



(19) Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 11 2005 000 865 T5 2007.10.11

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2005/107332**  
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2005 000 865.7**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/CN2005/000522**  
(86) PCT-Anmeldetag: **18.04.2005**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **10.11.2005**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **11.10.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **C09K 11/87 (2006.01)**  
**H01L 51/54 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**10/835,481 30.04.2004 US**

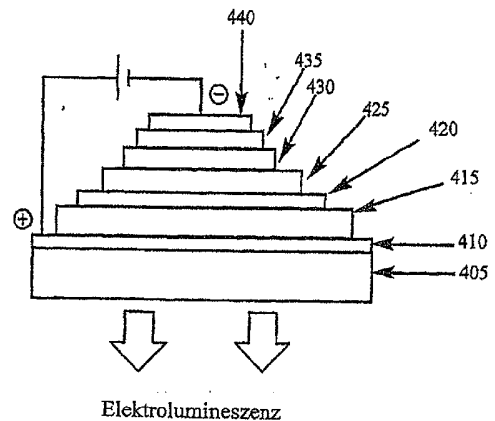
(74) Vertreter:  
**Patentanwälte Seemann & Partner, 20095  
Hamburg**

(71) Anmelder:  
**The University of Hong Kong, Hong Kong, HK**

(72) Erfinder:  
**Che, Chiming, Hong Kong, CN; Chan, Siuchung,  
Hong Kong, CN**

(54) Bezeichnung: **Organische Licht-emittierende Bauteile**

(57) Hauptanspruch: Ein heterostrukturiertes organisches Licht-emittierendes Bauteil, welches wenigstens eine emittierende Schicht umfasst, welche wenigstens einen Dotierungsmittelkomplex umfasst, wobei der Dotierungsmittelkomplex ein Übergangsmetallatom umfasst, welches an zwei bidentate Pyrrol-Liganden oder einen tetradentaten Pyrrol-Liganden koordiniert ist.



**Beschreibung**

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft effiziente organische Licht-emittierende Bauteile (OLEDs), welche einen Übergangsmetallkomplex umfassen, wobei der Übergangsmetallkomplex, in beiden geometrischen Isomeren, zwei bidentate Liganden des NN-Typs, oder zwei bidentate Liganden des NO-Typs, oder einen tetradentaten Liganden des NNNN-Typs, oder einen tetradentaten Liganden des NOON-Typs umfasst, und ein Übergangsmetallatom als elektro-phosphoreszierenden Emitter. Die Erfindung betrifft auch Verfahren zur Herstellung dünner Film-OLEDs und ihre Verwendungen in Flüssigkristalldisplays, Plasmapaneldisplays und Licht-emittierenden Dioden.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Organische Licht-emittierende Bauteile (OLEDs) finden Anwendungen als Flachbildschirme (FPDs), Flüssigkristalldisplays (LCDs) und Plasmabildschirme (PDPs). Dies wurde durch ihre günstigen Eigenschaften umfassend niedriges Gewicht, schnelles Video-Ansprechverhalten und niedrigen Energieverbrauch begünstigt. Zu diesem Zweck sind organometallische Verbindungen, welche Elektrolumineszenz zeigen, besonders attraktiv für elektro-phosphoreszierende Anwendungen, da sowohl die Ligandenstruktur als auch das Zentralmetallatom variiert werden können, um die Eigenschaften des Bauteils, welches diese Verbindungen verwendet, zu modifizieren.

**[0003]** Ein organisches Licht-emittierendes Bauteil (OLED) ist ein Energieumwandlungsbauteil, welches Licht emittiert, wenn ein Strom angelegt wird. Ein Mehrschicht-OLED umfasst im Allgemeinen Loch- und Elektronen-injizierende Schichten, Loch- und Elektronen-transportierende Schichten, eine emittierende Schicht, eine Metalloxidschicht und Metallelektroden. Die Verwendung von kleinen organischen Molekülen und Polymeren in der emittierenden Schicht hat aufgrund ihrer potentiellen Verwendungen in Voll-Farb-Flachbildschirmen mit großer Fläche viel Aufmerksamkeit erregt. Tang und VanSlyke haben als erste offenbart, dass kleine organische Moleküle durch Vakuumablagerung als Dünnschichten hergestellt werden können, um organische Mehrschichtlicht-emittierende Bauteile (OLEDs) herzustellen (siehe Tang et al., Appl. Phys. Lett. 51:913 (1987)).

**[0004]** Untersuchungen an kleinen organischen Molekülen sind unternommen worden, um die Leistungsfähigkeit von OLEDs zu verbessern. Im Allgemeinen werden fluoreszierende und phosphoreszierende Materialien als Lichtemitter in der emittierenden Schicht von OLEDs verwendet. Lichtemission von einer fluoreszierenden Verbindung entsteht als Resultat der Bildung von Singlet-Exzitonen in der emittierenden Schicht des elektrolumineszenten Bauteils. US-Patent Nummer 6,310,360 offenbart das theoretisch 25 % Singulett-Exzitone und 75 Triplett-Exzitone nach Rekombinieren von Löchern und Elektronen in der emittierenden Schicht eines elektrolumineszenten Bauteils gebildet werden. Die Singulett-Exzitone übertragen ihre Energie auf den angeregten Singulett-Zustand während die Triplett-Exzitone ihre Energie auf den angeregten Triplett-Zustand übertragen. Die meisten kleinen organischen Moleküle weisen Fluoreszenz auf. Folglich werden nur 25 % der generierten Exzitone verwendet, was in einem Bauteil mit einer niedrigen externen Effizienz resultiert.

**[0005]** Im Gegensatz zu fluoreszierenden Verbindungen, ist eine Reihe von effektiven phosphoreszierenden Iridium-Komplexen mit verschiedenen Farbemissionen gemeinsam von Thompson et al. an der Universität von Südkalifornien und von Forrest et al. an der Princeton-Universität berichtet worden (siehe US-Patent Nummer 6,515,298 B2; US-Patentanmeldungsveröffentlichung Nummer 20020182441 A1; Lamansky et al., J. Am. Chem. Soc., 123:4304 (2001); und Xie et al., Adv. Mat., 13:1245 (2001)). Che et al. haben auch die Verwendung von organischen Metallkomplexen, welche verschiedene Metallzentren wie beispielsweise Platin(II), Kupfer(I), Gold(I), und Zink(II) als OLED-Emitter verwenden, gezeigt (siehe US-Patentanmeldungsveröffentlichung Nummer 23205707 A1; US Patent-Anmeldungsveröffentlichung Nummer 22179885 A1; Y.-Y. Lin et al., Chem. Eur. J., 9:1263 (2003); Lu et al, Chem. Commun., 206 (2002); Ma et al., New J. Chem. 263 (1999); Ma et al., Appl. Phys. Lett., 74:1361 (1999); Ho et al., Chem. Commun., 2101 (1998); und Ma et al., Chem. Commun., 2491 (1998)).

**[0006]** Eine Vielzahl von Licht-emittierenden Verbindungen, insbesondere rote Emitter, sind als aktive Emitter in einer Anzahl von Bauteil-Strukturen untersucht worden. US-Patent Nummer 6,048,630 offenbart OLEDs basierend auf phosphoreszierenden Pt(OEP)-Komplexen ( $H_2OEP = \text{Octylethylporphyrin}$ ), welches eine gesättigte rote Elektrolumineszenz emittiert. Thompson und Forrest et al. berichteten über ein rot phosphoreszierendes Material (bis(2-(2'-benzo[4,5-a]thienyl)pyridinato-N, C<sup>3</sup>)iridium(acetylacetonat)[Btp2Ir(acac)]) mit einer hohen Effizienz ( $\eta_{\text{ext}} = 7,0 \pm 0,5 \%$ ) (siehe Adachi et al., Appl. Phys. Lett., 78:1622 (2001)). Des Weiteren wurde

über einen Europiumkomplex, welcher als rot emittierendes Dotierungsmittel in einem OLED eingesetzt worden ist ( $\text{Eu}(\text{TTA})_3\text{phen}$ , TTA = Thenoyltrifluoroacetone; phen = 1,10-Phenanthroline) berichtet, dass er eine scharfe rote Elektrolumineszenz zeigt (siehe Adachi et al., J. Appl. Phys. 87:8049, (2000)).

**[0007]** Anstrengungen zur Entwicklung von rot phosphoreszierenden Emittieren mit einer hohen Effizienz für OLEDs werden in Richtung der Full-Color Flachbildschirmdisplay-Anwendungen unternommen. Auch obwohl bemerkenswerter Fortschritt gemacht worden ist, müssen Herausforderungen wie Optimierung von Stabilität und Effizienz der OLEDs vor der Kommerzialisierung erfüllt werden. Es wird daher insbesondere in Erwägung gezogen, phosphoreszierende Materialien zu entwickeln, welche elektrolumineszente (EL)-Emissionen im Bereich des sichtbaren Lichts ausstrahlen, mit hohen Effizienzen und guten Stabilitäten.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0008]** Die Hauptaufgabe dieser Erfindung ist es, organische Licht-emittierende Bauteile (OLEDs) bereitzustellen, welche eine emittierende Schicht umfassen, welche wenigstens einen dotierenden Komplex als elektrophosphoreszierenden Emitter umfasst. Die Bauteile sollten geringe Anschalt-Spannungen, eine hohe Leuchtkraft, hohe Effizienzen und wünschenswerte Farben aufweisen.

**[0009]** Eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine OLED-Struktur bereitzustellen, welche eine emittierende Schicht aufweist, welche wenigstens einen elektrophosphoreszierenden Dotierungsmittelkomplex und wenigstens ein Wirtsmaterial umfasst.

**[0010]** Eine weitere Aufgabe ist es, OLEDs bereitzustellen, welche wünschenswerte Farben durch Veränderung der Konzentration des Dotierungsmittelkomplexes in der emittierenden Schicht aufweisen, während verschiedene Spannungen angelegt werden. Wichtig sind die Effizienzen der ausgesuchten Dotierungsmittelkomplexe, welche bei niedrigen Konzentrationsleveln in OLEDs verwendet werden können.

**[0011]** In einer Ausführungsform betrifft die Erfindung ein heterostrukturiertes organisches Licht-emittierendes Bauteil umfassend:

ein Substrat, auf welches eine erste Elektrode aufgebracht wird;

eine Loch-transportierende Schicht;

wenigstens eine emittierende Schicht umfassend wenigstens ein Wirtsmaterial und wenigstens einen Dotierungsmittelkomplex; der Dotierungsmittelkomplex, in beiden geometrischen Isomeren, umfasst wenigstens ein Übergangsmetall, welches mit zwei bidentaten Liganden des NN-Typs, oder zwei bidentaten Liganden des NO-Typs, oder einem tetradentaten Liganden des NNN-Typs oder einem tetradentaten Liganden des NOON-Typs koordiniert ist;

eine Loch-blockierende Schicht;

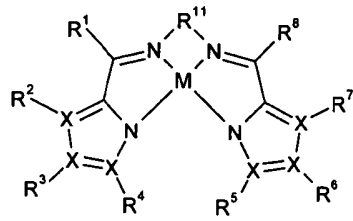
eine Elektronen-transportierende Schicht;

eine Ladungs-injizierende Schicht; und

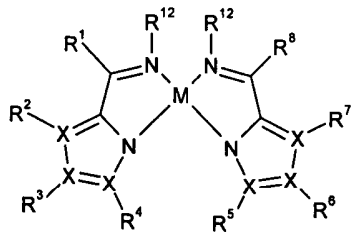
eine zweite Elektrode, welche die Loch-transportierende Schicht, emittierende Schicht, Loch-blockierende Schicht, Elektronen-transportierende Schicht und Ladungs-injizierende Schicht zwischen der ersten und der zweiten Elektrode als Sandwich umschließt.

**[0012]** In bevorzugten Ausführungsformen betrifft die Erfindung OLEDs, umfassend eine emittierende Schicht, welche wenigstens einen Übergangsmetallkomplex enthält. Die Übergangsmetallkomplexe, in beiden geometrischen Isomeren, enthalten zwei bidentate Liganden des NN-Typs, oder zwei bidentate Liganden des NO-Typs, oder einen tetradentaten Liganden des NNNN-Typs, oder einen tetradentaten Liganden des NOON-Typs, und ein Übergangsmetall als die elektrophosphoreszierenden Dotierungsmittelkomplexe.

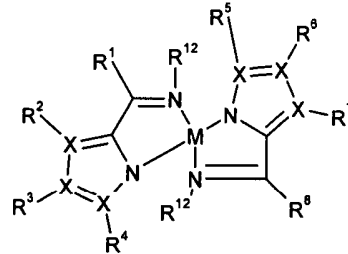
**[0013]** In einer bevorzugten Ausführungsform betrifft die Erfindung ein heterostrukturiertes OLED, umfassend einen oder mehrere Dotierungsmittelkomplexe der folgenden Formeln:



(I)

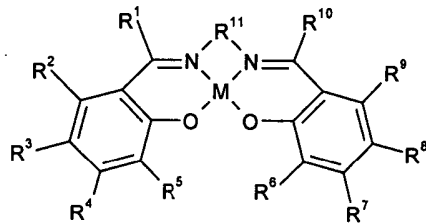


*cis*-

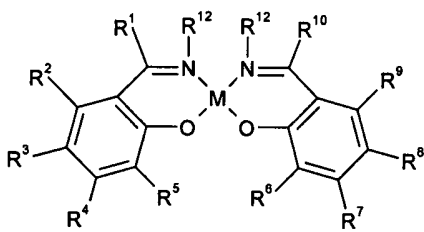


*trans*-

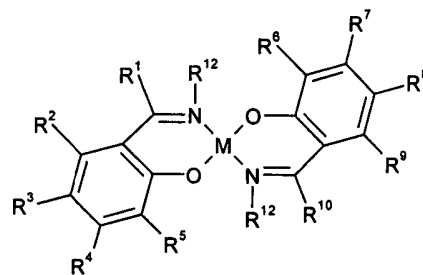
(II)



(III)



*cis*-



*trans*-

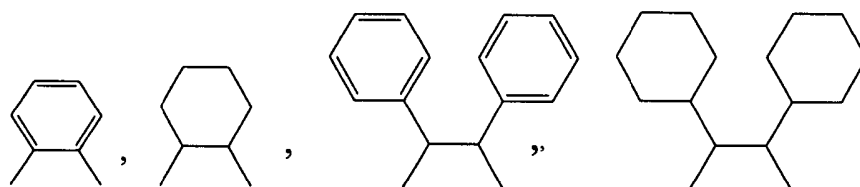
(IV)

oder Mischungen davon, wobei

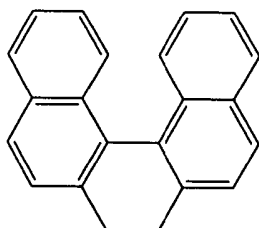
$M$  ein Übergangsmetall ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus  $Ni$ ,  $Pd$  und  $Pt$  ist;

jedes  $R^1 - R^{10}$  unabhängig voneinander  $-H$ ,  $-OH$ ,  $-NH_2$ ,  $-Halogen$ ,  $-CN$ ,  $-NO_2$ ,  $-R^{13}$ ,  $-OR^{14}$ ,  $NHR^{14}$  oder  $-N(R^{14})_2$  ist;

$R^{11} - (C(R^{15})_2)_n -$ ,



oder



ist;

jedes  $R^{12}$  unabhängig -H,  $-(C_1-C_6)$ Alkyl, -Phenyl, -Naphthyl; -Halogen, oder -CN ist;

$R^{13}$   $-(C_1-C_6)$ Alkyl, -Phenyl, oder -Naphthyl ist, wobei jedes unsubstituiert oder substituiert mit einem oder mehr aus  $-(C_1-C_6)$ Alkyl, -Phenyl, oder -Naphthyl ist;

$R^{14}$  wie oben für  $R^{13}$  definiert ist; und

$R^{15}$  wie oben für  $R^1$  definiert ist;

x unabhängig ein Kohlenstoff- oder Stickstoffatom ist; und

n eine ganze Zahl von 1 bis 6 ist.

**[0014]** In einer anderen Ausführungsform betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von heterostrukturierten organischen Licht-emittierenden Bauteilen mit gelben, orangen oder roten Farbemissionen. Das Verfahren beinhaltet die Schritte:

Bereitstellen eines Substrats, auf das eine erste Elektrode aufgebracht wird;

Bereitstellen einer Loch-transportierenden Schicht auf der ersten Elektrode;

Ausbilden einer emittierenden Schicht auf der Loch-transportierenden Schicht, wobei die emittierende Schicht wenigstens ein Wirtsmaterial und wenigstens einen Dotierungsmittelkomplex umfasst, der Dotierungsmittelkomplex, in beiden geometrischen Isomeren umfasst ein Übergangsmetall, welches mit zwei bidentaten Liganden des NN-Typs, oder zwei bidentaten Liganden des NO-Typs, oder einem tetradentaten Liganden des NNNN-Typs, oder einem tetradentaten Liganden des NOON-Typs koordiniert ist;

Bereitstellen einer Loch-blockierenden Schicht auf der emittierenden Schicht;

Bereitstellen einer Elektronen-transportierenden Schicht auf der Loch-blockierenden Schicht;

Bereitstellen einer Ladungs-injizierenden Schicht auf der Elektronen-transportierenden Schicht;

und

Bereitstellen einer zweiten Elektrode auf der Ladungs-injizierenden Schicht.

**[0015]** Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beinhaltet, aber ist nicht limitiert auf OLEDs umfassend Heterostrukturen zur Erzeugung von roter, oranger oder gelber Elektrolumineszenz; die Bauteile enthalten eine Anode (ITO Glas-Substanz), eine Loch-transportierende Schicht (N,N'-Diphenyl-N,N'-bis(2-naphthalen)benzidin ( $\beta$ -NPB)), eine emittierende Schicht umfassend ein Wirtsmaterial (4,4'-Bis(carbazol-9-yl)biphenyl (CBP)) und einen elektro-phosphoreszierenden Dotierungsmittelkomplex wie gezeigt in den Formeln I, II, III oder IV), eine Loch-blockierende Schicht (2,9-Dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthrolin (BCP)), eine Elektronen-transportierende Schicht (tris(8-Hydroxyquinolato)aluminium ( $Alq_3$ )), eine Ladungs-injizierende Schicht (Lithiumfluorid) und eine Kathode (Aluminiummetall).

**[0016]** Mehr bevorzugt zeigen die OLEDs, welche elektro-phosphoreszierende Dotierungsmittelkomplexe wie in den Formeln I, II, III oder IV gezeigt, verwenden, eine rote, orange oder gelbe Emission, wenn ein Strom angelegt wird.

**[0017]** Gemäß der vorliegenden Erfindung können die OLEDs mit hoher Effizienz in dem Bereich der elektronischen Flachbildschirme, Displayboards für Signallampen oder als Lichtquellen verwendet werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

- [0018] Fig. 1 Absorptions-, Anregungs- und Emissionsspektren von Dotierungsmittelkomplex 1 in CH<sub>3</sub>CN
- [0019] Fig. 2 Absorptions-, Anregungs- und Emissions-Spektren von Dotierungsmittelkomplex 2 in CH<sub>3</sub>CN
- [0020] Fig. 3 Absorptions-, Anregungs- und Emissions-Spektren von Dotierungsmittelkomplex 4 in CH<sub>3</sub>CN
- [0021] Fig. 4 Schematisches Diagramm eines OLEDs gemäß der vorliegenden Erfindung
- [0022] Fig. 5 EL-Spektren eines OLEDs A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V
- [0023] Fig. 6 EL-Spektren eines OLEDs A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1 bei verschiedenen angelegten Spannungen
- [0024] Fig. 7 V-I-B-Kurve eines OLEDs A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1
- [0025] Fig. 8 Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute eines OLEDs A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1
- [0026] Fig. 9 EL-Spektren von einem OLED B mit 5 Gew.-% Dotierungsmittel 2 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V
- [0027] Fig. 10 EL-Spektren eines OLEDs B mit 5 Gew.-% Dotierungsmittel 2 bei verschiedenen angelegten Spannungen
- [0028] Fig. 11 V-I-B-Kurve eines OLEDs B mit 5 Gew.-% Dotierungsmittel 2
- [0029] Fig. 12 Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute eines OLEDs B mit 5,0 Gew.-% Dotierungsmittel 2
- [0030] Fig. 13 EL-Spektren eines OLEDs C mit 3 Gew.-% Dotierungsmittel 19 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V
- [0031] Fig. 14 EL-Spektren eines OLEDs C mit 3 Gew.-% Dotierungsmittel 19 bei verschiedenen angelegten Spannungen
- [0032] Fig. 15 V-I-B-Kurve eines OLEDs C mit 3 Gew.-% Dotierungsmittel 19
- [0033] Fig. 16 Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute eines OLEDs C mit 3,0 Gew.-% Dotierungsmittel 19
- [0034] Fig. 17 EL-Spektren eines OLEDs D mit 4 Gew.-% Dotierungsmittel 51 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V
- [0035] Fig. 18 EL-Spektren eines OLEDs D mit 4 Gew.-% Dotierungsmittel 51 bei verschiedenen angelegten Spannungen
- [0036] Fig. 19 V-I-B-Kurve eines OLEDs D mit 4 Gew.-% Dotierungsmittel 51
- [0037] Fig. 20 Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute eines OLEDs D mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 51
- [0038] Fig. 21 EL-Spektren eines OLEDs E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V
- [0039] Fig. 22 EL-Spektren eines OLEDs E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99 bei verschiedenen angelegten Spannungen

[0040] Fig. 23 V-I-B-Kurve eines OLEDs E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99

[0041] Fig. 24 Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute eines OLEDs E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99

[0042] Fig. 25 EL-Spektren eines OLEDs F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V

[0043] Fig. 26 EL-Spektren eines OLEDs F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104 bei verschiedenen angelegten Spannungen

[0044] Fig. 27 V-I-B-Kurve eines OLEDs F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104

[0045] Fig. 28 Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute eines OLEDs F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0046] Einige Definitionen, welche zur Beschreibung der vorliegenden Erfindung nützlich sind, werden nachstehend angegeben: Wie hierin verwendet, bezieht sich die Formulierung „bidentate Liganden des NN-Typs“ auf ein Molekül, welches eine Imingruppe und entweder eine Pyrrolgruppe, eine Pyrazolgruppe, eine Imidazolgruppe, oder eine Triazolgruppe enthält, wobei der Ligand an ein Metall durch die Stickstoffatome dieser Gruppen koordiniert ist.

[0047] Wie hierin verwendet, bezieht sich die Formulierung „bidentate Liganden des NO-Typs“ auf ein Molekül, welches eine Imingruppe und eine Phenoxidgruppe enthält, wobei der Ligand an ein Metall durch die Stickstoff- und Sauerstoffatome dieser Gruppen koordiniert ist.

[0048] Wie hierin verwendet, bezieht sich die Formulierung „tetradentate Ligand des NNNN-Typs“ auf ein Molekül, welches zwei Imingruppen und entweder zwei Pyrrolgruppen, zwei Pyrazolgruppen, zwei Imidazolgruppen oder zwei Triazolgruppen enthält, wobei der Ligand an ein Metall durch die Stickstoffatome dieser Gruppen koordiniert ist.

[0049] Wie hierin verwendet, bezieht sich die Formulierung „tetradentater Ligand des NOON-Typs“ auf ein Molekül, welches zwei Imingruppen und zwei Phenoxidgruppen enthält, wobei der Ligand an ein Metall durch die Stickstoff- und Sauerstoffatome dieser Gruppen koordiniert ist.

[0050] Wie hierin verwendet, bezieht sich die Formulierung „Lichtemittierendes Bauteil“ auf Strukturen, welche einen asymmetrischen Widerstand gegenüber Strom aufweisen. Typischerweise erlaubt ein solches Bauteil Strom in eine Richtung leichter fließen zu lassen, wenn es in Durchlassrichtung betrieben wird. Jedoch kann ein signifikanter Strom in die umgekehrte Durchflussrichtung genauso unter der Erzeugung von Licht in einigen Bauteilen gemäß der vorliegenden Erfindung fließen.

[0051] Die vorliegende Erfindung betrifft ein heterostrukturiertes OLED umfassend eine emittierende Schicht, wobei die emittierende Schicht wenigstens ein Wirtsmaterial und wenigstens ein emittierendes Material umfasst. Bevorzugt ist das emittierende Material ein Dotierungsmittelkomplex, in beiden geometrischen Isomeren, umfassend ein Übergangsmetall, welches mit zwei bidentaten Liganden des NN-Typs, oder zwei bidentaten Liganden des NO-Typs oder einem tetradentaten Liganden des NNNN-Typs, oder einem tetradentaten Liganden des NOON-Typs koordiniert ist. Der Dotierungsmittelkomplex kann als Monomer, Dimer, Oligomer oder Mischungen davon vorliegen.

[0052] In einer Ausführungsform betrifft die Erfindung ein heterostrukturiertes organisches Licht-emittierendes Bauteil umfassend:

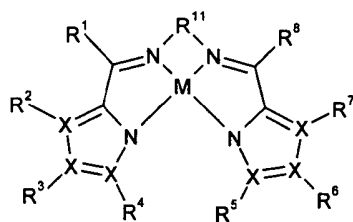
ein Substrat, auf welches eine erste Elektrode aufgebracht wird,

eine Loch-transportierende Schicht;

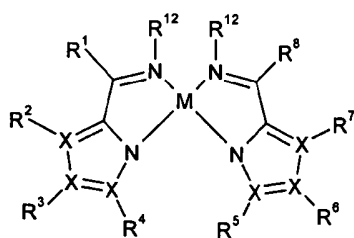
wenigstens eine emittierende Schicht umfassend wenigstens ein Wirtsmaterial und wenigstens einen Dotierungsmittelkomplex; der Dotierungsmittelkomplex, in beiden geometrischen Isomeren, umfasst wenigstens ein Übergangsmetall, welches mit zwei bidentaten Liganden des NN-Typs, oder zwei bidentaten Liganden des NO-Typs oder einem tetradentaten Liganden des NNNN-Typs oder einem tetradentaten Liganden des NOON-Typs koordiniert ist;

eine Loch-blockierende Schicht;  
 eine Elektronen-transportierende Schicht;  
 eine Ladungs-injizierende Schicht; und  
 eine zweite Elektrode, welche die Loch-transportierende Schicht, die emittierende Schicht, die Loch-blockierende Schicht, die Elektronen-transportierende Schicht und die Ladungs-injizierende Schicht zwischen der ersten und der zweiten Elektrode als Sandwich umschließt.

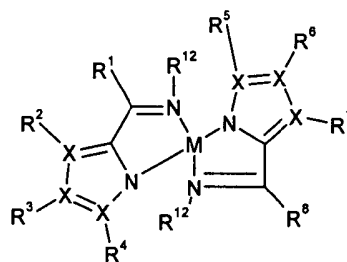
**[0053]** Bevorzugt sind die emittierenden Materialien Dotierungsmittelkomplexe, in beiden geometrischen Isomeren, umfassend zwei bidentate Liganden des NN-Typs oder zwei bidentate Liganden des NO-Typs oder einen tetradentate Ligand des NNNN-Typs oder einen tetradentate Ligand des NOON-Typs und ein Übergangsmetallatom. Mehr bevorzugt enthalten die emittierenden Materialien Dotierungsmittelkomplexe der folgenden Formeln:



(I)

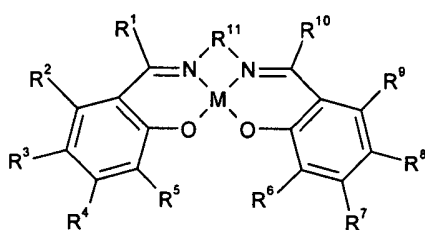


cis-

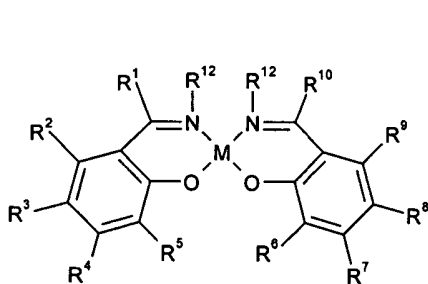


trans-

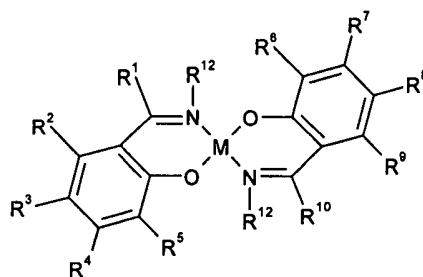
(II)



(III)



cis-



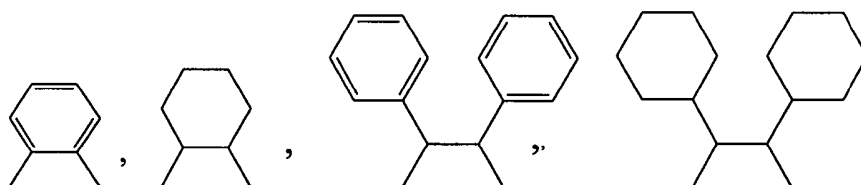
trans-

(IV)

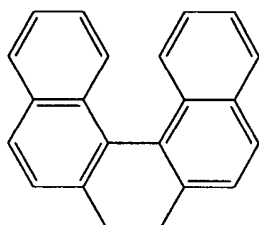
oder Mischungen davon, wobei

M ein Übergangsmetall ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Ni, Pd und Pt ist;  
 jedes aus R<sup>1</sup>-R<sup>c</sup> unabhängig -H, -OH, -NH<sub>2</sub>, -Halogen, -CN, -NO<sub>2</sub>, -R<sup>13</sup>, -OR<sup>14</sup>, NHR<sup>14</sup>, oder -N(R<sup>14</sup>)<sub>2</sub> ist,  
 R<sup>11</sup> -(C(R<sup>15</sup>)<sub>2</sub>)<sub>n</sub>,





oder



ist;

jedes  $R^{12}$  unabhängig -H,  $-(C_1-C_6)$ Alkyl, -Phenyl, -Naphtyl; -Halogen, oder -CN ist;

$R^{13}$   $-(C_1-C_6)$ Alkyl, -Phenyl, oder -Naphtyl ist, jedes unsubstituiert oder substituiert mit einem oder mehr aus  $-(C_1-C_6)$ Alkyl, -phenyl, oder -naphtyl ist;

$R^{14}$  wie oben für  $R^{13}$  definiert ist; und

$R^{15}$  wie oben für  $R^1$  definiert ist;

x unabhängig ein Kohlenstoff- oder Stickstoffatom ist; und

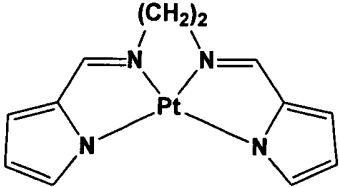
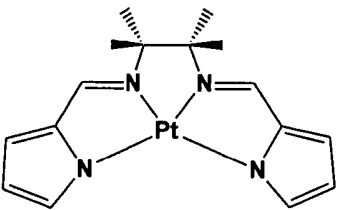
n eine ganze Zahl von 1 bis 6 ist.

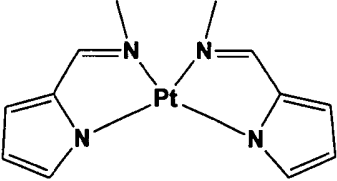
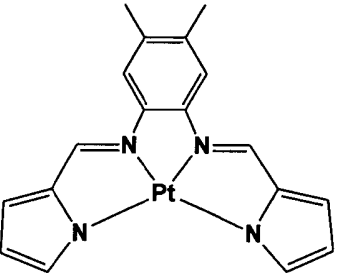
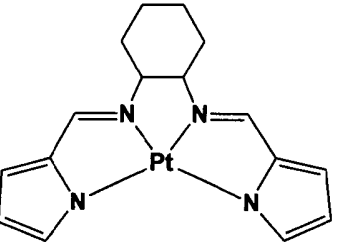
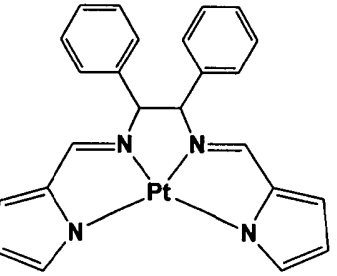
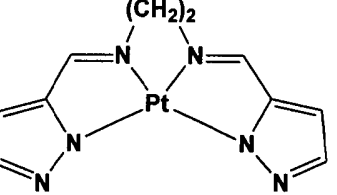
**[0054]** In einigen Ausführungsformen können die Verbindungen der Formeln (I), (II), (III) oder (IV)  $R^1$ - $R^{10}$ -Gruppen umfassen, welche Elektronen-donatoren sind. Nicht einschränkende Beispiele von Elektronen-donatorgruppen sind Amine enthaltend  $N-(R^{14})_2$  und  $-OR^{14}$ .

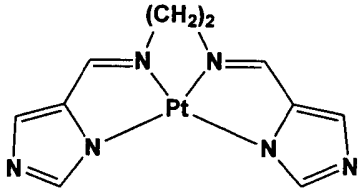
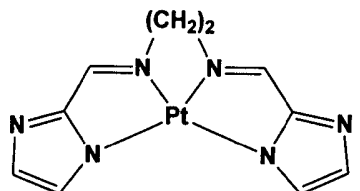
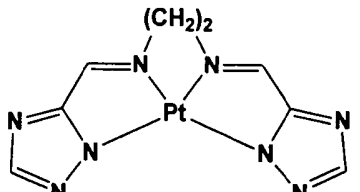
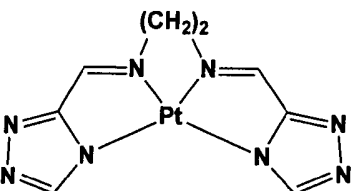
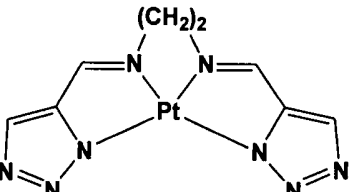
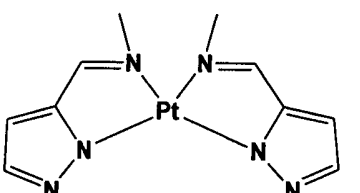
**[0055]** In einigen Ausführungsformen können die Verbindungen der Formeln (I), (II), (III) oder (IV)  $R^1$ - $R^{10}$ -Gruppen umfassen, welche Elektronen-akzeptoren sind. Nicht einschränkende Beispiele für Elektronen-akzeptorgruppen schließen -F, -Cl, -Br, -I,  $-NO_2$ ,  $-C(O)$ ,  $-(C_1-C_6)$ ,  $-C(O)O(C_1-C_6)$ , -SCN,  $-SO_3F$  und -CN ein.

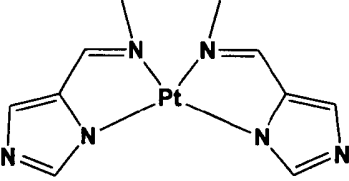
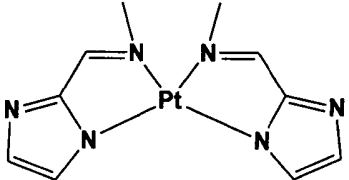
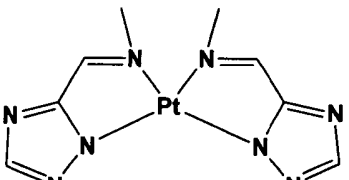
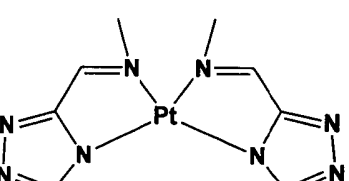
**[0056]** Einige illustrative Beispiele und beispielhafte Verbindungen der Formeln (I) und (II) sind unten in Tabelle 1 aufgelistet:

Tabelle 1

Struktur	Dotierungsmittelkomplex
	1
	2

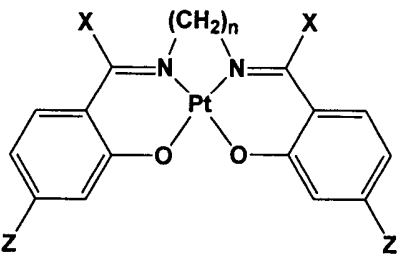
	3
	4
	5
	6
	8

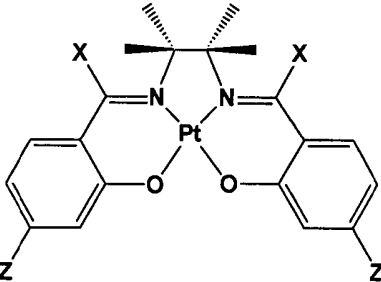
	9
	10
	11
	12
	13
	14

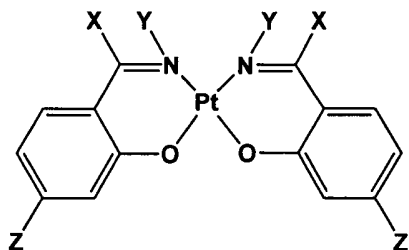
	15
	16
	17
	18

[0057] Einige illustrative Beispiele und beispielhafte Verbindungen der Formel (III) und (IV) sind unten in Tabelle 2 aufgelistet:

Tabelle 2

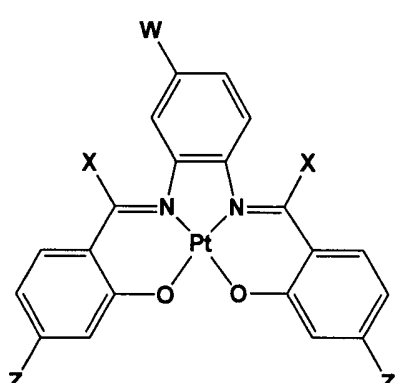
Struktur	Dotierungsmittelkomplex
	<p><b>19:</b> <math>n = 2, X = H, Z = H</math></p> <p><b>20:</b> <math>n = 2, X = H, Z = Cl</math></p> <p><b>21:</b> <math>n = 2, X = H, Z = Br</math></p> <p><b>22:</b> <math>n = 2, X = H, Z = F</math></p> <p><b>23:</b> <math>n = 2, X = H, Z = I</math></p> <p><b>24:</b> <math>n = 2, X = H, Z = CH_3</math></p> <p><b>25:</b> <math>n = 2, X = H, Z = t\text{-butyl}</math></p> <p><b>26:</b> <math>n = 2, X = H, Z = NO_2</math></p> <p><b>27:</b> <math>n = 3, X = H, Z = H</math></p> <p><b>28:</b> <math>n = 3, X = H, Z = Cl</math></p> <p><b>29:</b> <math>n = 3, X = H, Z = Br</math></p> <p><b>30:</b> <math>n = 3, X = H, Z = F</math></p> <p><b>31:</b> <math>n = 3, X = H, Z = I</math></p> <p><b>32:</b> <math>n = 3, X = H, Z = CH_3</math></p> <p><b>33:</b> <math>n = 3, X = H, Z = t\text{-butyl}</math></p> <p><b>34:</b> <math>n = 3, X = H, Z = NO_2</math></p> <p><b>35:</b> <math>n = 2, X = CH_3, Z = H</math></p> <p><b>36:</b> <math>n = 2, X = CH_3, Z = Cl</math></p> <p><b>37:</b> <math>n = 2, X = CH_3, Z = Br</math></p> <p><b>38:</b> <math>n = 2, X = CH_3, Z = F</math></p> <p><b>39:</b> <math>n = 2, X = CH_3, Z = I</math></p> <p><b>40:</b> <math>n = 2, X = CH_3, Z = CH_3</math></p> <p><b>41:</b> <math>n = 2, X = CH_3, Z = t\text{-butyl}</math></p> <p><b>42:</b> <math>n = 2, X = CH_3, Z = NO_2</math></p> <p><b>43:</b> <math>n = 3, X = CH_3, Z = H</math></p> <p><b>44:</b> <math>n = 3, X = CH_3, Z = Cl</math></p> <p><b>45:</b> <math>n = 3, X = CH_3, Z = Br</math></p>

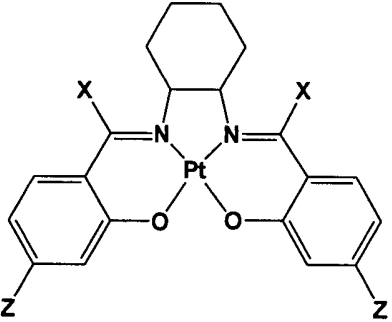
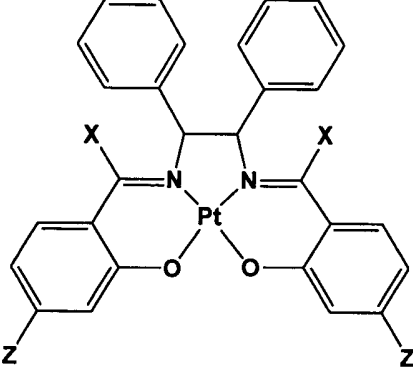
	<p>46: <math>n = 3</math>, <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{F}</math>  47: <math>n = 3</math>, <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{I}</math>  48: <math>n = 3</math>, <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{CH}_3</math>  49: <math>n = 3</math>, <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{t-butyl}</math>  50: <math>n = 3</math>, <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{NO}_2</math></p>
	<p>51: <math>X = \text{H}</math>, <math>Z = \text{H}</math>  52: <math>X = \text{H}</math>, <math>Z = \text{Cl}</math>  53: <math>X = \text{H}</math>, <math>Z = \text{Br}</math>  54: <math>X = \text{H}</math>, <math>Z = \text{F}</math>  55: <math>X = \text{H}</math>, <math>Z = \text{I}</math>  56: <math>X = \text{H}</math>, <math>Z = \text{CH}_3</math>  57: <math>X = \text{H}</math>, <math>Z = \text{t-butyl}</math>  58: <math>X = \text{H}</math>, <math>Z = \text{NO}_2</math>  59: <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{H}</math>  60: <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{Cl}</math>  61: <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{Br}</math>  62: <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{F}</math>  63: <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{I}</math>  64: <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{CH}_3</math>  65: <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{t-butyl}</math>  66: <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{NO}_2</math></p>
	<p>67: <math>X = \text{H}</math>, <math>Y = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{H}</math>  68: <math>X = \text{H}</math>, <math>Y = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{Cl}</math>  69: <math>X = \text{H}</math>, <math>Y = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{Br}</math>  70: <math>X = \text{H}</math>, <math>Y = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{F}</math>  71: <math>X = \text{H}</math>, <math>Y = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{I}</math>  72: <math>X = \text{H}</math>, <math>Y = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{CH}_3</math>  73: <math>X = \text{H}</math>, <math>Y = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{t-butyl}</math>  74: <math>X = \text{H}</math>, <math>Y = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{NO}_2</math>  75: <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Y = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{H}</math>  76: <math>X = \text{CH}_3</math>, <math>Y = \text{CH}_3</math>, <math>Z = \text{Cl}</math></p>

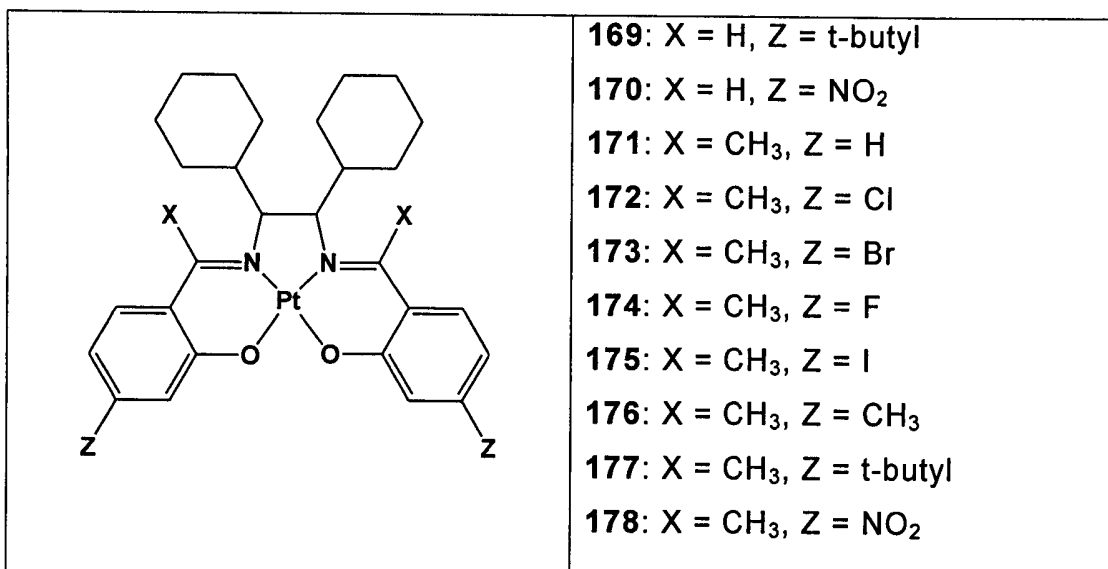


- 77:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CH<sub>3</sub>, Z = Br  
**78:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CH<sub>3</sub>, Z = F  
**79:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CH<sub>3</sub>, Z = I  
**80:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CH<sub>3</sub>, Z = CH<sub>3</sub>  
**81:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CH<sub>3</sub>, Z = t-butyl  
**82:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CH<sub>3</sub>, Z = NO<sub>2</sub>  
**83:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CN, Z = H  
**84:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CN, Z = Cl  
**85:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CN, Z = Br  
**86:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CN, Z = F  
**87:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CN, Z = I  
**88:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CN, Z = CH<sub>3</sub>  
**89:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CN, Z = t-butyl  
**90:** X = CH<sub>3</sub>, Y = CN, Z = NO<sub>2</sub>  
**91:** X = H, Y = CN, Z = H  
**92:** X = H, Y = CN, Z = Cl  
**93:** X = H, Y = CN, Z = Br  
**94:** X = H, Y = CN, Z = F  
**95:** X = H, Y = CN, Z = I  
**96:** X = H, Y = CN, Z = CH<sub>3</sub>  
**97:** X = H, Y = CN, Z = t-butyl  
**98:** X = H, Y = CN, Z = NO<sub>2</sub>
- 99:** X = H, W = H, Z = H  
**100:** X = H, W = H, Z = Cl  
**101:** X = H, W = H, Z = Br  
**102:** X = H, W = H, Z = F  
**103:** X = H, W = H, Z = I  
**104:** X = H, W = H, Z = CH<sub>3</sub>  
**105:** X = H, W = H, Z = t-butyl  
**106:** X = H, W = H, Z = NO<sub>2</sub>



	<p> <b>107:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = H, Z = H  <b>108:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = H, Z = Cl  <b>109:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = H, Z = Br  <b>110:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = H, Z = F  <b>111:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = H, Z = I  <b>112:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = H, Z = CH<sub>3</sub>  <b>113:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = H, Z = t-butyl  <b>114:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = H, Z = NO<sub>2</sub>  <b>115:</b> X = H, W = CH<sub>3</sub>, Z = H  <b>116:</b> X = H, W = CH<sub>3</sub>, Z = Cl  <b>117:</b> X = H, W = CH<sub>3</sub>, Z = Br  <b>118:</b> X = H, W = CH<sub>3</sub>, Z = F  <b>119:</b> X = H, W = CH<sub>3</sub>, Z = I  <b>120:</b> X = H, W = CH<sub>3</sub>, Z = CH<sub>3</sub>  <b>121:</b> X = H, W = CH<sub>3</sub>, Z = t-butyl  <b>122:</b> X = H, W = CH<sub>3</sub>, Z = NO<sub>2</sub>  <b>123:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = CH<sub>3</sub>, Z = H  <b>124:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = CH<sub>3</sub>, Z = Cl  <b>125:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = CH<sub>3</sub>, Z = Br  <b>126:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = CH<sub>3</sub>, Z = F  <b>127:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = CH<sub>3</sub>, Z = I  <b>128:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = CH<sub>3</sub>, Z = CH<sub>3</sub>  <b>129:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = CH<sub>3</sub>, Z = t-butyl  <b>130:</b> X = CH<sub>3</sub>, W = CH<sub>3</sub>, Z = NO<sub>2</sub> </p>
	<p> <b>131:</b> X = H, Z = H  <b>132:</b> X = H, Z = Cl  <b>133:</b> X = H, Z = Br  <b>134:</b> X = H, Z = F  <b>135:</b> X = H, Z = I  <b>136:</b> X = H, Z = CH<sub>3</sub>  <b>137:</b> X = H, Z = t-butyl         </p>

	<p> <b>138:</b> X = H, Z = NO<sub>2</sub>  <b>139:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = H  <b>140:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = Cl  <b>141:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = Br  <b>142:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = F  <b>143:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = I  <b>144:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = CH<sub>3</sub>  <b>145:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = t-butyl  <b>146:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = NO<sub>2</sub> </p>
	<p> <b>147:</b> X = H, Z = H  <b>148:</b> X = H, Z = Cl  <b>149:</b> X = H, Z = Br  <b>150:</b> X = H, Z = F  <b>151:</b> X = H, Z = I  <b>152:</b> X = H, Z = CH<sub>3</sub>  <b>153:</b> X = H, Z = t-butyl  <b>154:</b> X = H, Z = NO<sub>2</sub>  <b>155:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = H  <b>156:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = Cl  <b>157:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = Br  <b>158:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = F  <b>159:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = I  <b>160:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = CH<sub>3</sub>  <b>161:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = t-butyl  <b>162:</b> X = CH<sub>3</sub>, Z = NO<sub>2</sub> </p>
	<p> <b>163:</b> X = H, Z = H  <b>164:</b> X = H, Z = Cl  <b>165:</b> X = H, Z = Br  <b>166:</b> X = H, Z = F  <b>167:</b> X = H, Z = I  <b>168:</b> X = H, Z = CH<sub>3</sub> </p>



**[0058]** Nicht einschränkende Beispiele von bidentaten Liganden des NN-Typs beinhalten solche, welche oben für Dotierungsmittelkomplexe 3 und 14 bis 18 gezeigt wurden. Liganden des NN-Typs sind beispielsweise ausgewählt aus Liganden bestehend aus wenigstens einem unsubstituierten 5-gliedrigen oder 6-gliedrigen Ring oder einem substituierten 5-gliedrigen oder 6-gliedrigen Ring; wobei der substituierte 5-gliedrige oder 6-gliedrige Ring wenigstens einen Substituenten ausgewählt aus den Gruppen; ein Wasserstoff, ein Halogen, eine Hydroxylgruppe, eine Alkylgruppe, eine Cycloalkylgruppe, eine Arylgruppe, eine Acylgruppe, eine Alkoxygruppe, eine Acyloxygruppe, eine Aminogruppe, eine Acylaminogruppe, eine Aralkylgruppe, eine Cyano- gruppe, eine Carboxylgruppe, eine Thiogruppe, eine Vinylgruppe, eine Styrylgruppe, eine Aminocarbonylgruppe, eine Carbonylgruppe, eine Aranylgruppe, eine Aryloxycarbonylgruppe, eine Xylyloxycarbonylgruppe, eine Phenoxy-carbonylgruppe oder eine Alkoxy-carbonylgruppe, wie auch die genannten Donator- oder Akzeptor- gruppen; wobei die Substituenten, beispielsweise, eine Arylgruppe, miteinander kombiniert werden können, um einen substituierten oder unsubstituierten, gesättigten oder ungesättigten Ring mit jeglicher Anzahl von Gliedern zu bilden. In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Übergangsmetall Pt.

**[0059]** Nicht einschränkende Beispiele von bidentaten Liganden des NO-Typs beinhalten solche, welche oben für die Dotierungsmittelkomplexe 67 bis 98 gezeigt wurden. Beispielsweise sind Liganden des NO-Typs ausgewählt aus Liganden bestehend aus wenigstens einem unsubstituierten 6-gliedrigen oder 5-gliedrigen Ring oder einem substituierten 6-gliedrigen oder 5-gliedrigen Ring; wobei der substituierte 6-gliedrige oder 5-gliedrige Ring wenigstens einen Substituenten ausgewählt sind aus den Gruppen; ein Wasserstoff, ein Halogen, eine Hydroxylgruppe, eine Alkylgruppe, eine Cycloalkylgruppe, eine Arylgruppe, eine Acylgruppe, eine Alkoxygruppe, eine Acyloxygruppe, eine Aminogruppe, eine Acylaminogruppe, eine Aralkylgruppe, eine Cyano- gruppe, eine Carboxylgruppe, eine Thiogruppe, eine Vinylgruppe, eine Styrylgruppe, eine Aminocarbonyl- gruppe, eine Carbonylgruppe, eine Aranylgruppe, eine Aryloxycarbonylgruppe, eine Xylyloxycarbonylgruppe, eine Phenoxy-carbonylgruppe oder eine Alkoxy-carbonylgruppe, wie auch die oben genannten Donator- oder Akzeptorgruppen; wobei die Substituenten, beispielsweise eine Arylgruppe, miteinander kombiniert werden können, um substituierte oder unsubstituierte, gesättigte oder ungesättigte Ringe mit jeglicher Zahl von Gliedern zu bilden. In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Übergangsmetall Pt.

**[0060]** Nicht einschränkende Beispiele für Liganden des NNNN-Typs beinhalten solche, welche oben für die Dotierungsmittelkomplexe 1 bis 2 und 4 bis 13 gezeigt wurden. Beispielsweise sind Liganden des NNNN-Typs ausgewählt aus Liganden bestehend aus wenigstens einem unsubstituierten 5-gliedrigen oder 6-gliedrigen Ring oder einem substituierten 5-gliedrigen oder 6-gliedrigen Ring; wobei solche substituierten 5-gliedrigen oder 6-gliedrigen Ringe wenigstens einen Substituenten ausgewählt sind aus der Gruppe; ein Wasserstoff, ein Halogen, eine Hydroxylgruppe, eine Alkylgruppe, eine Cycloalkylgruppe, eine Arylgruppe, eine Acylgruppe, eine Alkoxygruppe, eine Acyloxygruppe, eine Aminogruppe, eine Acylaminogruppe, eine Aralkylgruppe, eine Cyano- gruppe, eine Carboxylgruppe, eine Thiogruppe, eine Vinylgruppe, eine Styrylgruppe, eine Aminocarbonyl- gruppe, eine Carbonylgruppe, eine Aranylgruppe, eine Aryloxycarbonylgruppe, eine Xylyloxycarbonylgruppe, eine Phenoxy-carbonylgruppe oder eine Alkoxy-carbonylgruppe, wie auch die bekannten Donator- und Akzeptorgruppen; wobei die Substituenten, beispielsweise eine Arylgruppe, miteinander kombiniert werden können, um einen substituierten oder unsubstituierten, gesättigten oder ungesättigten Ring mit jeglicher Anzahl von Gliedern zu bilden. In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Übergangsmetall Pt.

**[0061]** Nicht einschränkende Beispiele für Liganden des NOON-Typs beinhalten solche, welche oben für die Dotierungsmittelkomplexe 19 bis 66 und 99 bis 178 gezeigt werden. Beispielsweise sind Liganden des NOON-Typs ausgewählt aus Liganden bestehend aus wenigstens einem unsubstituierten 6-gliedrigen oder 5-gliedrigen Ring oder einem unsubstituierten 6-gliedrigen oder 5-gliedrigen Ring; wobei solche substituierten 6-gliedrigen oder 5-gliedrigen Ringe beinhalten wenigstens einen Substituenten ausgewählt sind aus den Gruppen; ein Wasserstoff, ein Halogen, eine Hydroxylgruppe, eine Alkylgruppe, eine Cycloalkylgruppe, eine Arylgruppe, eine Acylgruppe, ein Alkoxy, eine Acyloxygruppe, eine Aminogruppe, eine Acylaminogruppe, eine Aralkylgruppe, eine Cyanogruppe, eine Carboxylgruppe, eine Thiogruppe, eine Vinylgruppe, eine Styrylgruppe, eine Aminocarbonylgruppe, eine Carbonylgruppe, eine Aranylgruppe, eine Aryloxycarbonylgruppe, eine Xylyloxycarbonylgruppe, eine Phenoxycarbonylgruppe oder eine Alkoxycarbonylgruppe, wie auch die bekannten Donator- oder Akzeptorgruppen; wobei die Substituenten, beispielsweise eine Arylgruppe, miteinander kombiniert werden können, um einen substituierten oder unsubstituierten, gesättigten oder ungesättigten Ring mit jeglicher Anzahl von Gliedern zu bilden. In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Übergangsmetall Pt.

**[0062]** Die vorliegende Erfindung ist auch auf Verfahren zur Herstellung von OLEDs gerichtet, welche durch ein Dampfabscheidungsverfahren hergestellt werden können.

**[0063]** In einer Ausführungsform beinhalten OLEDs eine Anode, eine Loch-transportierende Schicht, eine emittierende Schicht umfassend wenigstens ein Wirtsmaterial und wenigstens einen Dotierungsmittelkomplex, eine Loch-blockierende Schicht, eine Elektronen-transportierende Schicht, eine Ladungs-injizierende Schicht und eine Kathode.

**[0064]** Nicht einschränkende Beispiele einer Anode, welche nützlich in OLEDs ist, sind Indium-Zinn-Oxid (ITO) und dotierte Polyaniline.

**[0065]** Nicht einschränkende Beispiele für Loch-transportierende Materialien nützlich für die vorliegende Erfindung sind Beryllium-bis(2-(2'-hydroxyphenyl)pyridin), 4,4'-bis(Carbazol-9-yl)biphenyl (CBP), N,N'-Diphenyl-N,N'-bis(1-naphthalin)benzidine ( $\alpha$ -NPB), N,N'-Diphenyl-N,N'-bis(2-naphthalin)benzidin ( $\beta$ -NPB), N,N'-bis(3-Methylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidin (TPD), 4,4',4''-tris(N-3-Methylphenyl-N-phenylamino)triphenylamin (m-TDATA) und tetrakis-(Diaryl-amino)-9,9'-spirobifluorene.

**[0066]** Nicht einschränkende Beispiele für Wirtsmaterialien nützlich in der vorliegenden Erfindung beinhalten Beryllium-bis(2-(2'-hydroxyphenyl)pyridin), 4,4'-bis(Carbazol-9-yl)biphenyl (CBP), N,N'-Diphenyl-N,N'-bis(1-naphthalin)benzidin ( $\alpha$ -NPB), N,N'-Diphenyl-N,N'-bis(2-naphthalin)benzidin ( $\beta$ -NPB), N,N'-bis(3-Methylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidin (TPD), 4,4',4''-tris(N-3-Methylphenyl-N-phenyl-amino)triphenylamin (m-TDATA) und tetrakis(Diaryl-amino)-9,9'-spirobifluorene, Beryllium-bis(2-(2'-hydroxyphenyl)pyridin) (Bepp<sub>2</sub>), 3-Phenyl-4-(1'-naphthyl)-5-phenyl-1,2,4-triazol (TAZ); 2,9-Dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthrolin (BCP), 1,3-bis(N,N-t-butyl-Phenyl)-1,3,4-oxadiazol (OXD7), und 1,3,5-Tris(3-methyldiphenylamino)benzol (m-MTDAB).

**[0067]** Gemäß dieser Erfindung wird wenigstens ein geeignetes Wirtsmaterial in einer emittierenden Schicht zusammen mit wenigstens einem Dotierungsmittelkomplex eingesetzt.

**[0068]** Nicht einschränkende Beispiele für Dotierungsmittelkomplexe, in beiden geometrischen Isomeren, umfassend ein Übergangsmetall, welches an zwei bidentate Liganden des NN-Typs, oder an zwei bidentate Liganden des NO-Typs, oder an einen tetradentaten Liganden des NNNN-Typs, oder einen tetradentaten Liganden des NOON-Typs enthalten solche wie in Tabelle 1 und 2 oben für Dotierungsmittelkomplexe 1 bis 178 gezeigt sind. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Dotierungsmittelkomplexe ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Dotierungsmittelkomplexen 1 bis 18, 19, 22, 24 bis 25, 27, 30, 32 bis 33, 35, 38, 40 bis 41, 43, 46, 48 bis 49, 51, 54, 56 bis 57, 59, 62, 64 bis 65, 99, 102, 104 bis 105, 107, 110, 112 bis 113, 115, 118, 120 bis 121, 123, 126, 128 bis 129 und Mischungen davon. Stärker bevorzugt sind Dotierungsmittelkomplexe 1, 2, 4, 19, 35, 51, 99 und 104.

**[0069]** Nicht einschränkende Beispiele für eine Loch-blockierende Schicht geeignet für die vorliegende Erfindung beinhalten 3,4,5-Triphenyl-1,2,4-triazol, 3-(Biphenyl-4-yl)-4-phenyl-5-(4-tert-butylphenyl)-1,2,4-triazol (TAZ), 2,9-Dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthrolin (BCP) und 1,3,5-tris[5-(4-(1,1-Dimethylethyl)phenyl)-1,3,4-oxadiazol-2-yl]benzol (TBOP).

**[0070]** Nicht einschränkende Beispiele für Elektronen-transportierende Materialien für die vorliegende Erfindung beinhalten tris(8-Hydroxyquinolato)aluminium (Alq<sub>3</sub>) und 2-(4-biphenyl)-5-(p-tert-butylphe-

nyl)-1,3,4-oxadiazol.

**[0071]** Nicht einschränkende Beispiele für eine Ladung-injizierende Schicht geeignet für die vorliegende Erfindung enthalten Lithiumfluorid, Cäsiumfluorid und Lithiumbenzoat.

**[0072]** Nicht einschränkende Beispiele für Metalle mit niedriger Austrittsarbeit zur Verwendung als Kathode in der vorliegenden Erfindung enthalten Aluminium, Kalium, Lithium, Magnesium, Silber, Gold, Rubidium, Beryllium und Cäsium.

**[0073]** In einer bevorzugten Ausführungsform enthält das OLED, welches hierin beschrieben wird, Heterostrukturen zur Erzeugung von Elektrolumineszenz, welche eine Anode (ITO Glas-Substanz), eine Loch-transportierende Schicht (N,N'-Diphenyl-N,N'-bis(2-naphthalin)-benzidin ( $\beta$ -NPB)), eine emittierende Matrix-Schicht enthaltend ein Wirtsmaterial 4,4'-bis(Carbazol-9-yl)biphenyl (CBP) und einen elektrophosphoreszierenden Dotierungsmittelkomplex wie dargestellt in den Formeln I, II, III oder IV, eine Loch-blockierende Schicht (2,9-Dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthrolin (BCP)), eine Elektronen-transportierende Schicht (tris(8-Hydroxyquinolato-aluminium (Alq<sub>3</sub>))), eine Ladungs-injizierende Schicht (Lithiumfluorid) und eine Kathode (Aluminiummetall) enthalten.

**[0074]** Bevorzugt sind gemäß der vorliegenden Erfindung OLEDs, umfassend Dotierungsmittelkomplexe wie in Formeln I, II, III oder IV gezeigt, welche rote, orange oder gelbe Elektrolumineszenz ausstrahlen. Die Konzentration der Dotierungsmittelkomplexe in der emittierenden Schicht kann von 0,5 bis 8,0 Gew.-% basierend auf der Effizienz der Energieumwandlung zwischen Dotierungsmittelkomplex und Wirtsmaterialien und der molekularen Struktur der Dotierungsmittelkomplexe liegen. Es können auch andere Konzentrationen verwendet werden.

**[0075]** Die folgenden Beispiele werden gezeigt, um dabei zu helfen die Erfindungen zu verstehen und sind nicht dazu gedacht, und sollten nicht so interpretiert werden, die beanspruchte Erfindung in irgendeiner Art einzuschränken.

#### Beispiel 1

**[0076]** Beispiel 1 zeigt die Synthese des Dotierungsmittelkomplexes 1. Der tetradentate Ligand des NNNN-Typs wurde gemäß einer Modifikation eines Literaturverfahrens hergestellt (siehe Bacchi et al., *Inorganica Chimica Acta*. 342:229, (2003); Male et al., *J. Chem. Soc., Dalton Trans.* 2487, (1997)).

#### Synthese des Dotierungsmittelkomplexes 1

**[0077]** Natriumacetat (0,077 g, 0,94 mmol) wurden in einer DMF-Lösung (10 mL) eines bidentaten Liganden, N,N-bis-(1H-Pyrrol-2-ylmethyl)-ethan-1,2-diamin (0,1 g, 0,47 mmol) gelöst. K<sub>2</sub>PtCl<sub>4</sub> (0,19 g, 0,47 mmol) gelöst in DMSO (1 mL) wurden tropfenweise der Suspension bei 80 °C hinzugefügt. Die resultierende gelbe Lösung wurde orange-rot nachdem sie bei 80 °C für vier Stunden gerührt worden ist. Nach Abkühlen wurde destilliertes Wasser (50 mL) zu der orange-roten Mischung gegeben, wobei ein orange-brauner Niederschlag ausfiel.

**[0078]** Das feste Produkt wurde abgefiltert und mit H<sub>2</sub>O (2 × 10 mL) gewaschen, um einen orange-braunen Feststoff zu ergeben, welcher dann durch Silicagel-Säulenchromatographie mit CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> als Flussmittel gereinigt wurde. Entfernen des Lösungsmittels gab einen orangen Feststoff. Orange-rote Kristalle wurden durch langsames Verdampfen einer Acetonitril-Lösung des orangen Feststoffes erhalten. Ausbeute: 42 mg (22 %). <sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>).  $\delta$  = 7,67 (s, 2H, HC=N), 7,10 (m, 2H, Pyrrol), 6,71 (d, J = 3,3 Hz, 2H, Pyrrol), 6,29 (dd, J = 3,9, 1,8 Hz, 2H, Pyrrol), 4,18 (s, 4H, CH<sub>2</sub>). <sup>13</sup>C-NMR (CDCl<sub>3</sub>).  $\delta$  = 155,7, 145,4, 137,7, 119,0, 110,7, 59,4, FAB-MS (m-NBA) (m/z): 407 {M<sup>+</sup>}. IR(KBr):  $\nu$  = 3107, 3095, 3028, 2998, 2913, 1582, 1570 cm<sup>-1</sup>. Berechnete Elementaranalyse (%) für C<sub>12</sub>H<sub>12</sub>N<sub>4</sub>Pt: C, 35,38; H, 2,97; N, 13,75. Gefunden: C, 34,89; H, 2,98; N, 13,29.

#### Beispiel 2

**[0079]** Beispiel 2 zeigt die photophysikalischen Eigenschaften eines nicht einschränkenden illustrativen emittierenden Materials korrespondierend zu den Dotierungsmittelkomplexen 1, 2 und 4 der vorliegenden Erfindung. Die Absorptions- und Photolumineszenz-Eigenschaften der Dotierungsmittelkomplexe werden in Tabelle 3 vorgestellt. UV/vis Absorptions-, Anregungs- und Emissionsspektren der Dotierungsmittelkomplexe 1, 2 und 4 werden in [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) jeweils gezeigt. Das Photolumineszenz-(PL)-Spektrum ist im Wesentlichen unab-

hängig von der Anregungswellenlänge von 300 bis 450 nm. Bei Raumtemperatur werden starke PL-Emissionen mit Quanten-ausbeuten ( $\Phi$ ) von bis zu 0,110 in  $\text{CH}_3\text{CN}$  erhalten. Die Emissionslebensdauern der Dotierungsmittelkomplexe liegen bei 0,57 bis 4,25  $\mu\text{s}$ .

Tabelle 3: Physikalische Charakterisierung der Dotierungsmittelkomplexe 1, 2 und 4

Dotierungsmittelkomplex	$\lambda_{\text{abs., sol.}} \text{ (nm)}$ $[\epsilon(10^{-4} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1})]^a$	$\lambda_{\text{em., sol.}} \text{ (nm)}$	$\tau \text{ (}\mu\text{s)}^b [\Phi_{\text{em., sol.}}]$
1	278 [1,52], 307 [1,47], 317 [1,56], 372 [sh, 1,34], 388 [1,85], 438 [0,45], 459 [sh, 0,36]	566 (max), 613	4,25 [0,097]
2	279 [1,45], 316 [1,64], 367 [1,36], 383 [1,82], 431 [0,48], 448 [sh, 0,41]	563 (max), 606, 656	3,60 [0,110]
4	246 [1,19], 310 [sh, 1,94], 324 [2,57], 379 [1,99], 390 [sh, 1,80], 478 [sh, 1,20], 498 [1,30], 520 [sh, 1,06]	680 (max), 740, 822	0,57 [0,001]

<sup>a</sup> UV/vis und PL-Emissionen wurden in Acetonitril ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) gemessen

<sup>b</sup> Die Lebensdauer wurde bei dem Peak-Maximum gemessen

**[0080]** Fig. 1 zeigt representative UV/vis-Absorptions-, Anregungs- und Emissions-Spektren des Dotierungsmittelkomplexes 1 in  $\text{CH}_3\text{CN}$ -Lösung. Die Lösung weist starke Absorptionsbanden im Bereich von 278 bis 388 nm ( $\epsilon = 1,52$  bis  $1,85 \times 10^{-4} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) und mäßig intensive Absorptionsbanden von 438 bis 459 nm ( $\epsilon = 0,45$  bis  $0,36 \times 10^{-4} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) auf. Bei Anregung bei 459 nm wird eine orange Photolumineszenz (PL)-Emission mit  $\lambda_{\text{max}}$  566 nm und 613 nm erhalten. PL Lichtausbeute ( $\Phi$ ) des Komplexes 1 ist 0,097.

**[0081]** Fig. 2 zeigt die UV/vis-, Anregungs- und Emissionsspektren von Dotierungsmittelkomplex 2 in  $\text{CH}_3\text{CN}$ -Lösung. Die Lösung zeigt einige vibronische Absorptionsübergänge im Bereich von 279 bis 383 nm ( $\epsilon = 1,45$  bis  $1,82 \times 10^{-4} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) und mäßig intensive Absorptionsbanden von 431 bis 448 nm ( $\epsilon = 0,48$  bis  $0,41 \times 10^{-4} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ). Der Dotierungsmittelkomplex 2 weist orange PL-Emissionsbanden bei  $\lambda_{\text{max}}$  563 nm und 656 nm auf, während die Anregungswellenlänge bei 431 nm liegt. PL Lichtausbeute ( $\Phi$ ) von Komplex 2 ist 0,110.

**[0082]** Fig. 3 zeigt die UV/vis-, Absorptions-, Anregungs- und Emissionsspektren von Dotierungsmittelkomplex 4 in  $\text{CH}_3\text{CN}$  Lösung. Das UV/vis-Absorptionsspektrum zeigt vibronische Absorptionsübergänge im Bereich von 246 bis 390 nm ( $\epsilon = 1,19$  bis  $1,80 \times 10^{-4} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) und mäßig intensive Absorptionsbanden von 478 bis 520 nm ( $\epsilon = 1,20$  bis  $1,06 \times 10^{-4} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ). Das PL-Spektrum von Dotierungsmittel 4 in  $\text{CH}_3\text{CN}$  zeigt eine tiefrote Emission bei  $\lambda_{\text{max}}$  680 und 740 nm. PL Lichtausbeute ( $\Phi$ ) von Komplex 4 ist 0,001.

### Beispiel 3

**[0083]** Beispiel 3 illustriert ein nicht einschränkendes Verfahren zur Herstellung eines OLEDs gemäß der vor-

liegenden Erfindung. Die elektrolumineszenten Bauteile wurden auf strukturierten Indium-Zinn-Oxid (ITO) mit einem Schichtwiderstand von  $20 \Omega/\text{square}$  hergestellt. Das Glas wurde nacheinander in einer Reinigungsmittellösung, entionisiertem Wasser, Ethanol und Aceton gereinigt. Nach dem Nass-Reinigungsprozess wurde das ITO-Glas bei  $130^\circ\text{C}$  für eine Stunde getrocknet und in einem UV-Ozon-Reiniger für 10 Minuten behandelt. Bei der Durchführung dieses Beispiels der vorliegenden Erfindung ist die Bauteilkonfiguration ITO/NPB (40 nm)/CBP:X Gewichtsprozent Dotierungsmittelkomplex wie in den Formeln (I), (II), (III) oder (IV) illustriert, (30 nm)/BCP (20 nm)/Alq<sub>3</sub> (30 nm)/LiF (0,5 nm)/Al (150 nm); Alle Schichten ließ man nacheinander durch thermische Ablagerung bei einer Ablagerungsgeschwindigkeit von ungefähr 0,2 A/sec oder ungefähr 5 A/sec bei einem Vakuum von  $1 \times 10^{-6}$  Torr wachsen.

**[0084]** Die Konfiguration des OLEDs gemäß der vorliegenden Erfindung ist schematisch in **Fig. 4** gezeigt. Das Bauteil hat vielfache Schichten wie gezeigt. Insbesondere wird Anodenschicht **410**, welche bevorzugt Indium-Zinn-Oxid umfasst auf die Substratschicht **405** aufgebracht. Das Substrat kann Glas oder ein anderes Material sein, durch welches die Elektrolumineszenz hindurch gehen kann. Loch-transportierende Schicht **415** umfassend NPB wird auf die Oberfläche von Schicht **410** aufgebracht. Emittierende Schicht **420**, in der CBP-Wirt und ein Dotierungsmittelkomplex eingesetzt sind, ist in Kontakt mit der Loch-transportierenden Schicht **415**. Eine Loch-blockierende Schicht **425** enthaltend BCP wird auf die emittierende Schicht **420** aufgebracht. Benachbart zu der Loch-blockierenden Schicht **425**, ist eine Elektronen-transportierende Schicht **430**, bevorzugt Alq<sub>3</sub>, aufgebracht. Eine Ladungs-injizierende Schicht **435** umfassend LiF wird dann auf die Schicht **430** aufgebracht. Auf der Oberfläche der Schicht **435** wird eine Kathodenschicht **440** hergestellt. Bevorzugt ist die Dicke des NPB 40 nm (Loch-transportierende Schicht **415**), und die emittierende Schicht **420** ist ungefähr 30 nm dick; Die Loch-blockierende Schicht **425** ist 20 nm und die Elektronen-transportierende Schicht **430** ist 30 nm. Die Leitungs-transportierende Schicht **435** ist 0,5 nm dick und die Kathodenschicht **440** ist bevorzugt 150 nm dick. Der emittierende Bereich des Bauteils beträgt  $3 \times 3 \text{ mm}^2$ , welcher als überlappender Bereich zwischen Kathode und Anode definiert ist. Obwohl nicht gezeigt, muss das Glassubstrat **405** nicht in allen Ausführungsformen der Erfindung flach sein. In einer Ausführungsform ist das Glassubstrat **405**, beispielsweise, in eine konkave Form geformt, um das Licht, welches in der emittierenden Schicht **420** generiert wird, zu fokussieren, was eine größere Lichtintensität in einer kleineren Region ergibt. In einer anderen Ausführungsform, ist das Glassubstrat **405** beispielsweise in eine konvexe Form geformt, welche das generierte Licht diffuser verteilt.

#### Beispiel 4

**[0085]** Beispiel 4 zeigt ein rotes OLED A, welches Dotierungsmittelkomplex 1 als Dotierungsmittel in einem CBP-Wirt verwendet. Die Konfiguration von Bauteil A ist ITO/NPB (40 nm)/CBP:4 Gew.-% Dotierungsmittel 1 (30 nm)/BCP (20 nm)/Alq<sub>3</sub> (30 nm)/LiF (0,5 nm)/Al (150 nm). Bei einer Konzentration des Dotierungsmittels von 4 Gew.-% wurde eine rote EL-Emission mit einem Peak-Maximum bei 620 nm entsprechend den 1931 Commission Internationale de L'Eclairage (CIE\_1931) Koordinaten von  $x = 0,62$  und  $y = 0,38$  bei 8 V erhalten. Der maximale externe Quantenwirkungsgrad ( $\eta_{\text{ext}}$ ), die Lichtausbeute ( $\eta_{\text{L}}$ ), der Leistungswirkungsgrad ( $\eta_{\text{p}}$ ) und die Helligkeit des Bauteils sind jeweils 5 %, 9,0 cd/A, 4,0 lm/W und 11000 cd/m<sup>2</sup>.

**[0086]** **Fig. 5** zeigt EL-Spektren des OLEDs A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V.

**[0087]** **Fig. 6** zeigt EL-Spektren eines OLEDs A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1 bei verschiedenen angelegten Spannungen.

**[0088]** **Fig. 7** stellt die V-I-B-Kurve des OLEDs A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1 dar.

**[0089]** **Fig. 8** zeigt den externen Quantenwirkungsgrad und die Lichtausbeute von OLED A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1.

**[0090]** Tabelle 4 zeigt die EL-Leistungsfähigkeit von OLED A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen.

Tabelle 4: EL-Leistungsfähigkeit von OLED A mit Dotierungsmittel 1 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen

Dotierungsmittel (Gew.-%)	$V_{on}$ (V)	$B_{max}$ (cd/m <sup>2</sup> )	$\eta_{ext, max}$ (%)	$\eta_L, max$ (cd/A)	$\eta_P, max$ (lm/W)
0,5	3,5	8030	4,1	7,1	3,1
1,0	3,4	9700	5,5	7,4	3,5
2,0	3,5	10050	5,9	8,6	3,8
4,0	3,2	11000	6,5	9,0	4,0
6,0	3,3	9500	5,6	7,5	3,3

## Beispiel 5

[0091] Beispiel 5 zeigt ein oranges OLED B, welches Dotierungsmittelkomplex 2 als Dotierungsmittel in einem CBP-Wirt verwendet. Die Bauteilkonfiguration ist ITO/NPB (40 nm)/CBP: 5 Gew.-% Dotierungsmittel 2 (30 nm)/BCP (20 nm)/Alq<sub>3</sub> (30 nm)/LiF (0,5 nm)/Al (150 nm). Bei 5 Gew.-% Konzentration an Dotierungsmittel wurde eine orange EL-Emission mit einem Peak-Maximum und einer Schulter bei 568 und 616 nm entsprechend den 1931 Commission Internationale de L'Eclairage (CIE\_1931) Koordinaten von x = 0,52 und y = 0,48 bei 8 V erhalten. Der maximale externe Quantenwirkungsgrad ( $\eta_{ext}$ ), die Lichtausbeute ( $\eta_L$ ), der Leistungswirkungsgrad ( $\eta_P$ ) und die Helligkeit des Bauteils sind jeweils 4,9 %, 13,1 cd/A, 5,9 lm/W und 10120 cd/m<sup>2</sup>.

[0092] Fig. 9 zeigt die EL-Spektren von OLED B mit 5 Gew.-% Dotierungsmittel 2 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V.

[0093] Fig. 10 zeigt die EL-Spektren von OLED B mit 5 Gew.-% Dotierungsmittel 2 bei verschiedenen angelegten Spannungen.

[0094] Fig. 11 zeigt die V-I-B-Kurve von OLED B mit 5 Gew.-% Dotierungsmittel 2.

[0095] Fig. 12 zeigt den externen Quantenwirkungsgrad und die Lichtausbeute von OLED B mit 5,0 Gew.-% Dotierungsmittel 2.

[0096] Tabelle 5 zeigt die EL-Leistungsfähigkeit von OLED B mit Dotierungsmittel 2 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen.

Tabelle 5: Die EL-Leistungsfähigkeit von OLED B mit Dotierungsmittel 2 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen

Dotierungsmittel (Gew.-%)	$V_{on}$ (V)	$B_{max}$ (cd/m <sup>2</sup> )	$\eta_{ext, max}$ (%)	$\eta_L, max$ (cd/A)	$\eta_P, max$ (lm/W)
1,0	3,3	8200	3,9	10,2	4,8
3,0	3,2	9150	4,4	11,9	5,3
5,0	2,9	10120	4,9	13,1	5,9
8,0	3,0	9250	4,2	11,6	5,1

## Beispiel 6

[0097] Beispiel 6 zeigt ein gelbes OLED C, welches einen Dotierungsmittelkomplex 19 als Dotierungsmittel in einem CBP-Wirt verwendet. Die Konfiguration von Bauteil C ist ITO/NPB (40 nm)/CBP: 3 Gew.-% Dotierungsmittel 19 (30 nm)/BCP (20 nm)/Alq<sub>3</sub> (30 nm)/LiF (0,5 nm)/Al (150 nm). Bei 3 Gew.-% Dotierungsmittelkonzentration wurde eine gelbe EL-Emission mit einem Peak-Maximum bei 620 nm entsprechend den 1931 Commission Internationale de L'Eclairage (CIE\_1931) Koordinaten von x = 0,49 und y = 0,50 bei 8 V erhalten. Der maximale externe Quantenwirkungsgrad ( $\eta_{ext}$ ), die Lichtausbeute ( $\eta_L$ ), der Leistungswirkungsgrad ( $\eta_P$ ) und die Helligkeit des Bauteils sind jeweils 2,3 %, 6,1 cd/A, 2,4 lm/W und 9370 cd/m<sup>2</sup>.

[0098] Fig. 13 zeigt die EL-Spektren von OLED C mit 3 Gew.-% Dotierungsmittel 19 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V.



[0099] Fig. 14 zeigt die EL-Spektren von OLED C mit 3 Gew.-% Dotierungsmittel 19 bei verschiedenen angelegten Spannungen.

[0100] Fig. 15 zeigt die V-I-B-Kurve von OLED C mit 3 Gew.-% Dotierungsmittel 19.

[0101] Fig. 16 zeigt den externen Quantenwirkungsgrad und die Lichtausbeute von OLED C mit 3,0 Gew.-% Dotierungsmittel 19.

[0102] Tabelle 6 zeigt die EL-Leistungsfähigkeit von OLED C mit Dotierungsmittel 19 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen.

Tabelle 6: EL-Leistungsfähigkeit von OLED C mit Dotierungsmittel 19 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen

Dotierungsmittel (Gew.-%)	$V_{on}$ (V)	$B_{max}$ ( $cd/m^2$ )	$\eta_{ext, max}$ (%)	$\eta_L, max$ ( $cd/A$ )	$\eta_P, max$ ( $lm/W$ )
1,0	3,4	9050	2,2	5,9	2,3
3,0	3,4	9370	2,3	6,1	2,4
5,0	3,5	6120	1,4	3,8	1,4
8,0	3,6	3460	0,81	2,1	0,85

Beispiel 7

[0103] Beispiel 7 zeigt ein gelbes OLED D, welches Dotierungsmittelkomplex 51 als Dotierungsmittel in einem CBP-Wirt verwendet. Die Konfiguration von Bauteil D ist ITO/NPB (40 nm)/CBP: 4 Gew.-% Dotierungsmittel 51 (30 nm)/BCP (20 nm)/Alq<sub>3</sub> (30 nm)/LiF (0,5 nm)/Al (150 nm). Bei 4 Gew.-% Dotierungsmittelkonzentration wurde eine gelbe EL-Emission mit einem Peak-Maximum und einer Schulter bei 550 und 590 nm entsprechend den 1931 Commission Internationale de L'Eclairage (CIE\_1931) Koordinaten von  $x = 0,48$  und  $y = 0,52$  bei 8 V erhalten. Der maximale externe Quantenwirkungsgrad ( $\eta_{ext}$ ), die Lichtausbeute ( $\eta_L$ ), der Leistungswirkungsgrad ( $\eta_P$ ) und die Helligkeit des Bauteils sind jeweils 11 %, 31  $cd/A$ , 14  $lm/W$  und 23000  $cd/m^2$ .

[0104] Fig. 17 zeigt die EL-Spektren von OLED D mit 4 Gew.-% Dotierungsmittel 51 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V.

[0105] Fig. 18 zeigt die EL-Spektren von OLED D mit 4 Gew.-% Dotierungsmittel 51 bei verschiedenen angelegten Spannungen.

[0106] Fig. 19 zeigt die V-I-B-Kurve von OLED D mit 4 Gew.-% Dotierungsmittel 51.

[0107] Fig. 20 zeigt den externen Quantenwirkungsgrad und die Lichtausbeute von OLED D mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 51.

[0108] Tabelle 7 zeigt die EL-Leistungsfähigkeit von OLED D mit Dotierungsmittel 51 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen.

Tabelle 7: EL-Leistungsfähigkeit von OLED D mit Dotierungsmittel 51 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen

Dotierungsmittel (Gew.-%)	$V_{on}$ (V)	$B_{max}$ ( $cd/m^2$ )	$\eta_{ext, max}$ (%)	$\eta_L, max$ ( $cd/A$ )	$\eta_P, max$ ( $lm/W$ )
0,5	3,8	4500	2,0	2,8	1,2
1,0	3,3	11000	5,4	14	6,2
2,0	2,9	20500	10	28	13
4,0	2,8	23000	11	31	14

Beispiel 8

[0109] Beispiel 8 zeigt ein rotes OLED E, welches einen Dotierungsmittelkomplex 99 als Dotierungsmittel in

einem CBP-Wirt verwendet. Die Konfiguration von Bauteil E ist ITO/NPB (40 nm)/CBP: 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99 (30 nm)/BCP (20 nm)/Alq<sub>3</sub> (30 nm)/LiF (0,5 nm)/Al (150 nm). Bei 1,5 Gew.-% Dotierungsmittelkonzentration wurde eine rote EL-Emission mit einem Peak-Maximum von 636 nm entsprechend den 1931 Commission Internationale de L'Eclairage (CIE\_1931) Koordinaten von x = 0,65 und y = 0,35 bei 8 V erhalten. Der maximale externe Quantenwirkungsgrad ( $\eta_{\text{ext}}$ ), die Lichtausbeute ( $\eta_{\text{L}}$ ), der Leistungswirkungsgrad ( $\eta_{\text{P}}$ ) und die Helligkeit des Bauteils sind jeweils 9,4 %, 11 cd/A, 4,9 lm/W und 17900 cd/m<sup>2</sup>.

[0110] Fig. 21 zeigt die EL-Spektren von OLED E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V.

[0111] Fig. 22 zeigt die EL-Spektren von OLED E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99 bei verschiedenen angelegten Spannungen.

[0112] Fig. 23 zeigt die V-I-B-Kurve von OLED E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99.

[0113] Fig. 24 zeigt den externen Quantenwirkungsgrad und die Lichtausbeute von OLED E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99.

[0114] Tabelle 8 zeigt die EL-Leistungsfähigkeit von OLED E mit Dotierungsmittel 99 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen.

Tabelle 8: EL-Leistungsfähigkeit von OLED E mit Dotierungsmittel 99 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen

Dotierungsmittel (Gew.-%)	V <sub>on</sub> (V)	B <sub>max</sub> (cd/m <sup>2</sup> )	$\eta_{\text{ext, max}}$ (%)	$\eta_{\text{L, max}}$ (cd/A)	$\eta_{\text{P, max}}$ (lm/W)
0,5	3,2	12200	6,1	7,2	3,3
1,0	3,2	14300	7,3	8,5	3,7
1,5	3,1	17900	9,4	11	4,9
2,5	3,3	15100	8,1	9,4	3,8
5,0	3,2	10500	5,5	6,7	2,5

#### Beispiel 9

[0115] Beispiel 9 zeigt ein rotes OLED F, welches einen Dotierungsmittelkomplex 104 als Dotierungsmittel in einem CBP-Wirt verwendet. Die Konfiguration von Bauteil F ist ITO/NPB (40 nm)/CBP: 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104 (30 nm)/BCP (20 nm)/Alq<sub>3</sub> (30 nm)/LiF (0,5 nm)/Al (150 nm). Bei 1,6 Gew.-% Dotierungsmittelkonzentration wurde eine rote EL-Emission mit einem Peak-Maximum von 628 nm entsprechend der 1931 Commission Internationale de L'Eclairage (CIE\_1931) Koordinaten von x = 0,64 und y = 0,35 bei 8 V erhalten. Der maximale externe Quantenwirkungsgrad ( $\eta_{\text{ext}}$ ), die Lichtausbeute ( $\eta_{\text{L}}$ ), der Leistungswirkungsgrad ( $\eta_{\text{P}}$ ) und die Helligkeit des Bauteils sind jeweils 6,4 %, 7,5 cd/A, 3,4 lm/W und 13600 cd/m<sup>2</sup>.

[0116] Fig. 25 zeigt die EL-Spektren von OLED F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V.

[0117] Fig. 26 zeigt die EL-Spektren von OLED F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104 bei verschiedenen angelegten Spannungen.

[0118] Fig. 27 zeigt die V-I-B-Kurve von OLED F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104.

[0119] Fig. 28 zeigt den externen Quantenwirkungsgrad und die Lichtausbeute von OLED F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104.

[0120] Tabelle 9 zeigt die EL-Leistungsfähigkeit von OLED F mit Dotierungsmittel 104 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen.

Tabelle 9: EL-Leistungsfähigkeit von OLED F mit Dotierungsmittel 104 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen

Dotierungsmittel (Gew.-%)	V <sub>on</sub> (V)	B <sub>max</sub> (cd/m <sup>2</sup> )	η <sub>ext, max</sub> (%)	η <sub>L, max</sub> (cd/A)	η <sub>P, max</sub> (lm/W)
1,0	3,1	11300	5,1	6,1	2,7
1,6	3,0	13600	6,4	7,5	3,4
2,8	3,1	10100	4,7	5,5	2,5
5,0	3,0	8500	4,1	4,7	2,2

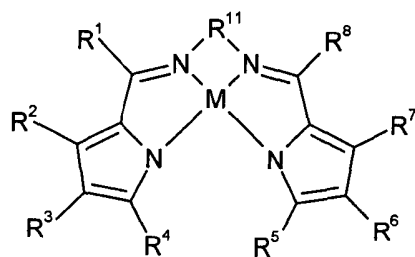
**[0121]** Die vorhergehende Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist zum Zwecke der Illustration und Erklärung dargelegt worden. Die verschiedenen zitierten Referenzen und Dokumente in der vorhergehenden Beschreibung sind hiermit alle in ihrer Gesamtheit durch Querverweis für alle Zwecke aufgenommen. Die Beschreibung ist weder dazu gedacht, vollständig zu sein, noch die Erfindung auf die präzise offenbarte Form einzuschränken. Wie erwartet, sind viele Modifikationen und Variationen für den Fachmann ersichtlich, da die Ausführungsformen gewählt und beschrieben worden sind, um die Prinzipien der Erfindung und ihre praktischen Anwendungen zu beschreiben, und somit es dem Fachmann möglich zu machen, die Erfindung zu verstehen. Beispielsweise ist ein Vorteil der OLEDs der vorliegenden Erfindung, dass die Farbe des emittierten Lichts bei der Herstellung durch Änderung der Konzentration des Dotierungsmittelkomplexes verändert werden kann. In anderen Ausführungsformen kann die Farbe und/oder Intensität der Emission der OLEDs der vorliegenden Erfindung durch die Verwendung von Filtern, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt sind, verändert werden. Verschiedene genannte alternative Ausführungsformen und Modifikationen, welche für eine besondere Verwendung geeignet sind, sind im Bereich der Erfindung. Bestimmungsgemäß wird der Bereich der Erfindung durch die begleitenden Ansprüche und ihre Äquivalente definiert.

Zusammenfassung  
(in Verbindung mit [Fig. 4](#))

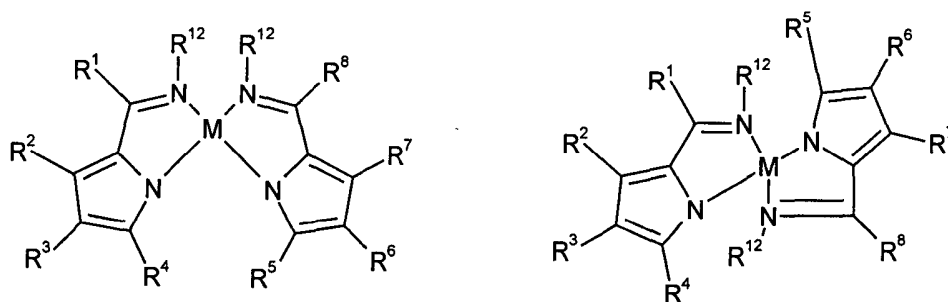
**[0122]** Offenbart werden elektrophosphoreszierende organische Metallkomplexe mit Formeln (I), (II), (III) oder (IV), mit beiden geometrischen Isomeren, umfassend zwei bidentate Liganden des NN-Typs, oder zwei Liganden des NO-Typs, oder einen tetradentaten Liganden des NNNN-Typs oder einen tetradentaten Liganden des NOON-Typs und ein Übergangsmetall. Diese elektrophosphoreszierenden Materialien sind wertvoll in der Anwendung in organischen Licht-emittierenden Bauteilen (OLEDs), umfassend rot-, orange- und gelbfarbige OLEDs.

### Patentansprüche

1. Ein heterostrukturiertes organisches Licht-emittierendes Bauteil, welches wenigstens eine emittierende Schicht umfasst, welche wenigstens einen Dotierungsmittelkomplex umfasst, wobei der Dotierungsmittelkomplex ein Übergangsmetallatom umfasst, welches an zwei bidentate Pyrrol-Liganden oder einen tetradentaten Pyrrol-Liganden koordiniert ist.
2. Das heterostrukturierte organische Licht-emittierende Bauteil gemäß Anspruch 1, wobei die emittierende Schicht einen Dotierungsmittelkomplex umfasst, wobei der Dotierungsmittelkomplex das Wirtsmaterial dotiert.
3. Das heterostrukturierte organische Licht-emittierende Bauteil gemäß Anspruch 2, wobei der Dotierungsmittelkomplex geometrisch in der cis-Konfiguration ist.
4. Das heterostrukturierte organische Licht-emittierende Bauteil gemäß Anspruch 2, wobei der Dotierungsmittelkomplex geometrisch in der trans-Konfiguration ist.
5. Das heterostrukturierte organische Licht-emittierende Bauteil gemäß Anspruch 1, wobei die emittierende Schicht eine Dampfablagerungs- oder Rotationsbeschichtungs-(spin coating)-Schicht ist.
6. Das heterostrukturierte organische Licht-emittierende Bauteil gemäß Anspruch 1, wobei der Dotierungsmittelkomplex:



(I)



cis-

trans-

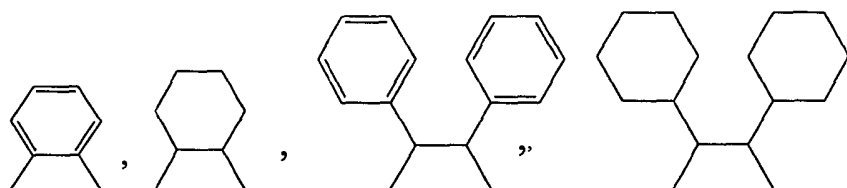
(II)

oder einer Mischung davon ist, wobei

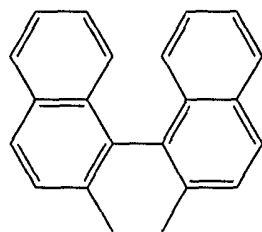
M ein Übergangsmetall ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Ni, Pd und Pt ist;

jedes  $R^1$ - $R^{10}$  unabhängig -H, OH,  $-NH_2$ , -Halogen, -CN,  $NO_2$ ,  $-R^{13}$ ,  $-OR^{14}$ ,  $NHR^{14}$ , oder  $-N(R^{14})_2$  ist;

$R^{11}$   $-(C(R^{15})_2)_n$ ,



oder



ist;

jedes  $R^{12}$  unabhängig -H,  $-(C_1-C_6)$ Alkyl, -Phenyl, -Naphthyl; -Halogen, oder -CN ist;

$R^{13}$   $-(C_1-C_6)$ Alkyl, -Phenyl, oder -Naphthyl ist, wobei jedes unsubstituiert oder substituiert mit einem oder mehreren  $-(C_1-C_6)$ Alkyl, -Phenyl, oder Naphthyl ist;

$R^{14}$  wie oben für  $R^{13}$  definiert ist;

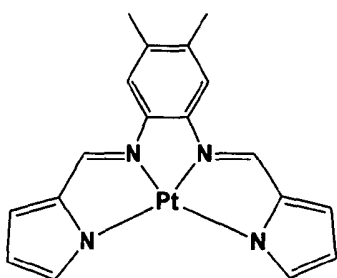
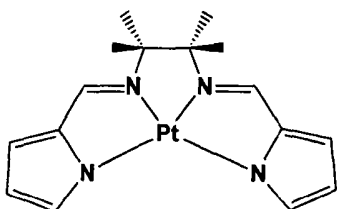
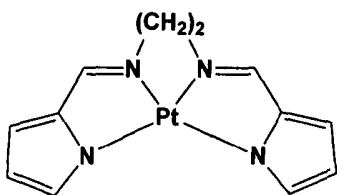
$R^{15}$  wie oben für  $R^1$  definiert ist;

n eine ganze Zahl von 1 bis 6 ist.

7. Das heterostrukturierte organische Licht-emittierende Bauteil gemäß Anspruch 6, wobei M Pt ist.

8. Das heterostrukturierte organische Licht-emittierende Bauteil gemäß Anspruch 7, wobei es Struktur I oder II aufweist.

9. Das heterostrukturierte organische Licht-emittierende Bauteil gemäß Anspruch 8, wobei der Dotierungsmittelkomplex ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus:



oder einer Mischung davon ist.

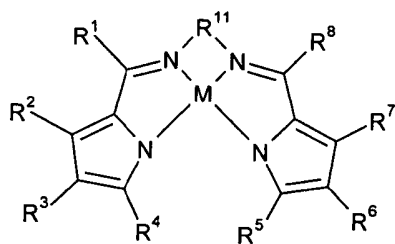
10. Das heterostrukturierte organische Licht-emittierende Bauteil gemäß Anspruch 1, wobei die emittierende Schicht wenigstens 0,5 Gew.-% Dotierungsmittelkomplex basierend auf dem Gewicht des Wirtsmaterials umfasst.

11. Das heterostrukturierte organische Licht-emittierende Bauteil gemäß Anspruch 1, wobei die emittierende Schicht einen Dotierungsmittelkomplex umfasst, welcher eine Elektrolumineszenz von sichtbarer Farbe ausstrahlt.

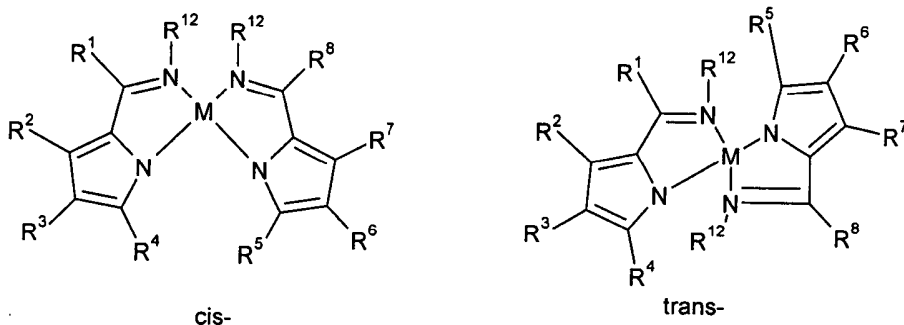
12. Das heterostrukturierte organische Licht-emittierende Bauteil gemäß Anspruch 1, wobei die emittierende Schicht einen Dotierungsmittelkomplex umfasst, welcher eine rote oder orange Elektrolumineszenz ausstrahlt.

13. Ein Verfahren zur Herstellung eines heterostrukturierten organischen Licht-emittierenden Bauteils, umfassend Bereitstellen einer emittierenden Schicht, wobei die emittierende Schicht wenigstens einen Dotierungsmittelkomplex umfasst, wobei der Dotierungsmittelkomplex ein Übergangsmetall koordiniert an zwei bidentate Pyrrol-Liganden oder einen tetradentaten Pyrrol-Liganden umfasst.

14. Das Verfahren gemäß Anspruch 13, wobei der Dotierungsmittelkomplex in der emittierenden Schicht:



(I)



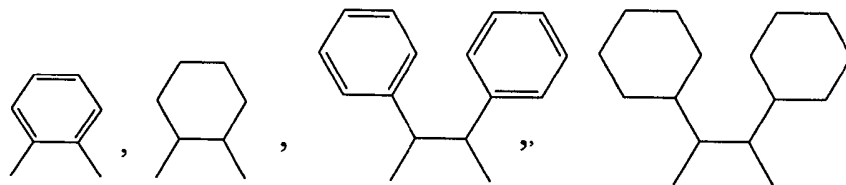
(II)

oder einer Mischung davon ist, wobei

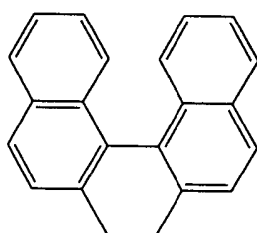
M ein Übergangsmetall ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Ni, Pd und Pt ist;

jedes  $R^1$  bis  $R^{10}$  unabhängig -H, -OH, -NH<sub>2</sub>, -Halogen, -CN, -NO<sub>2</sub>, -R<sup>13</sup>, -OR<sup>15</sup>, NHR<sup>14</sup>, oder -N(R<sup>14</sup>)<sub>2</sub> ist;

R<sup>11</sup> -(C(R<sup>15</sup>)<sub>2</sub>)<sub>n</sub>,



oder



ist;

R<sup>12</sup> unabhängig -H, -(C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub>)Alkyl, -Phenyl, -Naphthyl, -Halogen, oder -CN ist;

R<sup>13</sup> -(C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub>)Alkyl, -Phenyl, oder -Naphthyl ist, wobei jedes daraus unsubstituiert oder substituiert mit einem oder mehr aus -(C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub>)Alkyl, -Phenyl oder -Naphthyl;

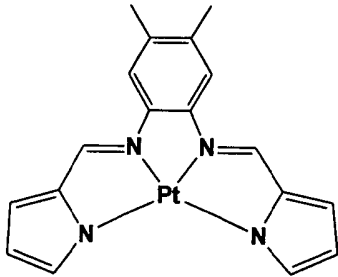
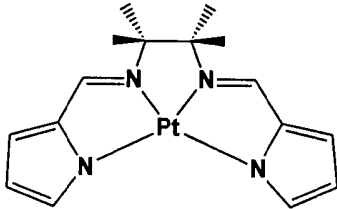
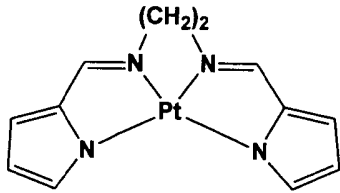
R<sup>14</sup> wie oben für R<sup>13</sup> definiert ist; und

R<sup>15</sup> wie oben für R<sup>1</sup> definiert ist;

n eine ganze Zahl von 1 bis 6 ist.

15. Das Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei M Pt ist.

16. Das Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei der Dotierungsmittelkomplex in der emittierenden Schicht ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus:



oder einer Mischung davon.

17. Das Verfahren gemäß Anspruch 13, wobei die emittierende Schicht wenigstens 0,5 Gew.-% Dotierungsmittelkomplex basierend auf dem Gewicht des Wirtsmaterials umfasst.

18. Das Verfahren gemäß Anspruch 13, wobei die emittierende Schicht einen Dotierungsmittelkomplex umfasst, der eine Elektrolumineszenz von sichtbarer Farbe ausstrahlt.

19. Das Verfahren gemäß Anspruch 18, wobei die emittierende Schicht einen Dotierungsmittelkomplex umfasst, welcher eine rote oder orange Elektrolumineszenz ausstrahlt.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

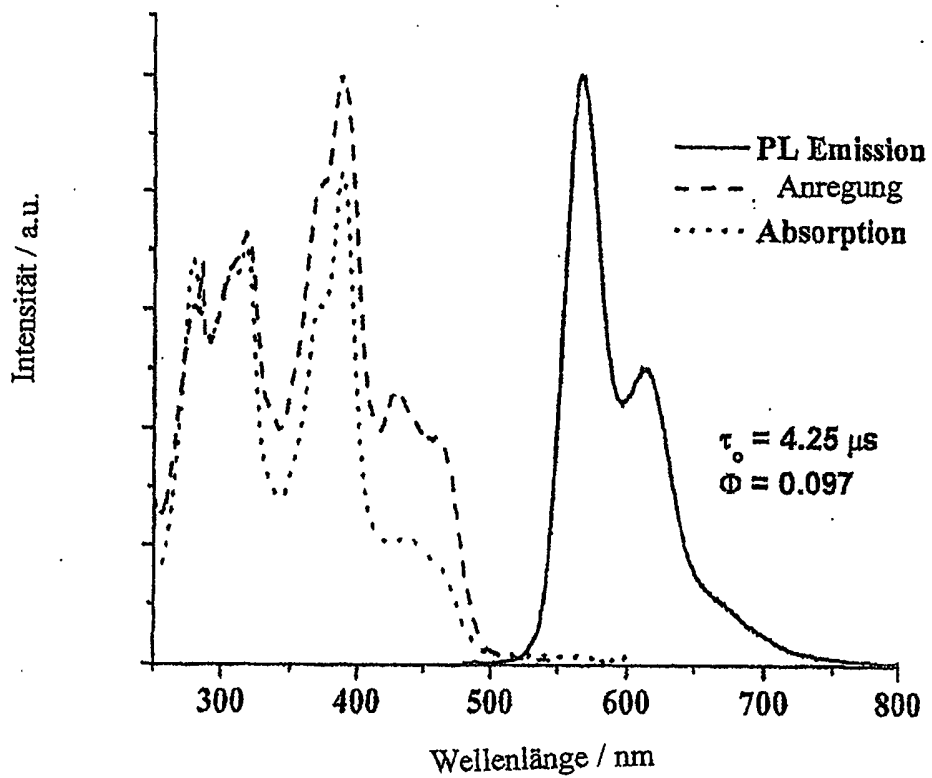


Fig. 1: Absorptions-, Anregungs- und Emissionsspektren von Dotierungskomplex 1 in  $\text{CH}_3\text{CN}$



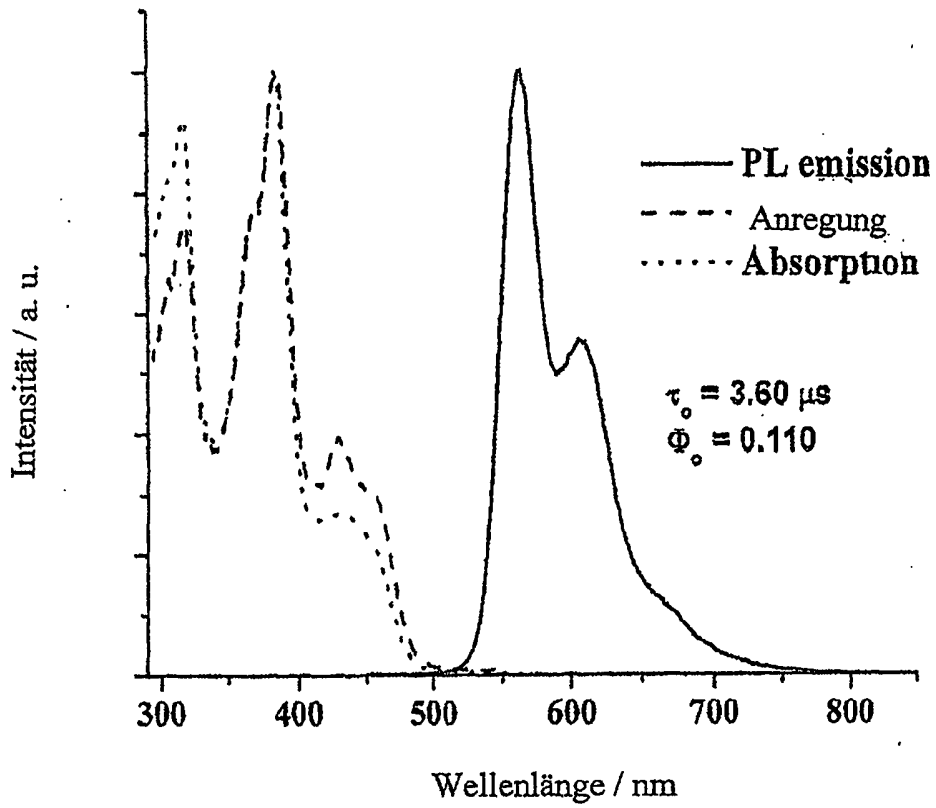


Fig. 2: Absorptions-, Anregungs- und Emissionsspektren von Dotierungskomplex 3 in  $\text{CH}_3\text{CN}$

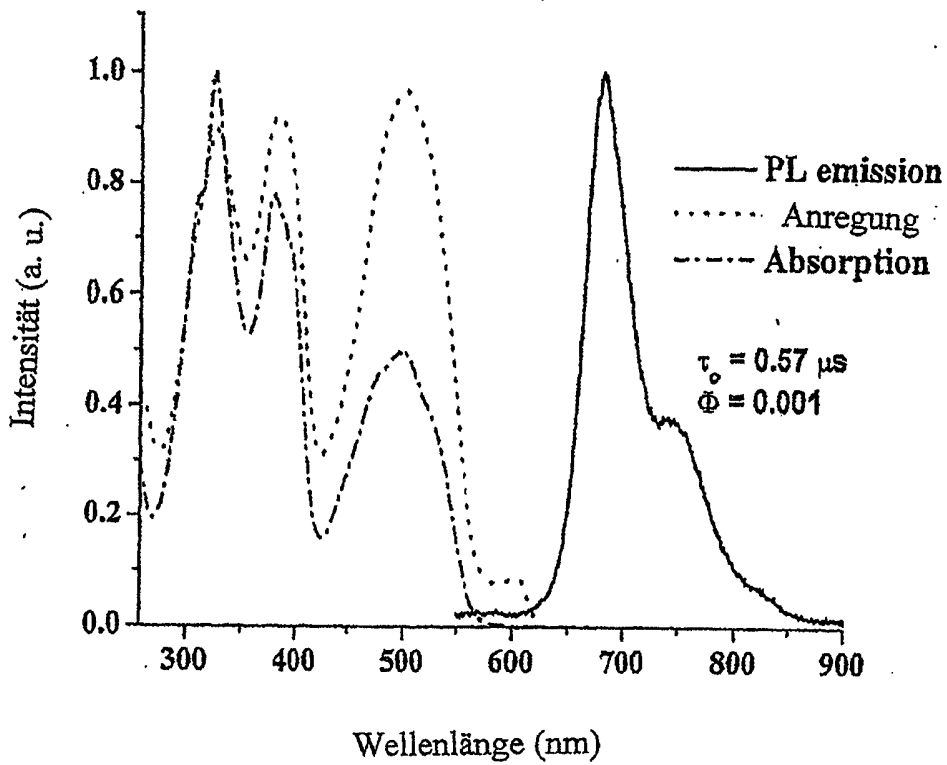


Fig. 3: Absorption-, Anregungs- und Emissionsspektren von Dotierungskomplex 6 in CH<sub>3</sub>CN

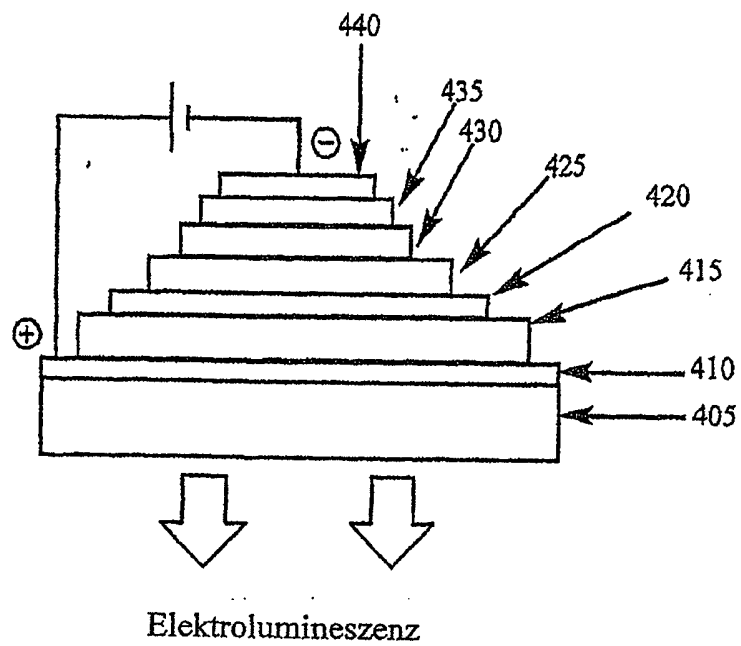


Fig. 4: Schematisches Diagramm des OLEDs gemäß der vorliegenden Erfindung

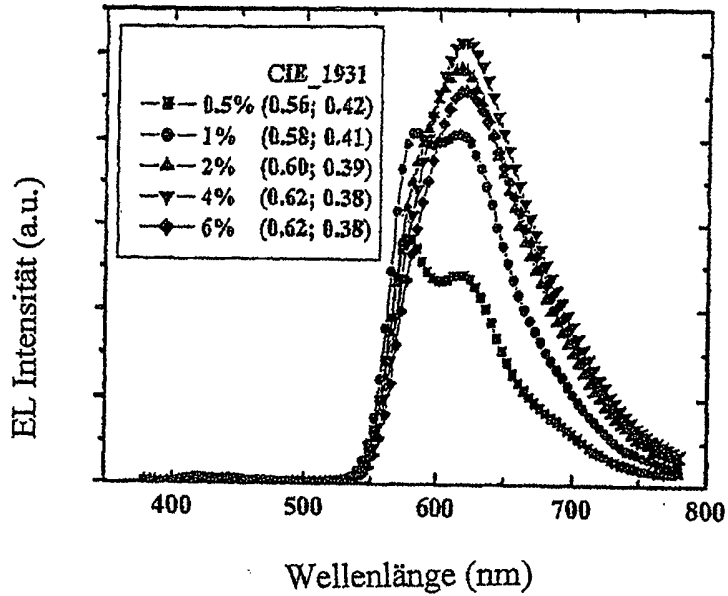
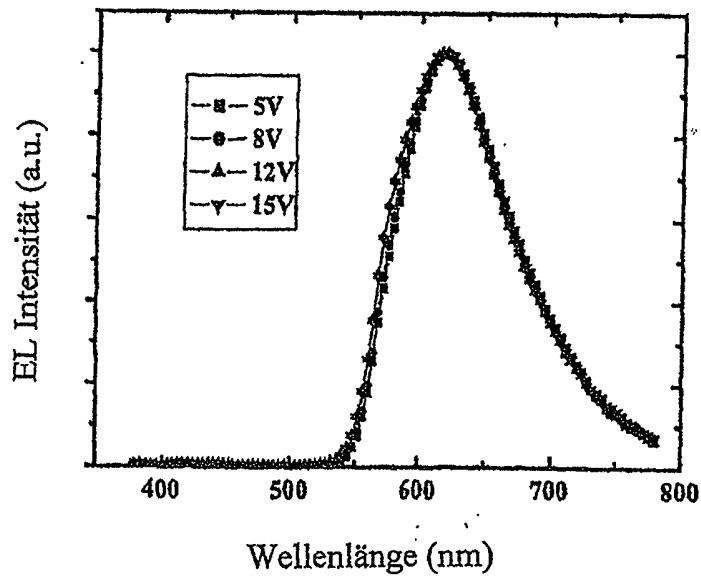


Fig. 5 EL-Spektren von OLED A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V



Figur 6: EL-Spektren von OLED A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1 bei verschiedenen angelegten Spannungen

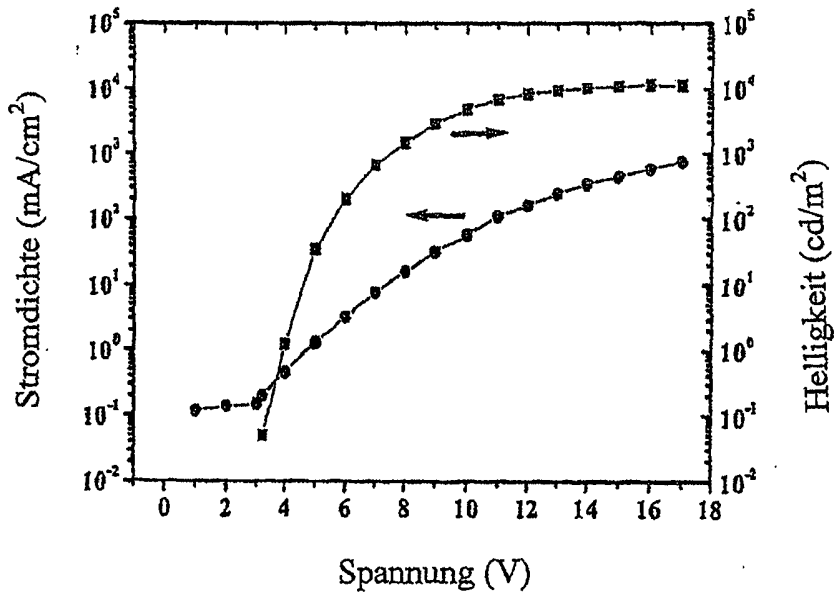


Fig. 7: V-I-B-Kurve von OLED A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1

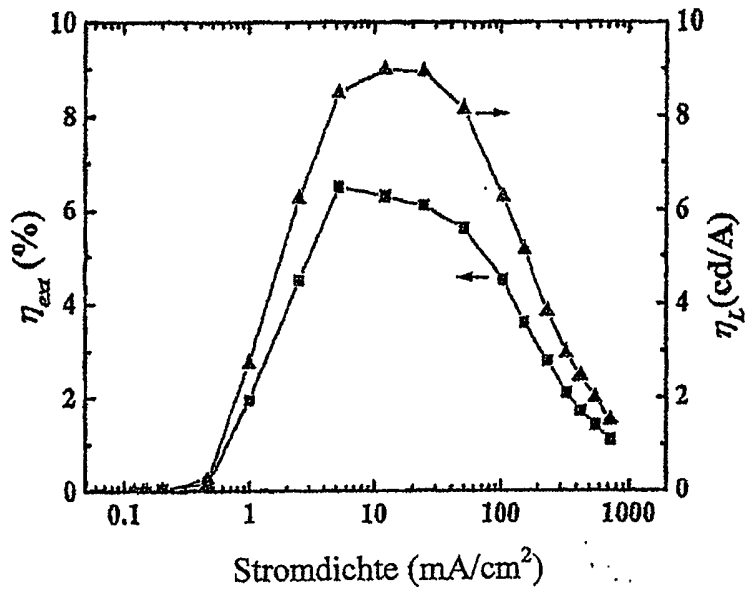


Fig. 8: Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute von OLED A mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 1

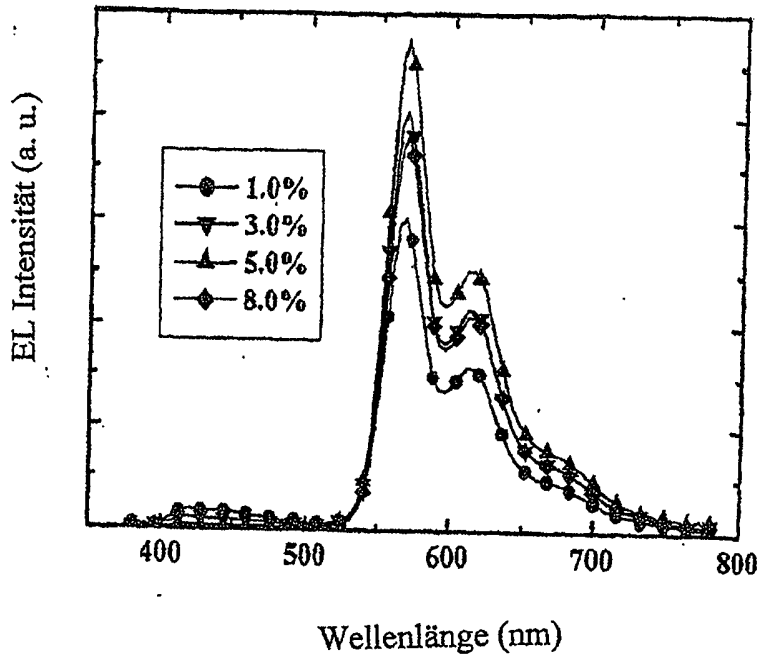


Fig. 9: EL-Spektren von OLED B mit 5 Gew.-% Dotierungsmittel 3 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V

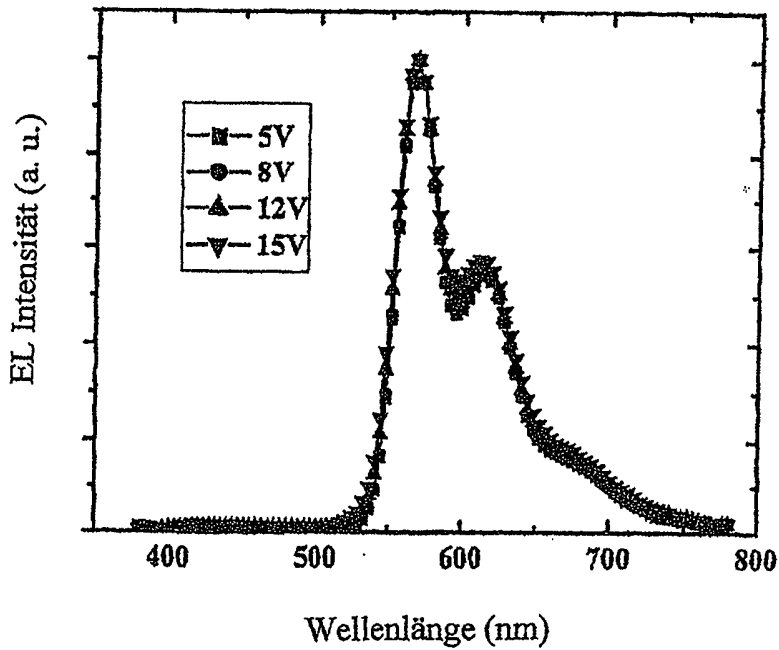


Fig 10: EL-Spektren von OLED B mit 5 Gew.-% Dotierungsmittel 3 bei verschiedenen angelegten Spannungen

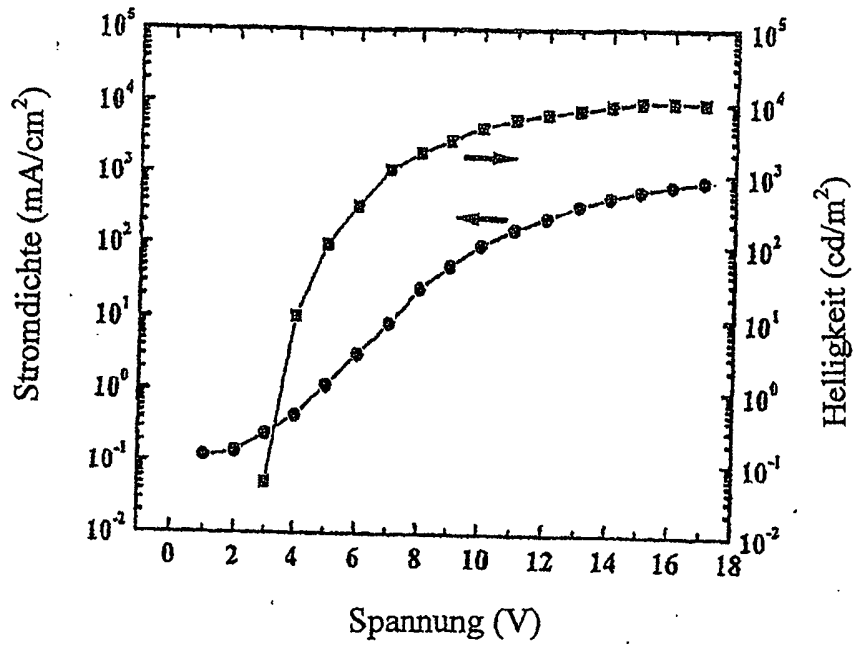
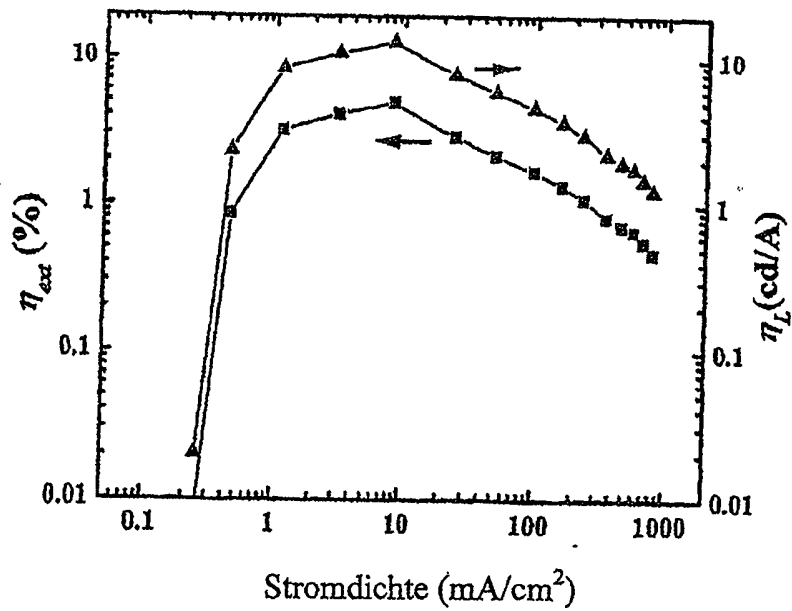


Fig. 11: V-I-B-Kurve von OLED B mit 5 Gew.-% Dotierungsmittel 3



Figur 12: Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute von OLED B mit 5,0 Gew.-% Dotierungsmittel 3

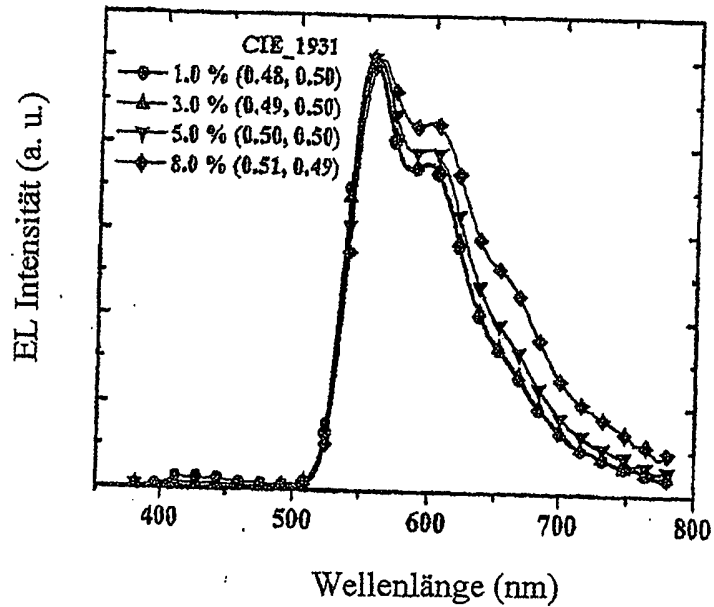


Fig. 13: EL-Spektren von OLED C mit 3 Gew.-% Dotierungsmittel 19 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V

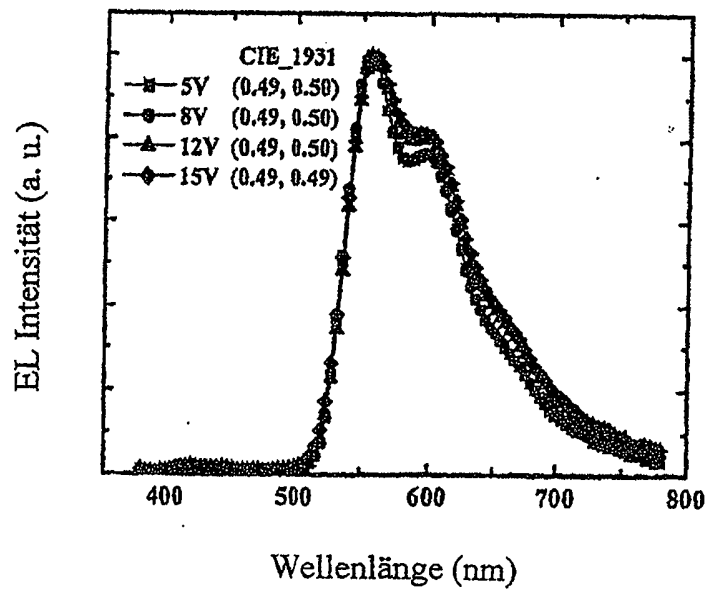


Fig. 14: EL-Spektren von OLED C mit 3 Gew.-% Dotierungsmittel 19 bei verschiedenen angelegten Spannungen



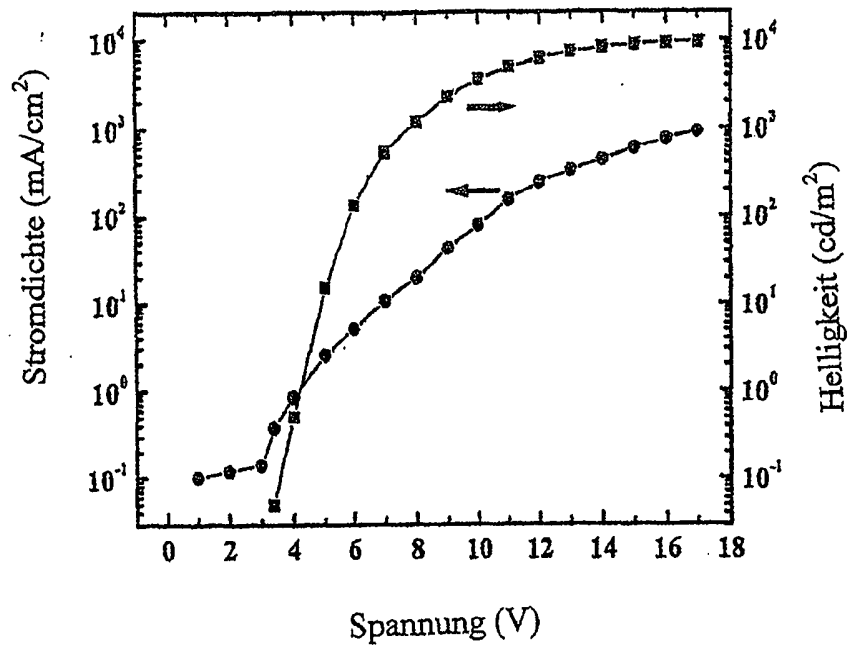


Fig. 15: V-I-B-Kurve von OLED C mit 3 Gew.-% Dotierungsmittel 19

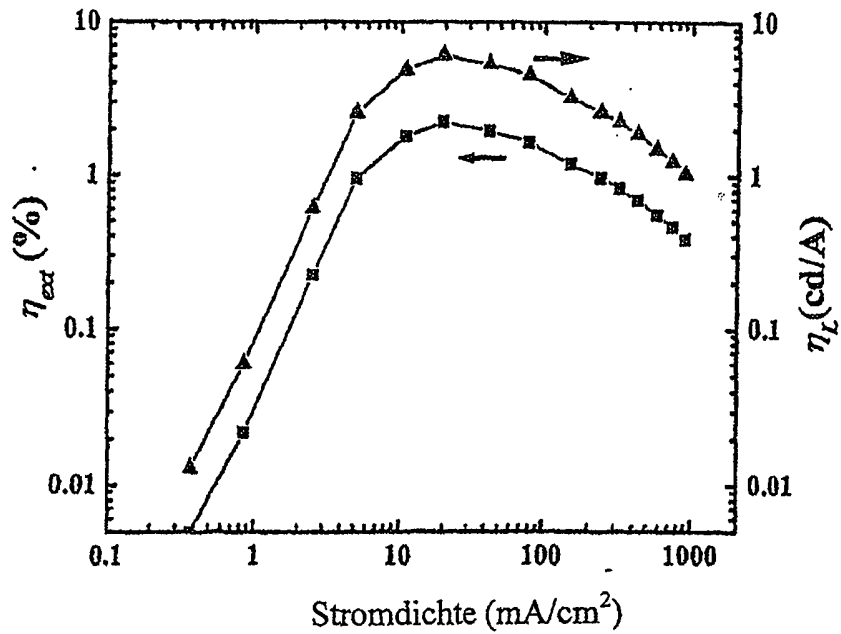


Fig. 16: Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute von OLED C mit 3,0 Gew.-% Dotierungsmittel 19

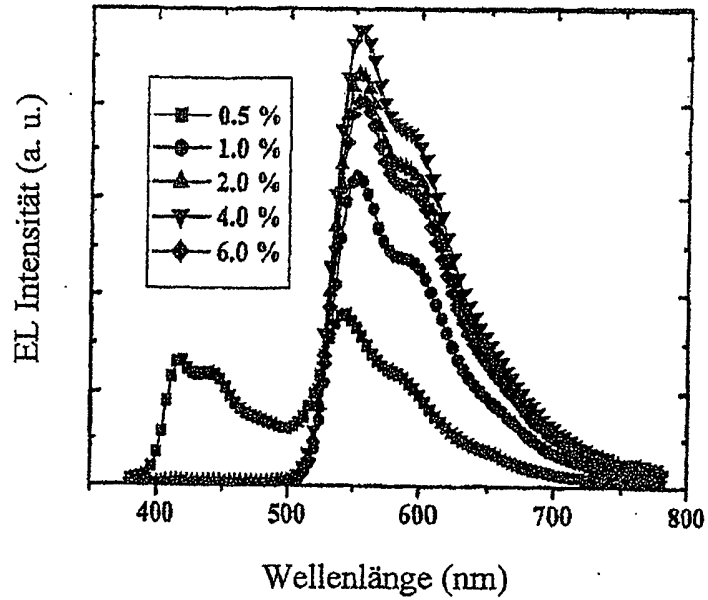


Fig. 17: EL-Spektren von OLED D mit 4 Gew.-% Dotierungsmittel 51 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V

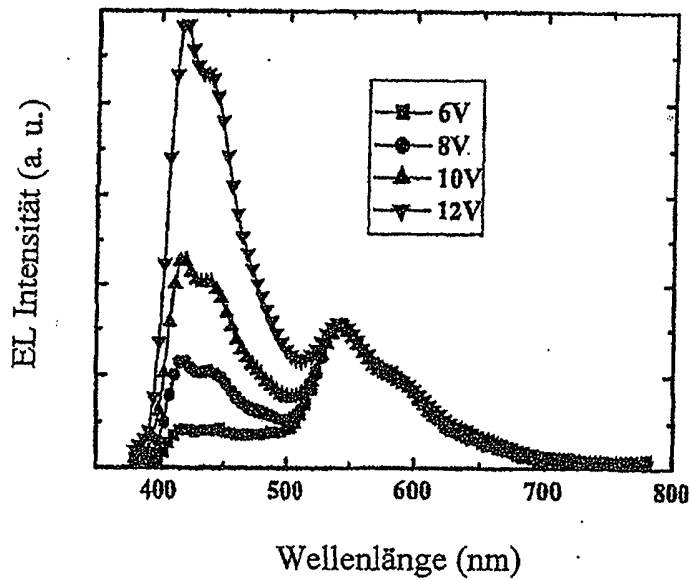


Fig. 18: EL-Spektren von OLED D mit 4 Gew.-% Dotierungsmittel 51 bei verschiedenen angelegten Spannungen

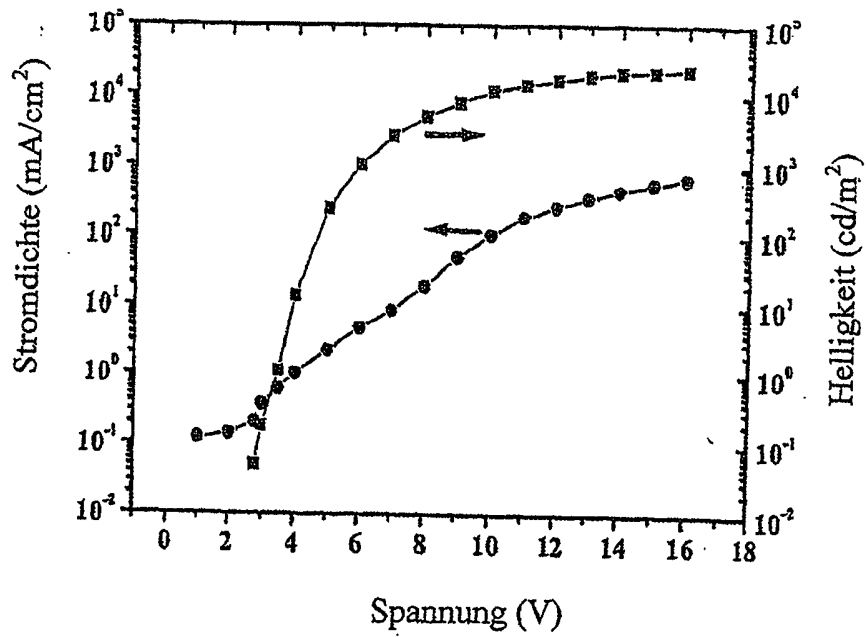


Fig. 19: V-I-B-Kurve von OLED D mit 4 Gew.-% Dotierungsmittel 51

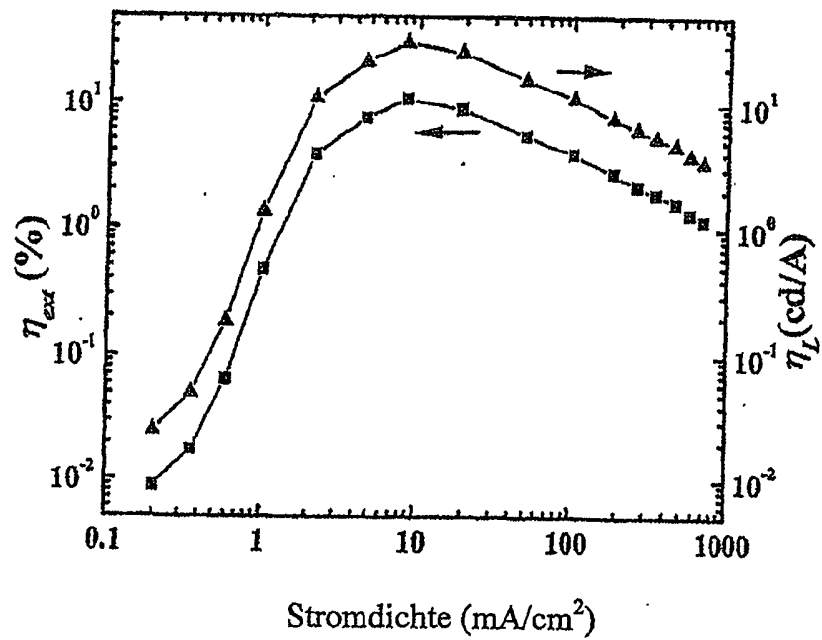


Fig. 20: Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute von OLED D mit 4,0 Gew.-% Dotierungsmittel 51

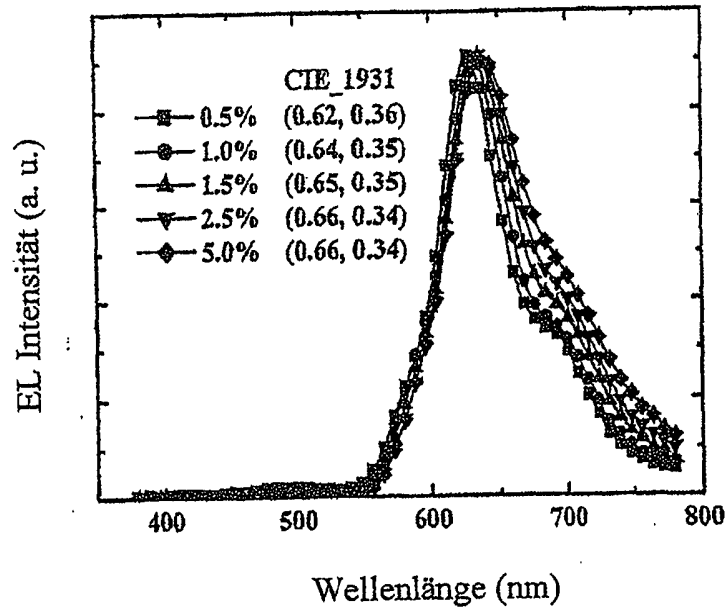


Fig. 21: EL-Spektrum von OLED E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V

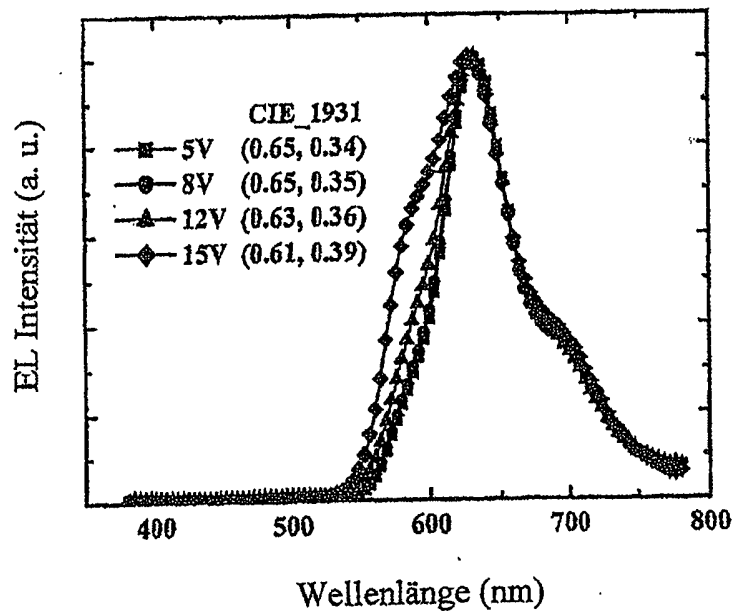


Fig. 22 EL-Spektren von OLED E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99 bei verschiedenen angelegten Spannungen

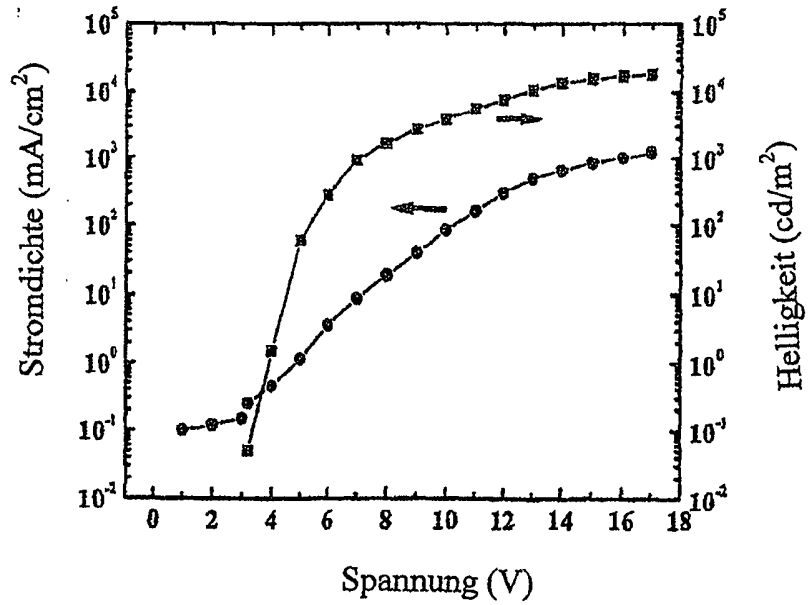


Fig. 23: V-I-B-Kurve von OLED E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99

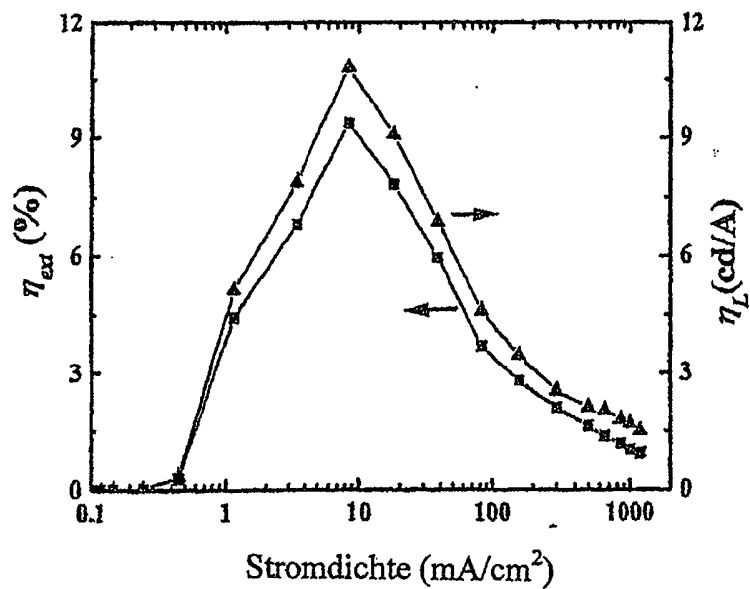


Fig. 24: Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute von OLED E mit 1,5 Gew.-% Dotierungsmittel 99

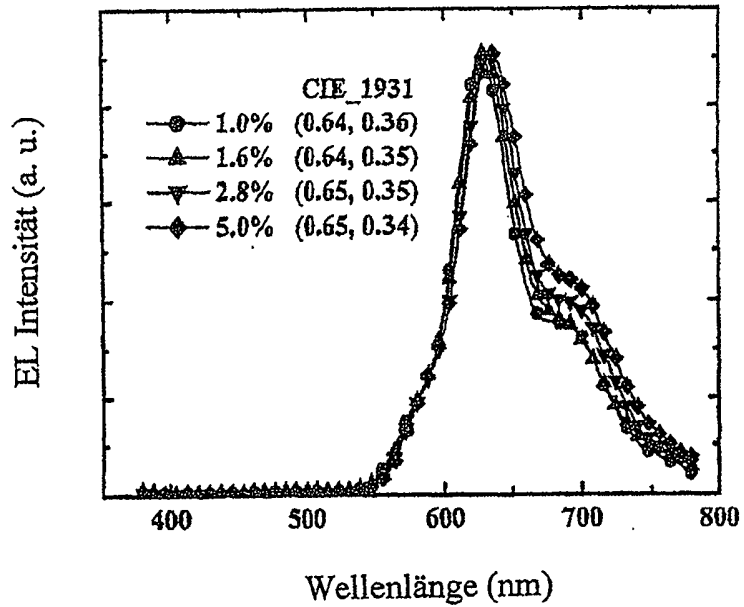


Fig. 25: EL-Spektren von OLED F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104 bei verschiedenen Dotierungsmittelkonzentrationen bei 8 V

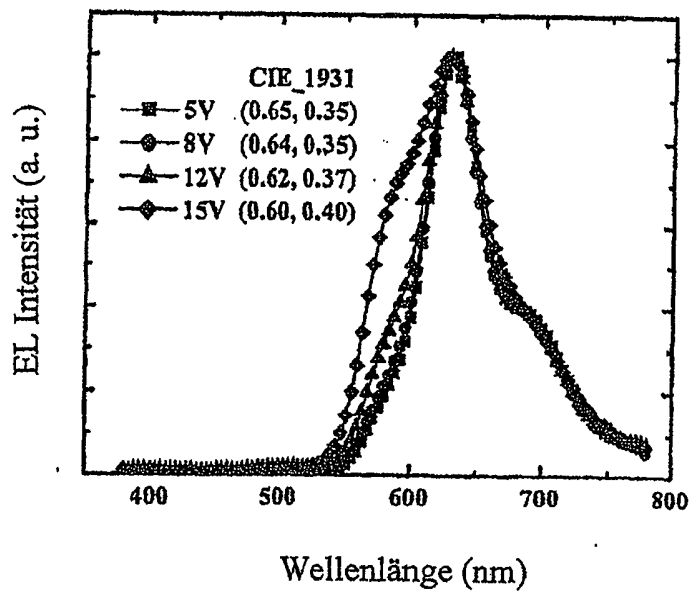


Fig. 26: EL-Spektren von OLED F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104 bei verschiedenen angelegten Spannungen

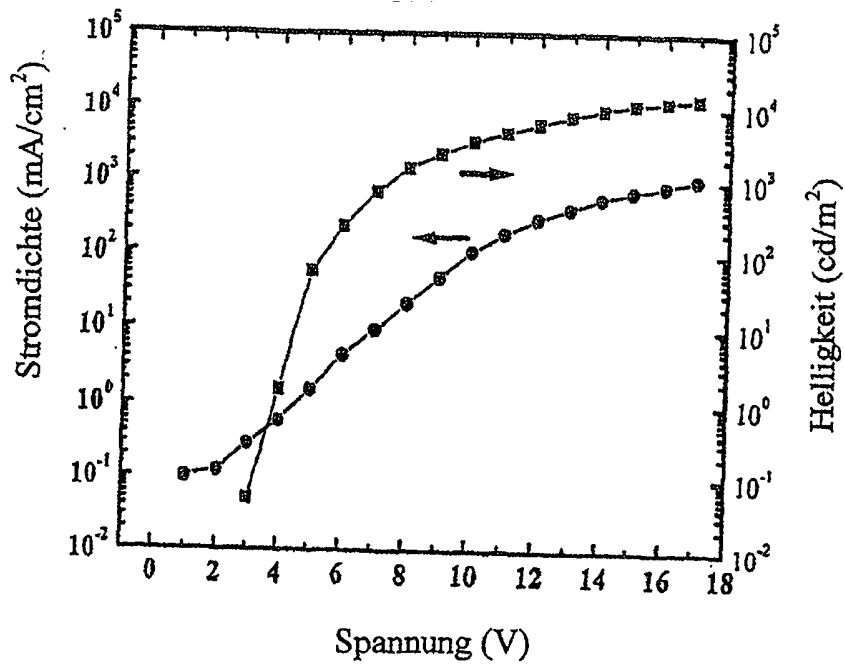


Fig. 27: V-I-B-Kurve von OLED F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104

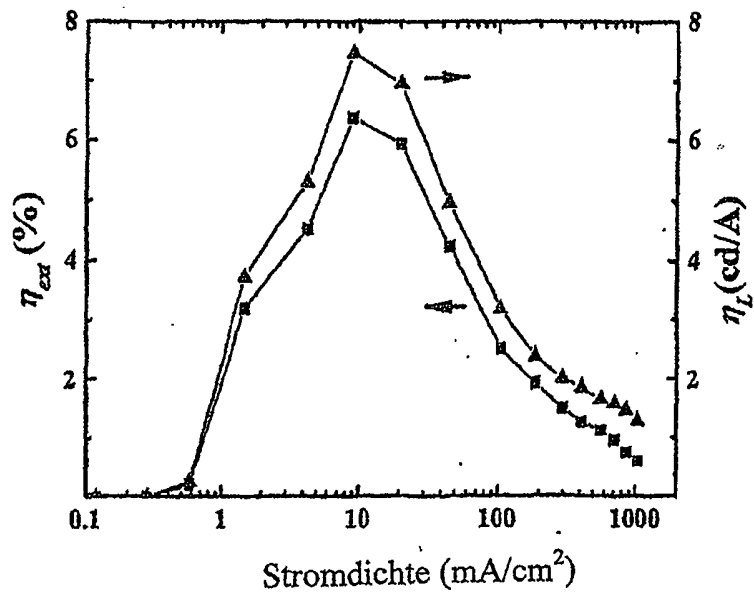


Fig. 28: Externer Quantenwirkungsgrad und Lichtausbeute von OLED F mit 1,6 Gew.-% Dotierungsmittel 104