



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2013 205 863.2
(22) Anmelddatum: 03.04.2013
(43) Offenlegungstag: 31.10.2013
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 23.09.2021

(51) Int Cl.: H01L 51/50 (2006.01)
H01L 51/54 (2006.01)

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

(30) Unionspriorität:
2012-091533 13.04.2012 JP
2012-225061 10.10.2012 JP
2013-047830 11.03.2013 JP

(62) Teilung in:
10 2013 022 648.1

(73) Patentinhaber:
Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.,
Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP

(74) Vertreter:
Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG
mbB, 80802 München, DE

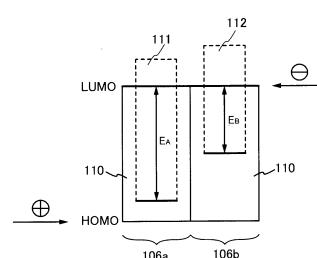
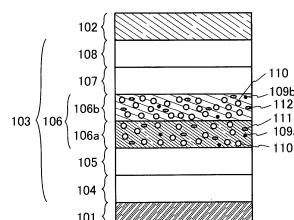
(72) Erfinder:
Seo, Satoshi, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP; Seo,
Hiromi, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Lichtemittierendes Element, lichtemittierende Vorrichtung, elektronisches Gerät und Beleuchtungsvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Lichtemittierendes Element, das umfasst:
eine lichtemittierende Schicht (106) zwischen einer Anode (101) und einer Kathode (102),
wobei die lichtemittierende Schicht ein Stapel von einer ersten lichtemittierenden Schicht (106a) und einer zweiten lichtemittierenden Schicht (106b) ist,
wobei die erste lichtemittierende Schicht an der Anodenseite liegt,
wobei die erste lichtemittierende Schicht (106a) eine erste lichtemittierende Substanz (109a), die Triplett-Anregungsenergie in Lichthemission umwandelt, eine erste organische Verbindung (110) mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine zweite organische Verbindung (111) mit einer Lochtransporteigenschaft umfasst,
wobei die zweite lichtemittierende Schicht (106b) eine zweite lichtemittierende Substanz (109b), die Triplett-Anregungsenergie in Lichthemission umwandelt, die erste organische Verbindung (110) und eine dritte organische Verbindung (112) mit einer Lochtransporteigenschaft umfasst,
wobei die zweite organische Verbindung (111) ein höchstes besetztes Molekülorbital-Niveau aufweist, das niedriger als das der dritten organischen Verbindung (112) ist,
wobei die erste lichtemittierende Substanz (109a) Licht mit einer Wellenlänge emittiert, die kürzer als eine Wellenlänge von Licht ist, das von der zweiten lichtemittierenden Substanz (109b) emittiert wird,

wobei die erste organische Verbindung (110) und die zweite organische Verbindung (111) einen ersten Exciplex (E_A) in der ersten lichtemittierenden bilden, ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	11 2012 000 828	T5
US	2005 / 0 048 310	A1
US	2005 / 0 221 121	A1
US	2006 / 0 134 464	A1
US	2010 / 0 117 068	A1
US	2011 / 0 210 316	A1
US	2011 / 0 240 967	A1
EP	0 879 868	A2

ADACHI, Chihaya, [et al.]: High-efficiency organic electrophosphorescent devices with tris (2-phenylpyridine) iridium doped into electron-transporting materials. In: *Applied Physics Letters*, 2000, 77. Jg., Nr. 6, S. 904-906.

IKAI, Masamichi, [et al.]: Highly efficient phosphorescence from organic light-emitting devices with an exciton-block layer. In: *Applied Physics Letters*, 2001, 79. Jg., Nr. 2, S. 156-158.

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

[0001] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft ein lichtemittierendes Element, in dem eine organische Verbindung, die durch Anlegen eines elektrischen Feldes Licht emittieren kann, zwischen einem Paar von Elektroden bereitgestellt ist, und betrifft auch eine lichtemittierende Vorrichtung, ein elektronisches Gerät und eine Beleuchtungsvorrichtung, die ein solches lichtemittierendes Element beinhalten.

Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Man erwartet, dass lichtemittierende Elemente, die eine organische Verbindung als einen Leuchtkörper enthalten und Kennzeichen wie z. B. Dünneheit, Leichtigkeit, schnelle Reaktion und Gleichstrombetrieb bei einer niedrigen Spannung aufweisen, auf Flachbildschirmanzeigen der nächsten Generation angewendet werden. Im Besonderen werden Anzeigevorrichtungen, in denen lichtemittierende Elemente in einer Matrix angeordnet sind, als mit Vorteilen behaftet gegenüber konventionellen Flüssigkristallanzeigevorrichtungen betrachtet, so beispielsweise mit einem großen Betrachtungswinkel und hoher Sichtbarkeit.

[0003] Es wird gesagt, dass der Lichtemissionsmechanismus eines lichtemittierenden Elements wie folgt ist: Wenn eine Spannung zwischen einem Paar von Elektroden angelegt wird, wobei eine einen Leuchtkörper enthaltende EL-Schicht dazwischen liegt, rekombinieren von der Kathode injizierte Elektronen und von der Anode injizierte Löcher in dem Lichtemissionszentrum der EL-Schicht, um molekulare Exzitonen zu bilden. Energie wird freigesetzt und Licht wird emittiert, wenn die molekularen Exzitonen zum Grundzustand zurückfallen. Ein Singulett-Anregungszustand und ein Triplet-Anregungszustand sind als die Anregungszustände bekannt, und es wird gedacht, dass Lichtemission durch jeden der beiden Anregungszustände erhalten werden kann.

[0004] Um Elementeigenschaften solcher lichtemittierender Elemente zu verbessern, werden Verbesserung einer Elementstruktur, Entwicklung eines Materials und dergleichen aktiv durchgeführt (siehe beispielsweise Patentdokumente 1 bis 9 und Nicht-Patentliteratur 1 und 2).

[Referenz]

Patentdokument 1: JP 2010-182699 A

Patentdokument 2: DE 11 2012 000 828 T5

Patentdokument 3: US 2005 / 0 221 121 A1

Patentdokument 4: US 2010 / 0 117 068 A1

Patentdokument 5: US 2005 / 0 048 310 A1

Patentdokument 6: US 2006 / 0 134 464 A1

Patentdokument 7: US 2011 / 0 210 316 A1

Patentdokument 8: US 2011 / 0 240 967 A1

Patentdokument 9: EP 0 879 868 A2

Nichtpatentliteratur 1: Adachi et al., Applied Physics Letters 2000, 77(6), 904-906.

Nichtpatentliteratur 2: Ikai et al., Applied Physics Letters 2001, 79 (2), 156-158.

Zusammenfassung der Erfindung

[0005] Jedoch wird gesagt, dass die Lichtextraktionseffizienz eines lichtemittierenden Elements zurzeit zirka 20 % bis 30 % ist. Auch wenn Lichtabsorption von einer reflektierenden Elektrode und einer durchsichtigen Elektrode berücksichtigt wird, hat die externe Quantenausbeute eines lichtemittierenden Elements, das eine phosphoreszierende Verbindung enthält, einen Grenzwert von höchstens zirka 25 %.

[0006] Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein lichtemittierendes Element mit hoher externer Quantenausbeute bereitgestellt. Bei einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein lichtemittierendes Element mit einer langen Lebensdauer bereitgestellt.

[0007] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein lichtemittierendes Element, das eine lichtemittierende Schicht zwischen einem Paar von Elektroden (Anode und Kathode) beinhaltet. Die lichtemittierende Schicht hat eine Schicht-Stapel-Struktur, die eine erste lichtemittierende Schicht und eine zweite lichtemittierende Schicht beinhaltet. Die erste lichtemittierende Schicht ist an der Anodenseite ausgebildet und enthält zumindest eine erste lichtemittierende Substanz (Gastmaterial), die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, eine erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine zweite organische Verbindung (Hilfsmaterial) mit einer Lochtransporteigenschaft. Die zweite lichtemittierende Schicht enthält zumindest eine zweite lichtemittierende Substanz (Gastmaterial), die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine dritte organische Verbindung (Hilfsmaterial) mit einer Lochtransporteigenschaft. In der ersten lichtemittierenden Schicht bildet eine Kombination der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) und der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) einen Exciplex. In der zweiten lichtemittierenden Schicht bildet eine Kombination der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) und der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) einen Exciplex. Des Weiteren weist die zweite organische Verbindung ein höchstes besetztes Molekülorbital-Niveau auf, das niedriger als das der dritten organischen Verbindung ist. Zudem emittiert die erste lichtemittierende Substanz Licht mit einer Wellenlänge, die kürzer als eine Wellenlänge von Licht ist, das von der zweiten lichtemittierenden Substanz emittiert wird.

[0008] Eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein lichtemittierendes Element, das eine lichtemittierende Schicht zwischen einer Anode und einer Kathode, eine Lochtransportschicht zwischen der Anode und der lichtemittierenden Schicht und eine Elektronentransportschicht zwischen der Kathode und der lichtemittierenden Schicht beinhaltet. Die lichtemittierende Schicht ist ein Stapel von einer ersten lichtemittierenden Schicht und einer zweiten lichtemittierenden Schicht. Die erste lichtemittierende Schicht steht in Kontakt mit der Lochtransportschicht und enthält zumindest eine erste lichtemittierende Substanz, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, eine erste organische Verbindung mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine zweite organische Verbindung mit einer Lochtransporteigenschaft. Die zweite lichtemittierende Schicht steht in Kontakt mit der Elektronentransportschicht und enthält zumindest eine zweite lichtemittierende Substanz, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, die erste organische Verbindung mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine dritte organische Verbindung mit einer Lochtransporteigenschaft. In der ersten lichtemittierenden Schicht bildet eine Kombination der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) und der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) einen ersten Exciplex. In der zweiten lichtemittierenden Schicht bildet eine Kombination der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) und der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) einen zweiten Exciplex. Die erste lichtemittierende Substanz wandelt die Triplett-Anregungsenergie des ersten Exciplexes in Lichtemission um, und die zweite lichtemittierende Substanz wandelt die Triplett-Anregungsenergie des zweiten Exciplexes in Lichtemission um.

[0009] Es sei angemerkt, dass bei jeder der obigen Strukturen die Emissionswellenlänge des Exciplexes, der von der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) und der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) in der ersten lichtemittierenden Schicht gebildet wird, an der längeren Wellenlängenseite als die Emissionswellenlänge (Fluoreszenzwellenlänge) jeder der ersten und zweiten organischen Verbindungen (Wirts- und Hilfsmaterialien) liegt. Deshalb können durch das Bilden des Exciplexes das Fluoreszenzspektrum der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) und das Fluoreszenzspektrum der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) in ein Emissionsspektrum umgewandelt werden, das an der längeren Wellenlängenseite liegt. Des Weiteren liegt die Emissionswellenlänge des Exciplexes, der von der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) und der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) in der zweiten lichtemittierenden Schicht gebildet wird, an der längeren Wellenlängenseite als die Emissionswellenlänge (Fluoreszenzwellenlänge) jeder der ersten und dritten organischen Verbindungen (Wirts- und Hilfsmaterialien). Deshalb können durch das Bilden des Exciplexes das Fluoreszenzspektrum der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) und das Fluoreszenzspektrum der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) in ein Emissionsspektrum umgewandelt werden, das an der längeren Wellenlängenseite liegt.

[0010] Es sei angemerkt, dass bei jeder der obigen Strukturen in der ersten lichtemittierenden Schicht ein Exciplex aus einem Anion der ersten organischen Verbindung und einem Kation der zweiten organischen Verbindung gebildet wird, und dass in der zweiten lichtemittierenden Schicht ein Exciplex aus einem Anion der ersten organischen Verbindung und einem Kation der dritten organischen Verbindung gebildet wird.

[0011] Bei den obigen Strukturen enthalten die erste lichtemittierende Schicht und die zweite lichtemittierende Schicht die gleiche erste organische Verbindung (Wirtsmaterial), und das höchste besetzte Molekülorbital-(highest occupied molecular orbital; HOMO-) Niveau der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) in der ersten lichtemittierenden Schicht ist niedriger als das der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) in der zweiten lichtemittierenden Schicht.

[0012] Zusätzlich ist bei den obigen Strukturen die in der ersten lichtemittierenden Schicht enthaltene erste lichtemittierende Substanz eine Substanz, die Licht mit einer Wellenlänge emittiert, die kürzer als die von Licht ist, das von der in der zweiten lichtemittierenden Schicht enthaltenen zweiten lichtemittierenden Substanz emittiert wird.

[0013] Bei den obigen Strukturen sind die erste lichtemittierende Substanz und die zweite lichtemittierende Substanz lichtemittierende Substanzen, die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandeln, und phosphoreszierende Verbindungen wie z. B. ein metallorganischer Komplex, oder ein Material, das thermisch stimulierte verzögerte Fluoreszenz emittiert, d. h. ein thermisch stimuliertes verzögertes Fluoreszenz- (thermally activated delayed fluorescence; TADF-) Material; können verwendet werden. Des Weiteren ist die erste organische Verbindung hauptsächlich ein Elektronentransportmaterial mit einer Elektronenbeweglichkeit von 10^{-6} cm 2 /Vs oder mehr, insb. eine π -elektronenarme heteroaromatische Verbindung. Die zweite organische Verbindung und die dritte organische Verbindung sind hauptsächlich Lochtransportmaterialien mit einer Löcherbeweglichkeit von 10^{-6} cm 2 /Vs oder mehr, insb. π -elektronenreiche heteroaromatische Verbindungen oder aromatische Aminverbindungen.

[0014] Zudem umfasst die vorliegende Erfindung in ihrem Schutzbereich elektronische Geräte und Beleuchtungsvorrichtungen, die lichtemittierende Vorrichtungen beinhalten, zusätzlich zu lichtemittierenden Vorrichtungen, die lichtemittierende Elemente beinhalten. Die lichtemittierende Vorrichtung in dieser Beschreibung bezeichnet eine Bildanzeigevorrichtung und eine Lichtquelle (z. B. eine Beleuchtungsvorrichtung). Zusätzlich umfasst die lichtemittierende Vorrichtung alle der folgenden Module: ein Modul, bei dem ein Steckverbinder, wie z. B. eine flexible gedruckte Schaltung (flexible printed circuit; FPC) oder ein Tape Carrier Package (TCP) an einer lichtemittierenden Vorrichtung angebracht ist; ein Modul, bei dem eine gedruckte Leiterplatte am Ende eines TCP bereitgestellt ist; und ein Modul, bei dem eine integrierte Schaltung (integrated circuit; IC) durch ein Chip-on-Glass- (COG-) Verfahren direkt an einem lichtemittierenden Element montiert ist.

[0015] Es sei angemerkt, dass bei einem lichtemittierenden Element, das eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, ein Exciplex sowohl in der ersten lichtemittierenden Schicht als auch in der zweiten lichtemittierenden Schicht, die in der lichtemittierenden Schicht enthalten sind, gebildet wird. Daher kann das lichtemittierende Element hohe Energieübertragungseffizienz und hohe externe Quantenausbeute aufweisen.

[0016] Außerdem weist bei einem lichtemittierenden Element, das eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dank der oben beschriebenen Elementstruktur der in der ersten lichtemittierenden Schicht gebildete Exciplex höhere Anregungsenergie als der in der zweiten lichtemittierenden Schicht gebildete Exciplex auf. Deswegen können dann, wenn eine Substanz als die erste lichtemittierende Substanz (Gastmaterial), die in der ersten lichtemittierenden Schicht enthalten ist und Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, verwendet wird, die Licht mit einer Wellenlänge emittiert, die kürzer als die von Licht ist, das von der zweiten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial), die in der zweiten lichtemittierenden Schicht enthalten ist und Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, emittiert wird, die erste lichtemittierende Schicht und die zweite lichtemittierende Schicht gleichzeitig Licht emittieren. Zusätzlich kann ein Teil der Anregungsenergie des in der ersten lichtemittierenden Schicht gebildeten Exciplexes, der nicht zu Lichtemission beiträgt, als Anregungsenergie für die zweite lichtemittierende Substanz (Gastmaterial) benutzt werden, die in der zweiten lichtemittierenden Schicht Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt. Folglich kann die Emisionseffizienz bei dem lichtemittierenden Element weiter erhöht werden.

Figurenliste

Fig. 1A und **Fig. 1B** zeigen ein Konzept einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2 zeigt ein Konzept einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 3 zeigt Berechnungsergebnisse nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 4A1, **Fig. 4A2**, **Fig. 4B1**, **Fig. 4B2**, **Fig. 4C1** und **Fig. 4C2** zeigen Berechnungsergebnisse nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 5 zeigt eine Struktur eines lichtemittierenden Elements.

Fig. 6A und **Fig. 6B** zeigen jeweils eine Struktur eines lichtemittierenden Elements.

Fig. 7 zeigt eine lichtemittierende Vorrichtung.

Fig. 8A und **Fig. 8B** zeigen eine lichtemittierende Vorrichtung.

Fig. 9A bis **Fig. 9D** zeigen elektronische Geräte.

Fig. 10Abis Fig. 10C zeigen ein elektronisches Gerät.

Fig. 11 zeigt Beleuchtungsvorrichtungen.

Fig. 12 zeigt ein lichtemittierendes Element.

Fig. 13 zeigt Stromdichte-Leuchtdichte-Eigenschaften eines lichtemittierenden Elements 1.

Fig. 14 zeigt Spannung-Leuchtdichte-Eigenschaften eines lichtemittierenden Elements 1.

Fig. 15 zeigt Leuchtdichte-Stromeffizienz-Eigenschaften eines lichtemittierenden Elements 1.

Fig. 16 zeigt Spannung-Strom-Eigenschaften eines lichtemittierenden Elements 1.

Fig. 17 zeigt ein Emissionsspektrum eines lichtemittierenden Elements 1.

Fig. 18 zeigt Emissionsspektren von Substanzen, die in einem lichtemittierenden Element 1 verwendet werden.

Fig. 19 zeigt Emissionsspektren von Substanzen, die in einem lichtemittierenden Element 1 verwendet werden.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0017] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben. Es sei angemerkt, dass die vorliegende Erfindung nicht auf die nachfolgende Beschreibung beschränkt ist, und viele Änderungen und Modifizierungen durchgeführt werden können, ohne von dem Grundgedanken und dem Schutzbereich der Erfindung abzuweichen. Dementsprechend soll die vorliegende Erfindung nicht als durch die Beschreibung der nachstehenden Ausführungsformen beschränkt angesehen werden.

(Grundlegender Prozess von Lichtmission bei einem lichtemittierenden Element)

[0018] Zuerst werden allgemeine grundlegende Prozesse von Lichtemission bei einem lichtemittierenden Element beschrieben, das eine lichtemittierende Substanz, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt (z. B. eine phosphoreszierende Verbindung oder ein thermisch stimuliertes verzögertes Fluoreszenz-(thermally activated delayed fluorescence; TADF-) Material), als ein Gastmaterial verwendet. Es sei angemerkt, dass ein Molekül, das Anregungsenergie abgibt, als ein Wirtsmolekül bezeichnet wird, während ein Molekül, das die Anregungsenergie empfängt, als ein Gastmolekül bezeichnet wird.

[0019] (1) Der Fall, in dem ein Elektron und ein Loch in einem Gastmolekül rekombinieren, und in dem das Gastmolekül in einen Anregungszustand versetzt wird (direkter Rekombinationsprozess).

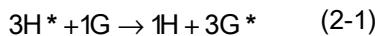
[0020] (1-1) Wenn der Anregungszustand des Gastmoleküls ein Triplett-Anregungszustand ist, emittiert das Gastmolekül Phosphoreszenz.

[0021] (1-2) Wenn der Anregungszustand des Gastmoleküls ein Singulett-Anregungszustand ist, erfährt das Gastmolekül im Singulett-Anregungszustand einen Übergang zwischen Systemen (eng. intersystem crossing) in einen Triplett-Anregungszustand und emittiert Phosphoreszenz.

[0022] Mit anderen Worten: in dem direkten Rekombinationsprozess in (1) kann hohe Emissionseffizienz erhalten werden, solange die Effizienz des Übergangs zwischen Systemen und die Phosphoreszenzquantenausbeute des Gastmoleküls hoch sind. Es sei angemerkt, dass das T₁-Niveau des Wirtsmoleküls vorzugsweise höher als das T₁-Niveau des Gastmoleküls ist.

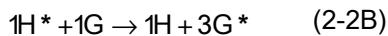
[0023] (2) Der Fall, in dem ein Elektron und ein Loch in einem Wirtsmolekül rekombinieren, und in dem das Wirtsmolekül in einen Anregungszustand versetzt wird (Energieübertragungsprozess).

[0024] (2-1) Wenn der Anregungszustand des Wirtsmoleküls ein Triplett-Anregungszustand ist und das T₁-Niveau des Wirtsmoleküls höher als das T₁-Niveau des Gastmoleküls ist, wird Anregungsenergie von dem Wirtsmolekül auf das Gastmolekül übertragen, und dadurch wird das Gastmolekül in einen Triplett-Anregungszustand versetzt. Das Gastmolekül in dem Triplett-Anregungszustand emittiert Phosphoreszenz. Es sei angemerkt, dass Energieübertragung von dem T₁-Niveau des Wirtsmoleküls auf ein Singulettanregungsenergie-Niveau (S₁-Niveau) des Gastmoleküls verboten ist, außer wenn das Wirtsmolekül Phosphoreszenz emittiert, und dass es unwahrscheinlich ist, dass sie ein hauptsächlicher Energieübertragungsprozess ist. Deshalb wird hier eine Beschreibung einer solchen Energieübertragung weggelassen. Mit anderen Worten: Energieübertragung von dem Wirtsmolekül in dem Triplett-Anregungszustand (3H^{*}) auf das Gastmolekül in dem Triplett-Anregungszustand (3G^{*}) ist wichtig, wie durch nachstehende Formel (2-1) dargestellt ist (wobei 1G den Singulett-Grundzustand des Gastmoleküls darstellt, und 1H den Singulett-Grundzustand des Wirtsmoleküls darstellt).



[0025] (2-2) Wenn der Anregungszustand des Wirtsmoleküls ein Singulett-Anregungszustand ist und das S₁-Niveau des Wirtsmoleküls höher als das S₁-Niveau und das T₁-Niveau des Gastmoleküls ist, wird Anregungsenergie von dem Wirtsmolekül auf das Gastmolekül übertragen, und dadurch wird das Gastmolekül in einen Singulett-Anregungszustand oder einen Triplett-Anregungszustand versetzt. Das Gastmolekül im Triplett-Anregungszustand emittiert Phosphoreszenz. Zusätzlich erfährt das Gastmolekül im Singulett-Anregungszustand einen Übergang zwischen Systemen (intersystem crossing) in einen Triplett-Anregungszustand und emittiert Phosphoreszenz.

[0026] Mit anderen Worten kann es einen Prozess geben, in dem Energie von dem Wirtsmolekül in dem Singulett-Anregungszustand (1H^{*}) auf das Gastmolekül in dem Singulett-Anregungszustand (1G^{*}) übertragen wird und dann das Gastmolekül in den Triplett-Anregungszustand (3G^{*}) durch einen Übergang zwischen Systemen versetzt wird, wie durch nachstehende Formel (2-2A) dargestellt ist, und einen Prozess, in dem Energie von dem Wirtsmolekül in dem Singulett-Anregungszustand (1H^{*}) auf das Gastmolekül in dem Triplett-Anregungszustand (3G^{*}) direkt übertragen wird, wie durch nachstehende Formel (2-2B) dargestellt ist.



[0027] Wenn alle der oben beschriebenen Energieübertragungsprozesse in (2) effizient stattfinden, werden sowohl die Triplett-Anregungsenergie als auch die Singulett-Anregungsenergie des Wirtsmoleküls effizient in den Triplett-Anregungszustand (3G^{*}) des Gastmoleküls umgewandelt. Daher ist hocheffiziente Lichtemission möglich. Im Gegensatz dazu nimmt die Emissionseffizienz ab, wenn durch Emission der Anregungsenergie als Licht oder Hitze das Wirtsmolekül selbst deaktiviert wird, bevor die Anregungsenergie des Wirtsmoleküls auf das Gastmolekül übertragen wird.

[0028] Als nächstes werden Faktoren beschrieben, die die oben beschriebenen Prozesse von intermolekularer Energieübertragung zwischen dem Wirtsmolekül und dem Gastmolekül steuern. Als Mechanismen der intermolekularen Energieübertragung werden die folgenden zwei Mechanismen angegeben.

[0029] Ein Mechanismus ist der Förster-Mechanismus (Dipol-Dipol-Wechselwirkung), in dem Energieübertragung direkten Kontakt zwischen Molekülen nicht erfordert und Energie durch ein Resonanzphänomen von Dipolschwingung zwischen einem Wirtsmolekül und einem Gastmolekül übertragen wird. Durch das Resonanzphänomen von Dipolschwingung gibt das Wirtsmolekül dem Gastmolekül Energie, und somit wird das Wirtsmolekül in einen Grundzustand versetzt und das Gastmolekül wird in einen Anregungszustand versetzt. Es sei angemerkt, dass die Ratenkonstante k_{h*→g} des Förster-Mechanismus durch Formel (1) dargestellt ist.
[Formel 1]

$$k_{h^*\rightarrow g} = \frac{9000c^4K^2\phi\ln10}{128\pi^5n^4N\tau R^6} \int \frac{f'_h(v)\epsilon_g(v)}{v^4} dv \quad (1)$$

[0030] In Formel (1) stellt v eine Frequenz dar, f'_h(v) stellt ein normiertes Emissionsspektrum eines Wirtsmoleküls (ein Fluoreszenzspektrum bei Energieübertragung von einem Singulett-Anregungszustand, und ein Phosphoreszenzspektrum bei Energieübertragung von einem Triplett-Anregungszustand) dar, ε_g(v) stellt einen mo-

laren Absorptionskoeffizient eines Gastmoleküls dar, N stellt die Avogadro-Zahl dar, n stellt einen Brechungsindex eines Mediums dar, R stellt einen intermolekularen Abstand zwischen dem Wirtsmolekül und dem Gastmolekül dar, τ stellt eine gemessene Lebensdauer eines Anregungszustands (Fluoreszenzlebensdauer oder Phosphoreszenzlebensdauer) dar, c stellt die Geschwindigkeit von Licht dar, φ stellt eine Lumineszenzquantenausbeute (eine Fluoreszenzquantenausbeute bei Energieübertragung von einem Singulett-Anregungszustand, und eine Phosphoreszenzquantenausbeute bei Energieübertragung von einem Triplett-Anregungszustand) dar, und K² stellt einen Koeffizient (0 bis 4) für die Orientierung eines Übergangsdipolmoments zwischen dem Wirtsmolekül und dem Gastmolekül dar. Es sei angemerkt, dass im Fall von zufälliger Orientierung K² = 2/3 erfüllt ist.

[0031] Der andere ist der Dexter-Mechanismus (Austauschwechselwirkung der Elektronen), in dem ein Wirtsmolekül und ein Gastmolekül nahe einem Kontakt-bewirkenden Bereich stehen, wo ihre Orbitale miteinander überlappen, und das Wirtsmolekül in einem Anregungszustand und das Gastmolekül in einem Grundzustand ihre Elektronen austauschen, was zu Energieübertragung führt. Es sei angemerkt, dass die Ratenkonstante k_{h*→g} des Dexter-Mechanismus durch Formel (2) dargestellt ist.

[Formel 2]

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

[0032] In Formel (2) stellt h eine Planck-Konstante dar, K' stellt eine Konstante mit einer Energiedimension dar, v stellt eine Frequenz dar, f_h(v) stellt ein normiertes Emissionsspektrum eines Wirtsmoleküls (ein Fluoreszenzspektrum bei Energieübertragung von einem Singulett-Anregungszustand, und ein Phosphoreszenzspektrum bei Energieübertragung von einem Triplett-Anregungszustand) dar, ε_g(v) stellt ein normiertes Absorptionsspektrum eines Gastmoleküls dar, L stellt einen effektiven Molekülradius dar, und R stellt einen intermolekularen Abstand zwischen dem Wirtsmolekül und dem Gastmolekül dar.

[0033] Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Effizienz der Energieübertragung von dem Wirtsmolekül auf das Gastmolekül (Energieübertragungseffizienz Φ_{ET}) durch Formel (3) dargestellt wird. In der Formel stellt k_r eine Ratenkonstante eines Lichtemissionsprozesses (Fluoreszenz bei Energieübertragung von einem Singulett-Anregungszustand, und Phosphoreszenz bei Energieübertragung von einem Triplett-Anregungszustand) eines Wirtsmoleküls dar, k_n stellt eine Ratenkonstante eines Prozesses ohne Lichtemission (thermische Deaktivierung oder Übergang zwischen Systemen) eines Wirtsmoleküls dar, und τ stellt eine gemessene Lebensdauer eines Anregungszustands eines Wirtsmoleküls dar.

[Formel 3]

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

[0034] Laut Formel (3) findet man, dass die Energieübertragungseffizienz Φ_{ET} durch eine Erhöhung der Ratenkonstante k_{h*→g} für Energieübertragung erhöht werden kann, so dass eine andere konkurrierende Ratenkonstante k_r + k_n (= 1/τ) relativ klein wird.

(Energieübertragungseffizienz in (2-1))

[0035] Hierbei wird zuerst der Energieübertragungsprozess in (2-1) betrachtet. Da der Förster-Mechanismus (Formel (1)) in diesem Fall verboten ist, soll nur der Dexter-Mechanismus (Formel (2)) betrachtet werden. Um die Ratenkonstante k_{h*→g} zu erhöhen, ist es laut Formel (2) bevorzugt, dass ein Emissionsspektrum eines Wirtsmoleküls (ein Phosphoreszenzspektrum hier, weil es sich um Energieübertragung von einem Triplett-Anregungszustand handelt) zum großen Teil mit einem Absorptionsspektrum eines Gastmoleküls (Absorption, die direktem Übergang von einem Singulett-Grundzustand zu einem Triplett-Anregungszustand entspricht) überlappt.

[0036] Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine lichtemittierende Substanz, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt (z. B. eine phosphoreszierende Verbindung oder ein thermisch stimuliertes verzögertes Fluoreszenz- (thermally activated delayed fluorescence; TADF-) Material), als ein Gastmaterial verwendet. In einem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung wird in man-

chen Fällen Absorption, die direktem Übergang von einem Singulett-Grundzustand zu einem Triplet-Anregungszustand entspricht, beobachtet, welche ein Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite ist. Im Besonderen haben lichtemittierende Iridiumkomplexe ein breites Absorptionsband bei ungefähr 500 nm bis 600 nm als Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite (in der Tat kann das breite Absorptionsband an einer kürzeren oder längeren Wellenlängenseite in Abhängigkeit von Emissionswellenlängen liegen). Dieses Absorptionsband basiert hauptsächlich auf einem Triplet-MLCT- (metal to ligand charge transfer, Metall-zu-Ligand-Ladungs-Übertragung) Übergang. Es sei angemerkt, dass es betrachtet wird, dass das Absorptionsband auch Absorptionen, die auf einem Triplet- π - π^* -Übergang und einem Singulett-MLCT-Übergang basieren, umfasst und dass diese Absorptionen miteinander überlappen, so dass ein breites Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite in dem Absorptionsspektrum gebildet wird. Mit anderen Worten: der Unterschied zwischen dem niedrigsten Singulett-Anregungszustand und dem niedrigsten Triplet-Anregungszustand ist klein, und auf diesen Zuständen basierende Absorptionen überlappen miteinander, so dass ein breites Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite in dem Absorptionsspektrum gebildet wird. Wenn ein metallorganischer Komplex (besonders Iridiumkomplex) als das Wirtsmaterial verwendet wird, überlappt deswegen das breite Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite zum großen Teil mit dem Phosphoreszenzspektrum des Wirtsmaterials wie oben beschrieben. Dadurch kann die Ratenkonstante $k_{h^* \rightarrow g}$ vergrößert werden, und die Energieübertragungseffizienz kann erhöht werden.

[0037] Außerdem wird im Allgemeinen eine fluoreszierende Verbindung als das Wirtsmaterial verwendet. Da her ist eine Phosphoreszenzlebensdauer (τ) eine Millisekunde oder länger, welche äußerst lang ist (d. h. $k_r + k_n$ ist niedrig). Das liegt daran, dass der Übergang von dem Triplet-Anregungszustand zu dem Grundzustand (Singulett) ein verbotener Übergang ist. Formel (3) zeigt, dass dies für die Energieübertragungseffizienz Φ_{ET} günstig ist.

[0038] Die vorstehende Beschreibung legt auch nahe, dass Energieübertragung von dem Wirtsmaterial im Triplet-Anregungszustand auf das Gastmaterial im Triplet-Anregungszustand, d. h. der Prozess in Formel (2-1), allgemein zu entstehen verspricht, solange das Phosphoreszenzspektrum des Wirtsmaterials mit dem Absorptionsspektrum überlappt, das dem direkten Übergang des Gastmaterials von dem Singulett-Grundzustand zu dem Triplet-Anregungszustand entspricht.

(Energieübertragungseffizienz in (2-2))

[0039] Als nächstes wird der Energieübertragungsprozess in (2-2) betrachtet. Der Prozess in Formel (2-2A) wird von der Effizienz von Übergang zwischen Systemen (intersystem crossing) des Gastmaterials beeinflusst. Um die Emissionseffizienz zu maximieren, wird deshalb der Prozess in Formel (2-2B) als wichtig angesehen. Da der Dexter-Mechanismus (Formel (2)) in diesem Fall verboten ist, soll nur der Förster-Mechanismus (Formel (1)) betrachtet werden.

[0040] Wenn τ aus Formel (1) und Formel (3) eliminiert wird, kann man sagen, dass die Energieübertragungseffizienz Φ_{ET} höher ist, wenn die Quantenausbeute ϕ (eine Fluoreszenzquantenausbeute hier, weil es sich um Energieübertragung von einem Singulett-Anregungszustand handelt) höher ist. In Wirklichkeit ist jedoch ein wichtigerer Faktor wie folgt: das Emissionsspektrum des Wirtsmoleküls (ein Fluoreszenzspektrum hier, weil es sich um Energieübertragung von einem Singulett-Anregungszustand handelt) überlappt zum großen Teil mit dem Absorptionsspektrum des Gastmoleküls (Absorption, die dem direkten Übergang von dem Singulett-Grundzustand zu dem Triplet-Anregungszustand entspricht) (es sei angemerkt, dass auch der molare Absorptionskoeffizient des Gastmoleküls vorzugsweise hoch ist). Dies bedeutet, dass das Fluoreszenzspektrum des Wirtsmaterials mit dem an der längsten Wellenlängenseite liegenden Absorptionsband der phosphoreszierenden Verbindung überlappt, die als das Gastmaterial verwendet wird.

[0041] Jedoch ist dies üblicherweise sehr schwer zu erzielen. Der Grund dafür ist wie folgt: um beide der oben beschriebenen Prozesse (2-1) und (2-2) effizient zu ermöglichen, ist es klar nach der vorstehenden Diskussion, dass das Wirtsmaterial derart geschaffen werden muss, dass nicht nur sein Phosphoreszenzspektrum, sondern auch sein Fluoreszenzspektrum mit dem an der längsten Wellenlängenseite liegenden Absorptionsband des Gastmaterials überlappt. Mit anderen Worten: das Wirtsmaterial muss derart geschaffen werden, dass sein Fluoreszenzspektrum in einer Position liegt, die der des Phosphoreszenzspektrums nahe ist.

[0042] Im Allgemeinen unterscheidet sich jedoch das S₁-Niveau viel von dem T₁-Niveau (S₁-Niveau > T₁-Niveau). Dementsprechend unterscheidet sich auch die Fluoreszenz-Emissionswellenlänge viel von der Phosphoreszenz-Emissionswellenlänge (Fluoreszenz-Emissionswellenlänge < Phosphoreszenz-Emissionswellenlänge). Beispielsweise hat 4,4'-Di(N-carbazolyl)biphenyl (Abkürzung: CBP), welches allgemein als ein Wirts-

material in einem eine phosphoreszierende Verbindung enthaltenden lichtemittierenden Element verwendet wird, ein Phosphoreszenzspektrum bei ungefähr 500 nm und ein Fluoreszenzspektrum bei ungefähr 400 nm, zwischen denen ein großer Unterschied von zirka 100 nm besteht. Dieses Beispiel zeigt weiter, dass es äußerst schwer ist, ein Wirtsmaterial derart zu schaffen, dass sein Fluoreszenzspektrum in einer Position liegt, die der seines Phosphoreszenzspektrums nahe ist. Deswegen ist es sehr wichtig, die Effizienz bei Energieübertragung von dem Wirtsmaterial im Singulett-Anregungszustand auf das Gastmaterial zu verbessern.

[0043] Folglich bietet eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eine nützliche Technik an, die ein solches Problem der Effizienz der Energieübertragung von dem Wirtsmaterial im Singulett-Anregungszustand auf das Gastmaterial überwinden kann. Konkrete Ausführungsformen davon werden nachstehend beschrieben.

(Ausführungsform 1)

[0044] Bei dieser Ausführungsform werden ein strukturelles Konzept eines lichtemittierenden Elements bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und eine konkrete Struktur des lichtemittierenden Elements beschrieben. Es sei angemerkt, dass ein lichtemittierendes Element bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zwischen einem Paar von Elektroden (Anode und Kathode) eine EL-Schicht beinhaltet, die eine lichtemittierende Schicht beinhaltet. Die lichtemittierende Schicht hat eine Schicht-Stapel-Struktur, die eine erste lichtemittierende Schicht und eine zweite lichtemittierende Schicht beinhaltet. Die erste lichtemittierende Schicht ist an der Anodenseite ausgebildet und enthält zumindest eine erste lichtemittierende Substanz (Gastmaterial), die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, eine erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine zweite organische Verbindung (Hilfsmaterial) mit einer Lochtransporteigenschaft. Die zweite lichtemittierende Schicht enthält zumindest eine zweite lichtemittierende Substanz (Gastmaterial), die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine dritte organische Verbindung (Hilfsmaterial) mit einer Lochtransporteigenschaft.

[0045] Es sei angemerkt, dass das höchste besetzte Molekülorbital- (highest occupied molecular orbital; HO-MO-) Niveau der in der ersten lichtemittierenden Schicht enthaltenen zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) niedriger als das der in der zweiten lichtemittierenden Schicht enthaltenen dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) ist. Deshalb kann die Anregungsenergie (E_A) eines Exciplexes, der in der ersten lichtemittierenden Schicht gebildet wird, derart eingestellt werden, dass sie höher als die Anregungsenergie (E_B) eines Exciplexes ist, der in der zweiten lichtemittierenden Schicht gebildet wird.

[0046] Des Weiteren ist die in der ersten lichtemittierenden Schicht enthaltene erste lichtemittierende Substanz eine Substanz, die Licht mit einer Wellenlänge emittiert, die kürzer als die von Licht ist, das von der in der zweiten lichtemittierenden Schicht enthaltenen zweiten lichtemittierenden Substanz emittiert wird.

[0047] Zuerst wird eine Elementstruktur eines lichtemittierenden Elements, das ein Beispiel für die vorliegende Erfindung ist, anhand von **Fig. 1A** beschrieben.

[0048] Bei der Elementstruktur, die in **Fig. 1A** gezeigt ist, ist eine EL-Schicht **103**, die eine lichtemittierende Schicht **106** beinhaltet, zwischen einem Paar von Elektroden (einer Anode **101** und einer Kathode **102**) bereitgestellt, und die EL-Schicht **103** hat eine Struktur, bei der eine Lochinjektionsschicht **104**, eine Lochtransportschicht **105**, die lichtemittierende Schicht **106** (106a und 106b), eine Elektronentransportschicht **107**, eine Elektroneninjektionsschicht **108** und dergleichen über der Anode **101** sequentiell gestapelt sind.

[0049] Wie in **Fig. 1A** gezeigt ist, hat die lichtemittierende Schicht **106** bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eine Schicht-Stapel-Struktur, die die erste lichtemittierende Schicht **106a** und die zweite lichtemittierende Schicht **106b** beinhaltet. Die erste lichtemittierende Schicht **106a** ist an der Anodenseite ausgebildet und enthält zumindest eine erste lichtemittierende Substanz (Gastmaterial) **109a**, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, eine erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) **110** mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine zweite organische Verbindung (Hilfsmaterial) **111** mit einer Lochtransporteigenschaft. Die zweite lichtemittierende Schicht **106b** enthält zumindest eine zweite lichtemittierende Substanz (Gastmaterial) **109b**, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) **110** mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine dritte organische Verbindung (Hilfsmaterial) **112** mit einer Lochtransporteigenschaft. Ein Elektronentransportmaterial mit einer Elektronenbeweglichkeit von $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ oder mehr wird hauptsächlich als die erste organische Verbindung **110** verwendet, und Lochtransportmaterialien mit einer Löcherbeweglichkeit von $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ oder mehr werden hauptsächlich als die zweite organische Verbindung **111** und die dritte organische Verbindung **112** verwendet.

In dieser Beschreibung wird die erste organische Verbindung **110** als ein Wirtsmaterial bezeichnet, und die zweite organische Verbindung **111** und die dritte organische Verbindung **112** werden als Hilfsmaterialien bezeichnet.

[0050] Eine Kombination der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110** und der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **111** in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** bildet einen Exciplex (auch als ein angeregter Komplex bezeichnet). Des weiteren liegt die Emissionswellenlänge des Exciplexes, der von der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110** und der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **111** gebildet wird, an der längeren Wellenlängenseite als die Emissionswellenlänge (Fluoreszenzwellenlänge) jeder der ersten und zweiten organischen Verbindungen (Wirts- und Hilfsmaterialien) **110** und **111**. Deshalb können das Fluoresenzspektrum der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110** und das Fluoresenzspektrum der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **111** in ein Emissionsspektrum umgewandelt werden, das an der längeren Wellenlängenseite liegt.

[0051] Das Gleiche gilt für die zweite lichtemittierende Schicht **106b**. Daher bildet eine Kombination der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110** und der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **112** in der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b** einen Exciplex (auch als ein angeregter Komplex bezeichnet). Des weiteren liegt die Emissionswellenlänge des Exciplexes, der von der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110** und der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **112** gebildet wird, an der längeren Wellenlängenseite als die Emissionswellenlänge (Fluoreszenzwellenlänge) jeder der ersten und dritten organischen Verbindungen (Wirts- und Hilfsmaterialien) **110** und **112**. Deshalb können das Fluoresenzspektrum der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110** und das Fluoresenzspektrum der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **112** in ein Emissionsspektrum umgewandelt werden, das an der längeren Wellenlängenseite liegt.

[0052] Es sei angemerkt, dass bei der obigen Struktur es bevorzugt ist, dass das Niveau einer Triplet-Anregungsenergie (T_1 -Niveau) jeder der ersten und zweiten organischen Verbindungen (Wirts- und Hilfsmaterialien) **110** und **111** höher als das T_1 -Niveau der ersten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **109a** ist, die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt. Das liegt daran, dass dann, wenn das T_1 -Niveau der ersten organischen Verbindung **110** (oder der zweiten organischen Verbindung **111**) niedriger als das T_1 -Niveau der ersten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **109a** ist, die Triplet-Anregungsenergie der ersten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **109a**, die zu Lichtemission beiträgt, von der ersten organischen Verbindung **110** (oder der zweiten organischen Verbindung **111**) gelöscht wird, und die Emissionseffizienz also abnimmt.

[0053] Ähnlicherweise ist es bevorzugt, dass das Niveau einer Triplet-Anregungsenergie (T_1 -Niveau) jeder der ersten und dritten organischen Verbindungen (Wirts- und Hilfsmaterialien) **110** und **112** höher als das T_1 -Niveau der zweiten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **109b** ist, die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt. Das liegt daran, dass dann, wenn das T_1 -Niveau der ersten organischen Verbindung **110** (oder der dritten organischen Verbindung **112**) niedriger als das T_1 -Niveau der zweiten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **109b** ist, die Triplet-Anregungsenergie der zweiten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **109b**, die zu Lichtemission beiträgt, von der ersten organischen Verbindung **110** (oder der dritten organischen Verbindung **112**) gelöscht wird, und die Emissionseffizienz also abnimmt.

[0054] Außerdem kann in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** in der lichtemittierenden Schicht **106** entweder die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) **110** oder die zweite organische Verbindung (Hilfsmaterial) **111** mit einem höheren Anteil enthalten sein, und in der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b** in der lichtemittierenden Schicht **106** kann entweder die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) **110** oder die dritte organische Verbindung (Hilfsmaterial) **112** mit einem höheren Anteil enthalten sein. Die vorliegende Erfindung umfasst alle Fälle in ihrem Schutzbereich.

[0055] **Fig. 1B** ist ein Banddiagramm, das die Energiebeziehung zwischen der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110**, der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **111** und der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **112** in der lichtemittierenden Schicht **106** (der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** und der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b**) mit der oben beschriebenen Struktur darstellt.

[0056] Wie in **Fig. 1B** gezeigt ist, hängt in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** die Anregungsenergie (E_A) des Exciplexes, der von der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110** und der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **111** gebildet wird, von dem HOMO-Niveau der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **111** und dem LUMO-Niveau der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110** ab.

Des Weiteren hängt in der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b** die Anregungsenergie (E_B) des Exciplexes, der von der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110** und der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **112** gebildet wird, von dem HOMO-Niveau der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **112** und dem LUMO-Niveau der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110** ab. Es sei angemerkt, dass die in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** enthaltene zweite organische Verbindung (Hilfsmaterial) **111** ein niedrigeres HOMO-Niveau als die in der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b** enthaltene dritte organische Verbindung (Hilfsmaterial) **112** aufweist, was bedeutet, dass die Anregungsenergie (E_A) des in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** gebildeten Exciplexes derart eingestellt werden kann, dass sie höher als die Anregungsenergie (E_B) des in der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b** gebildeten Exciplexes ist.

[0057] Es sei angemerkt, dass dank der oben beschriebenen Elementstruktur der in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** gebildete Exciplex höhere Anregungsenergie als der in der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b** gebildete Exciplex aufweist. Deswegen können dann, wenn eine Substanz als die erste lichtemittierende Substanz (Gastmaterial) **109a**, die in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** enthalten ist und Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, verwendet wird, die Licht mit einer Wellenlänge emittiert, die kürzer als die von Licht ist, das von der zweiten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **109b** emittiert wird, die in der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b** enthalten ist und Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, die erste lichtemittierende Schicht **106a** und die zweite lichtemittierende Schicht **106b** gleichzeitig Licht emittieren. Zusätzlich kann ein Teil der Anregungsenergie des in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** gebildeten Exciplexes, der nicht zu Lichtemission beiträgt, als Anregungsenergie für die zweite lichtemittierende Substanz (Gastmaterial) **109b** benutzt werden, die in der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b** Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt. Folglich kann die Emissionseffizienz bei dem lichtemittierenden Element weiter erhöht werden.

[0058] Bei dem lichtemittierenden Element, das bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, werden Exciplexe in der lichtemittierenden Schicht **106** (der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** und der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b**) gebildet, und das Fluoreszenzspektrum der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110**, das Fluoreszenzspektrum der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **111** oder das Fluoreszenzspektrum der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **112** kann in ein Emissionsspektrum umgewandelt werden, das an der längeren Wellenlängenseite liegt. Das bedeutet, dass dann, wie in Fig. 2 gezeigt ist, auch wenn das Fluoreszenzspektrum der ersten organischen Verbindung **110**, der zweiten organischen Verbindung **111** oder der dritten organischen Verbindung **112** an der kürzeren Wellenlängenseite liegt im Vergleich zu dem Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite der lichtemittierenden Substanz **109** (der ersten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **109a** und der zweiten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **109b**), die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, oder keine Überlappung mit dem Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite der lichtemittierenden Substanz **109** (der ersten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **109a** und der zweiten lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **109b**), die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, aufweist, das Emissionsspektrum des Exciplexes und das Absorptionsband eine größere Überlappung aufweisen können. Folglich kann die vorstehende Energieübertragungseffizienz in Formel (2-2B) erhöht werden.

[0059] Außerdem wird in Betracht gezogen, dass der Exciplex einen sehr kleinen Unterschied zwischen Singulettanregungsenergie und Triplettanregungsenergie aufweist. Mit anderen Worten: das Emissionsspektrum des Exciplexes aufgrund des Singuletzustands und dessen Emissionsspektrum aufgrund des Triplettzustands stehen einander sehr nahe. Dementsprechend überlappt in dem Fall, in dem das Emissionsspektrum des Exciplexes (im Allgemeinen das Emissionsspektrum des Exciplexes aufgrund des Singuletzustands) derart eingestellt wird, dass es mit dem Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite der lichtemittierenden Substanz **109** überlappt, die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission wie oben beschrieben umwandelt, auch das Emissionsspektrum des Exciplexes aufgrund des Triplettzustands (das nicht bei Raumtemperatur beobachtet wird und in vielen Fällen auch nicht bei niedriger Temperatur beobachtet wird) mit dem Absorptionsband an der längsten Wellenlängenseite der lichtemittierenden Substanz **109**, die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt. Mit anderen Worten: nicht nur die Effizienz der Energieübertragung von dem Singulett-Anregungszustand ((2-2)), sondern auch die Effizienz der Energieübertragung von dem Triplet-Anregungszustand ((2-1)) kann erhöht werden, und als Ergebnis kann Energie von den beiden der Singulett- und Triplet-Anregungszustände effizient in Lichtemission umgewandelt werden.

[0060] Daher wurden Molekülorbitalberechnungen wie folgt durchgeführt, um festzustellen, ob ein Exciplex tatsächlich solche Eigenschaften aufweist oder nicht. Im Allgemeinen bildet häufig eine Kombination einer heteroaromatischen Verbindung und eines aromatischen Amins einen Exciplex unter Einwirkung des niedrigsten unbesetzten Molekülorbital- (LUMO-) Niveaus der heteroaromatischen Verbindung, das tiefer als das LUMO-

Niveau des aromatischen Amins ist (der Eigenschaft zur leichten Aufnahme von Elektronen) und des höchsten besetzten Molekülorbital- (HOMO-) Niveaus des aromatischen Amins, das weniger tief als das HOMO-Niveau der heteroaromatischen Verbindung ist (der Eigenschaft zur leichten Aufnahme von Löchern). Deshalb wurden Berechnungen durchgeführt unter Verwendung einer Kombination von Dibenzo[f,h]quinoxalin (Abkürzung: DBq), das ein typisches Gerüst ist, das das LUMO-Niveau einer heteroaromatischen Verbindung bildet und ein Modell der ersten organischen Verbindung **110** bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, und Triphenylamin (Abkürzung: TPA), das ein typisches Gerüst ist, das das HOMO-Niveau eines aromatischen Amins bildet und ein Modell der zweiten organischen Verbindung **111** (oder der dritten organischen Verbindung **112**) bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

[0061] Zuerst wurden die optimalen Molekülstrukturen und die Anregungsenergien eines Moleküls von DBq (Abkürzung) und eines Moleküls von TPA (Abkürzung) in dem niedrigsten Singulett-Anregungszustand (S_1) und dem niedrigsten Triplett-Anregungszustand (T_1) unter Verwendung der zeitabhängigen Dichtefunktionaltheorie (time-dependent density functional theory; TD-DFT) berechnet. Ferner wurde auch die Anregungsenergie eines Dimers von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung) berechnet.

[0062] In der DFT (Dichtefunktionaltheorie) wird die Gesamtenergie als die Summe von potentieller Energie, elektrostatischer Energie zwischen Elektronen, elektronischer kinetischer Energie und Austausch-Korrelationsenergie (exchange-correlation energy) einschließlich aller komplizierten Wechselwirkungen zwischen Elektronen dargestellt. In der DFT wird auch eine Austausch-Korrelationswechselwirkung durch ein Funktional (eine Funktion einer anderen Funktion) eines Einelektronenpotentials, das als Elektronendichte dargestellt wird, angenähert, um schnelle und hochgenaue Berechnungen zu ermöglichen. Hierbei wurde B3LYP, das ein Hybridfunktional ist, verwendet, um das Gewicht jedes Parameters in Bezug auf Austausch-Korrelationsenergie zu bestimmen.

[0063] Zusätzlich wurde als eine Basisfunktion 6-311 (eine Basisfunktion eines Triple-Split-Valenzbasissatzes (triple split valence basis set) unter Verwendung von drei Kontraktionsfunktionen für jedes Valenzorbital) auf alle Atome angewendet.

[0064] Entsprechend der obigen Basisfunktion werden beispielsweise im Fall von Wasserstoffatomen 1s- bis 3s-Orbitale betrachtet, während im Fall von Kohlenstoffatomen 1s- bis 4s- und 2p- bis 4p-Orbitale betrachtet werden. Außerdem wurden die p-Funktion und die d-Funktion als Polarizationsbasissätze (polarization basis sets) zu Wasserstoffatomen beziehungsweise anderen Atomen als Wasserstoffatomen hinzugefügt, um die Rechengenauigkeit zu verbessern.

[0065] Es sei angemerkt, dass Gaussian 09 als ein Quantenchemie-Rechenprogramm verwendet wurde. Ein hochleistungsfähiger Computer (Altix 4700, hergestellt von SGI Japan, Ltd.) wurde für die Berechnungen verwendet.

[0066] Zuerst wurden die HOMO-Niveaus und die LUMO-Niveaus eines Moleküls von DBq (Abkürzung), eines Moleküls von TPA (Abkürzung) und eines Dimers von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung) berechnet. **Fig. 3** zeigt die HOMO-Niveaus und die LUMO-Niveaus, und **Fig. 4A1**, **Fig. 4A2**, **Fig. 4B1**, **Fig. 4B2**, **Fig. 4C1** und **Fig. 4C2** zeigen HOMO- und LUMO-Verteilungen.

[0067] **Fig. 4A1** zeigt die LUMO-Verteilung eines Moleküls von DBq (Abkürzung); **Fig. 4A2**, die HOMO-Verteilung eines Moleküls von DBq (Abkürzung); **Fig. 4B1**, die LUMO-Verteilung eines Moleküls von TPA (Abkürzung); **Fig. 4B2**, die HOMO-Verteilung eines Moleküls von TPA (Abkürzung); **Fig. 4C1**, die LUMO-Verteilung des Dimers von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung); und **Fig. 4C2**, die HOMO-Verteilung des Dimers von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung).

[0068] Wie in **Fig. 3** gezeigt ist, wird es nahegelegt, dass das Dimer von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung) einen Exciplex von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung) bildet unter Einwirkung des LUMO-Niveaus (-1,99 eV) von DBq (Abkürzung), das tiefer (niedriger) als das LUMO-Niveau von TPA (Abkürzung) ist, und des HOMO-Niveaus (-5,21 eV) von TPA (Abkürzung), das weniger tief (höher) als das HOMO-Niveau von DBq (Abkürzung) ist. Es ist tatsächlich aus **Fig. 4C1** und **Fig. 4C2** klar, dass das LUMO des Dimers von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung) an der DBq (Abkürzung)-Seite verteilt ist, und sein HOMO an der TPA (Abkürzung)-Seite verteilt ist.

[0069] Als nächstes werden Anregungsenergien gezeigt, die aus den optimalen Molekülstrukturen eines Moleküls von DBq (Abkürzung) auf S_1 - und T_1 -Niveaus erhalten werden. Hierbei entsprechen die Anregungs-

ergien auf den S₁- und T₁-Niveaus Fluoreszenz- bzw. Phosphoreszenzwellenlängen, die aus einem Molekül von DBq (Abkürzung) erhalten werden. Die Anregungsenergie auf dem S₁-Niveau eines Moleküls von DBq (Abkürzung) ist 3,294 eV, und die Fluoreszenzwellenlänge ist 376,4 nm. Die Anregungsenergie auf dem T₁-Niveau eines Moleküls von DBq (Abkürzung) ist 2,460 eV, und die Phosphoreszenzwellenlänge ist 504,1 nm.

[0070] Zusätzlich werden Anregungsenergien gezeigt, die aus den optimalen Molekülstrukturen eines Moleküls von TPA (Abkürzung) auf S₁- und T₁-Niveaus erhalten werden. Hierbei entsprechen die Anregungsenergien auf den S₁- und T₁-Niveaus Fluoreszenz- bzw. Phosphoreszenzwellenlängen, die aus einem Molekül von TPA (Abkürzung) erhalten werden. Die Anregungsenergie auf dem S₁-Niveau eines Moleküls von TPA (Abkürzung) ist 3,508 eV, und die Fluoreszenzwellenlänge ist 353,4 nm. Die Anregungsenergie auf dem T₁-Niveau eines Moleküls von TPA (Abkürzung) ist 2,610 eV, und die Phosphoreszenzwellenlänge ist 474,7 nm.

[0071] Zudem werden Anregungsenergien gezeigt, die aus den optimalen Molekülstrukturen des Dimers von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung) auf S₁- und T₁-Niveaus erhalten werden. Die Anregungsenergien auf den S₁- und T₁-Niveaus entsprechen Fluoreszenz- bzw. Phosphoreszenzwellenlängen, die aus dem Dimer von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung) erhalten werden. Die Anregungsenergie auf dem S₁-Niveau des Dimers von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung) ist 2,036 eV, und die Fluoreszenzwellenlänge ist 609,1 nm. Die Anregungsenergie auf dem T₁-Niveau des Dimers von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung) ist 2,030 eV, und die Phosphoreszenzwellenlänge ist 610,0 nm.

[0072] Aus der obigen Beschreibung findet man, dass sich jede der Phosphoreszenzwellenlängen eines Moleküls von DBq (Abkürzung) und eines Moleküls von TPA (Abkürzung) zur längeren Wellenlängenseite um circa 100 nm verschiebt. Dieses Ergebnis zeigt eine Tendenz, die der oben beschriebenen von CBP (Abkürzung) (gemessene Werten) ähnlich ist, und bekräftigt die Gültigkeit der Berechnungen.

[0073] Andererseits findet man, dass die Fluoreszenzwellenlänge des Dimers von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung) an der längeren Wellenlängenseite im Vergleich zu den Fluoreszenzwellenlängen eines Moleküls von DBq (Abkürzung) und eines Moleküls von TPA (Abkürzung) liegt. Man findet auch, dass der Unterschied zwischen der Fluoreszenzwellenlänge und der Phosphoreszenzwellenlänge des Dimers von DBq (Abkürzung) und TPA (Abkürzung) nur 0,9 nm ist, und dass diese Wellenlängen im Wesentlichen gleich sind.

[0074] Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Singulett-Anregungsenergie und die Triplet-Anregungsenergie des Exciplexes im Wesentlichen äquivalent sind. Deshalb wird angedeutet, dass wie oben beschrieben der Exciplex Energie sowohl von dem Singulettzustand als auch von dem Tripletzustand auf die lichtemittierende Substanz (die Gastmaterialien einschließlich der ersten lichtemittierenden Substanz und der zweiten lichtemittierenden Substanz), die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, effizient übertragen kann.

[0075] Auf die obige Weise überträgt das lichtemittierende Element bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung Energie durch Nutzung einer Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des Exciplexes, der in der lichtemittierenden Schicht gebildet wird, und dem Absorptionsspektrum der lichtemittierenden Substanz (der Gastmaterialien einschließlich der ersten lichtemittierenden Substanz und der zweiten lichtemittierenden Substanz), die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, und weist deshalb hohe Energieübertragungseffizienz auf. Folglich kann das lichtemittierende Element hohe externe Quantenausbeute erzielen.

[0076] Zusätzlich befindet sich der Exciplex nur in einem Anregungszustand und weist also keinen Grundzustand auf, in dem Energie absorbiert werden kann. Deswegen wird davon ausgegangen, dass ein Phänomen prinzipiell nicht auftritt, bei dem die lichtemittierende Substanz (Gastmaterial), die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, durch Energieübertragung von der lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) auf den Exciplex vor Lichtemission deaktiviert wird (d. h. die Emissionseffizienz abnimmt), wobei die lichtemittierende Substanz die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt im Singulett-Anregungszustand und im Triplet-Anregungszustand. Dies trägt auch zur Verbesserung der externen Quantenausbeute bei.

[0077] Es sei angemerkt, dass der oben beschriebene Exciplex durch eine Wechselwirkung zwischen ungleichen Molekülen in Anregungszuständen gebildet wird. Es ist allgemein bekannt, dass der Exciplex zwischen einem Material mit einem relativ tiefen LUMO-Niveau und einem Material mit einem relativ wenig tiefen HOMO-Niveau leicht gebildet wird.

[0078] Eine Emissionswellenlänge des Exciplexes hängt von einem Unterschied in Energie zwischen dem HOMO-Niveau und dem LUMO-Niveau ab. Eine generelle Tendenz ist, dass die Emissionswellenlänge kurz ist, wenn der Energieunterschied groß ist, und dass die Emissionswellenlänge lang ist, wenn der Energieunterschied klein ist.

[0079] Deshalb unterscheiden sich die HOMO-Niveaus und LUMO-Niveaus der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110**, der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **111** und der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **112** bei dieser Ausführungsform voneinander, wie in **Fig. 1B** gezeigt ist. Insbesondere variieren die Energieniveaus in der nachstehenden Reihenfolge: das HOMO-Niveau der ersten organischen Verbindung **110** < die HOMO-Niveaus der zweiten organischen Verbindung **111** und der dritten organischen Verbindung **112** < das LUMO-Niveau der ersten organischen Verbindung **110** < die LUMO-Niveaus der zweiten organischen Verbindung **111** und der dritten organischen Verbindung **112**.

[0080] In jeder der lichtemittierenden Schichten hängen dann, wenn der Exciplex von den zwei organischen Verbindungen (der ersten organischen Verbindung **110** und der zweiten organischen Verbindung **111** in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a**, und der ersten organischen Verbindung **110** und der dritten organischen Verbindung **112** in der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b**) gebildet wird, die LUMO-Niveaus der Exciplexe in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** und der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b** von der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **110** ab, das HOMO-Niveau des Exciplexes in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** hängt von der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **111** ab, und das HOMO-Niveau des Exciplexes in der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b** hängt von dem HOMO-Niveau der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **112** ab. Daher ist die Anregungsenergie (E_A) des Exciplexes in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** höher als die Anregungsenergie (E_B) des Exciplexes in der zweiten lichtemittierenden Schicht **106b**. Mit anderen Worten: wenn eine Substanz als die erste lichtemittierende Substanz **109a**, die in der ersten lichtemittierenden Schicht enthalten ist und Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, verwendet wird, die Licht mit einer Wellenlänge emittiert, die kürzer als die von Licht ist, das von der zweiten lichtemittierenden Substanz **109b** emittiert wird, die in der zweiten lichtemittierenden Schicht enthalten ist und Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, kann ein lichtemittierendes Element mit hoher Emissionseffizienz hergestellt werden. Außerdem können lichtemittierende Materialien mit verschiedenen Emissionswellenlängen gleichzeitig effizient Licht emittieren.

[0081] Es sei angemerkt, dass der Prozess der Bildung eines Exciplexes bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung jeder der folgenden zwei Prozesse sein kann.

[0082] Ein Bildungsprozess ist wie folgt: ein Exciplex wird von den zweiten und dritten organischen Verbindungen (Hilfsmaterialien) mit Ladungsträgern (besonders Kation) gebildet.

[0083] Im Allgemeinen wird dann, wenn ein Elektron und ein Loch in einem Wirtsmaterial rekombinieren, Anregungsenergie von dem Wirtsmaterial in einem Anregungszustand auf ein Gastmaterial übertragen, wodurch das Gastmaterial in einen Anregungszustand versetzt wird um Licht zu emittieren. Bevor die Anregungsenergie von dem Wirtsmaterial auf das Gastmaterial übertragen wird, emittiert das Wirtsmaterial selbst Licht, oder die Anregungsenergie wandelt sich in Wärmeenergie, was zu Deaktivierung eines Teils der Anregungsenergie führt. Wenn sich das Wirtsmaterial in einem Singulett-Anregungszustand befindet, entsteht insbesondere Energieübertragung nicht leicht, wie in (2-2) beschrieben wird. Solche Deaktivierung von Anregungsenergie ist eine der Ursachen einer Abnahme der Lebensdauer eines lichtemittierenden Elements.

[0084] Jedoch wird bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein Exciplex von der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) und der zweiten organischen Verbindung (oder der dritten organischen Verbindung) (Hilfsmaterial) mit Ladungsträgern (Kation oder Anion) gebildet. Deshalb kann die Bildung eines Singulett-Exzitons der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) unterbunden werden. Mit anderen Worten: ein Prozess ist möglich, in dem ein Exciplex direkt gebildet wird, ohne ein Singulett-Exziton zu bilden. Daher kann Deaktivierung der Singulett-Anregungsenergie verhindert werden. Folglich kann ein lichtemittierendes Element mit einer langen Lebensdauer erhalten werden.

[0085] Beispielsweise wird in dem Fall, in dem die erste organische Verbindung eine elektroneneinfangende Verbindung mit der Eigenschaft zum leichten Einfangen von Elektronen (Ladungsträgern) (mit einem tiefen LUMO-Niveau) unter Elektronentransportmaterialien ist und die zweite organische Verbindung (oder die dritte organische Verbindung) eine locheinfangende Verbindung mit der Eigenschaft zum leichten Einfangen von Löchern (Ladungsträgern) (mit einem wenig tiefen HOMO-Niveau) unter Lochtransportmaterialien ist, ein Exciplex direkt aus einem Anion der ersten organischen Verbindung und einem Kation der zweiten organischen

Verbindung (oder der dritten organischen Verbindung) gebildet. Ein in einem solchen Prozess gebildeter Exciplex wird besonders als ein Elektroplex bezeichnet. Ein lichtemittierendes Element mit hoher Emissionseffizienz kann durch Unterbinden der Erzeugung des Singulett-Anregungszustands der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) und durch Übertragen von Energie von einem Elektroplex auf die lichtemittierende Substanz (Gastmaterial), die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, auf die oben beschriebene Weise erhalten werden. Es sei angemerkt, dass in diesem Fall die Erzeugung des Triplett-Anregungszustands der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) ähnlicherweise unterbunden wird und ein Exciplex direkt gebildet wird. Deswegen wird davon ausgegangen, dass Energieübertragung von dem Exciplex auf die lichtemittierende Substanz (Gastmaterial) entsteht, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt.

[0086] Der andere Bildungsprozess ist ein grundlegender Prozess, in dem entweder das Wirtsmaterial (die erste organische Verbindung) oder das Hilfsmaterial (die zweite organische Verbindung oder die dritte organische Verbindung) ein Singulett-Exziton bildet und dann mit dem anderen im Grundzustand derart wechselwirkt, dass ein Exciplex gebildet wird. Im Unterschied zu einem Elektroplex wird ein Singulett-Anregungszustand der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial), der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) oder der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) in diesem Fall vorübergehend erzeugt, aber er wird schnell in einen Exciplex umgewandelt. Dadurch kann Deaktivierung von Singulett-Anregungsenergie verhindert werden. Folglich ist es möglich, Deaktivierung von Anregungsenergie der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial), der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) oder der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) zu verhindern. Es sei angemerkt, dass in diesem Fall davon ausgegangen wird, dass der Triplett-Anregungszustand des Wirtsmaterials ähnlich schnell in einen Exciplex umgewandelt wird, und Energie von dem Exciplex auf die lichtemittierende Substanz (Gastmaterial) übertragen wird, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt.

[0087] Es sei angemerkt, dass in dem Fall, in dem die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) eine elektroneneinfangende Verbindung ist, in dem die zweite organische Verbindung (oder die dritte organische Verbindung) (Hilfsmaterial) eine locheinfangende Verbindung ist, und in dem der Unterschied zwischen den HOMO-Niveaus und der Unterschied zwischen den LUMO-Niveaus dieser Verbindungen groß sind (insbesondere 0,3 eV oder mehr), Elektronen selektiv in die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) injiziert werden und Löcher selektiv in die zweite organische Verbindung (oder die dritte organische Verbindung) (Hilfsmaterial) injiziert werden. In diesem Fall denkt man, dass der Prozess, in dem ein Elektroplex gebildet wird, den Vorrang vor dem Prozess hat, in dem ein Exciplex durch ein Singulett-Exziton gebildet wird.

[0088] Um das Emissionsspektrum des Exciplexes und das Absorptionsspektrum der lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial), die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, ausreichend miteinander überlappen zu lassen, ist der Unterschied zwischen der Energie einer Spalte des Emissionsspektrums und der Energie einer Spalte des Absorptionsbands an der niedrigsten Energieseite in dem Absorptionsspektrum vorzugsweise 0,3 eV oder weniger. Der Unterschied ist stärker bevorzugt 0,2 eV oder weniger, noch stärker bevorzugt 0,1 eV oder weniger.

[0089] Bei dem lichtemittierenden Element bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfahrung ist es auch bevorzugt, dass die Anregungsenergie des Exciplexes ausreichend auf die lichtemittierende Substanz (Gastmaterial) übertragen wird, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, und dass im Wesentlichen keine Lichtemission von dem Exciplex beobachtet wird. Deshalb ist es bevorzugt, dass Energie auf die lichtemittierende Substanz, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, durch einen Exciplex übertragen wird, so dass die lichtemittierende Substanz, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, Licht emittiert. Es sei angemerkt, dass als die lichtemittierende Substanz, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, vorzugsweise eine phosphoreszierende Verbindung (z. B. ein metallorganischer Komplex), ein thermisch stimuliertes verzögertes Fluoreszenz- (thermally activated delayed fluorescence; TADF-) Material oder dergleichen verwendet wird.

[0090] In dem Fall, in dem eine lichtemittierende Substanz, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, als die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) in der ersten lichtemittierenden Schicht **106a** des lichtemittierenden Elements bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfahrung verwendet wird, emittiert die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) selbst leicht Licht und lässt Energie auf die lichtemittierende Substanz (Gastmaterial), die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, nicht leicht übertragen. In diesem Fall wäre es günstig, wenn die erste organische Verbindung effizient Licht emittieren könnte, aber es ist schwer hohe Emissionseffizienz zu erzielen, weil eine hohe Konzentration des Wirtsmaterials ein Problem einer Konzentrationslöschung (concentration quenching) verursachen kann. Daher ist der Fall effektiv, in dem die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) und/oder die zweite organische Verbindung (oder die dritte

organische Verbindung) (Hilfsmaterial) eine fluoreszierende Verbindung (d. h. eine Verbindung, die Lichtemission oder thermische Deaktivierung von dem Singulett-Anregungszustand leicht ausführt) sind/ist. Aus diesem Grund wird es bevorzugt, dass die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) und/oder die zweite organische Verbindung (oder die dritte organische Verbindung) (Hilfsmaterial) eine fluoreszierende Verbindung sind/ist, und dass ein Exciplex als ein Medium zur Energieübertragung verwendet wird.

[0091] Es sei angemerkt, dass die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur soweit angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden kann.

(Ausführungsform 2)

[0092] Bei dieser Ausführungsform wird ein Beispiel für ein lichtemittierendes Element bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung anhand von **Fig. 5** beschrieben.

[0093] Bei dem lichtemittierenden Element, das bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, ist wie in **Fig. 5** eine EL-Schicht **203**, die eine lichtemittierende Schicht **206** beinhaltet, zwischen einem Paar von Elektroden (einer ersten Elektrode (Anode) **201** und einer zweiten Elektrode (Kathode) **202**) bereitgestellt, und die EL-Schicht **203** beinhaltet eine Lochinjektionsschicht **204**, eine Lochtransportschicht **205**, eine Elektronentransportschicht **207**, eine Elektroneninjektionsschicht **208** und dergleichen zusätzlich zu der lichtemittierenden Schicht **206** mit einer Schicht-Stapel-Struktur, die eine erste lichtemittierende Schicht **206a** und eine zweite lichtemittierende Schicht **206b** beinhaltet.

[0094] Es sei angemerkt, dass die lichtemittierende Schicht **206** bei dieser Ausführungsform eine Schicht-Stapel-Struktur hat, die die erste lichtemittierende Schicht **206a** und die zweite lichtemittierende Schicht **206b** beinhaltet. In der lichtemittierenden Schicht **206** enthält die erste lichtemittierende Schicht **206a** eine erste lichtemittierende Substanz (Gastmaterial) **209a**, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, eine erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) **210** mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine zweite organische Verbindung (Hilfsmaterial) **211** mit einer Lochtransporteigenschaft; und die zweite lichtemittierende Schicht **206b** enthält eine zweite lichtemittierende Substanz (Gastmaterial) **209b**, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) **210** mit einer Elektronentransporteigenschaft und die dritte organische Verbindung (Hilfsmaterial) **212** mit einer Lochtransporteigenschaft.

[0095] Es sei angemerkt, dass das HOMO-Niveau der in der ersten lichtemittierenden Schicht enthaltenen zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) niedriger als das der in der zweiten lichtemittierenden Schicht enthaltenen dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) ist. Deshalb kann die Anregungsenergie (E_A) eines Exciplexes, der in der ersten lichtemittierenden Schicht gebildet wird, derart eingestellt werden, dass sie höher als die Anregungsenergie (E_B) eines Exciplexes ist, der in der zweiten lichtemittierenden Schicht gebildet wird.

[0096] Es sei angemerkt, dass Kristallisation der lichtemittierenden Schicht **206** (der ersten lichtemittierenden Schicht **206a** und der zweiten lichtemittierenden Schicht **206b**) durch Verwendung einer Struktur unterbunden werden kann, bei der die erste lichtemittierende Substanz **209a**, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, in der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **210** und der zweiten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **211** in der ersten lichtemittierenden Schicht **206a** dispergiert ist, und bei der die zweite lichtemittierende Substanz **209b**, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, in der ersten organischen Verbindung (Wirtsmaterial) **210** und der dritten organischen Verbindung (Hilfsmaterial) **212** in der zweiten lichtemittierenden Schicht **206b** dispergiert ist. Ferner ist es möglich, Konzentrationslöschung (concentration quenching) infolge einer hohen Konzentration der lichtemittierenden Substanz **209** (**209a** und **209b**) zu unterbinden, und daher kann das lichtemittierende Element höhere Emissionseffizienz aufweisen.

[0097] Es ist bevorzugt, dass das Niveau einer Triplett-Anregungsenergie (T_1 -Niveau) jeder der ersten organischen Verbindung **210**, der zweiten organischen Verbindung **211** und der dritten organischen Verbindung **212** höher als das T_1 -Niveau der lichtemittierenden Substanz **209** (**209a** und **209b**) ist, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt. Das liegt daran, dass dann, wenn das T_1 -Niveau jeder der ersten organischen Verbindung **210**, der zweiten organischen Verbindung **211** und der dritten organischen Verbindung **212** niedriger als das T_1 -Niveau der lichtemittierenden Substanz **209** (**209a** und **209b**), die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, ist, die zu Lichtemission beitragende Triplett-Anregungsenergie der lichtemittierenden Substanz **209** (**209a** und **209b**), die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, von der ersten organischen Verbindung **210** (oder der zweiten organischen Verbindung **211** oder der dritten organischen Verbindung **212**) gelöscht wird und somit die Emissionseffizienz abnimmt.

[0098] In der lichtemittierenden Schicht **206** bei dieser Ausführungsform bilden zum Zeitpunkt der Rekombination von Ladungsträgern (Elektronen und Löchern), die von den entsprechenden Elektroden injiziert werden, die erste organische Verbindung **210** und die zweite organische Verbindung **211** einen Exciplex in der ersten lichtemittierenden Schicht **206a**, und die erste organische Verbindung **210** und die dritte organische Verbindung **212** bilden einen Exciplex in der zweiten lichtemittierenden Schicht **206b**. Dementsprechend können ein Fluoreszenzspektrum der ersten organischen Verbindung **210** und dasjenige der zweiten organischen Verbindung **211** in der ersten lichtemittierenden Schicht **206a** in ein Emissionsspektrum des Exciplexes, das an einer längeren Wellenlängenseite liegt, umgewandelt werden, und ein Fluoreszenzspektrum der ersten organischen Verbindung **210** und dasjenige der dritten organischen Verbindung **212** in der zweiten lichtemittierenden Schicht **206b** können in ein Emissionsspektrum des Exciplexes, das an einer längeren Wellenlängenseite liegt, umgewandelt werden. Unter Berücksichtigung darauf werden die erste organische Verbindung **210** und die zweite organische Verbindung **211** in der ersten lichtemittierenden Schicht **206a** und die erste organische Verbindung **210** und die dritte organische Verbindung **212** in der zweiten lichtemittierenden Schicht **206b** derart ausgewählt, dass eine große Überlappung zwischen dem Emissionsspektrum des Exciplexes und dem Absorptionsspektrum der lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **209**, die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, erzeugt wird und dass dadurch Energieübertragung von einem Singulett-Anregungszustand maximiert wird. Das heißt, dass hier davon ausgegangen wird, dass Energieübertragung von dem Exciplex, nicht von dem Wirtsmaterial, auch im Fall eines Triplet-Anregungszustands erfolgt.

[0099] Es sei angemerkt, dass als die lichtemittierende Substanz **209** (die erste lichtemittierende Substanz **209a** und die zweite lichtemittierende Substanz **209b**), die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, vorzugsweise eine phosphoreszierende Verbindung (z. B. ein metallorganischer Komplex), ein thermisch stimuliertes verzögertes Fluoreszenz- (thermally activated delayed fluorescence; TADF-) Material oder der gleichen verwendet wird. Ein Elektronentransportmaterial wird vorzugsweise als die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) **210** verwendet. Lochtransportmaterialien werden vorzugsweise als die zweite organische Verbindung (Hilfsmaterial) **211** und die dritte organische Verbindung (Hilfsmaterial) **212** verwendet.

[0100] Es sei angemerkt, dass Beispiele für den metallorganischen Komplex umfassen:

Bis[2-(4',6'-difluorophenyl)pyridinato-N,C²]iridium(III)tetrakis(1-pyrazolyl)borat (Abkürzung: Flr6), Bis[2-(4',6'-difluorophenyl)pyridinato-N,C²]iridium(III)picolinat (Abkürzung: Flrpic),
 Bis[2-(3',5'-bistrifluoromethylphenyl)pyridinato-N,C²]iridium(III)picolinat (Abkürzung: Ir(CF₃ppy)₂(pic)),
 Bis[2-(4',6'-difluorophenyl)pyridinato-N,C²]iridium(111)acetylacetonat (Abkürzung: Flracac), Tris(2-phenylpyridinato)iridium(III) (Abkürzung: Ir(ppy)₃),
 Bis(2-phenylpyridinato)iridium(III)acetylacetonat (Abkürzung: Ir(ppy)₂(acac)),
 Bis(benzo[h]quinolinato)iridium(III)acetylacetonat (Abkürzung: Ir(bzq)₂(acac)),
 Bis(2,4-diphenyl-1,3-oxazolato-N,C²)iridium(III)acetylacetonat (Abkürzung: Ir(dpo)₂(acac)),
 Bis{2-[4'-(perfluorophenyl)phenyl]pyridinato-N,C²}iridium(III)acetylacetonat (Abkürzung: Ir(p-PF-ph)₂(acac)),
 Bis(2-phenylbenzothiazolato-N,C²)iridium(III)acetylacetonat (Abkürzung: Ir(bt)₂(acac)),
 Bis[2-(2'-benzo[4,5-a]thienyl)pyridinato-N,C³]iridium(III)acetylacetonat (Abkürzung: Ir(btp)₂(acac)),
 Bis(1-phenylisoquinolinato-N,C²)iridium(III)acetylacetonat (Abkürzung: Ir(piq)₂(acac)),
 (Acetylacetonato)bis[2,3-bis(4-fluorophenyl)quinoxalinato]iridium(III)
 (Abkürzung: Ir(Fdpq)₂(acac)), (Acetylacetonato)bis(2,3,5-triphenylpyrazinato)iridium(III) (Abkürzung: Ir(tppr)₂(acac)), (2,3,7,8,12,13,17, 18-Octaethyl-21 H,23H-porphyrin)platin(II) (Abkürzung: PtOEP), Tris(acetylacetonato)(monophenanthrolin)terbium(III)
 (Abkürzung: Tb(acac)₃(Phen)), Tris(1,3-diphenyl-1,3-propanedionato)(monophenanthrolin)europium(III)
 (Abkürzung: Eu(DBM)₃(Phen)) und Tris[1-(2-thenoyl)-3, 3, 3-trifluoroacetonato](monophenanthrolin)europium(III)
 (Abkürzung: Eu(TTA)₃(Phen)).

[0101] Als das Elektronentransportmaterial ist eine π-elektronenarme heteroaromatische Verbindung bevorzugt, so beispielsweise eine Stickstoff enthaltende heteroaromatische Verbindung, und Beispiele dafür umfas-

sen Quinoxalin-Derivate und Dibenzoquinoxalin-Derivate wie z. B. 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]quinoxalin (Abkürzung: 2mDBTPDBq-II), 2-[3'-(Dibenzothiophen-4-yl)biphenyl-3-yl]dibenzo[f,h]quinoxalin (Abkürzung: 2mDBTBPDBq-II), 2-[4-(3,6-Diphenyl-9H-carbazol-9-yl)phenyl]dibenzo[f,h]quinoxalin (Abkürzung: 2CzPDBq-III), 7-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]quinoxalin (Abkürzung: 7mDBTPDBq-II) und 6-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]quinoxalin (Abkürzung: 6mDBTPDBq-II).

[0102] Als das Lochtransportmaterial ist eine π -elektronenreiche heteroaromatische Verbindung (z. B. ein Carbazol-Derivat oder ein Indol-Derivat) oder eine aromatische Aminverbindung bevorzugt, und Beispiele dafür umfassen 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: PCBNBB), 3-[N-(1-Naphthyl)-N-(9-phenylcarbazol-3-yl)amino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCN1), 4,4',4''-Tris[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]triphenylamin (Abkürzung: 1'-TNATA), 2,7-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]-spiro-9,9'-bifluoren (Abkürzung: DPA2SF), N,N'-Bis(9-phenylcarbazol-3-yl)-N,N'-diphenylbenzen-1,3-diamin (Abkürzung: PCA2B), N-(9,9-Dimethyl-2-diphenylamino-9H-fluoren-7-yl)diphenylamin (Abkürzung: DPNF), N,N',N'',N''-Triphenyl-N,N',N'',N''-tris(9-phenylcarbazol-3-yl)benzen-1,3,5-triamin (Abkürzung: PCA3B), 2-[N-(9-Phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]spiro-9,9'-bifluoren (Abkürzung: PCASF), 2-[N-(4-Diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]spiro-9,9'-bifluoren (Abkürzung: DPASF), N,N'-Bis[4-(carbazol-9-yl)phenyl]-N,N'-diphenyl-9, 9-dimethylfluoren-2, 7 -diamin (Abkürzung: YGA2F), 4 ,4'-Bis[N-(3-methylphenyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: TPD), 4,4'-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: DPAB), N-(9, 9-Dimethyl-9H-fluoren-2-yl)-N-{9,9-dimethyl-2-[N'-phenyl-N'-(9, 9-dimethyl-9H-fluoren-2-yl)amino]-9H-fluoren-7-yl}phenylamin (Abkürzung: DFLADFL), 3-[N-(9-Phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA1), 3-[N-(4-Diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzTPN2) und 3,6-Bis[N-(9-phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA2).

[0103] Es sei angemerkt, dass Materialien, die für die lichtemittierende Substanz (Gastmaterial) **209** (die erste lichtemittierende Substanz **209a** und die zweite lichtemittierende Substanz **209b**), die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) **210**, die zweite organische Verbindung (Hilfsmaterial) **211** und die dritte organische Verbindung (Hilfsmaterial) **212** verwendet werden können, nicht auf die vorstehenden Beispiele beschränkt sind. Die Kombination wird derart bestimmt, dass ein Exciplex gebildet werden kann, dass das Emissionsspektrum des Exciplexes mit dem Absorptionsspektrum der lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **209** (der ersten lichtemittierenden Substanz **209a** oder der zweiten lichtemittierenden Substanz **209b**) überlappt, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, und dass die Spitze des Emissionsspektrums des Exciplexes eine längere Wellenlänge als die Spitze des Absorptionsspektrums der lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) **209** (der ersten lichtemittierenden Substanz **209a** oder der zweiten lichtemittierenden Substanz **209b**) hat, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt.

[0104] In dem Fall, in dem ein Elektronentransportmaterial als die erste organische Verbindung **210** verwendet wird und ein Lochtransportmaterial als die zweite organische Verbindung **211** verwendet wird, kann Ladungsträgergleichgewicht durch das Mischungsverhältnis der Verbindungen gesteuert werden. Insbesondere ist das Verhältnis der ersten organischen Verbindung **210** zu der zweiten organischen Verbindung **211** vorzugsweise 1:9 bis 9:1.

[0105] Ein konkretes Beispiel, in dem das bei dieser Ausführungsform beschriebene lichtemittierende Element hergestellt wird, wird unten beschrieben.

[0106] Für die erste Elektrode (Anode) **201** und die zweite Elektrode (Kathode) **202** kann ein Metall, eine Legierung, eine elektrisch leitende Verbindung, eine Mischung davon oder dergleichen verwendet werden. Insbesondere kann Indiumoxid-Zinnoxid (Indiumzinnoxid (indium tin .oxide; ITO)), Indiumoxid-Zinnoxid, das Silizium oder Siliziumoxid enthält, Indiumoxid-Zinkoxid (Indiumzinkoxid), Indiumoxid, das Wolframoxid und Zinkoxid enthält, Gold (Au), Platin (Pt), Nickel (Ni), Wolfram (W), Chrom (Cr), Molybdän (Mo), Eisen (Fe), Kobalt (Co), Kupfer (Cu), Palladium (Pd) oder Titan (Ti) verwendet werden. Zusätzlich kann ein Element, das zu Gruppe 1 oder Gruppe 2 des Periodensystems gehört, so beispielsweise ein Alkalimetall wie z. B. Lithium (Li) oder

Cäsium (Cs) oder ein Erdalkalimetall wie z. B. Magnesium (Mg), Calcium (Ca) oder Strontium (Sr), eine Legierung, die ein solches Element enthält (z. B. MgAg oder AlLi), ein Seltenerdmetall wie z. B. Europium (Eu) oder Ytterbium (Yb), eine Legierung, die ein solches Element enthält, Graphen oder dergleichen verwendet werden. Die erste Elektrode (Anode) **201** und die zweite Elektrode (Kathode) **202** können beispielsweise durch ein Sputterverfahren, ein Verdampfungsverfahren (einschließlich eines Vakuumverdampfungsverfahrens) oder dergleichen ausgebildet werden.

[0107] Beispiele für eine Substanz mit einer hohen Lochtransporteigenschaft, die für die Locheinjektionsschicht **204** und die Lochtransportschicht **205** verwendet wird, umfassen aromatische Aminverbindungen wie z. B. 4,4'-Bis[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: NPB oder α-NPD), N,N'-Bis(3-methylphenyl)-N,N'-diphenyl-[1,1'-biphenyl]-4,4'-diamin (Abkürzung: TPD), 4,4',4"-Tris(carbazol-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: TCTA), 4,4',4"-Tris(N,N-diphenylamino)triphenylamin (Abkürzung: TDATA), 4,4',4"-Tris[N-(3-methylphenyl)-N-phenylamino]triphenylamin (Abkürzung: MTDATA) und 4,4'-Bis[N-(spiro-9,9-bifluoren-2-yl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: BSPB), 3-[N-(9-Phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA1), 3,6-Bis[N-(9-phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA2) und 3-[N-(1-Naphthyl)-N-(9-phenylcarbazol-3-yl)amino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCN1). Andere Beispiele umfassen Carbazol-Derivate wie z. B. 4,4'-Di(N-carbazolyl)biphenyl (Abkürzung: CBP), 1,3,5-Tris[4-(N-carbazolyl)phenyl]benzen (Abkürzung: TCPB) und 9-[4-(10-Phenyl-9-anthracyl)phenyl]-9H-carbazol (Abkürzung: CzPA). Die hier angegebenen Substanzen sind hauptsächlich Substanzen, die eine Löcherbeweglichkeit von 10^{-6} cm²/Vs oder mehr aufweisen. Es sei angemerkt, dass außer diesen Substanzen jede Substanz, die eine Eigenschaft zum Transportieren von mehr Löchern als Elektronen aufweist, verwendet werden kann.

[0108] Weitere Beispiele umfassen hochmolekulare Verbindungen wie z. B. Poly(N-vinylcarbazol) (Abkürzung: PVK), Poly(4-vinyltriphenylamin) (Abkürzung: PVTPA), Poly[N-(4-{N'-(4-(4-diphenylamino)phenyl)phenyl}-N'-phenylamino) phenyl)meth acrylamid] (Abkürzung: PTPDMA) und Poly[N,N'-bis(4-butylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidin] (Abkürzung: Poly-TPD).

[0109] Ferner umfassen Beispiele für eine Akzeptorsubstanz, die für die Locheinjektionsschicht **204** verwendet werden kann, Oxide von Übergangsmetallen, Oxide von Metallen, die zu Gruppen 4 bis 8 des Periodensystems gehören, und dergleichen. Konkret gesagt, ist Molybdänoxid besonders bevorzugt.

[0110] Die lichtemittierende Schicht **206** (**206a** und **206b**) ist derart ausgebildet, dass wie oben beschrieben die erste lichtemittierende Schicht **206a** zumindest die erste lichtemittierende Substanz **209a**, die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) **210** und die zweite organische Verbindung (Hilfsmaterial) **211** enthält, und dass die zweite lichtemittierende Schicht **206b** zumindest die zweite lichtemittierende Substanz **209b**, die erste organische Verbindung (Wirtsmaterial) **210** und die dritte organische Verbindung (Hilfsmaterial) **212** enthält.

[0111] Die Elektronentransportschicht **207** ist eine Schicht, die eine Substanz mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft enthält. Es ist möglich, einen Metallkomplex für die Elektronentransportschicht **207** zu verwenden, so beispielsweise Alq₃, Tris(4-methyl-8-quinolinolato)aluminium (Abkürzung: Almq₃), Bis(10-hydroxybenzo[h]quinolinato)beryllium (Abkürzung: BeBq₂), BAIq, Zn(BOX)₂ oder Bis[2-(2-hydroxyphenyl)benzothiazolato]zink (Abkürzung: Zn(BTZ)₂). Alternativ ist es möglich, eine heteroaromatische Verbindung zu verwenden, so beispielsweise 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]benzen (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) oder 4,4'-Bis(5-methylbenzoxazol-2-yl)stilben (Abkürzung: BzOs). Alternativ ist es möglich, eine hochmolekulare Verbindung zu verwenden, so beispielsweise Poly(2,5-pyridinediy) (Abkürzung: PPy), Poly[(9,9-dihexylfluoren-2,7-diyl)-co-(pyridin-3,5-diyl)] (Abkürzung: PF-Py) oder Poly[(9,9-diocetylfluoren-2,7-diyl)-co-(2,2'-bipyridin-6,6-diyl)] (Abkürzung: PF-BPy). Die hier angegebenen Substanzen sind hauptsächlich Substanzen, die eine Elektronenbeweglichkeit von 10^{-6} cm²/Vs oder mehr aufweisen. Es sei angemerkt, dass außer diesen Substanzen jede Substanz, die eine Eigenschaft zum Transportieren von mehr Elektronen als Löchern aufweist, für die Elektronentransportschicht **207** verwendet werden kann.

[0112] Die Elektronentransportschicht **207** ist nicht auf eine einschichtige Schicht beschränkt und kann ein Stapel von zwei oder mehr Schichten sein, die irgendwelche der obigen Substanzen enthalten.

[0113] Die Elektroneninjektionsschicht **208** ist eine Schicht, die eine Substanz mit einer hohen Elektroneninjektionseigenschaft enthält. Beispiele für die Substanz, die für die Elektroneninjektionsschicht **208** verwendet werden kann, umfassen Alkalimetalle, Erdalkalimetalle und Verbindungen davon, wie z. B. Lithiumfluorid (LiF), Cäsiumfluorid (CsF), Calciumfluorid (CaF₂) und Lithiumoxid (LiO_x), und Seltenerdmetallverbindungen wie z. B. Erbiumfluorid (ErF₃). Alternativ können die oben angegebenen Substanzen zum Ausbilden der Elektronentransportschicht **207** verwendet werden.

[0114] Alternativ kann ein Kompositmaterial, in dem eine organische Verbindung und ein Elektronendonator (ein Donator) gemischt sind, für die Elektroneninjektionsschicht **208** verwendet werden. Ein solches Kompositmaterial, in dem durch den Elektronendonator Elektronen in der organischen Verbindung erzeugt werden, weist hohe Elektroneninjektions- und Elektronentransporteigenschaften auf. Hierbei ist die organische Verbindung bevorzugt ein Material, das die erzeugten Elektronen sehr gut transportieren kann, und insbesondere kann eine der obigen Substanzen (wie z. B. Metallkomplexe und heteroaromatische Verbindungen) für die Elektronentransportschicht **207** verwendet werden. Als der Elektronendonator kann eine Substanz verwendet werden, die eine Elektronen-abgebende Eigenschaft hinsichtlich der organischen Verbindung zeigt. Im Besonderen sind Alkalimetalle, Erdalkalimetalle und Seltenerdmetalle bevorzugt, und Lithium, Cäsium, Magnesium, Calcium, Erbium, Ytterbium und dergleichen können angegeben werden. Bevorzugt ist eines von Alkalimetalloxiden und Erdalkalimetalloxiden, und Beispiele dafür sind Lithiumoxid, Calciumoxid, Bariumoxid und dergleichen. Eine Lewis-Base wie z. B. Magnesiumoxid oder eine organische Verbindung wie z. B. Tetrathiafulvalen (Abkürzung: TTF) kann verwendet werden.

[0115] Es sei angemerkt, dass die Lochinjektionsschicht **204**, die Lochtransportschicht **205**, die lichtemittierende Schicht **206** (**206a** und **206b**), die Elektronentransportschicht **207** und die Elektroneninjektionsschicht **208**, die oben beschrieben werden, jeweils durch ein Verfahren wie z. B. ein Verdampfungsverfahren (einschließlich eines Vakuumverdampfungsverfahrens), ein Tintenstrahlverfahren oder ein Beschichtungsverfahren ausgebildet werden können.

[0116] Lichtemission, die in der lichtemittierenden Schicht **206** des oben beschriebenen lichtemittierenden Elements erhalten wird, wird durch die erste Elektrode **201** und/oder die zweite Elektrode **202** nach außen entnommen. Deshalb sind/ist die erste Elektrode **201** und/oder die zweite Elektrode **202** bei dieser Ausführungsform eine Elektrode mit einer Lichtdurchlässigkeit.

[0117] Bei dem bei dieser Ausführungsform beschriebenen lichtemittierenden Element kann die Energieübertragungseffizienz dank Energieübertragung, die eine Überlappung zwischen einem Emissionsspektrum eines Exciplexes und einem Absorptionsspektrum einer lichtemittierenden Substanz (Gastmaterial) nutzt, die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, verbessert werden. Folglich kann das lichtemittierende Element hohe externe Quantenausbeute erzielen.

[0118] Es sei angemerkt, dass das bei dieser Ausführungsform beschriebene lichtemittierende Element eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist und besonders durch die Struktur der lichtemittierenden Schicht gekennzeichnet ist. Daher können dann, wenn die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur verwendet wird, eine lichtemittierende Passivmatrixvorrichtung, eine lichtemittierende Aktivmatrixvorrichtung und dergleichen hergestellt werden. Jede dieser lichtemittierenden Vorrichtungen ist in der vorliegenden Erfindung enthalten.

[0119] Es sei angemerkt, dass es in dem Fall der Herstellung der lichtemittierenden Aktivmatrixvorrichtung keine besondere Einschränkung der Struktur eines TFT gibt. Zum Beispiel kann ein abgestufter TFT oder ein invertiert abgestufter TFT nach Bedarf verwendet werden. Zusätzlich kann eine Treiberschaltung, die über einem TFT-Substrat ausgebildet ist, unter Verwendung sowohl eines N-Typ-TFT als auch eines P-Typ-TFT oder entweder eines N-Typ-TFT oder eines P-Typ-TFT ausgebildet sein. Außerdem gibt es auch keine besondere Einschränkung der Kristallinität eines Halbleiterfilms, der für den TFT verwendet wird. Beispielsweise kann ein amorpher Halbleiterfilm, ein kristalliner Halbleiterfilm, ein Oxidhalbleiterfilm oder dergleichen verwendet werden.

[0120] Es sei angemerkt, dass die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur soweit angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden kann.

[0121] Bei dieser Ausführungsform wird als eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein lichtemittierendes Element (nachstehend als lichtemittierendes Tandemelement bezeichnet) beschrieben, bei dem eine Ladungserzeugungsschicht zwischen einer Vielzahl von EL-Schichten bereitgestellt ist.

[0122] Das lichtemittierende Element, das bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, ist ein lichtemittierendes Tandemelement, das eine Vielzahl von EL-Schichten (eine erste EL-Schicht **302(1)** und eine zweite EL-Schicht **302(2)**) zwischen einem Paar von Elektroden (einer ersten Elektrode **301** und einer zweiten Elektrode **304**) beinhaltet, wie in **Fig. 6A** gezeigt ist.

[0123] Bei dieser Ausführungsform dient die erste Elektrode **301** als Anode, und die zweite Elektrode **304** dient als Kathode. Es sei angemerkt, dass die erste Elektrode **301** und die zweite Elektrode **304** Strukturen haben können, die den bei der Ausführungsform 1 beschriebenen Strukturen ähnlich sind. Zusätzlich können alle oder irgendwelche der Vielzahl von EL-Schichten (der ersten EL-Schicht **302(1)** und der zweiten EL-Schicht **302(2)**) Strukturen haben, die den bei der Ausführungsform 1 oder 2 beschriebenen Strukturen ähnlich sind. Mit anderen Worten: die Strukturen der ersten EL-Schicht **302(1)** und der zweiten EL-Schicht **302(2)** können gleich oder voneinander unterschiedlich sein und können denen der bei der Ausführungsform 1 oder 2 beschriebenen EL-Schichten ähnlich sein.

[0124] Des Weiteren ist eine Ladungserzeugungsschicht (I) **305** zwischen der Vielzahl von EL-Schichten (der ersten EL-Schicht **302(1)** und der zweiten EL-Schicht **302(2)**) bereitgestellt. Die Ladungserzeugungsschicht (I) **305** hat eine Funktion zum Injizieren von Elektronen in eine der EL-Schichten und Injizieren von Löchern in die andere der EL-Schichten, wenn eine Spannung zwischen der ersten Elektrode **301** und der zweiten Elektrode **304** angelegt wird. Wenn eine Spannung derart angelegt wird, dass das Potential der ersten Elektrode **301** höher als das der zweiten Elektrode **304** ist, injiziert bei dieser Ausführungsform die Ladungserzeugungsschicht (I) **305** Elektronen in die erste EL-Schicht **302(1)** und injiziert Löcher in die zweite EL-Schicht **302(2)**.

[0125] Es sei angemerkt, dass hinsichtlich der Lichtextraktionseffizienz die Ladungserzeugungsschicht (I) **305** vorzugsweise eine Durchlässigkeit von sichtbarem Licht aufweist (konkret gesagt: die Ladungserzeugungsschicht (I) **305** weist vorzugsweise einen Durchlässigkeitsgrad von sichtbarem Licht von 40 % oder mehr auf). Des Weiteren fungiert die Ladungserzeugungsschicht (I) **305** selbst dann, wenn sie niedrigere Leitfähigkeit als die erste Elektrode **301** oder die zweite Elektrode **304** aufweist.

[0126] Die Ladungserzeugungsschicht (I) **305** kann eine Struktur, bei der ein Elektronenakzeptor (Akzeptor) einer organischen Verbindung mit einer hohen Lochtransporteigenschaft zugesetzt ist, oder eine Struktur, bei der ein Elektronendonator (Donator) einer organischen Verbindung mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft zugesetzt ist, haben. Alternativ können beide dieser Strukturen gestapelt sein.

[0127] In dem Fall, in dem der Elektronenakzeptor der organischen Verbindung mit einer hohen Lochtransporteigenschaft zugesetzt ist, umfassen Beispiele für die organische Verbindung mit einer hohen Lochtransporteigenschaft aromatische Aminverbindungen wie z. B. NPB, TPD, TDATA, MTDATA und 4,4'-Bis[N-(spiro-9,9'-bifluoren-2-yl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: BSPB), und dergleichen. Die hier angegebenen Substanzen sind hauptsächlich Substanzen, die eine Löcherbeweglichkeit von $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ oder mehr aufweisen. Es sei angemerkt, dass außer diesen Substanzen jede organische Verbindung, die eine Eigenschaft zum Transportieren von mehr Löchern als Elektronen aufweist, verwendet werden kann.

[0128] Beispiele für den Elektronenakzeptor umfassen 7,7,8,8-Tetracyano-2,3,5,6-tetrafluoroquinodimethan (Abkürzung: F₄-TCNQ), Chloranil, Oxide von Übergangsmetallen und Oxide von Metallen, die zu Gruppen 4 bis 8 des Periodensystems gehören. Insbesondere sind Vanadiumoxid, Nioboxid, Tantaloxid, Chromoxid, Molybdänoxid, Wolframoxid, Manganoxid und Rheniumoxid infolge ihrer hohen Eigenschaft zur Aufnahme von Elektronen bevorzugt. Unter diesen ist Molybdänoxid besonders bevorzugt, weil es in der Luft stabil ist, eine niedrige hygroskopische Eigenschaft aufweist, und leicht zu behandeln ist.

[0129] Andererseits sind in dem Fall, in dem der Elektronendonator der organischen Verbindung mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft zugesetzt ist, Beispiele für die verwendbare organische Verbindung mit einer hohen Elektronentransporteigenschaft Metallkomplexe mit einem Quinolingerüst oder einem Benzoquinolingerüst, wie z. B. Alq, Almq₃, BeBq₂ und BAIq, und dergleichen. Andere Beispiele sind Metallkomplexe mit einem Ligand auf Oxazol-Basis oder Thiazol-Basis, wie z. B. Zn(BOX)₂ und Zn(BTZ)₂. Abgesehen von Metallkomplexen kann PBD, OXD-7, TAZ, BPhen, BCP oder dergleichen verwendet werden. Die hier angegebenen

Substanzen sind hauptsächlich Substanzen, die eine Elektronenbeweglichkeit von $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ oder mehr aufweisen. Es sei angemerkt, dass außer diesen Substanzen jede organische Verbindung, die eine Eigenschaft zum Transportieren von mehr Elektronen als Löchern aufweist, verwendet werden kann.

[0130] Beispiele für den verwendbaren Elektronendonator sind Alkalimetalle, Erdalkalimetalle, Seltenerdmetalle, Metalle, die zu Gruppe 13 des Periodensystems gehören, und Oxide oder Carbonate davon. Insbesondere sind Lithium (Li), Cäsium (Cs), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Ytterbium (Yb), Indium (In), Lithiumoxid, Cäsiumcarbonat und dergleichen bevorzugt. Eine organische Verbindung wie z. B. Tetrathianaphthacen kann als der Elektronendonator verwendet werden.

[0131] Es sei angemerkt, dass das Ausbilden der Ladungserzeugungsschicht (I) **305** unter Verwendung eines der obigen Materialien einen Anstieg der Betriebsspannung, der durch den Stapel der EL-Schichten verursacht wird, unterbinden kann.

[0132] Obwohl diese Ausführungsform das lichtemittierende Element mit zwei EL-Schichten zeigt, kann die vorliegende Erfindung ähnlicherweise auf ein lichtemittierendes Element angewendet werden, bei dem n EL-Schichten (wobei n 3 oder mehr ist) wie in **Fig. 6B** gestapelt sind. In dem Fall, in dem eine Vielzahl von EL-Schichten zwischen einem Paar von Elektroden wie bei dem lichtemittierenden Element nach dieser Ausführungsform enthalten ist, kann durch Bereitstellen der Ladungserzeugungsschichten (I) zwischen den EL-Schichten Lichtemission in einem hohen Leuchtdichtebereich erhalten werden, wobei eine niedrige Stromdichte gehalten wird. Da eine niedrige Stromdichte gehalten werden kann, kann das Element eine lange Lebensdauer aufweisen. Wenn das lichtemittierende Element als Beleuchtung eingesetzt wird, kann Spannungsabfall wegen eines Widerstands eines Elektrodenmaterials verringert werden, was gleichmäßige Lichtemission in einer großen Fläche ergibt. Außerdem ist es möglich, eine lichtemittierende Vorrichtung zu erhalten, die bei einer niedrigen Spannung betrieben werden kann und niedrigen Leistungsverbrauch aufweist.

[0133] Zudem kann dann, wenn die Emissionsfarben der EL-Schichten unterschiedlich sind, Licht mit einer gewünschten Farbe von dem lichtemittierenden Element als ganzes erhalten werden. Beispielsweise sind die Emissionsfarben einer ersten und einer zweiten EL-Schichten bei einem lichtemittierenden Element mit zwei EL-Schichten komplementär, so dass das lichtemittierende Element als ganzes weißes Licht emittieren kann. Es sei angemerkt, dass der Ausdruck „komplementär“ eine Farbbeziehung bedeutet, in der eine achromatische Farbe erhalten wird, wenn Farben gemischt werden. Das heißt, dass Emission von weißem Licht erhalten werden kann, wenn Licht gemischt wird, das von Substanzen emittiert wird, deren Emissionsfarben Komplementärfarben sind.

[0134] Ferner gilt das Gleiche für ein lichtemittierendes Element mit drei EL-Schichten. Das lichtemittierende Element kann als ganzes weißes Licht emittieren, wenn beispielsweise die Emissionsfarbe der ersten EL-Schicht Rot ist, die Emissionsfarbe der zweiten EL-Schicht Grün ist, und die Emissionsfarbe der dritten EL-Schicht Blau ist.

[0135] Es sei angemerkt, dass die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur soweit angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden kann.

(Ausführungsform 4)

[0136] Bei dieser Ausführungsform wird eine lichtemittierende Vorrichtung beschrieben, die eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

[0137] Eine lichtemittierende Vorrichtung, die bei dieser Ausführungsform beschrieben wird, hat eine optische Mikroresonator- (Mikrokavität-) Struktur, bei der ein Licht-Resonanzeffekt zwischen einem Paar von Elektroden genutzt wird. Die lichtemittierende Vorrichtung beinhaltet eine Vielzahl von lichtemittierenden Elementen, die jeweils zumindest eine EL-Schicht **405** zwischen einem Paar von Elektroden (einer reflektierenden Elektrode **401** und einer halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402**) haben, wie in **Fig. 7** gezeigt ist. Des Weiteren beinhaltet die EL-Schicht **405** zumindest lichtemittierende Schichten **404** (**404R**, **404G** und **404B**), die jeweils als lichtemittierender Bereich dienen, und kann ferner eine Lochinjektionsschicht, eine Locheintrittsschicht, eine Elektronentransportschicht, eine Elektroneninjektionsschicht, eine Ladungserzeugungsschicht (E) und dergleichen beinhalten. Es sei angemerkt, dass die lichtemittierenden Schichten **404** (**404R**, **404G** und **404B**) die Struktur der lichtemittierenden Schicht nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung haben, die bei der Ausführungsform 1 oder 2 beschrieben wird.

[0138] Bei dieser Ausführungsform wird eine lichtemittierende Vorrichtung beschrieben, die lichtemittierende Elemente (ein erstes lichtemittierendes Element (R) **410R**, ein zweites lichtemittierendes Element (G) **410G** und ein drittes lichtemittierendes Element (B) **410B**) mit unterschiedlichen Strukturen wie in **Fig. 7** beinhaltet.

[0139] Das erste lichtemittierende Element (R) **410R** hat eine Struktur, bei der eine erste durchsichtige leitende Schicht **403a**; eine EL-Schicht **405**, die eine erste lichtemittierende Schicht (B) **404B**, eine zweite lichtemittierende Schicht (G) **404G** und eine dritte lichtemittierende Schicht (R) **404R** als Teile beinhaltet; und eine halbdurchsichtige und halbreflektierende Elektrode **402** sequenziell über einer reflektierenden Elektrode **401** gestapelt sind. Das zweite lichtemittierende Element (G) **410G** hat eine Struktur, bei der eine zweite durchsichtige leitende Schicht **403b**, die EL-Schicht **405** und die halbdurchsichtige und halbreflektierende Elektrode **402** sequenziell über der reflektierenden Elektrode **401** gestapelt sind. Das dritte lichtemittierende Element (B) **410B** hat eine Struktur, bei der die EL-Schicht **405** und die halbdurchsichtige und halbreflektierende Elektrode **402** sequenziell über der reflektierenden Elektrode **401** gestapelt sind.

[0140] Es sei angemerkt, dass die reflektierende Elektrode **401**, die EL-Schicht **405** und die halbdurchsichtige und halbreflektierende Elektrode **402** den lichtemittierenden Elementen gemeinsam sind (dem ersten lichtemittierenden Element (R) **410R**, dem zweiten lichtemittierenden Element (G) **410G** und dem dritten lichtemittierenden Element (B) **410B**). Die erste lichtemittierende Schicht (B) **404B** emittiert Licht (λ_B) mit einer Spitze in einem Wellenlängenbereich von 420 nm bis 480 nm. Die zweite lichtemittierende Schicht (G) **404G** emittiert Licht (λ_G) mit einer Spitze in einem Wellenlängenbereich von 500 nm bis 550 nm. Die dritte lichtemittierende Schicht (R) **404R** emittiert Licht (λ_R) mit einer Spitze in einem Wellenlängenbereich von 600 nm bis 760 nm. Bei jedem der lichtemittierenden Elementen (des ersten lichtemittierenden Elements (R) **410R**, des zweiten lichtemittierenden Elements (G) **410G** und des dritten lichtemittierenden Elements (B) **410B**) überlappt daher Licht, das von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** emittiert wird, Licht, das von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** emittiert wird, und Licht, das von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** emittiert wird, miteinander. Dementsprechend kann Licht mit einem breiten Emissionsspektrum emittiert werden, das einen sichtbaren Lichtbereich umfasst. Es sei angemerkt, dass die obigen Wellenlängen die Beziehung von $\lambda_B < \lambda_G < \lambda_R$ erfüllen.

[0141] Jedes der bei dieser Ausführungsform beschriebenen lichtemittierenden Elemente hat eine Struktur, bei der die EL-Schicht **405** zwischen der reflektierenden Elektrode **401** und der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** bereitgestellt ist. Licht, das von den lichtemittierenden Schichten in der EL-Schicht **405** in allen Richtungen emittiert wird, gerät mit der reflektierenden Elektrode **401** und der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402**, welche als optischer Mikroresonator (Mikrokavität) dienen, in Resonanz: Es sei angemerkt, dass die reflektierende Elektrode **401** unter Verwendung eines leitenden Materials mit Reflektionsvermögen ausgebildet ist, und ein Film verwendet wird, dessen Reflektionsvermögen für sichtbares Licht 40 % bis 100 %, bevorzugt 70 % bis 100 % ist und dessen spezifischer Widerstand 1×10^{-2} Qcm oder niedriger ist. Zusätzlich ist die halbdurchsichtige und halbreflektierende Elektrode **402** unter Verwendung eines leitenden Materials mit Reflektionsvermögen und eines leitenden Materials mit einer Lichtdurchlässigkeit ausgebildet, und ein Film wird verwendet, dessen Reflektionsvermögen für sichtbares Licht 20 % bis 80 %, bevorzugt 40 % bis 70 % ist und dessen spezifischer Widerstand 1×10^{-2} Qcm oder niedriger ist.

[0142] Bei dieser Ausführungsform unterscheiden sich die Dicken der durchsichtigen leitenden Schichten (der ersten durchsichtigen leitenden Schicht **403a** und der zweiten durchsichtigen leitenden Schicht **403b**), die in dem ersten lichtemittierenden Element (R) **410R** beziehungsweise dem zweiten lichtemittierenden Element (G) **410G** bereitgestellt sind, zwischen den lichtemittierenden Elementen, so dass sich die lichtemittierenden Elemente in der optischen Weglänge von der reflektierenden Elektrode **401** zu der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** voneinander unterscheiden. Mit anderen Worten: in Licht mit einem breiten Emissionsspektrum, das von den lichtemittierenden Schichten jedes der lichtemittierenden Elemente emittiert wird, kann Licht mit einer Wellenlänge, die zwischen der reflektierenden Elektrode **401** und der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** in Resonanz gerät, verstärkt werden, während Licht mit einer Wellenlänge, die dazwischen nicht in Resonanz gerät, abgeschwächt werden kann. Deswegen kann dann, wenn sich die Elemente in der optischen Weglänge von der reflektierenden Elektrode **401** zu der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** voneinander unterscheiden, Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen entnommen werden.

[0143] Es sei angemerkt, dass die optische Weglänge (auch als optische Distanz bezeichnet) als ein Produkt einer tatsächlichen Distanz und eines Brechungsindexes dargestellt wird und bei dieser Ausführungsform ein Produkt einer tatsächlichen Dicke und n (Brechungsindex) ist. Das heißt: eine optische Weglänge = tatsächliche Dicke \times n.

[0144] Des Weiteren ist die Gesamtdicke von der reflektierenden Elektrode **401** zu der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** auf $m\lambda_R/2$ (m ist eine natürliche Zahl) bei dem ersten lichtemittierenden Element (R) **410R** eingestellt. Die Gesamtdicke von der reflektierenden Elektrode **401** zu der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** ist auf $m\lambda_G/2$ (m ist eine natürliche Zahl) bei dem zweiten lichtemittierenden Element (G) **410G** eingestellt. Die Gesamtdicke von der reflektierenden Elektrode **401** zu der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** ist auf $m\lambda_B/2$ (m ist eine natürliche Zahl) bei dem dritten lichtemittierenden Element (B) **410B** eingestellt.

[0145] Auf diese Weise wird das Licht (λ_R), das von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** in der EL-Schicht **405** emittiert wird, hauptsächlich aus dem ersten lichtemittierenden Element (R) **410R** entnommen, das Licht (λ_G), das von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** in der EL-Schicht **405** emittiert wird, wird hauptsächlich aus dem zweiten lichtemittierenden Element (G) **410G** entnommen, und das Licht (λ_B), das von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** in der EL-Schicht **405** emittiert wird, wird hauptsächlich aus dem dritten lichtemittierenden Element (B) **410B** entnommen. Es sei angemerkt, dass das Licht, das aus jedem der lichtemittierenden Elementen entnommen wird, von der Seite der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** emittiert wird.

[0146] Zudem kann, streng genommen, die Gesamtdicke von der reflektierenden Elektrode **401** zu der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** die Gesamtdicke von einem Reflektionsbereich in der reflektierenden Elektrode **401** zu einem Reflektionsbereich in der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** sein. Es ist jedoch schwierig, genaue Positionen der Reflektionsbereiche in der reflektierenden Elektrode **401** und der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** zu bestimmen. Deshalb wird angenommen, dass die obige Wirkung ausreichend erhalten werden kann, wo immer die Reflektionsbereiche in der reflektierenden Elektrode **401** und der halbdurchsichtigen und halbreflektierenden Elektrode **402** liegen.

[0147] Des Weiteren ist bei dem ersten lichtemittierenden Element (R) **410R** die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode **401** zu der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** auf eine gewünschte Dicke $((2m'+1)\lambda_R/4$, wobei m' eine natürliche Zahl ist) eingestellt. Somit kann Licht, das von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** emittiert wird, verstärkt werden. Licht (erstes reflektiertes Licht), das von der reflektierenden Elektrode **401** reflektiert wird aus dem von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** emittierten Licht interferiert mit Licht (erstem einfallendem Licht), das direkt in die halbdurchsichtige und halbreflektierende Elektrode **402** von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** eintritt. Deswegen können durch die Einstellung der optischen Weglänge von der reflektierenden Elektrode **401** zu der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** auf den gewünschten Wert $((2m'+1)\lambda_R/4$, wobei m' eine natürliche Zahl ist) die Phasen des ersten reflektierten Lichts und des ersten einfallenden Lichts aufeinander angepasst werden, und das von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** emittierte Licht kann verstärkt werden.

[0148] Es sei angemerkt, dass, streng genommen, die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode **401** zu der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** die optische Weglänge von einem Reflektionsbereich in der reflektierenden Elektrode **401** zu einem lichtemittierenden Bereich in der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** sein kann. Es ist jedoch schwierig, genaue Positionen des Reflektionsbereichs in der reflektierenden Elektrode **401** und des lichtemittierenden Bereichs in der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** zu bestimmen. Deshalb wird angenommen, dass die obige Wirkung ausreichend erhalten werden kann, wo immer der Reflektionsbereich und der lichtemittierende Bereich in der reflektierenden Elektrode **401** beziehungsweise der dritten lichtemittierenden Schicht (R) **404R** liegen.

[0149] Des Weiteren ist bei dem zweiten lichtemittierenden Element (G) **410G** die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode **401** zu der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** auf eine gewünschte Dicke $((2m"+1)\lambda_G/4$, wobei m" eine natürliche Zahl ist) eingestellt. Somit kann Licht, das von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** emittiert wird, verstärkt werden. Licht (zweites reflektiertes Licht), das von der reflektierenden Elektrode **401** reflektiert wird aus dem von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** emittierten Licht interferiert mit Licht (zweitem einfallendem Licht), das direkt in die halbdurchsichtige und halbreflektierende Elektrode **402** von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** eintritt. Deswegen können durch die Einstellung der optischen Weglänge von der reflektierenden Elektrode **401** zu der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** auf den gewünschten Wert $((2m"+1)\lambda_G/4$, wobei m" eine natürliche Zahl ist) die Phasen des zweiten reflektierten Lichts und des zweiten einfallenden Lichts aufeinander angepasst werden, und das von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** emittierte Licht kann verstärkt werden.

[0150] Es sei angemerkt, dass, streng genommen, die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode **401** zu der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** die optische Weglänge von einem Reflektionsbereich in

der reflektierenden Elektrode **401** zu einem lichtemittierenden Bereich in der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** sein kann. Es ist jedoch schwierig, genaue Positionen des Reflektionsbereichs in der reflektierenden Elektrode **401** und des lichtemittierenden Bereichs in der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** zu bestimmen. Deshalb wird angenommen, dass die obige Wirkung ausreichend erhalten werden kann, wo immer der Reflektionsbereich und der lichtemittierende Bereich in der reflektierenden Elektrode **401** beziehungsweise der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) **404G** liegen.

[0151] Des Weiteren ist bei dem dritten lichtemittierenden Element (B) **410B** die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode **401** zu der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** auf eine gewünschte Dicke ($(2m''+1)\lambda_B/4$, wobei m'' eine natürliche Zahl ist) eingestellt. Somit kann Licht, das von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** emittiert wird, verstärkt werden. Licht (drittes reflektiertes Licht), das von der reflektierenden Elektrode **401** reflektiert wird aus dem von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** emittierten Licht interferiert mit Licht (drittem einfallendem Licht), das direkt in die halbdurchsichtige und halbreflektierende Elektrode **402** von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** eintritt. Deswegen können durch die Einstellung der optischen Weglänge von der reflektierenden Elektrode **401** zu der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** auf den gewünschten Wert ($(2m''+1)\lambda_B/4$, wobei m'' eine natürliche Zahl ist) die Phasen des dritten reflektierten Lichts und des dritten einfallenden Lichts aufeinander angepasst werden, und das von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** emittierte Licht kann verstärkt werden.

[0152] Es sei angemerkt, dass, streng genommen, die optische Weglänge von der reflektierenden Elektrode **401** zu der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** bei dem dritten lichtemittierenden Element die optische Weglänge von einem Reflektionsbereich in der reflektierenden Elektrode **401** zu einem lichtemittierenden Bereich in der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** sein kann. Es ist jedoch schwierig, genaue Positionen des Reflektionsbereichs in der reflektierenden Elektrode **401** und des lichtemittierenden Bereichs in der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** zu bestimmen. Deshalb wird angenommen, dass die obige Wirkung ausreichend erhalten werden kann, wo immer der Reflektionsbereich und der lichtemittierende Bereich in der reflektierenden Elektrode **401** beziehungsweise der ersten lichtemittierenden Schicht (B) **404B** liegen.

[0153] Es sei angemerkt, dass zwar jedes der lichtemittierenden Elemente bei der oben beschriebenen Struktur eine Vielzahl von lichtemittierenden Schichten in der EL-Schicht beinhaltet, aber die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt ist. Zum Beispiel kann die Struktur des lichtemittierenden Tandemelements, das bei der Ausführungsform 3 beschrieben wird, kombiniert werden, in welchem Falle eine Vielzahl von EL-Schichten und eine dazwischen liegende Ladungserzeugungsschicht in einem lichtemittierenden Element bereitgestellt werden, und eine oder mehrere lichtemittierende Schichten in jeder der EL-Schichten ausgebildet sind.

[0154] Die bei dieser Ausführungsform beschriebene lichtemittierende Vorrichtung hat eine Mikrokavität-Struktur, bei der Licht mit Wellenlängen, die abhängig von den lichtemittierenden Elementen unterschiedlich sind, entnommen werden kann, obwohl sie die gleiche EL-Schicht beinhalten. Damit ist es unnötig, lichtemittierende Elemente für Farben von R, G und B herzustellen. Die obige Struktur ist deshalb vorteilhaft für eine Farbanzeige infolge der Leichtigkeit, mit der man eine Anzeige mit höherer Auflösung oder dergleichen erhalten kann. Es sei angemerkt, dass auch eine Kombination mit Farbschichten (Farbfiltern) möglich ist. Zusätzlich kann die Intensität einer Emission mit einer vorbestimmten Wellenlänge in der Richtung nach vorne vergrößert werden, wodurch der Leistungsverbrauch verringert werden kann. Die obige Struktur ist nützlich besonders in dem Fall, in dem sie auf eine Farbanzeige (Bildanzeigevorrichtung), die Pixel von drei oder mehr Farben beinhaltet, angewendet wird, aber sie kann auch auf Beleuchtung oder dergleichen angewendet werden.

(Ausführungsform 5)

[0155] Bei dieser Ausführungsform wird eine lichtemittierende Vorrichtung beschrieben, die ein lichtemittierendes Element beinhaltet, das eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

[0156] Die lichtemittierende Vorrichtung kann eine lichtemittierende Passivmatrixvorrichtung oder eine lichtemittierende Aktivmatrixvorrichtung sein. Es sei angemerkt, dass eines der lichtemittierenden Elemente, die bei den anderen Ausführungsformen beschrieben werden, in der lichtemittierenden Vorrichtung angewendet werden kann, die bei dieser Ausführungsform beschrieben wird.

[0157] Bei dieser Ausführungsform wird eine lichtemittierende Aktivmatrixvorrichtung anhand von **Fig. 8A** und **Fig. 8B** beschrieben.

[0158] Es sei angemerkt, dass **Fig. 8A** eine Draufsicht ist, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, und **Fig. 8B** eine Querschnittsansicht entlang der Strichpunktlinie A-A' in **Fig. 8A** ist. Die lichtemittierende Aktivmatrixvorrichtung nach dieser Ausführungsform beinhaltet einen Pixelabschnitt **502** über einem Elementsubstrat **501**, einen Treiberschaltungsabschnitt (eine Sourceleitungs-Treiberschaltung) **503** und Treiberschaltungsabschnitte (Gateleitungs-Treiberschaltungen) **504** (**504a** und **504b**). Der Pixelabschnitt **502**, der Treiberschaltungsabschnitt **503** und die Treiberschaltungsabschnitte **504** sind zwischen dem Elementsubstrat **501** und einem Dichtungssubstrat **506** mittels eines Dichtungsmittels **505** abgeschlossen.

[0159] Zusätzlich ist eine Anschlussleitung **507** über dem Elementsubstrat **501** bereitgestellt. Die Anschlussleitung **507** ist bereitgestellt, um einen externen Eingangsanschluss zu verbinden, über den ein Signal (z. B. ein Bildsignal, ein Taktsignal, ein Startsignal oder ein Resetsignal) oder ein Potential von außen dem Treiberschaltungsabschnitt **503** und den Treiberschaltungsabschnitten **504** gesendet wird. Hierbei ist ein Beispiel gezeigt, in dem eine flexible gedruckte Schaltung (flexible printed circuit; FPC) **508** als der externe Eingangsanschluss bereitgestellt ist. Nur die FPC ist zwar gezeigt, aber diese FPC kann mit einer gedruckten Leiterplatte (printed wiring board; PWB) versehen sein. Die lichtemittierende Vorrichtung in dieser Beschreibung umfasst in ihrer Kategorie nicht nur die lichtemittierende Vorrichtung selbst, sondern auch die lichtemittierende Vorrichtung, die mit der FPC oder der PWB versehen ist.

[0160] Als nächstes wird eine Querschnittsstruktur anhand von **Fig. 8B** beschrieben. Die Treiberschaltungsabschnitte und der Pixelabschnitt sind über dem Elementsubstrat **501** ausgebildet. Gezeigt sind hier der Treiberschaltungsabschnitt **503**, der die Sourceleitungs-Treiberschaltung ist, und der Pixelabschnitt **502**.

[0161] Der Treiberschaltungsabschnitt **503** ist ein Beispiel, in dem eine CMOS-Schaltung gebildet ist, die eine Kombination eines N-Kanal-TFT **509** und eines P-Kanal-TFT **510** ist. Es sei angemerkt, dass eine in dem Treiberschaltungsabschnitt beinhaltete Schaltung unter Verwendung einer von verschiedenen Schaltungen, wie z. B. einer CMOS-Schaltung, einer PMOS-Schaltung oder einer NMOS-Schaltung, gebildet sein kann. Bei dieser Ausführungsform wird ein Treiber-integrierter Typ beschrieben, in dem eine Treiberschaltung über dem Substrat gebildet ist; die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf diesen Typ beschränkt, und die Treiberschaltung kann auch außerhalb des Substrats gebildet sein.

[0162] Der Pixelabschnitt **502** beinhaltet eine Vielzahl von Pixeln, die jeweils einen TFT **511** zum Schalten, einen TFT **512** zur Stromsteuerung und eine erste Elektrode (Anode) **513**, die elektrisch mit einer Leitung (einer Source-Elektrode oder einer Drain-Elektrode) des TFT **512** zur Stromsteuerung verbunden ist, beinhalten. Es sei angemerkt, dass ein Isolator **514** ausgebildet ist, um Endbereiche der ersten Elektrode (Anode) **513** zu bedecken. Bei dieser Ausführungsform ist der Isolator **514** unter Verwendung eines positiven lichtempfindlichen Acrylharzes ausgebildet.

[0163] Der Isolator **514** weist vorzugsweise eine gekrümmte Oberfläche mit einer Krümmung in deren oberem Endbereich oder deren unterem Endbereich auf, um gute Bedeckung mit einem Film zu erhalten, der über dem Isolator **514** nachfolgend gestapelt wird. Im Fall der Verwendung eines positiven lichtempfindlichen Acrylharzes als ein Material für den Isolator **514**, weist beispielsweise der Isolator **514** vorzugsweise eine gekrümmte Oberfläche mit einem Krümmungsradius (0,2 µm bis 3 µm) im oberen Endbereich auf. Der Isolator **514** kann unter Verwendung eines negativen lichtempfindlichen Harzes oder eines positiven lichtempfindlichen Harzes ausgebildet sein. Es ist möglich, ohne Beschränkung auf eine organische Verbindung, entweder eine organische Verbindung oder eine anorganische Verbindung, wie z. B. Siliziumoxid oder Siliziumoxinitrid, zu verwenden.

[0164] Ein EL-Schicht **515** und eine zweite Elektrode (Kathode) **516** sind über der ersten Elektrode (Anode) **513** gestapelt. In der EL-Schicht **515** ist zumindest eine lichtemittierende Schicht bereitgestellt. Die lichtemittierende Schicht hat eine gestapelte Struktur wie bei der Ausführungsform 1 beschrieben. In der EL-Schicht **515** können auch eine Lochinjektionsschicht, eine Lochtransportschicht, eine Elektronentransportschicht, eine Elektroneninjektionsschicht, eine Ladungserzeugungsschicht und dergleichen nach Bedarf zusätzlich zu der lichtemittierenden Schicht bereitgestellt sein.

[0165] Die Schicht-Stapel-Struktur, die die erste Elektrode (Anode) **513**, die EL-Schicht **515** und die zweite Elektrode (Kathode) **516** beinhaltet, bildet ein lichtemittierendes Element **517**. Für die erste Elektrode (Anode) **513**, die EL-Schicht **515** und die zweite Elektrode (Kathode) **516** können die Materialien verwendet werden, die bei der Ausführungsform 2 beschrieben werden. Obwohl es nicht dargestellt ist, ist die zweite Elektrode (Kathode) **516** elektrisch mit der FPC **508** verbunden, die ein externer Eingangsanschluss ist.

[0166] Die Querschnittsansicht in **Fig. 8B** zeigt zwar nur ein lichtemittierendes Element **517**, aber in dem Pixelabschnitt **502** ist eine Vielzahl von lichtemittierenden Elementen in einer Matrix angeordnet. Lichtemittierende Elemente, die drei Arten von Lichtemission (R, G und B) zeigen, sind selektiv in dem Pixelabschnitt **502** ausgebildet, wodurch eine lichtemittierende Vorrichtung, die zur Farbeanzeige geeignet ist, hergestellt werden kann. Alternativ kann eine lichtemittierende Vorrichtung, die zur Farbanzeige geeignet ist, durch eine Kombination mit Farbschichten (Farbfiltern) hergestellt werden.

[0167] Des Weiteren ist das Dichtungssubstrat **506** an dem Elementsubstrat **501** durch das Dichtungsmittel **505** angebracht, wodurch sich das lichtemittierende Element **517** in einem Raum **518** befindet, der von dem Elementsubstrat **501**, dem Dichtungssubstrat **506** und dem Dichtungsmittel **505** umgeben ist. Der Raum **518** kann mit einem Inertgas (wie z. B. Stickstoff oder Argon) oder dem Dichtungsmittel **505** gefüllt sein.

[0168] Ein Harz auf Epoxid-Basis, niedrigschmelzendes Glas oder dergleichen wird vorzugsweise für das Dichtungsmittel **505** verwendet. Es ist bevorzugt, dass ein solches Material möglichst wenig Feuchtigkeit oder möglichst wenig Sauerstoff durchlässt. Als das Dichtungssubstrat **506** kann ein Glassubstrat, ein Quarzsubstrat oder ein Kunststoffsubstrat, das aus faserverstärktem Kunststoff (fiberglass reinforced plastic; FRP), Poly(vinylfluorid) (PVF), Polyester, Acryl oder dergleichen ausgebildet ist, verwendet werden.

[0169] Auf die oben beschriebene Weise kann eine lichtemittierende Aktivmatrixvorrichtung erhalten werden.

[0170] Es sei angemerkt, dass die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur soweit angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden kann.

(Ausführungsform 6)

[0171] Bei dieser Ausführungsform werden Beispiele für verschiedene elektronische Geräte, die unter Verwendung einer lichtemittierenden Vorrichtung fertiggestellt werden, anhand von **Fig. 9A** bis **Fig. 9D** und **Fig. 10A** bis **Fig. 10C** beschrieben. Die lichtemittierende Vorrichtung wird unter Verwendung eines lichtemittierenden Elements hergestellt, das eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

[0172] Beispiele für elektronische Geräte, in denen die lichtemittierende Vorrichtung Anwendung findet, sind Fernsehgeräte (auch als TV oder Fernsehempfänger bezeichnet), Monitore für Computer und dergleichen, Kameras wie z.B. Digitalkameras und Digitalvideokameras, digitale Fotorahmen, Mobiltelefone (auch als tragbare Telefongeräte bezeichnet), tragbare Spielgeräte, tragbare Informationsendgeräte, Audiowiedergabegeräte, große Spielgeräte wie z. B. Flippergeräte und dergleichen. Konkrete Beispiele für diese elektronischen Geräte sind in **Fig. 9A** bis **Fig. 9D** gezeigt.

[0173] **Fig. 9A** zeigt ein Beispiel für ein Fernsehgerät. Bei einem Fernsehgerät **7100** ist ein Anzeigeabschnitt **7103** in einem Gehäuse **7101** eingebaut. Der Anzeigeabschnitt **7103** kann Bilder anzeigen, und eine lichtemittierende Vorrichtung kann für den Anzeigeabschnitt **7103** verwendet werden. Zusätzlich wird hierbei das Gehäuse **7101** von einem Fuß **7105** getragen.

[0174] Das Fernsehgerät **7100** kann mittels eines Bedienungsschalters in dem Gehäuse **7101** oder einer separaten Fernbedienung **7110** betrieben werden. Durch Bedienungstasten **7109** der Fernbedienung **7110** können die Fernsehsender und die Lautstärke gesteuert werden, und Bilder, die auf dem Anzeigeabschnitt **7103** angezeigt werden, können gesteuert werden. Ferner kann die Fernbedienung **7110** einen Anzeigeabschnitt **7107** zum Anzeigen von Daten, die von der Fernbedienung **7110** ausgegeben werden, aufweisen.

[0175] Es sei angemerkt, dass das Fernsehgerät **7100** mit einem Empfänger, einem Modem und dergleichen ausgestattet ist. Mit dem Empfänger kann allgemeine Fernsehsendung empfangen werden. Weiterhin kann dann, wenn das Fernsehgerät **7100** drahtgebunden oder drahtlos über das Modem mit einem Kommunikationsnetzwerk verbunden ist, eine unidirektionale (von einem Sender zu einem Empfänger) oder eine bidirektionale (zwischen einem Sender und einem Empfänger, zwischen Empfängern oder dergleichen) Datenkommunikation durchgeführt werden.

[0176] **Fig. 9B** zeigt einen Computer, der einen Hauptkörper **7201**, ein Gehäuse **7202**, einen Anzeigeabschnitt **7203**, eine Tastatur **7204**, einen externen Verbindungsanschluss **7205**, eine Zeigevorrichtung **7206** und dergleichen beinhaltet. Es sei angemerkt, dass dieser Computer unter Verwendung einer lichtemittierenden Vorrichtung für den Anzeigeabschnitt **7203** hergestellt wird.

[0177] Fig. 9C zeigt ein tragbares Spielgerät, das zwei Gehäuse, d. h. ein Gehäuse 7301 und ein Gehäuse 7302, beinhaltet, die über einen Gelenkteil 7303 miteinander verbunden sind, so dass das tragbare Spielgerät geöffnet oder geschlossen werden kann. Ein Anzeigeabschnitt 7304 ist in dem Gehäuse 7301 eingebaut, und ein Anzeigeabschnitt 7305 ist in dem Gehäuse 7302 eingebaut. Außerdem beinhaltet das tragbare Spielgerät in Fig. 9C einen Lautsprecherabschnitt 7306, einen Aufzeichnungsmedien-Einsetzabschnitt 7307, eine LED-Lampe 7308, Eingabemittel (eine Bedienungstaste 7309, einen Verbindungsanschluss 7310, einen Sensor 7311 (einen Sensor mit einer Funktion zum Messen von Kraft, Verschiebung, Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Winkelgeschwindigkeit, Drehzahl, Abstand, Licht, Flüssigkeit, Magnetismus, Temperatur, chemischer Substanz, Ton, Zeit, Härte, elektrischem Feld, elektrischem Strom, Spannung, elektrischer Leistung, Strahlung, Durchflussmenge, Feuchtigkeit, Steigungsgrad, Schwingung, Geruch oder Infrarotstrahlen) und ein Mikrofon 7312) und dergleichen. Natürlich ist die Struktur des tragbaren Spielgeräts nicht auf die obige Struktur beschränkt, solange eine lichtemittierende Vorrichtung für den Anzeigeabschnitt 7304 und/oder den Anzeigeabschnitt 7305 verwendet wird, und kann soweit erforderlich andere Zubehörteile aufweisen. Das tragbare Spielgerät in Fig. 9C hat eine Funktion zum Lesen eines Programms oder der Daten, das/die in einem Speichermedium gespeichert ist/sind, um es/sie auf dem Anzeigeabschnitt anzuzeigen, und eine Funktion zum Teilen einer Information mit einem anderen tragbaren Spielgerät über drahtlose Kommunikation. Es sei angemerkt, dass das tragbare Spielgerät in Fig. 9C kann verschiedene Funktionen ohne Beschränkung auf die obigen Funktionen haben.

[0178] Fig. 9D zeigt ein Beispiel für ein Mobiltelefon. Ein Mobiltelefon 7400 beinhaltet einen Anzeigeabschnitt 7402, der in einem Gehäuse 7401 eingebaut ist, Bedienungsknöpfe 7403, einen externen Verbindungsanschluss 7404, einen Lautsprecher 7405, ein Mikrofon 7406 und dergleichen. Es sei angemerkt, dass das Mobiltelefon 7400 unter Verwendung einer lichtemittierenden Vorrichtung für den Anzeigeabschnitt 7402 hergestellt wird.

[0179] Wenn der Anzeigeabschnitt 7402 des Mobiltelefons 7400 in Fig. 9D mit einem Finger oder dergleichen berührt wird, können Daten in das Mobiltelefon 7400 eingegeben werden. Ferner können Bedienungen wie z. B. Anrufen und Schreiben einer E-Mail durch Berühren des Anzeigeabschnitts 7402 mit einem Finger oder dergleichen durchgeführt werden.

[0180] Es gibt hauptsächlich drei Bildschirmmodi für den Anzeigeabschnitt 7402. Der erste Modus ist ein Anzeigemodus, bei dem hauptsächlich ein Bild angezeigt wird. Der zweite Modus ist ein Eingabemodus, bei dem hauptsächlich Informationen wie z. B. Buchstaben eingegeben werden. Der dritte Modus ist ein Anzeige- und Eingabemodus, bei dem zwei Modi, der Anzeigemodus und der Eingabemodus, gemischt werden.

[0181] Beispielsweise wird in dem Fall von Anrufen oder Schreiben einer E-Mail ein Buchstabeingabemodus, bei dem hauptsächlich Buchstaben eingegeben werden, für den Anzeigeabschnitt 7402 ausgewählt, so dass auf dem Bildschirm angezeigte Buchstaben eingegeben werden können. In diesem Fall ist es bevorzugt, eine Tastatur oder Nummerknöpfe auf fast dem ganzen Bildschirm des Anzeigeabschnitts 7402 anzuzeigen.

[0182] Wenn eine Detektorvorrichtung mit einem Sensor zum Detektieren der Neigung, wie z. B. einem Kreiselinstrument oder einem Beschleunigungssensor, innerhalb des Mobiltelefons 7400 bereitgestellt ist, kann die Anzeige auf dem Bildschirm des Anzeigeabschnitts 7402 durch Bestimmen der Richtung des Mobiltelefons 7400 (ob das Mobiltelefon horizontal oder vertikal für ein Querformat oder ein Hochformat gestellt ist) automatisch geändert werden.

[0183] Die Bildschirmmodi werden durch Berühren des Anzeigeabschnitts 7402 oder Bedienen der Bedienungsknöpfe 7403 des Gehäuses 7401 geändert. Alternativ können die Bildschirmmodi in Abhängigkeit von der Art eines Bilds, das auf dem Anzeigeabschnitt 7402 angezeigt wird, geändert werden. Beispielsweise wird dann, wenn ein Signal für ein auf dem Anzeigeabschnitt anzuzeigendes Bild Daten von bewegten Bildern ist, der Bildschirmmodus in den Anzeigemodus geändert. Wenn das Signal Textdaten ist, wird der Bildschirmmodus in den Eingabemodus geändert.

[0184] Außerdem kann bei dem Eingabemodus, wenn ein Signal, das durch einen optischen Sensor in dem Anzeigeabschnitt 7402 detektiert wird, detektiert wird und Eingabe durch Berühren des Anzeigeabschnitts 7402 für einen bestimmten Zeitraum nicht durchgeführt wird, der Bildschirmmodus derart gesteuert werden, dass er von dem Eingabemodus in den Anzeigemodus geändert wird.

[0185] Der Anzeigeabschnitt 7402 kann als Bildsensor dienen. Durch Berühren des Anzeigeabschnitts 7402 mit einer Handfläche oder einem Finger wird beispielsweise ein Bild eines Handflächenabdrucks, eines Finger-

abdrucks oder dergleichen aufgenommen, wodurch Authentifizierung durchgeführt werden kann. Außerdem kann dann, wenn eine Hintergrundbeleuchtung oder eine Abtast-Lichtquelle, die Nahinfrarotlicht emittiert, in dem Anzeigeabschnitt bereitgestellt ist, auch ein Bild einer Fingervene, einer Handflächenvene oder dergleichen aufgenommen werden.

[0186] **Fig. 10A** und **Fig. 10B** zeigen einen klappbaren Tablet-Computer. Der Tablet-Computer ist in **Fig. 10A** geöffnet. Der Tablet-Computer beinhaltet ein Gehäuse **9630**, einen Anzeigeabschnitt **9631a**, einen Anzeigeabschnitt **9631b**, einen Anzeigemodus-Schalter **9034**, einen Leistungsschalter **9035**, einen Stromsparerschalter **9036**, eine Spange **9033** und einen Bedienungsschalter **9038**. Der Tablet-Computer wird unter Verwendung der lichtemittierenden Vorrichtung für den Anzeigeabschnitt **9631a** und/oder den Anzeigeabschnitt **9631b** hergestellt.

[0187] Ein Teil des Anzeigeabschnitts **9631a** kann ein Touchscreen-Gebiet **9632a** sein, und Daten können eingegeben werden, wenn eine angezeigte Bedienungstaste **9637** berührt wird. Obwohl eine Struktur als ein Beispiel gezeigt ist, bei der eine Hälfte des Anzeigeabschnitts **9631a** nur eine Anzeigefunktion hat und die andere Hälfte auch eine Touchscreenfunktion hat, ist der Anzeigeabschnitt **9631a** nicht auf die Struktur beschränkt. Das ganze Gebiet des Anzeigeabschnitts **9631a** kann eine Touchscreenfunktion haben. Beispielsweise kann der Anzeigeabschnitt **9631a** Tastaturknöpfe in dem ganzen Gebiet anzeigen, das ein Touchscreen sein soll, und der Anzeigeabschnitt **9631b** kann als ein Anzeigebildschirm verwendet werden.

[0188] Wie bei dem Anzeigeabschnitt **9631a** kann ein Teil des Anzeigeabschnitts **9631b** ein Touchscreen-Gebiet **9632b** sein. Wenn ein Knopf **9639** zum Umschalten einer Tastaturanzeige, der auf dem Touchscreen angezeigt wird, mit einem Finger, einem Stift oder dergleichen berührt wird, kann eine Tastatur auf dem Anzeigeabschnitt **9631b** angezeigt werden.

[0189] Eine Eingabeoperation durch Berühren kann in dem Touchscreen-Gebiet **9632a** und dem Touchscreen-Gebiet **9632b** zur gleichen Zeit durchgeführt werden.

[0190] Der Anzeigemodus-Schalter **9034** kann beispielsweise die Anzeige zwischen dem Hochformat, dem Querformat und dergleichen, und zwischen monochromer Anzeige und Farbanzeige umschalten. Der Stromsparerschalter **9036** kann die Anzeigeleuchtdichte entsprechend der Menge an Außenlicht beim Verwenden des Tablet-Computers, die durch einen optischen Sensor in dem Tablet-Computer detektiert wird, steuern. Zusätzlich zu dem optischen Sensor kann eine weitere Detektorvorrichtung mit einem Sensor zum Detektieren der Neigung, wie z. B. einem Kreiselinstrument oder einem Beschleunigungssensor, in dem Tablet-Computer eingebaut werden.

[0191] **Fig. 10A** zeigt ein Beispiel, in dem der Anzeigeabschnitt **9631a** und der Anzeigeabschnitt **9631b** die gleiche Anzeigefläche aufweisen. Jedoch kann ohne Beschränkung darauf einer der Anzeigeabschnitte hinsichtlich der Größe und Anzeigequalität anders als der andere Anzeigeabschnitt sein. Beispielsweise kann ein Anzeigefeld ein Bild mit einer höheren Auflösung als das andere Anzeigefeld anzeigen.

[0192] Der Tablet-Computer ist in **Fig. 10B** geschlossen. Der Tablet-Computer beinhaltet das Gehäuse **9630**, eine Solarzelle **9633**, eine Lade- und Entladesteuerschaltung **9634**, eine Batterie **9635** und einen Gleichspannungswandler **9636**. In **Fig. 10B** ist eine Struktur, die die Batterie **9635** und den Gleichspannungswandler **9636** beinhaltet, als ein Beispiel für die Lade- und Entladesteuerschaltung **9634** gezeigt.

[0193] Da der Tablet-Computer zusammenklappbar ist, kann das Gehäuse **9630** geschlossen werden, wenn der Tablet-Computer nicht verwendet wird. Folglich können der Anzeigeabschnitt **9631a** und der Anzeigeabschnitt **9631b** geschützt werden. Daher kann ein Tablet-Computer, der ausgezeichnete Beständigkeit und ausgezeichnete Zuverlässigkeit hinsichtlich der Langzeitverwendung aufweist, bereitgestellt werden.

[0194] Ferner kann der Tablet-Computer in **Fig. 10A** und **Fig. 10B** eine Funktion zum Anzeigen verschiedener Arten von Daten (z. B. einem Festbild, einem bewegten Bild und einem Textbild), eine Funktion zum Anzeigen eines Kalenders, eines Datums, der Zeit oder dergleichen auf dem Anzeigeabschnitt, eine Funktion zum Eingeben durch Berühren für eine Bedienung oder eine Bearbeitung der Daten, die auf dem Anzeigeabschnitt angezeigt werden, eine Funktion zum Steuern der Verarbeitung mittels verschiedener Arten von Software (Programmen) und dergleichen haben.

[0195] Die Solarzelle **9633** auf einer Oberfläche des Tablet-Computers kann dem Touchscreen, dem Anzeigeabschnitt, einem Bildsignalverarbeitungsabschnitt oder dergleichen Energie zuführen. Es sei angemerkt,

dass die Solarzelle **9633** auf einer oder beiden Oberflächen des Gehäuses **9630** bereitgestellt sein kann, so dass die Batterie **9635** effizient geladen werden kann. Die Verwendung einer Lithium-Ionenbatterie als die Batterie **9635** ist vorteilhaft für Verkleinerung oder dergleichen.

[0196] Die Struktur und die Bedienung der Lade- und Entladesteuerschaltung **9634**, die in **Fig. 10B** gezeigt ist, werden unter Verwendung eines Blockdiagramms in **Fig. 10C** beschrieben. Die Solarzelle **9633**, die Batterie **9635**, der Gleichspannungswandler **9636**, ein Wandler **9638**, Schalter SW1 bis SW3 und ein Anzeigeabschnitt **9631** sind in **Fig. 10C** gezeigt, und die Batterie **9635**, der Gleichspannungswandler **9636**, der Wandler **9638** und die Schalter SW1 bis SW3 entsprechen der Lade- und Entladesteuerschaltung **9634** in **Fig. 10B**.

[0197] Zuerst wird ein Beispiel für die Bedienung in dem Fall, in dem Energie von der Solarzelle **9633** unter Verwendung von Außenlicht erzeugt wird, beschrieben. Die Spannung, die zu der von der Solarzelle **9633** erzeugten Energie gehört, wird durch den Gleichspannungswandler **9636** erhöht oder verringert, so dass sie einer zum Laden der Batterie **9635** benötigten Spannung entspricht. Dann wird, wenn die Energie von der Solarzelle **9633** für die Bedienung des Anzeigeabschnitts **9631** verwendet wird, der Schalter SW1 eingeschaltet, und die Spannung, die zu der Energie gehört, wird durch den Wandler **9638** erhöht oder verringert, so dass sie einer Spannung, die für den Anzeigeabschnitt **9631** erforderlich ist, entspricht. Ferner wird dann, wenn keine Anzeige auf dem Anzeigeabschnitt **9631** erfolgt, der Schalter SW1 abgeschaltet, und der Schalter SW2 wird eingeschaltet, so dass die Batterie **9635** geladen werden kann.

[0198] Es sei angemerkt, dass zwar die Solarzelle **9633** als ein Beispiel für ein Mittel zur Energieerzeugung beschrieben wird, die Batterie **9635** aber ohne Beschränkung darauf auch mittels eines anderen Mittels zur Energieerzeugung, wie z. B. eines piezoelektrischen Elements oder eines thermoelektrischen Wandlerelements (Peltier-Elements), geladen werden kann. Beispielsweise kann ein kontaktfreier Energieübertragungsmodul, der Energie drahtlos (ohne Kontakt) überträgt und empfängt, um die Batterie **9635** zu laden, oder eine Kombination von der Solarzelle **9633** und einem anderen Mittel zum Laden verwendet werden.

[0199] Natürlich ist eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung nicht auf das elektronische Gerät, das in **Fig. 10A** bis **Fig. 10C** gezeigt ist, beschränkt, solange der bei der vorstehenden Ausführungsform beschriebene Anzeigeabschnitt darin enthalten ist.

[0200] Wie oben beschrieben können die elektronischen Geräte durch die Verwendung der lichtemittierenden Vorrichtung, die eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, erhalten werden. Die lichtemittierende Vorrichtung hat einen sehr großen Einsatzbereich und kann auf elektronische Geräte auf verschiedenen Feldern angewendet werden.

[0201] Es sei angemerkt, dass die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur soweit angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden kann.

(Ausführungsform 7)

[0202] Bei dieser Ausführungsform werden Beispiele für Beleuchtungsvorrichtungen anhand von **Fig. 11** beschrieben. Eine lichtemittierende Vorrichtung, die ein lichtemittierendes Element beinhaltet, das eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, findet Anwendung in Beleuchtungsvorrichtungen.

[0203] **Fig. 11** zeigt ein Beispiel, in dem eine lichtemittierende Vorrichtung für eine Innenbeleuchtungsvorrichtung **8001** verwendet wird. Da die lichtemittierende Vorrichtung eine größere Fläche haben kann, kann auch eine Beleuchtungsvorrichtung mit einer großen Fläche hergestellt werden. Zusätzlich kann auch eine Beleuchtungsvorrichtung **8002**, in der ein lichtemittierender Bereich eine gekrümmte Oberfläche aufweist, unter Verwendung eines Gehäuses mit einer gekrümmten Oberfläche hergestellt werden. Ein lichtemittierendes Element, das in der bei dieser Ausführungsform beschriebenen lichtemittierenden Vorrichtung enthalten ist, ist in der Form eines dünnen Films, was erlaubt, das Gehäuse freier zu konstruieren. Damit kann die Beleuchtungsvorrichtung auf verschiedene Weisen kunstvoll konstruiert werden. Zudem kann eine große Beleuchtungsvorrichtung **8003** an einer Wand des Zimmers angebracht sein.

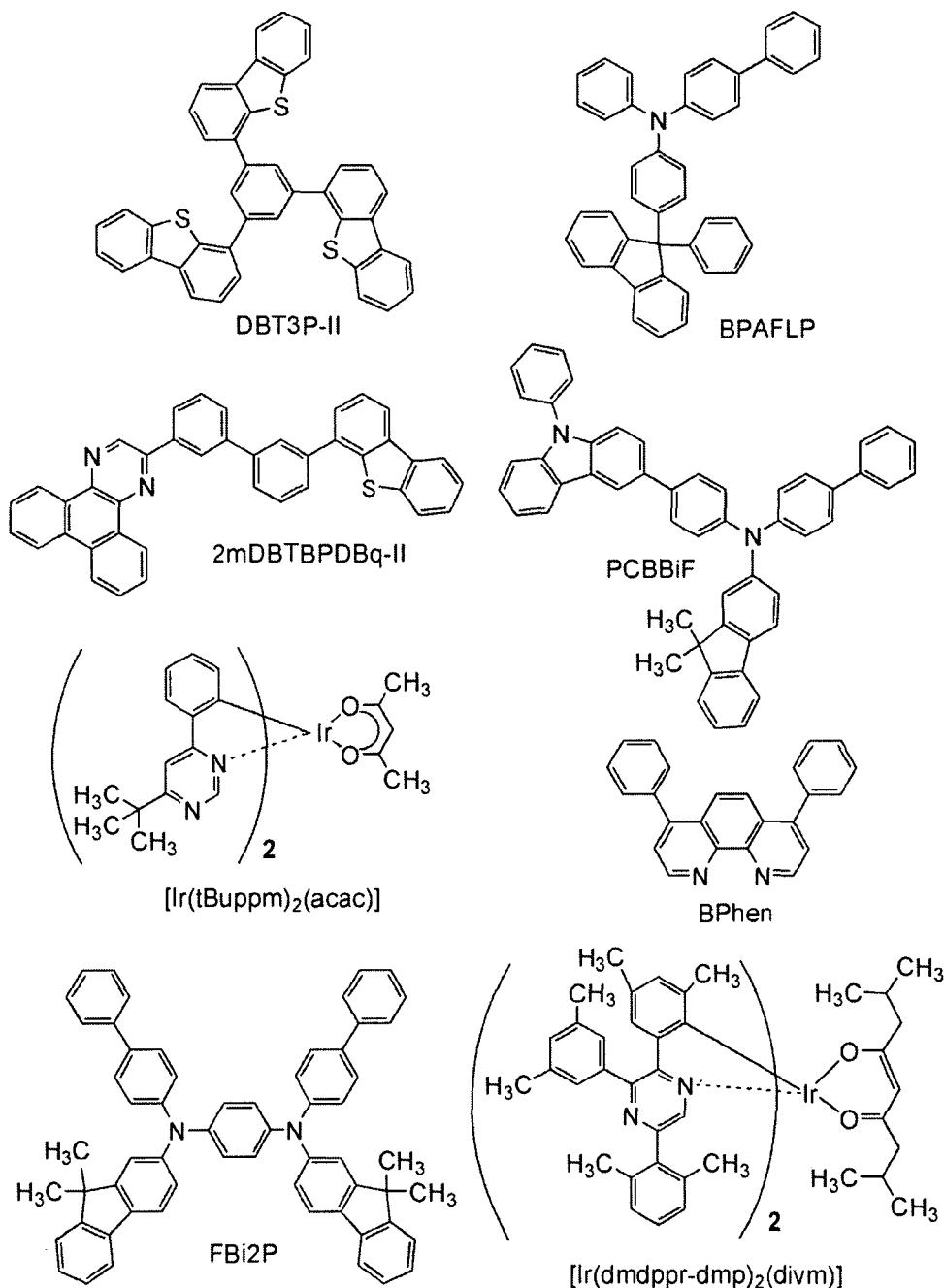
[0204] Außerdem kann dann, wenn die lichtemittierende Vorrichtung als eine Oberfläche eines Tisches verwendet wird, eine Beleuchtungsvorrichtung **8004** erhalten werden, die eine Funktion als Tisch hat. Wenn die lichtemittierende Vorrichtung als ein Teil anderer Möbel verwendet wird, kann eine Beleuchtungsvorrichtung erhalten werden, die eine Funktion der Möbel hat.

[0205] Auf diese Weise können verschiedene Beleuchtungsvorrichtungen, in denen die lichtemittierende Vorrichtung Anwendung findet, erhalten werden. Es sei angemerkt, dass auch solche Beleuchtungsvorrichtungen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind.

[0206] Die bei dieser Ausführungsform beschriebene Struktur kann soweit angemessen mit einer der bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen kombiniert werden.

[Beispiel 1]

[0207] In diesem Beispiel wird ein lichtemittierendes Element 1, das eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, anhand von **Fig. 12** beschrieben. Chemische Formeln der Materialien, die in diesem Beispiel verwendet werden, sind im Folgenden angegeben.



«Herstellung des lichtemittierenden Elements 1»

[0208] Zuerst wurde durch ein Sputterverfahren ein Film von Siliziumoxid enthaltendem Indiumzinnoxid (indium tin oxide containing silicon oxide; ITSO) über einem Glassubstrat **1100** ausgebildet, so dass eine erste

Elektrode **1101** ausgebildet wurde, die als Anode dient. Es sei angemerkt, dass die Dicke **110** nm betrug und die Elektrodenfläche 2 mm x 2 mm betrug.

[0209] Als nächstes wurde als eine Vorbehandlung zum Herstellen des lichtemittierenden Elements 1 über dem Substrat **1100** eine UV-Ozonbehandlung **370** Sekunden lang durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrats mit Wasser gewaschen worden war und es eine Stunde lang bei 200 °C erwärmt worden war.

[0210] Danach wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfungseinrichtung überführt, wo der Druck auf zirka 10⁻⁴ Pa verringert worden war, und wurde in einer Heizkammer der Vakuumverdampfungseinrichtung **30** Minuten lang bei 170 °C im Vakuum erwärmt, und dann wurde das Substrat **1100** etwa 30 Minuten lang abgekühlt.

[0211] Dann wurde das Substrat **1100** an einem Halter in der Vakuumverdampfungseinrichtung derart befestigt, dass eine Oberfläche, auf der die erste Elektrode **1101** aufgebracht war, nach unten ausgerichtet bereitgestellt war. In diesem Beispiel wird ein Fall beschrieben, in dem eine Lochinjektionsschicht **1111**, eine Lochtransportschicht **1112**, eine lichtemittierende Schicht **1113**, eine Elektronentransportschicht **1114** und eine Elektroneninjektionsschicht **1115**, die in einer EL-Schicht **1102** enthalten sind, sequenziell durch ein Vakuumverdampfungssverfahren ausgebildet werden.

[0212] Der Druck in der Vakuumverdampfungseinrichtung wurde auf etwa 10⁻⁴ Pa verringert. Dann wurden 1, 3,5-Tri(dibenzothiophen-4-yl)benzen (Abkürzung: DBT3P-II) und Molybdän(VI)oxid co-verdampft, wobei das Massenverhältnis von DBT3P-II (Abkürzung) zu Molybdänoxid 4:2 betrug. Dadurch wurde die Lochinjektionsschicht **1111** über der ersten Elektrode **1101** ausgebildet. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** betrug 20 nm. Es sei angemerkt, dass Co-Verdampfung ein Verdampfungssverfahren ist, in dem eine Vielzahl von verschiedenen Substanzen gleichzeitig aus jeweils verschiedenen Verdampfungsquellen verdampft wird.

[0213] Als nächstes wurde die Lochtransportschicht **1112** mit einer Dicke von 20 nm durch Verdampfung von 4-Phenyl-4'-(9-phenylfluoren-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: BPAFLP) ausgebildet.

[0214] Danach wurde die lichtemittierende Schicht **1113** über der Lochtransportschicht **1112** ausgebildet. Die lichtemittierende Schicht **1113** mit einer Schicht-Stapel-Struktur wurde wie folgt ausgebildet. Eine erste lichtemittierende Schicht **1113a** mit einer Dicke von 20 nm wurde durch Co-Verdampfung von 2-[3'-(Dibenzothiophen-4-yl)biphenyl-3-yl]dibenzo[f,h]quinoxalin (Abkürzung: 2mDBTBPDBq-II), N-(1,1'-Biphenyl-4-yl)-N-[4-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)phenyl]-9,9-dimethyl-9H-fluoren-2-amin (Abkürzung: PCBBiF) und (Acetylacetato)bis(6-tert-butyl-4-phenylpyrimidinato)iridium(III) (Abkürzung: [Ir(tBu₂ppm)₂(acac)]) ausgebildet, wobei das Massenverhältnis von 2mDBTBPDBq-II (Abkürzung) zu PCBBiF (Abkürzung) und [Ir(tBu₂ppm)₂(acac)] (Abkürzung) 0,7:0,3:0,05 betrug, und dann wurde eine zweite lichtemittierende Schicht **1113b** mit einer Dicke von 20 nm durch Co-Verdampfung von 2mDBTBPDBq-II (Abkürzung), N,N'-Bis(9,9-dimethylfluoren-2-yl)-N,N'-di(biphenyl-4-yl)-1,4-phenylen diamin (Abkürzung: FBi2P) und Bis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-3-(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl-κN]phenyl-κC}(2,8-dimethyl-4,6-nonenedionato-κ²O,O')iridium(III) (Abkürzung: [Ir(dmdppr-dmp)₂(divm)]) ausgebildet, wobei das Massenverhältnis von 2mDBTBPDBq-II (Abkürzung) zu FBi2P (Abkürzung) und [Ir(dmdppr-dmp)₂(divm)] (Abkürzung) 0,8:0,2:0,05 betrug.

[0215] Als nächstes wurde über der lichtemittierenden Schicht **1113** die Elektronentransportschicht **1114** auf eine solche Weise ausgebildet, dass durch Verdampfung ein Film von 2mDBTBPDBq-II (Abkürzung) mit einer Dicke von 15 nm ausgebildet wurde, und dann durch Verdampfung ein Film von Bathophenanthrolin (Abkürzung: Bphen) mit einer Dicke von 10 nm ausgebildet wurde. Über der Elektronentransportschicht **1114** wurde dann ein Film von Lithiumfluorid mit einer Dicke von 1 nm durch Verdampfung ausgebildet, um die Elektroneninjektionsschicht **1115** auszubilden.

[0216] Zuletzt wurde über der Elektroneninjektionsschicht **1115** ein Aluminiumfilm mit einer Dicke von 200 nm als eine zweite Elektrode **1103**, die als Kathode dient, durch Verdampfung ausgebildet. Auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 1 hergestellt. Es sei angemerkt, dass bei den zuvor beschriebenen Verdampfungsschritten die Verdampfung durch ein Widerstandserwärmungsverfahren durchgeführt wurde.

[0217] Tabelle 1 zeigt eine Elementstruktur des lichtemittierenden Elements 1, das wie oben beschrieben erhalten wurde.

[Tabelle 1]

	Ers- te Elek- tro- de	Lochinjekti- onsschicht	Lochtrans- portschicht	Lichte- mittie- rende Schicht	Elektro- nentrans- portschicht		Elektronenin- jektionsschicht	Zwei- te Elek- tro- de
Lichtemit- tierendes Element 1	ITSO (110 nm)	D8T3P-II: MoOx (4: 2 20 nm)	BPAFLP (20 nm)	*	**	2mDBT- BPDBq II (15 nm)	Bphen (10 nm)	LiF (1 nm) Al (200 nm)

* 2mDBTBPDBq-II:PCBBI₂F:(Ir(tBu₂ppm)₂(acac)) (0,7:0,3:0,05 20 nm)

** 2mDBTBPDBq-II:FBi2P:[Ir(dmdppr-dmp)₂(divm)] (0,8:0,2:0,05 20 nm)

[0218] Abdichtung des hergestellten lichtemittierenden Elements 1 wurde in einem Handschuhkasten, der eine Stickstoffatmosphäre enthält, derart durchgeführt, dass es der Luft nicht ausgesetzt wurde (im einzelnen wurde ein Dichtungsmittel auf eine Außenkante des Elements aufgestrichen und eine Wärmebehandlung bei 80 °C eine Stunde lang zum Zeitpunkt der Abdichtung durchgeführt).

«Betriebseigenschaften des lichtemittierenden Elements 1»

[0219] Betriebseigenschaften des hergestellten lichtemittierenden Elements wurden gemessen. Es sei ange-
merkt, dass die Messungen bei Raumtemperatur (in einer Atmosphäre bei 25 °C) durchgeführt wurden.

[0220] Zuerst zeigt **Fig. 13** die Stromdichte-Leuchtdichte-Eigenschaften des lichtemittierenden Elements 1. In **Fig. 13** gibt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) an, und die horizontale Achse gibt die Stromdichte (mA/cm²) an. **Fig. 14** zeigt die Spannung-Leuchtdichte-Eigenschaften des lichtemittierenden Elements 1. In **Fig. 14** gibt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) an, und die horizontale Achse gibt die Spannung (V) an. **Fig. 15** zeigt die Leuchtdichte-Stromeffizienz-Eigenschaften des lichtemittierenden Elements 1. In **Fig. 15** gibt die vertikale Achse die Stromeffizienz (cd/A) an, und die horizontale Achse gibt die Leuchtdichte (cd/m²) an. **Fig. 16** zeigt die Spannung-Strom-Eigenschaften des lichtemittierenden Elements 1. In **Fig. 16** gibt die vertikale Achse den Strom (mA) an, und die horizontale Achse gibt die Spannung (V) an.

[0221] **Fig. 15** zeigt hohe Effizienz des lichtemittierenden Elements 1 auf, das eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist. Nachstehende Tabelle 2 zeigt Anfangswerte der Haupt-eigenschaften des lichtemittierenden Elements 1 bei einer Leuchtdichte von etwa 1000 cd/m².

[Tabelle 2]

	Span- nung (V)	Strom (mA)	Strom- dichte (mA/ cm ²)	Chroma- tizität (x, y)	Leucht- dichte (cd/m ²)	Stromef- fizienz (cd/A)	Leistungseffi- zienz (lm/W)	Externe Quantenausbeute (%)
Lichtemit- tierendes Element 1	3	0, 064	1;6	(0,51, 0,48)	1000	62	64	22

[0222] Die obigen Ergebnisse zeigen, dass das in diesem Beispiel hergestellte lichtemittierende Element 1 hohe externe Quantenausbeute aufweist, was bedeutet, dass seine Emissionseffizienz hoch ist.

[0223] **Fig. 17** zeigt ein Emissionsspektrum zum Zeitpunkt einer Zuführung eines Stroms mit einer Stromdichte von 25 mA/cm² zu dem lichtemittierenden Element 1. Wie in **Fig. 17** gezeigt ist, weist das Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements 1 zwei Spitzen bei zirka 546 nm und 615 nm auf, was andeutet, dass die zwei Spitzen aus Emission von den phosphoreszierenden metallorganischen Iridiumkomplexen [Ir(tBu₂ppm)₂(acac)] beziehungsweise [Ir(dmdppr-dmp)₂(divm)] stammen.

[0224] Es sei angemerkt, dass durch zyklische Voltammetrie das HOMO-Niveau von PCBBiF, welches die zweite organische Verbindung mit einer Lochtransporteigenschaft ist, auf -5,36 eV geschätzt wurde, und dass das HOMO-Niveau von FBi2P, welches die dritte organische Verbindung mit einer Lochtransporteigenschaft ist, auf -5,13 eV geschätzt wurde. Die zweite organische Verbindung weist also ein niedrigeres HOMO-Niveau als die dritte organische Verbindung auf.

[0225] **Fig. 18** zeigt hier ein Emissionsspektrum eines dünnen Films von 2mDBTBPDBq-II, welches die erste organische Verbindung mit einer Elektronentransporteigenschaft ist, ein Emissionsspektrum eines dünnen Films von PCBBiF, welches die zweite organische Verbindung mit einer Lochtransporteigenschaft ist, und ein Emissionsspektrum eines Mischfilms (Co-Verdampfungsfilms) von 2mDBTBPDBq-II und PCBBiF. Des Weiteren zeigt **Fig. 19** ein Emissionsspektrum eines dünnen Films von 2mDBTBPDBq-II, welches die erste organische Verbindung mit einer Elektronentransporteigenschaft ist, ein Emissionsspektrum eines dünnen Films von FBi2P, welches die dritte organische Verbindung mit einer Lochtransporteigenschaft ist, und ein Emissionsspektrum eines Mischfilms (Co-Verdampfungsfilms) von 2mDBTBPDBq-II und FBi2P.

[0226] Sowohl in **Fig. 18** als auch in **Fig. 19** liegt die Emissionswellenlänge des Mischfilms an einer längeren Wellenlängenseite im Verhältnis zu den Emissionswellenlängen der einzelnen Filme der Materialien. Dies deutet darauf hin, dass die erste organische Verbindung (2mDBTBPDBq-II) und die zweite organische Verbindung (PCBBiF) einen Exciplex bildeten, und dass die erste organische Verbindung (2mDBTBPDBq-II) und die dritte organische Verbindung (FBi2P) einen Exciplex bildeten. Zusätzlich hat, während der Exciplex, der von der ersten organischen Verbindung (2mDBTBPDBq-II) und der dritten organischen Verbindung (FBi2P) gebildet wurde, eine Emissionswellenlänge von 553 nm hat, der Exciplex, der von der ersten organischen Verbindung (2mDBTBPDBq-II) und der zweiten organischen Verbindung (PCBBiF) gebildet wurde, eine Emissionswellenlänge von 511 nm. Dies zeigt, dass der letzte Exciplex höhere Energie aufweist.

Patentansprüche

1. Lichtemittierendes Element, das umfasst:

eine lichtemittierende Schicht (106) zwischen einer Anode (101) und einer Kathode (102), wobei die lichtemittierende Schicht ein Stapel von einer ersten lichtemittierenden Schicht (106a) und einer zweiten lichtemittierenden Schicht (106b) ist, wobei die erste lichtemittierende Schicht an der Anodenseite liegt, wobei die erste lichtemittierende Schicht (106a) eine erste lichtemittierende Substanz (109a), die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, eine erste organische Verbindung (110) mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine zweite organische Verbindung (111) mit einer Lochtransporteigenschaft umfasst, wobei die zweite lichtemittierende Schicht (106b) eine zweite lichtemittierende Substanz (109b), die Triplet-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, die erste organische Verbindung (110) und eine dritte organische Verbindung (112) mit einer Lochtransporteigenschaft umfasst, wobei die zweite organische Verbindung (111) ein höchstes besetztes Molekülorbital-Niveau aufweist, das niedriger als das der dritten organischen Verbindung (112) ist, wobei die erste lichtemittierende Substanz (109a) Licht mit einer Wellenlänge emittiert, die kürzer als eine Wellenlänge von Licht ist, das von der zweiten lichtemittierenden Substanz (109b) emittiert wird, wobei die erste organische Verbindung (110) und die zweite organische Verbindung (111) einen ersten Exciplex (E_A) in der ersten lichtemittierenden bilden, und wobei die erste organische Verbindung (110) und die dritte organische Verbindung (112) einen zweiten Exciplex (E_S) in der zweiten lichtemittierenden Schicht (106b) bilden.

2. Lichtemittierendes Element, das umfasst:

eine lichtemittierende Schicht zwischen einer Anode und einer Kathode; eine Lochtransportschicht zwischen der Anode und der lichtemittierenden Schicht; und eine Elektronentransportschicht zwischen der Kathode und der lichtemittierenden Schicht, wobei die lichtemittierende Schicht ein Stapel von einer ersten lichtemittierenden Schicht und einer zweiten lichtemittierenden Schicht ist, wobei die erste lichtemittierende Schicht in Kontakt mit der Lochtransportschicht steht, wobei die erste lichtemittierende Schicht eine erste lichtemittierende Substanz, eine erste organische Verbindung mit einer Elektronentransporteigenschaft und eine zweite organische Verbindung mit einer Lochtransporteigenschaft umfasst, wobei die zweite lichtemittierende Schicht in Kontakt mit der Elektronentransportschicht steht, wobei die zweite lichtemittierende Schicht eine zweite lichtemittierende Substanz, die erste organische Verbindung und eine dritte organische Verbindung mit einer Lochtransporteigenschaft umfasst,

wobei die zweite organische Verbindung ein höchstes besetztes Molekülorbital-Niveau aufweist, das niedriger als das der dritten organischen Verbindung ist,
wobei die erste lichtemittierende Substanz Licht mit einer Wellenlänge emittiert, die kürzer als eine Wellenlänge von Licht ist, das von der zweiten lichtemittierenden Substanz emittiert wird,
wobei die erste organische Verbindung und die zweite organische Verbindung einen ersten Exciplex bilden,
wobei die erste organische Verbindung und die dritte organische Verbindung einen zweiten Exciplex bilden,
wobei die erste lichtemittierende Substanz die Triplett-Anregungsenergie des ersten Exciplexes in Lichtemission umwandelt, und
wobei die zweite lichtemittierende Substanz die Triplett-Anregungsenergie des zweiten Exciplexes in Lichtemission umwandelt.

3. Lichtemittierendes Element nach Anspruch 1 oder 2, wobei der erste Exciplex höhere Anregungsenergie als der zweite Exciplex aufweist.

4. Lichtemittierendes Element nach Anspruch 1 oder 2,
wobei der erste Exciplex aus einem Anion der ersten organischen Verbindung und einem Kation der zweiten organischen Verbindung gebildet ist, und
wobei der zweite Exciplex aus einem Anion der ersten organischen Verbindung und einem Kation der dritten organischen Verbindung gebildet ist.

5. Lichtemittierendes Element nach Anspruch 1 oder 2,
wobei die erste lichtemittierende Substanz eine phosphoreszierende Verbindung oder ein thermisch stimuliertes verzögertes Fluoreszenz-Material ist,
wobei die zweite lichtemittierende Substanz eine phosphoreszierende Verbindung oder ein thermisch stimuliertes verzögertes Fluoreszenz-Material ist,
wobei die erste organische Verbindung eine π -Elektronen-arme heteroaromatische Verbindung ist,
wobei die zweite organische Verbindung eine π -Elektronen-reiche heteroaromatische Verbindung oder eine aromatische Aminverbindung ist, und
wobei die dritte organische Verbindung eine π -Elektronen-reiche heteroaromatische Verbindung oder eine aromatische Aminverbindung ist.

6. Lichtemittierendes Element, das umfasst:
eine Anode;
eine erste lichtemittierende Schicht über der Anode;
eine zweite lichtemittierende Schicht über der ersten lichtemittierenden Schicht; und
eine Kathode über der zweiten lichtemittierenden Schicht,
wobei die erste lichtemittierende Schicht umfasst: 2-[3'-(Dibenzothiophen-4-yl)biphenyl-3-yl]dibenzo[f,h]quinoxalin, N-(1,1'-Biphenyl-4-yl)-N-[4-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)phenyl]-9,9-dimethyl-9H-fluoren-2-amin und eine erste lichtemittierende Substanz, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt, und
wobei die zweite lichtemittierende Schicht umfasst: 2-[3'-(Dibenzothiophen-4-yl)biphenyl-3-yl]dibenzo[f,h]quinoxalin, N,N'-Bis(9,9-dimethylfluoren-2-yl)-N,N'-di(biphenyl-4-yl)-1,4-phenylen diamin und eine zweite lichtemittierende Substanz, die Triplett-Anregungsenergie in Lichtemission umwandelt.

7. Lichtemittierendes Element nach Anspruch 6, wobei die erste lichtemittierende Substanz (Acetylacetona-to)bis(6-tert-butyl-4-phenylpyrimidinato)iridium(III) ist.

8. Lichtemittierendes Element nach Anspruch 6, wobei die zweite lichtemittierende Substanz Bis{4,6-dimethyl-2-[5-(2,6-dimethylphenyl)-3-(3,5-dimethylphenyl)-2-pyrazinyl- κ N]phenyl- κ C} (2,8-dimethyl-4,6-nona-nedionato- κ^2 O, O')iridium(III) ist.

9. Lichtemittierende Vorrichtung, die das lichtemittierende Element nach einem der Ansprüche 1, 2 und 6 umfasst.

10. Elektronisches Gerät, das die lichtemittierende Vorrichtung nach Anspruch 9 umfasst.

11. Beleuchtungsvorrichtung, die die lichtemittierende Vorrichtung nach Anspruch 9 umfasst.

Es folgen 16 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

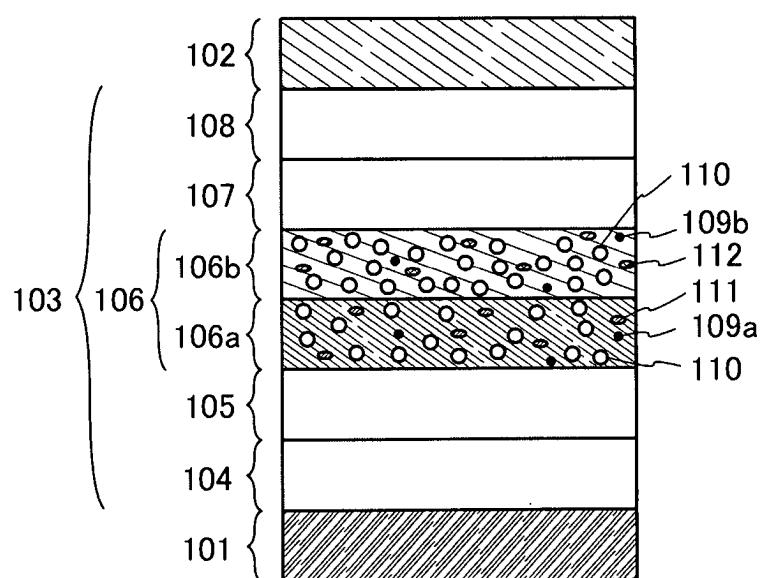


FIG. 1B

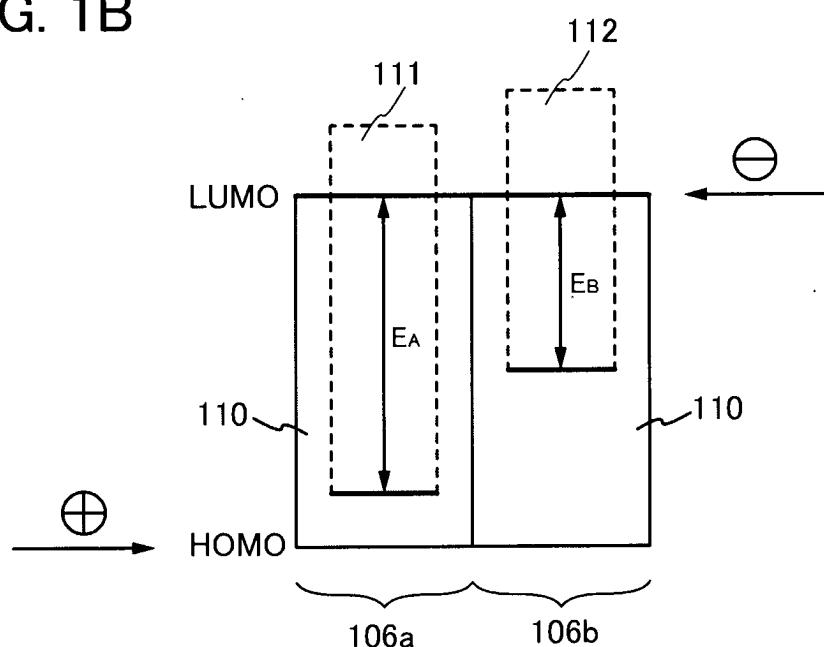


FIG. 2

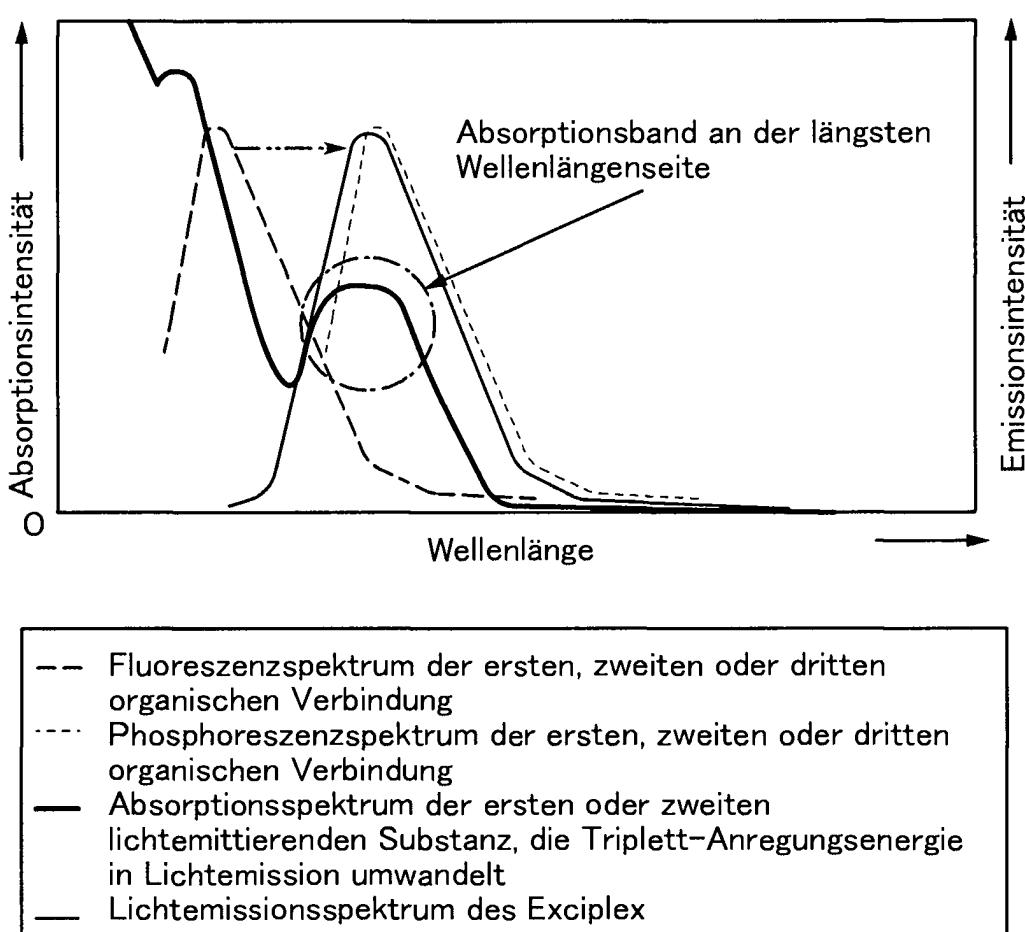


FIG. 3

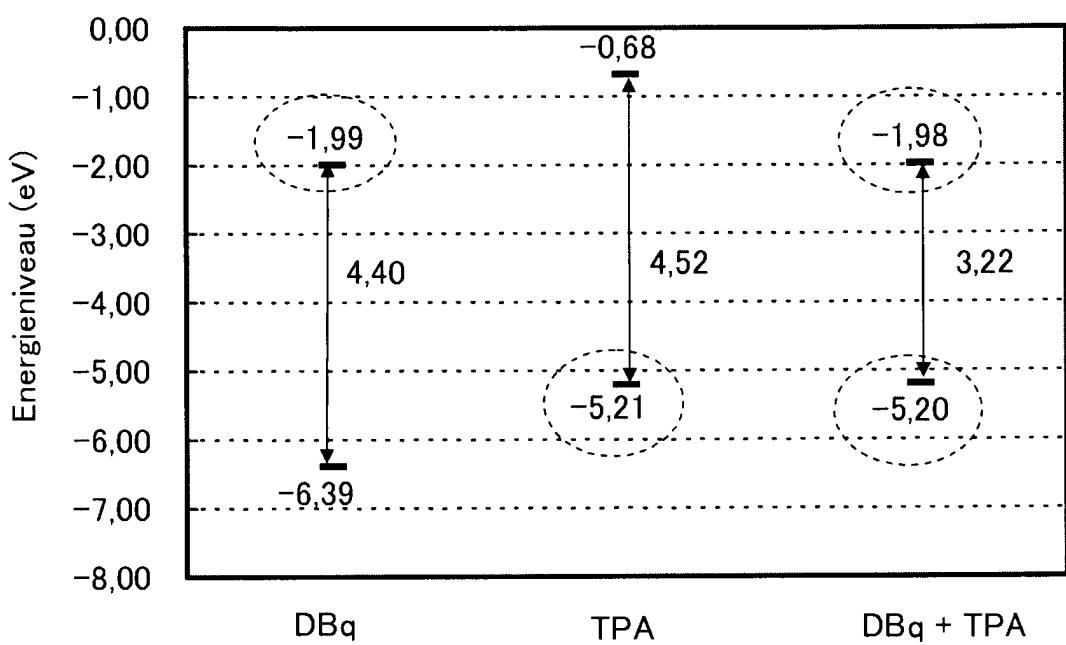


FIG. 4A1

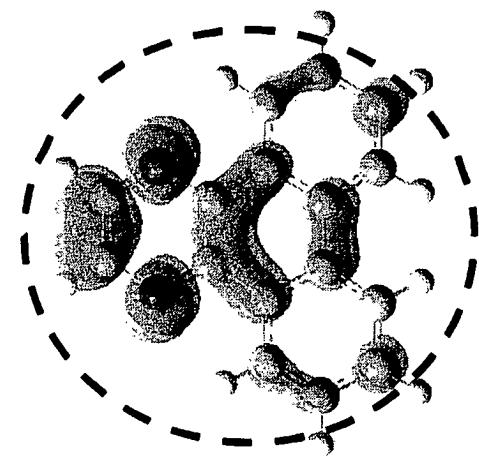


FIG. 4B1

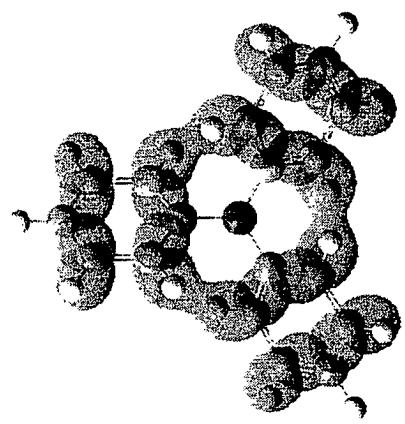


FIG. 4A2

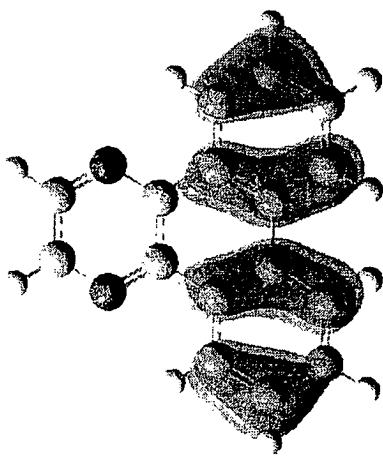


FIG. 4B2

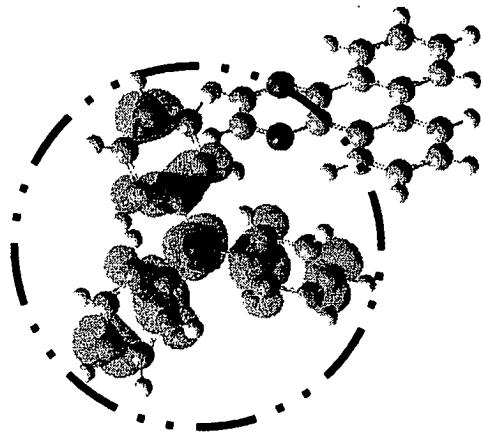


FIG. 4C1



FIG. 4C2

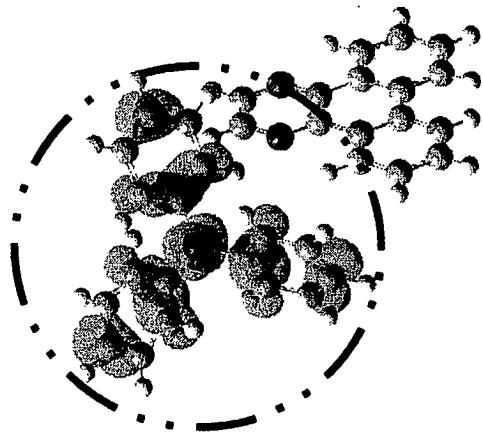


FIG. 5

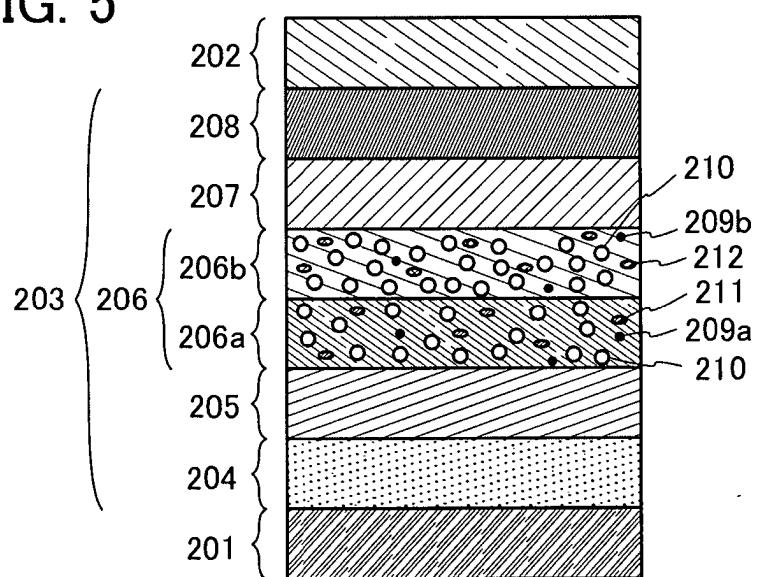


FIG. 6A

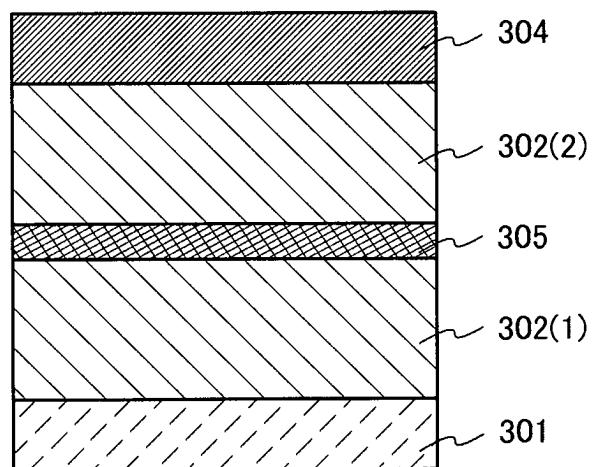


FIG. 6B

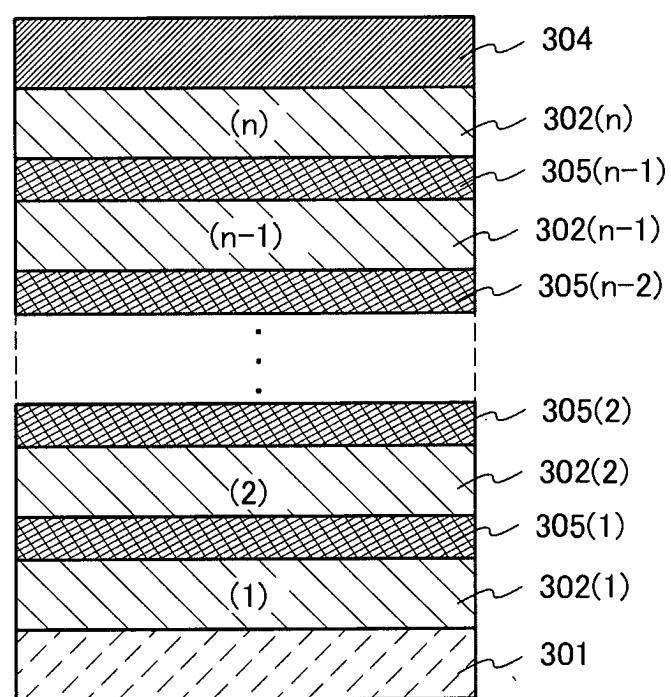


FIG. 7

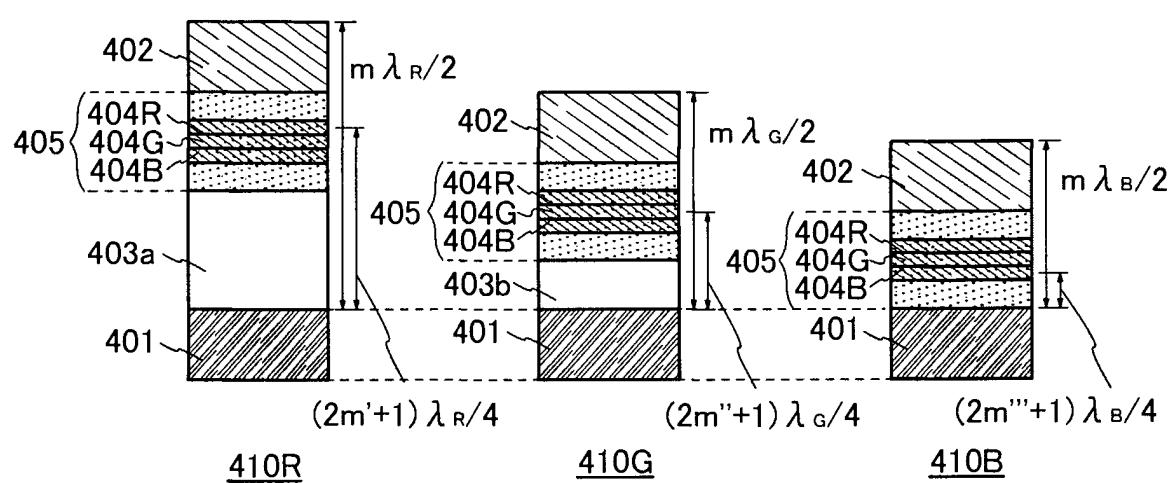


FIG. 8A

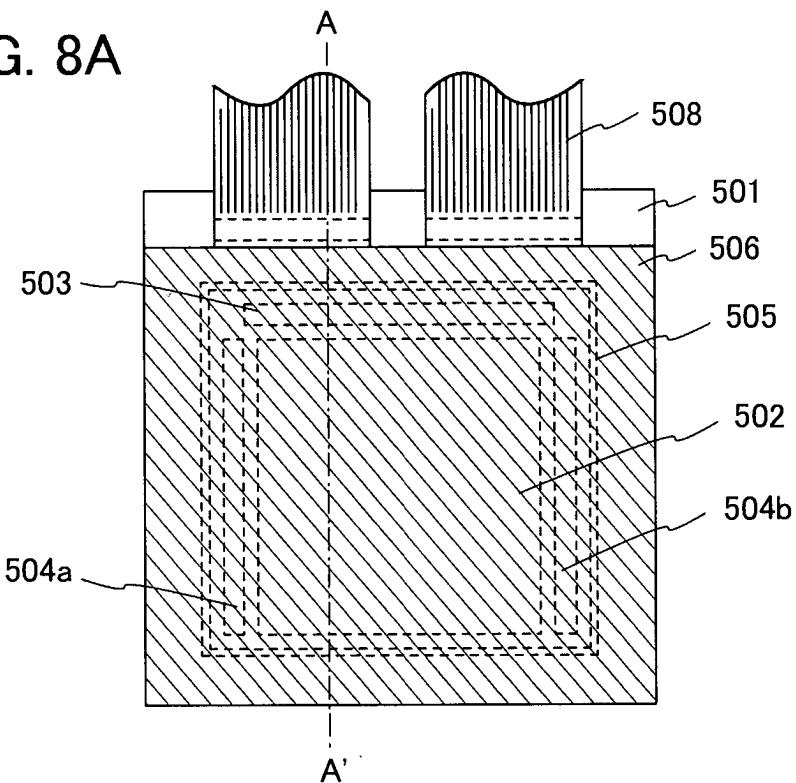


FIG. 8B

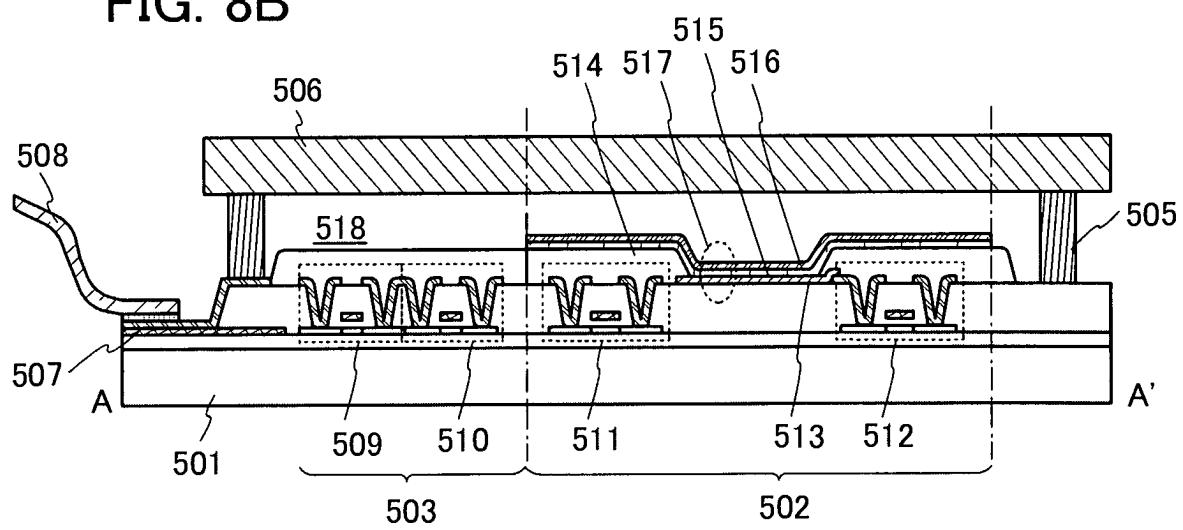


FIG. 9A

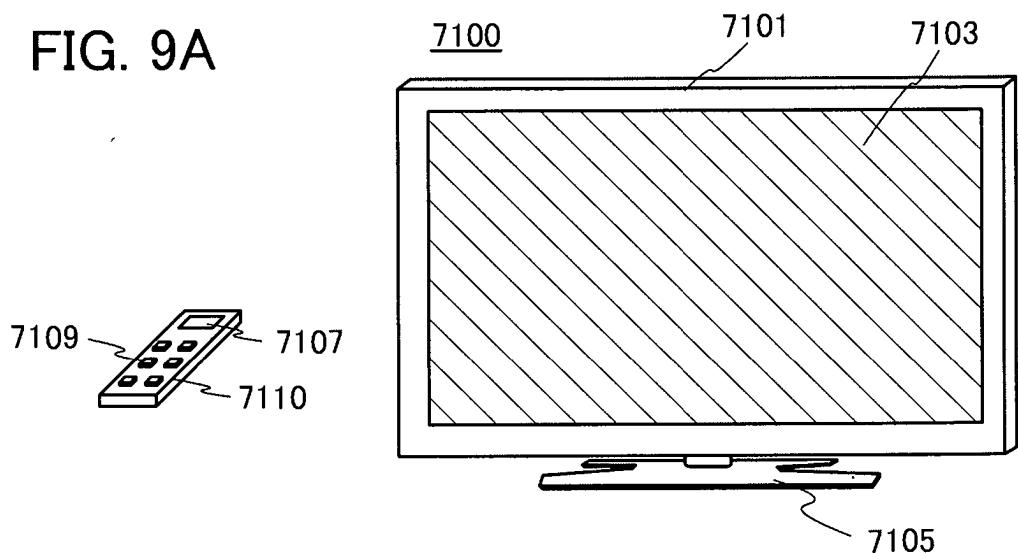


FIG. 9B

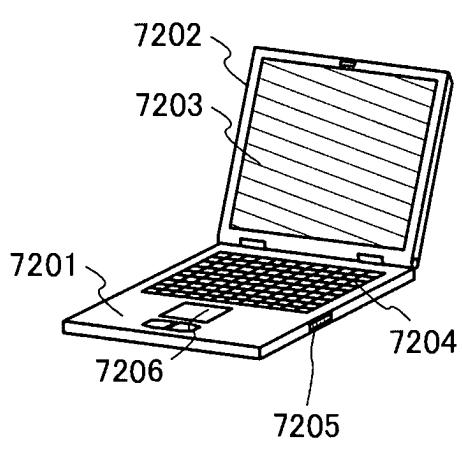


FIG. 9C

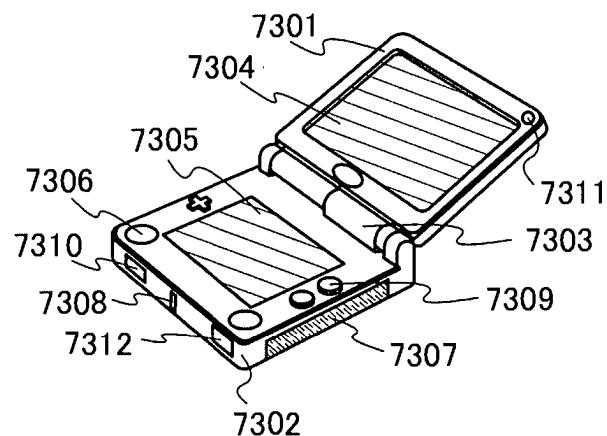


FIG. 9D

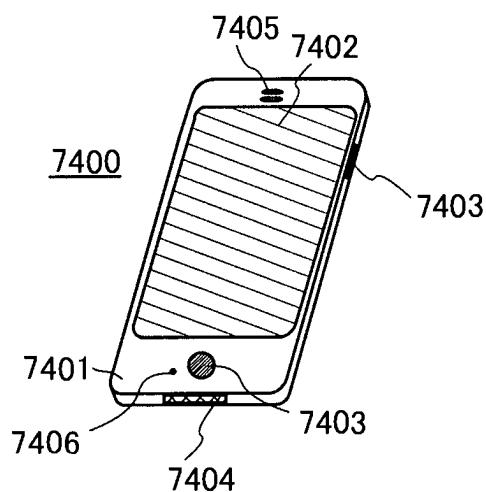


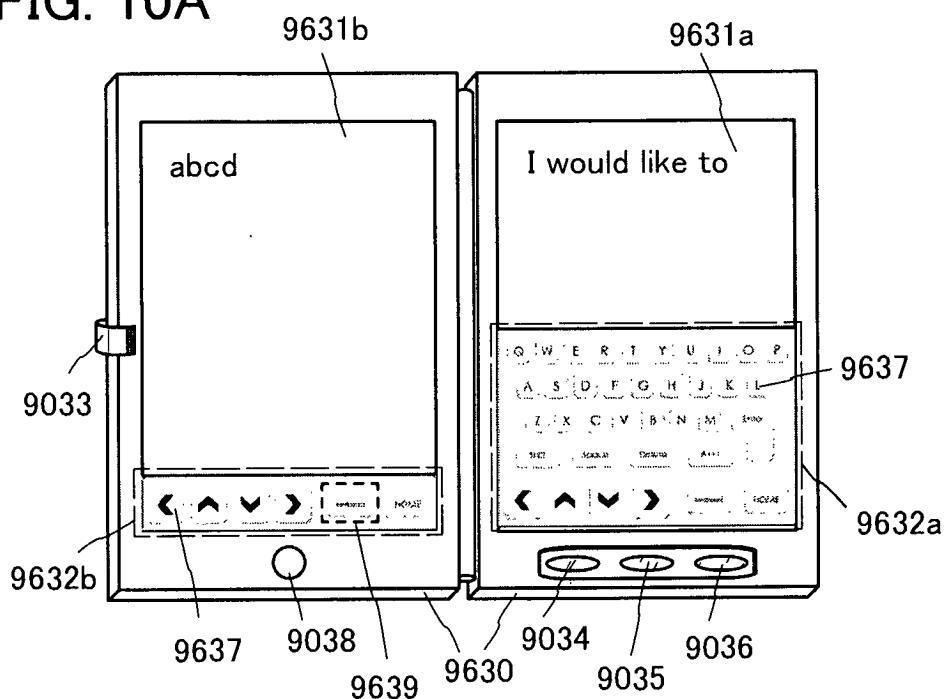
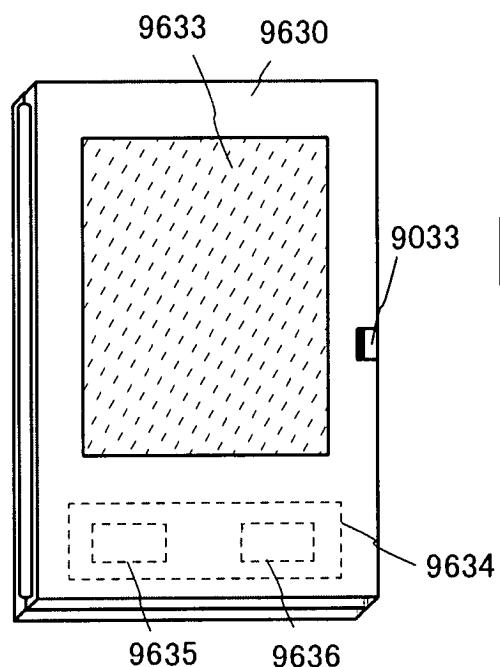
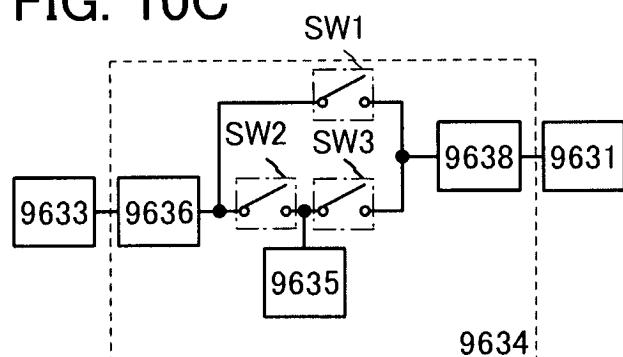
FIG. 10A**FIG. 10B****FIG. 10C**

FIG. 11

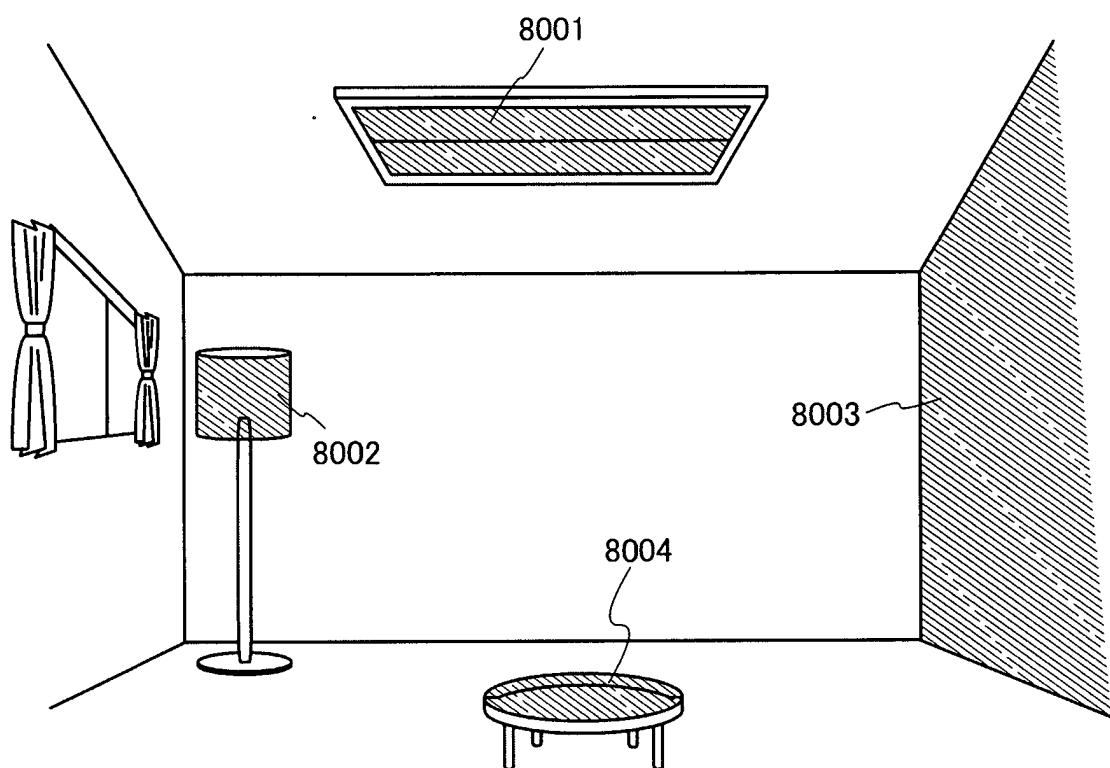


FIG. 12

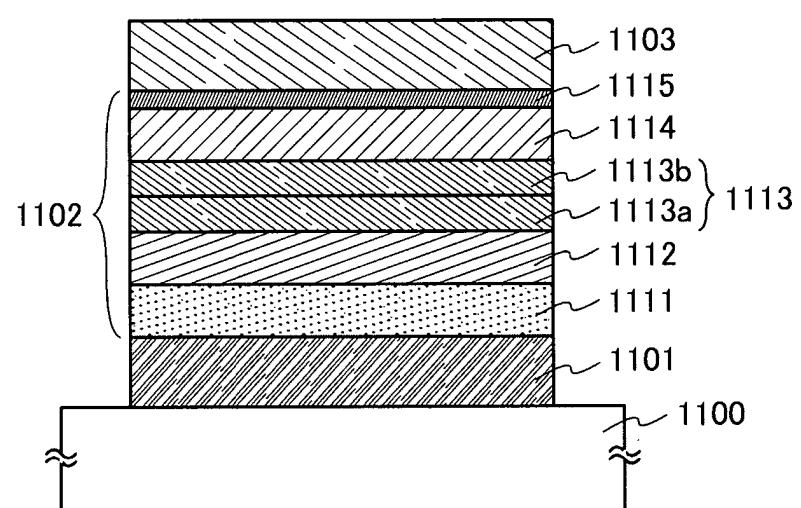


FIG. 13

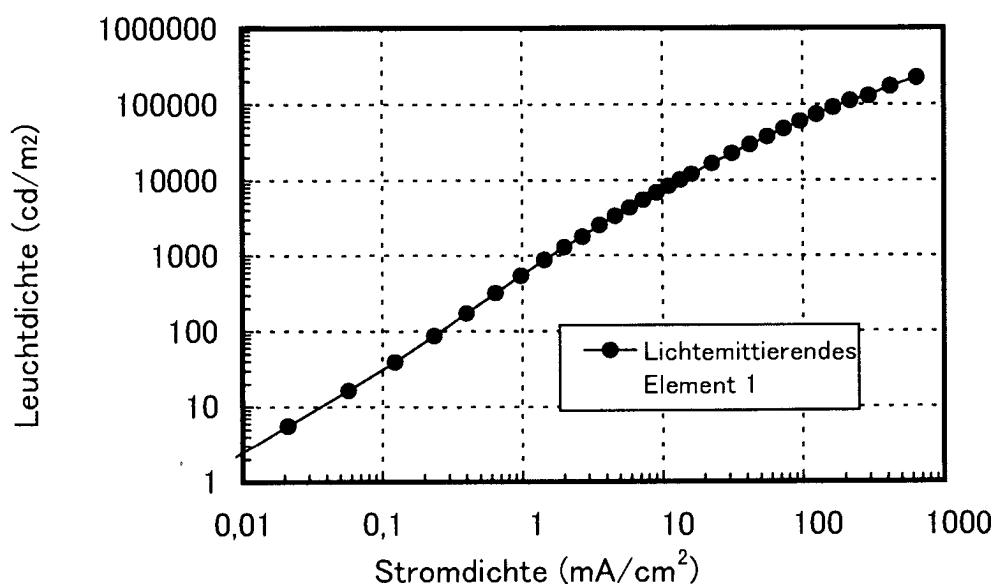


FIG. 14

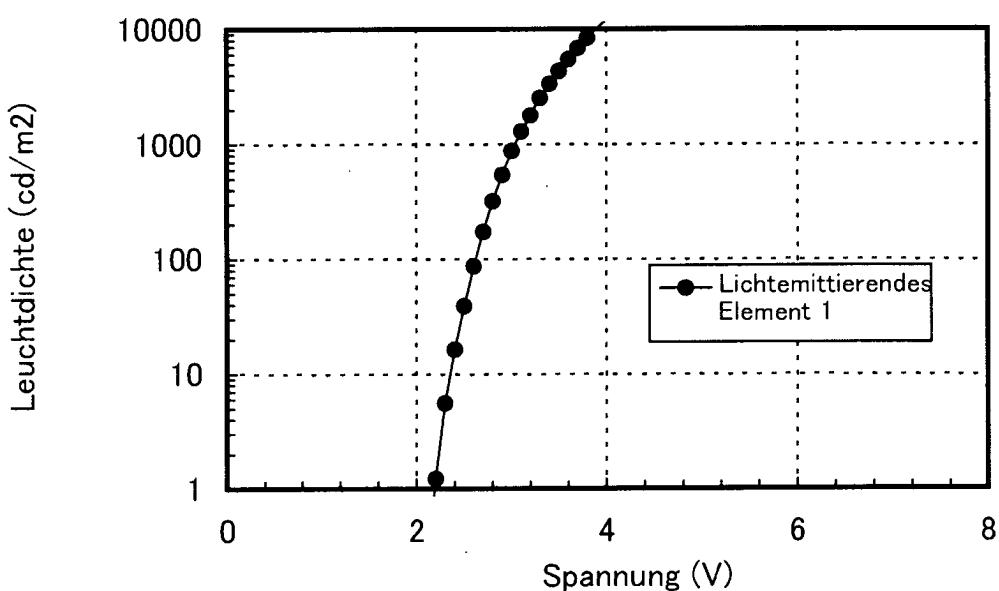


FIG. 15

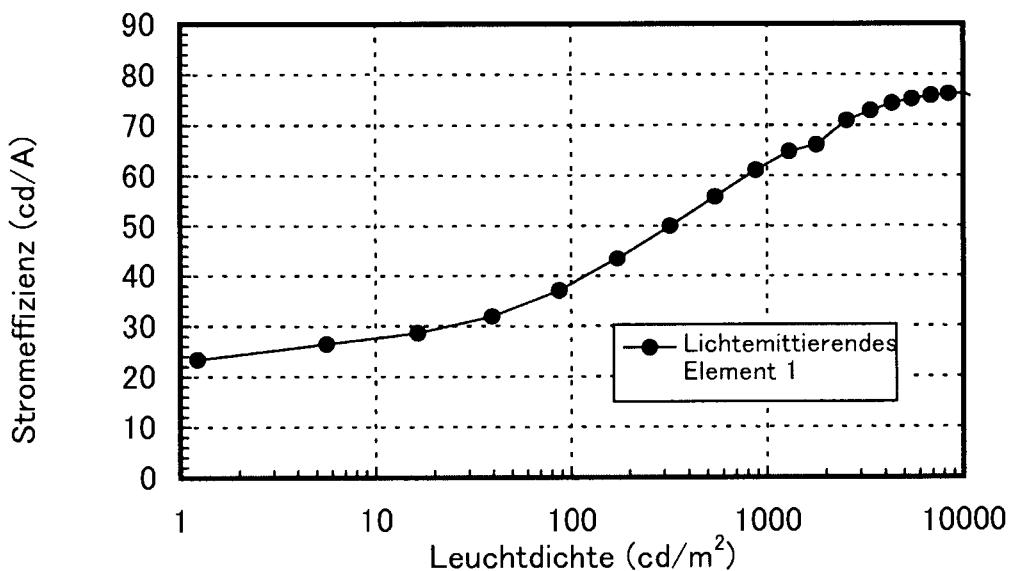


FIG. 16

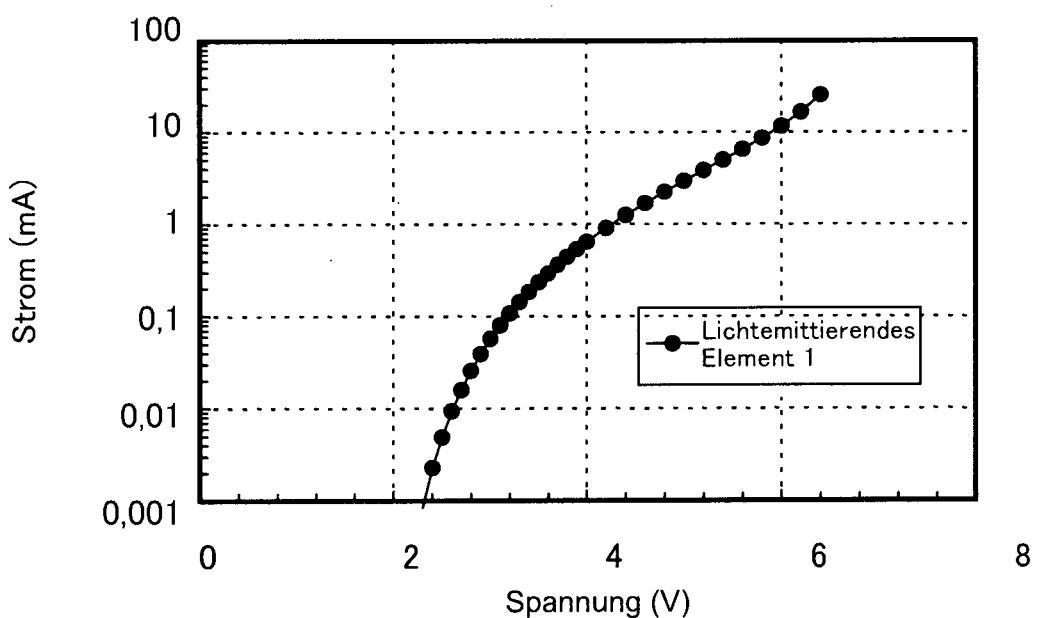


FIG. 17

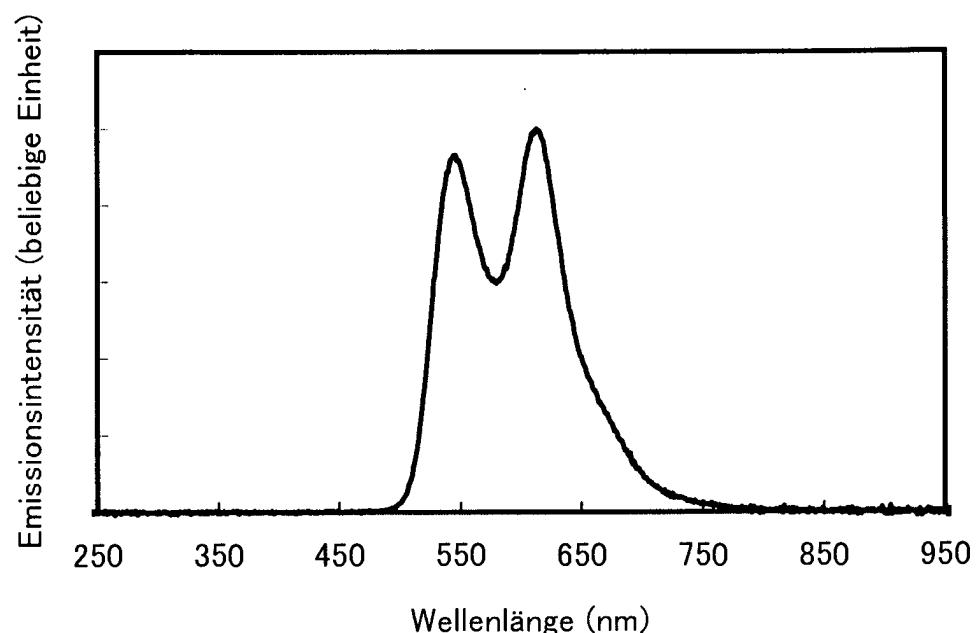


FIG. 18

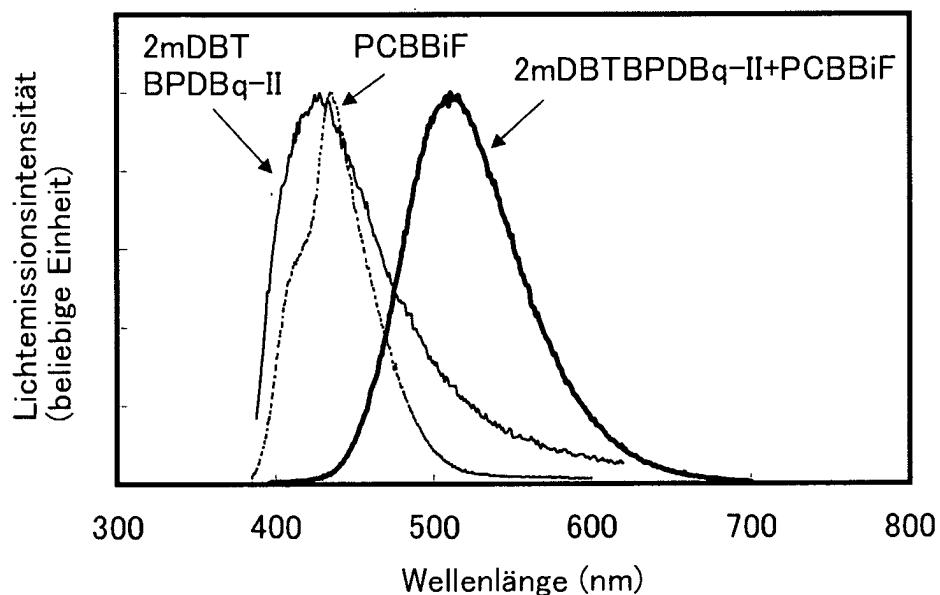


FIG. 19

