisch. Im Allgemeinen wird eine Energieübertragung von dem angeregten Singulett-Zustand oder dem angeregten Triplet-Zustand eines Wirtsmaterials auf eine phosphoreszierende Verbindung betrachtet. Auf der anderen Seite unterscheidet sich eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung deutlich von einem herkömmlichen Verfahren, da zunächst ein Exciplex aus einem Wirtsmaterial und einem anderen Material gebildet wird.

det wird (ein Exciplex einer ersten organischen Verbindung und einer zweiten organischen Verbindung) und Energieübertragung von dem Exciplex wird verwendet. Zusätzlich stellt dieser Unterschied eine beispiellos hohe Emissionseffizienz zur Verfügung.

[0069] Es sollte festgehalten werden, dass die Verwendung eines Exciplex für eine lichtemittierende Schicht eines lichtemittierenden Elementes im Allgemeinen einen Wert besitzt, wie dass die Emissionsfarbe gesteuert werden kann, in der Regel bewirkt es jedoch eine deutliche Verringerung der Emissionseffizienz. Daher wurde die Verwendung eines Exciplex als ungeeignet betrachtet, um ein sehr effizientes lichtemittierendes Element zu erhalten. Die vorliegenden Erfinder haben jedoch herausgefunden, dass die Verwendung eines Exciplex als ein Medium zur Energieübertragung auf eine phosphoreszierende Verbindung, es im Gegenteil ermöglicht, die Emissionseffizienz zu maximieren, wie in einer Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Diese technische Idee steht im Gegensatz zu der herkömmlichen feststehenden Meinung.

[0070] Damit das Emissionsspektrum des Exciplex und das Absorptionsspektrum des Gastmaterials ausreichend überlappen, beträgt der Unterschied zwischen der Energie eines Peaks des Emissionsspektrums und der Energie eines Peaks des Absorptionsbandes auf der Seite der niedrigsten Energie in dem Absorptionspektrum 0,1 eV oder weniger.

[0071] Zusätzlich wird in einer Ausführungsform der Erfindung eine Exciplex aus einem Singulett-Exziton der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung gebildet.

[0072] In einem lichtemittierenden Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein mögliches elementares Bildungsverfahren eines Exciplex, eines bei welchem eine der ersten und zweiten organischen Verbindungen ein Singulett-Exziton bildet und dann mit dem anderen im Grundzustand interagiert. Wie oben beschrieben können das Emissionsspektrum des Exciplex und das Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung deutlich überlappen; daher kann die Energietransfereffizienz erhöht werden. Demzufolge kann ein lichtemittierendes Element mit hoher Quanteneffizienz wirksam erzielt werden.

[0073] Das Singulett-Exziton weist eine kurze Anregungslegendsdauer auf (kleines τ), wie oben beschrieben. Daher gibt es ein Problem, dass ein Teil der Anregungsenergie deaktiviert wird (durch Lichtemission oder thermische Deaktivierung) bevor die Anregungsenergie von dem Singulett-Exziton auf ein Gasmaterial übertragen wird (Φ_{ET} neigt dazu in der Formel (3) klein zu sein). In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann solch eine Deaktivierung der Anregungsenergie jedoch unterdrückt werden. In einer Ausführungsform der Erfindung kann solch eine Deaktivierung der Anregungsenergie unterdrückt werden, da das Singulett-Exziton schnell ein Exciplex bildet. Des Weiteren weist das Exciplex eine relativ lange Anregungslebensdauer auf, was als bevorzugt für die Energieübertragungseffizienz Φ_{ET} angesehen wird. Demzufolge kann die Deaktivierung der Singulett-Anregungsenergie des Wirtsmaterials nicht nur die Effizienz eines Elementes beeinflussen, sondern dessen Lebensdauer kann auch durch Anwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unterdrückt werden, so dass ein lichtemittierendes Element mit langer Lebensdauer kann erhalten werden.

[0074] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist es auch bevorzugt, dass die Anregungsenergie des Exciplex ausreichend ist, um auf die phosphoreszierende Verbindung übertragen zu werden und dass die Lichtemission von dem Exciplex im Wesentlichen nicht beobachtet wird. Daher wird die Energie vorzugsweise durch den Exciplex auf die phosphoreszierende Verbindung übertragen, so dass die phosphoreszierende Verbindung Phosphoreszenz überträgt.

[0075] Gemäß des oben beschriebenen Konzepts der Energieübertragung, ist eine Ausführungsform der Erfindung in dem Fall wirksam, in dem wenigstens die erste oder die zweite organische Verbindung eine fluoreszierende Verbindung ist (d.h. eine Verbindung, welche zu Lichtemission oder thermischer Deaktivierung von dem einzelnen Singulettzustand neigt). Es ist daher bevorzugt, dass wenigstens eine der ersten und zweiten organischen Verbindungen eine fluoreszierende Verbindung ist.

[0076] Es sollte festgehalten werden, dass in dem Fall, in dem eine phosphoreszierende Verbindung als eine organische Verbindung verwendet wird, welche als ein Wirtsmaterial dient, die organische Verbindung selbst dazu neigt Licht zu emittieren und keine Energie zu einem Gastmaterial überträgt. In diesem Fall ist es bevorzugt, dass die organische Verbindung Licht effizient emittiert, es ist jedoch schwierig eine hohe Lichtemissionseffizienz zu erzielen, da die organische Verbindung, welche als Wirtsmaterial dient, das Problem des Konzentrationsquenchens bewirkt. Aus diesem Grund ist es bevorzugt, dass die organische Verbindung eine fluoreszierende Verbindung ist und dass die Energieübertragung mit der oben beschriebenen Zusammensetzung erzielt wird.

[0077] Zusätzlich ist es in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bevorzugt, dass die phosphorreszierende Verbindung ein organometallischer Komplex ist.

[0078] Der in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendete Exciplex wird nachfolgend im Detail beschrieben.

<Exciplex>

[0079] Der Exciplex (angeregter Komplex) wird durch eine Interaktion zwischen unähnlichen Molekülen im angeregten Zustand gebildet. Der Exciplex ist dafür bekannt, einfach zwischen einem Material mit einem relativ tiefen LUMO-Niveau und einem Material mit einem relativ flachen HOMO-Niveau gebildet zu werden.

[0080] Eine Emissionswellenlänge hängt von einem Energieunterschied zwischen dem HOMO-Niveau und dem LUMO-Niveau ab. Wenn ein Energieunterschied groß ist, ist die Wellenlänge kurz. Wenn der Energieunterschied groß ist, ist die Emissionswellenlänge groß.

[0081] Hierbei sind die HOMO-Niveaus und LUMO-Niveaus der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung, welche in einer Ausführungsform der Erfindung verwendet werden, unterschiedlich voneinander. Insbesondere sind die Energieniveaus in der folgenden Reihenfolge höher: das HOMO-Niveau der ersten organischen Verbindung < das HOMO-Niveau der zweiten organischen Verbindung < das LUMO-Niveau der ersten organischen Verbindung < das LUMO-Niveau der zweiten organischen Verbindung (siehe **Fig. 17**).

[0082] Wenn der Exciplex von diesen zwei organischen Verbindungen gebildet wird, stammt das LUMO-Niveau und das HOMO-Niveau des Exciplex jeweils von der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung (siehe **Fig. 17**). Daher ist der Energieunterschied des Exciplex geringer als der Energieunterschied der ersten organischen Verbindung und der Energieunterschied der zweiten organischen Verbindung. In anderen Worten, ist die Emissionswellenlänge des Exciplex länger als die Emissionswellenlänge der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung.

[0083] Das Herstellungsverfahren des Exciplex, welcher in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet wird, kann grob in zwei Verfahren unterteilt werden.

<<Elektroplex>>

[0084] In dieser Beschreibung bedeutet der Ausdruck „Elektroplex“, dass die erste organische Verbindung im Grundzustand und die zweite organische Verbindung im Grundzustand direkt ein Exciplex bilden.

[0085] Wie oben beschrieben wird im Allgemeinen, wenn ein Elektron und ein Loch in einem Wirtsmaterial rekombinieren, die Anregungsenergie von dem Wirtsmaterial in einem angeregten Zustand auf ein Gastmaterial übertragen, wodurch das Gastmaterial in einen angeregten Zustand versetzt wird, um Licht zu emittieren.

[0086] Zu diesem Zeitpunkt emittiert das Wirtsmaterial, bevor die Anregungsenergie von dem Wirtsmaterial auf das Gastmaterial übertragen wird, selbst Licht oder die Anregungsenergie wird in thermische Energie umgewandelt, was zu einer teilweisen Deaktivierung der Anregungsenergie führt. Insbesondere ist, wenn sich das Wirtsmaterial in einem angeregten Singulett-Zustand befindet, die Anregungslebensdauer kürzer, als wenn es sich im angeregten Triplett-Zustand befindet, was leicht zu einer Deaktivierung der Singulett-Anregungsenergie führt. Die Deaktivierung der Anregungsenergie ist einer der Gründe einer Verringerung der Lebensdauer des lichtemittierenden Elementes.

[0087] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird jedoch ein Elektroplex aus der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung mit Trägern (Kation oder Anion) gebildet; daher kann die Bildung eines Singulett-Exzitons mit einer kurzen Anregungslebensdauer unterdrückt werden. In anderen Worten es gibt ein Verfahren, bei welchem ein Exciplex direkt gebildet wird, ohne Bildung eines Singulett-Exzitons. Daher kann die Deaktivierung der Singulett-Anregungsenergie verhindert werden. Demzufolge kann ein lichtemittierendes Element mit langer Lebensdauer erhalten werden.

[0088] Zum Beispiel wird in dem Fall, in dem die erste organische Verbindung eine Verbindung mit einer Elektronen einfangenden Eigenschaft ist und die zweite organische Verbindung eine Verbindung mit einem Loch einfangenden Eigenschaft ist, ein Elektroplex direkt aus einem Anion der ersten organischen Verbindung und

einem Kation der zweiten organischen Verbindung gebildet. Es ist ein neuartiges Konzept ein lichtemittierende Element mit einer hohen Emissionseffizienz zu erhalten, indem die Erzeugung des angeregten Singulett-Zustandes eines Wirtsmaterials unterdrückt wird und die Energie von einem Elektroplex auf ein Gastmaterial übertragen wird, auf die oben beschriebene Weise. Es sollte festgehalten werden, dass die Erzeugung des angeregten Triplett-Zustandes des Wirtsmaterials ähnlich unterdrückt wird und ein Elektroplex wird direkt gebildet, daher nimmt man an, dass die Energieübertragung von dem Elektroplex auf das Gastmaterial erfolgt. Diese Mechanismus ist auch neu.

[0089] Das Emissionsspektrum des gebildeten Elektroplex ist an der Seite der längeren Wellenlänge in Bezug auf die Emissionswellenlänge jeder der ersten und zweiten organischen Verbindungen angeordnet.

[0090] Die Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des Elektroplex und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung ist größer als die Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum der ersten organischen Verbindung (oder der zweiten organischen Verbindung) und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung. Das lichtemittierende Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung überträgt Energie durch Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des Elektroplex und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung und weist daher eine höhere Energieübertragungseffizienz auf. Demzufolge kann in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein lichtemittierende Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz erhalten werden.

«Bildung eines Exciplex durch ein Exziton»

[0091] Als ein weiteres Verfahren gibt es ein elementares verfahren, bei welchen eine der ersten und zweiten organischen Verbindung ein Singulett-Exziton bildet und dann mit der anderen im Gundzustand interagiert, um ein Exciplex zu bilden. Anders als ein Elektroplex, wird ein angeregter Singulett-Zustand der ersten organischen Verbindung oder der zweiten organischen Verbindung in diesem Fall temporär erzeugt, wird jedoch schnell in ein Exciplex umgewandelt und daher kann die Deaktivierung der Singulett-Anregungsenergie verhindert werden. Daher ist es möglich die Deaktivierung der Anregungsenergie der ersten organischen Verbindung oder der zweiten organischen Verbindung zu verhindern. Demzufolge kann ein lichtemittierendes Element mit langer Lebensdauer erhalten werden. Es sollte festgehalten werden, dass man annimmt, dass der angeregte Triplett-Zustand des Wirtsmaterials auch schnell in ein Exciplex umgewandelt wird und Energie wird von dem Exciplex auf das Gastmaterial übertragen.

[0092] Das Emissionsspektrum des gebildeten Exciplex ist an der Seite der längeren Wellenlänge in Bezug auf die Emissionswellenlänge jeder der ersten und zweiten organischen Verbindungen angeordnet.

[0093] Die Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des Exciplex und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung ist größer als die Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum der ersten organischen Verbindung (oder der zweiten organischen Verbindung) und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung. Das lichtemittierende Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung überträgt Energie durch Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des Exciplex und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung und weist daher eine höhere Energieübertragungseffizienz auf.. Demzufolge kann in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein lichtemittierende Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz erhalten werden.

[0094] Zum Beispiel werden in dem Fall, in dem die erste organische Verbindung eine Verbindung mit einer Elektronen einfangenden Eigenschaft ist, die zweite organische Verbindung eine Verbindung mit einer Loch einfangenden Eigenschaft ist, und der Unterschied zwischen den HOMO-Niveaus und der Unterschied zwischen den LUMO-Niveaus dieser Verbindungen groß (insbesondere, 0,3 eV oder mehr) ist, Elektronen selektiv in die erste organische Verbindung injiziert und Löcher werden selektiv in die zweite organische Verbindung injiziert. In diesem Fall nimmt man an, dass das Verfahren, bei welchem ein Elektroplex gebildet wird, gegenüber dem Verfahren Vorrang hat, bei welchem ein Exciplex durch ein Singulett-Ezciton gebildet wird.

[0095] Es sollte festgehalten werden, dass diese Ausführungsform mit jeder anderen Ausführungsform kombiniert werden kann, wenn geeignet.

(Ausführungsform 2)

[0096] In dieser Ausführungsform wird ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 16A** bis **Fig. 16C** beschrieben.

[0097] Fig. 16A zeigt ein lichtemittierendes Element enthaltend eine EL-Schicht 102 zwischen einer ersten Elektrode 103 und einer zweiten Elektrode 108. Das lichtemittierende Element in Fig. 16A umfasst eine Lochinjektionsschicht 701, eine Lochtransportschicht 702, eine lichtemittierende Schicht 703, eine Elektronentransportschicht 704 und eine Elektroneninjektionsschicht 705, welche in dieser Reihenfolge auf der ersten Elektrode gestapelt sind, und die zweite Elektrode 108 wird darauf bereitgestellt.

[0098] Die erste Elektrode 103 wird vorzugsweise unter Verwendung von Materialien gebildet, gewählt aus Metallen, Legierungen, leitfähigen Verbindungen, deren Mischungen und dergleichen, welche eine hohe Austrittsarbeit aufweisen (insbesondere 4,0 eV oder mehr). Spezifische Beispiele umfassen Indiumoxid-Zinnoxid (ITO: Indiumzinnoxid), Indiumoxid-Zinnoxid enthaltend Silizium oder Siliziumoxid, Indiumoxid-Zinkoxid (Indiumzinkoxid), Indiumoxid enthaltend Wolframoxid und Zinkoxid (IWZO) und dergleichen. Filme dieser leitfähigen Metalloxide werden im Allgemeinen durch ein Sputterverfahren gebildet, können aber auch durch Anwendung eines Sol-Gel-Verfahrens oder dergleichen gebildet werden. Zum Beispiel kann ein Indiumoxid-Zinnoxid-film durch ein Sputterverfahren gebildet werden, unter Verwendung eines Targets, bei welchem Zinkoxid zu Indiumoxid mit 1 Gew.-% bis 20 Gew.-% zugegeben wird. Des Weiteren kann ein IWZO-Film durch ein Sputterverfahren gebildet werden, unter Verwendung eines Targets, bei welchem Wolframoxid zu Indiumoxid mit 0,5 Gew.-% bis 5 Gew.-% zugegeben wird und wobei Zinkoxid zu Indiumoxid mit 0,1 Gew.-% bis 1 Gew.-% zugegeben wird. Andere Beispiele sind Graphen, Gold, Platin, Nickel, Wolfram, Chrom, Molybdän, Eisen, Kobalt, Kupfer, Palladium, Nitrides von Metallmaterialien (z.B. Titannitrid) und dergleichen.

[0099] Es sollte festgehalten werden, dass wenn eine Schicht, die in der EL-Schicht 102 enthalten ist und in Kontakt mit der ersten Elektrode 103 gebildet wird, unter Verwendung eines nachfolgend beschriebenen Verbundmaterials, welches durch Kombinieren einer organischen Verbindung und eines Elektronenakzeptors (ein Akzeptor) gebildet wird, als die für die erste Elektrode 103 verwendete Substanz gebildet wird, jede Art von Metallen, Legierungen, elektrisch leitfähigen Verbindungen, deren Mischungen und dergleichen verwendet werden kann, unabhängig von der Austrittsarbeit, z.B. können auch Aluminium, Silber, eine Aluminiumhaltige Legierung (z.B. Al-Si) oder dergleichen kann auch verwendet werden.

[0100] Die erste Elektrode 103 kann z.B. durch ein Sputterverfahren, ein Verdampfungsverfahren (einschließlich eines Vakuumverdampfungsverfahrens) oder dergleichen gebildet werden.

[0101] Die zweite Elektrode 108 wird vorzugsweise unter Verwendung von Metallen, Legierungen, elektrisch leitfähigen Verbindungen, deren Mischungen und dergleichen gebildet, welche eine niedrige Austrittsarbeit aufweisen (vorzugsweise 8 eV oder weniger). Spezifische Beispiele dieser umfassen Elemente, die zu den Gruppen 1 und 2 des Periodensystems gehören, d.h. Alkalimetalle, wie Lithium und Cäsium, Erdalkalimetalle, wie Calcium und Strontium, Magnesium, deren Legierungen (z.B. Mg-Ag und Al-Li), Seltenerdmetalle, wie Europium und Ytterbium, deren Legierungen, Aluminium, Silber und dergleichen.

[0102] Wenn eine in der EL-Schicht 102 enthaltene und in Kontakt mit der zweiten Elektrode 108 gebildete Schicht unter Verwendung eines später beschriebenen Verbundmaterials, gebildet durch Kombinieren einer organischen Verbindung und eines Elektronendonators (ein Donator), gebildet wird, können eine Vielzahl von leitfähigen Materialien, wie Al, Ag, ITO und Indiumoxid-Zinnoxidhaltiges Silizium oder Siliziumoxid verwendet werden, unabhängig von der Austrittsarbeit.

[0103] Es sollte festgehalten werden, dass, wenn die zweite Elektrode 108 gebildet wird, ein Vakuumverdampfungsverfahren oder ein Sputterverfahren verwendet werden. In dem Fall, dass eine Silberpaste oder dergleichen verwendet wird, kann ein Beschichtungsverfahren, ein Tintenstrahlverfahren oder dergleichen verwendet werden.

[0104] Die EL-Schicht 102 umfasst wenigstens die lichtemittierende Schicht 703. Für einen Teil der EL-Schicht 102 kann eine bekannte Substanz verwendet werden und es kann entweder eine niedermolekulare Verbindung oder eine hochmolekulare Verbindung verwendet werden. Es sollte festgehalten werden, dass die die EL-Schicht 102 bildenden Substanzen aus organischen Verbindungen bestehen können oder eine organische Verbindung als einen Teil enthalten kann.

[0105] Des Weiteren umfasst die EL-Schicht 102, wie in Fig. 16A dargestellt, nicht nur die die lichtemittierende Schicht 703, sondern auch eine geeignete Kombination der folgenden Schichten: die Lochinjektionsschicht 701, enthaltend eine Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft, die Lochtransportschicht 702, enthaltend eine Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft, die Elektronentransportschicht 704, enthal-

tend eine Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft, die Elektroneninjektionsschicht **705**, enthaltend eine Substanz mit einer hohen Elektroneninjektionseigenschaft und dergleichen.

[0106] Die Lochinjektionsschicht **701** ist eine Schicht, welche eine Substanz mit einer hohen Lochinjektionseigenschaft enthält. Als die Substanz mit einer hohen Lochinjektionsschicht kann ein Metalloxid, wie Molybdänoxid, Titanoxid, Vanadiumoxid, Rheniumoxid, Rutheniumoxid, Chromoxid, Zirkoniumoxid, Hafniumoxid, Tantaloxid, Silberoxid, Wolframoxid oder Manganoxid verwendet werden. Alternativ kann eine auf Phthalocyanin basierende Verbindung, wie Phthalocyanin (Abkürzung: H₂PC) oder Kupfer(II)phthalocyanin (Abkürzung: CuPc) verwendet werden.

[0107] Andere Beispiele der Substanz, welche als aromatische Verbindungen und dergleichen verwendet werden kann, sind niedermolekulare Verbindungen, wie 4,4',4"-Tris(N,N-diphenylamino)triphenylamin (Abkürzung: TDATA), 4,4',4"-Tris[N-(3-methylphenyl)-N-phenylamino]triphenylamin (Abkürzung: MTDATA), 4,4'-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: DPAB), 4,4'-Bis(N-{4-[N'-(3-methylphenyl)-N-phenylamino]phenyl}-N-phenylamino)biphenyl (Abkürzung: DNTPD), 1,3,5-Tris[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]benzol (Abkürzung: DPA3B), 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) und 3-[N-(1-Naphthyl)-N-(9-phenylcarbazol-3-yl)amino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCN1).

[0108] Noch andere Beispiele der Substanz, welche verwendet werden kann, sind hochmolekulare Verbindungen(z.B. Oligomers, Dendrimer und Polymere), wie Poly(N-vinylcarbazol) (Abkürzung: PVK), Poly(4-vinyltriphenylamin) (Abkürzung: PVTPA), Poly[N-(4-{N'-(4-diphenylamino)phenyl}phenyl-A/-phenylamino)phenyl]methacrylamid] (Abkürzung: PTPDMA) und Poly[N,N'-bis(4-butylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidin] (Abkürzung: Poly-TPD) und hochmolekulare Verbindungen, zu welchen Säure hinzugefügt wird, wie Poly(3,4-ethylenedioxythiophen)/Poly(styrolsulfonsäure) (PEDOT/PSS) und Polyanilin/Poly(styrolsulfonsäure) (PAni/PSS).

[0109] Für die Lochinjektionsschicht **701** kann ein Verbundmaterial verwendet werden, welches durch Kombinieren einer organischen Verbindung und eines Elektronenakzeptors (Akzeptor) gebildet wird. Solch ein Verbundmaterial, in welchem Löcher in der organischen Verbindung durch den Elektronenakzeptor gebildet werden, weist hohe Lochinjektions- und Lochtransporteigenschaften auf. In diesem Fall ist die organische Verbindung vorzugsweise ein Material, welches ausgezeichnet beim Transport von erzeugten Löchern ist (eine Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft).

[0110] Beispiele der organischen Verbindung, welche für das Verbundmaterial verwendet wird, können eine Vielzahl von Verbindungen sein, wie aromatische Aminverbindungen, Carbazolderivative. Die für das Verbundmaterial verwendete organische Verbindung ist vorzugsweise eine organische Verbindung mit einer hohen Lochtransporteigenschaft und ist insbesondere bevorzugt eine Substanz mit einer Lochbeweglichkeit von 10⁻⁶ cm²/Vs oder mehr. Es sollte festgehalten werden, dass neben diesen Substanzen, jede Substanz verwendet werden kann, die eine Eigenschaft aufweist mehr Löcher als Elektronen zu transportieren. Organische Verbindungen, die verwendet werden können, werden nachfolgend spezifisch beschrieben.

[0111] Beispiele der organischen Verbindung, welche als das aromatische Material verwendet werden können, sind aromatische Aminverbindungen, wie TDATA, MTDATA, DPAB, DNTPD, DPA3B, PCzPCA1, PCzPCA2, PCzPCN1, 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) und 4-Phenyl-4'-(9-phenylfluoren-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: BPAFLP), und Carbazolderivative, wie 4,4'-Di(N-carbazolyl)biphenyl (Abkürzung: CBP), 1,3,5-Tris[4-(N-carbazolyl)phenyl]benzol (Abkürzung: TCPB), 9-[4-(N-Carbazolyl)phenyl]-10-phenylanthracen (Abkürzung: CzPA), 9-Phenyl-3-[4-(10-phenyl-9-anthryl)phenyl]-9H-carbazol (Abkürzung: PczPA) und 1,4-Bis[4-(N-carbazolyl)phenyl]-2,3,5,6-tetraphenylbenzol.

[0112] Andere Beispiele der organischen Verbindung, welche verwendet werden kann, sind aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen, wie 2-Tert-butyl-9,10-di(2-naphthyl)anthracen (Abkürzung: t-BuDNA), 2-Tert-butyl-9,10-di(1-naphthyl)anthracen, 9,10-Bis(3,5-diphenylphenyl)anthracen (Abkürzung: DPPA), 2-Tert-butyl-9,10-bis(4-phenylphenyl)anthracen (Abkürzung: t-BuDBA), 9,10-Di(2-naphthyl)anthracen (Abkürzung: DNA), 9,10-Diphenylanthracen (Abkürzung: DPAnth), 2-Tert-butylanthracen (Abkürzung: t-BuAnth), 9,10-Bis(4-methyl-1-naphthyl)anthracen (Abkürzung: DMNA), 9,10-Bis[2-(1-naphthyl)phenyl]-2-tert-butylanthracen, 9,10-Bis[2-(1-naphthyl)phenyl]anthracen und 2,3,6,7-Tetramethyl-9,10-di(1-naphthyl)anthracen.

[0113] Andere Beispiel der organischen Verbindungen, die verwendet werden können, sind aromatische Kohlenwasserstoffe, wie 2,3,6,7-Tetramethyl-9,10-di(2-naphthyl)anthracen, 9,9'-Bianthryl, 10,10'-Diphenyl-9,9'-bianthryl, 10,10'-Bis(2-phenylphenyl)-9,9'-bianthryl, 10,10'-Bis[(2,3,4,5,6-pentaphenyl)phenyl]-9,9'-bianthryl, anthracen, Tetracen, Rubren, Perylen, 2,5,8,11-Tetra(tert-butyl)perylene, Pentacen, Coronen, 4,4'-Bis(2,2-diphenylvinyl)biphenyl (Abkürzung: DPVBi) und 9,10-Bis[4-(2,2-diphenylvinyl)phenyl]anthracen (Abkürzung: DPVPA).

[0114] Des Weiteren sind Beispiele des Elektronenakzeptors organische Verbindungen, wie 7,7,8,8-Tetracyano-2,3,5,6-tetrafluorochinodimethan (Abkürzung: F₄-TCNQ) und Chloranil, Oxides von Übergangsmetallen, Oxide von Metallen die zur Gruppe 4 bis 8 des Periodensystems gehören und dergleichen. Insbesondere sind Vanadiumoxid, Niobiumoxid, Tantaloxid, Chromoxid, Molybdänoxid, Wolframoxid, Manganoxid und Rheniumoxid bevorzugt, aufgrund ihrer hohen Elektronen aufnehmenden Eigenschaft. Unter diesen ist Molybdänoxid besonders bevorzugt, da es stabil an Luft ist, eine geringe hygroskopische Eigenschaft aufweist und einfach in der Handhabung ist.

[0115] Das Verbundmaterial kann unter Verwendung des oben beschriebenen Elektronenakzeptors und der oben beschriebenen hochmolekularen Verbindung, wie PVK, PVTPA, PTPDMA oder Poly-TPD, gebildet werden und kann für die Lochinjektionsschicht **701** verwendet werden.

[0116] Die Lochtransportschicht **702** ist eine Schicht, die eine Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft enthält. Beispiele der Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft sind aromatische Aminverbindungen, wie NPB, TPD, BPAFLP, 4,4'-Bis[N-(9,9-dimethylfluoren-2-yl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: DFLDPBi) und 4,4'-Bis[N-(spiro-9,9'-bifluoren-2-yl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: BSPB). Die hier genannten Substanzen sind hauptsächlich Sunstanzen, welche eine Lochbeweglichkeit von 10⁻⁶ cm²/Vs oder mehr aufweisen. Es sollte festgehalten werden, dass jede Substanz, die eine Eigenschaft aufweist mehr Löcher als Elektronen zu transportieren, verwendet werden kann. Es sollte festgehalten werden, dass die Schicht, welche eine Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft enthält, nicht auf eine einzelne Schicht beschränkt ist und ein Stapel aus zwei oder mehr Schichten sein kann, die die jede der obigen Substanzen enthalten können.

[0117] Für die Lochtransportschicht **702** kann ein Carbazolderivat, wie CBP, CzPA oder PczPA oder ein Anthracenderivat, wie t-BuDNA, DNA oder DPAnth, verwendet werden.

[0118] Für die Lochtransportschicht **702** kann auch eine hochmolekulare Verbindung, wie PVK, PVTPA, PT-PDMA oder Poly-TPD verwendet werden.

[0119] Die lichtemittierende Schicht **703** ist eine Schicht, die eine lichtemittierende Substanz enthält. Die lichtemittierende Schicht **703** dieser Ausführungsform enthält eine phosphoreszierende Verbindung, eine erste organische Verbindung und eine zweite organische Verbindung. Die phosphoreszierende Verbindung ist eine lichtemittierende Substanz (Gastmaterial). Eine der ersten und zweiten organischen Verbindungen, deren Anteil in der lichtemittierenden Schicht **703** höher ist als das der anderen, ist ein Wirtsmaterial. Wegen der Besonderheiten kann auf die Ausführungsform 1 Bezug genommen werden.

[0120] Als die phosphoreszierende Verbindung ist ein organometallischer Komplex bevorzugt und insbesondere ist ein Iridiumkomplex bevorzugt. Unter Berücksichtigung der Energieübertragung aufgrund des oben beschriebenen Förster-Mechanismus, beträgt der molare Absorptionskoeffizient des Absorptionsbandes der phosphoreszierenden Verbindung, welcher an der Seite der längsten Wellenlänge angeordnet ist, vorzugsweise 2000 M⁻¹·cm⁻¹ oder mehr, noch bevorzugter 5000 M⁻¹·cm⁻¹ oder mehr. Beispiele der Verbindung mit einem solchen hohen molaren Absorptionskoeffizienten sind Bis(3,5-dimethyl-2-phenylpyrazinato)(dipivaloylmethanato)iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]), (Acetylacetonato)bis(4,6-diphenylpyrimidinato)iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dppm)₂(acac)]), Bis(2,3,5-triphenylpyrazinato)(dipivaloylmethanato)iridium(III) (Abkürzung: [Ir(tppr)₂(dpm)]), (Acetylacetonato)bis(6-methyl-4-phenylpyrimidinato)iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mppm)₂(acac)]), (Acetylacetonato)bis(6-tert-butyl-4-phenylpyrimidinato)iridium(III) (Abkürzung: [Ir(tBuppm)₂(acac)]) und dergleichen. Insbesondere kann, wenn ein Material mit einem molaren Absorptionskoeffizienten von 5000 M⁻¹·cm⁻¹ oder mehr, wie [Ir(dppm)₂(acac)], verwendet wird, ein lichtemittierendes Element erhalten werden, dass eine externe Quanteneffizienz von ungefähr 30 % erzielen kann.

[0121] Die erste organische Verbindung und die zweite organische Verbindung sind vorzugsweise zum Beispiel eine Kombination aus einer der Verbindungen, welche dazu neigen Elektronen aufzunehmen (typischerweise heteroaromatische Verbindungen), wie 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), 6-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 6mDBTPDBq-II) und 2-[4-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]-1-phenyl-1H-benzimidazol (Abkürzung: DBTBIm-II) und jede der Verbindungen, welche Löcher aufnimmt (typischerweise aromatische Aminverbindungen und Carbazolverbindungen), wie 4,4'-Bis[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: NPB or a-NPD), 4-Phenyl-4'-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)triphenylamin (Abkürzung: PCBA1BP), 4,4'-Di(1-naphthyl)-4''-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)triphenylamin (Abkürzung: PCBNNB), 4-(1-Naphthyl)-4'-phenyltriphenylamin (Abkürzung: aNBA1BP), 2,7-Bis[N-(4-diphenylamino-phenyl)-N-phenylamino]-spiro-9,9'-bifluoren (Abkürzung: DPA2SF), 4,4',4''-Tris[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]triphenylamin (Abkürzung: 1'-TNATA) und 9-Phenyl-9H-3-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)carbazol (Abkürzung: PCCP). Bei solch einer Zusammensetzung ist es möglich die Wirkung der Verbesserung der Emissionseffizienz und der Lebensdauer nicht nur durch die Energieübertragung von einem Exciplex, sondern auch durch die Einstellung des Trägerausgleichs zwischen Lochtransport und Elektronentransport in der lichtemittierenden Schicht, zu erhalten. Es sollte festgehalten werden, dass die vorliegende Erfindung nicht auf diese Verbindungen beschränkt ist, solange die Kombination einen Exciplex bilden kann.

[0122] Es sollte festgehalten werden, dass der Exciplex an der Grenzfläche zwischen zwei Schichten gebildet werden kann. Wenn zum Beispiel eine Schicht, welche die zweite organische Verbindung enthält, und eine Schicht, welche die erste organische Verbindung enthält, aufeinander gestapelt werden, wird der Exciplex in der Nähe der Grenzfläche gebildet. Diese zwei Schichten können als die lichtemittierende Schicht in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden. In diesem Fall wird die phosphoreszierende Verbindung in der Nähe der Grenzfläche hinzugefügt. Die phosphoreszierende Verbindung kann zu einer der Schichten oder zu beiden hinzugefügt werden.

[0123] Die Elektronentransportschicht **704** ist eine Schicht, die eine Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft enthält. Beispiele der Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft sind Metallkomplexe, wie Alq₃, Tris(4-methyl-8-chinolinolato)aluminum (Abkürzung: Almq₃), Bis(10-hydroxybenzo[h]chinolinato)beryllium (Abkürzung: BeBq₂), Balq, Zn(BOX)₂ und Bis[2-(2-hydroxyphenyl)benzothiazolato]zink (Abkürzung: Zn(BTZ)₂). Andere Beispiele dieser sind heteroaromatische Verbindungen, wie 2-(4-Biphenylyl)-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-biphenylyl)-1,2,4-triazol (Abkürzung: TAZ), 3-(4-Tert-butylphenyl)-4-(4-ethylphenyl)-5-(4-biphenylyl)-1,2,4-triazol (Abkürzung: p-EtTAZ), Bathophenanthrolin (Abkürzung: Bphen), Bathocuproin (Abkürzung: BCP), 4,4'-Bis(5-methylbenzoxazol-2-yl)stilben (Abkürzung: BzOs). Noch andere Beispiele sind hochmolekulare Verbindungen, wie Poly(2,5-pyridine-diyl) (Abkürzung: Ppy), Poly[(9,9-dihexylfluoren-2,7-diyl)-co-(pyridin-3,5-diyl)] (Abkürzung: PF-Py) und Poly[(9,9-dioctylfluoren-2,7-diyl)-co-(2,2'-bipyridin-6,6'-diyl)] (Abkürzung: PF-Bpy).

[0124] Die hier genannten Substanzen sind hauptsächlich Substanzen mit einer Elektronenbeweglichkeit von 10⁻⁶ cm²/Vs oder mehr. Es sollte festgehalten werden, dass neben diesen Substanzen jede Substanz für die Elektronentransportschicht verwendet werden kann, die eine Eigenschaft aufweist, mehr Löcher als Elektronen zu leiten.

[0125] Des Weiteren ist die Elektronentransportschicht nicht auf eine einzelne Schicht beschränkt und kann ein Stapel von zwei oder mehr Schichten sein, die eine der obigen Substanzen enthalten.

[0126] Die Elektroneninjektionsschicht **705** ist eine Schicht, welche eine Substanz mit einer hohen Elektroneninjektionseigenschaft enthält. Beispiel einer Substanz, welche für die Elektroneninjektionsschicht **705** verwendet werden kann, sind Alkalimetalle, Erdalkalimetalle und deren Verbindungen, wie Lithium, Cäsium, Calcium, Lithiumfluorid, Cäsiumfluorid, Calciumfluorid und Lithiumoxid, Seltenerdmetallverbindungen, wie Erbiumfluorid und die oben genannte Substanzen, welche für die Elektronentransportschicht **704** verwendet werden.

[0127] Alternativ kann ein Verbundmaterial, welches durch Kombinieren einer organischen Verbindung und eines Elektronendonators (Donator) gebildet wird, für die Elektroneninjektionsschicht **705** verwendet werden. Solch ein Verbundmaterial, in welchem Elektronen in der organischen Verbindung durch den Elektronendonator gebildet werden, weist hohen Elektroneninjektions- und Elektronentransporteigenschaften auf. Die organische Verbindung ist hierbei vorzugsweise ein Material, welches ausgezeichnet beim Leiten von erzeugten Elektronen ist, und insbesondere kann jede der obigen Substanzen (wie Metallkomplexe und heteroaromatische Verbindungen) für die Elektronentransportschicht **704** verwendet werden. Als der Elektronendonator kann eine Substanz verwendet werden, welche eine Elektronen abgebende Eigenschaft in Bezug auf die organische Verbindung zeigt, verwendet werden. Bevorzugte spezifische Beispiele des Elektronendonators sind

Alkalimetalle, Erdalkalimetalle und Seltenerdmetalle, wie Lithium, Cäsium, Magnesium, Calcium, Erbium und Ytterbium. Jedes Alkalimetallocid und Erdalkalioxid ist bevorzugt, wie Lithiumoxid, Calciumoxid, Bariumoxid und dergleichen und eine Lewis-Base, wie Magnesiumoxid oder eine organische Verbindung, wie Tetrathiafulvalen (Abkürzung: TTF) kann verwendet werden.

[0128] Es sollte festgehalten werden, dass die Lochinjektionsschicht **701**, die Lochtransportschicht **702**, die lichtemittierende Schicht **703**, die Elektronentransportschicht **704** und die Elektroneninjektionsschicht **705**, welche oben genannt werden, jeweils durch eine Verfahren, wie ein Verdampfungsverfahren (einschließlich eines Vakuumverdampfungsverfahrens), eines Tintenstrahlverfahrens oder eines Beschichtungsverfahrens gebildet werden können.

[0129] Eine Vielzahl von EL-Schichten können zwischen der ersten Elektrode **103** und der zweiten Elektrode **108** gestapelt sein, wie in **Fig. 16B** dargestellt. In dem Fall ist vorzugsweise eine Ladungserzeugungsschicht **803** zwischen einer ersten EL-Schicht **800** und einer zweiten EL-Schicht **801** bereitgestellt, welche gestapelt sind. Die Ladungserzeugungsschicht **803** kann unter Verwendung der oben beschriebenen Verbundmaterialien gebildet werden. Des Weiteren kann die Ladungserzeugungsschicht **803** eine Stapelstruktur aufweisen, enthaltend eine Schicht, welche das Verbundmaterial, und eine Schicht, welche ein anderes Material enthält. In dem Fall kann als eine Schicht, welche ein anderes Material enthält, eine Schicht verwendet werden, welche eine Elektronendonatorsubstanz und eine Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft, oder dergleichen. Bei dem lichtemittierenden Element mit solch einer Struktur treten Probleme, wie Energieübertragung und Quenching kaum auf, und ein lichtemittierendes Element, welches sowohl hohe Emissionseffizienz als auch lange Lebensdauer aufweist, kann einfach erhalten werden, aufgrund der breiten Auswahl an Materialien. Des Weiteren kann ein lichtemittierendes Element, welches Phosphoreszenz von einer der EL-Schichten bereitstellt und Fluoreszenz von der anderen der EL-Schichten, einfach hergestellt werden. Diese Struktur kann mit jeder der oben beschriebenen Strukturen der EL-Schichten kombiniert werden.

[0130] Indem des Weiteren die Emissionsfarben der EL-Schichten unterschiedlich gemacht werden, kann Licht mit einer gewünschten Farbe von dem lichtemittierenden Element als Gesamtes erhalten werden. Zum Beispiel sind die Emissionsfarben der ersten und zweiten EL-Schichten in einem lichtemittierenden Element mit zwei EL-Schichten komplementär, so dass das lichtemittierende Element als Gesamtes weißes Licht emittiert. Das gleiche trifft auch auf ein lichtemittierendes Element mit drei oder mehr Schichten zu.

[0131] Wie in **Fig. 16C** dargestellt, kann die EL-Schicht **102** die Lochinjektionsschicht **701**, die Lochtransportschicht **702**, die lichtemittierende Schicht **703**, die Elektronentransportschicht **704**, eine Elektroneninjektions-Pufferschicht **706**, eine Elektronenrelais-Schicht **707** und eine Verbundmaterialschicht **708**, welche sich in Kontakt mit der zweiten Elektrode **108** befindet, zwischen der ersten Elektrode **103** und der zweiten Elektrode **108** umfassen.

[0132] Es ist bevorzugt die Verbundmaterialschicht **708** bereitzustellen, welche sich in Kontakt mit der zweiten Elektrode **108** befindet, da in diesem Fall Beschädigungen an der EL-Schicht **102**, insbesondere wenn die zweite Elektrode **108** durch ein Sputterverfahren gebildet wird, verringert werden können. Die Verbundmaterialschicht **708** kann unter Verwendung des oben beschriebenen Verbundmaterials gebildet werden, bei welche, eine organische Verbindung mit einer hohen Lochtransporteigenschaft eine Akzeptorsubstanz enthält.

[0133] Indem des Weiteren die Elektroneninjektions-Pufferschicht **706** bereitgestellt wird, kann eine Injektionsbarriere zwischen der Verbundmaterialschicht **708** und der Elektronentransportschicht **704** reduziert werden, daher können in der Verbundmaterialschicht **708** erzeugte Elektronen einfach in die Elektronentransportschicht injiziert werden.

[0134] Als die Elektroneninjektions-Pufferschicht **706** kann eine Substanz mit einer hohen Elektroneninjektioneigenschaft verwendet werden, wie ein Alkalimetall, ein Erdalkalimetall, ein Seltenerdmetall, eine Verbindung des obigen Metalls (z.B. eine Alkalimetallverbindung (z.B. eine Alkalimetallverbindung (einschließlich eines Oxids, wie Lithiumoxid, eines Halogenids und eines Carbonats, wie Lithiumcarbonat oder Cäsiumcarbonat), eine Erdalkalimetallverbindung (einschließlich eines Oxids, eines Halogenids und eines Carbonats) oder eine Seltenerdmetallverbindung (einschließlich eines Oxids, eines Halogenids und eines Carbonats)).

[0135] Des Weiteren wird in einem Fall, in dem die Elektroneninjektions-Pufferschicht **706** eine Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft und eine Donatorsubstanz enthält, die Donatorsubstanz vorzugsweise zugegeben wird, so dass das Masseverhältnis der Donatorsubstanz zur der Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft in dem Bereich von 0,001:1 to 0,1:1. Liegt. Es sollte festgehalten werden, dass

als die Donatorsubstanz eine organische Verbindung verwendet werden kann, wie Tetrathianaphthacen (Abkürzung: TTN), Nickelocen oder Decamethylnickelocen, wie auch ein Alkalimetall, Erdalkalimetall, Seltenerdmetall, eine Verbindung des obigen Metalls (z.B. eine Alkalimetallverbindung (einschließlich eines Oxiids, wie Lithiumoxid, eines Halogenids und eines Carbonats, wie Lithiumcarbonate oder Cäsiumcarbonat), eine Erdalkalimetallverbindung (einschließlich eines Oxiids, wie Lithiumoxid, eines Halogenids und eines Carbonats) und eines Erdalkalimetalls (einschließlich eines Oxiids, wie Lithiumoxid, eines Halogenids und eines Carbonats)). Es sollte festgehalten werden, dass als die Substanz, welche eine hohe Elektronentransporteigenschaft aufweist, ein Material verwendet werden kann, welches dem oben in Bezug auf die Elektronentransportschicht **704** beschriebenen Material ähnlich ist.

[0136] Des Weiteren ist es bevorzugt, dass die Elektronenrelais-Schicht **707** zwischen der Elektroneninjektions-Pufferschicht **706** und der Verbundmaterialschicht **708** gebildet wird. Die Elektronenrelais-Schicht **707** wird nicht notwendigerweise bereitgestellt; indem die Elektronenrelais-Schicht **707** mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft bereitgestellt wird, können Elektronen schnell in die Elektroneninjektions-Pufferschicht **706** geleitet werden.

[0137] Die Struktur, bei welcher die Elektronenrelais-Schicht **707** zwischen der Verbundmaterialschicht **708** und der Elektroneninjektions-Pufferschicht **706** angeordnet ist, ist eine Struktur, bei welcher die in der Verbundmaterialsschicht **708** enthaltene Akzeptorsubstanz und die in der Elektroneninjektions-Pufferschicht **706** enthaltene Donatorsubstanz weniger dazu neigen miteinander zu interagieren, und daher beeinträchtigen sich ihre Funktionen kaum. Daher kann eine Erhöhung der Ansteuerspannung verhindert werden.

[0138] Die Elektronenrelais-Schicht **707** enthält eine Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft und ist so gebildet, dass das LUMO-Niveau der Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft zwischen dem LUMO-Niveau der Akzeptorsubstanz, welche in der Verbundmaterialschicht **708** enthalten ist, und dem LUMO-Niveau der Substanz mit einer hohen Elektronentransportschicht **704** enthalten ist, liegt. In dem Fall, dass die Elektronenrelais-Schicht **707** eine Donatorsubstanz enthält, wird das Donator-Niveau der Donatorsubstanz auch gesteuert, um so zwischen dem LUMO-Niveau der Akzeptorsubstanz, welche in der Verbundmaterialschicht **708** enthalten ist, und dem LUMO-Niveau der Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft, welche in der Elektronentransportschicht **704** enthalten ist, zu liegen. Als ein spezifischer Wert des Energieniveaus ist das LUMO-Niveau der Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft, welche in der Elektronenrelais-Schicht **707** enthalten ist, vorzugsweise -5,0 eV oder höher, noch bevorzugter -5,0 eV oder höher oder -3,0 eV oder niedriger.

[0139] Als die Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft, welche in der Elektronenrelais-Schicht **707** enthalten ist, kann ein auf Phthalocyanin basierendes Material oder ein Metallkomplex mit einer Metall-Sauerstoff-Bindung und einem aromatischen Liganden vorzugsweise verwendet werden.

[0140] Als das auf Phthalocyanin basierende Material, welches in der Elektronenrelais-Schicht **707** enthalten ist, wird vorzugsweise jedes von CuPc, einem Phthalocyaninzinn(II)komplex (SnPc), einem Phthalocyaninzinkkomplex (ZnPc), Kobalt(II)phthalocyanin, β-Form (CoPc), Phthalocyanineisen (FePc) und Vanadyl 2,9,16,23-tetraphenoxy-29H,31 H-phthalocyanin (PhO-VOPc) verwendet.

[0141] Als der Metallkomplex mit einer Metall-Sauerstoff-Bindung und einem aromatischen Liganden, welcher in der Elektronenrelais-Schicht **707** enthalten ist, wird vorzugsweise ein Metallkomplex mit einer Metall-Sauerstoff-Doppelbindung vorzugsweise verwendet. Die Metall-Sauerstoff-Doppelbindung weist eine Akzeptoreigenschaft (eine Eigenschaft einfach Elektronen aufzunehmen) auf; daher können die Elektronen einfacher übertragen werden (abgegeben und aufgenommen). Des Weiteren wird der Metallkomplex mit einer Metall-Sauerstoff-Doppelbindung als stabil betrachtet. Daher ermöglicht die Verwendung des Metallkomplexes mit der Metall-Sauerstoff-Doppelbindung, dass das lichtemittierende Element bei niedriger Spannung betrieben werden kann.

[0142] Als ein Metallkomplex mit einer Metall-Sauerstoffbindung und einem aromatischen Liganden, ist ein auf Phthalocyanin basierendes Material bevorzugt. Insbesondere ist jedes von Vanadylphthalocyanin (VOPc), einem Phthalocyaninzinn(IV)oxidkomplex (SnOPc) und einem Phthalocyanintitanioxidkomplex (TiOPc) bevorzugt, da eine Metall-Sauerstoff Doppelbindung eher auf ein anderes Molekül in Bezug auf die molekulare Struktur wirkt und eine Akzeptoreigenschaft hoch ist.

[0143] Es sollte festgehalten werden, dass als die oben genannten auf Phthalocyanin basierenden Materialien, ein auf Phthalocyanin basierendes Material mit einer Phenoxygruppe bevorzugt ist. Insbesondere ist ein

Phthalocyaninderivat mit einer Phenoxygruppe, wie PhO-VOPc bevorzugt. Das Phthalocyaninderivat mit einer Phenoxygruppe ist in einem Lösungsmittel löslich und weist daher den Vorteil auf während der Bildung eines lichtemittierenden Elementes einfach in der Handhabung zu sein und den Vorteil die Wartung einer Vorrichtung, welche zur Filmherstellung verwendet wird, zu vereinfachen.

[0144] Die Elektronenrelais-Schicht **707** kann des Weiteren eine Donatorsubstanz enthalten. Als die Donatorsubstanz kann eine organische Verbindung, wie Tetrathianaphthacen (Abkürzung: TTN), Nickelocen oder Decamethylnickelocen verwendet werden, wie auch ein Alkalimetall, ein Erdalkalimetall, ein Seltenerdmetall und eine Verbindung des obigen Metalls (z.B. eine Alkalimetallvernindung (einschließlich eines Oxids, wie Lithiumoxid, eines Halogenids und eines Carbonats, wie Lithiumcarbonat oder Cesiumcarbonat), eine Erdalkalimetallverbindung (einschließlich eines Oxids, eines Halogenids und eines Carbonats) und einer Seltenerdmetallverbindung (einschließlich eines Oxids, eines Halogenids und eines Carbonats)). Wenn solch eine Donatorsubstanz in der Elektronenrelais-Schicht **707** enthalten sind, können Elektronen einfach übertragen werden und das lichtemittierende Element kann bei niedriger Spannung betrieben werden.

[0145] In dem Fall, in dem eine Donatorsubstanz in der Elektronenrelais-Schicht **707** enthalten ist, kann neben den oben als Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft genannten Materialien, eine Substanz mit einem höheren LUMO-Niveau als das Akzeptorniveau der in der Verbundmaterialschicht **708** enthaltene Akzeptorsubstanz verwendet werden. Insbesondere ist es bevorzugt eine Substanz zu verwenden, mit einem LUMO-Niveau von -5,0 eV oder mehr, vorzugsweise von -5,0 eV oder mehr und -3,0 eV oder weniger. Als Beispiele solch einer Substanz werden ein Perylenderivat, eine Stickstoffhaltige kondensierte aromatische Verbindung und dergleichen angeführt. Es sollte festgehalten werden, dass eine Stickstoffhaltige kondensierte Verbindung aufgrund deren Stabilität vorzugsweise für die Elektronenrelais-Schicht **707** verwendet wird.

[0146] Spezifische Beispiele des Perylenderivats sind 3,4,9,10-Perylentetracarboxyl dianhydrid (Abkürzung: PTCDA), 3,4,9,10-Perylentetracarboxyl-bis-benzimidazol (Abkürzung: PTCBI), N,N'-Diocetyl-3,4,9,10-perylentetracarboxyldiimid (Abkürzung: PTCDI-C8H), N,N'-Dihexyl-3,4,9,10-perylentetracarboxyldiimid (Abkürzung: Hex PTC) und dergleichen.

[0147] Spezifische Beispiele der Stickstoffhaltigen kondensierten aromatischen Verbindung sind Pirazino[2,3-fl[1,10]phenanthrolin-2,3-dicarbonitri (Abkürzung: PPDN), 2,3,6,7,10,11-Hexacyano-1,4,5,8,9,12-hexaaazatriphenylen (Abkürzung: HAT(CN)₆), 2,3-Diphenylpyrido[2,3-b]pyrazin (Abkürzung: 2PYPR), 2,3-Bis(4-fluorophenyl)pyrido[2,3-b]pyrazin (Abkürzung: F2PYPR) und dergleichen.

[0148] Daneben kann auch 7,7,8,8-Tetracyanochinodimethan (Abkürzung: TCNQ), 1,4,5,8-Naphthalintracarboxyldianhydrid (Abkürzung: NTCDA), Perfluorpentacen, Kupferhexadecafluorphthalocyanin (Abkürzung: F₁₆CuPc), N,N'-Bis(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-pentadecafluorooctyl)-1,4,5,8-naphthalintetracarboxyldiimid (Abkürzung: NTCDI-C8F), 3',4'-Dibutyl-5,5'-bis(dicyanomethylen)-5,5'-dihydro-2,2':5',2"-terthiophen (Abkürzung: DCMT), Methanofullerenen (z.B. [6,6]-Phenyl C₆₁ butylsäuremethylester) oder dergleichen verwendet werden.

[0149] Es sollte festgehalten werden, dass in dem Fall, in dem eine Donatorsubstanz in der Elektronenrelais-Schicht **707** enthalten ist, kann die Elektronenrelais-Schicht durch ein Verfahren, wie Co-Verdampfung der Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft und der Donatorsubstanz, gebildet werden.

[0150] Die Lochinjektionsschicht **701**, die Lochtransportschicht **702**, die lichtemittierende Schicht **703** und die Elektronentransportschicht **704** kann unter Verwendung der oben beschriebenen Materialien gebildet werden.

[0151] Wie oben beschrieben kann die EL-Schicht **102** dieser Ausführungsform gebildet werden.

[0152] In den oben beschriebenen lichtemittierende Element, fließt ein Strom aufgrund eines Potentialunterschiedes zwischen der ersten Elektrode **103** und der zweiten Elektrode **108** und Löcher und Elektronen rekommen in der EL-Schicht **102**, so dass Licht emittiert wird. Anschließend wird diese Lichtemission an die Außenseite extrahiert, entweder durch die erste Elektrode **102** oder die zweite Elektrode **108** oder beide. Daher ist entweder die erste Elektrode **103** oder die zweite Elektrode **108** oder beide eine Elektrode mit einer Eigenschaft sichtbares Licht zu durchzulassen.

[0153] Es sollte festgehalten werden, dass die Struktur der Schichten, welche zwischen der ersten Elektrode **103** und der zweiten Elektrode **108** bereitgestellt werden nicht auf die oben beschriebene Struktur beschränkt ist. Eine andere Struktur, als die oben beschriebene kann eingesetzt werden, solange ein lichtemittierender

Bereich, in welchem Löcher und Elektronen rekombinieren, in einem von der ersten Elektrode **103** und der zweiten Elektrode **108** entfernten Bereich bereitgestellt wird, um so Quenching aufgrund der Nähe des lichtemittierenden Bereichs zu dem Metall zu verhindern.

[0154] In anderen Worten gibt es keine besondere Beschränkung der Stapelstruktur der Schichten. Eine Schicht, enthaltend eine Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft, eine Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft, eine Substanz mit einer hohen Elektroneninjektionseigenschaft, eine Substanz mit einer hohen Lochinjektionseigenschaft, eine bipolare Substanz (eine Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft und einer hohen Lochtransporteigenschaft), ein Lockblockierungsmaterial oder dergleichen kann frei mit einer lichtemittierenden Schicht verwendet werden.

[0155] Unter Verwendung des in dieser Ausführungsform beschriebenen lichtemittierende Element kann eine lichtemittierende Einrichtung mit passiver Matrix oder eine lichtemittierende Einrichtung mit aktiver Matrix hergestellt werden, bei welcher die Ansteuerung des lichtemittierenden Elements mittels eines Transistors gesteuert wird. Des Weiteren kann die lichtemittierende Einrichtung in einer elektronischen Einrichtung, einer Beleuchtungseinrichtung oder dergleichen eingesetzt werden.

[0156] Es sollte festgehalten werden, dass in dem Fall, in dem eine Donatorsubstanz in der Elektronenrelais-Schicht **707** enthalten ist, die Elektronenrelais-Schicht **707** durch solch ein Verfahren, wie Co-Verdampfung der Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft und der Donatorsubstanz, gebildet werden kann.

[0157] Die Lochinjektionsschicht **701**, die Lochtransportschicht **702**, die lichtemittierende Schicht **703** und die Elektronentransportschicht **704** können jeweils unter Verwendung der obenbeschriebenen Materialien gebildet werden.

[0158] Wie oben beschrieben, kann die EL-Schicht dieser Ausführungsform gebildet werden.

[0159] Bei dem oben beschriebenen lichtemittierenden Element fließt ein Strom aufgrund eines Potentialunterschiedes zwischen der ersten Elektrode **103** und der zweiten Elektrode **108** und Löcher und Elektronen rekombinieren in der EL-Schicht **102**, so dass Licht emittiert wird. Anschließend wird diese Lichtemission entweder durch die erste Elektrode **103** oder die zweite Elektrode **108** oder beide nach außen gesendet. Daher ist entweder die erste Elektrode **103** oder die zweite Elektrode **108** oder beide, eine Elektrode mit einer Eigenschaft sichtbares Licht zu übertragen.

[0160] Es sollte festgehalten werden, dass die Struktur der Schichten, welche zwischen der ersten Elektrode **103** und der zweiten Elektrode **108** bereitgestellt sind, nicht auf die oben beschriebene Struktur beschränkt ist. Eine andere Struktur als die obige kann alternativ eingesetzt werden, so lange ein lichtemittierender Bereich, in welchem Löcher und Elektronen rekombinieren, in einem Bereich bereitgestellt wird, der von der ersten Elektrode **103** und der zweiten Elektrode **108** entfernt liegt, um Quenching aufgrund der Nähe des Nähe der lichtemittierenden Bereichs zu dem Metall zu verhindern.

[0161] In anderen Worten gibt es keine besondere Beschränkung bezüglich einer Stapelstruktur der Schichten. Eine Schicht mit einer Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft, einer Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft, einer Substanz mit einer hohen Elektroneninjektionseigenschaft, einer Substanz mit einer hohen Lochinjektionseigenschaft, einer bipolaren Substanz (einer Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft und einer hohen Lochtransporteigenschaft), einem Lockblockierungsmaterial oder dergleichen können frei kombiniert werden.

[0162] Unter Verwendung des in dieser Ausführungsform beschriebenen lichtemittierenden Elementes kann eine lichtemittierende Passiv-Matrix-Vorrichtung oder eine Aktiv-Matrix-Vorrichtung, bei welcher der Betrieb des lichtemittierenden Elements von einem Transistor gesteuert wird, hergestellt werden. Des Weiteren kann die lichtemittierende Vorrichtung in einer elektronischen Einrichtung, einer Beleuchtungseinrichtung oder dergleichen eingesetzt werden.

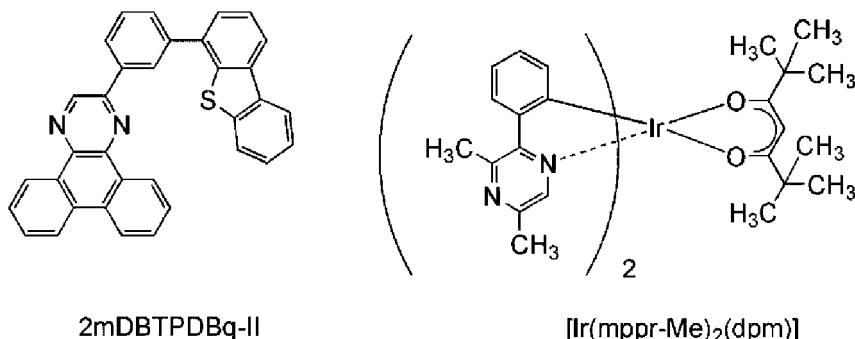
[0163] Auf die oben beschriebenen Weise kann das lichtemittierende Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hergestellt werden.

[0164] Es sollte festgehalten werden, dass diese Ausführungsform mit jeder der anderen Ausführungsformen kombiniert werden kann, wenn geeignet.

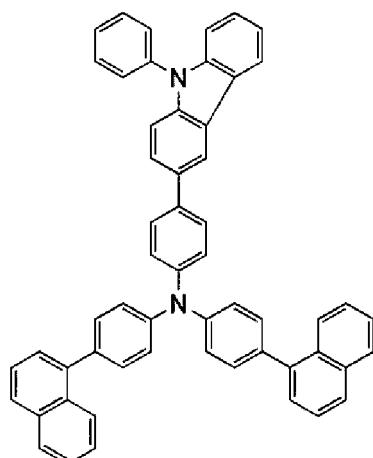
(Beispiel 1)

[0165] In diesem Beispiel wird in ein Beispiel einer Kombination einer ersten organischen Verbindung, einer zweiten organischen Verbindung und einer phosphoreszierenden Verbindung unter Bezugnahme auf die **Fig. 1A** und **Fig. 1B** beschrieben, welches als ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

[0166] Die in diesem Beispiel verwendete phosphoreszierende Verbindung ist bis(3,5-Dimethyl-2-phenylpyrazinato)(dipivaloylmethanato)iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$). Die in diesem Beispiel verwendete erste organische Verbindung ist 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2mDBTPDBq-II). Die in diesem Beispiel verwendete zweite organische Verbindung ist 4,4'-Di(1-naphthyl)-4''-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)triphenylamin (Abkürzung: PCBNBB). Die chemischen Formeln der in diesem Beispiel verwendeten Materialien sind nachfolgend dargestellt.



2mDBTPDBq-II

 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 

PCBNBB

Absorptionsspektrum

[0167] **Fig. 1A** und **Fig. 1B** zweigen jeweils ein UV-VIS Absorptionsspektrum (im Folgenden einfach als Absorptionsspektrum bezeichnet) von $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$, bei welchem es sich um die phosphoreszierende Verbindung in einer Dichlormethanlösung von $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ handelt. Das Absorptionsspektrum wurde unter Verwendung eines UV-VIS Spektrometers (V-550, hergestellt von JASCO Corporation) in dem Zustand gemessen, in dem die Dichlormethanlösung (0,093 mmol/l) in eine Quarzzele bei Raumtemperatur eingeführt wurde.

Emissionsspektrum

[0168] **Fig. 1A** und **Fig. 1B** zeigen auch ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus 2mDBTPDBq-II, bei welchem es sich die erste organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 1), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus PCBNBB, bei welchem es sich die zweite organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 2) und ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB (ein Emissionsspektrum 3). In der **Fig. 1A** stellt die horizontale Achse die Wellenlänge

(nm) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. In der **Fig. 1B** stellt die horizontale Achse die Energy (eV) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar.

[0169] Aus dem Absorptionsspektrum in **Fig. 1A** wird deutlich, dass $[Ir(mppt-Me)_2(dpm)]$ ein breites Absorptionsband bei ungefähr 520 nm aufweist. Man geht davon aus, dass dieses Absorptionsband wesentlich zu der Lichtemission beiträgt.

[0170] Das Emissionsspektrum weist einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigerer Energie) auf, als die Emissionsspektren 1 und 2. Zusätzlich ist der Peak des Emissionsspektrums 3 näher an dem Absorptionsband als die Peaks der Emissionsspektren 1 und 2. **Fig. 1A** und **Fig. 1B** zeigen, dass das Emissionsspektrum 3 die größte Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum aufweist, welches wesentlich zu der Lichtemission beiträgt. Insbesondere beträgt der Unterschied zwischen dem Peak des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum (ein Schulterpeak bei ungefähr 520 nm) und dem Peak des Emissionsspektrums 3 0,04 eV.

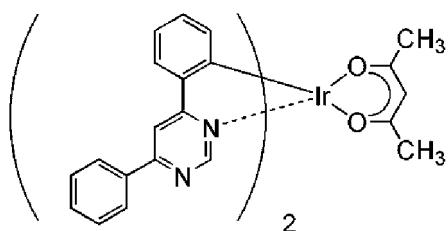
[0171] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigerer Energie) aufweist, als das Emissionsspektrum jeder organischen Verbindung alleine. Dies zeigt, dass ein Exciplex durch das Vermischen von 2mDBTPDBq-II mit PCBNBB gebildet wird.

[0172] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials eine große Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum von $[Ir(mppt-Me)_2(dpm)]$ aufweist, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu Lichtemission beiträgt. Daher wird gezeigt, dass das lichtemittierende Element enthaltend $[Ir(mppt-Me)_2(dpm)]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweist, da es Energie unter Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung überträgt. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher Quanteneffizienz erhalten werden kann.

(Beispiel 2)

[0173] In diesem Beispiel wird in einem Beispiel einer Kombination einer ersten organischen Verbindung, einer zweiten organischen Verbindung und einer phosphoreszierenden Verbindung unter Bezugnahme auf die **Fig. 2A** und **Fig. 2B** beschrieben, welche als ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

[0174] Die in diesem Beispiel verwendete phosphoreszierende Verbindung ist (Acetylacetonato)bis(4,6-diphenylpyrimidinato)iridium(III) (Abkürzung: $[Ir(dppm)_2(acac)]$). Die in diesem Beispiel verwendete erste organische Verbindung ist 2mDBTPDBq-II. Die in diesem Beispiel verwendete zweite organische Verbindung ist PCBNBB. Eine chemische Formel des in diesem Beispiel verwendeten Materials ist nachfolgend dargestellt. Die chemischen Formeln der in dem Beispiel 1 verwendeten Materialien werden hier weggelassen.



$[Ir(dppm)_2(acac)]$

Absorptionsspektrum

[0175] **Fig. 2A** und **Fig. 2B** zeigen jeweils ein UV-VIS Absorptionsspektrum (im Folgenden einfach als Absorptionsspektrum bezeichnet) von $[Ir(dppm)_2(acac)]$, bei welchem es sich um die phosphoreszierende Verbindung in einer Dichlormethanlösung von $[Ir(dppm)_2(acac)]$ handelt. Das Absorptionsspektrum wurde unter Ver-

wendung eines UV-VIS Spektrometers (V-550, hergestellt von JASCO Corporation) in dem Zustand gemessen, in dem die Dichlormethanolösung (0,093 mmol/l) in eine Quarzzelle bei Raumtemperatur eingeführt wurde.

Emissionsspektrum

[0176] **Fig. 2A** und **Fig. 2B** zeigen auch ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus 2mDBTPDBq-II, bei welchem es sich die erste organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 4), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus PCBNBB, bei welchem es sich die zweite organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 5) und ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB (ein Emissionsspektrum 6). In der **Fig. 2A** stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. In der **Fig. 2B** stellt die horizontale Achse die Energy (eV) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar.

[0177] Aus dem Absorptionsspektrum in **Fig. 2A** wird deutlich, dass $[Ir(dppm)_2(acac)]$ ein breites Absorptionsband bei ungefähr 520 nm aufweist. Man geht davon aus, dass dieses Absorptionsband wesentlich zu der Lichtemission beiträgt.

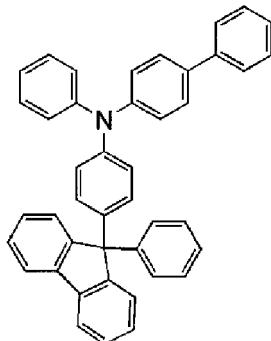
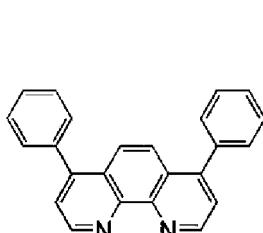
[0178] Das Emissionsspektrum 6 weist einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) auf, als die Emissionsspektren 4 und 5. Zusätzlich ist der Peak des Emissionsspektrums 6 näher an dem Absorptionsband als die Peaks der Emissionsspektren 4 und 5. **Fig. 2A** und **Fig. 2B** zeigen, dass das Emissionsspektrum 6 die größte Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum aufweist, welches wesentlich zu der Lichtemission beiträgt. Insbesondere beträgt der Unterschied zwischen dem Peak des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum (515 nm) und dem Peak des Emissionsspektrums 6 0,02 eV.

[0179] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) aufweist, als das Emissionsspektrum jeder organischen Verbindung alleine. Dies zeigt, dass ein Exciplex durch das Vermischen von 2mDBTPDBq-II mit PCBNBB gebildet wird.

[0180] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials eine große Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum von $[Ir(dppm)_2(acac)]$ aufweist, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu Lichtemission beiträgt. Daher wird gezeigt, dass das lichtemittierende Element enthaltend $[Ir(dppm)_2(acac)]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweist, da es Energie unter Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung überträgt. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher Quanteneffizienz erhalten werden kann.

(Beispiel 3)

[0181] In diesem Beispiel wird in ein lichtemittierendes Element der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 15** beschrieben. Chemische Formeln der in diesem Beispiel verwendeten Materialien sind nachfolgend dargestellt. Die chemischen Formeln der in dem Beispiel 1 verwendeten Materialien werden hier weggelassen.



BPAFLP

[0182] Verfahren zur Herstellung eines lichtemittierenden Elementes 3 dieses Beispiels und eines lichtemittierenden Vergleichselementes 2 werden nachfolgend beschrieben.

(Lichtemittierendes Element 1)

[0183] Zunächst wurde ein Film aus Indiumzinnoxid enthaltend Siliziumoxid (ITSO) auf einem Glassubstrat **1100** durch ein Sputterverfahren gebildet, so das eine erste Elektrode **1101**, welche als Anode diente, gebildet wurde. Es sollte festgehalten werden, dass die Dicke auf 110 nm eingestellt wurde und dass die Elektrodenfläche auf 2 mm × 2 mm eingestellt wurde.

[0184] Nachfolgend wurde als eine Vorbehandlung zur Bildung des lichtemittierenden Elementes auf dem Substrat **1100** eine UV-Ozon-Behandlung für 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrates mit Wasser gewaschen wurde und es bei 200 °C für eine Stunde gebrannt bzw. gebacken wurde.

[0185] Anschließend wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfungsvorrichtung befördert, in welcher der Druck auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert wurde, und wurde einem Vakuumbacken bei 170 °C für 30 Minuten in einer Heizkammer der Vakuumverdampfungsvorrichtung unterworfen und anschließend wurde das Substrat **1100** für ungefähr 30 Minuten abgekühlt.

[0186] Danach wurde das mit der ersten Elektrode **1101** bereitgestellte Substrat **1100** an einem Substrathalter in der Vakuumverdampfungsvorrichtung befestigt, so das seine Oberfläche, auf welcher die erste Elektrode **1101** bereitgestellt war, nach unten zeigte. Der Druck in der Vakuumverdampfungsvorrichtung wurde auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert. Anschließend wurden 4-Phenyl-4'-(9-phenylfluoren-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: BPAFLP) und Molybdän(VI)oxid co-verdampft, um eine Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** zu bilden. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** wurde auf 40 nm eingestellt und das Gewichtsverhältnis von BPAFLP zu Molybdänoxid wurde auf 4:2 eingestellt (= BPAFLP : Molybdänoxid).

[0187] Danach wurde auf der Lochinjektionsschicht **1111** eine Schicht aus BPAFLP mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine Lochtransportschicht **1112** zu bilden.

[0188] Des Weiteren wurden 2mDBTPDBq-II, PCBNBB und $[\text{Ir}(\text{mpqr-Me})_2(\text{dpm})]$ co-verdampft, um eine lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** zu bilden. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu PCBNBB und $[\text{Ir}(\text{mpqr-Me})_2(\text{dpm})]$ auf 0,8:0,2:0,05 (= 2mDBTPDBq-II : PCBNBB : $[\text{Ir}(\text{mpqr-Me})_2(\text{dpm})]$) eingestellt. Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt.

[0189] Des Weiteren wurde auf der lichtemittierenden Schicht **1113** ein Film aus 2mDBTPDBq-II mit einer Dicke von 10 nm gebildet, um eine erste Elektronentransportschicht **1114a** zu bilden.

[0190] Dann wurde auf der ersten Elektronentransportschicht **1114a** ein Film aus Bathophenanthrolin (Abkürzung: Bphen) mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine zweite Elektronentransportschicht **1114b** zu bilden.

[0191] Des Weiteren wurde auf der zweiten Elektronentransportschicht **1114b** ein Film aus Lithiumfluorid LiF durch Verdampfung mit einer Dicke von 1 nm gebildet, um eine Elektroneninjektionsschicht **1115** zu bilden.

[0192] Zuletzt wurde ein Aluminiumfilm durch Verdampfung mit einer Dicke von 200 nm als eine zweite Elektrode **1103** gebildet, welche als eine Kathode diente. Auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 1 dieses Beispiels hergestellt.

(Lichtemittierendes Vergleichselement 2)

[0193] Eine lichtemittierende Schicht **1113** des lichtemittierenden Vergleichselementes 2 wurde durch co-Verdampfung von 2mDBTPDBq-II und $[\text{Ir}(\text{mpqr-Me})_2(\text{dpm})]$ gebildet. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu $[\text{Ir}(\text{mpqr-Me})_2(\text{dpm})]$ auf 1:0,05 eingestellt (= 2mDBTPDBq-II : $[\text{Ir}(\text{mpqr-Me})_2(\text{dpm})]$). Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt. Die weiteren Bestandteile außer der lichtemittierenden Schicht **1113** wurden auf ähnliche Weise wie bei dem lichtemittierenden Element 1 hergestellt.

[0194] Es sollte festgehalten werden, dass bei allen obigen Verdampfungsschritten die Verdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0195] Tabelle 1 zeigt Elementstrukturen des lichtemittierenden Elementes 3 und des lichtemittierenden Vergleichselementes 2, welche wie oben beschrieben erhalten wurden.

Tabelle 1

| | Erste Elektrode | Loch-injektions-schicht | Loch-transport-schicht | Lichtemittierende Schicht | Erste Elektronen-transport-schicht | Zweite Elektronen-transport-schicht | Elektroneninjektions-schicht | Zweite Elektrode |
|--|-----------------|---------------------------|------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| Lichtemittierendes Element 1 | ITSO 110 nm | BPAFLP: MoOx (= 4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : PCBNBB:[Ir(dppm) ₂ (acac)] (= 0,8:0,2:0,05) 40 nm | 2mDBT-PDBq-II 10 nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| Lichtemittierendes Vergleichselement 2 | ITSO 110 nm | BPAFLP: MoOx (= 4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : [Ir(dppm)z(acac)] (= 1:0,05) 40 nm | 2mDBT-PDBq-II 10 nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

[0196] In einer Glove Box, welche eine Stickstoffatmosphäre enthielt, wurden diese lichtemittierenden Elemente abgedichtet, um der Luft nicht ausgesetzt zu werden. Anschließend wurden die Betriebseigenschaften der Elemente gemessen. Es sollte festgehalten werden, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer auf 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0197] Fig. 3 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements 1 und des lichtemittierenden Vergleichselements 2. In Fig. 3 stellt die horizontale Achse die Stromdichte (mA/cm^2) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 4 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik dieser. In Fig. 4 stellt die horizontale Achse die Spannung (V) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 5 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik dieser. In Fig. 5 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die Stromausbeute (cd/A) dar. Fig. 6 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik dieser. In Fig. 6 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die externe Quanteneffizienz (%) dar.

[0198] Des Weiteren zeigt Tabelle 2 die Spannung (V), die Stromdichte (mA/cm^2), die CIE Farbwertanteile (x, y), die Stromausbeute (cd/A), die Leistungseffizienz (lm/W) und die externe Quanteneffizienz (%) jedes des lichtemittierenden Elements 1 und des lichtemittierenden Vergleichselementes 2 bei einer Leuchtdichte von ungefähr 1000 cd/m^2 .

Tabelle 2

| | Spannung (V) | Stromdichte (mA/cm ²) | Farbwertanteile (x, y) | Leuchtdichte (cd/m ²) | Stromausbeute (cd/A) | Leistungseffizienz (lm/W) | Externe Quanteneffizienz (%) |
|---|--------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------|
| Licht-emittierendes Element 1 | 3,0 | 1,8 | (0,54, 0,46) | 1200 | 64 | 67 | 24 |
| Licht-emittierendes Vergleichselement 2 | 3,1 | 2,1 | (0,55, 0,44) | 960 | 45 | 46 | 17 |

[0199] Fig. 7 zeigt die Emissionsspektren des lichtemittierenden Elementes 1 und des lichtemittierenden Vergleichselementes 2, welche unter Anlegen eines Stromes von 0,1 mA erhalten wurden. In Fig. 7 stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. Wie in Tabelle 2 dargestellt, betragen die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Elementes 1 bei einer Leuchtdichte von 1200 cd/m² (x, y) = (0,56, 0,44) und die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Vergleichselementes 2 bei einer Leuchtdichte von 960 cd/m² betragen (x, y) = (0,55, 0,44). Diese Ergebnisse zeigen, dass die orange Lichtemission, die von [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] stammt, von dem lichtemittierenden Element 1 und dem lichtemittierenden Vergleichselement 2 erhalten wurde.

[0200] Aus Tabelle 2 und den Fig. 3 bis Fig. 6 wird deutlich, dass das lichtemittierende Element 1 eine höhere Stromausbeute, höhere Leistungseffizienz und höhere externe Quanteneffizienz als das lichtemittierende Vergleichselement 2 aufweist.

[0201] Bei dem lichtemittierenden Element dieses Beispiels 1 wurden 2mDBTPDBq-II, PCBNBB und [Ir(mp-pr-Me)₂(dpm)], welche in Beispiel 1 beschrieben sind, für die lichtemittierende Schicht verwendet. Wie in Beispiel 1 beschrieben weist das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB (das Emissionsspektrum eines Exciplex) eine größere Überlappung mit dem Absorptionsspektrum von [Ir(mp-pr-Me)₂(dpm)] auf, im Vergleich mit dem Emissionsspektrum von 2mDBTPDBq-II oder PCBNBB alleine. Bei dem lichtemittierende Element 1 dieses Beispiels wird davon ausgegangen, dass es eine hohe Energieübertragungseffizienz durch Verwendung der Überlappung aufweist und daher eine höhere externe Quanteneffizienz aufweist als das lichtemittierende Vergleichselement 2.

[0202] Die obigen Ergebnisse zeigen, dass ein Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

[0203] Anschließend wurden das lichtemittierende Element 1 und das lichtemittierende Vergleichselement 2 Zuverlässigkeitstests unterworfen. Die Ergebnisse der Zuverlässigkeitstests sind in Fig. 8 dargestellt. In Fig. 8 stellt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) mit einer anfänglichen Leuchtdichte von 100 % dar und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) der Elemente dar.

[0204] Bei den Zuverlässigkeitstests wurden das lichtemittierende Element 1 und das lichtemittierende Vergleichselement 2 unter den Bedingungen betrieben, bei denen die anfängliche Leuchtdichte auf 5000 cd/m² eingestellt wurde und die Stromdichte konstant war.

[0205] Die Leuchtdichte des lichtemittierenden Vergleichselements 2 betrug nach 120 Stunden 58 % der anfänglichen Leuchtdichte. Die Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 1 betrug nach 630 Stunden 65 % der anfänglichen Leuchtdichte. Aus dem Ergebnis erkennt man, dass das lichtemittierende Element 1 eine längere Lebensdauer aufweist als das lichtemittierende Vergleichselement 2.

[0206] Die obigen Resultate zeigen, dass ein Element mit einer hohen Zuverlässigkeit durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

(Beispiel 4)

[0207] In diesem Beispiel wird in ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 15** beschrieben. Die in diesem Beispiel verwendeten Materialien wurden in den obigen Beispielen verwendet, daher werden die chemischen Formeln dieser hier weggelassen.

[0208] Ein Verfahren zur Herstellung eines lichtemittierenden Elementes 3 dieses Beispiels wird nachfolgend beschrieben.

(Lichtemittierendes Element 3)

[0209] Zunächst wurde ein Film aus ITSO auf einem Glassubstrat **1100** durch ein Sputterverfahren gebildet, so das eine erste Elektrode **1101**, welche als Anode diente, gebildet wurde. Es sollte festgehalten werden, dass die Dicke auf 110 nm eingestellt wurde und dass die Elektrodenfläche auf 2 mm × 2 mm eingestellt wurde.

[0210] Nachfolgend wurde als eine Vorbehandlung zur Bildung des lichtemittierenden Elementes auf dem Substrat **1100**, eine UV-Ozon-Behandlung für 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrates mit Wasser gewaschen wurde und es bei 200 °C für eine Stunde gebrannt bzw. gebacken wurde.

[0211] Anschließend wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfungsvorrichtung befördert, in welcher der Druck auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert wurde, und wurde einem Vakumbacken bei 170 °C für 30 Minuten in einer Heizkammer der Vakuumverdampfungsvorrichtung unterworfen und anschließend wurde das Substrat **1100** für ungefähr 30 Minuten abgekühlt.

[0212] Danach wurde das mit der ersten Elektrode **1101** bereitgestellte Substrat **1100** an einem Substrathalter in der Vakuumverdampfungsvorrichtung befestigt, so das seine Oberfläche, auf welcher die erste Elektrode **1101** bereitgestellt war, nach unten zeigte. Der Druck in der Vakuumverdampfungsvorrichtung wurde auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert. Anschließend wurden BPAFLP und Molybdän(VI) oxid co-verdampft, um eine Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** zu bilden. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** wurde auf 40 nm eingestellt und das Gewichtsverhältnis von BPAFLP zu Molybdänoxid wurde auf 4:2 eingestellt (= BPAFLP : Molybdänoxid).

[0213] Danach wurde auf der Lochinjektionsschicht **1111** eine Schicht aus BPAFLP mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine Lochtransportschicht **1112** zu bilden.

[0214] Des Weiteren wurden 2mDBTPDBq-II, PCBNBB und $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ co-verdampft, um eine lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** zu bilden. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu PCBNBB und $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ auf 0,8:0,2:0,05 (= 2mDBTPDBq-II : PCBNBB : $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$) eingestellt. Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt.

[0215] Des Weiteren wurde auf der lichtemittierenden Schicht **1113** ein Film aus 2mDBTPDBq-II mit einer Dicke von 10 nm gebildet, um eine erste Elektronentransportschicht **1114a** zu bilden.

[0216] Dann wurde auf der ersten Elektronentransportschicht **1114a** ein Film aus Bphen mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine zweite Elektronentransportschicht **1114b** zu bilden.

[0217] Des Weiteren wurde auf der zweiten Elektronentransportschicht **1114b** ein Film aus LiF durch Verdampfung mit einer Dicke von 1 nm gebildet, um eine Elektroneninjektionsschicht **1115** zu bilden.

[0218] Zuletzt wurde ein Aluminiumfilm durch Verdampfung mit einer Dicke von 200 nm al seine zweite Elektrode **1103** gebildet, welche als eine Kathode diente. Auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 3 dieses Beispiels hergestellt.

[0219] Es sollte festgehalten werden, dass bei allen obigen Verdampfungsschritten die Verdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0220] Tabelle 3 zeigt eine Elementstruktur des lichtemittierenden Elementes 3, welches wie oben beschrieben erhalten wurde.

(Tabelle 3)

| | Erste Elektrode | Loch-injektions-schicht | Loch-transport-schicht | Lichtemittierende Schicht | Erste Elektronen-transport-schicht | Zweite Elektronen-transport-schicht | Elektroneninjektions-schicht | Zweite Elektrode |
|------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| Lichtemittierendes Element 1 | ITSO 110 nm | BPAFLP: MoOx (= 4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : PCBNBB:[Ir(dppm) ₂ (acac)] (= 0,8:0,2:0,05) 40 nm | 2mDBT-PDBq-II 10 nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

[0221] In einer Glove Box, welche eine Stickstoffatmosphäre enthielt, wurde das lichtemittierende Element 3 abgedichtet, um der Luft nicht ausgesetzt zu werden. Anschließend wurden die Betriebseigenschaften der Elemente gemessen. Es sollte festgehalten werden, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer auf 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0222] Fig. 9 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements 3. In Fig. 9 stellt die horizontale Achse die Stromdichte (mA/cm^2) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 10 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik dieser. In Fig. 10 stellt die horizontale Achse die Spannung (V) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 11 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik dieser. In Fig. 11 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die Stromausbeute (cd/A) dar. Fig. 12 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik dieser. In Fig. 12 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die externe Quanteneffizienz (%) dar.

[0223] Des Weiteren zeigt Tabelle 4 die Spannung (V), die Stromdichte (mA/cm^2), die CIE Farbwertanteile (x, y), die Stromausbeute (cd/A), die Leistungseffizienz (lm/W) und die externe Quanteneffizienz (%) des lichtemittierenden Elements 3 bei einer Leuchtdichte von ungefähr $1100 \text{ cd}/\text{m}^2$.

Tabelle 4

| | Spannung (V) | Stromdichte (mA/cm^2) | Farbwertanteile (x, y) | Stromausbeute (cd/A) | Leistungseffizienz (lm/W) | Externe Quanteneffizienz (%) |
|------------------------------|--------------|---|------------------------|--|---|------------------------------|
| Lichtemittierendes Element 3 | 2,9 | 1,5 | (0,54, 0,46) | 77 | 83 | 28 |

[0224] Fig. 13 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elementes 3, welches unter Anlegen eines Stromes von 0,1 mA erhalten wurde. In Fig. 13 stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. Wie in Tabelle 4 dargestellt, betragen die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Elementes 3 bei einer Leuchtdichte von $1100 \text{ cd}/\text{m}^2$ (x, y) = (0,54, 0,46). Diese Ergebnisse zeigen, dass die orange Lichtemission, die von $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ stammt, von dem lichtemittierenden Element 3 erhalten wurde.

[0225] Aus Tabelle 4 und den Fig. 9 bis Fig. 12 wird deutlich, dass das lichtemittierende Element 3 eine hohe Stromausbeute, hohe Leistungseffizienz und hohe externe Quanteneffizienz aufweist. Insbesondere weist das lichtemittierende Element 3 eine extrem hohe externe Quanteneffizienz von 28 % bei einer Leuchtdichte von $1100 \text{ cd}/\text{m}^2$ auf. Wie oben beschrieben sagt man, dass die obere Grenze der externen Quanteneffizienz bei ungefähr 25 % liegt. Das Ergebnis der externen Quanteneffizienz liegt diesmal über der Grenze.

[0226] Bei dem lichtemittierenden Element dieses Beispiels wurden 2mDBTPDBq-II, PCBNBB und $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$, welche in Beispiel 2 beschrieben sind, für die lichtemittierende Schicht verwendet. Wie in Beispiel 2 beschrieben weist das Emissionspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB (das Emissionsspektrum eines Exciplex) eine größere Überlappung mit dem Absorptionsspektrum von $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ auf, im Vergleich mit dem Emissionsspektrum von 2mDBTPDBq-II oder PCBNBB alleine. Bei dem lichtemittierende Element dieses Beispiels wird davon ausgegangen, dass es eine hohe Energieübertragungseffizienz durch Verwendung der Überlappung aufweist und daher eine noch nie dagewesene externe Quanteneffizienz aufweist.

[0227] Die obigen Ergebnisse des Beispiels 2 zeigen, dass ein Peak des Absorptionsbandes auf der Seite der längsten Wellenlänge in dem Absorptionsspektrum des Gastmaterials, welches in dem lichtemittierenden Element 3 verwendet wird, einem Peak eines Emissionsspektrums nahe kommt und dass der molare Absorptionskoeffizient an dem Peak hoch ist ($> 5000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$). Aus den Ergebnissen wird daher gefolgert, dass das lichtemittierende Element 3 eine besonders hohe Energieübertragungseffizienz und daher eine noch nie dagewesene externe Quanteneffizienz aufweist.

[0228] Die obigen Ergebnisse zeigen, dass ein Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

[0229] Anschließend wurden das lichtemittierende Element 3 Zuverlässigkeitsuntersuchungen unterworfen. Die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsuntersuchungen sind in **Fig. 14** dargestellt. In **Fig. 14** stellt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) mit einer anfänglichen Leuchtdichte von 100 % dar und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) der Elemente dar.

[0230] Bei den Zuverlässigkeitsuntersuchungen wurde das lichtemittierende Element 3 unter den Bedingungen betrieben, bei denen die anfängliche Leuchtdichte auf 5000 cd/m^2 eingestellt wurde und die Stromdichte konstant war.

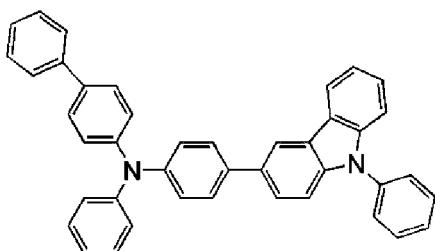
[0231] Das lichtemittierende Element wies nach einer Betriebsdauer von 320 Stunden 92 % der anfänglichen Leuchtdichte auf.

[0232] Die obigen Resultate zeigen, dass ein Element mit einer hohen Zuverlässigkeit durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

(Beispiel 5)

[0233] In diesem Beispiel wird in ein Beispiel einer Kombination einer ersten organischen Verbindung, einer zweiten organischen Verbindung und einer phosphoreszierenden Verbindung unter Bezugnahme auf die **Fig. 18A** und **Fig. 18B** beschrieben, welches als ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

[0234] Die in diesem Beispiel verwendete phosphoreszierende Verbindung ist $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$. Die in diesem Beispiel verwendete erste organische Verbindung ist 2mDBTPDBq-II. Die in diesem Beispiel verwendete zweite organische Verbindung ist 4-Phenyl-4'-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)triphenylamin (Abkürzung: PCBA1BP). Eine chemische Formel des in diesem Beispiel verwendeten Materials ist nachfolgend dargestellt. Die chemischen Formeln der in den obigen Beispielen verwendeten Materialien werden hier weggelassen.



PCBA1BP

Absorptionsspektrum

[0235] **Fig. 18A** und **Fig. 18B** zweigen jeweils ein UV-VIS Absorptionsspektrum (im Folgenden einfach als Absorptionsspektrum bezeichnet) von of $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$, bei welchem es sich um die phosphoreszierende Verbindung in einer Dichlormethanolösung von $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ handelt. Das Absorptionsspektrum wurde unter Verwendung eines UV-VIS Spektrometers (V-550, hergestellt von JASCO Corporation) in dem Zustand gemessen, in dem die Dichlormethanolösung (0,093 mmol/l) in eine Quarzzelle bei Raumtemperatur eingeführt wurde.

Emissionsspektrum

[0236] **Fig. 18A** und **Fig. 18B** zeigen auch ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus 2mDBTPDBq-II, bei welchem es sich die erste organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 7), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus PCBA1 BP, bei welchem es sich die zweite organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 8) und ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und PCBA1BP (ein Emissionsspektrum 9). In der **Fig. 18A** stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. In der **Fig. 18B** stellt die horizontale Achse die Energy (eV) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar.

[0237] Aus dem Absorptionsspektrum in **Fig. 18A** wird deutlich, dass $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ ein breites Absorptionsband bei ungefähr 520 nm aufweist. Man geht davon aus, dass dieses Absorptionsband wesentlich zu der Lichtemission beiträgt.

[0238] Das Emissionsspektrum 9 weist einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) auf, als die Emissionsspektren 7 und 8. Zusätzlich ist der Peak des Emissionsspektrums 9 näher an dem Absorptionsband als die Peaks der Emissionsspektren 7 und 8. **Fig. 18A** und **Fig. 18B** zeigen, dass das Emissionsspektrum 9 die größte Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum aufweist, welches wesentlich zu der Lichtemission beiträgt. Insbesondere beträgt der Unterschied zwischen dem Peak des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum (515 nm) und dem Peak des Emissionsspektrums 9 0,02 eV.

[0239] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und PCBA1 BP einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) aufweist, als das Emissionsspektrum jeder organischen Verbindung alleine. Dies zeigt, dass ein Exciplex durch das Vermischen von 2mDBTPDBq-II mit PCBA1 BP gebildet wird.

[0240] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials eine große Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum von $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ aufweist, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu Lichtemission beiträgt. Daher wird gezeigt, dass das lichtemittierende Element enthaltend $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und PCBA1 BP eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweist, da es Energie unter Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung überträgt. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher Quateneffizienz erhalten werden kann.

(Beispiel 6)

[0241] In diesem Beispiel wird in ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 15** beschrieben. Die in diesem Beispiel verwendeten Materialien wurden in den obigen Beispielen verwendet, daher werden die chemischen Formeln dieser hier weggelassen.

[0242] Ein Verfahren zur Herstellung eines lichtemittierenden Elementes 4 dieses Beispieles wird nachfolgend beschrieben.

(Lichtemittierendes Element 4)

[0243] Zunächst wurde ein Film aus ITSO auf einem Glassubstrat **1100** durch ein Sputterverfahren gebildet, so das seine erste Elektrode **1101**, welche als Anode diente, gebildet wurde. Es sollte festgehalten werden, dass die Dicke auf 110 nm eingestellt wurde und dass die Elektrodenfläche auf 2 mm × 2 mm eingestellt wurde.

[0244] Nachfolgend wurde als eine Vorbehandlung zur Bildung des lichtemittierenden Elementes auf dem Substrat **1100** eine UV-Ozon-Behandlung für 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrates mit Wasser gewaschen wurde und es bei 200 °C für eine Stunde gebrannt bzw. gebacken wurde.

[0245] Anschließend wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfungsvorrichtung befördert, in welcher der Druck auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert wurde, und wurde einem Vakuumbacken bei 170 °C für 30 Minuten in einer Heizkammer der Vakuumverdampfungsvorrichtung unterworfen und anschließend wurde das Substrat **1100** für ungefähr 30 Minuten abgekühlt.

[0246] Danach wurde das mit der ersten Elektrode **1101** bereitgestellte Substrat **1100** an einem Substrthalter in der Vakuumverdampfungsvorrichtung befestigt, so dass seine Oberfläche, auf welcher die erste Elektrode **1101** bereitgestellt war, nach unten zeigte. Der Druck in der Vakuumverdampfungsvorrichtung wurde auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert. Anschließend wurden BPAFLP und Molybdän(VI)oxid co-verdampft, um eine Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** zu bilden. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** wurde auf 40 nm eingestellt und das Gewichtsverhältnis von BPAFLP zu Molybdänoxid wurde auf 4:2 eingestellt (= BPAFLP : Molybdänoxid).

[0247] Danach wurde auf der Lochinjektionsschicht **1111** eine Schicht aus BPAFLP mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine Lochtransportschicht **1112** zu bilden.

[0248] Des Weiteren wurden 2mDBTPDBq-II, PCBA1BP und $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ co-verdampft, um eine lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** zu bilden. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu PCBA1BP und $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ auf 0,8:0,2:0,1 (= 2mDBTPDBq-II : PCBA1BP: $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$) eingestellt. Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt.

[0249] Des Weiteren wurde auf der lichtemittierenden Schicht **1113** ein Film aus 2mDBTPDBq-II mit einer Dicke von 15 nm gebildet, um eine erste Elektronentransportschicht **1114a** zu bilden.

[0250] Dann wurde auf der ersten Elektronentransportschicht **1114a** ein Film aus Bphen mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine zweite Elektronentransportschicht **1114b** zu bilden.

[0251] Dann wurde auf der ersten Elektronentransportschicht **1114a** ein Film aus Bphen mit einer Dicke von 15 nm gebildet, um eine zweite Elektronentransportschicht **1114b** zu bilden.

[0252] Des Weiteren wurde auf der zweiten Elektronentransportschicht **1114b** ein Film aus LiF durch Verdampfung mit einer Dicke von 1 nm gebildet, um eine Elektroneninjektionsschicht **1115** zu bilden.

[0253] Zuletzt wurde ein Aluminiumfilm durch Verdampfung mit einer Dicke von 200 nm als eine zweite Elektrode **1103** gebildet, welche als eine Kathode diente. Auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 4 dieses Beispiels hergestellt.

[0254] Es sollte festgehalten werden, dass bei allen obigen Verdampfungsschritten die Verdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0255] Tabelle 3 zeigt eine Elementstruktur des lichtemittierenden Elementes 3, welches wie oben beschrieben erhalten wurde.

(Tabelle 5)

| | Erste Elektrode | Loch-injektions-schicht | Loch-transport-schicht | Lichtemittierende Schicht | Erste Elektronen-transport-schicht | Zweite Elektronen-transport-schicht | Elektroneninjektions-schicht | Zweite Elektrode |
|------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| Lichtemittierendes Element 4 | ITSO 110 nm | BPAFLP: MoOx (= 4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : PCBA1 BP:[Ir(dppm) ₂ (acac)] (= 0,8:0,2:0,05) 40 nm | 2mDBT-PDBq-II 15 nm | Bphen 15 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

[0256] In einer Glove Box, welche eine Stickstoffatmosphäre enthielt, wurde das lichtemittierende Element 4 abgedichtet, um der Luft nicht ausgesetzt zu werden. Anschließend wurden die Betriebseigenschaften der Elemente gemessen. Es sollte festgehalten werden, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer auf 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0257] Fig. 19 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements 4. In Fig. 19 stellt die horizontale Achse die Stromdichte (mA/cm^2) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 20 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik dieser. In Fig. 20 stellt die horizontale Achse die Spannung (V) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 21 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik dieser. In Fig. 21 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die Stromausbeute (cd/A) dar. Fig. 22 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik dieser. In Fig. 22 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die externe Quanteneffizienz (%) dar.

[0258] Des Weiteren zeigt Tabelle 6 die Spannung (V), die Stromdichte (mA/cm^2), die CIE Farbwertanteile (x, y), die Stromausbeute (cd/A), die Leistungseffizienz (lm/W) und die externe Quanteneffizienz (%) des lichtemittierenden Elements 4 bei einer Leuchtdichte von ungefähr $1100 \text{ cd}/\text{m}^2$.

Tabelle 6

| | Spannung (V) | Stromdichte (mA/cm^2) | Farbwertanteile (x, y) | Stromausbeute (cd/A) | Leistungseffizienz (lm/W) | Externe Quanteneffizienz (%) |
|------------------------------|--------------|---|------------------------|--|---|------------------------------|
| Lichtemittierendes Element 4 | 3,0 | 1,4 | (0,57, 0,43) | 76 | 70 | 31 |

[0259] Fig. 23 zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elementes 4, welches unter Anlegen eines Stromes von 0,1 mA erhalten wurde. In Fig. 23 stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. Wie in Tabelle 6 dargestellt, betragen die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Elementes 3 bei einer Leuchtdichte von $1100 \text{ cd}/\text{m}^2$ (x, y) = (0,57, 0,43). Diese Ergebnisse zeigen, dass die orange Lichtemission, die von $[\text{Ir}(dppm)_2(\text{acac})]$ stammt, von dem lichtemittierenden Element 4 erhalten wurde.

[0260] Aus Tabelle 6 und den Fig. 19 bis Fig. 22 wird deutlich, dass das lichtemittierende Element 4 eine hohe Stromausbeute, hohe Leistungseffizienz und hohe externe Quanteneffizienz aufweist. Insbesondere weist das lichtemittierende Element 4 eine extrem hohe externe Quanteneffizienz von 31 % bei einer Leuchtdichte von $1100 \text{ cd}/\text{m}^2$ auf. Wie oben beschrieben sagt man, dass die obere Grenze der externen Quanteneffizienz bei ungefähr 25 % liegt. Das Ergebnis der externen Quanteneffizienz liegt diesmal über der Grenze.

[0261] Bei dem lichtemittierenden Element dieses Beispiels wurden 2mDBTPDBq-II, PCBA1BP und $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$, welche in Beispiel 5 beschrieben sind, für die lichtemittierende Schicht verwendet. Wie in Beispiel 5 beschrieben, weist das Emissionspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und PCBA1BP (das Emissionsspektrum eines Exciplex) eine größere Überlappung mit dem Absorptionsspektrum von $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ auf, im Vergleich mit dem Emissionsspektrum von 2mDBTPDBq-II oder PCBA1BP alleine. Bei dem lichtemittierende Element dieses Beispiels wird davon ausgegangen, dass es eine hohe Energieübertragungseffizienz durch Verwendung der Überlappung aufweist und daher eine noch nie dagewesene externe Quanteneffizienz aufweist.

[0262] Die obigen Ergebnisse des Beispiels 2 zeigen, dass ein Peak des Absorptionsbandes auf der Seite der längsten Wellenlänge in dem Absorptionsspektrum des Gastmaterials, welches in dem lichtemittierenden Element 3 verwendet wird, einem Peak eines Emissionsspektrums nahe kommt und dass der molare Absorptionskoeffizient an dem Peak hoch ist ($> 5000 \text{ M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$). Aus den Ergebnissen wird daher gefolgert, dass das lichtemittierende Element eine besonders hohe Energieübertragungseffizienz und daher eine noch nie dagewesene externen Quanteneffizienz aufweist.

[0263] Die obigen Ergebnisse des Beispiels 5 zeigen, dass ein Peak des Absorptionsbandes auf der Seite der längsten Wellenlänge in dem Absorptionsspektrum des Gastmaterials, welches in dem lichtemittierenden Element 4 verwendet wird, einem Peak eines Emissionsspektrums nahe kommt und dass der molare Absorptionskoeffizient an dem Peak hoch ist ($> 5000 \text{ M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$). Aus den Ergebnissen wird daher gefolgert, dass das lichtemittierende Element 4 eine besonders hohe Energieübertragungseffizienz und daher eine noch nie dagewesene externe Quanteneffizienz aufweist.

[0264] Die obigen Ergebnisse zeigen, dass ein Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

[0265] Anschließend wurden das lichtemittierende Element 4 Zuverlässigkeitsuntersuchungen unterworfen. Die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsuntersuchungen sind in **Fig. 24** dargestellt. In **Fig. 24** stellt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) mit einer anfänglichen Leuchtdichte von 100 % dar und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) der Elemente dar.

[0266] Bei den Zuverlässigkeitsuntersuchungen wurde das lichtemittierende Element 4 unter den Bedingungen betrieben, bei denen die anfängliche Leuchtdichte auf 5000 cd/m^2 eingestellt wurde und die Stromdichte konstant war.

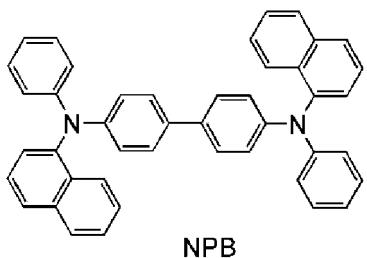
[0267] Das lichtemittierende Element 4 wies nach einer Betriebsdauer von 170 Stunden 95 % der anfänglichen Leuchtdichte auf.

[0268] Die obigen Resultate zeigen, dass ein Element mit einer hohen Zuverlässigkeit durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

(Beispiel 7)

[0269] In diesem Beispiel wird in ein Beispiel einer Kombination einer ersten organischen Verbindung, einer zweiten organischen Verbindung und einer phosphoreszierenden Verbindung unter Bezugnahme auf die **Fig. 26A** und **Fig. 26B** beschrieben, welches für ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

[0270] Die in diesem Beispiel verwendete phosphoreszierende Verbindung ist $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$. Die in diesem Beispiel verwendete erste organische Verbindung ist 2mDBTPDBq-II. Die in diesem Beispiel verwendete zweite organische Verbindung ist 4,4'-Bis[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: NPB). Eine chemische Formel des in diesem Beispiel verwendeten Materials ist nachfolgend dargestellt. Die chemischen Formeln der in den obigen Beispielen verwendeten Materialien werden hier weggelassen.



Absorptionsspektrum

[0271] **Fig. 26A** und **Fig. 26B** zweigen jeweils ein UV-VIS Absorptionsspektrum (im Folgenden einfach als Absorptionsspektrum bezeichnet) von $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$, bei welchem es sich um die phosphoreszierende Verbindung in einer Dichlormethanlösung von $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ handelt. Das Absorptionsspektrum wurde unter Verwendung eines UV-VIS Spektrometers (V-550, hergestellt von JASCO Corporation) in dem Zustand gemessen, in dem die Dichlormethanlösung (0,093 mmol/l) in eine Quarzzelle bei Raumtemperatur eingeführt wurde.

Emissionsspektrum

[0272] **Fig. 26A** und **Fig. 26B** zeigen auch ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus 2mDBTPDBq-II, bei welchem es sich die erste organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 10), und ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und NPB (ein Emissionspektrum 11). In der **Fig. 26A** stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. In der **Fig. 26B** stellt die horizontale Achse die Energy (eV) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar.

[0273] Aus dem Absorptionsspektrum in **Fig. 26A** wird deutlich, dass $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ ein breites Absorptionsband bei ungefähr 520 nm aufweist. Man geht davon aus, dass dieses Absorptionsband wesentlich zu der Lichtemission beiträgt.

[0274] Das Emissionsspektrum 11 weist einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) auf, als das Emissionsspektrum 10. Zusätzlich ist der Peak des Emissionsspektrums 11 näher an dem Absorptionsband als der Peak des Emissionsspektrums 10. Es ist bekannt, dass der Peak des Emissionsspektrums von NPB, d.h. der zweiten organischen Verbindung, bei ungefähr 430 nm liegt. Dies bedeutet, dass das Emissionsspektrum 11 einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) als das Emissionsspektrum von NPB aufweist. Die obigen Erkenntnisse zeigen, dass das Emissionsspektrum 11 die größte Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum aufweist, welches wesentlich zu der Lichtemission beiträgt. Insbesondere beträgt der Unterschied zwischen dem Peak des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum (515 nm) und dem Peak des Emissionsspektrums 11 0,09 eV.

[0275] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und NPB einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) aufweist, als das Emissionsspektrum jeder organischen Verbindung alleine. Dies zeigt, dass ein Exciplex durch das Vermischen von 2mDBTPDBq-II und NPB gebildet wird.

[0276] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials eine große Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum von $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ aufweist, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu Lichtemission beiträgt. Daher wird gezeigt, dass das lichtemittierende Element enthaltend $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und NPB eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweist, da es Energie unter Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung überträgt. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher Quateneffizienz erhalten werden kann.

(Beispiel 8)

[0277] In diesem Beispiel wird in ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 15** beschrieben. Eine chemische Formel, des in diesem Beispiel verwendeten Materials ist nachfolgend dargestellt. Die in diesem Beispiel verwendeten Materialien wurden in den obigen Beispielen verwendet, daher werden die chemischen Formeln dieser hier weggelassen.

[0278] Verfahren zur Herstellung eines lichtemittierenden Elementes 5 dieses Beispiels und eines lichtemittierenden Vergleichselementes 6 werden nachfolgend beschrieben.

(Lichtemittierendes Element 5)

[0279] Zunächst wurde ein Film aus ITSO auf einem Glassubstrat **1100** durch ein Sputterverfahren gebildet, so das eine erste Elektrode **1101**, welche als Anode diente, gebildet wurde. Es sollte festgehalten werden, dass die Dicke auf 110 nm eingestellt wurde und dass die Elektrodenfläche auf 2 mm × 2 mm eingestellt wurde.

[0280] Nachfolgend wurde als eine Vorbehandlung zur Bildung des lichtemittierenden Elementes auf dem Substrat **1100** eine UV-Ozon-Behandlung für 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrates mit Wasser gewaschen wurde und es bei 200 °C für eine Stunde gebrannt bzw. gebacken wurde.

[0281] Anschließend wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfungsvorrichtung befördert, in welcher der Druck auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert wurde, und wurde einem Vakuumbacken bei 170 °C für 30 Minuten in einer Heizkammer der Vakuumverdampfungsvorrichtung unterworfen und anschließend wurde das Substrat **1100** für ungefähr 30 Minuten abgekühlt.

[0282] Danach wurde das mit der ersten Elektrode **1101** bereitgestellte Substrat **1100** an einem Substrathalter in der Vakuumverdampfungsvorrichtung befestigt, so das seine Oberfläche, auf welcher die erste Elektrode **1101** bereitgestellt war, nach unten zeigte. Der Druck in der Vakuumverdampfungsvorrichtung wurde auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert. Anschließend wurden 4,4',4"-(1,3,5-Benzoltriyl)tri(dibenzothiophen) (Abkürzung: DBT3P-II) und Molybdän(VI)oxid co-verdampft, um eine Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** zu bilden. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** wurde auf 40 nm eingestellt und das Gewichtsverhältnis von DBT3P-II zu Molybdänoxid wurde auf 4:2 eingestellt (= DBT3P-II : Molybdänoxid).

[0283] Danach wurde auf der Lochinjektionsschicht **1111** eine Schicht aus BPAFLP mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine Lochtransportschicht **1112** zu bilden.

[0284] Des Weiteren wurden 2mDBTPDBq-II, NPB und $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ co-verdampft, um eine lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** zu bilden. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu NPB und $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ auf 0,8:0,2:0,05 (= 2mDBTPDBq-II : NPB : $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$) eingestellt. Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt.

[0285] Des Weiteren wurde auf der lichtemittierenden Schicht **1113** ein Film aus 2mDBTPDBq-II mit einer Dicke von 10 nm gebildet, um eine erste Elektronentransportschicht **1114a** zu bilden.

[0286] Dann wurde auf der ersten Elektronentransportschicht **1114a** ein Film aus Bphen mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine zweite Elektronentransportschicht **1114b** zu bilden.

[0287] Des Weiteren wurde auf der zweiten Elektronentransportschicht **1114b** ein Film aus LiF durch Verdampfung mit einer Dicke von 1 nm gebildet, um eine Elektroneninjektionsschicht **1115** zu bilden.

[0288] Zuletzt wurde ein Aluminiumfilm durch Verdampfung mit einer Dicke von 200 nm als eine zweite Elektrode **1103** gebildet, welche als eine Kathode diente. Auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 5 dieses Beispiels hergestellt.

(Lichtemittierendes Vergleichselement 6)

[0289] Eine lichtemittierende Schicht **1113** des lichtemittierenden Vergleichselementes 6 wurde durch co-Verdampfung von 2mDBTPDBq-II und $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ gebildet. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ auf 1:0,05 eingestellt (= 2mDBTPDBq-II : $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$). Die Dicke der

lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt. Die weiteren Bestandteile außer der lichtemittierenden Schicht **1113** wurden auf ähnliche Weise wie bei dem lichtemittierenden Element 5 hergestellt.

[0290] Es sollte festgehalten werden, dass bei allen obigen Verdampfungsschritten die Verdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0291] Tabelle 7 zeigt Elementstrukturen des lichtemittierenden Elementes 5 und des lichtemittierenden Vergleichselementes 6, welche wie oben beschrieben erhalten wurden.

Tabelle 7

| | Erste Elektrode | Loch-injektions-schicht | Loch-transport-schicht | Lichtemittierende Schicht | Erste Elektronen-transport-schicht | Zweite Elektronen-transport-schicht | Elektroneninjektions-schicht | Zweite Elektrode |
|--|-----------------|----------------------------|------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| Lichtemittierendes Element 5 | ITSO 110 nm | DBT3P-11 :MoOx (=4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : NPB:[Ir(dppm) 2(acac)] (= 0,8: 0,2:0,05) 40 nm | 2mDBT-PDBq-II 10 nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| Lichtemittierendes Vergleichselement 6 | ITSO 110 nm | DBT3P-11 :MoOx (=4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : [Ir(dppm)z(acac)] (= 1:0,05) 40 nm | 2mDBT-PDBq-II 10 nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

[0292] In einer Glove Box, welche eine Stickstoffatmosphäre enthielt, wurden diese lichtemittierenden Elemente abgedichtet, um der Luft nicht ausgesetzt zu werden. Anschließend wurden die Betriebseigenschaften der Elemente gemessen. Es sollte festgehalten werden, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer auf 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0293] **Fig. 27** zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements 5 und des lichtemittierenden Vergleichselements 6. In **Fig. 27** stellt die horizontale Achse die Stromdichte (mA/cm^2) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. **Fig. 28** zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik dieser. In **Fig. 28** stellt die horizontale Achse die Spannung (V) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. **Fig. 29** zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik dieser. In **Fig. 29** stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die Stromausbeute (cd/A) dar. **Fig. 30** zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik dieser. In **Fig. 30** stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die externe Quanteneffizienz (%) dar.

[0294] Des Weiteren zeigt Tabelle 8 die Spannung (V), die Stromdichte (mA/cm^2), die CIE Farbwertanteile (x, y), die Stromausbeute (cd/A), die Leistungseffizienz (lm/W) und die externe Quanteneffizienz (%) jedes des lichtemittierenden Elements 5 und des lichtemittierenden Vergleichselementes 6 bei einer Leuchtdichte von ungefähr 1000 cd/m^2 .

Tabelle 8

| | Spannung (V) | Stromdichte (mA/cm ²) | Farbwertanteile (x, y) | Leuchtdichte (cd/m ²) | Stromausbeute (cd/A) | Leistungseffizienz (lm/W) | Externe Quanteneffizienz (%) |
|---|--------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------|
| Licht-emittierendes Element 5 | 2,9 | 1,5 | (0,57, 0,43) | 1100 | 75 | 81 | 29 |
| Licht-emittierendes Vergleichselement 6 | 2,9 | 1,3 | (0,56, 0,44) | 830 | 65 | 71 | 24 |

[0295] Fig. 31 zeigt die Emissionsspektren des lichtemittierenden Elementes 5 und des lichtemittierenden Vergleichselementes 6, welche unter Anlegen eines Stromes von 0,1 mA erhalten wurden. In Fig. 31 stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. Wie in Tabelle 8 dargestellt, betragen die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Elementes 1 bei einer Leuchtdichte von 1100 cd/m² (x, y) = (0,57, 0,43) und die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Vergleichselementes 6 bei einer Leuchtdichte von 830 cd/m² betragen (x, y) = (0,55, 0,44). Diese Ergebnisse zeigen, dass die orange Lichtemission, die von [Ir(dppm)₂(acac)] stammt, von dem lichtemittierenden Element 5 und dem lichtemittierenden Vergleichselement 6 erhalten wurde.

[0296] Aus Tabelle 8 und den Fig. 27 bis Fig. 30 wird deutlich, dass das lichtemittierende Element 5 eine höhere Stromausbeute, höhere Leistungseffizienz und höhere externe Quanteneffizienz als das lichtemittierende Vergleichselement 6 aufweist.

[0297] Bei dem lichtemittierenden Element 5 2mDBTPDBq-II, NPB und [Ir(dppm)₂(acac)], welche in Beispiel 7 beschrieben sind, für die lichtemittierende Schicht verwendet. Wie in Beispiel 7 beschrieben weist das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und NPB (das Emissionsspektrum eines Exciplex) eine größere Überlappung mit dem Absorptionsspektrum von [Ir(dppm)₂(acac)] auf, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu der Lichtemission beiträgt, im Vergleich mit dem Emissionsspektrum von 2mDBTPDBq-II alleine. Bei dem lichtemittierende Element 5 dieses Beispiels wird davon ausgegangen, dass es eine hohe Energieübertragungseffizienz durch Verwendung der Überlappung aufweist und daher eine höhere externe Quanteneffizienz aufweist als das lichtemittierende Vergleichselement 6.

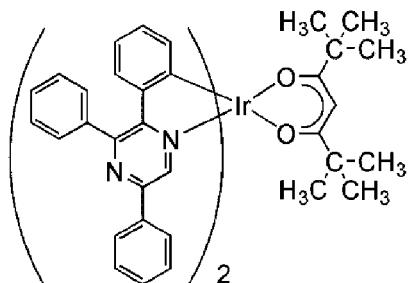
[0298] Die obigen Ergebnisse des Beispiels 7 zeigen, dass ein Peak des Absorptionsbandes auf der Seite der längsten Wellenlänge in dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung, welche in dem lichtemittierenden Element 5 verwendet wird, einem Peak eines Emissionsspektrums nahe kommt und dass der molare Absorptionskoeffizient an dem Peak hoch ist (> 5000 M⁻¹·cm⁻¹). Aus diesen Ergebnissen wird daher gefolgert, dass das lichtemittierende Element eine besonders hohe Energieübertragungseffizienz und daher eine noch nie dagewesene externen Quanteneffizienz aufweist.

[0299] Die obigen Ergebnisse zeigen, dass ein Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

(Beispiel 9)

[0300] In diesem Beispiel wird in ein Beispiel einer Kombination einer ersten organischen Verbindung, einer zweiten organischen Verbindung und einer phosphoreszierenden Verbindung unter Bezugnahme auf die Fig. 32A und Fig. 32B beschrieben, welches für ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

[0301] Die in diesem Beispiel verwendete phosphoreszierende Verbindung ist Bis(2,3,5-triphenylpyrazinato)(dipivaloylmethanato)iridium(III) (Abkürzung: [Ir(tppr)₂(dpm)]). Die in diesem Beispiel verwendete erste organische Verbindung ist 2mDBTPDBq-II. Die in diesem Beispiel verwendete zweite organische Verbindung ist NPB. Eine chemische Formel des in diesem Beispiel verwendeten Materials ist nachfolgend dargestellt. Die chemischen Formeln der in den obigen Beispielen verwendeten Materialien werden hier weggelassen.



[Ir(tppr)₂(dpm)]

Absorptionsspektrum

[0302] **Fig. 32A** und **Fig. 32B** zweigen jeweils ein UV-VIS Absorptionsspektrum (im Folgenden einfach als Absorptionsspektrum bezeichnet) von of [Ir(tppr)₂(dpm)], bei welchem es sich um die phosphoreszierende Verbindung in einer Dichlormethanlösung von [Ir(tppr)₂(dpm)] handelt. Das Absorptionsspektrum wurde unter Verwendung eines UV-VIS Spektrometers (V-550, hergestellt von JASCO Corporation) in dem Zustand gemessen, in dem die Dichlormethanlösung (0,094 mmol/l) in eine Quarzzelle bei Raumtemperatur eingeführt wurde.

Emissionsspektrum

[0303] **Fig. 32A** und **Fig. 32B** zeigen auch ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus 2mDBTPDBq-II, bei welchem es sich die erste organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 12), und ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und NPB (ein Emissionspektrum 13). In der **Fig. 32A** stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. In der **Fig. 32B** stellt die horizontale Achse die Energy (eV) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar.

[0304] Aus dem Absorptionsspektrum in **Fig. 32A** wird deutlich, dass [Ir(tppr)₂(dpm)] ein breites Absorptionsband bei ungefähr 530 nm aufweist. Man geht davon aus, dass dieses Absorptionsband wesentlich zu der Lichtemission beiträgt.

[0305] Das Emissionsspektrum 13 weist einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) auf, als das Emissionsspektrum 2. Zusätzlich ist der Peak des Emissionsspektrums 13 näher an dem Absorptionsband als der Peak des Emissionsspektrums 12. Es ist bekannt, dass der Peak des Emissionsspektrums von NPB, d.h. der zweiten organischen Verbindung, bei ungefähr 430 nm liegt. Dies bedeutet, dass das Emissionsspektrum 13 einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) als das Emissionsspektrum von NPB aufweist. Die obigen Erkenntnisse zeigen, dass das Emissionsspektrum 13 die größte Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum aufweist, welches wesentlich zu der Lichtemission beiträgt. Insbesondere beträgt der Unterschied zwischen dem Peak des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum (ein Schulterpeak von ungefähr 515 nm) und dem Peak des Emissionsspektrums 13 0,01 eV.

[0306] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und NPB einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) aufweist, als das Emissionsspektrum jeder organischen Verbindung alleine. Dies zeigt, dass ein Exciplex durch das Vermischen von 2mDBTPDBq-II mit NPB gebildet wird.

[0307] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials eine große Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum von [Ir(tppr)₂(dpm)] aufweist, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu Lichtemission beiträgt. Daher wird gezeigt, dass das lichtemittierende Element enthaltend [Ir(tppr)₂(dpm)] und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und NPB eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweist, da es Energie unter Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung überträgt. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher Quateneffizienz erhalten werden kann.

(Beispiel 10)

[0308] In diesem Beispiel wird in ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 15** beschrieben. Die in diesem Beispiel verwendeten Materialien wurden in den obigen Beispielen verwendet, daher werden die chemischen Formeln dieser hier weggelassen.

[0309] Verfahren zur Herstellung eines lichtemittierenden Elementes 7 dieses Beispieles und eines lichtemittierenden Vergleichselementes 8 werden nachfolgend beschrieben.

(Lichtemittierendes Element 7)

[0310] Eine lichtemittierende Schicht **1113** des lichtemittierenden Elementes 7 wurde durch co-Verdampfung von 2mDBTPDBq-II, NPB und $[\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})]$ gebildet. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu NPB und $[\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})]$ auf 0,8:0,2:0,05 eingestellt (= 2mDBTPDBq-II : NPB : $[\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})]$). Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt. Die weiteren Bestandteile außer der lichtemittierenden Schicht **1113** wurden auf ähnliche Weise wie bei dem lichtemittierenden Element 5 beschrieben in Beispiel 8 hergestellt.

(Lichtemittierendes Vergleichselement 8)

[0311] Eine lichtemittierende Schicht **1113** des lichtemittierenden Vergleichselementes 8 wurde durch co-Verdampfung von 2mDBTPDBq-II und $[\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})]$ gebildet. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu $[\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})]$ auf 1:0,05 eingestellt (= 2mDBTPDBq-II : $[\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})]$). Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt. Die weiteren Bestandteile außer der lichtemittierenden Schicht **1113** wurden auf ähnliche Weise wie bei dem lichtemittierenden Element 5 beschrieben in Beispiel 8 hergestellt.

[0312] Tabelle 9 zeigt Elementstrukturen des lichtemittierenden Elementes 7 und des lichtemittierenden Vergleichselementes 8, welche wie oben beschrieben erhalten wurden.

Tabelle 9

| | Erste Elektrode | Loch-injektions-schicht | Loch-transport-schicht | Lichtemittierende Schicht | Erste Elektronen-transport-schicht | Zweite Elektronen-transport-schicht | Elektroneninjektions-schicht | Zweite Elektrode |
|--|-----------------|----------------------------|------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| Lichtemittierendes Element 7 | ITSO 110 nm | DBT3P-11 :MoOx (=4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : NPB : $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ (= 0,8 : 0,2 : 0,05) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 10 nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| Lichtemittierendes Vergleichselement 8 | ITSO 110 nm | DBT3P-11 :MoOx (=4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ (= 1 : 0,05) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 10 nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

[0313] In einer Glove Box, welche eine Stickstoffatmosphäre enthielt, wurden diese lichtemittierenden Elemente abgedichtet, um der Luft nicht ausgesetzt zu werden. Anschließend wurden die Betriebseigenschaften

der Elemente gemessen. Es sollte festgehalten werden, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer auf 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0314] Fig. 33 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements 7 und des lichtemittierenden Vergleichselements 8. In Fig. 33 stellt die horizontale Achse die Stromdichte (mA/cm^2) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 34 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik dieser. In Fig. 34 stellt die horizontale Achse die Spannung (V) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 35 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik dieser. In Fig. 35 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die Stromausbeute (cd/A) dar. Fig. 36 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik dieser. In Fig. 36 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die externe Quanteneffizienz (%) dar.

[0315] Des Weiteren zeigt Tabelle 10 die Spannung (V), die Stromdichte (mA/cm^2), die CIE Farbwertanteile (x,y), die Stromausbeute (cd/A), die Leistungseffizienz (lm/W) und die externe Quanteneffizienz (%) jedes des lichtemittierenden Elements 7 und des lichtemittierenden Vergleichselements 8 bei einer Leuchtdichte von ungefähr 1000 cd/m^2 .

Tabelle 10

| | Spannung (V) | Stromdichte (mA/cm^2) | Farbwertanteile (x, y) | Leuchtdichte (cd/m^2) | Stromausbeute (cd/A) | Leistungseffizienz (lm/W) | Externe Quanteneffizienz (%) |
|---|--------------|---|------------------------|---|--|---|------------------------------|
| Licht-emittierendes Element 7 | 3,3 | 4,1 | (0,66, 0,34) | 1100 | 26 | 25 | 22 |
| Licht-emittierendes Vergleichselement 8 | 3,6 | 7,4 | (0,66, 0,34) | 1000 | 14 | 12 | 12 |

[0316] Fig. 37 zeigt die Emissionsspektren des lichtemittierenden Elementes 7 und des lichtemittierenden Vergleichselementes 8, welche unter Anlegen eines Stromes von 0,1 mA erhalten wurden. In Fig. 37 stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. Wie in Tabelle 10 dargestellt, betragen die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Elementes 7 bei einer Leuchtdichte von 1100 cd/m^2 (x, y) = (0,66, 0,34) und die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Vergleichselementes 8 bei einer Leuchtdichte von 1000 cd/m^2 betragen (x, y) = (0,66, 0,34). Diese Ergebnisse zeigen, dass die orange Lichtemission, die von $[\text{Ir}(\text{tprr})_2(\text{dpm})]$ stammt, von dem lichtemittierenden Element 7 und dem lichtemittierenden Vergleichselement 8 erhalten wurde.

[0317] Aus Tabelle 10 und den Fig. 33 bis Fig. 36 wird deutlich, dass das lichtemittierende Element 7 eine höhere Stromausbeute, höhere Leistungseffizienz und höhere externe Quanteneffizienz als das lichtemittierende Vergleichselement 8 aufweist.

[0318] Bei dem lichtemittierenden Element 7 wurden 2mDBTPDBq-II, NPB und $[\text{Ir}(\text{tprr})_2(\text{dpm})]$, welche in Beispiel 9 beschrieben sind, für die lichtemittierende Schicht verwendet. Wie in Beispiel 9 beschrieben weist das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und NPB (das Emissionsspektrum eines Exciplex) eine größere Überlappung mit dem Absorptionsspektrum von $[\text{Ir}(\text{tprr})_2(\text{dpm})]$ auf, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu der Lichtemission beiträgt, im Vergleich mit dem Emissionsspektrum von 2mDBTPDBq-II alleine. Bei dem lichtemittierende Element 7 dieses Beispiels wird davon ausgegangen, dass es eine hohe Energieübertragungseffizienz durch Verwendung der Überlappung aufweist und daher eine höhere externe Quanteneffizienz aufweist als das lichtemittierende Vergleichselement 8.

[0319] Die obigen Ergebnisse zeigen, dass ein Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

[0320] Anschließend wurden das lichtemittierende Element 7 und das lichtemittierende Vergleichselement 8 Zuverlässigkeitstests unterworfen. Die Ergebnisse der Zuverlässigkeitstests sind in Fig. 38 dargestellt. In Fig. 38 stellt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) mit einer anfänglichen Leuchtdichte von 100 % dar und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) der Elemente dar.

[0321] Bei den Zuverlässigkeitstests wurden das lichtemittierende Element 7 und das lichtemittierende Vergleichselement 8 unter den Bedingungen betrieben, bei denen die anfängliche Leuchtdichte auf 5000 cd/m² eingestellt wurde und die Stromdichte konstant war.

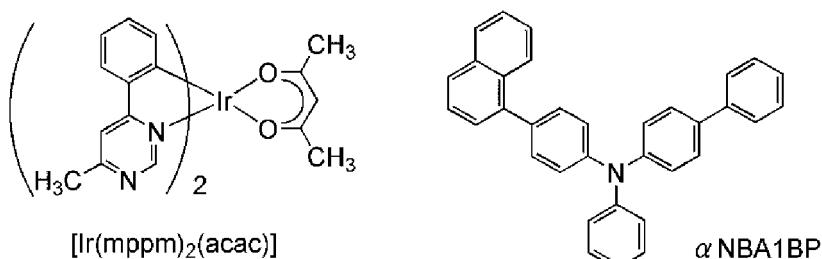
[0322] Die Leuchtdichte des lichtemittierenden Vergleichselements 8 betrug nach 97 Stunden 63 % der anfänglichen Leuchtdichte. Die Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 7 betrug nach 98 Stunden 87 % der anfänglichen Leuchtdichte. Aus den Ergebnissen erkennt man, dass das lichtemittierende Element 7 eine längere Lebensdauer aufweist als das lichtemittierende Vergleichselement 8.

[0323] Die obigen Resultate zeigen, dass ein Element mit einer hohen Zuverlässigkeit durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

(Beispiel 11)

[0324] In diesem Beispiel werden Beispiele von Kombinationen einer ersten organischen Verbindung, einer zweiten organischen Verbindung und einer phosphoreszierenden Verbindung unter Bezugnahme auf die **Fig. 39A** und **Fig. 39B** beschrieben, welche als ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden können.

[0325] Die in diesem Beispiel verwendete phosphoreszierende Verbindung ist (Acetylacetonato)bis(6-methyl-4-phenylpyrimidinato)iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mppm)₂(acac)]). Die in diesem Beispiel verwendete erste organische Verbindung ist 2mDBTPDBq-II. Zwei Arten von zweiten organischen Verbindungen, PCBA1 BP und 4-(1-Naphthyl)-4'-phenyltriphenylamin (Abkürzung: α NBA1 BP) wurden in diesem Beispiel verwendet. Die chemischen Formeln der in diesem Beispiel verwendeten Materialien sind nachfolgend dargestellt. Chemische Formeln von Materialien, die in den obigen Beispielen verwendet wurden, werden hier weggelassen.



Absorptionsspektrum

[0326] **Fig. 39A** und **Fig. 39B** zeigen jeweils ein UV-VIS Absorptionsspektrum (im Folgenden einfach als Absorptionsspektrum bezeichnet) von $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$, bei welchem es sich um die phosphoreszierende Verbindung in einer Dichlormethanlösung von $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ handelt. Das Absorptionsspektrum wurde unter Verwendung eines UV-VIS Spektrometers (V-550, hergestellt von JASCO Corporation) in dem Zustand gemessen, in dem die Dichlormethanlösung (0,10 mmol/l) in eine Quarzelle bei Raumtemperatur eingeführt wurde.

Emissionsspektrum

[0327] **Fig. 39A** und **Fig. 39B** zeigen auch ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus 2mDBTPDBq-II, bei welchem es sich die erste organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 14), ein Emissionspektrum einer Dünnschicht aus PCBA1BP, bei welchem es sich die zweite organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 15), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus α NBA1BP, bei welchem es sich um die zweite organische Verbindung handelt (ein Emissionspektrum 16), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und PCBA1BP (ein Emissionsspektrum 17) und ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und α NBA1BP (ein Emissionsspektrum 18). In der **Fig. 39A** stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. In der **Fig. 39B** stellt die horizontale Achse die Energy (eV) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar.

[0328] Aus dem Absorptionsspektrum in **Fig. 39A** wird deutlich, dass $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ ein breites Absorptionsband bei ungefähr 490 nm aufweist. Man geht davon aus, dass dieses Absorptionsband wesentlich zu der Lichtemission beiträgt.

[0329] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und PCBA1BP (das Emissionsspektrum 17) und das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und αNBA1BP (das Emissionsspektrum 18) jeweils einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) aufweist, als das Emissionsspektrum jeder organischen Verbindung alleine. Dies zeigt, dass ein Exciplex durch das Vermischen von 2mDBTPDBq-II mit PCBA1BP gebildet wird. Dies zeigt auch, dass ein Exciplex durch das Vermischen von 2mDBTPDBq-II mit αNBA1BP gebildet wird.

[0330] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum jedes gemischten Materials eine große Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum von $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ aufweist, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu Lichtemission beiträgt. Daher wird gezeigt, dass das lichtemittierende Element enthaltend $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und PCBA1BP und das lichtemittierende Material enthaltend $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und αNBA1BP eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweisen, da sie Energie unter Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung übertragen. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher Quateneffizienz erhalten werden kann.

[0331] Das Emissionsspektrum weist 18 einen Peak bei einer kürzeren Wellenlänge (höheren Energie als das Emissionsspektrum 17 auf. Zusätzlich liegt der Peak des Emissionsspektrums näher an dem Absorptionsband als der Peak des Emissionsspektrums 17. Insbesondere beträgt der Unterschied zwischen dem Peak des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum (ein Schulterpeak bei ungefähr 490 nm) und dem Peak des Emissionsspektrums 17 0.15 eV und der Unterschied zwischen dem Peak des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum (ein Schulterpeak bei ungefähr 490 nm) und dem Peak des Emissionsspektrum 18 beträgt 0.01 eV.

[0332] Der Unterschied zwischen den Peaks des Emissionsspektrums 17 und des Emissionsspektrums 18 wird dem Unterschied zwischen den HOMO-Niveaus von PCBA1BP und αNBA1BP zugeschrieben. Insbesondere beträgt das HOMO-Niveau von PCBA1BP -5.43 eV, wohingegen das HOMO-Niveau von αNBA1BP -5.52 eV beträgt (jeweils berechnet durch zyklische Voltammetrie (CV) Messung). Da αNBA1BP ein niedrigeres (tieferes) HOMO-Niveau aufweist als PCBA1BP, nimmt man an, dass das Emissionsspektrum 18 einen Peak bei einer kürzeren Wellenlänge (höheren Energie) aufweist, als das Emissionsspektrum 17.

(Beispiel 12)

[0333] In diesem Beispiel werden lichtemittierende Elemente einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 15** beschrieben. Die in diesem Beispiel verwendeten Materialien wurden in den obigen Beispielen verwendet, daher werden die chemischen Formeln dieser hier weggelassen.

[0334] Verfahren zur Herstellung eines lichtemittierenden Elementes 9 und eines lichtemittierenden Elementes 10 dieses Beispiels werden nachfolgend beschrieben.

(Lichtemittierendes Element 9)

[0335] Zunächst wurde ein Film aus ITSO auf einem Glassubstrat **1100** durch ein Sputterverfahren gebildet, so dass eine erste Elektrode **1101**, welche als Anode diente, gebildet wurde. Es sollte festgehalten werden, dass die Dicke auf 110 nm eingestellt wurde und dass die Elektrodenfläche auf 2 mm × 2 mm eingestellt wurde.

[0336] Nachfolgend wurde als eine Vorbehandlung zur Bildung des lichtemittierenden Elementes auf dem Substrat **1100** eine UV-Ozon-Behandlung für 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrates mit Wasser gewaschen wurde und es bei 200 °C für eine Stunde gebrannt bzw. gebacken wurde.

[0337] Anschließend wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfungsvorrichtung befördert, in welcher der Druck auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert wurde, und wurde einem Vakuumbacken bei 170 °C für 30 Minuten in einer Heizkammer der Vakuumverdampfungsvorrichtung unterworfen und anschließend wurde das Substrat **1100** für ungefähr 30 Minuten abgekühlt.

[0338] Danach wurde das mit der ersten Elektrode **1101** bereitgestellte Substrat **1100** an einem Substrathalter in der Vakuumverdampfungsvorrichtung befestigt, so das seine Oberfläche, auf welcher die erste Elektrode **1101** bereitgestellt war, nach unten zeigte. Der Druck in der Vakuumverdampfungsvorrichtung wurde auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert. Anschließend wurden BPAFLP und Molybdän(VI)oxid co-verdampft, um eine Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** zu bilden. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** wurde auf 40 nm eingestellt und das Gewichtsverhältnis von BPAFLP zu Molybdänoxid wurde auf 4:2 eingestellt (= BPAFLP : Molybdänoxid).

[0339] Danach wurde auf der Lochinjektionsschicht **1111** eine Schicht aus BPAFLP mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine Lochtransportschicht **1112** zu bilden.

[0340] Des Weiteren wurden 2mDBTPDBq-II, PCBA1BP und $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ co-verdampft, um eine lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** zu bilden. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu PCBA1BP und $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ auf 0,8:0,2:0,05 (= 2mDBTPDBq-II : PCBA1BP : $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$) eingestellt. Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt.

[0341] Des Weiteren wurde auf der lichtemittierenden Schicht **1113** ein Film aus 2mDBTPDBq-II mit einer Dicke von 10 nm gebildet, um eine erste Elektronentransportschicht zu **1114a** bilden.

[0342] Dann wurde auf der ersten Elektronentransportschicht **1114a** ein Film aus Bphen mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine zweite Elektronentransportschicht **1114b** zu bilden.

[0343] Des Weiteren wurde auf der zweiten Elektronentransportschicht **1114b** ein Film aus LiF durch Verdampfung mit einer Dicke von 1 nm gebildet, um eine Elektroneninjektionsschicht **1115** zu bilden.

[0344] Zuletzt wurde ein Aluminiumfilm durch Verdampfung mit einer Dicke von 200 nm als eine zweite Elektrode **1103** gebildet, welche als eine Kathode diente. Auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 1 dieses Beispiels hergestellt.

(Lichtemittierendes Element 10)

[0345] Eine lichtemittierende Schicht **1113** des lichtemittierenden Elementes 10 wurde durch co-Verdampfung von 2mDBTPDBq-II, α NBA1BP und $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ gebildet. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu α NBA1BP und $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ auf 0,8:0,2:0,05 eingestellt (= 2mDBTPDBq-II : α NBA1BP : $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$). Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt. Die weiteren Bestandteile außer der lichtemittierenden Schicht **1113** wurden auf ähnliche Weise wie bei dem lichtemittierenden Element 9 hergestellt.

[0346] Es sollte festgehalten werden, dass bei allen obigen Verdampfungsschritten die Verdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0347] Tabelle 11 zeigt Elementstrukturen des lichtemittierenden Elementes 9 und des lichtemittierenden Elementes 10, welche wie oben beschrieben erhalten wurden.

Tabelle 11

| | Erste Elektrode | Loch-injektions-schicht | Loch-transport-schicht | Lichtemittierende Schicht | Erste Elektronen-transport-schicht | Zweite Elektronen-transport-schicht | Elektroneninjektions-schicht | Zweite Elektrode |
|-------------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| Lichtemittierendes Element 9 | ITSO | BPAF-LP:MoOx (=4:2) | BPAF-LP | 2mDBTPDBq-II : PCBNBB:[Ir(dppm) ₂ (acac)] (=0,8:0,2:0,05) 40 nm | 2mDBT-PDBq-II | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| Lichtemittierendes Element 10 | ITSO 110 nm | BPAFLP: MoOx (=4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : αNBA1 BP:[Ir(dppm) ₂ (acac α)] (=0,8:0,2:0,05) 40 nm | 2mDBT-PDBq-II 10 nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

[0348] In einer Glove Box, welche eine Stickstoffatmosphäre enthielt, wurden diese lichtemittierenden Elemente abgedichtet, um der Luft nicht ausgesetzt zu werden. Anschließend wurden die Betriebseigenschaften der Elemente gemessen. Es sollte festgehalten werden, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer auf 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0349] **Fig. 40** zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements 9 und des lichtemittierenden Elements 10. In **Fig. 40** stellt die horizontale Achse die Stromdichte (mA/cm^2) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. **Fig. 41** zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik dieser. In **Fig. 41** stellt die horizontale Achse die Spannung (V) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. **Fig. 42** zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik dieser. In **Fig. 42** stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die Stromausbeute (cd/A) dar. **Fig. 43** zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik dieser. In **Fig. 43** stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die externe Quanteneffizienz (%) dar.

[0350] Des Weiteren zeigt Tabelle 12 die Spannung (V), die Stromdichte (mA/cm^2), die CIE Farbwertanteile (x, y), die Stromausbeute (cd/A), die Leistungseffizienz (lm/W) und die externe Quanteneffizienz (%) jedes des lichtemittierenden Elements 9 und des lichtemittierenden Elements 10 bei einer Leuchtdichte von ungefähr 1000 cd/m^2 .

Tabelle 12

| | Spannung (V) | Stromdichte (mA/cm^2) | Farbwertanteile (x, y) | Leuchtdichte (cd/m^2) | Stromausbeute (cd/A) | Leistungseffizienz (lm/W) | Externe Quanteneffizienz (%) |
|------------------------------|--------------|---|----------------------------|---|--|---|------------------------------|
| Lichtemittierendes Element 1 | 3,2 | 1,6 | (0,43, 0,56) | 1100 | 69 | 68 | 20 |
| Lichtemittierendes Element 2 | 3,0 | 1,1 | (0,43, 0,56) | 860 | 75 | 79 | 21 |

[0351] Fig. 44 zeigt die Emissionsspektren des lichtemittierenden Elementes 9 und des lichtemittierenden Elementes 10, welche unter Anlegen eines Stromes von 0,1 mA erhalten wurden. In Fig. 44 stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. Wie in Tabelle 12 dargestellt, betragen die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Elementes 9 bei einer Leuchtdichte von 1100 cd/m² (x, y) = (0,43, 0,56) und die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Elements 10 bei einer Leuchtdichte von 860 cd/m² betragen (x, y) = (0,43, 0,56). Diese Ergebnisse zeigen, dass die orange Lichtemission, die von [Ir(mppm)₂(acac)] stammt, von dem lichtemittierenden Element 9 und dem lichtemittierenden Element 10 erhalten wurde.

[0352] Aus Tabelle 12 und den **Fig. 40** bis **Fig. 43** wird deutlich, dass das lichtemittierende Element 9 und das lichtemittierende Element 10 jeweils eine hohe Stromausbeute, hohe Leistungseffizienz und hohe externe Quanteneffizienz aufweisen.

[0353] Bei jedem, dem lichtemittierenden Element 9 und dem lichtemittierenden Element 10, wurden PCBA1BP oder aNBA 1 BP, 2mDBTPDBq-II und [Ir(mppm)₂(acac)], welche in Beispiel 11 beschrieben sind, für die lichtemittierende Schicht verwendet. Wie in Beispiel 11 beschrieben weist das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB oder aNBA1BP (das Emissionsspektrum eines Exciplex) eine größere Überlappung mit dem Absorptionsspektrum von [Ir(mppm)₂(acac)] auf, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu der Lichtemission beiträgt. Bei dem lichtemittierende Element 9 und dem lichtemittierenden Element 10 wird davon ausgegangen, dass sie eine hohe Energieübertragungseffizienz durch Verwendung der Überlappung aufweisen und daher eine hohe externe Quanteneffizienz aufweisen.

[0354] Die obigen Ergebnisse zeigen, dass ein Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

[0355] Anschließend wurden das lichtemittierende Element 9 und das lichtemittierende Element 10 Zuverlässigkeitsuntersuchungen unterworfen. Die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsuntersuchungen sind in **Fig. 45** dargestellt. In **Fig. 45** stellt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) mit einer anfänglichen Leuchtdichte von 100 % dar und die horizontale Achse stellt die Betriebsdauer (h) der Elemente dar.

[0356] Bei den Zuverlässigkeitsuntersuchungen wurden das lichtemittierende Element 9 und das lichtemittierende Element 10 unter den Bedingungen betrieben, bei denen die anfängliche Leuchtdichte auf 5000 cd/m² eingestellt wurde und die Stromdichte konstant war.

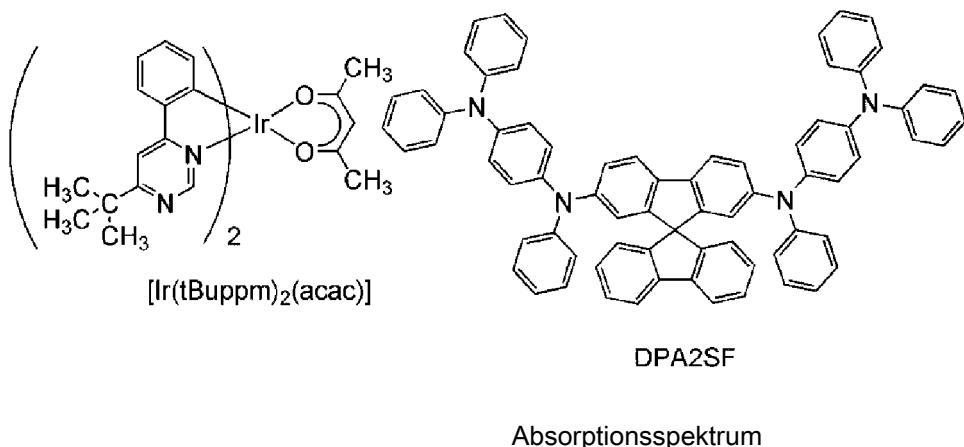
[0357] Die Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 9 betrug nach 270 Stunden 74 % der anfänglichen Leuchtdichte. Die Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 10 betrug nach 260 Stunden 75 % der anfänglichen Leuchtdichte. Aus den Ergebnissen erkennt man, dass das lichtemittierende Element und das lichtemittierende Element 10 eine lange Lebensdauer aufweisen.

[0358] Die obigen Resultate zeigen, dass ein Element mit einer hohen Zuverlässigkeit durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

(Beispiel 13)

[0359] In diesem Beispiel werden Beispiele einer Kombination einer ersten organischen Verbindung, einer zweiten organischen Verbindung und einer phosphoreszierenden Verbindung unter Bezugnahme auf die **Fig. 46A** und **Fig. 46B** beschrieben, welches als ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden können.

[0360] Die in diesem Beispiel verwendete phosphoreszierende Verbindung ist (Acetylacetonato)bis(6-tert-butyl-4-phenylpyrimidinato)iridium(III) (Abkürzung: [Ir(tB_{UPPM})₂(acac)]). Zwei Arten von zweiter organischer Verbindung, Two kinds of second organic compounds, NPB und 2,7-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]-spiro-9,9'-bifluorene (Abkürzung: DPA2SF), werden in diesem Beispiel verwendet. Chemische Formeln der in diesem Beispiel verwendeten Materialien sind nachfolgend dargestellt. Die chemischen Formeln der in dem Beispiel 1 verwendeten Materialien werden hier weggelassen.



[0361] Fig. 46A und Fig. 46B zweigen jeweils ein UV-VIS Absorptionsspektrum (im Folgenden einfach als Absorptionsspektrum bezeichnet) von $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$, bei welchem es sich um die phosphoreszierende Verbindung in einer Dichlormethanlösung von $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ handelt. Das Absorptionsspektrum wurde unter Verwendung eines UV-VIS Spektrometers (V-550, hergestellt von JASCO Corporation) in dem Zustand gemessen, in dem die Dichlormethanlösung (0,093 mmol/l) in eine Quarzzelle bei Raumtemperatur eingeführt wurde.

Emissionsspektrum

[0362] Fig. 46A und Fig. 46B zeigen auch ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus 2mDBTPDBq-II, bei welchem es sich die erste organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 19), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus DPA2SF, bei welchem es sich die zweite organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 20), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und DPA2SF (ein Emissionsspektrum 21) und ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und NPB (ein Emissionsspektrum 22). In der Fig. 46A stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. In der Fig. 46B stellt die horizontale Achse die Energy (eV) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar.

[0363] Aus dem Absorptionsspektrum in Fig. 46A wird deutlich, dass $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ ein breites Absorptionsband bei ungefähr 490 nm aufweist. Man geht davon aus, dass dieses Absorptionsband wesentlich zu der Lichtemission beiträgt.

[0364] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und DPA2SF (Emissionspektrum 21) einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigerer Energie) aufweist, als das Emissionsspektrum jeder organischen Verbindung alleine. Dies zeigt, dass ein Exciplex durch das Vermischen von 2mDBTPDBq-II mit DPA2SF gebildet wird.

[0365] Es ist bekannt, dass das Emissionsspektrum von NPB allein einen Peak bei ungefähr 430 nm aufweist. Fig. 46A zeigt das ein Exciplex durch Vermischen von 2mDBTPDBq-II mit NPB gebildet wird, da das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und NPB (das Emissionsspektrum) einen Peak bei einer längeren Wellenlänge aufweist, als 430 nm.,

[0366] Man hat herausgefunden, dass der Peak des Emissionsspektrums des gemischten Materials eine große Überlappung mit dem Absorptionsband von $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ aufweist, von welchen man annimmt, dass es wesentlich zur Lichtemission beiträgt. Daher wird gezeigt, dass das Element, enthaltend $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und DPA2SF, und das lichtemittierende Element, enthaltend $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und NPB, eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweisen, da sie jeweils Energie unter Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung übertragen. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher externer Quanteneffizienz erhalten werden kann.

[0367] Das Emmissionsspektrum 22 weist einen Peak bei einer kürzeren Wellenlänge (höheren Energie) auf, als das Emissionspektrum 21. Zusätzlich ist der Peak des Emissionsspektrums 22 näher an dem Absorptionsband als der Peak des Emissionsspektrums 21. Die obigen Erkenntnisse zeigen, dass in den **Fig. 46A** und **Fig. 46B** das Emissionsspektrum 22 die größte Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum aufweist, was wesentlich zu der Lichtemission beiträgt. Insbesondere beträgt der Unterschied zwischen dem Peak des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum und dem Peak des Emissionsspektrums 21 0.39 eV und der Unterschied zwischen dem Peak des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum und dem Peak des Emissionsspektrums 22 beträgt 0.19 eV.

[0368] Man nimmt an, dass der Unterschied zwischen den Peaks des Emissionsspektrums 21 und dem Emissionsspektrum 22 an dem Unterschied zwischen den HOMO-Niveaus von DPA2SF und NPB liegt, welche als zweite organische Verbindungen verwendet werden. Insbesonder beträgt das HOMO-Niveau von DPA2SF -5.09 eV, wohingegen das HOMO-Niveau von NPB -5.38 eV beträgt (jeweils berechnet durch zyklische Voltammetrie (CV) Messung). Da NPB ein niedrigeres (tieferes) HOMO-Niveau aufweist, als DPA2SF, nimmt man an dass das Emissionsspektrum 22 einen Peak bei einer kürzeren Wellenlänge (höheren Energie) aufweist als das Emissionsspektrum 21.

[0369] Die obige Beschreibung zeigt, dass das lichtemittierende Element, enthaltend $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und NPB, eine höhere Energieübertragungseffizienz aufweist als das lichtemittierende Element, enthaltend $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und DPA2SF, da das erstere Energy überträgt, durch Einsatz einer großen Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher externer Quanteneffizienz erhalten werden kann.

[0370] Zusätzlich zeigt dieses Beispiel, das die Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Material der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung einfach vergrößert werden kann, indem die zweite organische Verbindung geändert wird, ohne Änderung der ersten organischen Verbindung. In anderen Worten wird gezeigt, dass eine Kombination, die in der Lage ist die Überlappung zu vergrößern, einfach erzielt werden kann, indem die zweite organische Verbindung geändert wird, sogar in dem Fall, dass die Farbemission der phosphoreszierenden Verbindung geändert wird (die Position des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum, welche wesentlich zu der Lichtemission beiträgt) und dass ein lichtemittierendes Element mit einer hohen Quanteneffizienz und langen Lebensdauer erzielt werden kann.

(Beispiel 14)

[0371] In diesem Beispiel werden lichtemittierende Elemente einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 15** beschrieben. Die in diesem Beispiel verwendeten Materialien wurden in den obigen Beispielen verwendet, daher werden die chemischen Formeln dieser hier weggelassen.

[0372] Verfahren zur Herstellung eines lichtemittierenden Elementes 11 und eines lichtemittierenden Elementes 12 dieses Beispiels werden nachfolgend beschrieben.

(Lichtemittierendes Element 11)

[0373] Zunächst wurde ein Film aus ITSO auf einem Glassubstrat **1100** durch ein Sputterverfahren gebildet, so das eine erste Elektrode **1101**, welche als Anode diente, gebildet wurde. Es sollte festgehalten werden, dass die Dicke auf 110 nm eingestellt wurde und dass die Elektrodenfläche auf 2 mm × 2 mm eingestellt wurde.

[0374] Nachfolgend wurde als eine Vorbehandlung zur Bildung des lichtemittierenden Elementes auf dem Substrat **1100** eine UV-Ozon-Behandlung für 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrates mit Wasser gewaschen wurde und es bei 200 °C für eine Stunde gebrannt bzw. gebacken wurde.

[0375] Anschließend wurde das Substrat in eine Vakkuumverdampfungsvorrichtung befördert, in welcher der Druck auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert wurde, und wurde einem Vakuumbacken bei 170 °C für 30 Minuten in einer Heizkammer der Vakkuumverdampfungsvorrichtung unterworfen und anschließend wurde das Substrat **1100** für ungefähr 30 Minuten abgekühlt.

[0376] Danach wurde das mit der ersten Elektrode **1101** bereitgestellte Substrat **1100** an einem Substrathalter in der Vakuumverdampfungsvorrichtung befestigt, so das seine Oberfläche, auf welcher die erste Elektrode **1101** bereitgestellt war, nach unten zeigte. Der Druck in der Vakuumverdampfungsvorrichtung wurde auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert. Anschließend wurden DBT3P-II und Molybdän(VI)oxid co-verdampft, um eine Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** zu bilden. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** wurde auf 40 nm eingestellt und das Gewichtsverhältnis von DBT3P-II zu Molybdänoxid wurde auf 4:2 eingestellt (= DBT3P-II : Molybdänoxid).

[0377] Danach wurde auf der Lochinjektionsschicht **1111** eine Schicht aus BPAFLP mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine Lochtransportschicht **1112** zu bilden.

[0378] Des Weiteren wurden 2mDBTPDBq-II, DPA2SF und $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ co-verdampft, um eine lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** zu bilden. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu DPA2SF und $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ auf 0,8:0,2:0,05 (= 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$) eingestellt. Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt.

[0379] Des Weiteren wurde auf der lichtemittierenden Schicht **1113** ein Film aus 2mDBTPDBq-II mit einer Dicke von 10 nm gebildet, um eine erste Elektronentransportschicht **1114a** zu bilden.

[0380] Dann wurde auf der ersten Elektronentransportschicht **1114a** ein Film aus Bphen mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine zweite Elektronentransportschicht **1114b** zu bilden.

[0381] Des Weiteren wurde auf der zweiten Elektronentransportschicht **1114b** ein Film aus LiF durch Verdampfung mit einer Dicke von 1 nm gebildet, um eine Elektroneninjektionsschicht **1115** zu bilden.

[0382] Zuletzt wurde ein Aluminiumfilm durch Verdampfung mit einer Dicke von 200 nm als eine zweite Elektrode **1103** gebildet, welche als eine Kathode diente. Auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 11 dieses Beispiels hergestellt.

(Lichtemittierendes Element 12)

[0383] Eine lichtemittierende Schicht **1113** des lichtemittierenden Elementes 12 wurde durch co-Verdampfung von 2mDBTPDBq-II, NPB und $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ gebildet. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu NPB und $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ auf 0,8:0,2:0,05 eingestellt (= 2mDBTPDBq-II : NPB : $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$). Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt. Die weiteren Bestandteile außer der lichtemittierenden Schicht **1113** wurden auf ähnliche Weise wie bei dem lichtemittierenden Element 9 hergestellt.

[0384] Es sollte festgehalten werden, dass bei allen obigen Verdampfungsschritten die Verdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0385] Tabelle 11 zeigt Elementstrukturen des lichtemittierenden Elementes 9 und des lichtemittierenden Elementes 10, welche wie oben beschrieben erhalten wurden.

Tabelle 11

| | Erste Elektrode | Loch-injektions-schicht | Loch-transport-schicht | Lichtemittierende Schicht | Erste Elektronen-transport-schicht | Zweite Elektronen-transport-schicht | Elektroneninjektions-schicht | Zweite Elektrode |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| Lichtemittierendes Element 9 | ITSO 110 nm | DBT3P-II: MoOx (= 4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : [Ir(tBuppm) ₂ (acac)] (= 0,8:0,2:0,05) 40 nm | 2mDBT-PDBq-II 10 nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| Lichtemittierendes Element 10 | ITSO 110 nm | DBT3P-II: MoOx (= 4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : NPB : [Ir(tBuppm) ₂ (acac)] (= 0,8:0,2:0,05) 40 nm | 2mDBT-PDBq-II 10 nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

[0386] In einer Glove Box, welche eine Stickstoffatmosphäre enthielt, wurden diese lichtemittierenden Elemente abgedichtet, um der Luft nicht ausgesetzt zu werden. Anschließend wurden die Betriebseigenschaften der Elemente gemessen. Es sollte festgehalten werden, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer auf 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0387] Fig. 47 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements 11 und des lichtemittierenden Elements 12. In Fig. 47 stellt die horizontale Achse die Stromdichte (mA/cm^2) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 48 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik dieser. In Fig. 48 stellt die horizontale Achse die Spannung (V) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 49 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik dieser. In Fig. 49 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die Stromausbeute (cd/A) dar. Fig. 50 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik dieser. In Fig. 50 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die externe Quanteneffizienz (%) dar.

[0388] Des Weiteren zeigt Tabelle 14 die Spannung (V), die Stromdichte (mA/cm^2), die CIE Farbwertanteile (x, y), die Stromausbeute (cd/A), die Leistungseffizienz (lm/W) und die externe Quanteneffizienz (%) jedes des lichtemittierenden Elements 11 und des lichtemittierenden Elements 12 bei einer Leuchtdichte von ungefähr 1000 cd/m^2 .

Tabelle 14

| | Spannung (V) | Stromdichte (mA/cm^2) | Farbwertanteile (x, y) | Leuchtdichte (cd/m^2) | Stromausbeute (cd/A) | Leistungseffizienz (lm/W) | Externe Quanteneffizienz (%) |
|--------------------------------|--------------|---|----------------------------|---|--|---|------------------------------|
| Licht-emittierendes Element 11 | 2,9 | 1,7 | (0,43, 0,56) | 890 | 52 | 56 | 15 |
| Licht-emittierendes Element 12 | 2,8 | 1,0 | (0,42, 0,57) | 820 | 84 | 95 | 23 |

[0389] Fig. 51 zeigt die Emissionsspektren des lichtemittierenden Elementes 11 und des lichtemittierenden Elementes 12, welche unter Anlegen eines Stromes von 0,1 mA erhalten wurden. In Fig. 51 stellt die horizontale

Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. Wie in Tabelle 14 dargestellt, betragen die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Elementes 11 bei einer Leuchtdichte von 890 cd/m² (x, y) = (0,43, 0,56) und die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Vergleichselements 12 bei einer Leuchtdichte von 820 cd/m² betragen (x, y) = (0,42, 0,57). Diese Ergebnisse zeigen, dass die gelbgrüne Lichtemission, die von [Ir(tBuppm)₂(acac)] stammt, von dem lichtemittierenden Element 11 und dem lichtemittierenden Element 12 erhalten wurde.

[0390] Aus Tabelle 14 und den **Fig. 47** bis **Fig. 50** wird deutlich, hohe das lichtemittierende Element 11 und das lichtemittierende Element 12 eine höhere Stromausbeute, hohe Leistungseffizienz und hohe externe Quanteneffizienz aufweisen.

[0391] In jedem des lichtemittierenden Elementn 11 und des lichtemittierenden Elements 12 werden DPA2SF oder NPB, 2mDBTPDBq-II und [Ir(tBuppm)₂(acac)], welche in Beispiel 13 beschrieben sind, für die lichtemittierende Schicht verwendet. Wie in Beispiel 13 beschrieben, weist das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und DPA2SF oder NPB (das Emissionsspektrum eines Exciplex) eine große Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum von [Ir(tBuppm)₂(acac)] auf, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zur Lichtemission beiträgt. Man nimmt an, dass das lichtemittierende Element 11 und das lichtemittierende Element 12 eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweisen, das sie jeweils Energie durch Einsatz der Überlappung übertragen und daher weisen sie eine hohe Quanteneffizienz auf. Insbesonder weist das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und NPB eine größere mit dem Absorptionsband auf als das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und DPA2SF. Daher nimmt man an, dass das lichtemittierende Element 12 eine höhere Energieübertragungseffizienz aufweist, als das lichtemittierende Element 11, da das erstere Energie unter Einsatz der größeren Überlappung überträgt und daher eine hohe Quanteneffizienz aufweist. Unter Bezugnahme auf die Ergebnisse in Beispiel 13, fund man heraus, dass der Unterschied zwischen der Energie des Peaks des Emissionsspektrums eines Exciplex und der Energie des Peaks des Absorptionsbandes auf der Seite der geringsten Energie in dem Absorptionsspektrum vorzugsweise 0,3 eV oder weniger beträgt.

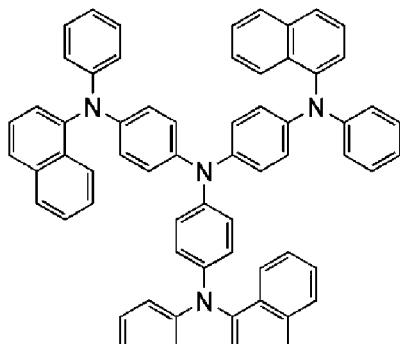
[0392] In diesem Beispiel wird ein lichtemittierendes Element, welches weitere hohe Quanteneffizienz aufweist, erhalten indem einfach simply die zweite organische Verbindung geändert wird (es wird NPB anstelle von DPA2SF verwendet) ohne die erste organische Verbindung zu verändern (welche 2mDBTPDBq-II entspricht).

[0393] Die obigen Ergebnisse zeigen, dass ein Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

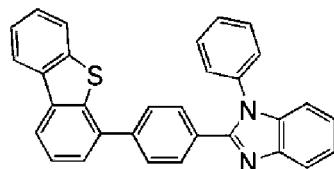
(Beispiel 15)

[0394] In diesem Beispiel werden Beispiele von Kombinationen einer ersten organischen Verbindung, einer zweiten organischen Verbindung und einer phosphoreszierenden Verbindung unter Bezugnahme auf die **Fig. 52A** und **Fig. 52B** beschrieben, welches als ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

[0395] Die in diesem Beispiel verwendete phosphoreszierende Verbindung ist [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]. Zwei Arten von ersten organischen Verbindungen, 2mDBTPDBq-II und 2-[4-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]-1-phenyl-1H-benzoimidazol (Abkürzung: DBTBIm-II), werden in diesem Beispiel verwendet. Die zweite organische Verbindung, welche in diesem Beispiel verwendet wird, ist 4,4',4"-Tris[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]triphenylamin (Abkürzung: 1'-TNATA). Die chemischen Formeln der in diesem Beispiel verwendeten Materialien sind nachfolgend dargestellt. Die chemischen Formeln der in den obigen Beispielen verwendeten Materialien werden hier weggelassen.



1'-TNATA



DBTBIm-II

Absorptionsspektrum

[0396] Fig. 52A und Fig. 52B zweigen jeweils ein UV-VIS Absorptionsspektrum (im Folgenden einfach als Absorptionsspektrum bezeichnet) von $[\text{Ir}(\text{mpqr-Me})_2(\text{dpm})]$, bei welchem es sich um die phosphoreszierende Verbindung in einer Dichlormethanolösung von $[\text{Ir}(\text{mpqr-Me})_2(\text{dpm})]$ handelt. Das Absorptionsspektrum wurde unter Verwendung eines UV-VIS Spektrometers (V-550, hergestellt von JASCO Corporation) in dem Zustand gemessen, in dem die Dichlormethanolösung (0,093 mmol/l) in eine Quarzzelle bei Raumtemperatur eingeführt wurde.

Emissionsspektrum

[0397] Fig. 52A und Fig. 52B zeigen auch ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus 2mDBTPDBq-II, bei welchem es sich die erste organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 23), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus DBTBIm-II, bei welchem es sich die erste organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 24), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus 1'-TNATA, bei welchem es sich um die zweite organische Verbindung handelt (ein Emissionspektrum 25), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und 1'-TNATA (ein Emissionsspektrum 26) und ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus DBTBIm-II und 1'-TNATA (ein Emissionsspektrum 27). In der Fig. 52A stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. In der Fig. 52B stellt die horizontale Achse die Energy (eV) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar.

[0398] Aus dem Absorptionsspektrum in Fig. 52A wird deutlich, dass $[\text{Ir}(\text{mpqr-Me})_2(\text{dpm})]$ ein breites Absorptionsband bei ungefähr 520 nm aufweist. Man geht davon aus, dass dieses Absorptionsband wesentlich zu der Lichtemission beiträgt.

[0399] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und 1'-TNATA (das Emissionsspektrum 26) und das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus DBTBIm-II und 1'-TNATA (das Emissionsspektrum 27) einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) aufweisen, als das Emissionsspektrum jeder organischen Verbindung alleine. Dies zeigt, dass ein Exciplex durch das Vermischen von 2mDBTPDBq-II mit 1'-TNATA gebildet wird. Dies zeigt auch, dass ein Exciplex durch das Vermischen von DBTBIm-II mit 1'-TNATA gebildet wird.

[0400] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials eine große Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum von $[\text{Ir}(\text{tpqr})_2(\text{dpm})]$ aufweist, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu Lichtemission beiträgt. Daher wird gezeigt, dass das lichtemittierende Element enthaltend $[\text{Ir}(\text{tpqr})_2(\text{dpm})]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und NPB eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweist, da es Energie unter Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung überträgt. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher Quanteneffizienz erhalten werden kann.

[0401] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials eine große Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum von $[\text{Ir}(\text{mpqr-Me})_2(\text{dpm})]$ aufweist, von welchem

man annimmt, dass es wesentlich zu Lichtemission beiträgt. Daher wird gezeigt, dass das lichtemittierende Element enthaltend $[Ir(mppr-Me)_2(dpm)]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und 1'-TNATA eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweist, da es Energie unter Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung überträgt. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher Quanteneffizienz erhalten werden kann.

[0402] Das Emissionsspektrum 27 weist einen Peak bei einer kürzeren Wellenlänge (höheren Energie) auf, als das Emissionsspektrum 26. Zusätzlich liegt der Peak des Emissionsspektrums 27 näher an dem Absorptionsband als der Peak des Emissionsspektrums 26. Die obige Erkenntnis zeigt, dass in den **Fig. 52A** und **Fig. 52B** das Emissionsspektrum 27 die größte Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum aufweist, welches wesentlich zu der Lichtemission beiträgt. Insbesondere beträgt der Unterschied zwischen dem Peak des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum (ein Schulterpeak bei ungefähr 520 nm) und dem Peak des Emissionsspektrum 26 0,35 eV, und der Unterschied zwischen dem Peak des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum (ein Schulterpeak bei ungefähr 520 nm) und dem Peak des Emissionsspektrum 27 beträgt 0,01 eV.

[0403] Man nimmt an, dass der Unterschied zwischen den Peaks des Emissionsspektrum 26 und des Emissionsspektrum 27 an dem Unterschied zwischen den LUMO-Niveaus von 2mDBTPDBq-II, welches als erste organische Verbindung verwendet wurde, und DBTBlm-II liegt. Insbesondere beträgt das LUMO-Niveau von 2mDBTPDBq-II -2,95 eV, wohingegen das LUMO-Niveau von DBTBlm-II -2,52 eV beträgt (jeweils berechnet durch zyklische Voltammetrie (CV) Messung). Da DBTBlm-II ein höheres (flacheres) LUMO-Niveau aufweist als 2mDBTPDBq-II, nimmt man an, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus DBTBlm-II und 1'-TNATA, welches ein hohes HOMO-Niveau aufweist, keinen Peak bei einer zu langen Wellenlänge aufweist (d.h. das Emissionsspektrum 27 weist einen Peak bei einer kürzeren Wellenlänge auf als das Emissionsspektrum 26).

[0404] Die obige Beschreibung zeigt, dass das lichtemittierende Element enthaltend $[Ir(mppr-Me)_2(dpm)]$ und das gemischte Material aus DBTBlm-II und 1'-TNATA eine höhere Energieübertragungseffizienz aufweist, als das lichtemittierende Element enthaltend $[Ir(mppr-Me)_2(dpm)]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und 1'-TNATA, da das erste Energie unter Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung überträgt. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher Quanteneffizienz erhalten werden kann.

[0405] Zusätzlich zeigt dieses Beispiel, dass die Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung erhöht werden kann, indem einfach die erste organische Verbindung geändert wird, ohne die zweite organische Verbindung zu ändern. In anderen Worten wird gezeigt, dass seine Kombination, die in der Lage ist die Überlappung zu vergrößern, erhalten werden kann, indem einfach die erste organische Verbindung geändert wird, auch in dem Fall, in dem die Emissionsfarbe der phosphoreszierenden Verbindung verändert wird (die Position des Absorptionsbandes in dem Absorptionsspektrum, welche wesentlich zu der Lichtemission beiträgt), und dass ein lichtemittierende Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz und langen Lebensdauer erhalten werden kann.

(Beispiel 16)

[0406] In diesem Beispiel werden lichtemittierende Elemente einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 15** beschrieben. Die in diesem Beispiel verwendeten Materialien wurden in den obigen Beispielen verwendet, daher werden die chemischen Formeln dieser hier weggelassen.

[0407] Verfahren zur Herstellung eines lichtemittierenden Elementes 13 dieses Beispiels und eines lichtemittierenden Vergleichselementes 14 werden nachfolgend beschrieben.

(Lichtemittierendes Element 13)

[0408] Zunächst wurde ein Film aus ITSO auf einem Glassubstrat **1100** durch ein Sputterverfahren gebildet, so dass eine erste Elektrode **1101**, welche als Anode diente, gebildet wurde. Es sollte festgehalten werden, dass die Dicke auf 110 nm eingestellt wurde und dass die Elektrodenfläche auf 2 mm × 2 mm eingestellt wurde.

[0409] Nachfolgend wurde als eine Vorbehandlung zur Bildung des lichtemittierenden Elementes auf dem Substrat **1100** eine UV-Ozon-Behandlung für 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrates mit Wasser gewaschen wurde und es bei 200 °C für eine Stunde gebrannt bzw. gebacken wurde.

[0410] Anschließend wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfungsvorrichtung befördert, in welcher der Druck auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert wurde, und wurde einem Vakuumbacken bei 170 °C für 30 Minuten in einer Heizkammer der Vakuumverdampfungsvorrichtung unterworfen und anschließend wurde das Substrat **1100** für ungefähr 30 Minuten abgekühlt.

[0411] Anschließend wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfungsvorrichtung befördert, in welcher der Druck auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert wurde, und wurde einem Vakuumbacken bei 170 °C für 30 Minuten in einer Heizkammer der Vakuumverdampfungsvorrichtung unterworfen und anschließend wurde das Substrat **1100** für ungefähr 30 Minuten abgekühlt.

[0412] Danach wurde das mit der ersten Elektrode **1101** bereitgestellte Substrat **1100** an einem Substrathalter in der Vakuumverdampfungsvorrichtung befestigt, so dass seine Oberfläche, auf welcher die erste Elektrode **1101** bereitgestellt war, nach unten zeigte. Der Druck in der Vakuumverdampfungsvorrichtung wurde auf ungefähr 10^{-4} Pa reduziert. Anschließend wurden BPAFLP und Molybdän(VI)oxid co-verdampft, um eine Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** zu bilden. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** wurde auf 40 nm eingestellt und das Gewichtsverhältnis von BPAFLP zu Molybdänoxid wurde auf 4:2 eingestellt (= BPAFLP : Molybdänoxid).

[0413] Danach wurde auf der Lochinjektionsschicht **1111** eine Schicht aus BPAFLP mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine Lochtransportschicht **1112** zu bilden.

[0414] Des Weiteren wurden 2mDBTPDBq-II, 1'-TNATA und $[\text{Ir}(\text{mpn}-\text{Me})_2(\text{dpm})]$ co-verdampft, um eine lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** zu bilden. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu 1'-TNATA und $[\text{Ir}(\text{mpn}-\text{Me})_2(\text{dpm})]$ auf 0,8:0,2:0,05 (= 2mDBTPDBq-II : 1'-TNATA : $[\text{Ir}(\text{mpn}-\text{Me})_2(\text{dpm})]$) eingestellt. Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt.

[0415] Des Weiteren wurde auf der lichtemittierenden Schicht **1113** ein Film aus 2mDBTPDBq-II mit einer Dicke von 10 nm gebildet, um eine erste Elektronentransportschicht **1114a** zu bilden.

[0416] Dann wurde auf der ersten Elektronentransportschicht **1114a** ein Film aus Bphen mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine zweite Elektronentransportschicht **1114b** zu bilden.

[0417] Des Weiteren wurde auf der zweiten Elektronentransportschicht **1114b** ein Film aus LiF durch Verdampfung mit einer Dicke von 1 nm gebildet, um eine Elektroneninjektionsschicht **1115** zu bilden.

[0418] Zuletzt wurde ein Aluminiumfilm durch Verdampfung mit einer Dicke von 200 nm als eine zweite Elektrode **1103** gebildet, welche als eine Kathode diente. Auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 13 dieses Beispiels hergestellt.

(Lichtemittierendes Element 14)

[0419] Eine lichtemittierende Schicht **1113** des lichtemittierenden Elementes 14 wurde durch co-Verdampfung von DBTBlm-II, 1'-TNATA und $[\text{Ir}(\text{mpn}-\text{Me})_2(\text{dpm})]$ gebildet. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von DBTBlm-II zu 1'-TNATA und $[\text{Ir}(\text{mpn}-\text{Me})_2(\text{dpm})]$ auf 0,8:0,2:0,05 eingestellt (=DBTBlm-II : 1'-TNATA : $[\text{Ir}(\text{mpn}-\text{Me})_2(\text{dpm})]$). Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 20 nm eingestellt.

[0420] Eine erste Elektronentransportschicht **1114a** des lichtemittierenden Elementen 14 wurde gebildet, indem ein Film aus DBTBlm-II mit einer Dicke von 30 nm gebildet wurde. Die weiteren Bestandteile außer der lichtemittierenden Schicht **1113** und der ersten Elektronentransportschicht **1114a** wurden auf ähnliche Weise wie bei dem lichtemittierenden Element 1 hergestellt.

[0421] Es sollte festgehalten werden, dass bei allen obigen Verdampfungsschritten die Verdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0422] Tabelle 15 zeigt Elementstrukturen des lichtemittierenden Elementes 13 und des lichtemittierenden Elementes 14, welche wie oben beschrieben erhalten wurden.

Tabelle 15

| | Erste Elektrode | Loch-injektions-schicht | Loch-transport-schicht | Lichtemittierende Schicht | Erste Elektronen-transport-schicht | Zweite Elektronen-transport-schicht | Elektroneninjektions-schicht | Zweite Elektrode |
|-------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| Lichtemittierendes Element 13 | ITSO 110 nm | BPAFLP: MoOx (= 4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : 1'-TNATA: [Ir(mp- pr-Me)2(dpm)] (= 0,8:0,2:0,05) 20 nm | 2mDBT-PDBq-II 30nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| Lichtemittierendes Element 14 | ITSO 110 nm | BPAFLP: MoOx (= 4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | DBTBIm-II : 1'-TNATA: [Ir(mp- pr-Me)2(dpm)] (= 0,8:0,2:0,05) 20 nm | DBTBIm-II 30nm | Bphen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

[0423] In einer Glove Box, welche eine Stickstoffatmosphäre enthielt, wurden diese lichtemittierenden Elemente abgedichtet, um der Luft nicht ausgesetzt zu werden. Anschließend wurden die Betriebseigenschaften der Elemente gemessen. Es sollte festgehalten werden, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer auf 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0424] Fig. 53 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements 13 und des lichtemittierenden Elements 14. In Fig. 53 stellt die horizontale Achse die Stromdichte (mA/cm^2) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 54 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik dieser. In Fig. 54 stellt die horizontale Achse die Spannung (V) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 55 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik dieser. In Fig. 55 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die Stromausbeute (cd/A) dar. Fig. 56 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik dieser. In Fig. 56 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die externe Quanteneffizienz (%) dar.

[0425] Des Weiteren zeigt Tabelle 16 die Spannung (V), die Stromdichte (mA/cm^2), die CIE Farbwertanteile (x, y), die Stromausbeute (cd/A), die Leistungseffizienz (lm/W) und die externe Quanteneffizienz (%) jedes des lichtemittierenden Elements 13 und des lichtemittierenden Elements 14 bei einer Leuchtdichte von ungefähr 860 cd/m^2 .

Tabelle 16

| | Spannung (V) | Stromdichte (mA/cm^2) | Farbwertanteile (x, y) | Leuchtdichte (cd/m^2) | Stromausbeute (cd/A) | Leistungseffizienz (lm/W) | Externe Quanteneffizienz (%) |
|--------------------------------|--------------|---|----------------------------|---|--|---|------------------------------|
| Licht-emittierendes Element 13 | 3,1 | 2,9 | (0,53, 0,46) | 860 | 29 | 30 | 11 |
| Licht-emittierendes Element 14 | 3,8 | 1,5 | (0,53, 0,44) | 860 | 58 | 48 | 21 |

[0426] Fig. 57 zeigt die Emissionsspektren des lichtemittierenden Elementes 1 und des lichtemittierenden Elementes 14, welche unter Anlegen eines Stromes von 0,1 mA erhalten wurden. In Fig. 57 stellt die horizont-

tale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. Wie in Tabelle 16 dargestellt, betragen die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Elementes 13 und des lichtemittierenden Elements 14 bei einer Leuchtdichte von 860 cd/m² (x, y) = (0,53, 0,46). Diese Ergebnisse zeigen, dass die orange Lichtemission, die von [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] stammt, von dem lichtemittierenden Element 13 und dem lichtemittierenden Vergleichselement 14 erhalten wurde.

[0427] Aus Tabelle 16 und den **Fig. 53** bis **Fig. 56** wird deutlich, dass das lichtemittierende Element 13 und das lichtemittierende Element 14 eine hohe Stromausbeute, hohe Leistungseffizienz und hohe externe Quanteneffizienz aufweisen.

[0428] In jedem dem lichtemittierenden Element 13 und dem lichtemittierenden Element 14 werden 2mDBTPDBq-II oder DBTBIm-II, 1'-TNATA und [Ir(mppr-Me)₂(dpm)], welche in Beispiel 15 beschrieben sind, für die lichtemittierende Schicht verwendet. Wie in Beispiel 15 beschrieben weist das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II oder DBTBIm-II und 1'-TNATA (tdas Emissionsspektrum eines Exciplex) eine grosse Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum von [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] auf, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu der Lichtemission beiträgt. Man nimmt an, dass das lichtemittierende Element 13 und das lichtemittierende Element 14 eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweisen durch Einsatz der Überlappung und daher eine hohe externe Quanteneffizienz aufweisen. Insbesondere weist das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus DBTBIm-II und 1'-TNATA eine grössere Überlappung mit dem Absorptionsband auf, als das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und 1'-TNATA. Daher geht man davon aus, dass das lichtemittierende Element 14 eine höhere Energieübertragungseffizienz aufweist, als das lichtemittierende Element 13, da das erstere Energie überträgt durch Einsatz der grösseren Überlappung und daher eine hohe Quanteneffizienz aufweist. Unter Bezugnahme auf die Ergebnisse in Beispiel 15, hat man herausgefunden, dass der Unterschied zwischen der Energie des Peaks des Emissionsspektrums eines Exciplex und der Energie des Peaks des Absorptionsbandes auf der Seite der niedrigsten Energie in dem Absorptionsspektrum vorzugsweise 0,3 eV oder weniger beträgt.

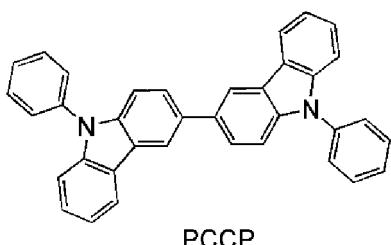
[0429] In diesem Beispiel wird ein lichtemittierendes Element mit einer weiteren hohen externen Quanteneffizienz erhalten, indem einfach die erste organische Verbindung geändert wird (Verwendung von DBTBIm-II anstelle von 2mDBTPDBq-II) ohne die zweite organische Verbindung zu ändern (entsprechend 1'-TNATA).

[0430] Die obigen Ergebnisse zeigen, dass ein Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz erhalten werden kann, indem eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet wird.

(Beispiel 17)

[0431] In diesem Beispiel werden Beispiele von Kombinationen einer ersten organischen Verbindung, einer zweiten organischen Verbindung und einer phosphoreszierenden Verbindung unter Bezugnahme auf die **Fig. 58A** und **Fig. 58B** beschrieben, welches als ein lichtemittierendes Element einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

[0432] Die in diesem Beispiel verwendete phosphoreszierende Verbindung ist [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]. Die in diesem Beispiel verwendete erste organische Verbindung ist 2mDBTPDBq-II. Zwei Arten von zweiten organischen Verbindungen, PCBNBB und 9-Phenyl-9H-3-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)carbazol (Abkürzung: PCCP), wurden in diesem Beispiel verwendet. Eine chemische Formel des in diesem Beispiel verwendeten Materials ist nachfolgend dargestellt. Die chemischen Formeln der in den obigen Beispielen verwendeten Materialien werden hier weggelassen.



Absorptionsspektrum

[0433] **Fig. 58A** und **Fig. 58B** zweigen jeweils ein UV-VIS Absorptionsspektrum (im Folgenden einfach als Absorptionsspektrum bezeichnet) von $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$, bei welchem es sich um die phosphoreszierende Verbindung in einer Dichlormethanlösung von $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ handelt. Das Absorptionsspektrum wurde unter Verwendung eines UV-VIS Spektrometers (V-550, hergestellt von JASCO Corporation) in dem Zustand gemessen, in dem die Dichlormethanlösung (0,093 mmol/l) in eine Quarzzelle bei Raumtemperatur eingeführt wurde.

<Absorptionsspektrum>

Emissionsspektrum

[0434] **Fig. 58A** und **Fig. 58B** zeigen auch ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus 2mDBTPDBq-II, bei welchem es sich die erste organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 28), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus PCBNBB, bei welchem es sich die zweite organische Verbindung handelt (ein Emissionsspektrum 29), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus PCCP, bei welchem es sich um die zweite organische Verbindung handelt (ein Emissionspektrum 30), ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB (ein Emissionsspektrum 31) und ein Emissionsspektrum einer Dünnschicht aus einem gemischten Material aus 2mDBTPDBq-II und PCCP (ein Emissionsspektrum 32). In der **Fig. 58A** stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. In der **Fig. 58B** stellt die horizontale Achse die Energy (eV) dar und die vertikale Achse stellt den molaren Absorptionskoeffizienten ϵ ($\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) und die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar.

[0435] Aus dem Absorptionsspektrum in **Fig. 58A** wird deutlich, dass $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ ein breites Absorptionsband bei ungefähr 500 nm aufweist. Man geht davon aus, dass dieses Absorptionsband wesentlich zu der Lichtemission beiträgt.

[0436] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB (ein Emissionsspektrum 31) und das Emissionsspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPDBq-II und PCCP (ein Emissionsspektrum 32) einen Peak bei einer längeren Wellenlänge (niedrigeren Energie) aufweisen, als das Emissionsspektrum jeder organischen Verbindung alleine. Dies zeigt, dass ein Exciplex durch das Vermischen von 2mDBTPDBq-II mit PCBNBB gebildet wird. Dies zeigt auch, dass ein Exciplex durch das Vermischen von 2mDBTPDBq-II mit PCCP gebildet wird.

[0437] Man hat herausgefunden, dass das Emissionsspektrum des gemischten Materials eine große Überlappung mit dem Absorptionsband in dem Absorptionsspektrum von $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ aufweist, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu Lichtemission beiträgt. Daher wird gezeigt, dass das lichtemittierende Element enthaltend $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und PCBNBB und das lichtemittierende Element enthaltend $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ und das gemischte Material aus 2mDBTPDBq-II und PCCP eine hohe Energieübertragungseffizienz aufweist, da sie Energie unter Verwendung der Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des gemischten Materials und dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung übertragen. Demzufolge wird gezeigt, dass ein lichtemittierendes Element mit hoher Quateneffizienz erhalten werden kann.

[0438] Zusätzlich zeigt dieses Beispiel, dass entweder eine auf aromatischem Amin basierende Verbindung oder eine Carbazolverbindung als eine der ersten und zweiten Verbindungen verwendet werden kann, die ein Exciplex bilden.

(Beispiel 18)

[0439] In diesem Beispiel werden lichtemittierende Elemente einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 15** beschrieben. Die in diesem Beispiel verwendeten Materialien wurden in den obigen Beispielen verwendet, daher werden die chemischen Formeln dieser hier weggelassen.

[0440] Verfahren zur Herstellung eines lichtemittierenden Elementes 15 und eines lichtemittierenden Vergleichselementes 16 dieses Beispiels werden nachfolgend beschrieben.

(Lichtemittierendes Element 15)

[0441] Zunächst wurde ein Film aus ITSO auf einem Glassubstrat **1100** durch ein Sputterverfahren gebildet, so das eine erste Elektrode **1101**, welche als Anode diente, gebildet wurde. Es sollte festgehalten werden, dass die Dicke auf 110 nm eingestellt wurde und dass die Elektrodenfläche auf 2 mm × 2 mm eingestellt wurde.

[0442] Nachfolgend wurde als eine Vorbehandlung zur Bildung des lichtemittierenden Elementes auf dem Substrat **1100** eine UV-Ozon-Behandlung für 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrates mit Wasser gewaschen wurde und es bei 200 °C für eine Stunde gebrannt bzw. gebacken wurde.

[0443] Anschließend wurde das Substrat in eine Vakkuumverdampfungsvorrichtung befördert, in welcher der Druck auf ungefähr 10⁻⁴ Pa reduziert wurde, und wurde einem Vakuumbacken bei 170 °C für 30 Minuten in einer Heizkammer der Vakkuumverdampfungsvorrichtung unterworfen und anschließend wurde das Substrat **1100** für ungefähr 30 Minuten abgekühlt.

[0444] Danach wurde das mit der ersten Elektrode **1101** bereitgestellte Substrat **1100** an einem Substrathalter in der Vakkuumverdampfungsvorrichtung befestigt, so das seine Oberfläche, auf welcher die erste Elektrode **1101** bereitgestellt war, nach unten zeigte. Der Druck in der Vakkuumverdampfungsvorrichtung wurde auf ungefähr 10⁻⁴ Pa reduziert. Anschließend wurden BPAFLP und Molybdän(VI)oxid co-verdampft, um eine Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** zu bilden. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** wurde auf 40 nm eingestellt und das Gewichtsverhältnis von BPAFLP zu Molybdänoxid wurde auf 4:2 eingestellt (= BPAFLP : Molybdänoxid).

[0445] Danach wurde auf der Lochinjektionsschicht **1111** eine Schicht aus BPAFLP mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine Lochtransportschicht **1112** zu bilden.

[0446] Des Weiteren wurden 2mDBTPDBq-II, PCBNBB und [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] co-verdampft, um eine lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** zu bilden. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu PCBNBB und [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] auf 0,8:0,2:0,05 (= 2mDBTPDBq-II : PCBNBB : [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]) eingestellt. Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 40 nm eingestellt.

[0447] Des Weiteren wurde auf der lichtemittierenden Schicht **1113** 2mDBTPDBq-II, PCBNBB, und [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] co-verdampft um eine erste Elektronentransportschicht **1114a** auf der lichtemittierenden Schicht **1113** zu bilden. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-III zu PCBNBB und [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] auf 0,8:0,2:0,05 (= 2mDBTPDBq-III : PCBNBB : [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]) eingestellt. Die Dicke der ersten Elektronentransportschicht **1114a** wurde auf 40 nm eingestellt.

[0448] Dann wurde auf der ersten Elektronentransportschicht **1114a** ein Film aus BPhen mit einer Dicke von 20 nm gebildet, um eine zweite Elektronentransportschicht **1114b** zu bilden.

[0449] Des Weiteren wurde auf der zweiten Elektronentransportschicht **1114b** ein Film aus LiF durch Verdampfung mit einer Dicke von 1 nm gebildet, um eine Elektroneninjektionsschicht **1115** zu bilden.

[0450] Zuletzt wurde ein Aluminiumfilm durch Verdampfung mit einer Dicke von 200 nm als eine zweite Elektrode **1103** gebildet, welche als eine Kathode diente. Auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 1 dieses Beispiels hergestellt.

(Lichtemittierendes Element 16)

[0451] Eine lichtemittierende Schicht **1113** des lichtemittierenden Elementes 16 wurde durch co-Verdampfung von 2mDBTPDBq-II, PCCP und [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] gebildet. Hierbei wurde das Gewichtsverhältnis von 2mDBTPDBq-II zu PCCP und [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] auf 0,8:0,2:0,05 eingestellt (= 2mDBTPDBq-II : PCCP : [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]). Die Dicke der lichtemittierenden Schicht **1113** wurde auf 20 nm eingestellt. Die weiteren Bestandteile außer der lichtemittierenden Schicht **1113** wurden auf ähnliche Weise wie bei dem lichtemittierenden Element 15 hergestellt.

[0452] Es sollte festgehalten werden, dass bei allen obigen Verdampfungsschritten die Verdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0453] Tabelle 17 zeigt Elementstrukturen des lichtemittierenden Elementes 15 und des lichtemittierenden Elementes 16, welche wie oben beschrieben erhalten wurden.

Tabelle 17

| | Erste Elektrode | Loch-injektions-schicht | Loch-transport-schicht | Lichtemittierende Schicht | Erste Elektronen-transport-schicht | Zweite Elektronen-transport-schicht | Elektro-neninjektions-schicht | Zweite Elektrode |
|-------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Lichtemittierendes Element 15 | ITSO 110 nm | BPAFLP: MoOx (= 4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : PCBNBB : [Ir(mp-pr-Me)2(dpm)] (= 0,8:0,2:0,05) 20 nm | 2mDBT-PDBq-II 30nm | Bphen 10 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| Lichtemittierendes Element 16 | ITSO 110 nm | BPAFLP: MoOx (= 4:2) 40nm | BPAF-LP 20 nm | 2mDBTPDBq-II : PCCP : [Ir(mp-pr-Me)2(dpm)] (= 0,8:0,2:0,05) 20 nm | DBTBIm-II 30nm | Bphen 10 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

[0454] In einer Glove Box, welche eine Stickstoffatmosphäre enthielt, wurden diese lichtemittierenden Elemente abgedichtet, um der Luft nicht ausgesetzt zu werden. Anschließend wurden die Betriebseigenschaften der Elemente gemessen. Es sollte festgehalten werden, dass die Messung bei Raumtemperatur (in einer auf 25 °C gehaltenen Atmosphäre) durchgeführt wurde.

[0455] Fig. 59 zeigt die Stromdichte-Leuchtdichte-Charakteristik des lichtemittierenden Elements 15 und des lichtemittierenden Elements 16. In Fig. 59 stellt die horizontale Achse die Stromdichte (mA/cm^2) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 60 zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Charakteristik dieser. In Fig. 60 stellt die horizontale Achse die Spannung (V) dar und die vertikale Achse stellt die Leuchtdichte (cd/m^2) dar. Fig. 61 zeigt die Leuchtdichte-Stromausbeute-Charakteristik dieser. In Fig. 61 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die Stromausbeute (cd/A) dar. Fig. 62 zeigt die Leuchtdichte-externe Quanteneffizienz-Charakteristik dieser. In Fig. 62 stellt die horizontale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) dar und die vertikale Achse stellt die externe Quanteneffizienz (%) dar.

[0456] Des Weiteren zeigt Tabelle 18 die Spannung (V), die Stromdichte (mA/cm^2), die CIE Farbwertanteile (x,y), die Stromausbeute (cd/A), die Leistungseffizienz (lm/W) und die externe Quanteneffizienz (%) jedes des lichtemittierenden Elements 15 und des lichtemittierenden Elements 16 bei einer Leuchtdichte von ungefähr 1200 cd/m^2 .

Tabelle 18

| | Spannung (V) | Stromdichte (mA/cm^2) | Farbwertanteile (x, y) | Leuchtdichte (cd/m^2) | Stromausbeute (cd/A) | Leistungseffizienz (lm/W) | Externe Quanteneffizienz (%) |
|-------------------------------|--------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Lichtemittierendes Element 15 | 3,0 | 1,7 | (0,54, 0,45) | 1200 | 67 | 70 | 24 |
| Lichtemittierendes Element 16 | 3,0 | 1,7 | (0,54, 0,46) | 1200 | 69 | 72 | 24 |

[0457] Fig. 63 zeigt die Emissionsspektren des lichtemittierenden Elementes 15 und des lichtemittierenden Elementes 16, welche unter Anlegen eines Stromes von 0,1 mA erhalten wurden. In Fig. 63 stellt die horizontale Achse die Wellenlänge (nm) dar und die vertikale Achse stellt die Emissionsintensität (willkürliche Einheit) dar. Wie in Tabelle 18 dargestellt, betragen die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Elementes 15 bei einer Leuchtdichte von 1200 cd/m² (x, y) = (0,54, 0,45) und die CIE Farbwertanteile des lichtemittierenden Elementes 16 bei einer Leuchtdichte von 1200 cd/m² betragen (x, y) = (0,54, 0,46). Diese Ergebnisse zeigen, dass die orange Lichtemission, die von [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] stammt, von dem lichtemittierenden Element 15 und dem lichtemittierenden Element 16 erhalten wurde.

[0458] Aus Tabelle 18 und den Fig. 59 bis Fig. 62 wird deutlich, dass das lichtemittierende Element 15 und das lichtemittierende Element 16 jeweils eine hohe Stromausbeute, hohe Leistungseffizienz und hohe externe Quanteneffizienz aufweisen.

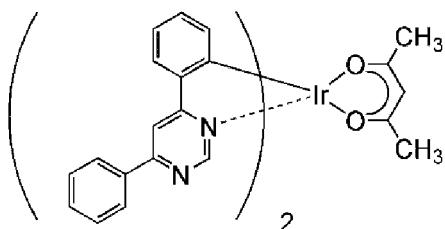
[0459] Bei jedem, dem lichtemittierenden Element 15 und dem lichtemittierenden Element 16, wurden 2mDBTPBq-II, PCBNBB oder PCCP und [Ir(mppr-Me)₂(dpm)], welche in Beispiel 17 beschrieben sind, für die lichtemittierende Schicht verwendet. Wie in Beispiel 11 beschrieben weist das Emissionspektrum des gemischten Materials aus 2mDBTPBq-II und PCBNBB oder PCCP (das Emissionsspektrum eines Exciplex) eine größere Überlappung mit dem Absorptionsspektrum von [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] auf, von welchem man annimmt, dass es wesentlich zu der Lichtemission beiträgt. Bei dem lichtemittierende Element 15 und dem lichtemittierenden Element 16 wird davon ausgegangen, dass sie eine hohe Energieübertragungseffizienz durch Verwendung der Überlappung aufweisen und daher eine hohe externe Quanteneffizienz aufweisen.

[0460] Zusätzlich zeigt dieses Beispiel, dass ein Exciplex gebildet werden kann, indem entweder eine auf einem aromatischen Amin basierende Verbindung (PCBNBB) oder eine Carbazolverbindung (PCCP) verwendet wird, und dass eine lichtemittierende Schicht mit hoher externer Quanteneffizienz erhalten werden kann.

[0461] Die obigen Resultate zeigen, dass ein Element mit einer hohen Zuverlässigkeit durch Verwendung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielt werden kann.

(Referenzbeispiel 1)

[0462] Ein Synthesebeispiel eines organometallischen Komplexes (Acetylacetonato)bis(4,6-diphenylpyrimidinato)iridium(III) (anderer Name: Bis[2-(6-phenyl-4-pyrimidinyl-KN3)phenyl-KC](2,4-pantanediionato-K²0,0')iridium(III)) (Abkürzung: [Ir(dppm)₂(acac)]), welcher in den obigen Beispielen verwendet wird, wird beschrieben. Die Struktur von [Ir(dppm)₂(acac)] ist nachfolgend dargestellt.

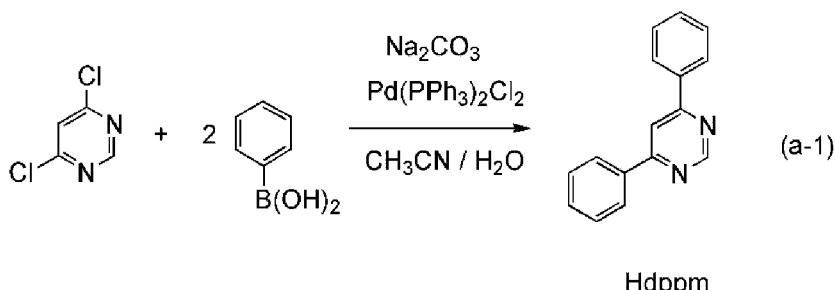


[Ir(dppm)₂(acac)]

(Schritt 1: Synthese von 4,6-Diphenylpyrimidin (Abkürzung: Hdppm))

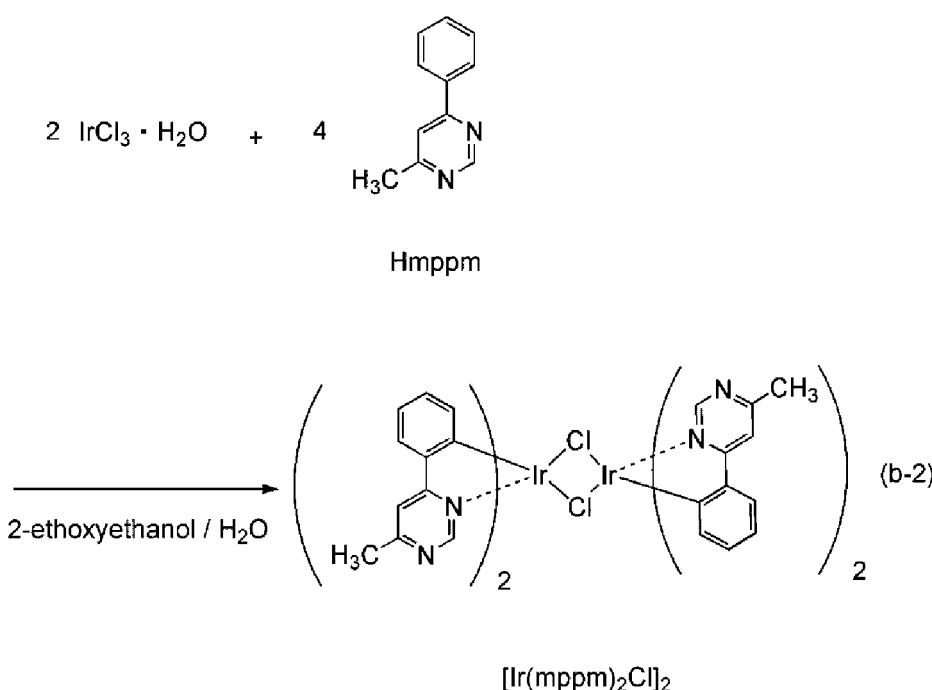
[0463] Zunächst wurden 5,02 g of 4,6-Dichlorpyrimidin, 8,29 g of Phenylboronsäure, 7,19 g Natriumcarbonat, 0,29 g Bis(triphenylphosphin)palladium(II)dichlorid (Abkürzung: Pd(PPh₃)₂Cl₂), 20 ml Wasser und 20 ml Acetonitril in einen Rückgewinnungskolben eingeführt, welcher mit einem Refluxrohr versehen war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Dieser Reaktionsbehälter wurde durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) für 60 Minuten erwärmt. Des Weiteren wurden 2,08 g Phenylboronsäure, 1,79 g Natriumcarbonat, 0,070 g of Pd(PPh₃)₂Cl₂, 5 ml Wasser und 5 ml Acetonitril in den Kolben eingeführt und die Mischung wurde erneut durch Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) für 60 Minuten erwärmt. Anschließend wurde Wasser zu der Lösung zugegeben und eine organische Schicht wurde mit Dichlormethan extrahiert. Die erhaltene organische Schicht wurde mit Wasser gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Die Lösung wurde nach dem Trocknen gefiltert. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert und anschließend wurde der erhaltene Rückstand durch Kieselgel-Säulenchromatographie gereinigt, unter Verwendung von Dichlor-

methan als Laufmittel, so dass ein Pyrimidinderivat Hdppm (gelbweisses Pulver, Ausbeute 38 %) erhalten wurde. Es sollte festgehalten werden, dass zur Bestrahlung mit Mikrowellen ein Mikrowellensynthesesystem verwendet wurde (Discover, hergestellt von CEM Corporation). Ein Syntheseschema (a-1) von Schritt 1 ist nachfolgend dargestellt.



(Schritt 2: Synthese von Di-m-chlor-bis[bis(4,6-diphenylpyrimidinato)iridium(III)] (Abkürzung: [Ir(dppm)₂Cl]₂)

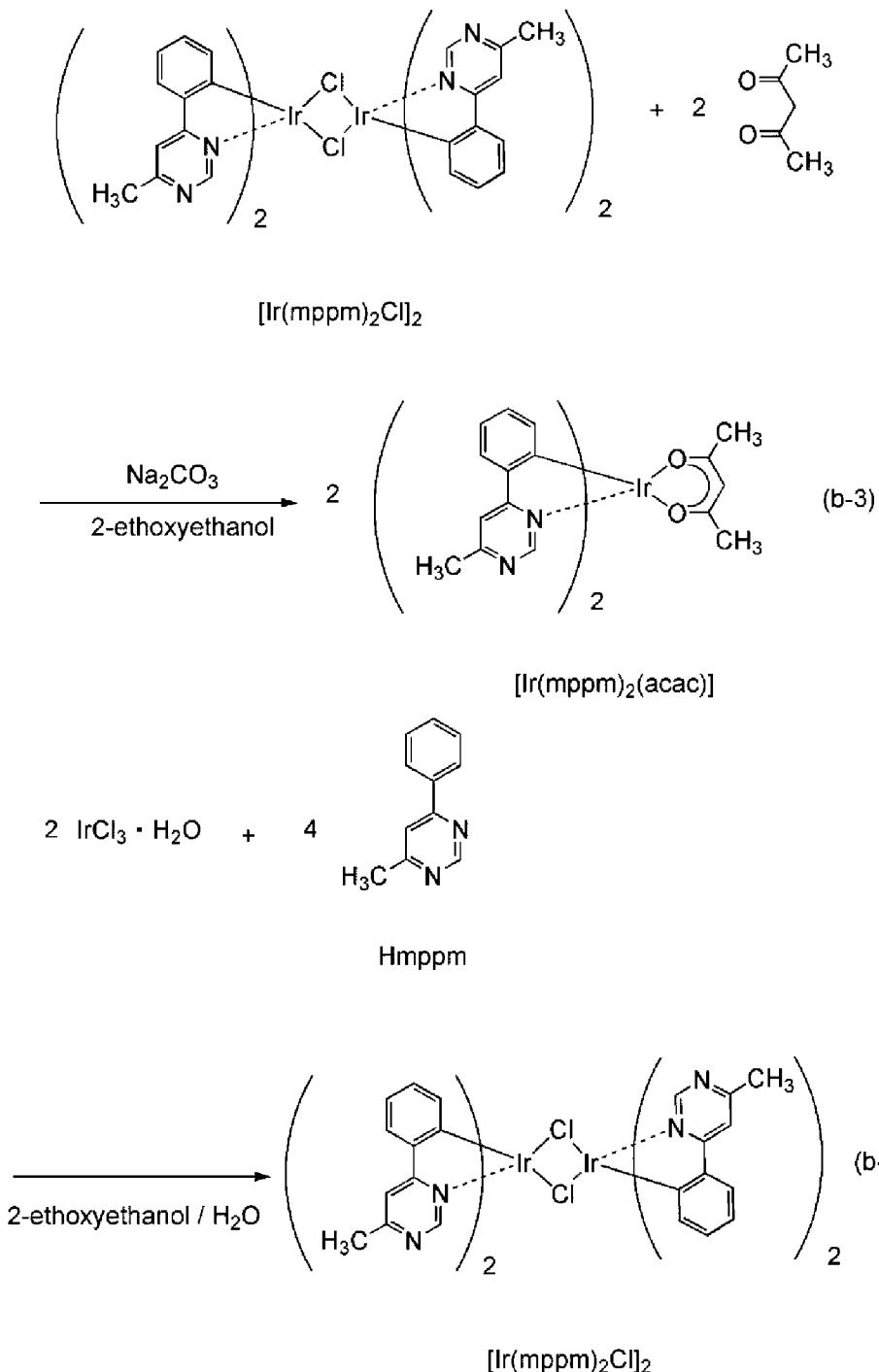
[0464] Anschließend wurden 15 ml 2-Ethoxyethanol, 5 ml Wasser, 1,10 g Hdppm, welches in Schritt 1 erhalten wurde, und 0,69 g Iridiumchloridhydrat ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) in einen Rückgewinnungskolben eingeführt, welcher mit einem Refluxrohr versehen war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) für 1 Stunde durchgeführt, um eine Reaktion zu bewirken. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert und der erhaltene Rückstand wurde abfiltriert und mit Ethanol gewaschen, um einen dinuklearen Komplex $[\text{Ir}(\text{dppm})_2\text{Cl}]_2$ zu erhalten (rötlich braunes Pulver, Ausbeute von 88 %). Ein Syntheseschema (a-2) von Schritt 2 ist nachfolgend dargestellt.



(Schritt 3: Synthese von (Acetylacetonato)bis(6-methyl-4-phenylpyrimidinato)iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$))

[0465] Des Weiteren wurde 40 ml 2-Ethoxyethanol, 1,84 g dinuklearer Komplex $[\text{Ir}(\text{dppm})_2\text{Cl}]_2$, welcher in Schritt 2 erhalten wurde, 0,48 g Acetylaceton und 1,73 g Natriumcarbonat in einen Rückgewinnungskolben eingeführt, welcher mit einem Refluxrohr versehen war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde eine Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) für 60 Minuten durchgeführt, um eine Reaktion zu bewirken. Das Lösungsmittel wurde abfiltriert und der erhaltene Rückstand in Dichlormethan aufgelöst und eine Filtration wurde durchgeführt, um die unlösliche Materie zu entfernen. Das erhaltene Filtrat wurde mit Wasser und anschließend mit Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Die Lösung wurde nach dem Trocknen gefiltert. Das Lösungsmittel dieser Lösung wurde abdestilliert und anschlie-

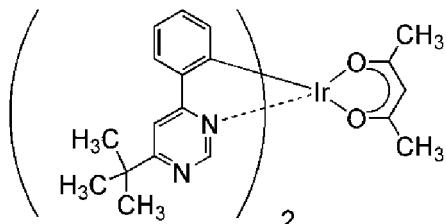
ßend wurde der erhaltene Rückstand durch Kieselgel-Säulenchromatographie gereinigt, unter Verwendung von Dichlormethan und Ethylacetat als Laufmittel mit einem Volumenverhältnis von 4:1. Anschließend wurde eine Rekristallisation mit einem gemischten Lösungsmittel aus Dichloromethan und Hexan durchgeführt, so dass das gelbe Zielpulver (Ausbeute 22 %) erhalten wurde. Ein Syntheseschema (b-3) von Schritt 3 ist nachfolgend dargestellt.



[0466] Ein Analyseergebnis durch Kernresonanzspektroskopie (^1H NMR) des in dem Schritt 3 erhaltenen gelben Pulvers ist nachfolgend beschrieben. Diese Ergebnisse zeigten, dass der organometallische Komplex $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ erhalten wurde. ^1H NMR. δ (CDCl₃): 1.78 (s, 6H), 2.81 (s, 6H), 5.24 (s, 1H), 6.37 (d, 2H), 6.77 (t, 2H), 6.85 (t, 2H), 7.61-7.63 (m, 4H), 8.97 (s, 2H).

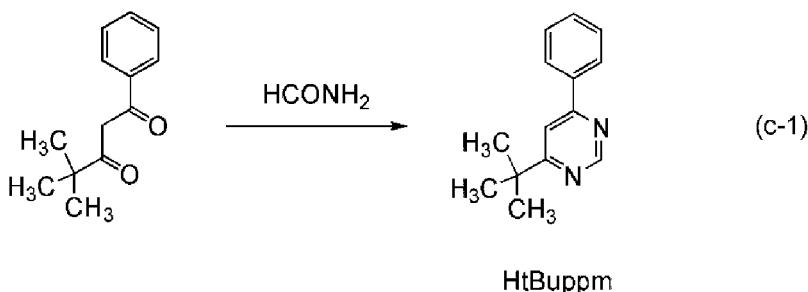
(Referenzbeispiel 3)

[0467] Ein Synthesebeispiel eines organometallischen Komplexes (Acetylacetonato)bis(6-tert-butyl-4-phenylpyrimidinato)iridium(III) (anderer Name: Bis[2-(6-tert-butyl-4-pyrimidinyl-KN3)phenyl-KC](2,4-pentanedionato-K²O')iridium(III)) (Abkürzung: [Ir(tBuppm)₂(acac)]), welcher in den obigen Beispielen verwendet wird, wird beschrieben. Die Struktur von [Ir(tBuppm)₂(acac)] ist nachfolgend dargestellt.

[Ir(tBuppm)₂(acac)]

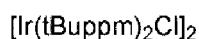
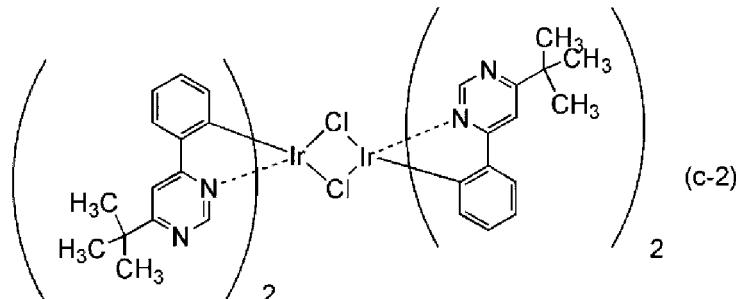
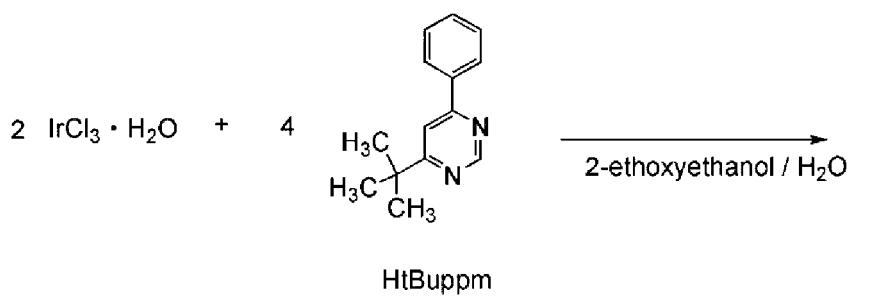
(Schritt 1: Synthese von 4-tert-Butyl-6-phenylpyrimidin (Abkürzung: HtBuppm))

[0468] Zunächst wurden 22,5 g 4,4-Dimethyl-1-phenylpentan-1,3-dion und 50 g Formamid in einen Rückgewinnungskolben eingeführt, welcher mit einem Refluxrohr versehen war, und die Luft in dem Kolben wurde durch Stickstoff ersetzt. Dieser Reaktionsbehälter wurde erwärmt, so dass die reagierte Lösung 5 Stunden refluxiert wurde. Anschließend wurde diese Lösung in eine wässrige Lösung aus Natriumhydroxid geschüttet und eine organische Schicht wurde mit Dichlormethan extrahiert. Die erhaltene organische Schicht wurde mit Wasser und Salzlösung gewaschen und mit Magnesiumsulfat getrocknet. Die Lösung wurde nach dem Trocknen gefiltert. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert und anschließend wurde der erhaltene Rückstand durch Kieselgel-Säulenchromatographie gereinigt, unter Verwendung von Hexan und Ethylacetat als Laufmittel mit einem Volumenverhältnis von 10:1, so dass ein Pyrimidinderivativ HtBuppm (farblose, ölige Substanz, Ausbeute 14 %) erhalten wurde. Ein Syntheseschema (c-1) von Schritt 1 ist nachfolgend dargestellt.

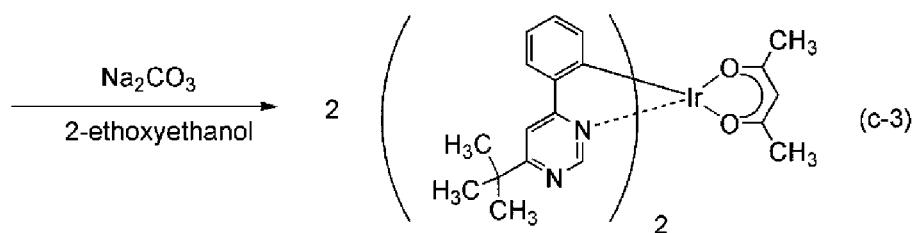
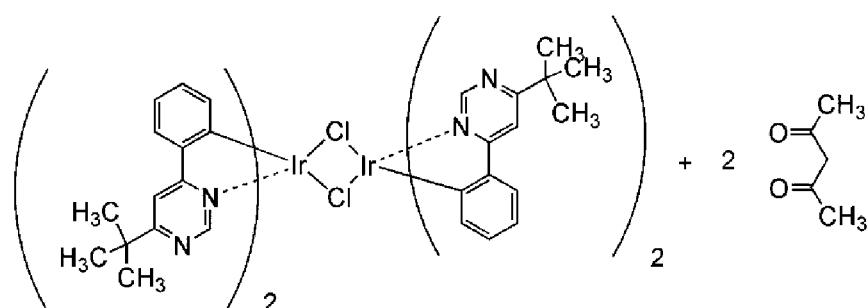


(Schritt 2: Synthese von Di- η -chlor-bis[bis(6-tert-butyl-4-phenylpyrimidinato-)iridium(III)] (Abkürzung: [Ir(tBuppm)₂Cl]₂)>

Anschließend wurden 15 ml 2-Ethoxyethanol, 5 ml Wasser, 1,49 g HtBuppm, welches in Schritt 1 erhalten wurde, und 1,04 g Iridiumchloridhydrat (IrC₁₃H₂O) in einen Rückgewinnungskolben, welcher mit einem Refluxrohr versehen war, eingeführt und die Luft in dem Kolben wurde durch Argon ersetzt. Anschließend wurde die Bestrahlung mit Mikrowellen (2,45 GHz, 100 W) für eine Stunde durchgeführt, um eine Reaktion zu erzielen. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert und der erhaltene Rückstand wurde durch Saugen filtriert und mit Ethanol gewaschen, so dass ein dinuklearer Komplex [Ir(tBuppm)₂Cl]₂ (gelb-grünes Pulver, Ausbeute 73 %) erhalten wurde. Ein Syntheseschema (c-2) des Schrittes 2 ist nachfolgend dargestellt.



[0469] Dieser Feststoff wurde in Dichlormethan aufgelöst und die Mischung wurde durch ein Filterhilfsmittel filtriert, bei welchem Celite (hergestellt von Pure Chemical Industries, Ltd., Katalog Nr. 53116855), Aluminiumoxid und Celite in dieser Reihenfolge gestapelt waren. Das Lösungsmittel wurde abdestilliert und der erhaltene Feststoff wurde mit einem gemischten Lösungsmittel aus Dichloromethan und Hexan rekristallisiert, so dass die Zielsubstanz als gelbes Pulver erhalten wurde (Ausbeute: 68%) Ein Synthese Schema (c-3) von Schritt 3 ist nachfolgend dargestellt.

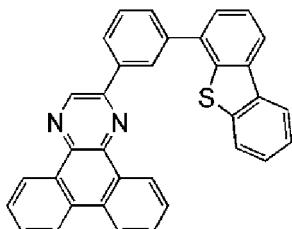


[0470] Ein Analyseergebnis durch Kernresonanzspektroskopie (^1H NMR) des indem Schritt 3 erhaltenen gelben Pulvers ist nachfolgend beschrieben. Diese Ergebnisse zeigten, dass der organometallische Komplex [Ir(tBu₄ppm)₂(acac)] erhalten wurde.

^1H NMR, δ (CDCl₃): 1,50 (s, 18H), 1,79 (s, 6H), 5,26 (s, 1H), 6,33 (d, 2H), 6,77 (t, 2H), 6,85 (t, 2H), 7,70 (d, 2H), 7,76 (s, 2H), 9,02 (s, 2H).

(Referenzbeispiel 4)

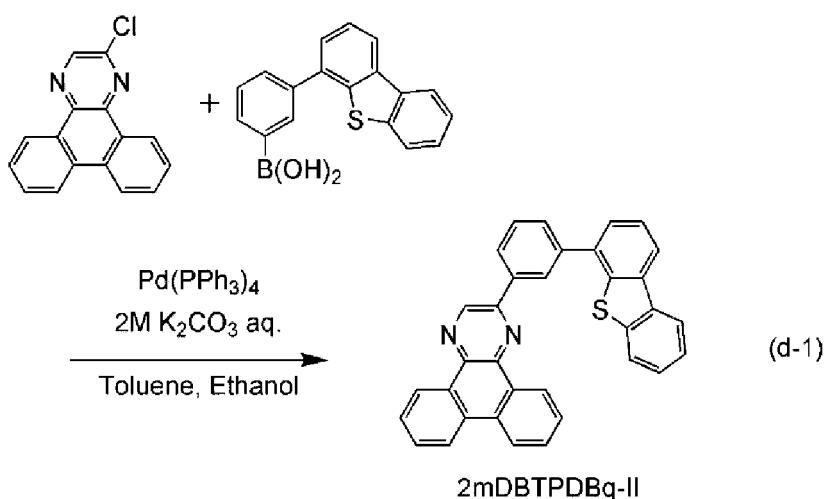
[0471] Ein Verfahren zur Synthese von 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2mDBTPDBq-II), welches in den obigen Beispielen verwendet wird, wird beschrieben.



2mDBTPDBq-II

(Synthese von 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2mDBTPDBq-II)>

[0472] Ein Syntheseschema (d-1) von 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2mDBTPDBq-II) ist nachfolgend dargestellt.



[0473] Zunächst wurden 5,3 g (20 mmol) 2-Chlordibenzo[f,h]chinoxalin, 6,1 g (20 mmol) 3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenylboronsäure, 460 mg (0.4 mmol) Tetrakis(triphenylphosphin)palladium(0), 300 ml Toluol, 20 ml Ethanol und 20 ml einer 2M wässrigen Lösung aus Kaliumcarbonat in einen dreihalsigen 2l-Kolben eingeführt. Die Mischung wurde entgast, indem sie unter reduziertem Druck gerührt wurde und die Luft in dem Behälter wurde durch Stickstoff ersetzt. Diese Mischung wurde unter einem Stickstoffstrom bei 100 °C für 7,5 Stunden gerührt. Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur wurde die erhaltene Mischung filtriert um einen weißen Rückstand zu erhalten. Der erhaltene Rückstand wurde mit Wasser und Ethanol in dieser Reihenfolge gewaschen und anschließend getrocknet. Der erhaltene getrocknete Feststoff wurde in ungefähr 600 ml heißem Toluol aufgelöst, gefolgt von einer Saugfiltration durch Celite und Florisil, wodurch ein klares farbloses Filtrat erhalten wurde. Das erhaltene Filtrat wurde konzentriert und durch Kieselgel-Säulenchromatographie unter Verwendung von ungefähr 700 ml Kieselgel gereinigt. Die Chromatographie wurde unter Verwendung von heißem Toluol als Laufmittel durchgeführt. Aceton und Ethanol wurden zu dem hierbei erhaltenen Feststoff zugegeben, gefolgt von einer Bestrahlung mit Ultraschallwellen. Anschließend wurde der erzeugte suspendierte Feststoff durch Filtration gesammelt und der erhaltene Feststoff getrocknet, so dass 7,85 g weißes Pulver mit 80 % Ausbeute erhalten wurde.

[0474] Die obige Zielsubstanz war in heißem Toluol relativ löslich, war jedoch ein Material, welches dazu neigte, beim Abkühlen auszufallen. Des Weiteren war die Lösung in anderen Lösungsmitteln, wie Aceton und Ethanol schlecht löslich. Daher führte der Einsatz von diesen unterschiedlichen Graden von Löslichkeit zu einer Synthese mit hoher Ausbeute, durch ein einfaches Verfahren wie oben. Insbesondere wurde die Mischung, nachdem die Reaktion beendet war auf Raumtemperatur zurückgeführt und das Präzipitat wurde durch Filtration gesammelt, wodurch die meisten Verunreinigungen einfach entfernt werden konnten. Des Weiteren wurde die Zielsubstanz, welche leicht ausfällt, durch die Säulenchromatographie mit heißem Toluol leicht gereinigt.

[0475] Durch ein Train-Sublimationsverfahren wurden 4,0 g des erhaltenen weißen Pulvers gereinigt. Bei der Reinigung wurde das weiße Pulver auf 300 °C unter einem Druck von 5,0 Pa mit einer Argon-Flussrate von 5,0 ml/min erwärmt. Nach der Reinigung wurde die Zielsubstanz mit einer Ausbeute von 88 % als 3,5 g weißes Pulver erhalten.

[0476] Eine Kernresonanzspektroskopie (¹H NMR) identifizierte diese Verbindung als das Ziel 2-[3-(Dibenzot-hiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2mDBTPDBq-II).

[0477] Die ¹H NMR Werte der erhaltenen Substanz sind nachfolgend dargestellt.

[0478] ¹H NMR (CDCl₃, 300 MHz): δ (ppm) = 7,45-7,52 (m, 2H), 7,59-7,65 (m, 2H), 7,71-7,91 (m, 7H), 8,20-8,25 (m, 2H), 8,41 (d, J = 7,8 Hz, 1H), 8,65 (d, J = 7,5 Hz, 2H), 8,77-8,78 (m, 1H), 9,23 (dd, J = 7,2 Hz, 1,5 Hz, 1H), 9,42 (dd, J = 7,8 Hz, 1,5 Hz, 1H), 9,48 (s, 1H).

Bezugszeichenliste

- 102** EL-Schicht,
- 103** erste Elektrode,
- 108** zweite Elektrode,
- 701** Lochinjektionsschicht,
- 702** Lochtransportschicht,
- 703** lichtemittierende Schicht,
- 704** Elektronentransportschicht,
- 705** Elektroneninjektionsschicht,
- 706** Elektroneninjektionspufferschicht,
- 707** Elektronenrelais-Schicht,
- 708** Verbundmaterialschicht,
- 800** erste EL-Schicht,
- 801** zweite EL-Schicht,
- 803** Ladungserzeugungsschicht,
- 1100** Substrat,
- 1101** erste Elektrode,
- 1103** zweite Elektrode,
- 1111** Lochinjektionsschicht,
- 1112** Lochtransportschicht,
- 1113** lichtemittierende Schicht,
- 1114a** erste Elektronentransportschicht,
- 1114b** zweite Elektronentransportschicht, und
- 1115** Elektroneninjektionsschicht.

[0479] Diese Anmeldung basiert auf der der japanischen Patentanmeldung Serial Nr. 2011-031462, angemeldet am 16. Februar, 2011 beim japanischen Patentamt, deren Inhalt hier durch Bezugnahme vollständig aufgenommen wird.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2011031462 [0479]

Schutzansprüche**1. Licht emittierendes Element, das umfasst:**

ein Paar Elektroden; und
 eine Licht emittierende Schicht, die einen Iridiumkomplex, eine erste organische Verbindung und eine zweite organische Verbindung zwischen dem Paar Elektroden umfasst,
 wobei die erste organische Verbindung eine heterocyclische Verbindung ist,
 wobei die zweite organische Verbindung eine Carbazolverbindung ist,
 wobei die erste organische Verbindung und die zweite organische Verbindung so ausgewählt sind, dass von der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung ein Exciplex gebildet wird,
 wobei eine Differenz zwischen dem Energiewert eines Peaks des Emissionsspektrums des Exciplexes und dem Energiewert eines Peaks des Absorptionsbands an der längsten Wellenlängenseite in dem Absorptionspektrum des Iridiumkomplexes 0,2 eV oder weniger beträgt,
 wobei das Absorptionsband einem direkten Übergang von dem Singulett-Grundzustand zu dem tiefsten angeregten Tripletztzzustand des Iridiumkomplexes entspricht, und
 wobei das Niveau einer Triplettanregungsenergie sowohl der ersten organischen Verbindung als auch der zweiten organischen Verbindung höher als dasjenige des Iridiumkomplexes ist.

2. Licht emittierendes Element, das umfasst:

ein Paar Elektroden; und
 eine Licht emittierende Schicht, die einen Iridiumkomplex, eine erste organische Verbindung und eine zweite organische Verbindung zwischen dem Paar Elektroden umfasst,
 wobei die erste organische Verbindung eine heterocyclische Verbindung ist,
 wobei die zweite organische Verbindung eine Carbazolverbindung ist,
 wobei die erste organische Verbindung und die zweite organische Verbindung so ausgewählt sind, dass von der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung ein Exciplex gebildet wird,
 wobei ein Peak eines Emissionsspektrums des Exciplexes das Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite in einem Absorptionsspektrum des Iridiumkomplexes überlappt,
 wobei das Absorptionsband einem direkten Übergang von dem Singulett-Grundzustand zu dem tiefsten angeregten Tripletztzzustand des Iridiumkomplexes entspricht, und
 wobei das Niveau einer Triplettanregungsenergie sowohl der ersten organischen Verbindung als auch der zweiten organischen Verbindung höher als dasjenige des Iridiumkomplexes ist.

3. Licht emittierendes Element nach Anspruch 1 oder 2, wobei es sich bei dem Emissionsspektrum um ein Fluoreszenzspektrum handelt.

4. Licht emittierendes Element nach Anspruch 1 oder 2, wobei es eine der ersten organischen Verbindung und der zweiten organischen Verbindung in einem höheren Anteil als die andere umfasst, und wobei ein Phosphoreszenzspektrum dieser organischen Verbindung mit einem höheren Anteil das Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite in dem Absorptionsspektrum des Iridiumkomplexes überlappt.

5. Licht emittierendes Element nach Anspruch 3, wobei das Fluoreszenzspektrum des Exciplexes und ein Phosphoreszenzspektrum des Exciplexes das Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite in dem Absorptionsspektrum des Iridiumkomplexes überlappen.

6. Licht emittierendes Element nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Carbazolverbindung eine Carbazol-3-yl-Gruppe umfasst.

7. Elektronische Vorrichtung, die das Licht emittierende Element nach Anspruch 1 oder 2 umfasst.

8. Beleuchtungsvorrichtung, die das Licht emittierende Element nach Anspruch 1 oder 2 umfasst.

Es folgen 47 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

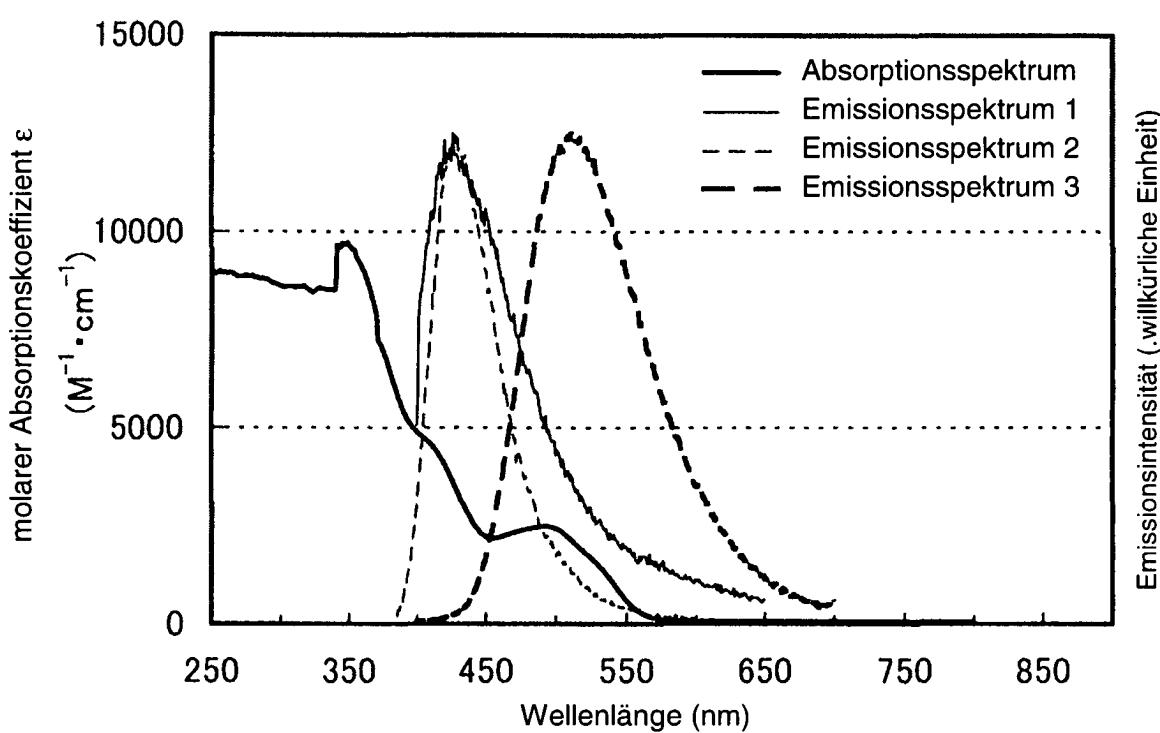


FIG. 1B

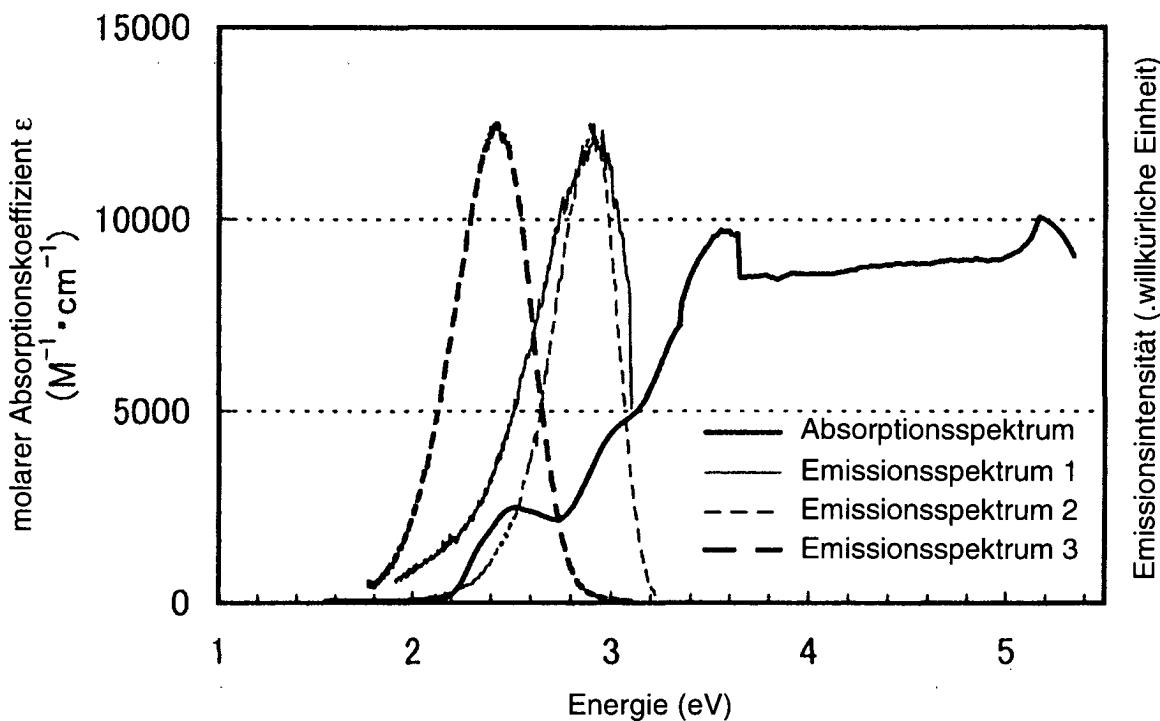


FIG. 2A

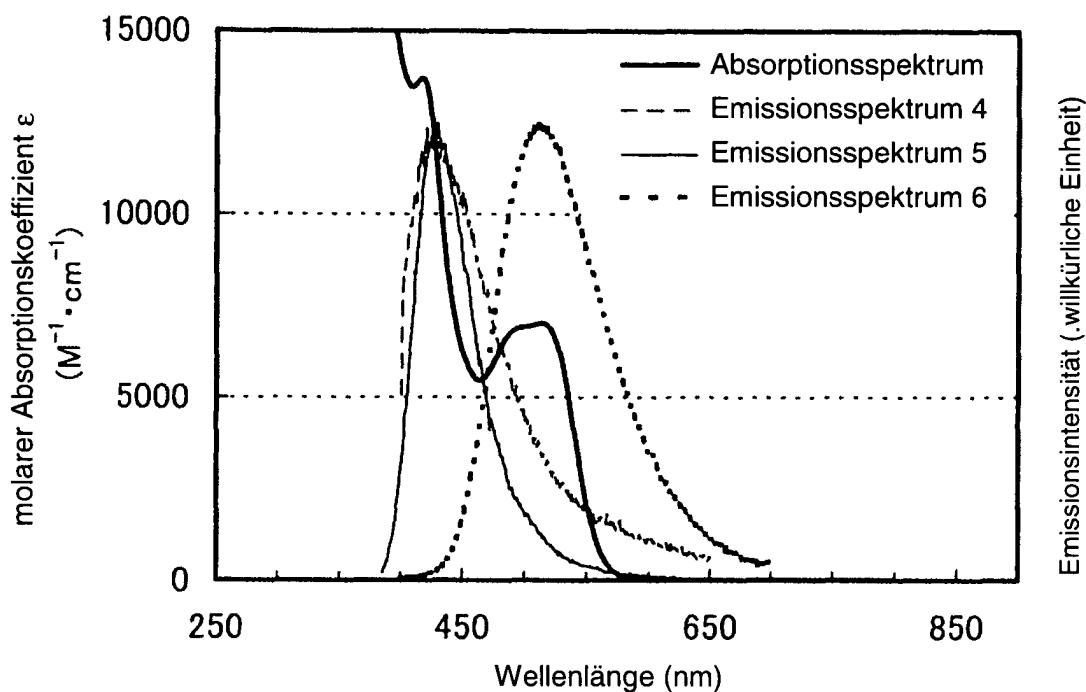


FIG. 2B

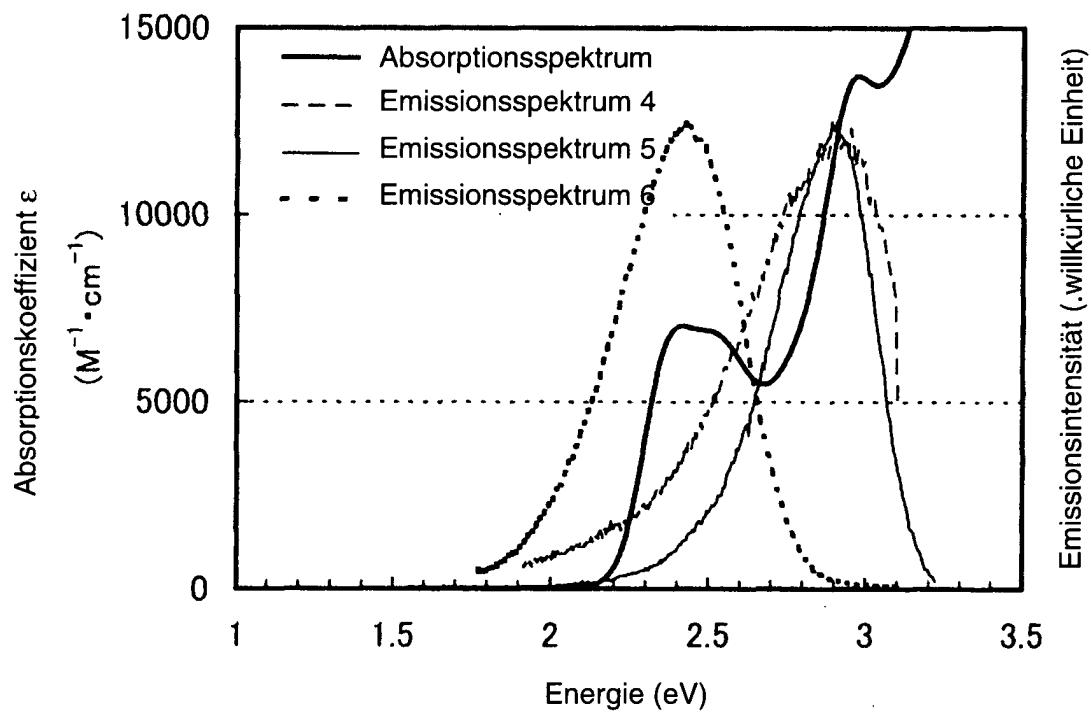


FIG. 3

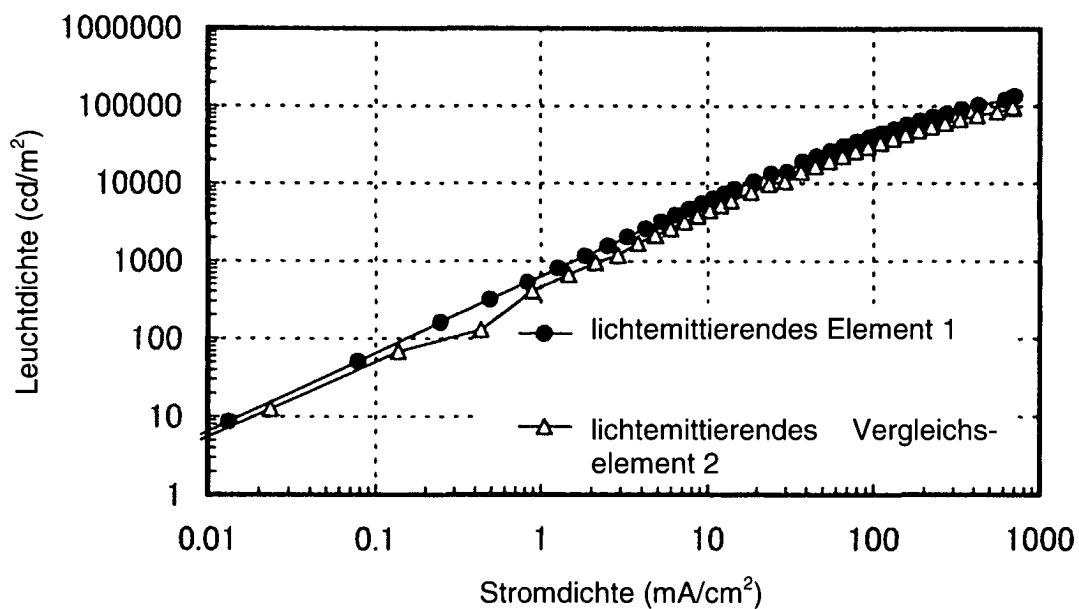


FIG. 4

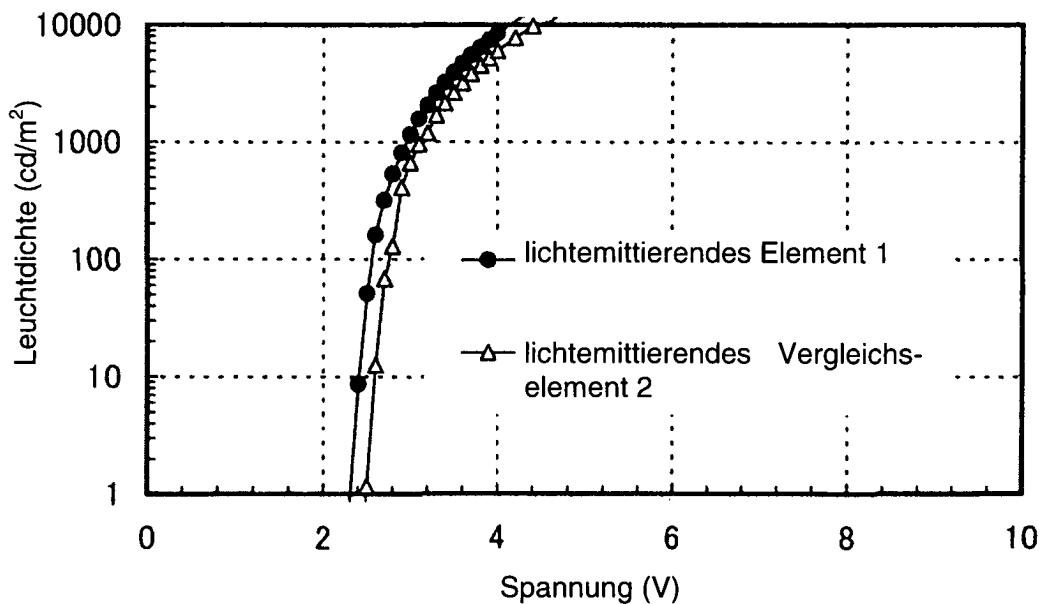


FIG. 5

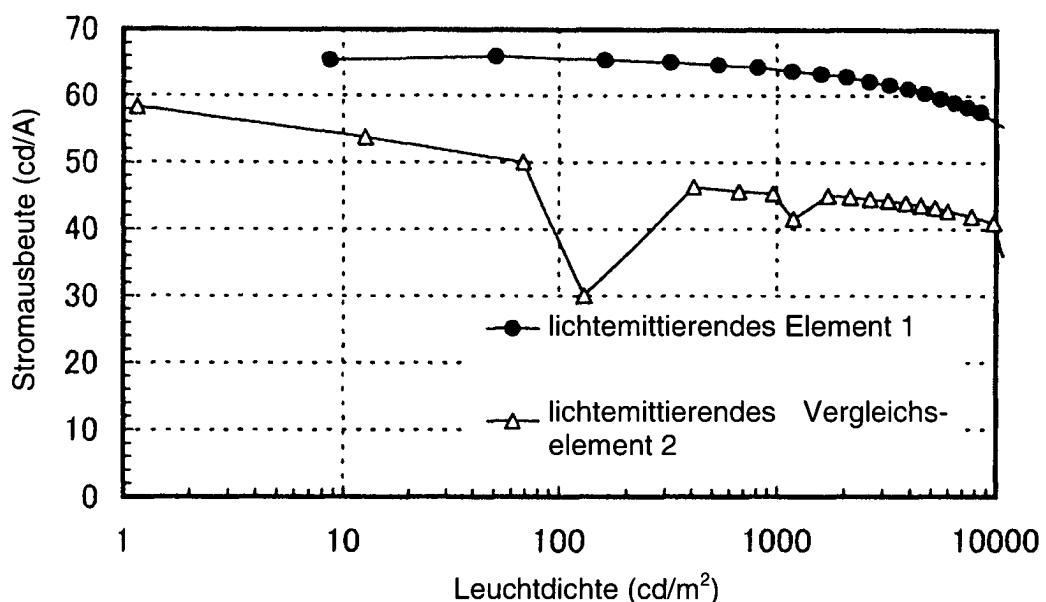


FIG. 6

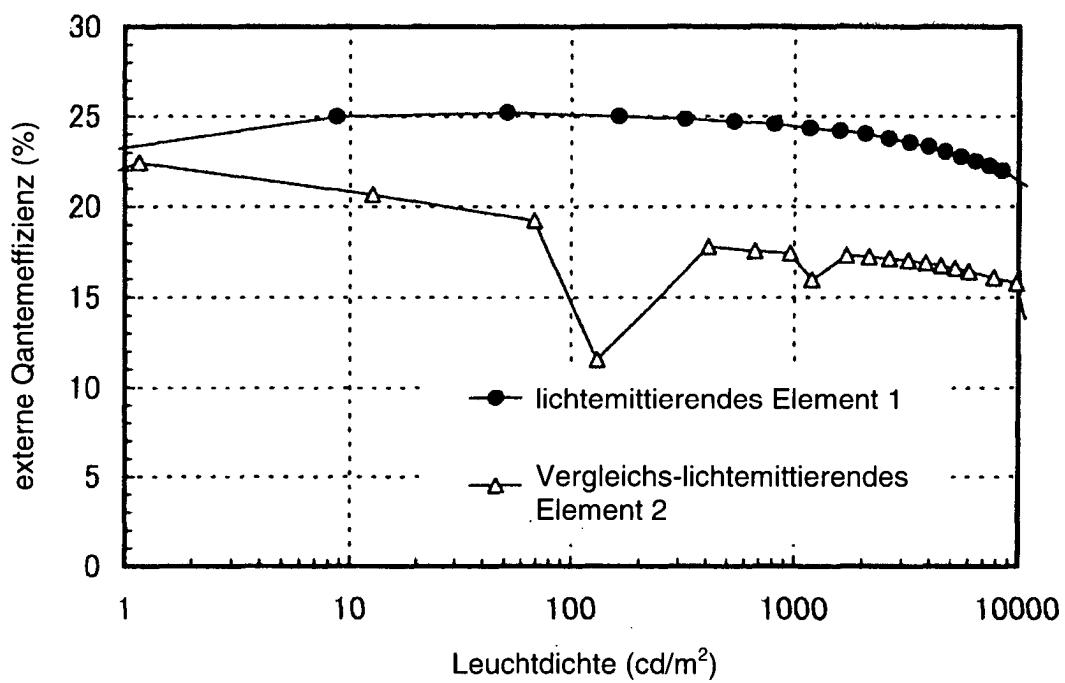


FIG. 7

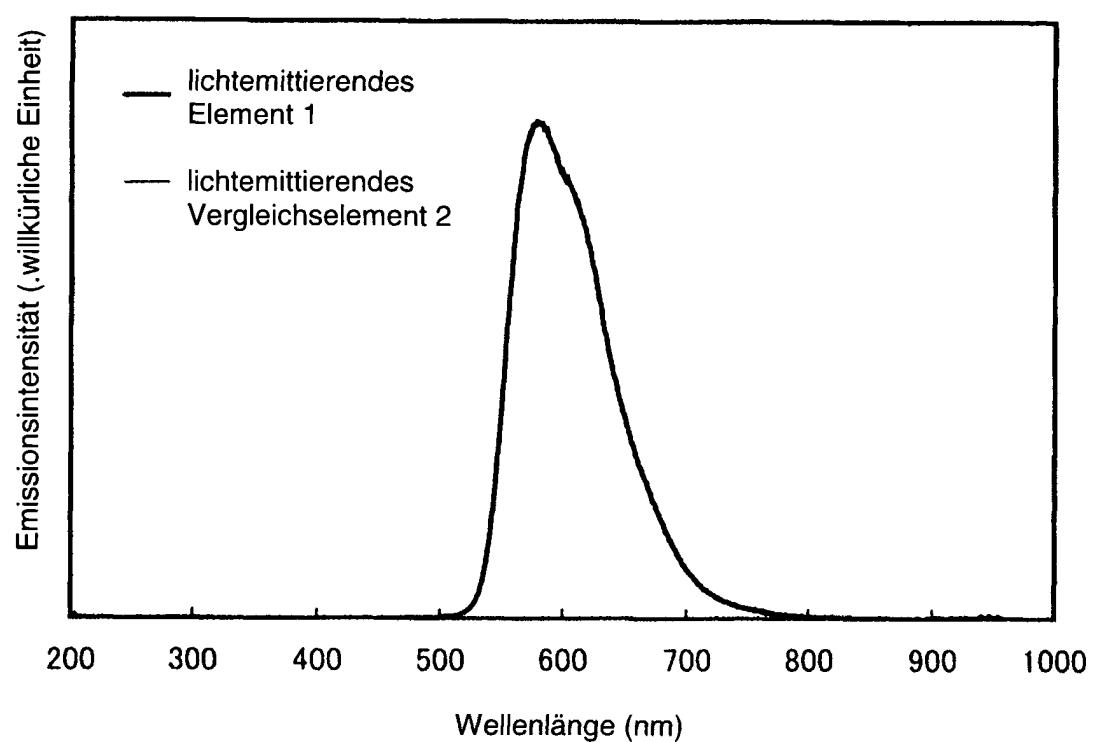


FIG. 8

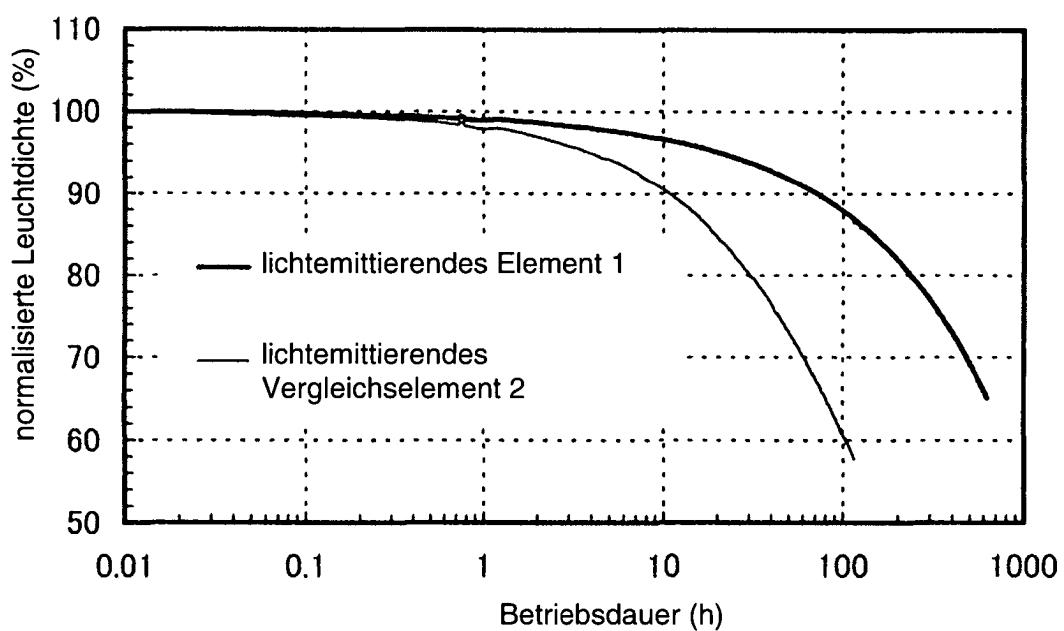


FIG. 9

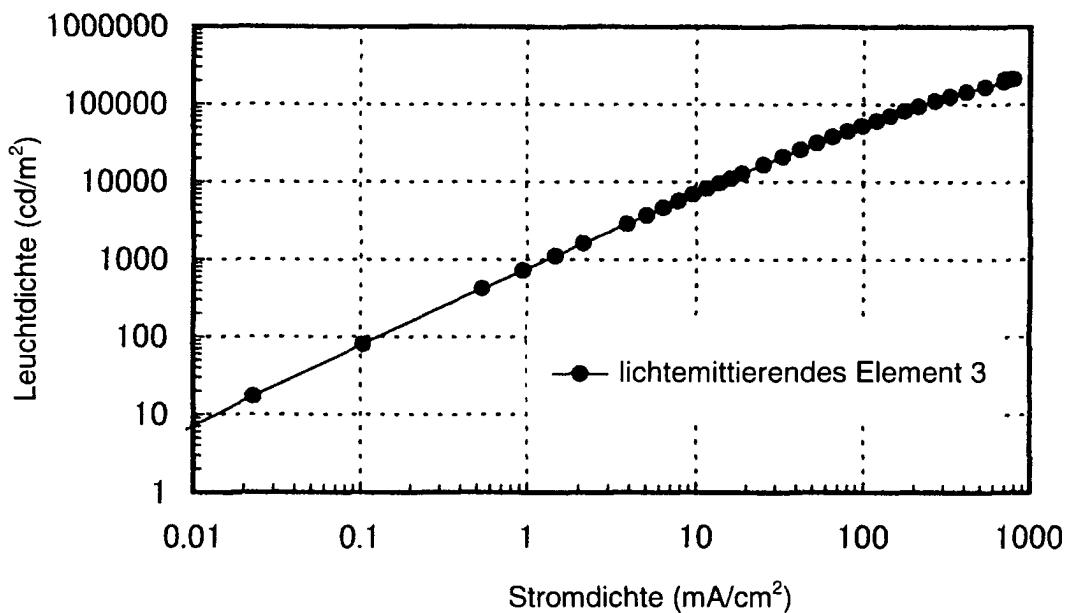


FIG. 10

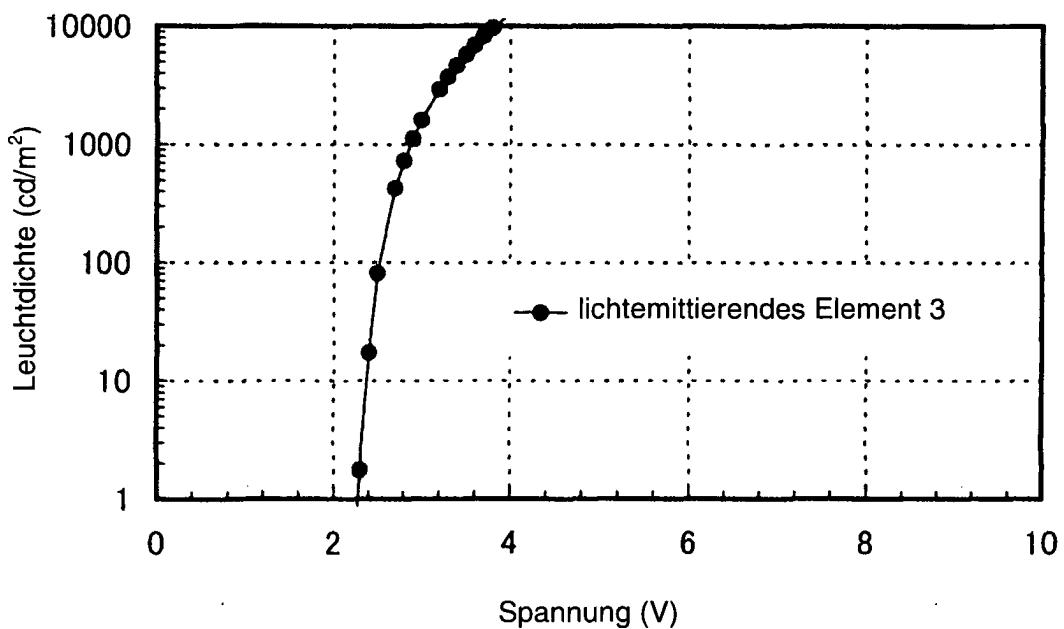


FIG. 11

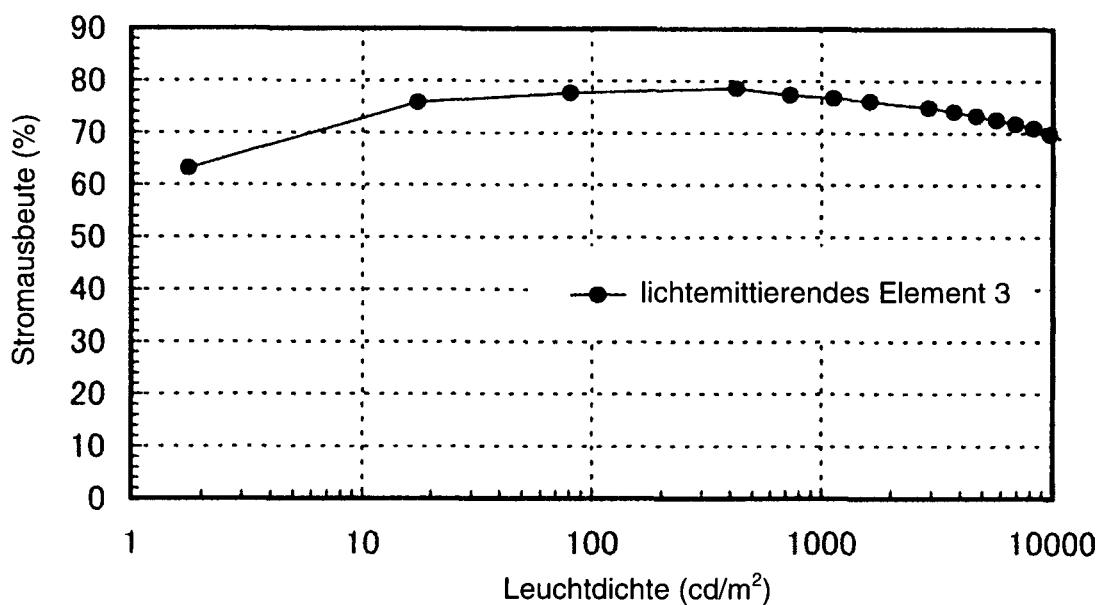


FIG. 12

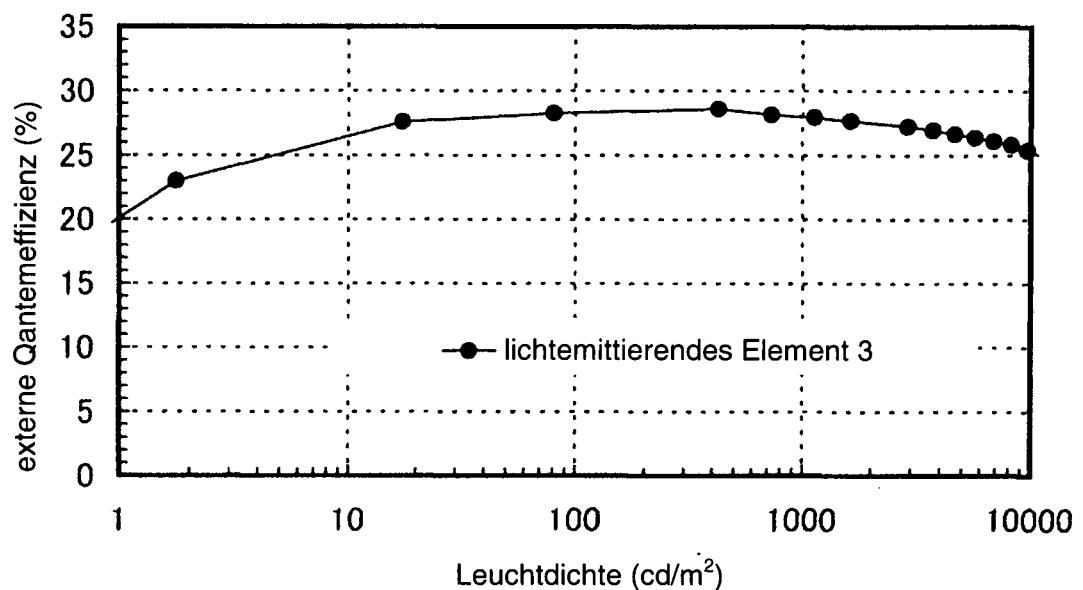


FIG. 13

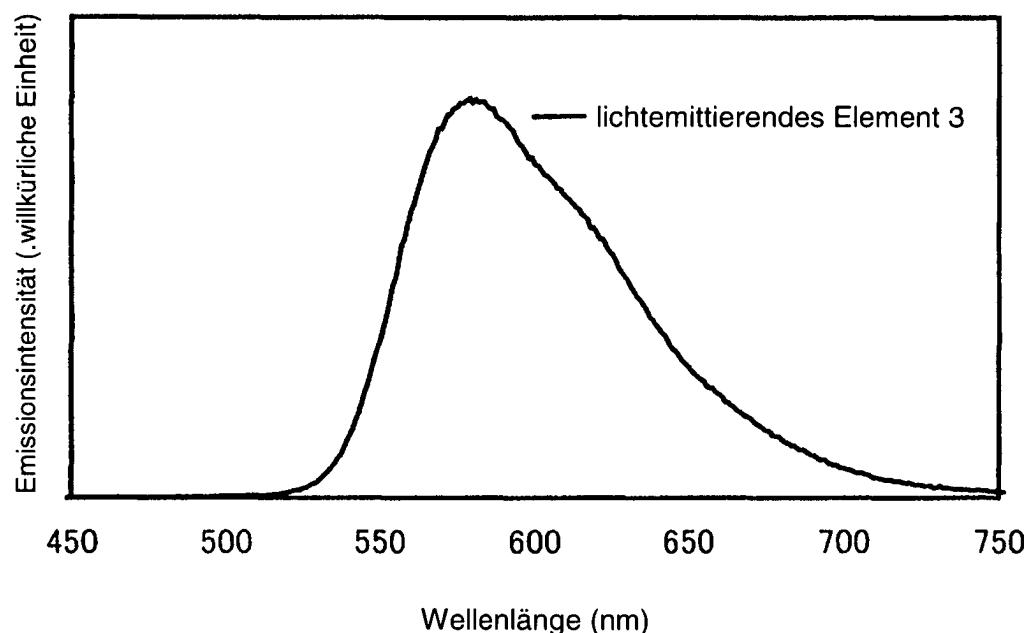


FIG. 14

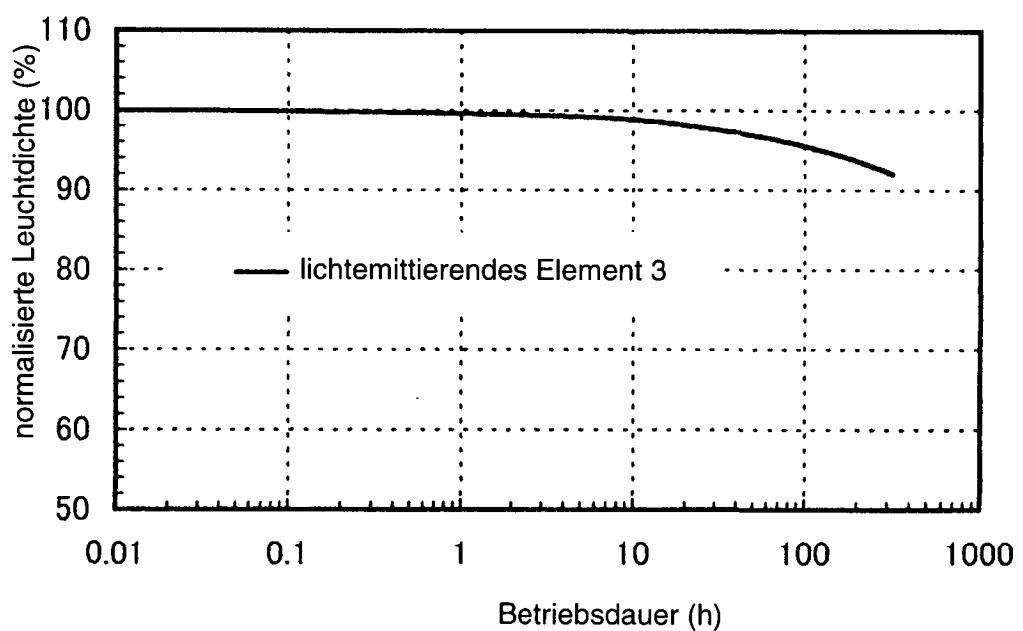


FIG. 15

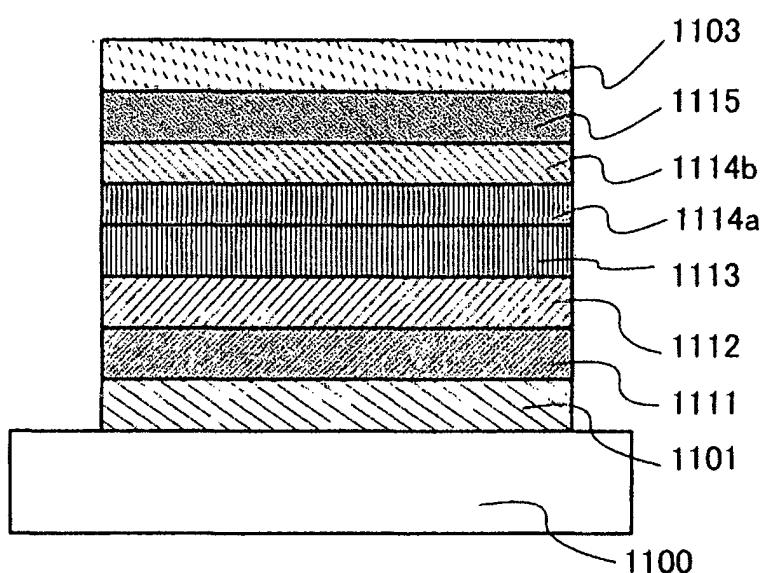


FIG. 16A

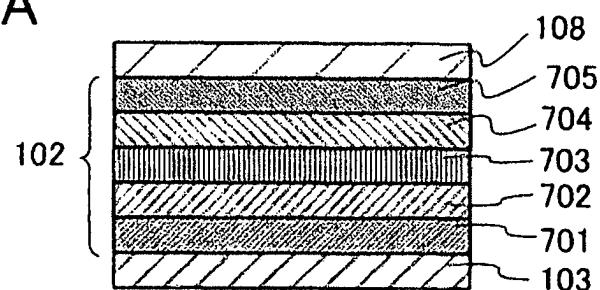


FIG. 16B

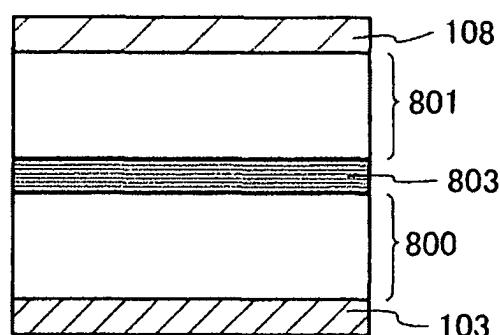


FIG. 16C

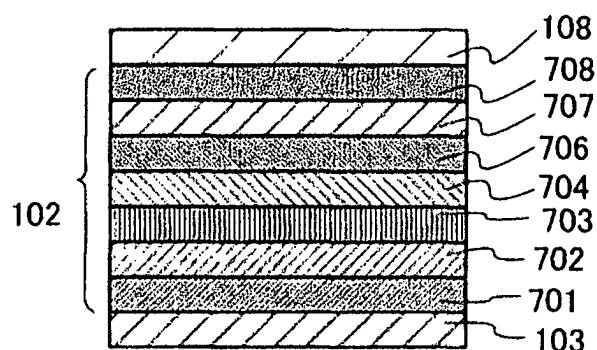


FIG. 17

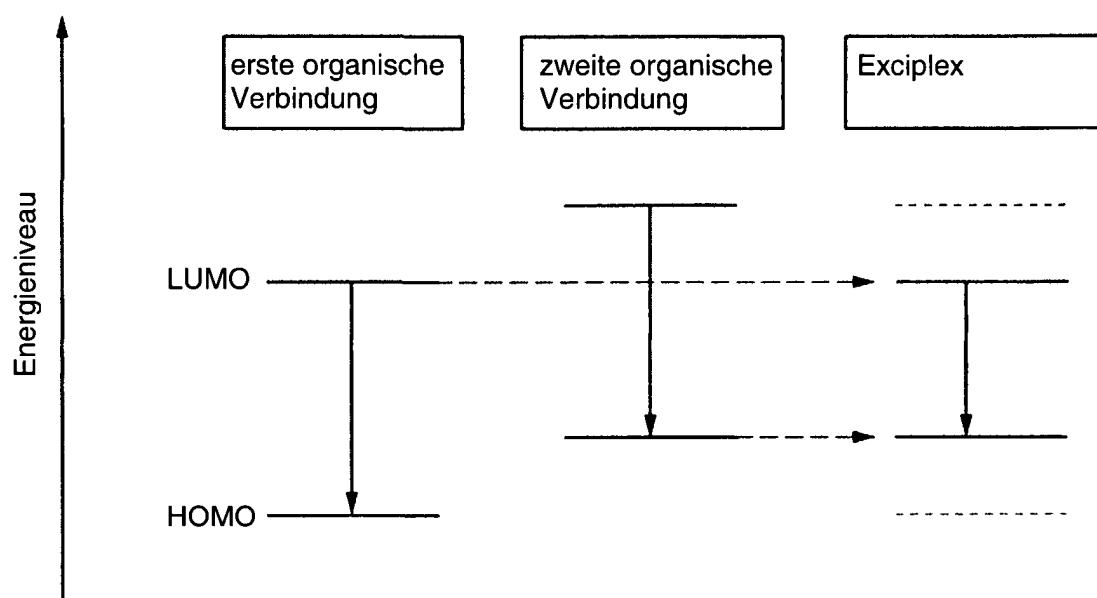


FIG. 18A

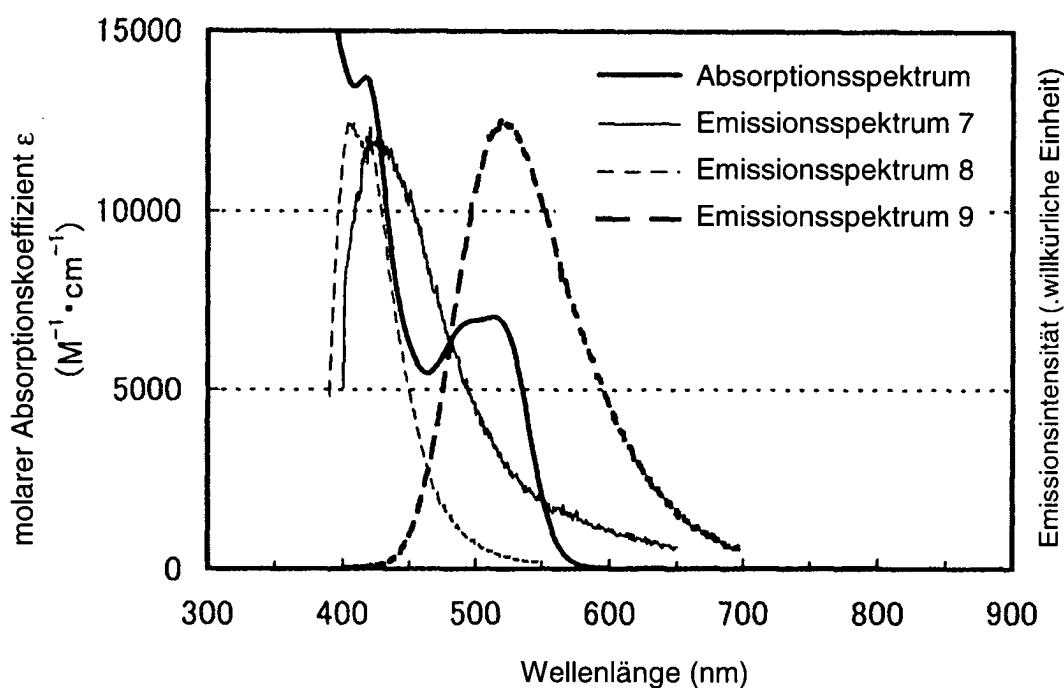


FIG. 18B

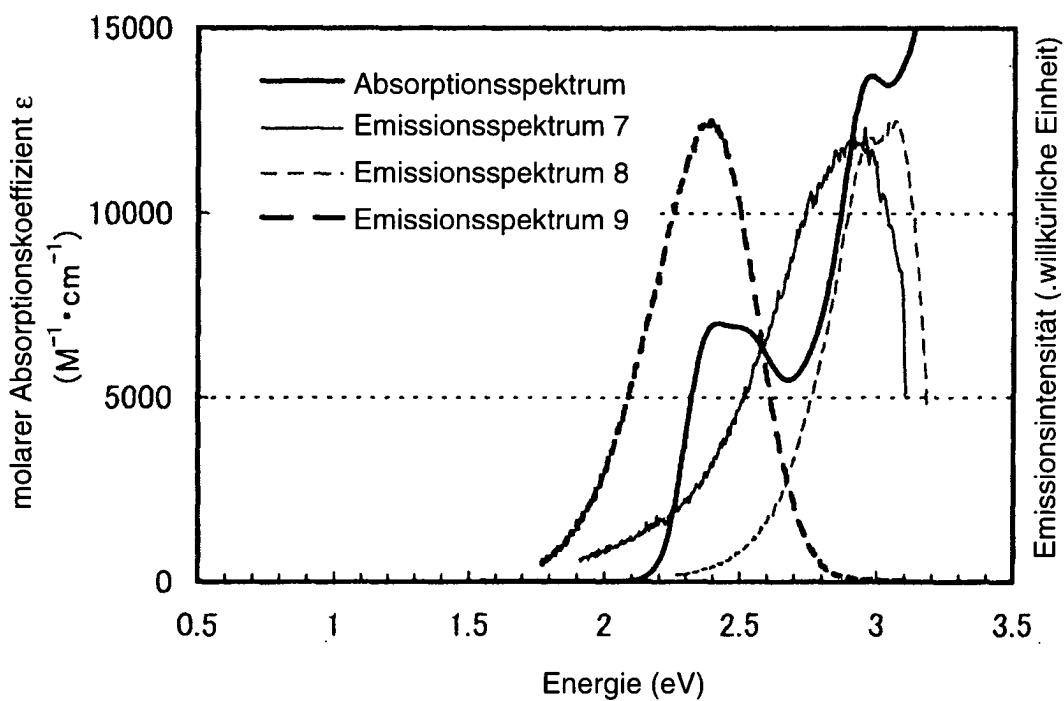


FIG. 19

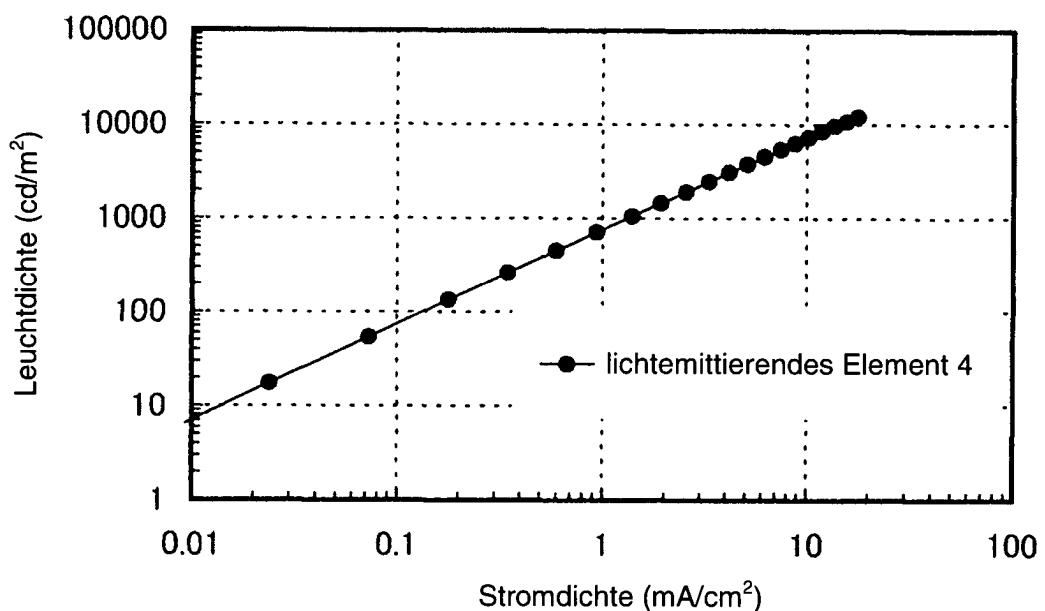


FIG. 20

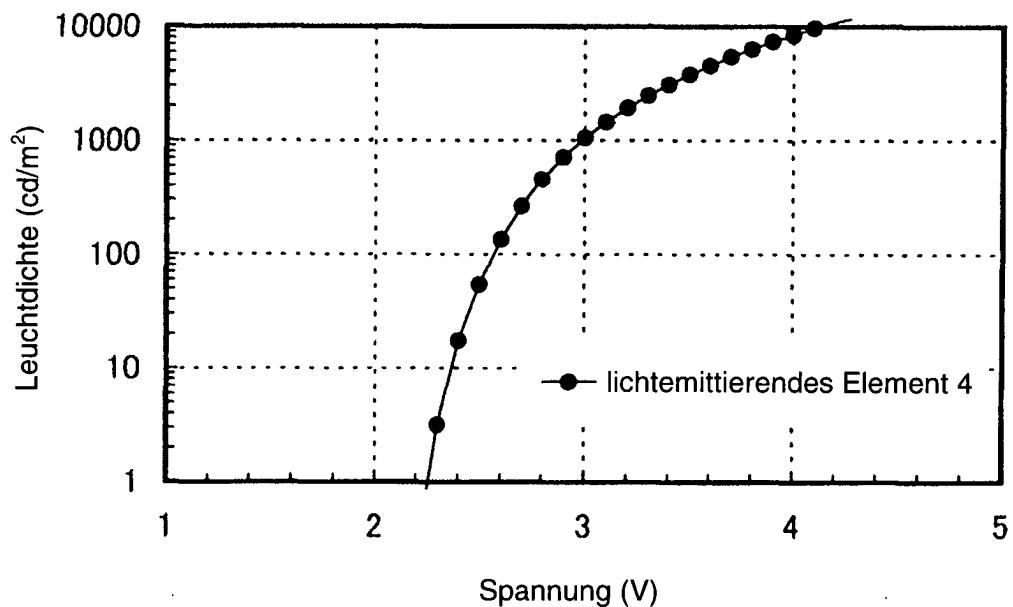


FIG. 21

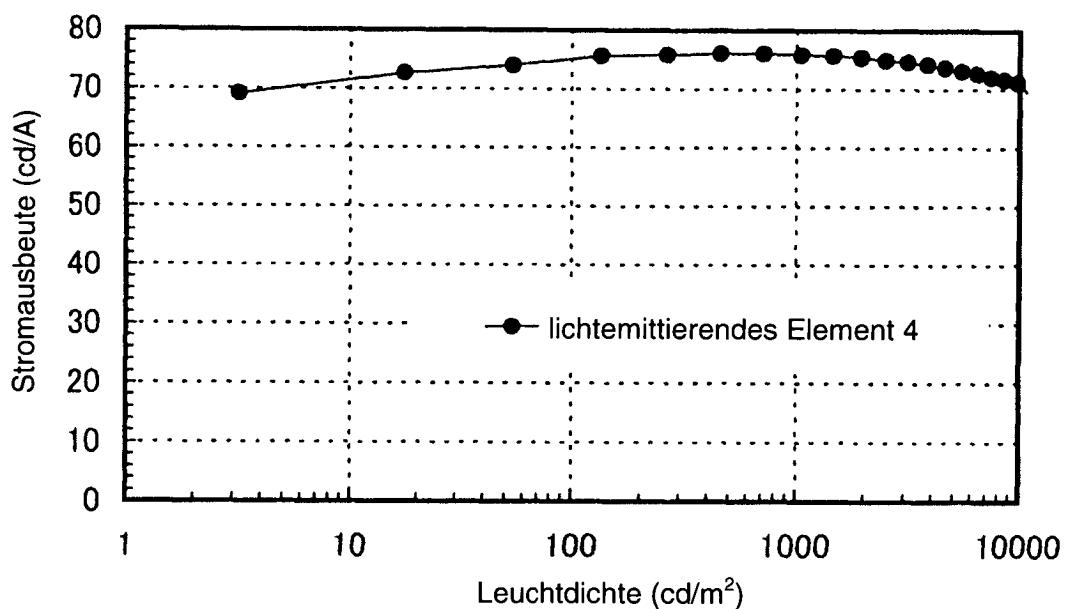


FIG. 22

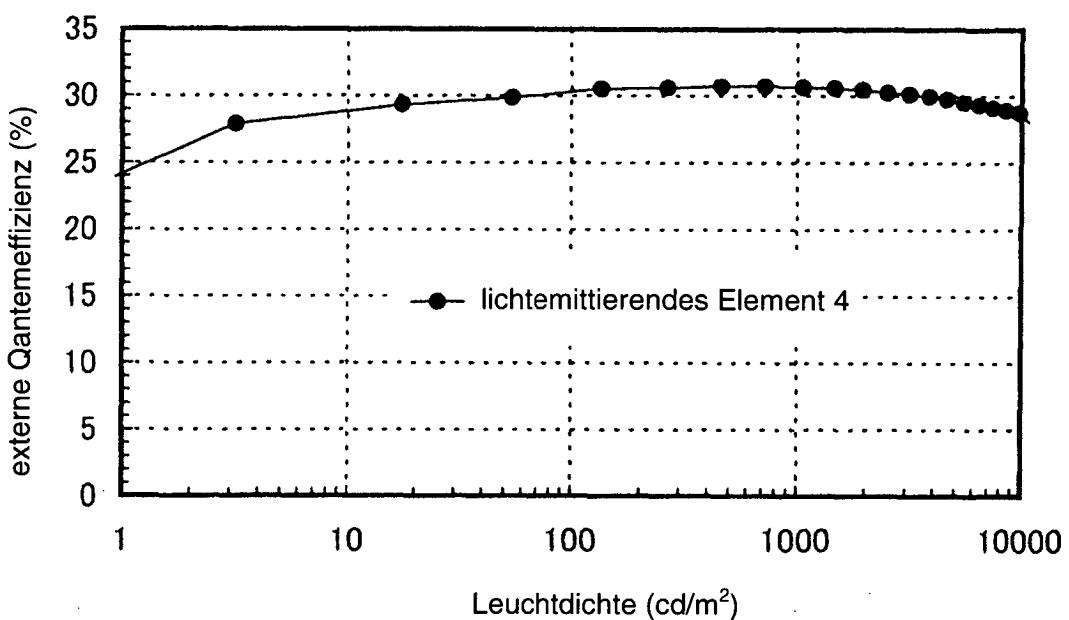


FIG. 23

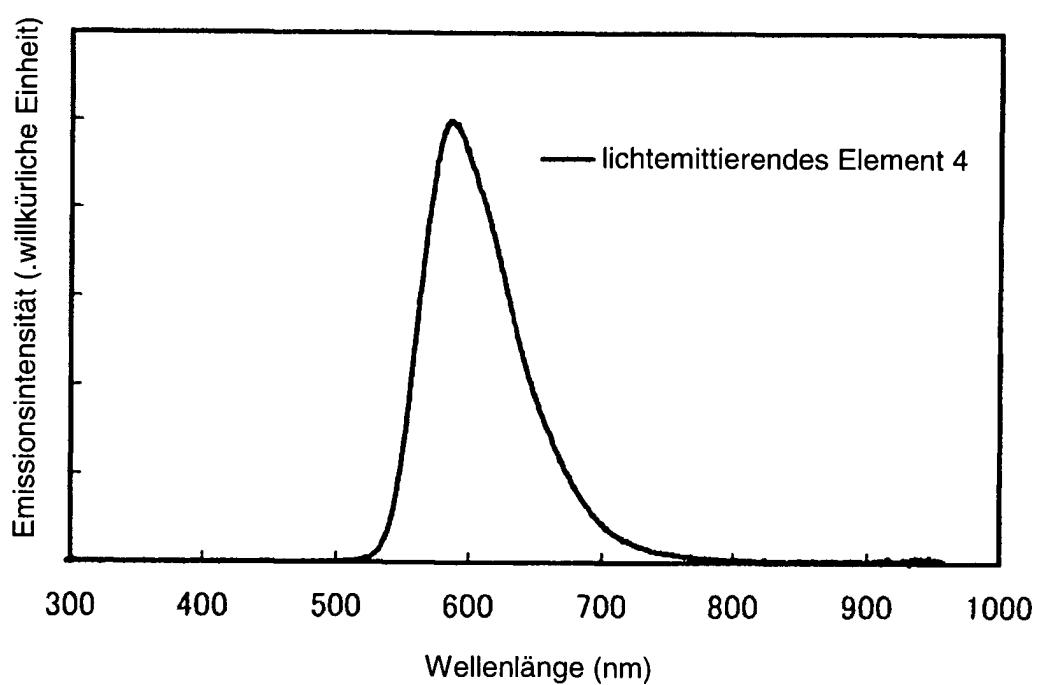


FIG. 24

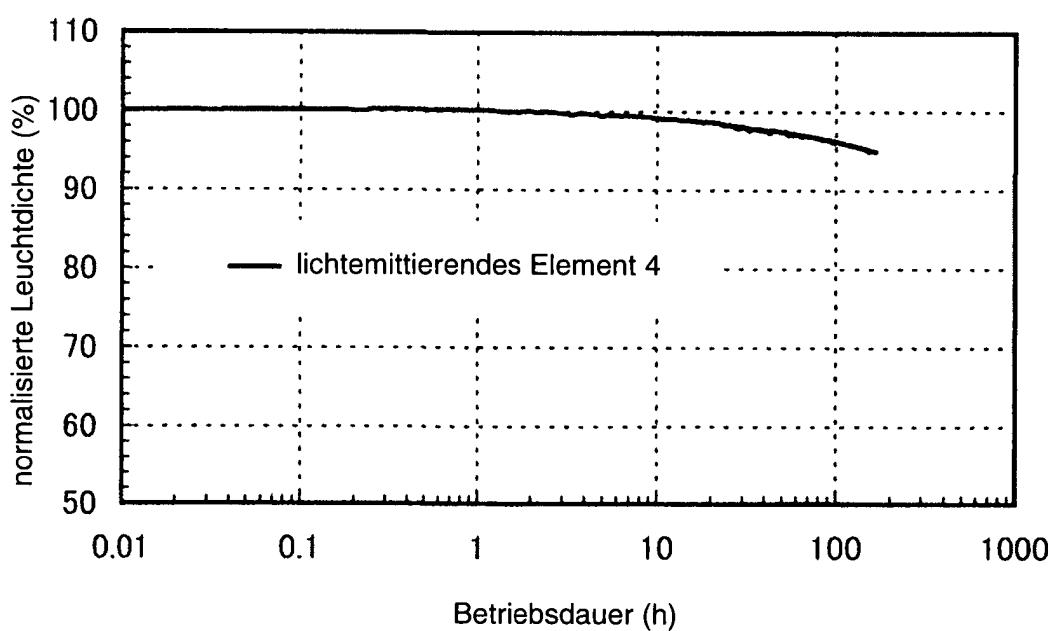


FIG. 25

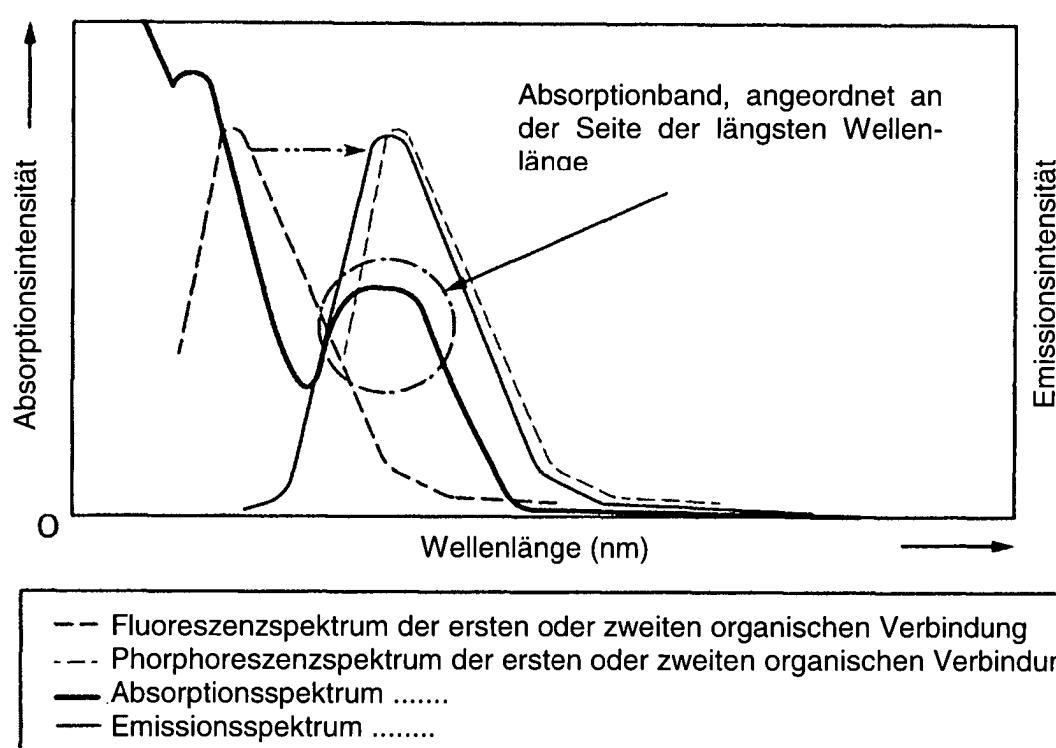


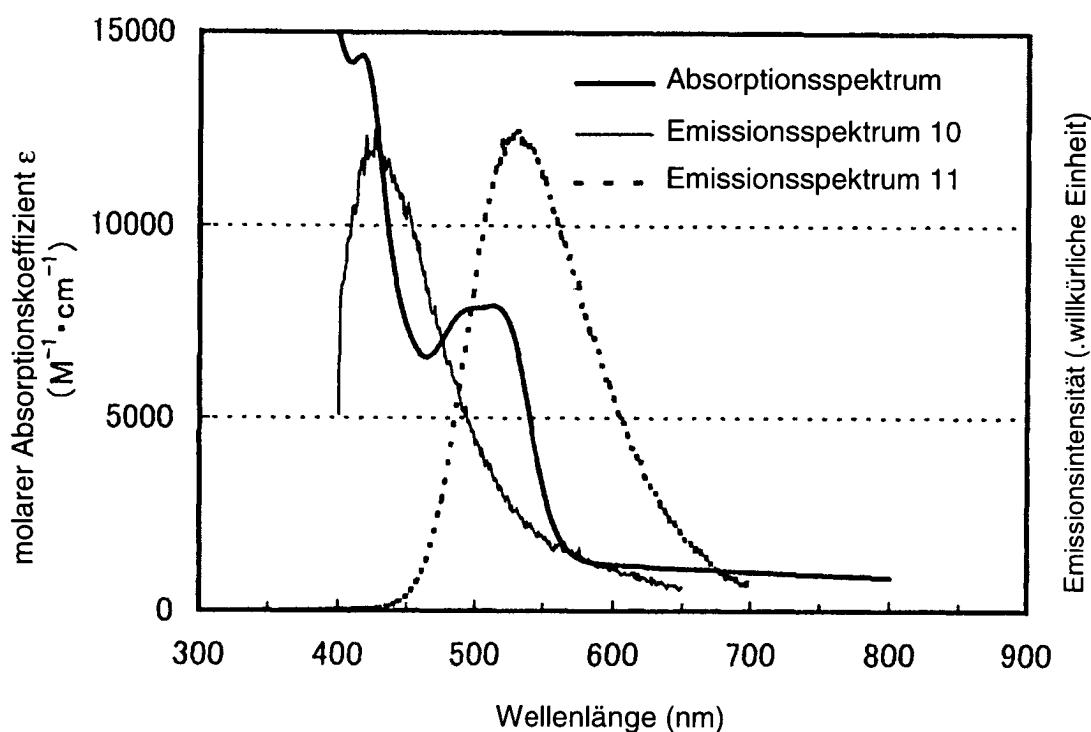
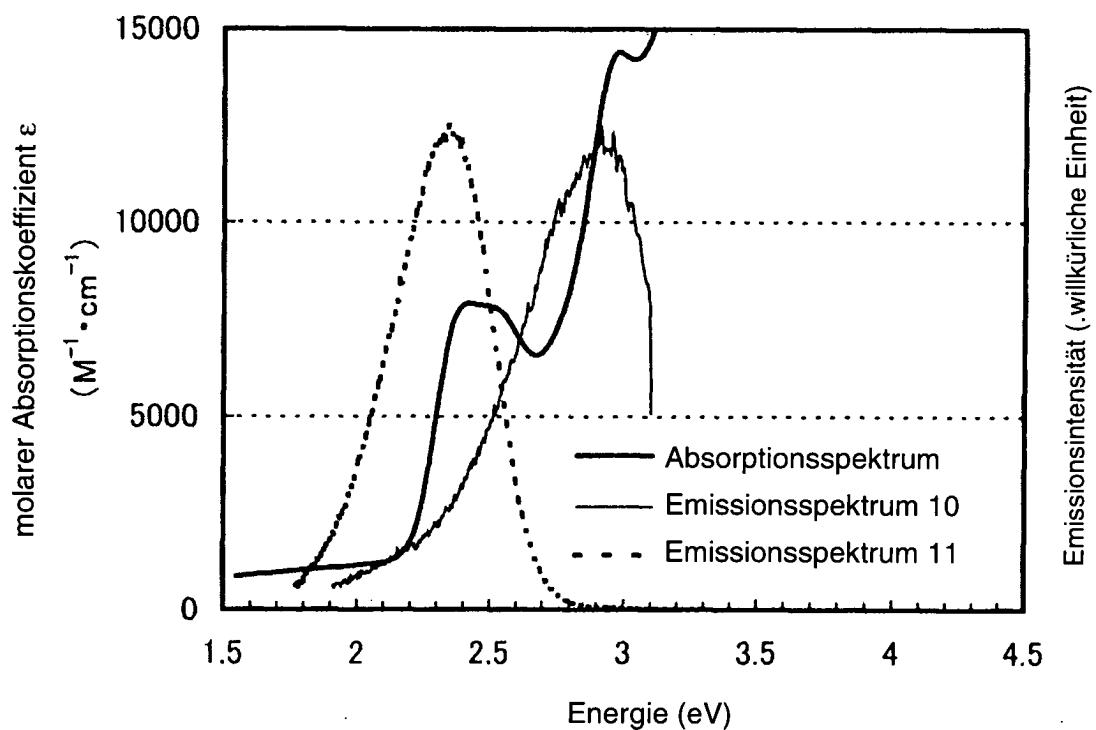
FIG. 26A**FIG. 26B**

FIG. 27

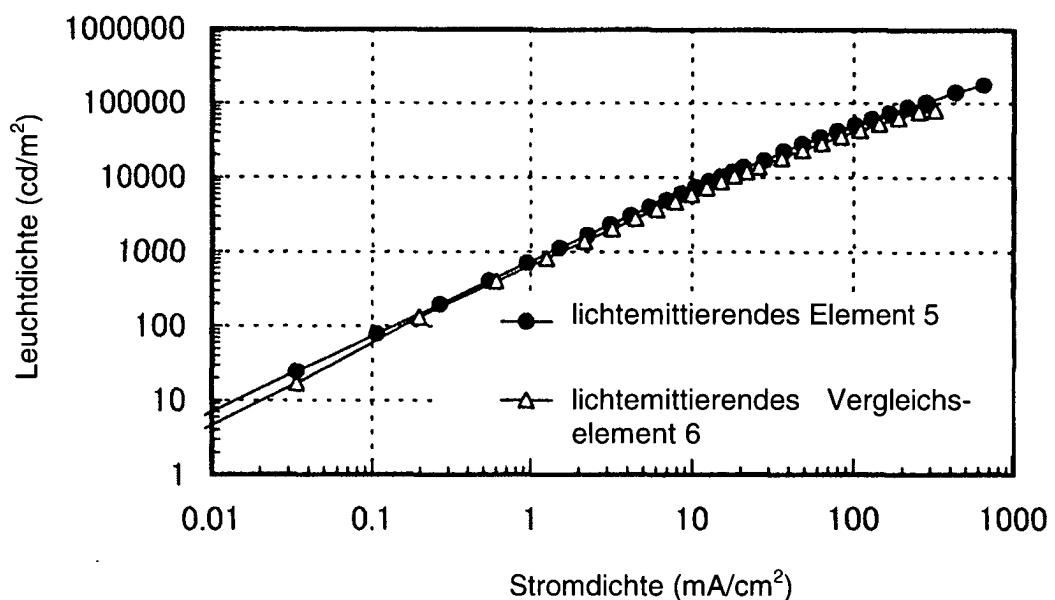


FIG. 28

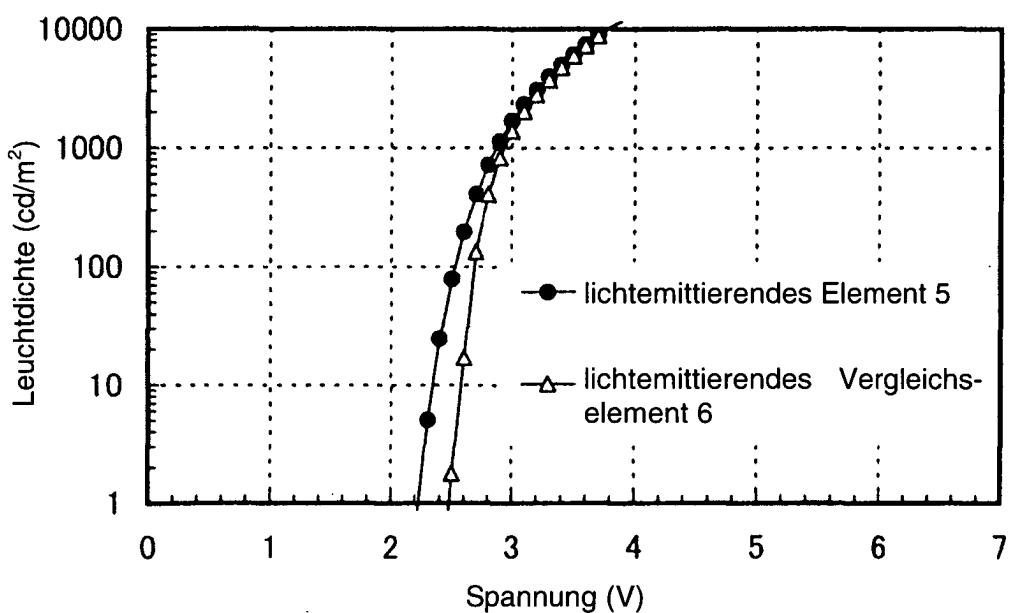


FIG. 29

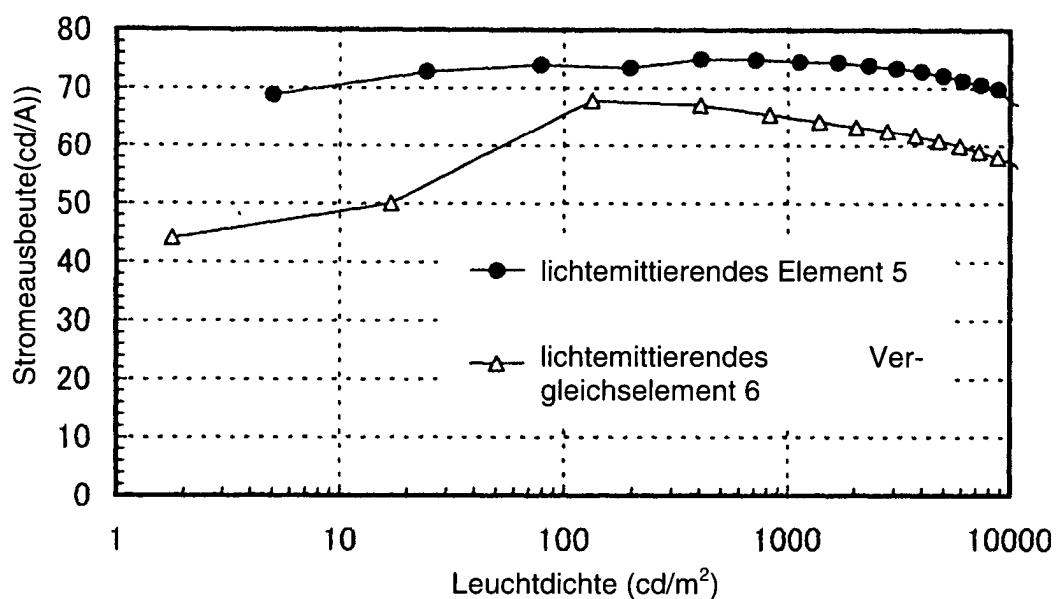


FIG. 30

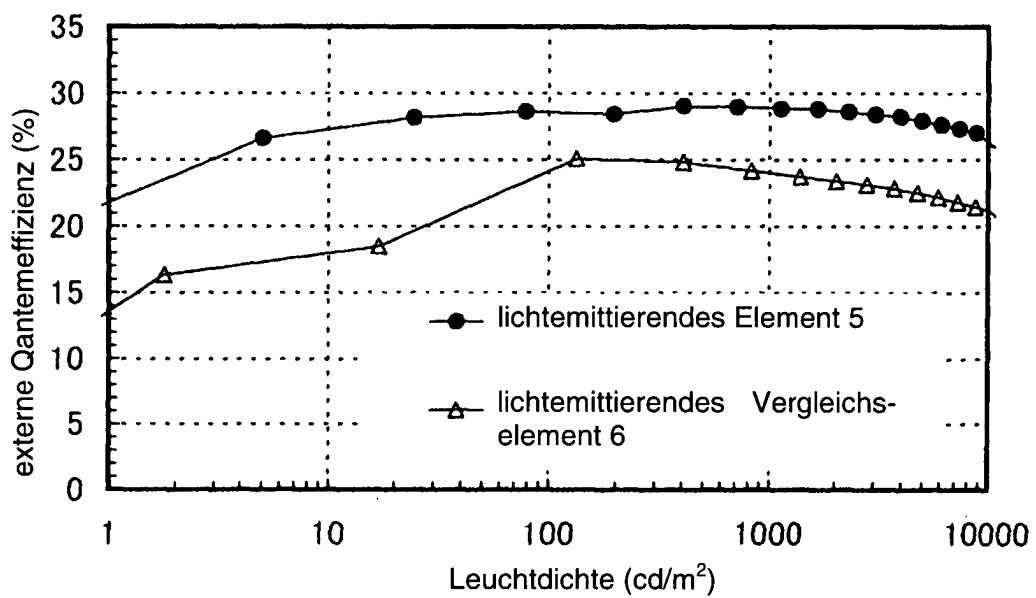


FIG. 31

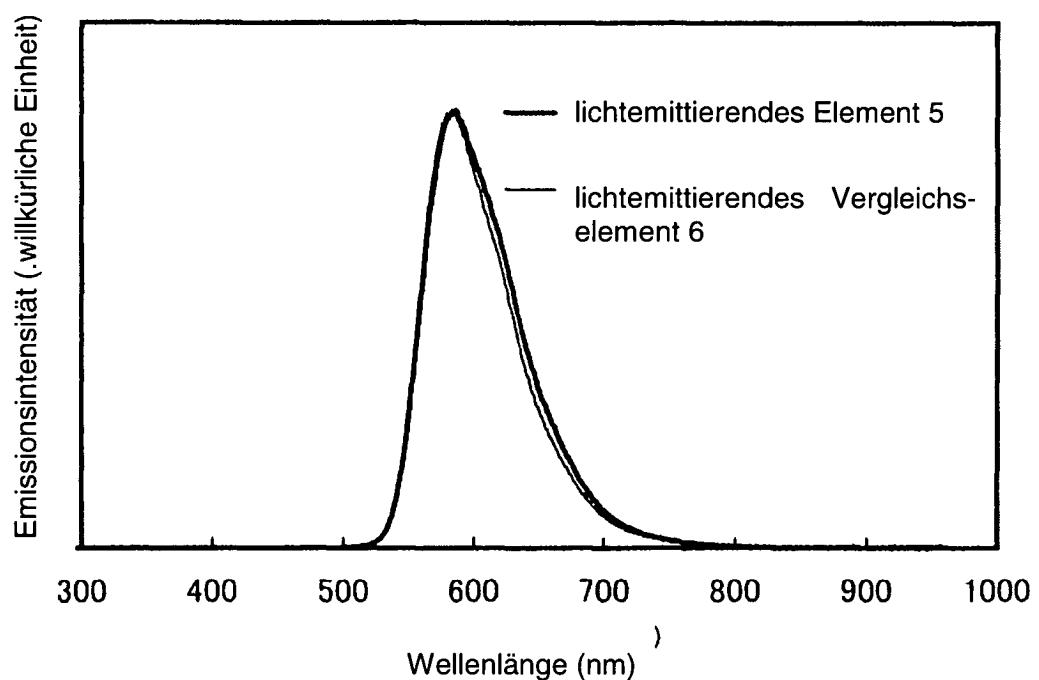


FIG. 32A

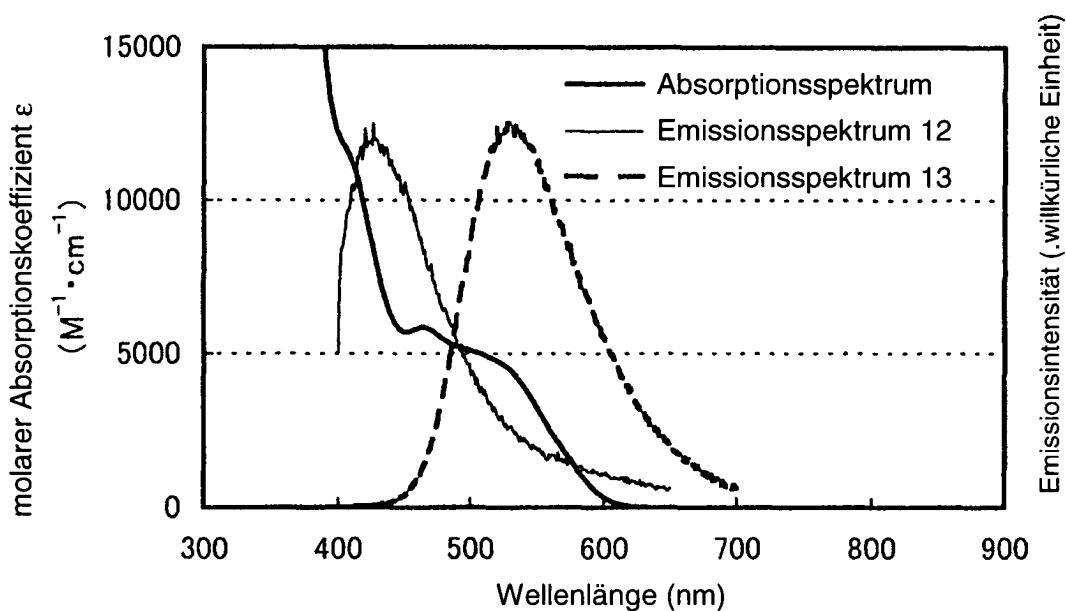


FIG. 32B

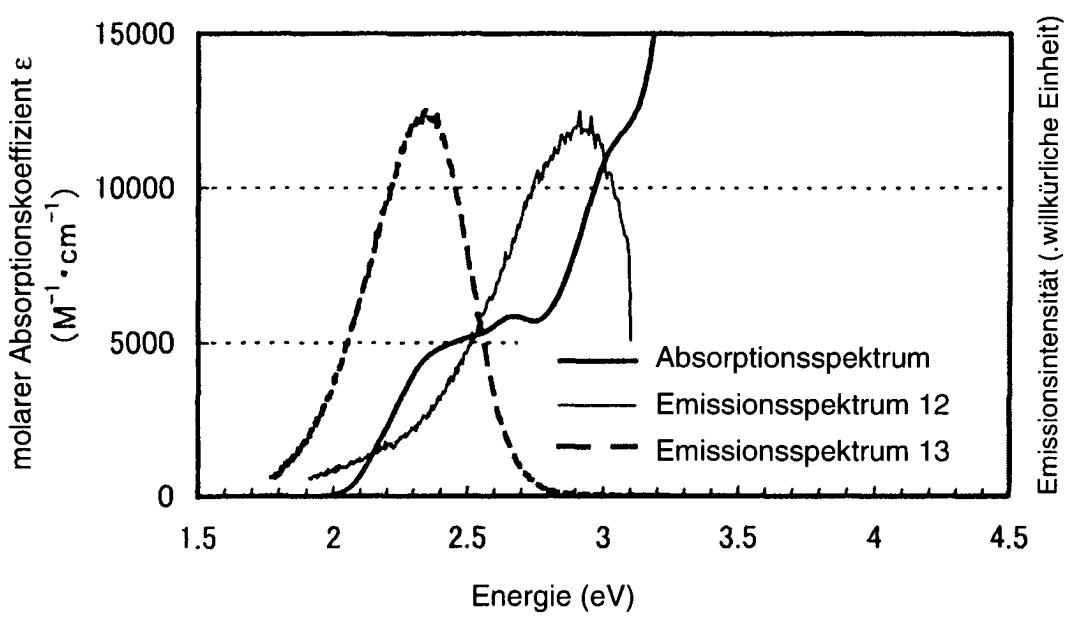


FIG. 33

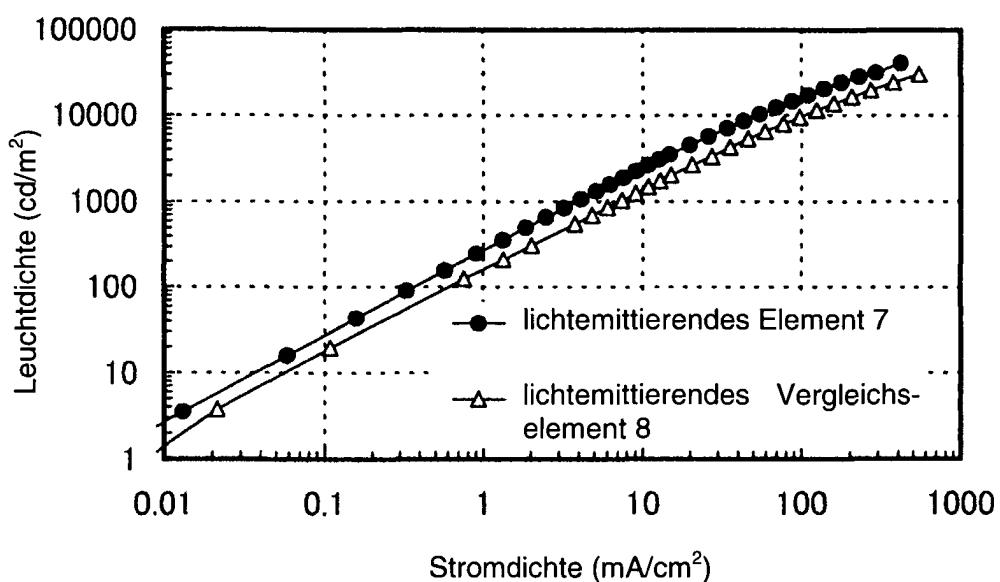


FIG. 34

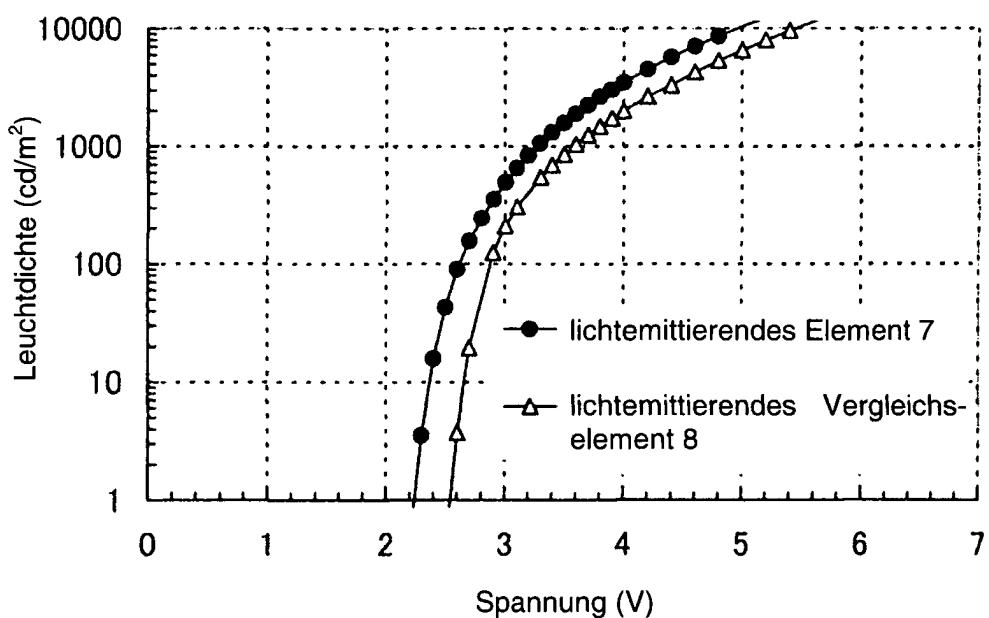


FIG. 35

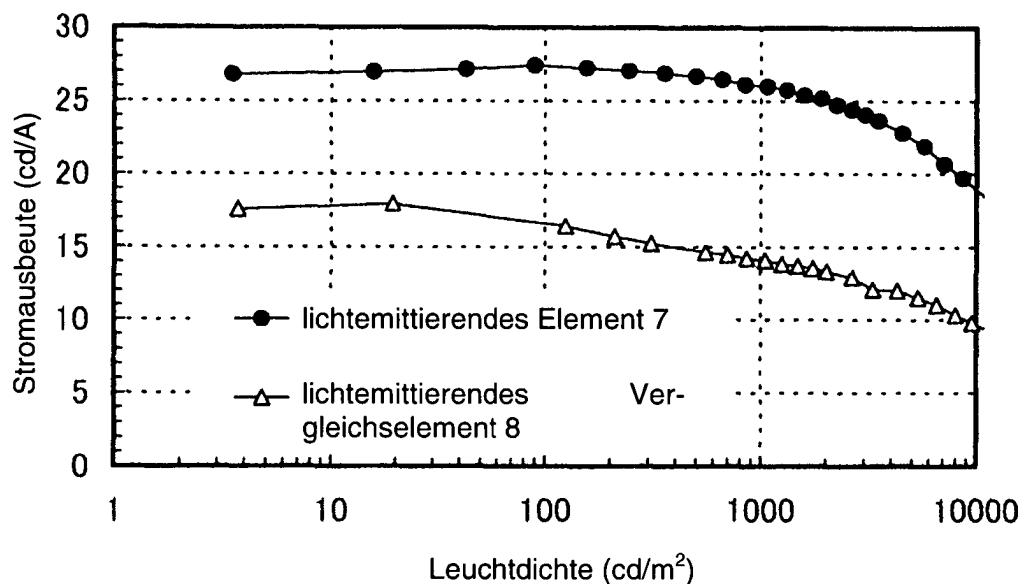


FIG. 36

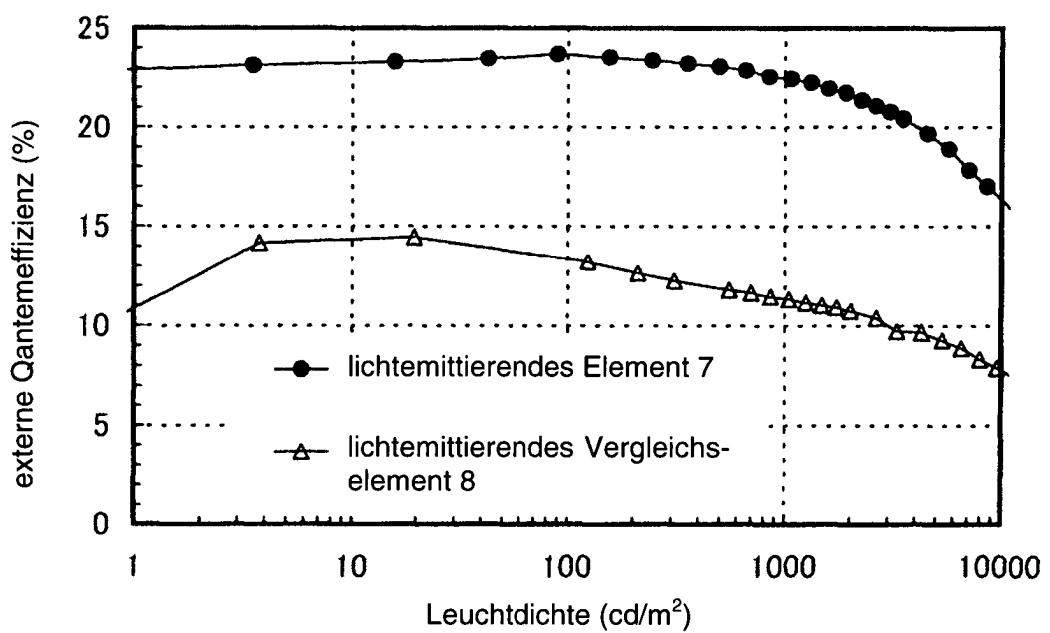


FIG. 37

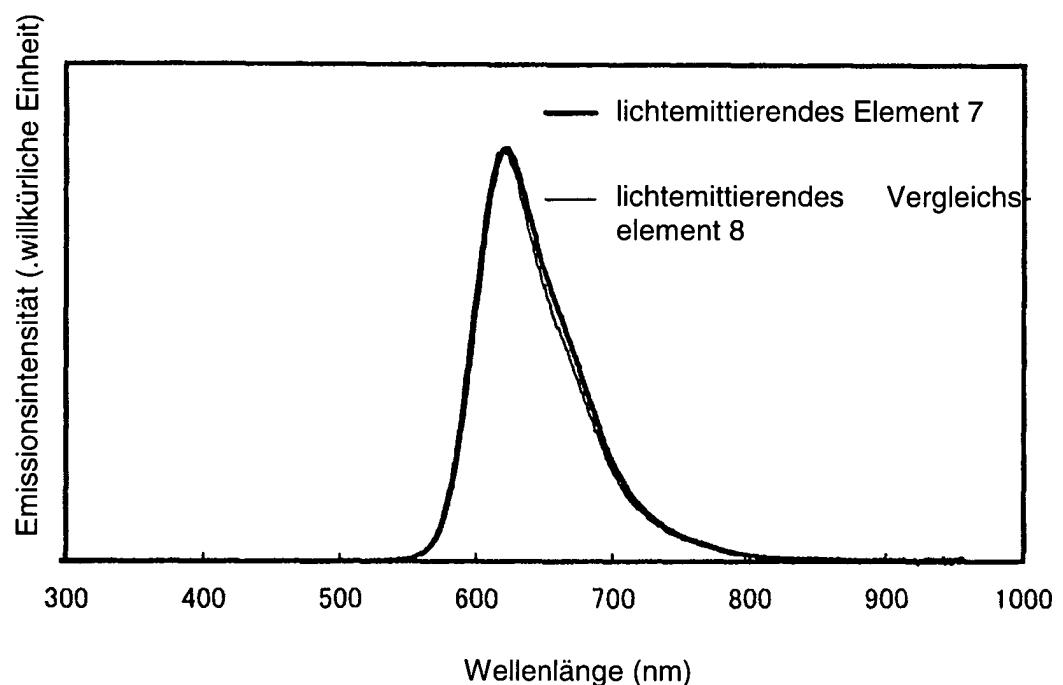


FIG. 38

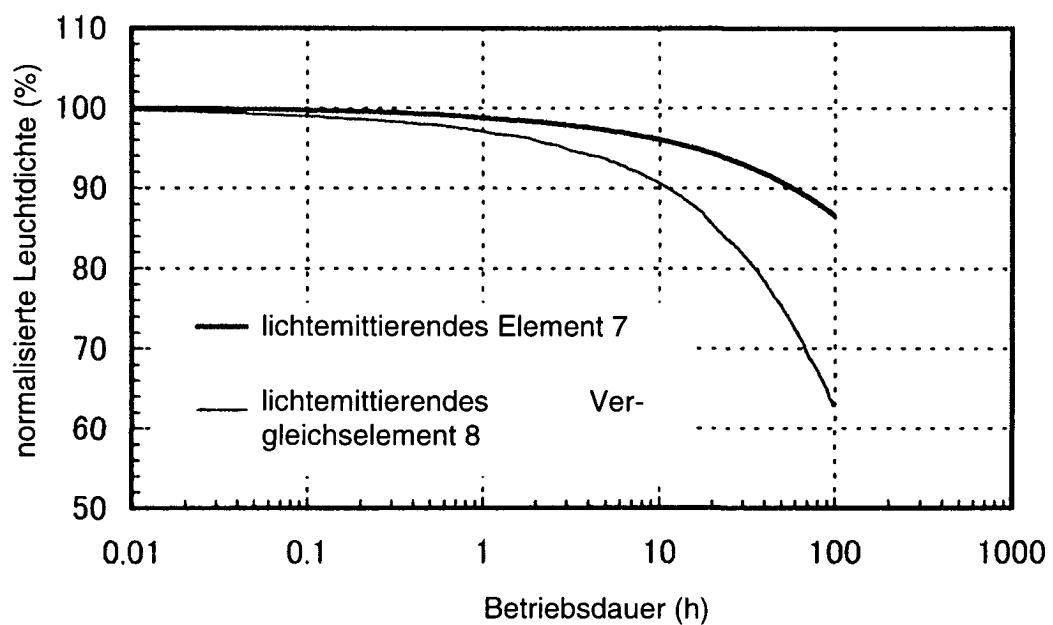


FIG. 39A

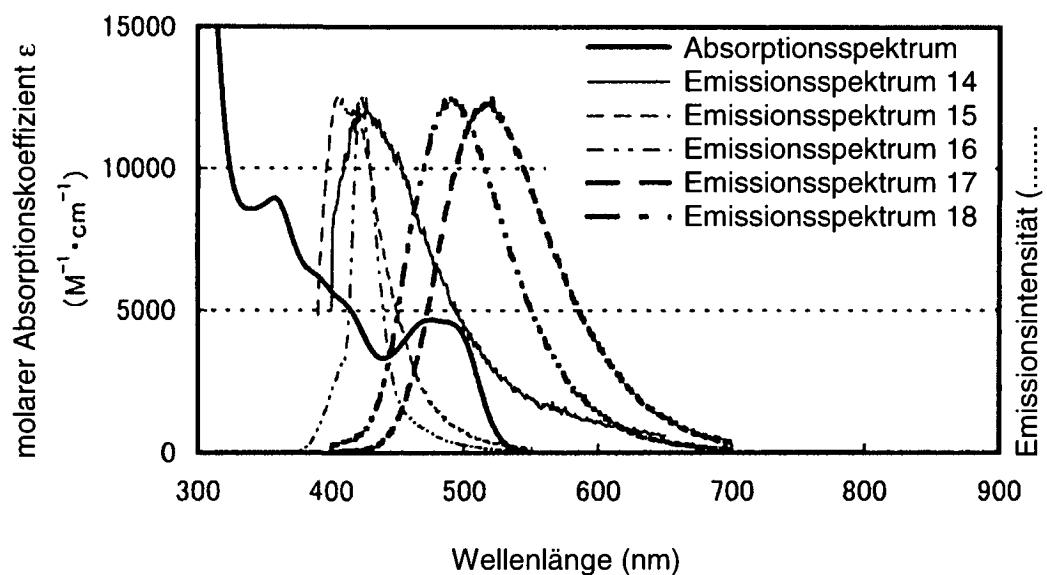


FIG. 39B

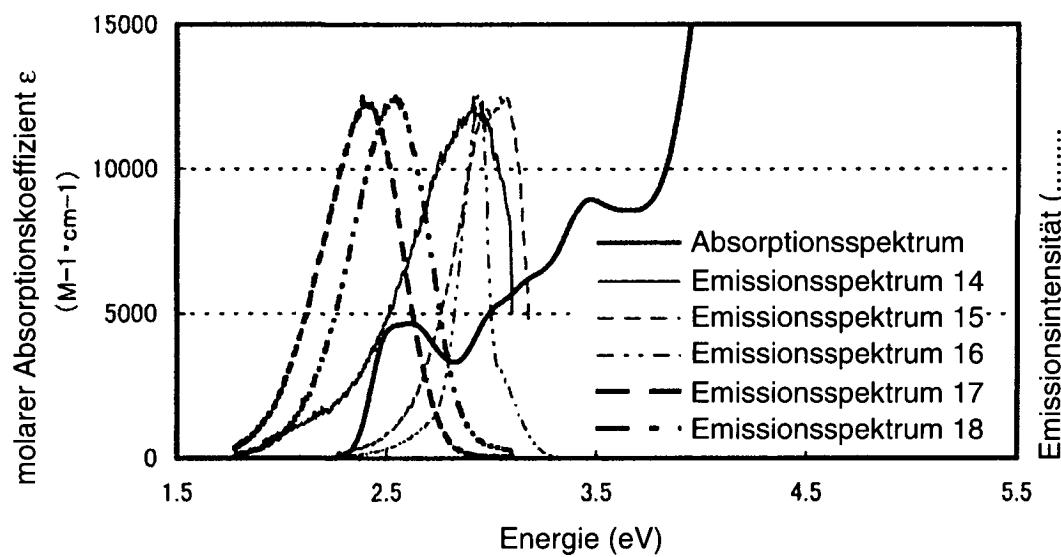


FIG. 40

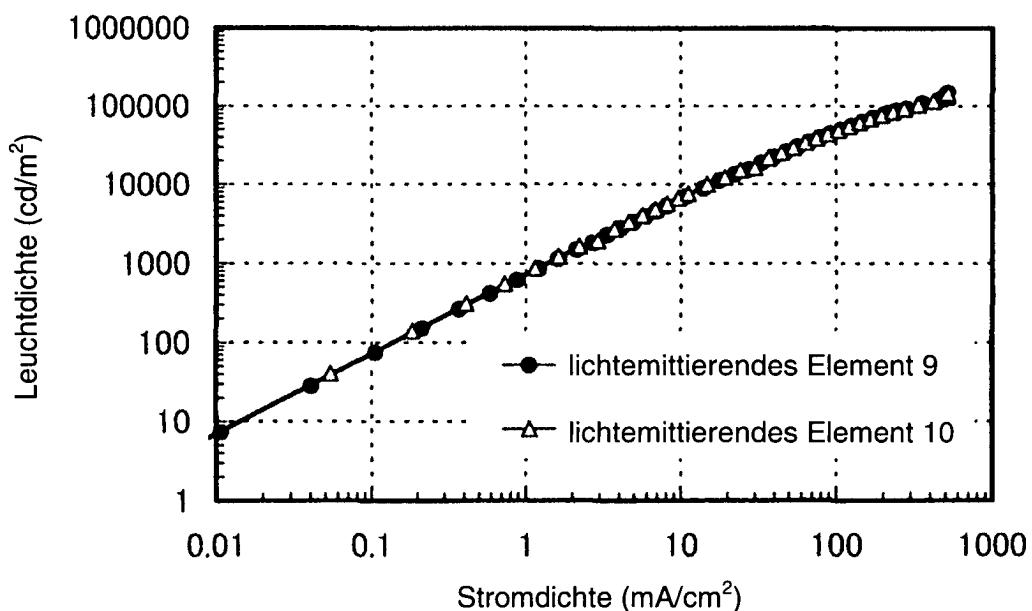


FIG. 41

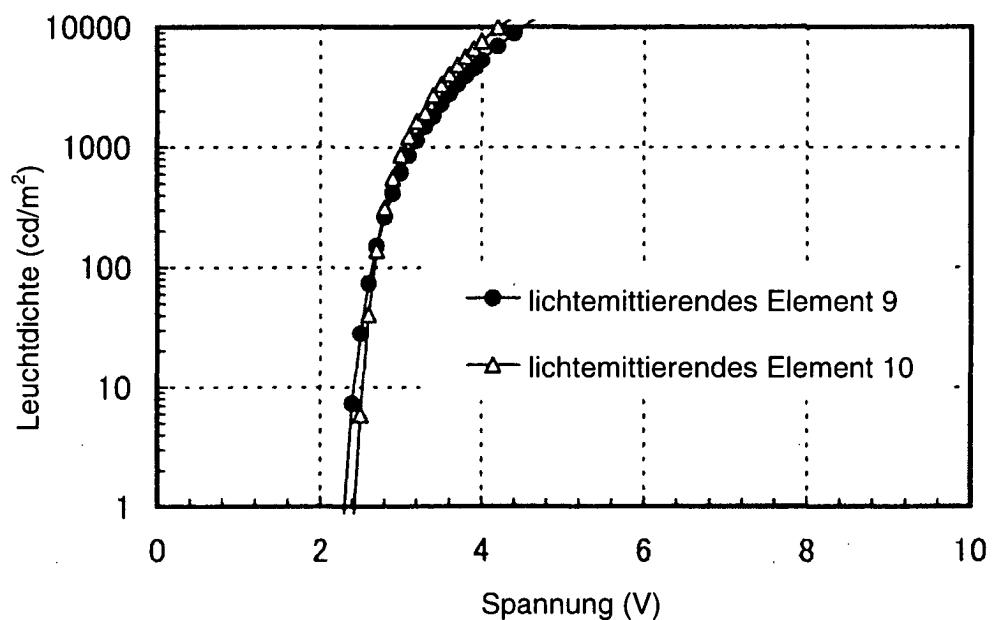


FIG. 42

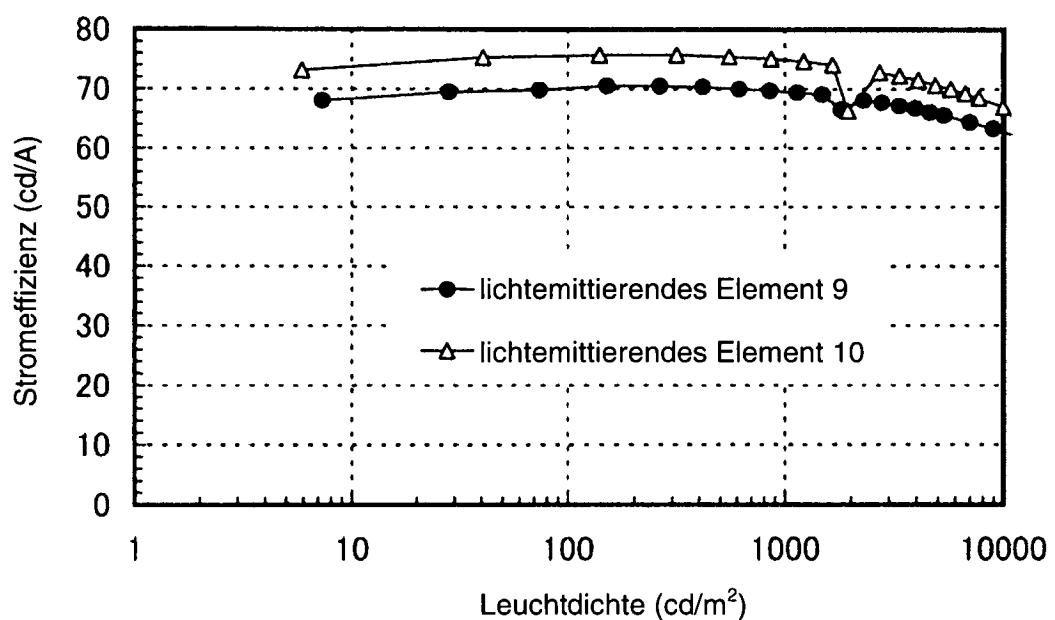


FIG. 43

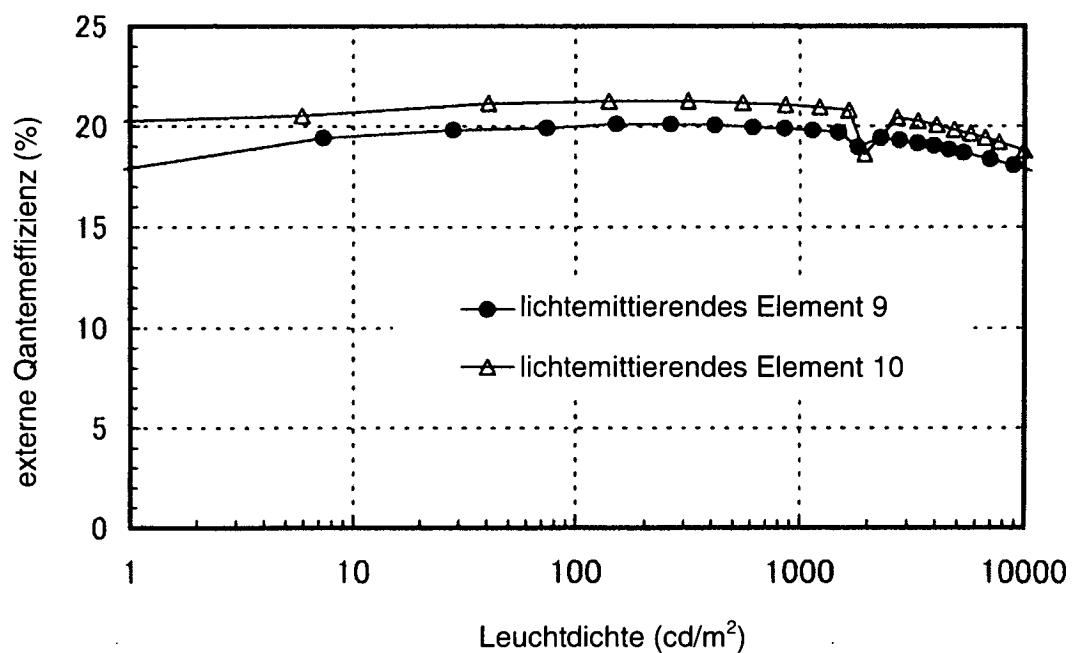


FIG. 44

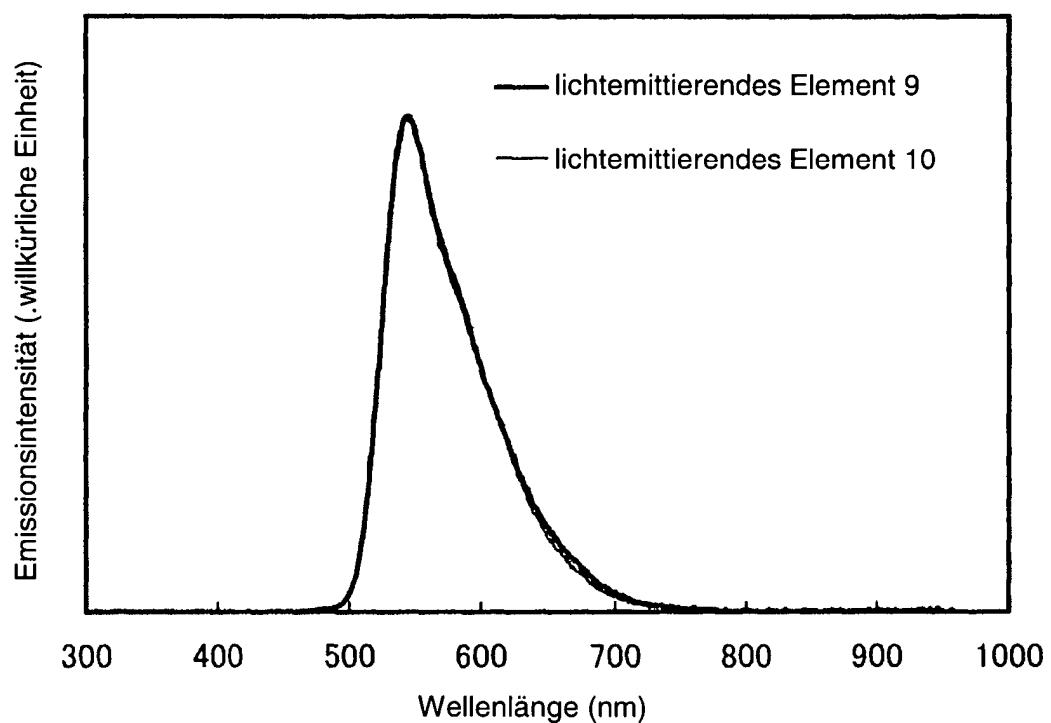


FIG. 45

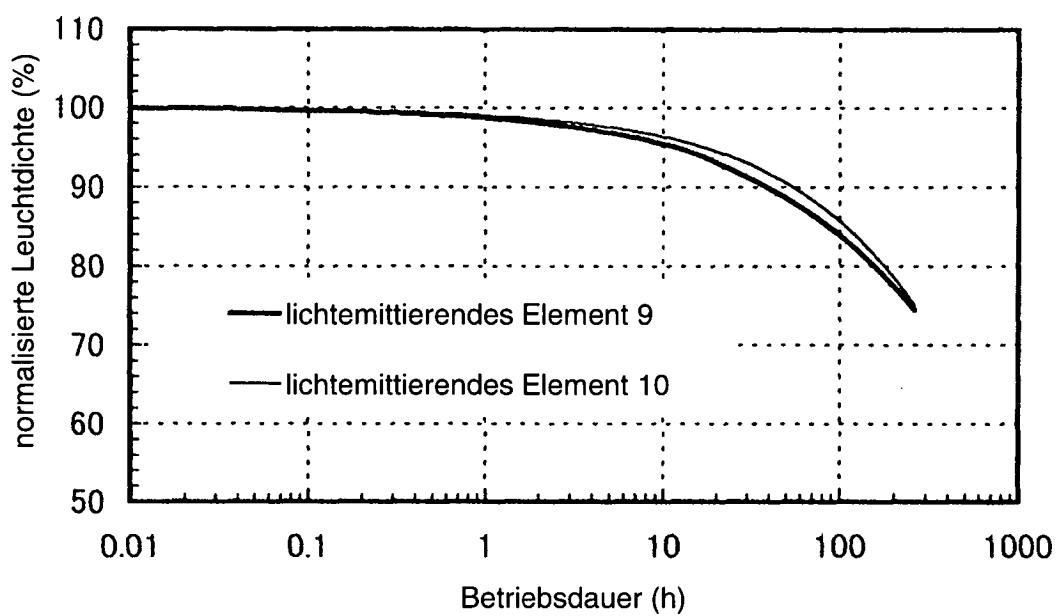


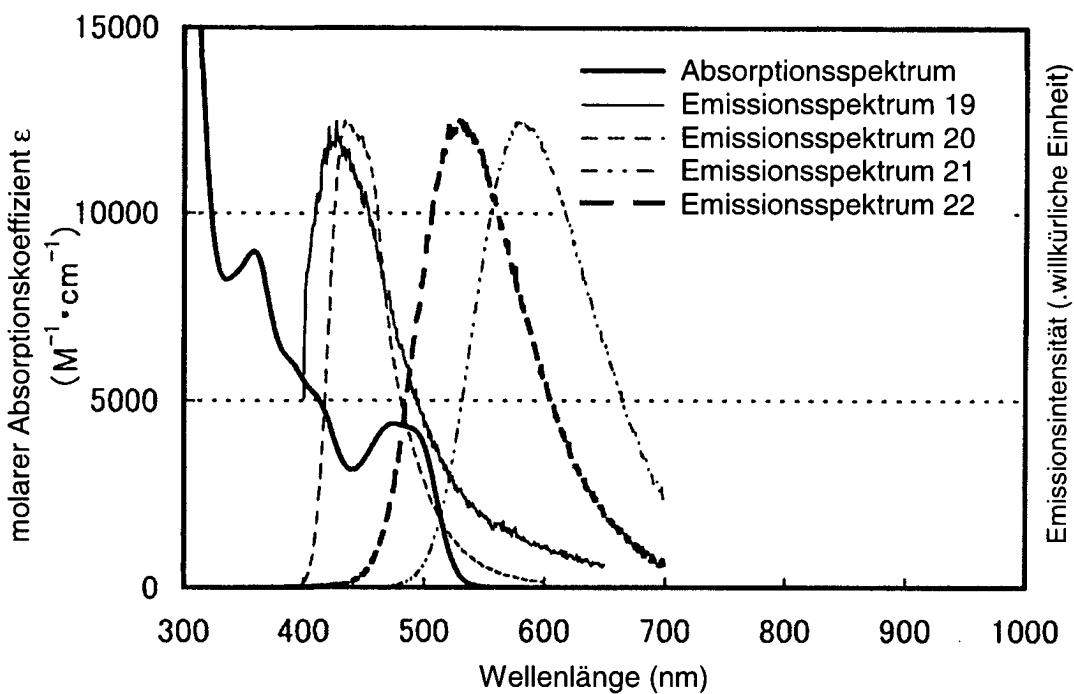
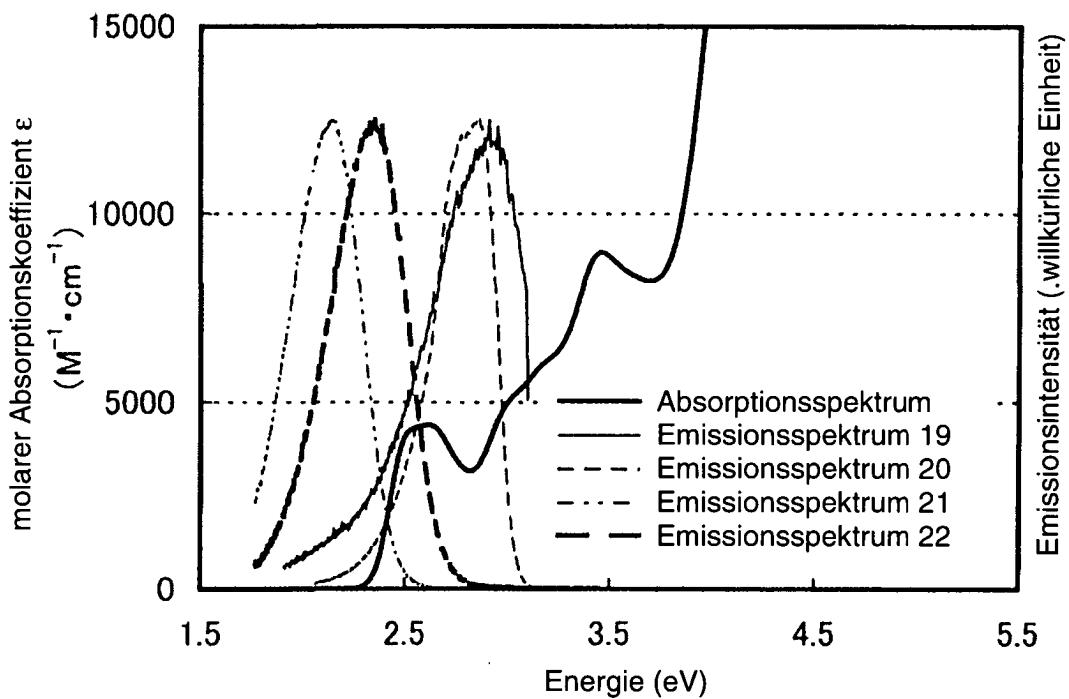
FIG. 46A**FIG. 46B**

FIG. 47

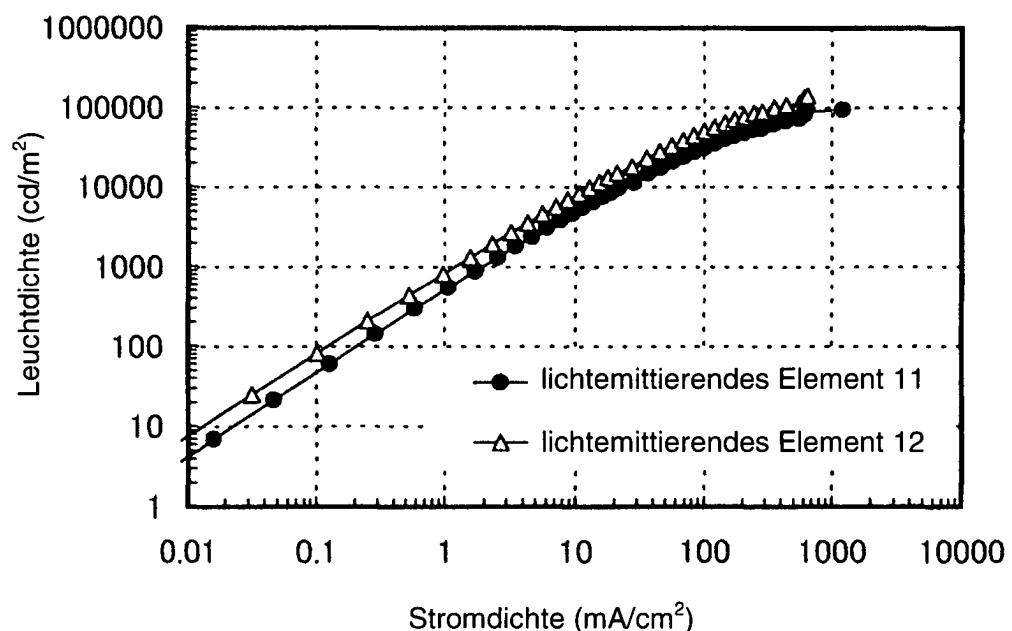


FIG. 48

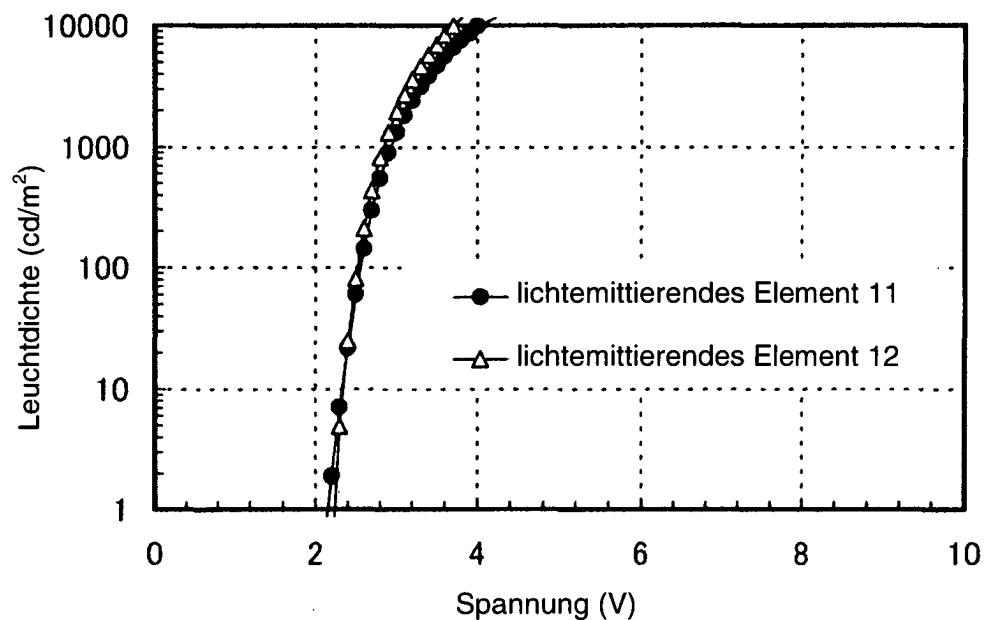


FIG. 49

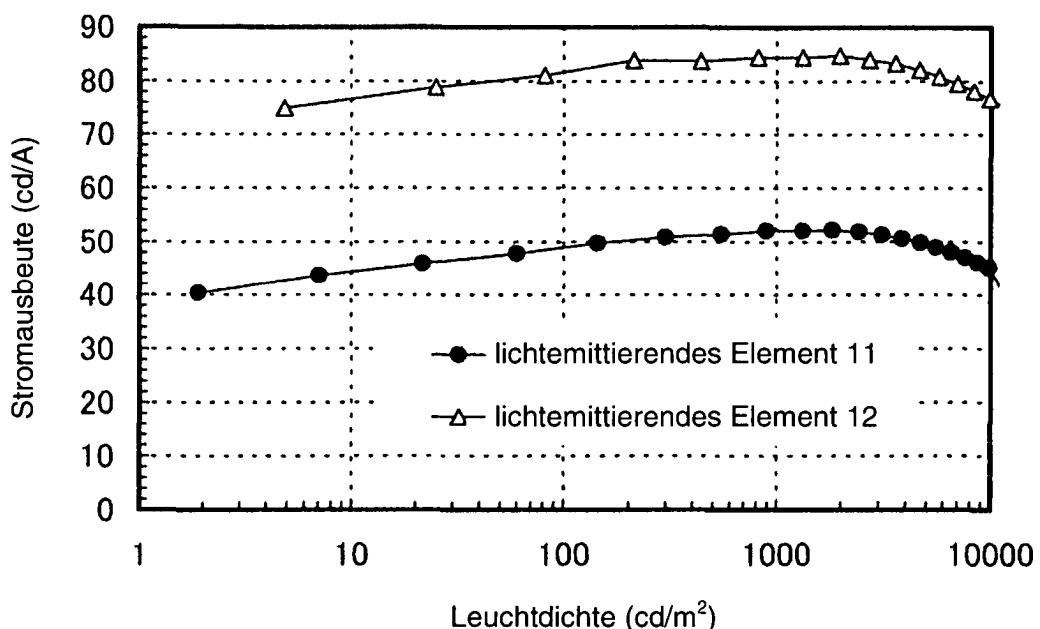


FIG. 50

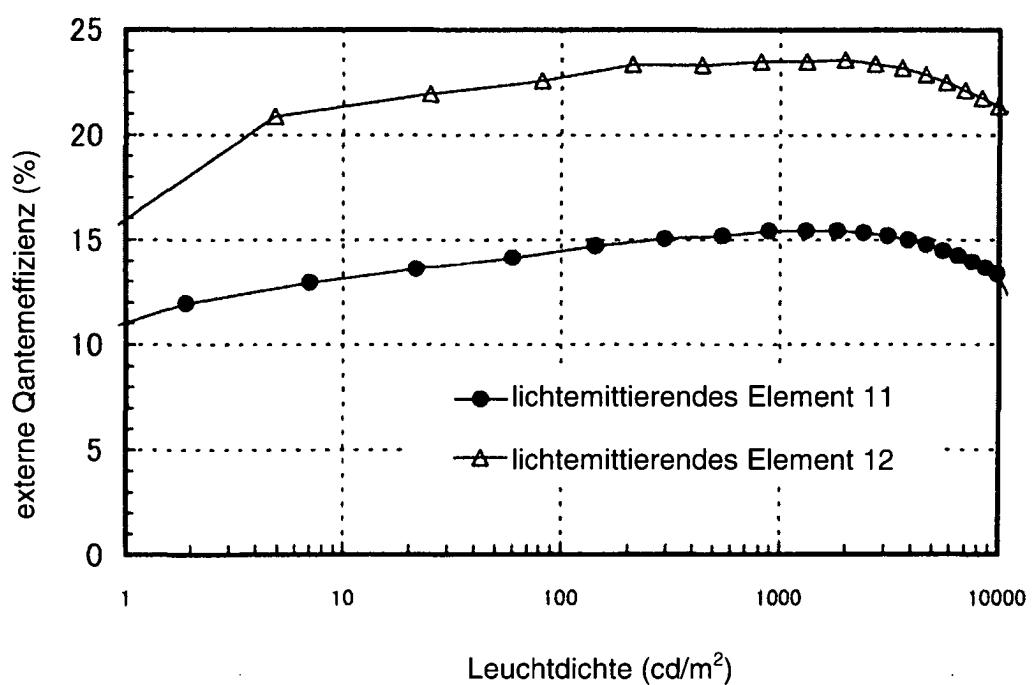


FIG. 51

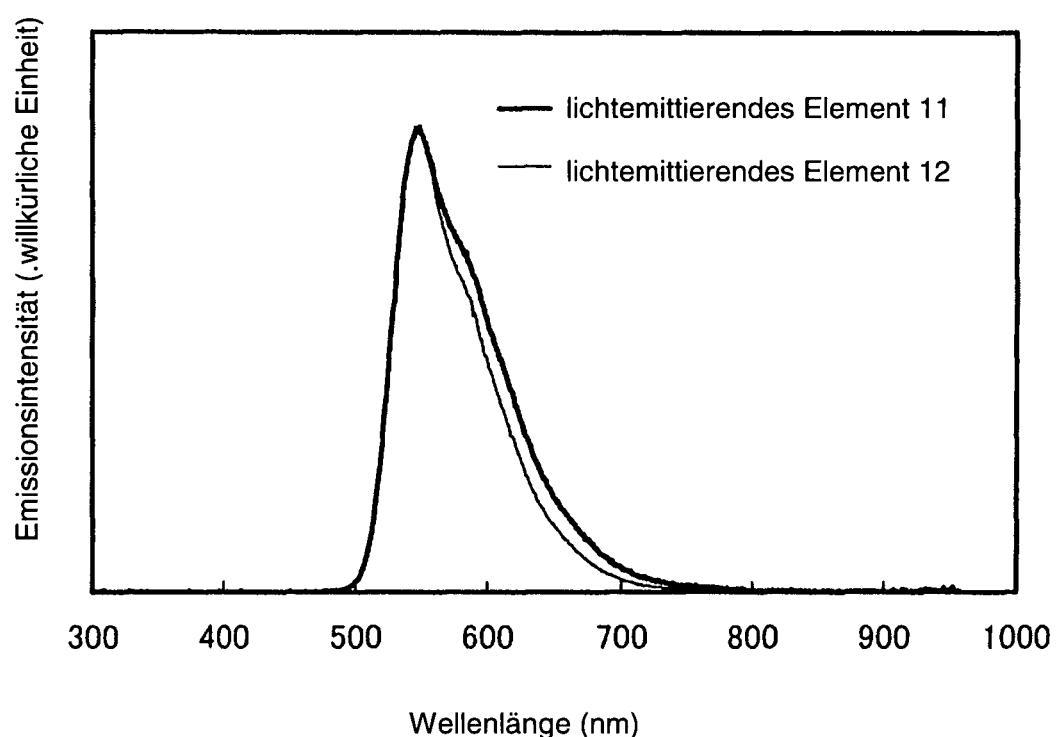


FIG. 52A

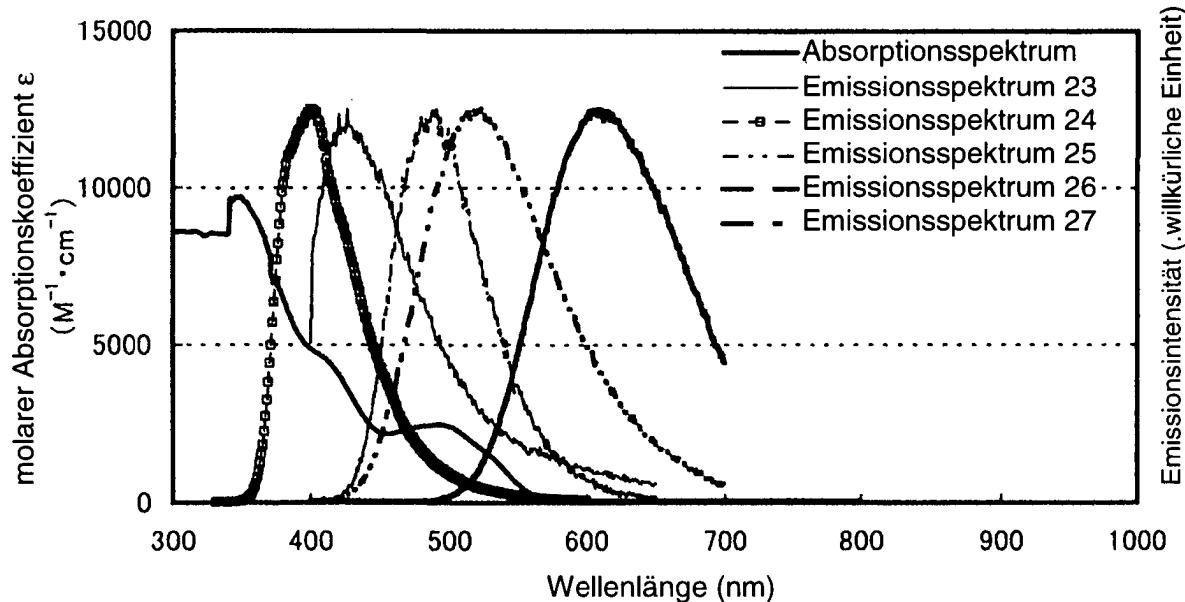


FIG. 52B

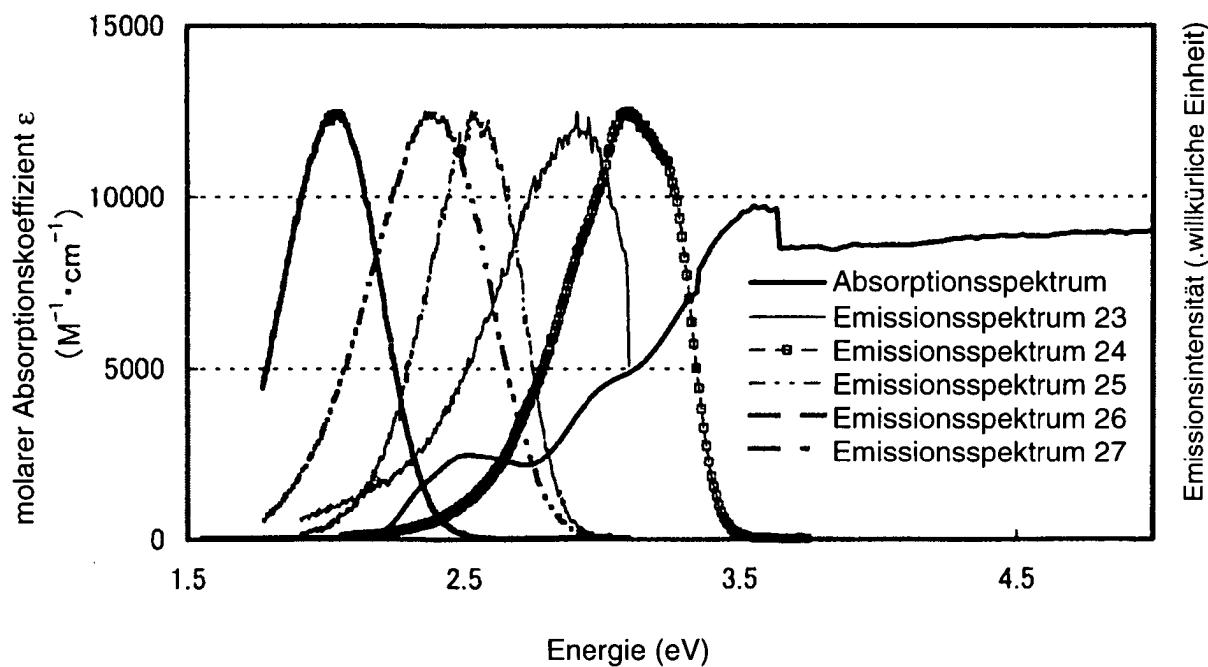


FIG. 53

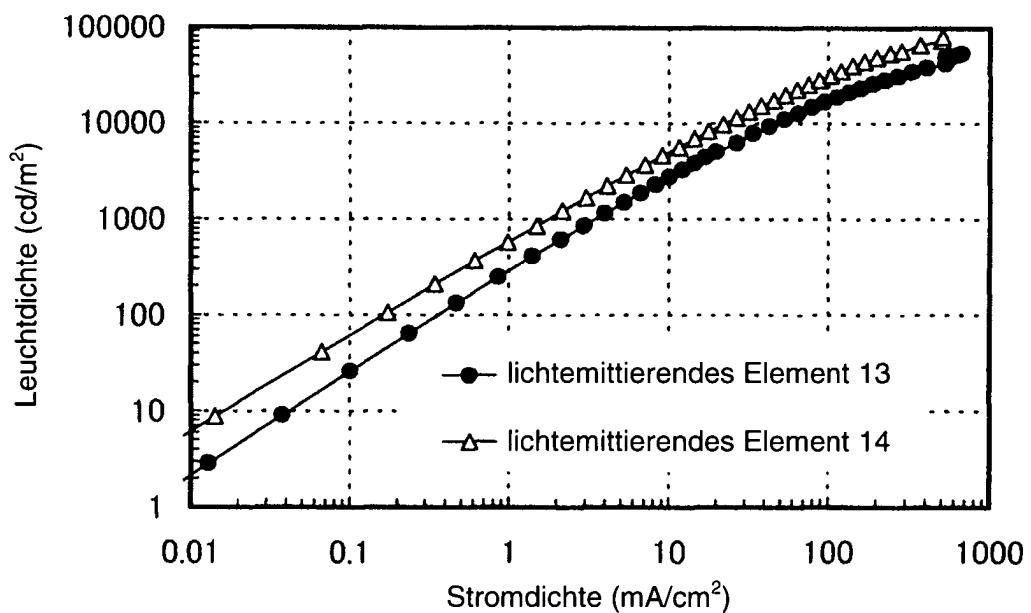


FIG. 54

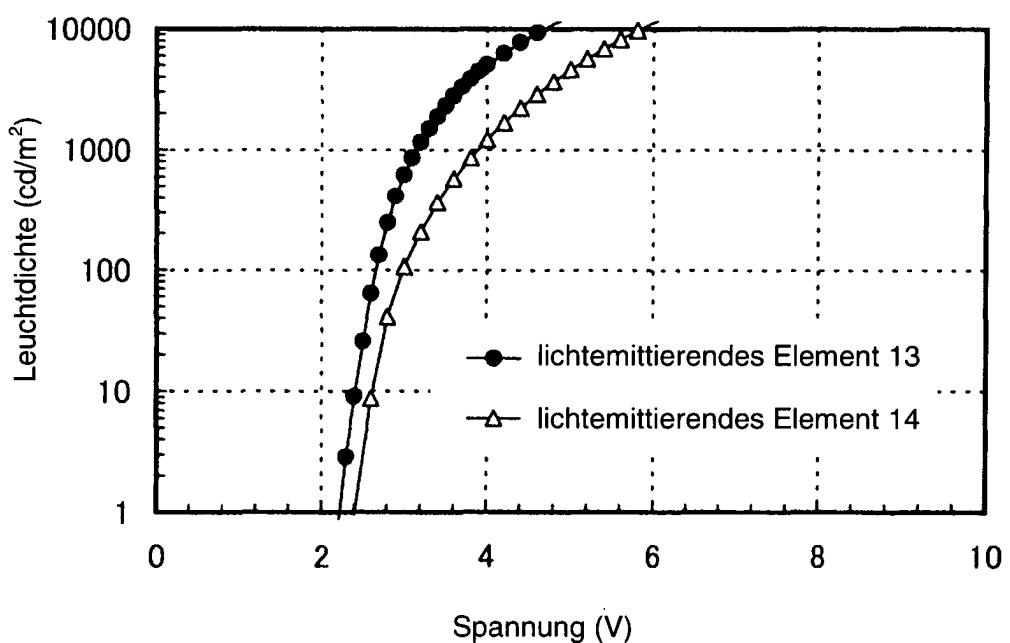


FIG. 55

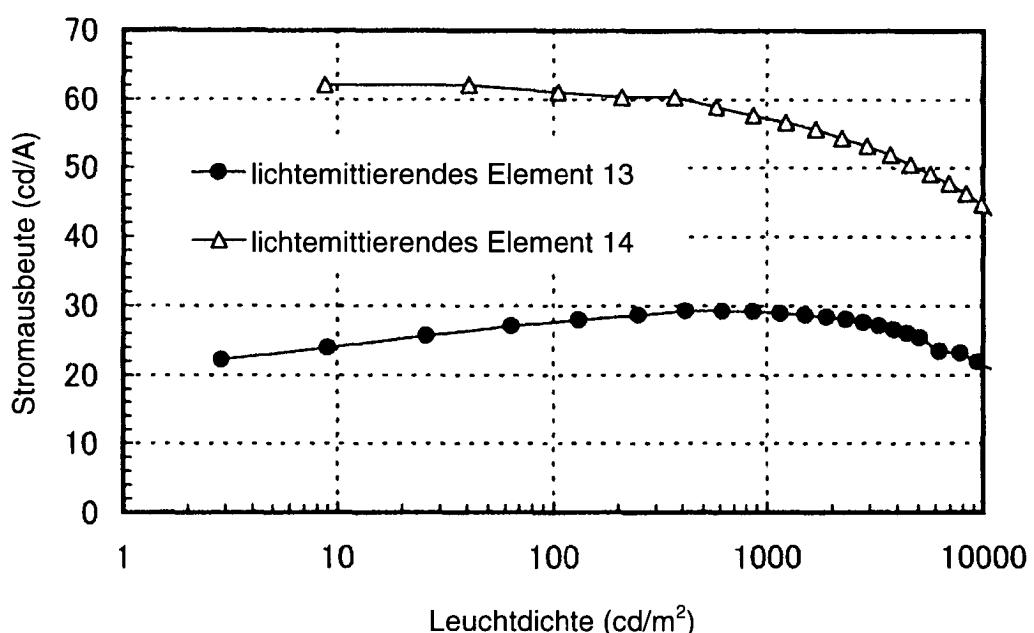


FIG. 56

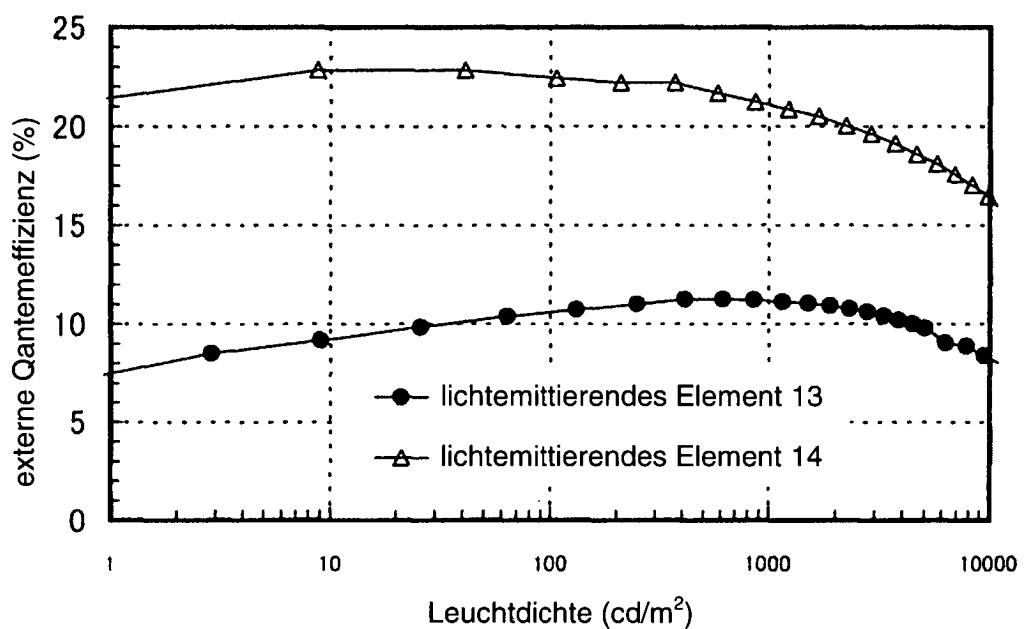


FIG. 57

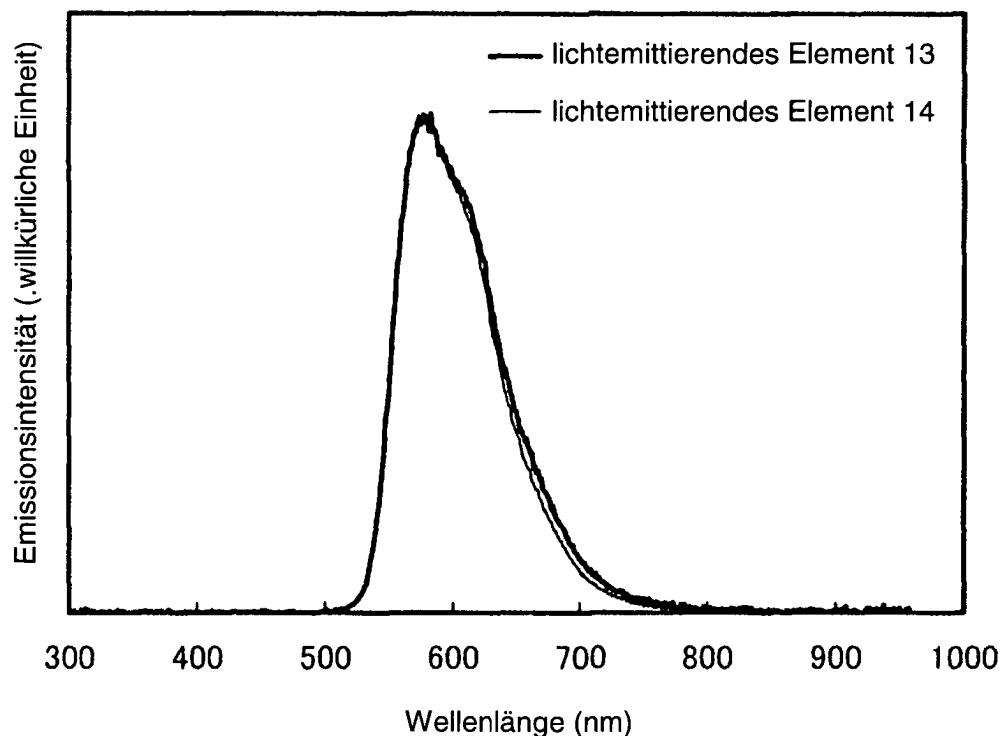


FIG. 58A

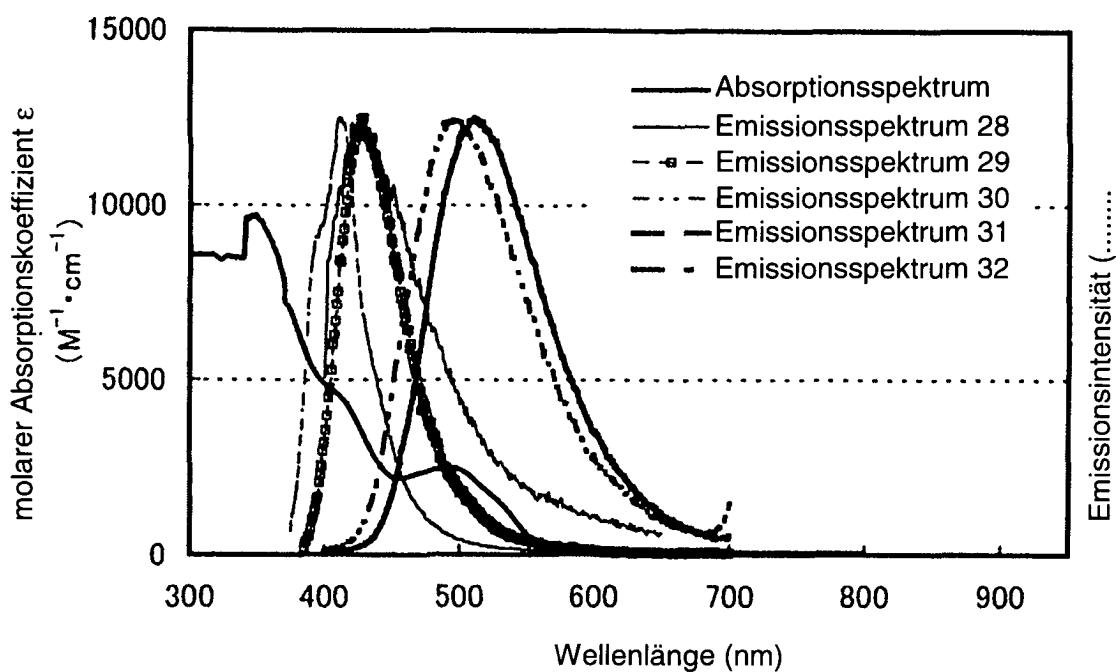


FIG. 58B

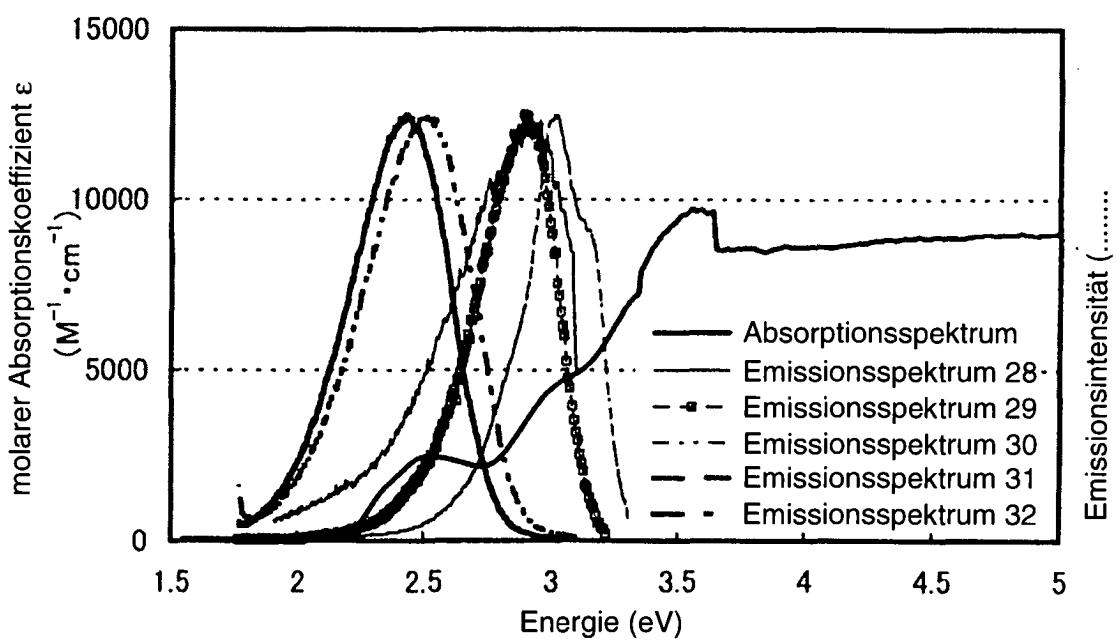


FIG. 59

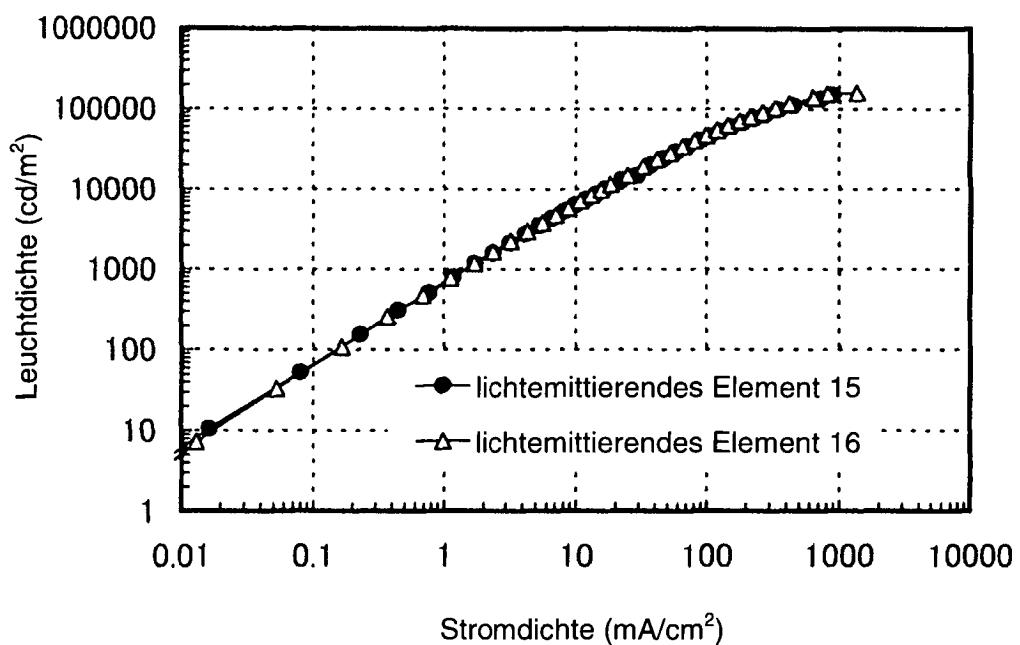


FIG. 60

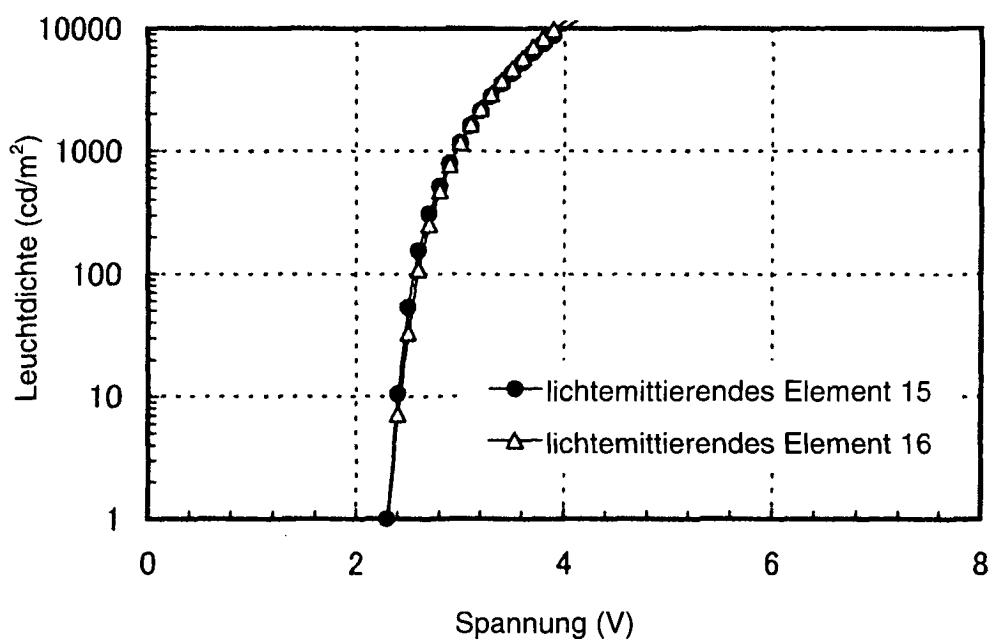


FIG. 61

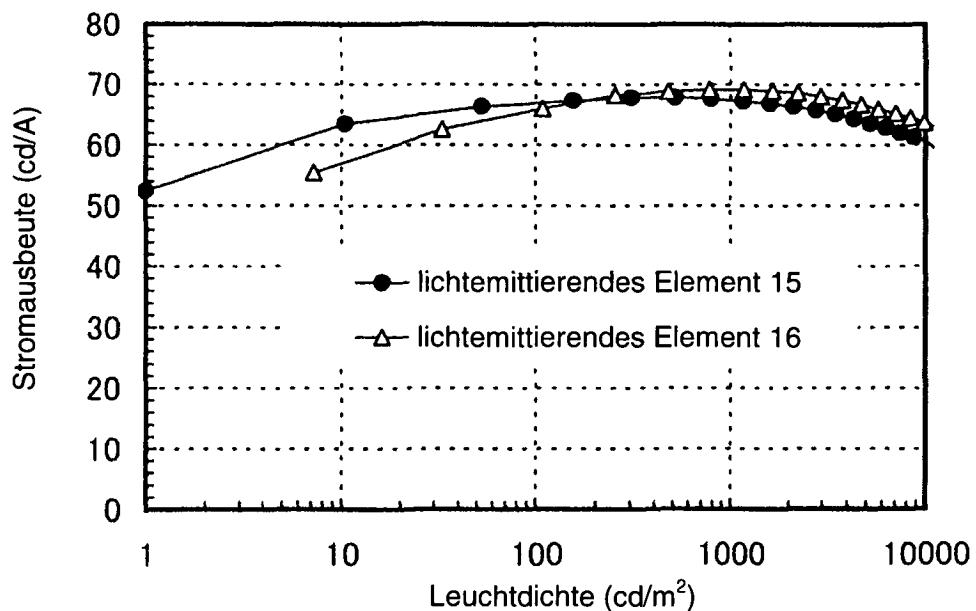


FIG. 62

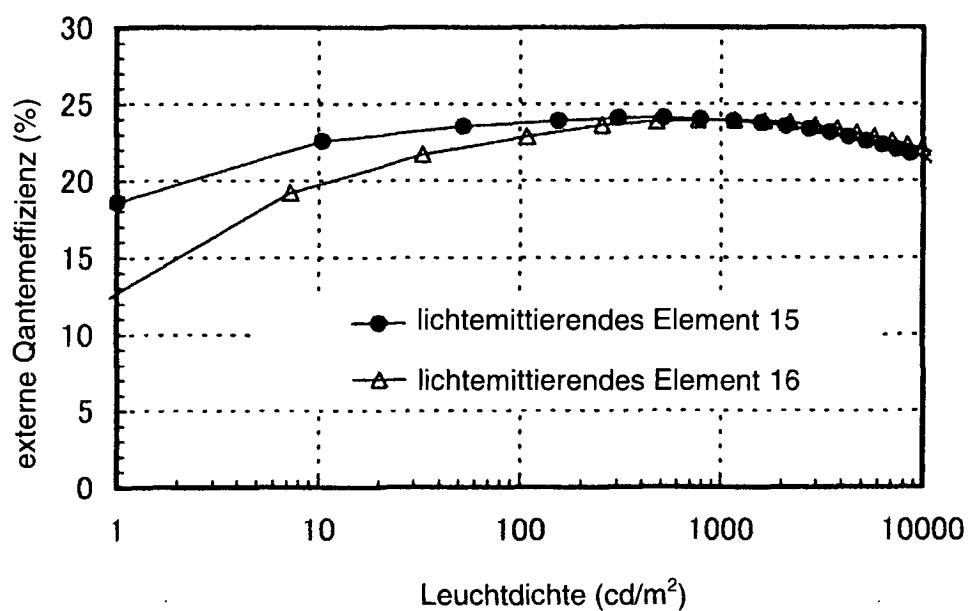


FIG. 63

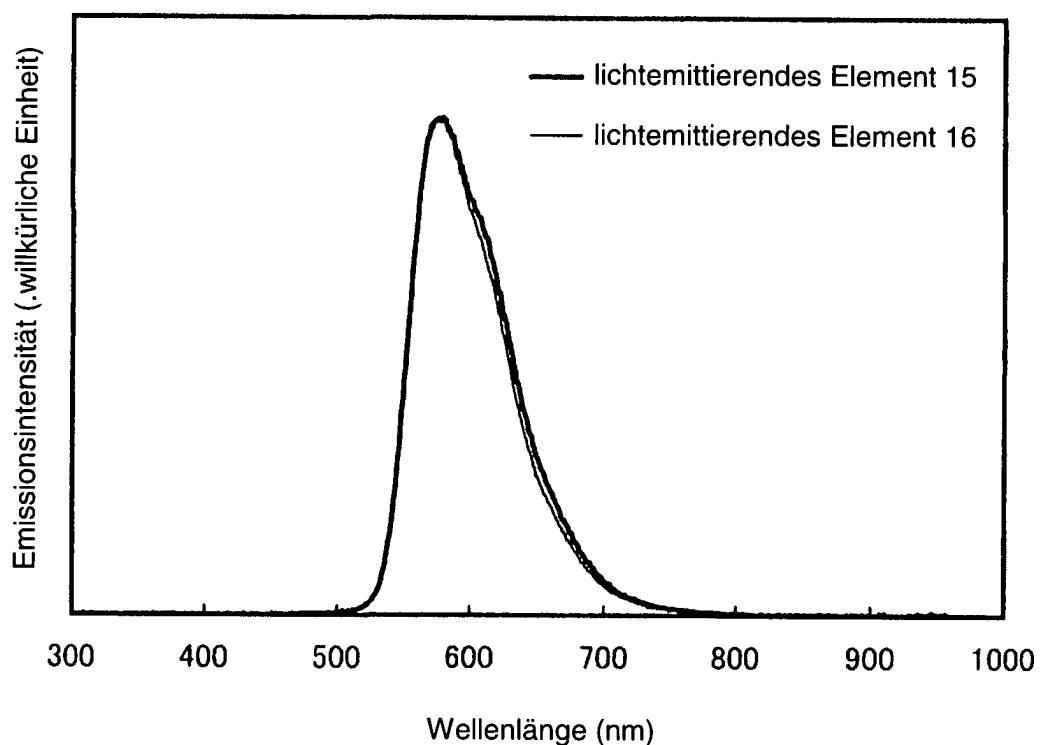


FIG. 64

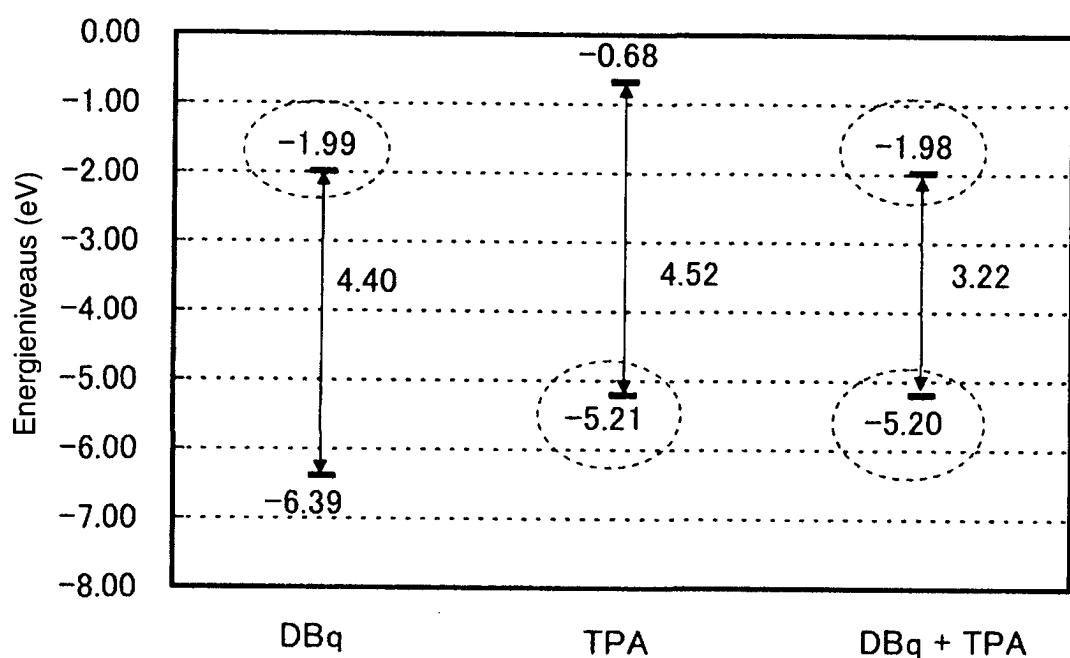


FIG. 65A1

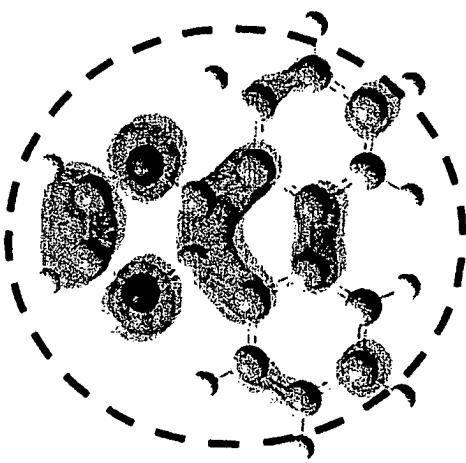


FIG. 65B1

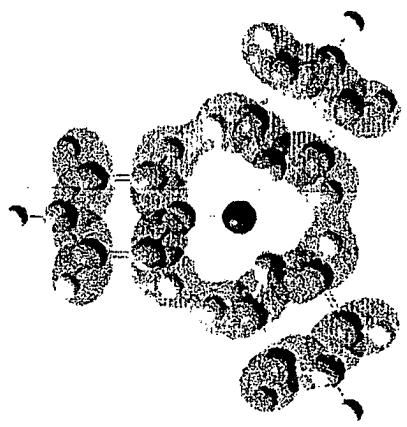


FIG. 65C1

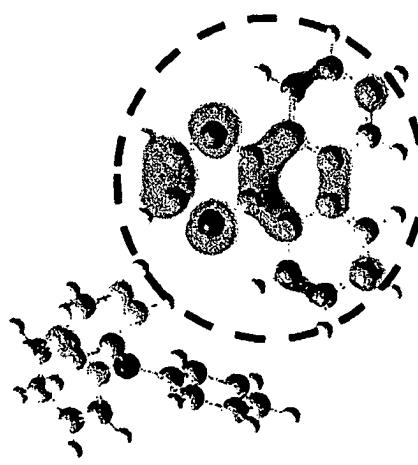


FIG. 65A2

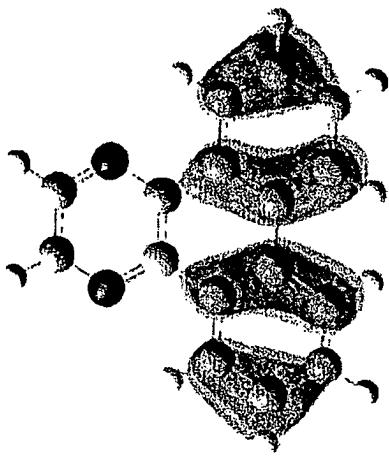


FIG. 65B2

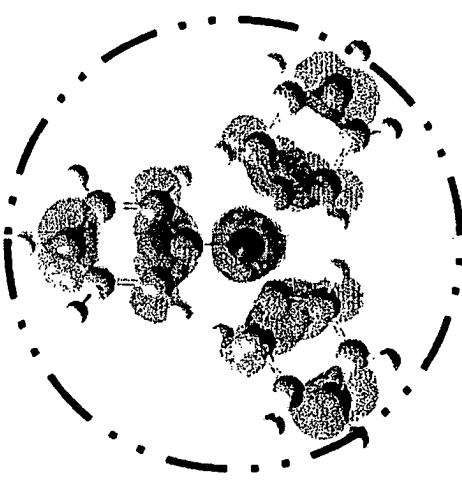


FIG. 65C2

