

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. November 2008 (06.11.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/131750 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 51/52 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2008/000732
- (22) Internationales Anmeldedatum:
30. April 2008 (30.04.2008)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2007 020 644.7 30. April 2007 (30.04.2007) DE
10 2007 033 209.4 11. Juli 2007 (11.07.2007) DE
10 2007 061 755.2
14. Dezember 2007 (14.12.2007) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **NOVALED AG** [DE/DE]; Tatzberg 49, 01307 Dres-
den (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **REINEKE, Sebastian**
[DE/DE]; Wachsbleichstr. 14, 01067 Dresden (DE).
SCHWARTZ, Gregor [DE/DE]; Clara-Zetkin-Strasse 4,
01159 Dresden (DE). **LEO, Karl** [DE/DE]; Hermannstr.
5, 01219 Dresden (DE). **WALZER, Karsten** [DE/DE];
Lessingstrasse 11, 01099 Dresden (DE).
- (74) Anwalt: **BOEHMERT & BOEHMERT**; Bittner,
Thomas, Hollerallee 32, 28209 Bremen (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK,
MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).
- Veröffentlicht:
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts



WO 2008/131750 A2

(54) Title: LIGHT-EMITTING COMPONENT AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung: LICHT EMITTIERENDES BAUELEMENT UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN

(57) Abstract: The invention relates to a light-emitting component, particularly an organic light-emitting diode, comprising an electrode, a counter electrode and an organic region which is arranged between the electrode and the counter electrode and comprises a region emitting organic light. The invention also relates to methods for producing a component of this type.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Licht emittierendes Bauelement, insbesondere organische Leuchdiode, mit einer Elektrode und einer Gegenelektrode und einem zwischen der Elektrode und der Gegenelektrode angeordneten organischen Bereich mit einem organischen Licht emittierenden Bereich. Weiterhin bezieht sich die Erfindung auf Verfahren zum Herstellen eines solchen Bauelementes.

Licht emittierendes Bauelement und Verfahren zum Herstellen

Die Erfindung betrifft Technologien auf dem Gebiet organischer Licht emittierender Bauelement, insbesondere organischer Leuchtdiode.

5

Hintergrund der Erfindung

Organischen Leuchtdioden oder organische Licht emittierende Dioden (OLED) wird mittlerweile allgemein das Potential zuerkannt, im Bereich der Beleuchtungstechnik eine Alternative zu herkömmlichen Leuchtmitteln wie Glühlampen oder Leuchtstoffröhren zu bieten. Inzwischen liegen die erreichten Leistungseffizienzen (vgl. zum Beispiel D'Andrade et al., Adv. Mater. 16 (2004) 1585) deutlich über denen von Glühbirnen. Aktuelle Berichte lassen den Schluss zu, dass auch die Effizienzen von Leuchtstoffröhren übertroffen werden können. Für höchste Leistungseffizienzen werden derzeit phosphoreszierende Emmitter verwendet, da diese so ausgelegt sind, dass sie 100% der eingesetzten Ladungsträger in Licht umwandeln können, d.h. 100% Quanteneffizienz erreichen können.

Ein weiteres wichtiges Kriterium neben der Leistungseffizienz für die alltägliche Anwendbarkeit als Leuchtmittel ist die Betriebslebensdauer. In dem Dokument EP 1 705 727 A1 wird bereits darauf hingewiesen, dass für die Weißlichterzeugung immer auch ein gewisser Anteil an blauem oder blau-grünem Licht vorhanden sein muss. In diesem Spektralbereich stößt jedoch das Konzept der Phosphoreszenzemitter an seine Grenzen, was die Stabilität der Emittermoleküle oder mehr noch des Matrixmaterials betrifft, da sich die Anregungsenergien den Bindungsenergien der molekularen Bausteine nähern. Deshalb wurde teilweise der Ansatz gewählt, den blauen bis blaugrünen Spektralbereich mit einem fluoreszierenden Emmitter abzudecken und den längerwelligen Bereich mit phosphoreszierenden Emittern.

Im Dokument EP 1 705 727 A1 ist ein Konzept beschrieben, wie trotz der intrinsisch auf 25% beschränkten Quanteneffizienz direkter Lichtemission eines fluoreszierenden blauen Emitters die Gesamteffizienz einer Weißlicht-OLED auf 100% gebracht werden kann, indem ein fluoreszierender blauer Emmitter mit einer Triplettenergie verwendet wird, welche höher liegt als die Triplettenergie zumindest eines verwendeten phosphoreszierenden Emitters. Durch

Diffusion der an sich nichtstrahlenden Triplettexzitonen durch die blau emittierende Schicht zu einer weiteren Emissionsschicht, welche den phosphoreszierenden Emitter enthält, und anschließendem exothermen Energietransfer können auch die Triplettexzitonen des blauen Emitters für die Lichtemission genutzt werden.

5

Eine OLED mit diesem Konzept kann zwar prinzipiell 100% Quanteneffizienz erreichen, jedoch zeigt sich in der experimentellen Realisierung, dass insbesondere bei hohen Leuchtdichten die Quanteneffizienz wegen der dafür notwendigen hohen Exzitonen- und Ladungsträgerkonzentrationen stark reduziert wird. Die lange Lebensdauer der nichtstrahlenden Triplettexzitonen in der blau emittierenden Schicht ist einerseits notwendig, damit die Exzitonen bis zur angrenzenden Schicht, die den phosphoreszierenden Emitter enthält, diffundieren können. Andererseits führt sie zu einer starken Ansammlung der Exzitonen in ihrer Hauptbildungszone. Dies hat eine verstärkte nichtstrahlende Löschung von Exzitonen zur Folge, da mit zunehmender Exzitonendichte ein Exziton immer leichter in den Grundzustand zurückkehren kann, indem es seine Energie bei der weiteren Anregung eines anderen Exzitons verliert (Exziton-Exziton-Annihilation). Die Quanteneffizienz nimmt daher mit zunehmender Stromdichte ab, was allgemein als „roll-off“ der Effizienz bekannt ist.

15

Konventionelle, elektrisch undotierte organische Licht emittierende Dioden (OLEDs), die auch als organische Leuchtdioden bezeichnet werden, können je nach Ausführung eine reduzierte Schichtanzahl haben. Hier können zum Beispiel Funktionen einer Löchertransportschicht und einer Elektronen- und Exzitonenblockschicht oder einer Löcher- und Exzitonenblockschicht und einer Elektronentransportschicht in je einer Emissionsschicht-Struktur zusammengefasst werden.

25

Die Herstellung der einzelnen organischen Schichten kann mittels thermischer Verdampfung, Molekularstrahl-Epitaxie, Aufschleudern aus Lösungen sowie durch Abscheidung aus der Gasphase geschehen. Übliche Verfahren wie die Verdampfung der organischen Materialien lassen nur eine Strukturierung in einer Dimension zu. Die Standard-Emissionsschicht-Struktur kann aus einer Mischverdampfung eines Wirts- oder Matrixmaterials und des phosphoreszenten Emitterfarbstoffes bestehen, üblicherweise mit Konzentrationen zwischen 1mol% und 20mol%.

30

Ein Licht emittierendes Bauelement mit organischen Schichten und einer Emission von Triplett-Exzitonen-Zuständen mit erhöhter Effizienz ist in dem Dokument DE 102 24 021 B4 beschrieben, wobei das Bauelement eine Schichtreihenfolge mit einem löcherinjizierenden Kontakt – der Anode –, einer oder mehreren löcherinjizierenden und löchertransportierenden Schichten, einem System von gestapelten Schichten in der Lichtemissionszone, einer oder mehreren elektroneninjizierenden und elektronentransportierenden Schichten und einem elektroneninjizierenden Kontakt – einer Katode – besteht, wobei die Lichtemissionszone aus einer Reihe von Heteroübergängen besteht, welche zwischen den gestapelten Schichten Grenzflächen bilden, wobei in dem System gestapelter Schichten abwechselnd eine Schicht aus einem Material mit löchertransportierenden oder bipolaren Transporteigenschaften und eine Schicht aus einem anderen Material mit elektronentransportierenden oder bipolaren Transporteigenschaften angeordnet sind und wobei mindestens eines der Materialien mit einem Triplett-Emitter-Dotanden gemischt ist.

Ein Problem besteht darin, dass mit den Stapelfolgen verschiedener Mischsysteme innerhalb der Lichtemissionszone zwar eine Erhöhung der äußeren Quanteneffizienz erzielt werden kann, allerdings kann bei diesen Strukturen kein reduzierter Effizienzabfall bei hohen Leuchtdichten beobachtet werden. Außerdem führen die Stapelfolgen der Mischsysteme zu erhöhter Rekombinationseffizienz durch das Einfangen von Ladungsträgern an den Grenzflächen der Heteroübergänge.

Es sind phosphoreszente Licht emittierende Bauelemente bekannt, insbesondere auch in der Ausführung als OLEDs. Bei bekannten Bauelementen nimmt die äußere Quanteneffizienz bei hohen Helligkeiten deutlich ab. Hauptursache des Effizienzurückgangs ist die Natur phosphoreszenter Emittermoleküle, die anders als bei konventionellen Fluoreszenzfarbstoffen, aus dem elektronischen Triplettzustand emittieren. Der eigentlich quantenmechanisch verbotene Übergang mit Gesamtspin Eins wird durch die Verwendung von Schwermetallen wie Platin oder Iridium als Zentralatom für die Lichtemission zugänglich. Die angeregten Zustände, genannt Exzitonen, haben eine mittlere Lebensdauer, die selbst für moderne phosphoreszente Emittermoleküle um Größenordnungen länger ist als bei Fluoreszenzfarbstoffen. Aus diesem Grund sind die Triplett-Exzitonen deutlich anfälliger für alle denkbaren Löschemanismen, die die Auslöschung eines solchen angeregten

Zustands zur Folge haben, ohne dass der Zustand zur Emission beitragen kann. Folglich nimmt die Quanteneffizienz bei hohen Anregungsdichten bzw. Helligkeiten deutlich ab.

5 Der größte Entwicklungssprung auf dem Gebiet der organischen Leuchtdioden in einer Dünnschicht-OLED ist von Tang et al., Appl. Phys. Lett. 51 (1987) 913, beschrieben, wobei die Einführung von phosphoreszenten Molekülen als Emittiermoleküle erbracht worden ist (vgl. Baldo et al., Nature 395 (1998) 151). Diese haben den entscheidenden Vorteil, eine interne Konversionseffizienz von 100% zu ermöglichen. Durch die Verwendung von Schwermetallen wie Platin oder Iridium als Zentralatom in diesen Molekülen wird die elektronische Struktur stark beeinflusst, was in diesem Fall zur Folge hat, dass sowohl die Emission aus dem Triplett-Zustand als auch die intermolekulare Transferrate von Singulett zu Triplettzustand (ISC – „intersystem crossing“) ermöglicht werden und hocheffizient sein können (vgl. Tsuboi, Journ. Lumin. 119-120 (2006) 288).

15 In organischen Leuchtdioden werden die Ladungsträger, nämlich Elektronen und Löcher, statistisch hinsichtlich ihres Spins injiziert, sodass sich daraus resultierend auch die angeregten, als Exzitonen bezeichneten Zustände mit statistischer Spinverteilung bilden. Auf Grund der Spinmultiplizität von Eins zu Drei bei Singulett und Triplettzustand, werden im Mittel nur ca. 25% der Exzitonen im Singulett-Zustand gebildet (vgl. Baldo et al., Phys. Rev. B 60 (1999) 14422). In konventionellen fluoreszenten OLEDs ist dies das Limit für die interne Konversionseffizienz, d.h. 25%. In phosphoreszenten Molekülen werden beide Anregungszustände, Singulett und Triplett, auf den Triplettzustand umgeleitet (ISC) oder gebildet, sodass die Moleküle potentielle Materialien für interne 100% Quanteneffizienz in OLEDs sind. Ein Nachteil der Moleküle ist die im Vergleich mit fluoreszenten Farbstoffen lange Lebensdauer des angeregten Zustands. Selbst für hochmoderne phosphoreszente Moleküle liegt die Lebensdauer um einige Größenordnungen höher, im Bereich von einigen Mikrosekunden, vgl. hierzu die Emission aus dem Singulett-Zustand mit Lebensdauern von einigen Nanosekunden (Kawamura et al., J. Journ. Appl. Phys. 43 (2004) 7729).

30 Im Unterschied zu den meisten Fluoreszenz-OLEDs, deren Emissionszone eine reine Schicht des Fluoreszenzfarbstoffs darstellt, werden phosphoreszente Farbstoffe verdünnt in ein Wirtsmaterial gemischt, um eine so genannte Aggregatlösung zu vermeiden (vgl. Kawamura et al., Phys. Rev. Lett. 96 (2006) 017404).

Hierbei ist es wichtig, dass das Wirtsmaterial eine höhere Triplett-Energie als oder zumindest gleich hohe Triplett-Energie wie der Emitterfarbstoff hat, um den Energietransfer der Emitter-Triplett-Exzitonen auf die der Wirtsmoleküle als möglichen Verlustkanal auszuschließen. Des Weiteren benötigen die Emissionsschichten relative hohe Konzentrationen des Emitterfarbstoffs (~5-10mol%), da der Energieübertrag vom Wirtsmaterial auf das Emittermolekül langsamer und kurzreichweitiger ist. Der Energieübertrag ist ein Dexter-Prozess (vgl. Dexter, Journ. Chem. Phys. 21 (1953) 836). Dies wiederum ist nachteilig für die absolute Effizienz, da es bei den Konzentrationen schon zur oben genannten Aggregatlöschung kommen kann. Bei der Konzentration ist die Exzitonendiffusion direkt auf den Emittermolekülen ohne weiteres möglich.

Organische Bauelemente mit einem Mischsystem aus Wirtsmaterial und phosphoreszenten Emitterfarbstoff, enthalten weiterhin der Emissionszone benachbarte Blocker- oder Blockschichten, da auch mit der langen Lebensdauer die mittlere Diffusionslänge der Exzitonen steigt, die sowohl Ladungsträger als auch Triplett-Exzitonen in die Emissionszone eingrenzen sollen. Um letzteres zu erreichen, müssen die Schichten eine wesentlich höhere Triplett-Energie haben als die des Emitterfarbstoffes ($T_{\text{Blocker}} \gg T_{\text{Emitter}} / \sim 0.4\text{eV}$) (vgl. Goushi et al., Journ. Appl. Phys. 95 (2004) 7798).

Die lange Lebensdauer macht die angeregten Triplett-Zustände insbesondere bei hohen Anregungsdichten sehr anfällig gegenüber allen Löschmechanismen, welche Triplett-Triplett Annihilation (TTA), Triplett-Ladungsträger Löschung und Feldinduzierte Dissoziation der Exzitonen in freie Ladungsträger sind (vgl. Reineke et al., Phys. Rev. B 75 (2007) 125328). Hierbei ist die Triplett-Triplett Annihilation der dominierende Prozess. Der Prozess kann prinzipiell durch zwei verschiedene Mechanismen geschehen: (a) durch Diffusion der Triplett-Exzitonen, bis sich zwei angeregte Zustände nah genug sind, um zu annihilieren, und (b) durch langreichweitige Wechselwirkung, basierend auf dem Förster-Energieübertragmodell.

Sind sich zwei angeregte Zustände so nahe, dass die elektronischen Orbitale überlappen und wechselwirken, kann der Auslöschungsschritt auch durch den sogenannten Dexter-Energieübertrag stattfinden. Bei letzterem passiert die Auslöschung in einem Schritt. Der Prozess ist

nur durch den so genannten Försterradius des emittierenden Moleküls bestimmt, der die maximale Entfernung zweier angeregter Zustände definiert, bei dem Löschung noch stattfindet (vgl. Staroske et al., Phys. Rev. Lett 98 (2007) 197402). Letzterer Prozess ist im Kontrast zu dem diffusionsbasierten Mechanismus nicht von der Konzentration der Emittermoleküle abhängig, wobei der Förster-basierende Mechanismus eine intrinsische Grenze für die Triplett-Triplett-Löschung TTA in den OLEDs ist, da sie allein durch die optischen Eigenschaften der eingesetzten Materialien bestimmt wird. Anders gesprochen ist der diffusionsbasierte Löschemechanismus immer intrinsisch begleitet von der Förster-basierenden Auslöschung.

5
10

Um den Effizienzurückgang bei phosphoreszenten OLEDs zu minimieren, wurden die nachfolgend skizzierten Ansätze gewählt.

Es wurde versucht, der intrinsischen Lebensdauer des angeregten Triplettzustands auf dem Emittermolekül zu minimieren. Hier, so scheint es, ist die Entwicklung ausgeschöpft, moderne Emitter haben Triplett-Lebensdauern von einer Mikrosekunde und weniger. Das Schwermetall beeinflusst die Eigenschaften sehr stark und findet mit Iridium das heutige Optimum (vgl. Baldo et al., Nature 395 (1998) 151; Baldo et al., Phys. Rev. B 62 (2000) 10967).

15
20

Weiterhin wurde vorgeschlagen, die Lebensdauer des angeregten Zustands durch die Umgebung definierenden optischen Eigenschaften zu minimieren. Mittels Einführung einer OLED-Mikrokavität höherer Güte kann die Lebensdauer bis zu 50 % reduziert werden (Huang et al., Appl. Phys. Lett. 89 (2006) 263512 beschrieben ist.

25

Schließlich wurde vorgeschlagen, die Exzitonendichte zu minimieren, welche für eine bestimmte Helligkeit benötigt wird durch Verbreiterung der Rekombinationszone in der Emissionszone. Dies kann zum Beispiel durch den Ansatz der Doppel-Emissionsschicht erreicht werden (He, Appl. Phys. Lett. 85 (2004) 3911).

30

In organischen Licht emittierenden Bauelementen gibt es einige Untersuchungen für die so genannte Emissionsschicht, also den Bereich der Lichterzeugung, in denen die Emissionszone durch Quantentopf-Strukturen, meist aber unter Benutzung von fluoreszenten Farbstoffen

aufgebaut ist. Hierbei sind teilweise drastische Effizienzverbesserungen vorhanden, was als Hauptursache hat, dass die Rekombinationseffizienz erhöht wird, zum Beispiel durch besseren Ladungsträgereinfang (Huang, Appl. Phys. Lett. 73 (1998) 3348; Xie, Appl. Phys. Lett. 80 (2002) 1477). Da der Effizienzurückgang bei fluoreszenten OLEDs auf Grund der kurzen Lebensdauer des Singulett-Zustandes nur unwesentlich durch bimolekulare Prozesse bestimmt ist, werden durch diese Strukturen keine Verbesserungen bezüglich des Effizienzurückgangs erzielt.

Phosphoreszente OLEDs, deren Emissionzone eine Quantentopf-Struktur aufweist, werden in Cheng et al., Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) L376 beschrieben. Hier wird der bekannte Triplett-Emitter 2,3,7,8,12,13,17,18-octaethyl-21H₂₃ H-porphin platinum (II) (PtOEP) eingesetzt. Im Vergleich zu einer Standard-Struktur ist in der Quantentopf-Struktur eine Erhöhung der Externen Quanteneffizienz um einen Faktor von etwa Zwei beschrieben. Die Quantentopf-Struktur weist einen stärkeren Rückgang der Quanteneffizienz bei hohen Helligkeiten auf, sodass die angegebenen Strukturen bei Stromdichten von etwa 200mA/cm² letztlich nahezu identische Effizienzwerte aufweisen. Der Effekt wird mit der Sättigung der Emittermoleküle erklärt.

Die räumliche Trennung verschiedener Bereichen von Mischsystemen aus Wirtsmaterial und Emittlerfarbstoff birgt einen weiteren Vorteil in sich. Die Trennung entkoppelt weitestgehend jeglichen Energieübertrag, auch und insbesondere bei geringen Anregungsdichten, zwischen den Zentren. Typische phosphoreszente Emittler haben Förster-Radien von weniger als 2nm, sodass der Förster-basierte Energieübertrag zwischen benachbarten Molekülen durch Distanzen in dieser Größenordnung unterbunden werden kann (Kawamura et al., Phys. Rev. Lett. 96 (2006) 017404).

Es wurden Emissionsschicht-Strukturen beschrieben, bei denen alle Emittlerfarbstoffe in einem Wirts- oder Matrixmaterial mit unterschiedlichen Konzentrationen eingebracht sind (D'Andrade, Adv. Mat. 16 (2004) 624) sind. Die vorgestellte Emissionsschicht-Struktur erreicht etwa 16 lm/W bei 100 cd/m² und 11.1 ml/W bei 1000 cd/m². Dies entspricht einer Effizienz-Reduktion auf 69 % des Wertes bei 100 cd/m².

Zusammenfassung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Licht emittierendes Bauelement mit hoher Effizienz auch bei hohen Leuchtdichten sowie ein Verfahren zum Herstellen zu schaffen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Licht emittierendes Bauelement nach dem unabhängigen Anspruch 1 gelöst. Weiterhin geschaffen sind ein organisches Licht emittierendes Bauelement nach dem unabhängigen Anspruch 31 sowie ein Verfahren zum Herstellen nach dem unabhängigen Anspruch 49. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von abhängigen Unteransprüchen.

Die Erfindung umfasst nach einem Aspekt den Gedanken eines Licht emittierenden Bauelementes, insbesondere organische Leuchtdiode, mit einer Elektrode und einer Gegenelektrode und einem zwischen der Elektrode und der Gegenelektrode angeordneten organischen Bereich mit einem organischen Licht emittierenden Bereich, welcher mindestens eine Emissionsschicht umfasst und welcher beim Anlegen einer elektrischen Spannung an die Elektrode und die Gegenelektrode Licht in mehreren Farbbereichen im sichtbaren Spektralbereich emittierend gebildet ist, wahlweise bis hin zu Weißlicht, wobei die Emissionsschicht wenigstens einen überwiegend im blauen oder blaugrünen Spektralbereich Licht emittierenden, fluoreszierenden Emitter sowie wenigstens einen überwiegend im nicht-blauen Spektralbereich Licht emittierenden, phosphoreszierenden Emitter enthält, in der Emissionsschicht für den wenigstens einen fluoreszierenden Emitter eine Triplettenenergie für ein Energieniveau eines Tripletzustandes größer als eine oder angenähert gleich (innerhalb 0,1eV) einer Triplettenenergie für ein Energieniveau eines Tripletzustandes des wenigstens einen phosphoreszierenden Emitter ist, und der Licht emittierende organische Bereich einen mindestens 5%-igen Anteil des erzeugten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich als Fluoreszenzlicht von Singulettzuständen des wenigstens einen fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht abgebend gebildet ist.

Überraschend wurde gefunden, dass ein Licht emittierendes organisches Bauelement nach dieser Ausführung einen sehr geringen Abfall der Quanteneffizienz mit zunehmendem Strom hat. Die Erfindung hat damit gegenüber dem Stand der Technik, insbesondere gegenüber dem

Dokument EP 1 705 727 A1, den Vorteil, dass ein auch bei hohen Leuchtdichten, wie sie etwa in der Beleuchtungstechnik notwendig sind, ein hocheffizientes und zugleich langlebiges Licht emittierendes Bauelement für eine Lichtabgabe in mehreren Farbbereichen im sichtbaren Spektralbereich bis hin zu Weißlicht geschaffen ist. Der beobachtete geringe
5 Abfall der Quanteneffizienz kann wie folgt erklärt werden: Das Problem, dass bei den für hohe Leuchtdichten notwendigen hohen Stromdichten eine große Ansammlung von Triplettexzitonen in der fluoreszierenden Emissionsschicht entsteht, was zum sogenannten „roll-off“ der Effizienz führt, wird durch die direkte Beimischung eines oder mehrerer phosphoreszierender Emitters gelöst, da somit die auf dem einen oder allen fluoreszierenden
10 Emitters gebildeten Triplettexzitonen direkt auf den oder die phosphoreszierenden Emitters übertragen werden und die Ansammlung gar nicht erst entstehen kann.

Ein weiterer wichtiger Vorteil der Erfindung besteht in der einfacheren Herstellung des Bauelementes, da durch das Mischen der Emitters weniger Schichten aufzubringen sind.

15

Es zeigt sich, dass bei sorgfältiger Auslegung des organischen Licht emittierenden Bauelementes eine weitere Optimierung möglich ist. Eine zu hohe Konzentration des phosphoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht begünstigt auch den Übertrag der Singulettexzitonen vom fluoreszierenden Emitters. Dies ist ab einem gewissen Grad ein unerwünschter Effekt, da dadurch kein Fluoreszenzlicht mehr aus den Singulettexzitonen
20 entstehen kann. Experimente haben ergeben, dass eine Konzentration des phosphoreszierenden Emitters von etwa 0,25 Gewichtsprozent im fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht des Bauelementes zu einer ausgeglichenen Emission von Fluoreszenz- und Phosphoreszenzlicht führt. Dies ist eine technisch auch gut beherrschbare Konzentration
25 (siehe beispielsweise Shao et al., Appl. Phys. Lett. 86, 073510 (2005)). Natürlich kann die tatsächlich einzustellende Konzentration des phosphoreszierenden Emitters je nach den verwendeten Emitters und dem gewünschten Farbeindruck des emittierten Lichtes auch größer oder kleiner gewählt werden.

30 Der Anteil von Fluoreszenzlicht wird über das Konzentrationsverhältnis von fluoreszierendem und phosphoreszierendem Material in der Emissionsschicht eingestellt. Je mehr fluoreszierender Emitters enthalten ist, desto höher ist der Anteil des Fluoreszenzlichtes an der gesamten Lichtemission. Experimentell kann der Fluoreszenzlicht dann gemessen

werden, indem ein Elektrolumineszenzspektrum aufgenommen und der Intensitätsanteil des im blauen Spektralbereichs fluoreszierenden Emitters bestimmt wird.

5 Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Emissionsschicht aus einer massiven Schicht des als Matrixmaterial verwendeten wenigstens einen fluoreszierenden Emitters besteht, in welche der wenigstens eine phosphoreszierende Emitter eingelagert ist. In dieser Ausführung hebt sich die Erfindung insbesondere auch vom Stand der Technik für mehrfarbig emittierende Polymer-OLEDs ab, wo die Emissionsschicht im allgemeinen aus einem Polymer mit guten Ladungsträgerleiteigenschaften besteht, welchem mehrere
10 Emittermolekülsorten beigemischt werden (siehe beispielsweise Shih et al., Appl. Phys. Lett. 88, 251110 (2006)), da hier keine ausschließlich für den Ladungsträgertransport zuständige Matrix verwendet wird, sondern diese Funktion durch den fluoreszierenden Emitter übernommen wird.

15 Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Emissionsschicht aus einem organischen Material besteht, in welche der wenigstens eine fluoreszierende Emitter mit einer Konzentration zwischen 0,1 und 50 Mol % und der wenigstens eine phosphoreszierende Emitter eingelagert sind.

20 Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass der organische Licht emittierende Bereich einen mindestens 10%-igen Anteil des erzeugten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich als Fluoreszenzlicht von Singulettzuständen des wenigstens einen fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht abgebend gebildet ist.

25 Bevorzugt sieht eine Fortbildung der Erfindung vor, dass der organische Licht emittierende Bereich einen mindestens 15%-igen Anteil des erzeugten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich als Fluoreszenzlicht von Singulettzuständen des wenigstens einen fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht abgebend gebildet ist.

30 Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der organische Licht emittierende Bereich einen mindestens 20%-igen Anteil des erzeugten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich als Fluoreszenzlicht von Singulettzuständen des wenigstens einen fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht abgebend gebildet ist.

Eine Weiterbildung der Erfindung kann vorsehen, dass der organische Licht emittierende Bereich einen mindestens 25%-igen Anteil des erzeugten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich als Fluoreszenzlicht von Singulettzuständen des wenigstens einen fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht abgebend gebildet ist. In Verbindung mit Weißlichtspektren gilt, dass je kleiner ein Anteil im blauen Spektralbereich ist, bei den hier beschriebenen Bauelementen also der Fluoreszenzlichtanteil, um so niedriger ist die Farbtemperatur des Elektrolumineszenzspektrums. Die Erfindung erlaubt bei Verwendung von hocheffiziente Emittlern mit Lumineszenzeffizienzen von nahe 100% jedoch nur dann hohe Quanteneffizienzen (nahe 100% intern). D. h., ein Elektrolumineszenzspektrum mit einem 25%igen Anteil Fluoreszenzlicht im blauen Spektralbereich entspricht bei Verwendung von hocheffizienten Emittlern mit Lumineszenzeffizienzen nahe 100% dem Spektrum mit der höchsten Farbtemperatur bei gleichzeitig höchstmöglicher Quanteneffizienz. Beträgt der Fluoreszenzanteil mehr als 25%, wird die Farbtemperatur höher, aber die Quanteneffizienz sinkt.

Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der organische Licht emittierende Bereich eine weitere Emissionsschicht mit wenigstens einem überwiegend im nicht-blauen Spektralbereich Licht emittierenden, phosphoreszierenden Emittlern umfasst.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Emissionsschicht und die weitere Emissionsschicht aneinandergrenzend gebildet sind.

Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass die Emissionsschicht und die weitere Emissionsschicht Löcher transportierend gebildet sind und dass ein Abstand zwischen einer der als Kathode gebildeten Elektrode zugewandten Oberfläche der Emissionsschicht und einer der Emissionsschicht zugewandten Oberfläche der Kathode kleiner als ein Abstand zwischen einer der Kathode zugewandten Oberfläche der weiteren Emissionsschicht und einer der weiteren Emissionsschicht zugewandten Oberfläche der Kathode ist.

Bevorzugt sieht eine Fortbildung der Erfindung vor, dass die Emissionsschicht und die weitere Emissionsschicht Elektronen transportierend gebildet sind und dass ein Abstand zwischen einer der als Anode gebildeten Gegenelektrode zugewandten Oberfläche der

Emissionsschicht und einer der Emissionsschicht zugewandten Oberfläche der Anode kleiner als ein Abstand zwischen einer der Anode zugewandten Oberfläche der weiteren Emissionsschicht und einer der weiteren Emissionsschicht zugewandten Oberfläche der Anode ist.

5

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Emissionsschicht Elektronen transportierend gebildet ist und die weitere Emissionsschicht Löcher transportierend gebildet ist und dass ein Abstand zwischen einer der als Kathode gebildeten Elektrode zugewandten Oberfläche der Emissionsschicht und einer der
10 Emissionsschicht zugewandten Oberfläche der Kathode kleiner als ein Abstand zwischen einer der Kathode zugewandten Oberfläche der weiteren Emissionsschicht und einer der weiteren Emissionsschicht zugewandten Oberfläche der Kathode ist.

Eine Weiterbildung der Erfindung kann vorsehen, dass die Emissionsschicht Löcher
15 transportierend gebildet ist und die weitere Emissionsschicht Elektronen transportierend gebildet ist und dass ein Abstand zwischen einer der als Anode gebildeten Gegenelektrode zugewandten Oberfläche der Emissionsschicht und einer der Emissionsschicht zugewandten Oberfläche der Anode kleiner als ein Abstand zwischen einer der Anode zugewandten Oberfläche der weiteren Emissionsschicht und einer der weiteren Emissionsschicht
20 zugewandten Oberfläche der Anode ist.

Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass zwischen der Emissionsschicht und der Kathode eine Löcherblockschicht angeordnet ist, wobei die Löcherblockschicht Elektronen transportierend ist und ein organisches Material der Löcherblockschicht ein
25 HOMO-Niveau aufweist, welches um wenigstens etwa 0.3 eV tiefer liegt als ein HOMO-Niveau des fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht. Es hat sich gezeigt, dass eine Energiebarriere von weniger als 0.3 eV nicht ausreicht, um Löcher wirklich effizient zu blocken.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass zwischen
30 der Emissionsschicht und der Anode eine Elektronenblockschicht angeordnet ist, wobei die Elektronenblockschicht Löcher transportierend ist und ein organisches Material der Elektronenblockschicht ein LUMO-Niveau aufweist, welches um wenigstens etwa 0.3 eV

höher liegt als ein LUMO-Niveau des fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht. Es hat sich gezeigt, dass eine Energiebarriere von weniger als 0.3 eV in der Regel nicht ausreicht, um Elektronen wirklich effizient zu blocken.

5 Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass eine minimale Energie von Singulettexzitonen und von Triplettexzitonen in der Löcherblockschicht oder in der Elektronenblockschicht größer ist als eine minimale Energie von Singulettexzitonen und von Triplettexzitonen in der Emissionsschicht.

10 Bevorzugt sieht eine Fortbildung der Erfindung vor, dass die Emissionsschicht und / oder die weitere Emissionsschicht mehrschichtig gebildet sind.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Emissionsschicht eine Dicke zwischen etwa 10 nm und etwa 100 nm aufweist. Schichten mit
15 einer Dicke von wenigstens etwa 10 nm sind produktionstechnisch noch handhabbar. Schichten mit einer Dicke von mehr als 100 nm führen zu einem zu hohen Spannungsabfall.

Eine Weiterbildung der Erfindung kann vorsehen, dass der organische Licht emittierende Bereich Weißlicht emittierend gebildet ist, wobei der wenigstens eine phosphoreszierenden
20 Emitter in der Emissionsschicht und / oder in der weiteren Emissionsschicht ein im roten, im orangen, im gelben oder im grünen Spektralbereich Licht emittierender Emitter ist.

Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass zwischen dem organischen Licht emittierenden Bereich und der Elektrode und / oder zwischen dem organischen Licht
25 emittierenden Bereich und der Gegenelektrode eine jeweilige dotierte organische Schicht gebildet ist.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die jeweilige dotierte organische Schicht eine mit einem Akzeptor-Material p-dotierte oder eine
30 mit einem Donator-Material n-dotierte Schicht ist.

Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass der wenigstens eine fluoreszierende Emitter in der Emissionsschicht eine metall-organische Verbindung oder eine

Komplexverbindung mit einem Metall mit einer Ordnungszahl kleiner als 40 ist. Hierdurch wird sichergestellt, dass für das Material keine starke Spin-Bahn-Kopplung vorliegt.

5 Bevorzugt sieht eine Fortbildung der Erfindung vor, dass der wenigstens eine fluoreszierende Emitter in der Emissionsschicht einen Elektronen ziehenden Substituenten aus einer der folgenden Klassen umfasst: Halogene wie Fluor, Chlor, Brom oder Iod; CN; halogenierte oder cyanosubstituierte Alkane oder Alkene, insbesondere Trifluormethyl, Pentafluorethyl, Cyanovinyl, Dicyanovinyl, Tricyanovinyl; halogenierte oder cyanosubstituierte Arylreste, insbesondere Pentafluorphenyl; und Borylreste, insbesondere Dialkyl-boryl, Dialkyl-boryl mit
10 Substituenten an den Alkylgruppen, Diaryl-boryl oder Diaryl-boryl mit Substituenten an den Arylgruppen.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der wenigstens eine fluoreszierende Emitter in der Emissionsschicht einen elektronenschiebenden
15 Substituenten einer der folgenden Klassen umfasst: Alkylreste wie Methyl, Ethyl, Tertiärbutyl, Isopropyl; Alkoxyreste; Arylreste mit oder ohne Substituenten am Aryl, insbesondere Toly und Mesithyl; und Aminogruppen insbesondere NH₂, Dialkylamin, Diarylamin und Diarylamin mit Substituenten am Aryl.

20 Eine Weiterbildung der Erfindung kann vorsehen, dass der fluoreszierende wenigstens eine Emitter in der Emissionsschicht eine funktionale Gruppe mit einer Elektronen-Akzeptor-Eigenschaft aus einer der folgenden Klassen umfasst: Oxadiazol, Triazol, Benzothiadiazole, Benzimidazole und N-Aryl-Benzimidazole, Bipyridin, Cyanovinyl, Quinoline, Triarylboryl, Silol-Einheiten, insbesondere Derivat-Gruppen von Silacyclopentadien, Cyclooctatetraen,
25 Chinoide Strukturen und Ketone, einschließlich Chinoide Thiophen-Derivate, Pyrazoline, Pentaaryl-Cyclopentadien, Benzothiadiazole, Oligo-Para-Phenyl mit elektronenziehenden Substituenten und Fluoren und Spiro-Bifluoren mit elektronenziehenden Substituenten.

Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der fluoreszierende wenigstens
30 eine Emitter in der Emissionsschicht eine funktionale Gruppe mit einer Elektronen-Donator-Eigenschaft aus einer der folgenden Klassen umfasst: Triarylamine, Oligo-Para-Phenyl oder Oligo-Meta-Phenyl, Carbazole, Fluoren oder Spiro-Bifluorene, Phenylen-Vinyleneinheiten, Naphtalen, Anthrazen, Perylen, Pyren und Thiophen.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die folgenden Merkmale gebildet sind: die Elektrode ist als eine optisch reflektierende Elektrode gebildet, zwischen der Emissionszone und der optisch reflektierenden Elektrode ist eine Ladungsträgertransportschicht angeordnet, die eine Schichtdicke d_1 aufweist, und für die Schichtdicke gilt $d_1 = (\lambda_{\text{blau}}/4) - ET$, wobei ET die Eindringtiefe elektromagnetischer Wellen in die optisch reflektierende Elektrode und λ_{blau} eine Wellenlänge im blauen Spektralbereich von 380nm bis 500nm ist.

Die Beschreibung einer effektiven Eindringtiefe ET erfolgt mittels Phasenverschiebung Φ_{Kathode} des Lichtes bei der Reflexion. Diese Verschiebung hängt vom Kathodenmaterial (Metall) und der Wellenlänge ab und berechnet sich aus den optischen Konstanten der aneinandergrenzenden Materialien (siehe zum Beispiel Dodabalapur et al., Journal of Applied Physics, 80, 6954 (1996)): $z = \lambda/4 - |(\Phi_{\text{Kathode}} * \lambda/4\pi)|$ mit $\Phi_{\text{Kathode}} = \arctan(2n_o k_m / (n_o^2 - n_m^2 - k_m^2))$. n_o ist der Realteil und k_o der Imaginärteil des komplexen Brechungsindex' der organischen Schichten, n_m ist der Realteil und k_m der Imaginärteil des komplexen Brechungsindex' des Materials, aus dem die Kathode gebildet ist.

Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass der organische Bereich mit einer Schichtdicke d_{OB} gebildet ist, für die gilt: $d_{OB} = d_{OB1} + d_{OB2} - d_{Anode}$, wobei $d_{OB1} = (2 * n + 1) * 0.25 * \lambda_{\text{blau}}$ und $d_{OB2} = m * 0.5 * \lambda_{\text{blau}}$ und wobei d_{OB1} ein Abstand der Emissionsschicht von einer Kathode, n ganze Zahl n größer oder gleich null, d_{OB2} ein Abstand der Emissionsschicht von einer Grenzfläche zwischen einer Anode und einem Trägersubstrat, m eine natürliche Zahl größer oder gleich 1 und d_{Anode} eine Schichtdicke der Anode sind. Als Trägersubstrat kommt vorzugsweise Glas zum Einsatz.

Bevorzugt sieht eine Fortbildung der Erfindung vor, dass in der Emissionsschicht ein Raumbereich mit einer ersten Konzentration des wenigstens einen phosphoreszierenden Emitters und ein weiterer Raumbereich mit einer zweiten, von der ersten Konzentration verschiedenen Konzentration des wenigstens einen phosphoreszierenden Emitters gebildet sind.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass in der Emissionsschicht ein Raumbereich gebildet ist, welcher frei von einer Beimischung des wenigstens einen phosphoreszierenden Emitters ist.

5 Weiterhin ist erfindungsgemäß ein organisches Licht emittierendes Bauelement, insbesondere phosphoreszierende organische Leuchtdiode, mit einer Anode und einer Kathode sowie einer Anordnung organischer Schichten hierzwischen geschaffen, die eine Löchertransportschicht, eine Emissionsschicht und eine Elektronentransportschicht umfasst, wobei die Emissionsschicht eine Sub-Strukturierung mit Zonen aufweist, welche Zonen bestehend aus
10 mindestens einem Wirtsmaterial und Zonen bestehend aus einem Mischsystem mit mindestens einem phosphoreszenten Emitterfarbstoff umfasst, wobei die Zonen bestehend aus dem Mischsystem durch die Zonen bestehend aus dem wenigstens einen Wirtsmaterial räumlich voneinander getrennt sind. Ein solches Bauelement kann auch als phosphoreszentes organische Bauelement bezeichnet werden.

15 Bevorzugt ist die Triplett-Energien (T_{Wirt}) des wenigstens einen Wirtsmaterials größer als die Triplett-Energie (T_{Emitter}) des wenigstens einen phosphoreszenten Emitterfarbstoff ($T_{\text{Wirt}} > T_{\text{Emitter}}$).

20 Das Mischsystem kann mittels des wenigstens einen Wirtsmaterials oder unter Verwendung eines oder mehrerer sich hiervon unterscheidenden Wirtsmaterialien gebildet sein. Auch kann dem wenigstens einen Wirtsmaterial wenigstens ein weiteres Wirtsmaterial beigemischt sein. Im Unterschied zu dem Mischsystem, welches einen oder mehrere phosphoreszente Emitterfarbstoffe enthält, sind die Zonen bestehend aus dem wenigstens einen Wirtsmaterial
25 frei von Emitterfarbstoffen und bestehen aus einem oder mehreren Wirtsmaterialien. Wirtsmaterial („matrix material“, „host material“) ist im Allgemeinen das Material, das genutzt wird, um Exzitonen von ihm auf den Emitterfarbstoff zu übertragen, quasi ein Donor-Material.

30 Die Emissionsschicht kann durch eine vorgegebene Sub-Strukturierung schichtartige Zonen des Mischsystems aus Wirtsmaterial und Emitterfarbstoff aufweisen, wobei die Sub-Strukturierung durch sequentielle Abfolge von schichtartigen Zonen in Form einer Vertikalstrukturierung aus Zonen reinen Wirtsmaterials und Mischsystemzonen aus

Wirtsmaterial und phosphoreszent Licht emittierendem Emitterfarbstoff ausgebildet ist.

Die Emissionsschicht kann andererseits durch eine vorgegebene Sub-Strukturierung schichtartige Zonen des Mischsystems aus Wirtsmaterial und Emitterfarbstoff aufweisen, wobei die Sub-Strukturierung durch sequentielle Abfolge von schichtartigen Zonen in Form einer Lateralstrukturierung aus Zonen reinen Wirtsmaterials und Mischsystemzonen aus Wirtsmaterial und phosphoreszent Licht emittierendem Emitterfarbstoff ausgebildet ist. Die Emissionsschicht kann auch aus einer Vertikalstrukturierung und einer Lateralstrukturierung von schichtartigen Zonen bestehen. Schließlich können in der Emissionsschicht die Zonen der Mischsysteme und/oder der Wirtsmaterialien als kugelförmige oder kubische Körper oder als Körper vorgegebener Geometrie ausgebildet sein. Es können sowohl Wirtsmaterial als auch Emitterfarbstoff verschiedener Emissionsschichten jeweils verschieden sein.

Die Löchertransportschichten können in einer Schicht zusammengefasst sein und / oder die Elektronentransportschichten können in einer Schicht zusammengefasst sein.

Die Zonen reinen Wirtsmaterials können durch Zonen eines anderen Wirtsmaterials ersetzt sein, wobei dessen Triplett-Energie größer als die Triplett-Energie des eingesetzten Emitterfarbstoffs ist. Die Zonen reinen Wirtsmaterials können auch durch Zonen einer Materialkombination von mehreren Materialien ersetzt sein, wobei deren Triplett-Energien T_{Komb} größer als die Triplett-Energien T_{Emitter} des Emitterfarbstoffs mit $T_{\text{Komb}} > T_{\text{Emitter}}$ für alle Materialien sind. Auch können verschiedene Zonen reinen Wirtsmaterials in beliebiger, sequentieller Reihenfolge von Zonen mehrerer Materialien ersetzt sein. Verschiedene Zonen des Mischsystems können verschiedene phosphoreszente Emitterfarbstoffe enthalten. Die Zonen eines Mischsystems können mehrere, verschiedene Wirtsmaterialien und/oder mehrere, verschiedene Emitterfarbstoffe enthalten.

Die Vertikalstrukturierung kann während einer Mischverdampfung von Wirtsmaterial und Emitterfarbstoff durch eine Anordnung von mechanisch beweglichen Blenden vor der Emitterfarbstoffquelle durchgeführt werden, welche die Verdampfung des Emitterfarbstoffes periodisch unterbrechen. Die Lateralstrukturierung kann während der Mischverdampfung von Wirtsmaterial und Emitterfarbstoff durch ein periodisches Einführen einer Schattenmaske direkt vor dem Substrat erzeugt werden. Eine solche Maske ist in ihrer Auflösung durch die

Herstellung begrenzt (zum Beispiel Beugungsbegrenzung bei Laserschneiden), sodass derart hergestellte Zentren eine Ausdehnung im Mikrometerbereich haben. Durch schnelles Verschieben der Schattenmaske in x- und/oder y-Richtung um die Normale (z-Richtung) der Maske selbst können die effektiven Öffnungen der Maske drastisch reduziert werden. Hierbei ist vorzugsweise die Verschiebung in beide Richtungen jeweils kleiner als der Durchmesser der Öffnungen in der Schattenmaske. Da auch eine Kombination von Vertikal- und Lateralstrukturierung möglich ist, kann eine Sub-Strukturierung in allen Raumrichtungen erreicht werden.

Bei phosphoreszenten organischen Bauelementen müssen, wie oben beschrieben, relative hohe Konzentrationen des Emittiermaterials in ein Wirtsmaterial eingebracht werden. Dies ist nötig, um die elektrisch gebildeten Exzitonen effizient auf dem Emittierfarbstoff einzufangen. Die hohe Konzentration hat zur Folge, dass es für die angeregten Triplett-Zustände des Emittierfarbstoffes möglich wird, auf einem Gitter von nichtangeregten Emittierfarbstoffen effizient zu diffundieren. Die Diffusion ist ein Dexter-Prozess, typischerweise mit 1-2nm Wechselwirkungsreichweite (Dexter, Journ. Chem. Phys.21 (1953) 836).

Wesentlich ist es, dass die Diffusion auf dem Gitter der Emittierfarbstoffe effektiv unterbunden wird. Die Diffusion wird durch die Sub-Struktur der Emissionsschicht unterdrückt, welche die Exzitonen in ihrer Diffusion einschränkt. Die Sub-Strukturen werden nicht zum effizienten Einfangen von Ladungen benötigt, um etwa die Rekombinationseffizienz und somit die absolute Elektrolumineszenz-Effizienz zu erhöhen (Cheng et al., Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) L376). Sondern es wird versucht, die Emittierfarbstoffe in Zonen einzuschließen, die räumlich mit einem Material umgeben sind, dessen Triplett-Energie, ähnlich wie die der konventionellen Blockerschichten, hoch gegenüber der Triplett-Energie des Emittierfarbstoffes ist. Dabei wird die effektive Konzentration der Emittierfarbstoffe in diesen Zonen nicht reduziert, um einen effizienten Energieübertrag der Wirtsexzitonen auf den Emittier zu ermöglichen. Es wird ausgenutzt, dass der Prozess der Diffusion ein statistischer Prozess ohne Vorzugsrichtung ist, und dass weiterhin jeder Diffusionsschritt zu einem benachbarten Molekül vom vorigen Schritt nicht beeinflusst ist. Durch die Einführung von energetischen Barrieren, die eine Diffusion des angeregten Zustands in diese Richtung unterbinden, wird so die effektive Wahrscheinlichkeit der Diffusion zu Gunsten der strahlenden Rekombination der Exzitonen, d.h. unter

Aussendung von Licht, reduziert. Benachbarte exzitonische Sub-Schicht-Strukturen sind weiter voneinander entfernt angeordnet als die mittlere Dexter-typische Wechselwirkungsreichweite, d.h. mindestens etwa 1 bis etwa 2nm, darstellt.

5 Für die Umsetzung der Sub-Strukturierung ist nur maßgeblich, dass die Triplett-Energie des die Zonen mit Emitterfarbstoff umgebenden Materials höher ist als die der Emitter-Farbstoff Triplett-Energie, um die Farbstoff-Triplett-Exzitonen effizient in den Zonen festzuhalten. Im günstigsten Fall kann diese Struktur aus einer Kombination aus reinem, konventionellem Wirtsmaterial und einem Mischsystem aus Wirtsmaterial und Emitterfarbstoff hergestellt
10 werden. Die Emissionsschicht wird derart strukturiert, dass es definiert separierte exzitonische Sub-Strukturen des Mischsystems in einer Umgebung des reinen Wirtsmaterials innerhalb der Emissionsschicht gibt.

Eine Weiterbildung der Erfindung kann vorsehen, dass die Zonen in einer Schichtstruktur
15 gebildet sind, wobei die Schichtstruktur eine sequentielle Abfolge von schichtartigen Zonen in Form einer Vertikalstrukturierung aus den Zonen bestehend aus dem Mischsystem und den Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial umfasst.

Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Zonen in einer
20 Schichtstruktur gebildet sind, wobei die Schichtstruktur eine sequentielle Abfolge von schichtartigen Zonen in Form einer Lateralstrukturierung aus den Zonen bestehend aus dem Mischsystem und den Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial umfasst.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass zumindest
25 ein Teil der Zonen als kugelförmiger oder kubische Körper ausgebildet sind.

Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass benachbarte Grenzflächen
der Zonen bestehend aus dem Mischsystem wenigstens in einem Abstand im Nanometerbereich voneinander entfernt sind, wobei der Abstand einer Dicke der Zonen
30 bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial entspricht. Der Abstand beträgt vorzugsweise wenigstens zwei Nanometer.

Bevorzugt sieht eine Fortbildung der Erfindung vor, dass die Löchertransportschicht p-dotiert und / oder die Elektronentransportschicht n-dotiert sind. Vorgesehen ist eine elektrische Dotierung.

- 5 Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen⁶ sein, dass die Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial durch Zonen eines anderen Wirtsmaterials ersetzt sind, wobei dessen Triplett-Energie (T_{Wirt1}) größer als die Triplett-Energie (T_{Emitter}) des mindestens einen phosphoreszenten Emitterfarbstoff mit $T_{\text{Wirt1}} > T_{\text{Emitter}}$ ist.
- 10 Eine Weiterbildung der Erfindung kann vorsehen, dass Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial durch Zonen einer Materialkombination von mehreren Materialien ersetzt sind, wobei deren Triplett-Energien (T_{Komb}) größer als die Triplett-Energien (T_{Emitter}) des mindestens einen phosphoreszenten Emitterfarbstoff mit $T_{\text{Komb}} > T_{\text{Emitter}}$ für alle Materialien sind.
- 15 Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial in sequentieller Reihenfolge mit Zonen mehrerer Materialien gebildet sind.
- 20 Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass verschiedene phosphoreszente Emitterfarbstoffe in den Mischsystemen enthalten sind. Die verschiedenen Emitterfarbstoffe unterscheiden sich durch ihr jeweiliges Emissionsspektrum.
- Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass mehrere Mischsystemen mit unterschiedlichen Wirtsmaterialien gebildet sind. Ein Mischsystem ist bevorzugt gebildet aus 25 einem oder mehreren Wirtsmaterialien sowie einem oder mehreren hierin eingelagerten Emitterfarbstoffen.
- 30 Bevorzugt sieht eine Fortbildung der Erfindung vor, dass zusätzliche Emissionsschichten mit einer Fluoreszenz-Emission aus Singulett-Zuständen gebildet sind. Die zusätzlichen Emissionsschichten sind als Bereiche bestehend aus einem oder mehreren fluoreszierenden Emitterfarbstoffen oder als Bereiche bestehend aus einem Mischsystem mit einem oder

mehreren Wirtsmaterial und einem oder mehreren fluoreszierenden Emitterfarbstoffen gebildet.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass in dem
5 Mischsystemen die Konzentration des mindestens einen phosphoreszenten Emitterfarbstoffes
in dem mindestens einen Wirtsmaterials zwischen 0.1mol% und 50mol% liegt. 0.1 mol%
sichern eine effiziente Übertragung der Exzitonen von dem Wirts- oder Matrixmaterial auf
den Emitterfarbstoff, und größer 50mol% reduziert die Effizienz der Emission durch
Aggregation deutlich.

10

Eine Weiterbildung der Erfindung kann vorsehen, dass ein Abstand zwischen den Zonen
bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial zwischen etwa 2nm und etwa 20nm liegt.
Bei einem Abstand von etwa 2nm Abstand sind die einzelnen Zonen ausreichend getrennt,
sodass kurzreichweitige Energietransferprozesse den gewünschten Effekt der Lokalisierung
15 nicht verhindern. Ein Abstand von mehr als etwa 20nm führt zu hohen Spannungen in dem
Bauelement. Darüber hinaus wird der Transfer von Wirtsmaterial zu Emitterfarbstoff
uneffizient oder findet gar nicht mehr statt.

Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Zonen bestehend aus dem
20 Mischsystem eine räumliche Ausdehnung von etwa 0,5nm bis etwa 100nm aufweisen.
Kleiner 0.5nm führt auf eine molekulare Größenordnung, was technisch kaum praktikabel ist.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die
organischen Schichten aus im Vakuum aufgedampften kleinen Molekülen oder teilweise aus
25 Polymeren bestehen.

Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass die Emissionsschicht eine
weitere Sub-Strukturierung aufweist, bei der eine Mischfarbenlicht bis hin zum Weißlicht
emittierende Kombination von verschiedenen Emitterfarbstoffen, die verschiedene Basis-
30 Emissionsspektren aufweisen, in verschiedenen Zonen eines Mischgebiets vorgesehen ist.
Bevorzugt handelt es sich um phosphoreszente Emitterfarbstoffe, aber auch fluoreszente
Emitterfarbstoffe können vorgesehen sein.

Bevorzugt sieht eine Fortbildung der Erfindung vor, dass die Triplet-Energien T_{Wirt} von Wirtmaterialien kleiner als die oder gleich den Triplet-Energien T_{Emitter} der Emitterfarbstoffe sind.

5 Für die Erzeugung einer abgestimmten Farblichtemission bis hin zur Weißlichtemission ist eine Emissionsschicht-Struktur mit mindestens einer Emissionsschicht mit einer Sub-Strukturierung gebildet. Die mindestens eine Emissionsschicht umfasst eine Kombination von verschiedenen Emittermaterialien mit verschiedenen Basis-Emissionsspektren in verschiedenen Zonen eines Mischgebiets, so dass ein farbabgestimmtes Licht oder Weißlicht
10 abgegeben werden kann. Die verschiedenen Schichten (Zonen) mit unterschiedlichen Emissionsfarbstoffen, welche insoweit jeweils ein Mischgebiet darstellen, können auch eine Anordnung von mehreren Emissionsschichten bilden. Die weitere Sub-Strukturierung der Emissionsschicht überlagert mit der vorangehend beschriebenen Zone-Strukturierung.

15 Energieübertragsprozesse zwischen verschiedenen Emitterfarbstoffen werden für die Erzeugung von Weißlicht unterdrückt, da ansonsten die Energie durch effiziente Transfermechanismen zum energetisch günstigsten Zustand übertragen wird, insbesondere die roten Emitterzustände, bevor eine Rekombination unter Aussendung von Photonen eintritt. Dementsprechend können mittels des vorgeschlagenen Bauelementes sowohl Weißlicht durch
20 die Emission verschiedener Zonen mit unterschiedlichem Emissionsspektrum als auch die Reduktion der diffusionsbasierten Triplet-Triplet-Löschung erreicht werden. Aus der kombinatorischen Möglichkeit, verschiedene Emitterfarbstoffe räumlich in der Emissionsschicht-Struktur anzuordnen, ergibt sich eine vereinfachte, modulare Variabilität in der Farbabstimmung, um Licht eines vorgegebenen Spektrums, insbesondere um Weißlicht zu
25 erreichen.

Das Bauelement mit mindestens einer Emissionsschicht zur Erzeugung von Weißlicht kann Gebiete aufweisen, in denen die Triplet-Energien T_{Wirt} des Wirtmaterials kleiner als die oder gleich den Triplet-Energien T_{Emitter} des Emitterfarbstoffs mit $T_{\text{Wirt}} < T_{\text{Emitter}}$ oder $T_{\text{Wirt}} =$
30 T_{Emitter} sind. Das Bauelement zur Weißlichtemission mit mindestens einer Emissionsschicht kann zusätzlich fluoreszente Emissionsschichten enthalten, die wiederum entweder reine Schichten des Emitterfarbstoffs und/oder ein Mischsystem aus Wirtmaterial und Emitterfarbstoff sein können. Die Lichtauskopplungseffizienz des Bauelements kann für den

blauen Spektralbereich, der Bereich zwischen 400nm und 500nm in der Wellenlänge, optimiert sein und diese Optimierung kann durch die Anpassung der Schichtdicken der Transportschichten erfolgen.

- 5 Solche Bauelemente werden mittels eines Herstellungsverfahrens unter Einsatz von verschiedenen Emitterfarbstoffen mit unterschiedlichen Emissionsfarben in einer vorgesehenen Emissionsschicht-Struktur für eine abgestimmte Farbemission oder eine Weißlichtemission realisiert.
- 10 Vorgesehen ist weiterhin ein Verfahren zum Herstellen eines organischen Bauelementes, insbesondere phosphoreszierende organische Leuchtdiode, bei dem eine Anode und eine Kathode sowie hierzwischen eine Anordnung organischer Schichten gebildet werden, die eine LÖchertransportschicht, eine Emissionsschicht und eine Elektronentransportschicht umfasst, wobei die Emissionsschicht mit einer Sub-Strukturierung mit Zonen gebildet wird, welche
- 15 Zonen bestehend aus mindestens einem Wirtsmaterial und Zonen bestehend aus einem Mischsystem aus mindestens einem phosphoreszenten Emitterfarbstoff und dem mindestens einen Wirtsmaterials umfasst, wobei die Zonen bestehend aus dem Mischsystem durch die Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial räumlich voneinander getrennt gebildet werden. Das Verfahren zum Herstellen kann in Verbindung mit den vorteilhaften
- 20 Ausgestaltungen des Bauelementes entsprechend erweitert oder angepasst werden.

Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf

25 Figuren der Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Schichtanordnung eines organischen Licht emittierenden Bauelementes,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Schichtanordnung eines weiteren organischen Licht emittierenden Bauelementes,
- 30 Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Schichtanordnung eines anderen organischen Licht emittierenden Bauelementes,

- Fig. 4 eine grafische Darstellung für die Quanteneffizienz in Abhängigkeit von der Helligkeit einer Referenz-Leuchtdiode nach Stand der Technik und einer erfindungsgemäßen organischen Leuchtdiode,
- 5 Fig. 5 eine grafische Darstellung für ein Elektrolumineszenzspektrum der erfindungsgemäßen organischen Leuchtdiode,
- Fig. 6 eine grafische Darstellung einer elektrischen Feldverteilung der Lichtemission eines organischen Licht emittierenden Bauelementes mit mehreren Emissionsschichten mit unterschiedlichen Emissionswellenlängen,
- 10 Fig. 7 eine grafische Darstellung einer Feldverteilung der Lichtemission von zwei organischen Licht emittierenden Bauelementen mit unterschiedlichem Kathodenmaterial (Aluminium und Silber),
- Fig. 8 eine grafische Darstellung einer elektrischen Feldverteilung von Licht mit 470 nm Wellenlänge in einem organischen Licht emittierenden Bauelement mit für diese Wellenlänge optimierten Schichtdicken z und d , welche Abstände der Emissionszone von Kathode und einer Anoden/Glassubstrat-Grenzfläche festlegen,
- 15 Fig. 9 ein Elektrolumineszenzspektrum.
- Fig. 10 eine grafische Darstellung für die Quanteneffizienz in Abhängigkeit von der Helligkeit einer Referenz-Leuchtdiode nach dem Stand der Technik und einer weiteren erfindungsgemäßen organischen Leuchtdiode,
- 20 Fig. 11 eine schematische Darstellung einer Schichtabfolge für eine bekannte OLED nach dem Stand der Technik (11a), eine erfindungsgemäße OLED (11b) und eine erfindungsgemäße OLED in einem Austrittsarbeit(eV)-Schichtdicken-Diagramm (11c),
- Fig. 12 eine schematische Darstellung einer Emissionsschicht in vertikaler Schichtabfolge B A (12a), B C (12b), B C+D (12c) und B C D (12d), wobei A ein reines Wirtsmaterial, B ein Mischsystem aus Wirtsmaterial und Emitterfarbstoff, C ein von A verschiedenes Wirtsmaterial mit gleichen physikalischen Vorgaben wie A und D ein weiteres von A verschiedenes Wirtsmaterial mit gleichen physikalischen Vorgaben wie A sind,
- 25 Fig. 13 eine schematische Darstellung einer Emissionsschicht mit A- und B-Komponenten für eine Realisierung einer Sub-Strukturierung in allen Raumrichtungen in einer perspektivische Ansicht (13a) und einer Seitenansicht (13b),
- 30

- Fig. 14 ein Photolumineszenz-Spektrum von je einer 20nm Mischsystemschicht TCTA:Ir(ppy)₃, wobei die gestrichelt quadratische Kurve für die Referenz-Emissionsschicht mit 9,6mol% und die gestrichelt gekreiselte Kurve für die Sub-Schicht-Struktur-Emissionsschicht mit 11,4mol% zeigen,
- 5 Fig. 15 mehrere Photolumineszenz-Abklingkurven für Proben aus der Voruntersuchung nach Fig. 14, wobei die gestrichelt quadratische Kurve für die Referenz-Emissionsschicht mit 9,6mol% und die gestrichelt gekreiselte Kurve für die Sub-Schicht-Struktur-Emissionsschicht mit 11,4mol% zutreffen, wobei die Referenz-Struktur größere TTA-Beträge aufweist,
- 10 Fig. 16 eine Stromdichte-Spannungs-Charakteristik einer OLED, wobei die gestrichelt quadratische Kurve für die Referenz-Emissionsschicht mit 9,6mol% und die gestrichelt gekreiselte Kurve für die Sub-Schicht-Struktur-Emissionsschicht mit 11,4mol% zutreffen und wobei für die Sub-Schicht-OLED eine kleine zusätzliche Barriere festzustellen ist,
- 15 Fig. 17 Elektrolumineszenz-Spektren von Bauelementen gemäß Fig. 14 bis 16, wobei die gestrichelt quadratische Kurve für die Referenz-Emissionsschicht mit 9,6mol% und die gestrichelt gekreiselte Kurve für die Sub-Schicht-Struktur-Emissionsschicht mit 11,4mol% zutreffen, wobei auch bei der Sub-Schicht-Struktur keine Wirtsmaterial-Fuoreszenz zu sehen ist,
- 20 Fig. 18 eine Darstellung der externen Quanteneffizienz als Funktion der Stromdichte für die Bauelemente nach den Fig. 14 bis 17, wobei die gestrichelt quadratische Kurve für die Referenz-Emissionsschicht mit 9,6mol% und die gestrichelt gekreiselte Kurve für die Sub-Schicht-Struktur-Emissionsschicht mit 11,4mol% zutreffen, wobei zusätzlich Fit-Funktionen (durchgezogen liniert und gestrichelt) dargestellt sind, die
- 25 . den Effizienzrückgang bei hohen Helligkeiten quantifizieren,
- Fig. 19 mehrere organische Materialien, welche in den Bauelementen einsetzbar sind,
- Fig. 20 weitere organische Materialien, welche in den Bauelementen einsetzbar sind,
- Fig. 21 schematische Darstellungen von Emissionsschicht-Strukturen für eine Emissionsschicht-Struktur mit den relativen Triplett-Energien aller verwendeter Materialien bei Einsatz von FIr(pic), Ir(ppy)₃ und Ir(MDQ)₂(acac) (21a), eine Emissionsschicht-Struktur mit den relativen Triplett-Energien aller verwendeter Materialien bei Einsatz von FIr(pic), Ir(ppy)₃ und Ir(MDQ)₂(acac) (21b), eine Emissionsschicht-Struktur mit den relativen Triplett-Energien aller verwendeter
- 30

Materialien bei Einsatz von FIr(pic) , Ir(ppy)_3 und $\text{Ir(MDQ)}_2(\text{acac})$ (21c) und eine schematische Darstellung des Energiediagramms des zugehörigen Bauelements, einer OLED (21d),

- 5 Fig. 22 Basis-Emissionsspektren von einsetzbaren Emitterfarbstoffen (hier: FIr(pic) , Ir(ppy)_3 und $\text{Ir(MDQ)}_2(\text{acac})$) in einer Emissionsschicht-Struktur,
- Fig. 23 Emissionsspektren von zwei OLEDs mit Emissionsschicht-Strukturen nach Fig. 21a und Fig. 21b, deren Spektren eine additive Zusammensetzung aus den in Fig. 22 gezeigten Basisemissionsspektren ist,
- 10 Fig. 24 ein Emissionsspektrum einer dritten OLED nach Fig. 21d mit einer dritten Emissionsschicht-Struktur nach Fig. 21c, welches Anteile von allen Basisemitterfarben zeigt, wobei die Farbkoordinaten der Emission nach CIE-Standard angegeben sind,
- Fig. 25 die externe Quanteneffizienz und die Leistungseffizienz der dritten Emissionsschicht-Struktur nach Fig. 21c und Fig. 24 als Funktion der Helligkeit,
- 15 Fig. 26 nutzbare organische Materialien für die Emissionsschicht-Strukturen von Bauelementen: 1. Iridium-bis-(4,6,-difluorophenyl-pyridinato-N,C2)-picolinate, abgekürzt FIr(pic) , 2. Iridium(III)bis(2-methyldibenzo [f,h] quinoxaline)(acetylacetonate), abgek. $\text{Ir(MDQ)}_2(\text{acac})$, 3. N,N,N',N'-Tetrakis(4-methoxyphenyl)-benzidine, sbgek. MeO-TPD und 4. fac-tris(2-phenylpyridine) iridium (Ir(ppy)_3),
- 20 Fig. 27 nutzbare organische Materialien für die Emissionsschicht-Strukturen von Bauelementen: 5. 4,4',4''-tris (N-carbazolyl)-triphenylamine (TCTA), 6. 2,3,5,6-tetrafluoro-7,7,8,8-tetracyano-Quinodimethane (F4-TCNQ), 7. 4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline (Bphen), 8. N,N'-di(naphthalen-2-yl)-N,N'-diphenyl-benzidine (NPB) und
- 25 Fig. 28 nutzbares organisches Material: 9. 2,2'2''(1,3,5-benzenetriyl) tris-(1-phenyl-1H-benzimidazole) (TPBi).

30 Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Schichtanordnung eines organischen Licht emittierenden Bauelementes.

Es sind zwei Elektroden, Anode 1 und Kathode 2, gebildet, zwischen denen ein organischer Bereich mit einer Löchertransportschicht 3 aus einer organischen Substanz, gegebenenfalls

dotiert mit einem Akzeptor-Material, einer Elektronenblockschicht 7 aus einer organischen Substanz, einem organischen Licht emittierenden Bereich 4 mit einer Emissionsschicht EML 1, einer Löcherblockschicht 6 aus einer organischen Substanz sowie einer Elektronentransportschicht 5 aus einer organischen Substanz, gegebenenfalls dotiert mit einem Donor-Material angeordnet ist. Die Emissionsschicht EML 1 umfasst einen überwiegend im blauen oder im blaugrünen Spektralbereich Licht emittierenden fluoreszierenden Emitter, dem ein oder mehrere überwiegend im nicht-blauen Spektralbereich Licht emittierende(r) phosphoreszierende(r) Emitter beigemischt ist/sind. In alternativen Ausführungsformen ist/sind die Elektronenblockschicht 7 und/oder die Löcherblockschicht 6 weggelassen.

Die OLED arbeitet folgendermaßen: Löcher werden durch die Anode 1 in die Löchertransportschicht 3 injiziert, wandern durch die Löchertransportschicht 3 hindurch und erreichen, gegebenenfalls durch die Elektronenblockschicht 7, den Licht emittierenden organischen Bereich 4. Elektronen werden durch die Kathode 2 in die Elektronentransportschicht 5 injiziert, wandern durch die Elektronentransportschicht 5 hindurch und erreichen, gegebenenfalls durch die Löcherblockschicht 6 hindurch, den Licht emittierenden organischen Bereich 4. In dem Licht emittierenden organischen Bereich 4 treffen Löcher und Elektronen aufeinander und rekombinieren auf den blau oder blaugrün fluoreszierenden Emittermolekülen zu angeregten Zuständen, sogenannten Exzitonen, welche in Triplett- und Singulettzuständen gebildet werden. Die Singulettexzitonen rekombinieren teilweise unter Aussendung von blauem Fluoreszenzlicht, teilweise erfolgt ein Energieübertrag nach dem Förster-Transfermechanismus auf die phosphoreszierenden Emitter. Die Triplettexzitonen auf dem fluoreszierenden blauen oder blaugrünen Emitter werden zu einem überwiegenden Teil auf die nicht-blauen phosphoreszierenden Emitter übertragen, wo sie unter Aussendung von Phosphoreszenzlicht rekombinieren.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Schichtanordnung eines weiteren organischen Licht emittierenden Bauelementes e. Für gleiche Merkmale werden in Fig. 2 die gleichen Bezugszeichen wie in Fig. 1 verwendet.

Der Licht emittierende organische Bereich 4 besteht aus zwei Emissionsschichten EML 1 und EML 2. Die zusätzliche Emissionsschicht EML 2 umfasst einen oder mehrere überwiegend

im nicht-blauen Spektralbereich emittierende(n) phosphoreszierende(n) Emitter. EML 1 ist vorwiegend Löcher leitend ausgebildet, EML 2 ist vorwiegend Elektronen leitend ausgebildet. Daher befindet sich die Hauptrekombinationszone im Bereich der Grenzfläche zwischen EML 1 und EML 2. Der Begriff Hauptrekombinationszone bezeichnet ein Raumgebiet innerhalb
5 des Bereichs der organischen Schichten zwischen der Anode und der Kathode, in dem mindestens etwa 50% der injizierten Ladungsträger rekombinieren.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer Schichtanordnung eines anderen organischen Licht emittierenden Bauelementes. Für gleiche Merkmale werden in Fig. 3 die gleichen
10 Bezugszeichen wie in Fig. 2 verwendet. EML 1 ist vorwiegend Elektronen leitend ausgebildet, EML 2 ist vorwiegend Löcher leitend ausgebildet. Daher befindet sich die Hauptrekombinationszone im Bereich der Grenzfläche zwischen EML 1 und EML 2.

Im folgenden werden zur weiteren Erläuterung der Erfindung Ausführungsbeispiele für
15 OLEDs beschrieben. Zunächst wurde eine Referenz-OLED nach Stand der Technik mit folgender Schichtanordnung hergestellt:

- 1) Anode: Indium-Zinn-Oxid (ITO)
- 2) P-dotierte Löchertransportschicht: 60 nm N,N,N',N'-Tetrakis(4-methoxyphenyl)-benzidine (MeO-TPD) dotiert mit Tetrafluoro-Tetracyano-Quinodimethane (F4-TCNQ)
20
- 3) Löcherseitige Zwischenschicht: 10 nm 2,2',7,7'-Tetrakis-(N,N-diphenylamino)-9,9'-spirobifluoren (Spiro-TAD)
- 4) Rote Emissionsschicht: 20 nm N,N'-Di(naphthalen-1-yl)-N,N'-diphenyl-benzidine (α -NPD) dotiert mit Iridium(III) bis (2-methyldibenzo[f,h]quinoxaline) (acetylacetonate) (ADS_076RE) (5 Gewichtsprozent)
25
- 5) Blaue Emissionsschicht: 20 nm N,N'-di-1-naphthalenyl-N,N'-diphenyl-[1,1':4',1":4",1"'-Quaterphenyl]-4,4"'-diamine (4P-NPD)
- 6) Grüne Emissionsschicht: 10 nm 1,3,5-Tris(N-phenylbenzimidazol-2-yl)benzene (TPBi) dotiert mit fac Tris(2-phenylpyridine) iridium (Ir(ppy)3) (4 Gewichtsprozent)
- 30 7) Elektronenseitige Zwischenschicht: 10 nm Bathophenanthrolin (BPhen)
- 8) N-dotierte Elektronentransportschicht: 30 nm BPhen dotiert mit Cs
- 9) Kathode: 100 nm Aluminium

Diese OLED in sogenannter pin-Ausführung zeigt gemäß Fig. 4 eine kontinuierliche Abnahme der externen Quanteneffizienz mit zunehmender Helligkeit. Wie bereits erläutert, resultiert dies aus der starken Ansammlung von Triplettexzitonen in der Hauptrekombinationszone, welche sich im Bereich der Grenzfläche zwischen Schicht 5 (blaue Emissionsschicht) und Schicht 6 (grüne Emissionsschicht) befindet, da Schicht 5 überwiegend Löcher leitend und Schicht 6 überwiegend Elektronen leitend ausgebildet ist.

Ein Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße OLED sieht die folgende Schichtstruktur vor:

- 10 1.1 Anode: Indium-Zinn-Oxid (ITO)
- 1.2 P-dotierte Löchertransportschicht: 60 nm N,N,N',N'-Tetrakis(4-methoxyphenyl)-benzidine (MeO-TPD) dotiert mit Tetrafluoro-Tetracyano-Quinodimethane (F4-TCNQ)
- 1.3 Löcherseitige Zwischenschicht: 10 nm N,N'-Di(naphthalen-1-yl)-N,N'-diphenylbenzidine (α -NPD)
- 15 1.4 Blau und rot emittierende Schicht: N,N'-di-1-naphthalenyl-N,N'-diphenyl-[1,1':4',1'':4'',1''':4''']-4,4''-diamine (4P-NPD) dotiert mit Iridium(III) bis(2-methyldibenzo[f,h]quinoxaline) (acetylacetonate) (ADS_076RE) (0,15 Gewichtsprozent)
- 20 1.5 Grüne Emissionsschicht: 10 nm 1,3,5-Tris(N-phenylbenzimidazol-2-yl)benzene (TPBi) dotiert mit fac Tris(2-phenylpyridine) iridium (Ir(ppy)₃) (1 Gewichtsprozent)
- 1.6 Elektronenseitige Zwischenschicht: 10 nm Bathophenanthrolin (BPhen)
- 1.7 N-dotierte Elektronentransportschicht: 30 nm BPhen dotiert mit Cs
- 25 1.8 Kathode: 100 nm Aluminium

Diese OLED ist eine weiße OLED in so genannter pin-Ausführung, welche bei einer Spannung von 4,2 V eine Helligkeit von über 1000 cd/m² zeigt. Das Elektrolumineszenzspektrum hat gemäß Fig. 5 drei Peaks bei 434 nm, 507 nm und 603 nm; die CIE 1931 Farbkoordinaten sind x=0,39 und y=0,35. Insbesondere erkennt man eindeutig sowohl die Fluoreszenz des 4P-NPD (blaue Emission) als auch die Phosphoreszenz des ADS_076RE (rote Emission) aus der gemischten Schicht 4.

Die externe Quanteneffizienz (siehe Fig. 4) ist bis zu einer Helligkeit von etwa 1500 cd/m² nahezu konstant, während sie im Referenzbauelement bereits um einen Faktor von etwa 2 abgefallen ist. Im direkten Vergleich mit der Referenz-OLED nach Stand der Technik ist die externe Quanteneffizienz der erfindungsgemäßen OLED ab einer Helligkeit von etwa 500 cd/m² größer.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße OLED sieht die folgende Schichtstruktur vor:

- 2.1 Anode: Indium-Zinn-Oxid (ITO)
- 10 2.2 P-dotierte Löchertransportschicht: 60 nm N,N,N',N'-Tetrakis(4-methoxyphenyl)-benzidine (MeO-TPD) dotiert mit Tetrafluoro-Tetracyano-Quinodimethane (F4-TCNQ)
- 2.3 Löcherseitige Zwischenschicht: 10 nm 1,1-Bis-(4-methylphenyl)-aminophenyl-cyclohexan (TAPC)
- 15 2.4 Blau und rot emittierende Schicht: N,N'-di-1-naphthalenyl-N,N'-diphenyl-[1,1':4',1":4",1"'-Quaterphenyl]-4,4"'-diamine (4P-NPD) dotiert mit Iridium(III) bis(2-methyldibenzo[f,h]quinoxaline) (acetylacetonate) (ADS_076RE) (0,12 Gewichtsprozent)
- 20 2.5 Grüne Emissionsschicht: 10 nm 1,3,5-Tris(N-phenylbenzimidazol-2-yl)benzene (TPBi) dotiert mit fac Tris(2-phenylpyridine) iridium (Ir(ppy)₃) (0,8 Gewichtsprozent)
- 2.6 Elektronenseitige Zwischenschicht: 10 nm TPBi
- 2.7 N-dotierte Elektronentransportschicht: 30 nm Bathophenanthrolin (BPhen) dotiert mit Cs
- 25 2.8 Kathode: 100 nm Aluminium

Im Vergleich zum vorangehenden Ausführungsbeispiel sind andere Blockermaterialien verwendet. Darüber hinaus sind die Prozentanteile der phosphoreszierenden Emitter verändert. Damit lässt sich über den gesamten Stromdichtebereich eine höhere Quanteneffizienz als mit der Referenz-OLED erreichen.

Das Bauelement nach dem weiteren Ausführungsbeispiel ist ein Weißlicht abgebendes organisches Bauelement in so genannter pin-Ausführung, welche bei einer Spannung von 3,7

V eine Helligkeit von über 1000 cd/m² zeigt. Im direkten Vergleich mit der Referenz-OLED nach Stand der Technik ist die externe Quanteneffizienz (siehe Fig. 10) über den gesamten gemessenen Helligkeitsbereich von etwa 10 cd/m² bis etwa 10000 cd/m² deutlich größer. Insbesondere ist zu sehen, dass die externe Quanteneffizienz bis zu einer Helligkeit von etwa 1500 cd/m² praktisch konstant bleibt, im Gegensatz zur Referenz-OLED, welche einen starken Effizienzabfall zeigt, beginnend bereits bei geringen Helligkeiten von 10 cd/m².

Für die Licht emittierenden organischen Bauelemente mit Schichtaufbau kann, unabhängig von ihrer individuellen Ausbildung, eine Emissionszone mittels einer räumlichen Verteilung der strahlend relaxierenden Exzitonen definiert werden, die von einer Ladungsträgerbalance, der Exzitonendiffusion und dergleichen abhängt. Die Emissionszone bildet somit einen Teilbereich innerhalb der Emissionsschicht des Bauelementes, in dem der überwiegende Anteil des Lichtes entsteht. Wird davon ausgegangen, dass sich die Emissionszone über einen breiten Bereich der Emissionsschicht erstreckt, können Emissionszone und Emissionsschicht näherungsweise gleich behandelt werden. Ein Abstand z zwischen der als Kathode ausgebildeten Elektrode des Bauelementes und der Emissionszone entspricht dann im einfachsten Fall dem Abstand zwischen Elektrode und Mitte der Emissionsschicht (siehe Fig. 6). Hierdurch ist gleichzeitig gesichert, dass der Wellenlängenbereich um λ_{blau} ebenfalls optimal an das optische Feld koppelt.

Die Beschreibung einer effektiven Eindringtiefe ET erfolgt mittels Phasenverschiebung Φ_{Kathode} des Lichtes bei der Reflexion. Diese Verschiebung hängt vom Kathodenmaterial (Metall) und der Wellenlänge ab und berechnet sich aus den optischen Konstanten der aneinandergrenzenden Materialien (siehe zum Beispiel Dodabalapur et al., Journal of Applied Physics, 80, 6954 (1996)): $ET = \lambda/4 - |(\Phi_{\text{Kathode}} * \lambda/4\pi)|$ mit $\Phi_{\text{Kathode}} = \arctan(2n_0k_m/(n_0^2 - n_m^2 - k_m^2))$, wobei n_0 , n_m , k_m ... optische Konstanten der Organik und des Metallmaterials der Kathode sind. In einem Ausführungsbeispiel ergibt sich für ein Kathodenmaterial Al, $\lambda_{\text{blau}} = 470\text{nm}$, (Wellenlänge in Organik: $\lambda_{\text{blau}}/n_0 = 266\text{nm}$) sowie $n_0(\text{BPhen:Cs}) = 1.76$, $n_m(\text{AL}) = 0.538$, $k_m(\text{AL}) = 4.81$: $ET = 266\text{nm}/4 - 14.75\text{nm} = \text{etwa } 52\text{nm}$. Für 550nm ergibt sich etwa 64nm für Al und 55nm für Ag (vgl. Fig. 7)

Mikroresonatoreffekte treten in bottom-emittierenden OLEDs vorwiegend aufgrund des Brechungsindexunterschieds zwischen ITO und Glassubstrat auf. Damit ist bei fester ITO-

Schichtdicke die Kavitätslänge durch $d_{\text{cav}} + d_{\text{ITO}}$ gegeben. Die Resonanzbedingung ist annähernd erfüllt, wenn gilt: $(2m+1)\pi/4 = \Sigma(d_i \cdot 2\pi \cdot n_i/\lambda) + |\Phi_{\text{Kathode}}/2|$, ($m = 1, 2, \dots$). Die Bedingung stellt sicher, dass im Grenzbereich zwischen ITO und Glassubstrat ein Feldmaximum auftritt. In anderen Worten: 3/4, 5/4, 7/4... mal Wellenlänge passen zwischen ITO und Glas und Al (+ effektive Eindringtiefe). Die Bedingung gibt Richtwerte an. Präzise Optimierung erfolgt über Simulation mittels Dünnschichtoptik. In einem Ausführungsbeispiel gilt: $\lambda_{\text{reso}} = 470\text{nm}$; $d_{\text{ITO}} = 90\text{nm}$, $n_{\text{ITO}} = 2$; $d_1 = 45\text{nm}$, $n_1 = 1.76$; $d_{\text{EMLs}} = 25\text{nm}$, $n_{\text{EMLs}} = 2$, $n_2 = 2$, $n_{\text{Al}} = 0.538$, $k_{\text{Al}} = 4.81$.

10 Es ergeben sich ein "erstes Maximum": ($m = 1$) $\Rightarrow d_2 = 10\text{nm} \Rightarrow d = 45\text{nm} + 25\text{nm} + 10\text{nm} =$ etwa 80nm und ein „zweites Maximum“: ($m = 2$) $\Rightarrow d_2 = 145\text{nm} \Rightarrow d = 45\text{nm} + 25\text{nm} + 145\text{nm} =$ etwa 215nm.

15 Der Anteil von Fluoreszenzlicht an dem in der Emissionsschicht erzeugten Licht wird über das Konzentrationsverhältnis von fluoreszierendem und phosphoreszierendem Material in der Emissionsschicht eingestellt. Je mehr fluoreszierender Emitter enthalten ist, desto höher ist der Anteil des Fluoreszenzlichtes an der gesamten Lichtemission. Experimentell kann der Fluoreszenzlicht dann gemessen werden, indem ein Elektrolumineszenzspektrum aufgenommen und der Intensitätsanteil des im blauen Spektralbereichs fluoreszierenden
20 Emitters bestimmt wird.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die folgende Struktur gebildet: Glas / ITO (90 nm) / MeO-TPD:F₄-TCNQ (60 nm, 4 mol%) / α -NPD (10 nm) / 4P-NPD:Ir(MDQ)₂(acac) (30 nm, 0.11 Gewichtsprozent) / TPBi (10 nm) / BPhen:Cs (30 nm) / Al (100 nm). Die
25 Emissionsschicht besteht aus einer massiven Schicht (Matrixmaterial) des blau fluoreszierenden Emitters 4P-NPD, dem mit einem Anteil von 0.11 Gewichtsprozenten der rot phosphoreszierende Emitter Ir(MDQ)₂(acac) beigemischt ist. Das Elektrolumineszenzspektrum hat etwa 50% seiner Intensität im Blauen. Dies entspricht somit einem etwa 50%igen Anteil Fluoreszenzlicht an der gesamten Lichtemission. Fig. 9 zeigt eine
30 Elektrolumineszenzspektrum für das vorangehende beschriebene Ausführungsbeispiel.

Je nach Anwendung ist es sinnvoll, einen Kompromiss zwischen hoher Lichtausbeute und Farbreinheit anzustreben. Daher kann es ausreichend sein, über die Einstellung der

Schichtdicke d_2 nur in die Nähe einer für blaues Licht erfüllten Resonanzbedingung zu kommen.

Fig. 10 zeigt eine grafische Darstellung für die Quanteneffizienz in Abhängigkeit von der Helligkeit einer Referenz-Leuchtdiode nach dem Stand der Technik und einer weiteren erfindungsgemäßen organischen Leuchtdiode.

In Fig. 11b ist eine schematische Darstellung eines Bauelements 1010 zur phosphoreszenten Lichtemission aus Triplett-Zuständen gezeigt, wobei das Bauelement 1010 umfasst eine Anode zur Löcherinjektion 101, mindestens eine löcherinjizierende oder löcherransportierende Schicht 102, 103 (Löchertransportschicht), mindestens eine Emissionsschicht 104, mindestens eine elektroneninjizierende oder elektronentransportierende Schicht 105, 106 (Elektronentransportschicht) und eine Kathode zur Elektroneninjektion 107, wobei die Schichten 102, 103, 104, 105, 106 aus organischem Material bestehen, umfasst.

Erfindungsgemäß weist die Emissionsschicht 1042 eine Sub-Strukturierung aus Zonen 1014, 1016, 1018, 1020, 1022 mindestens eines aus mindestens einem Wirtsmaterial 109 und mindestens einem Emitterfarbstoff 1011 bestehenden Mischsystems 108 und aus Zonen 1015, 1017, 1019, 1021 mindestens eines Wirtsmaterials 109 aufweist, wobei die Zonen 1014, 1016, 1018, 1020, 1022 des Mischsystems 108 räumlich voneinander durch die Zonen 1015, 1017, 1019, 1021 des Wirtsmaterial 109 getrennt sind, wobei die Triplett-Energien T_{Wirt} des Wirtsmaterials 109 größer als die Triplett-Energien T_{Emitter} des Emitterfarbstoffs 1011 mit $T_{\text{Wirt}} > T_{\text{Emitter}}$ sind.

Benachbarte Grenzflächen 1012, 1013 der Zonen 1014, 1016, 1018, 1020, 1022 des Mischsystems 108 sind in einem vorgegebenen Abstand a mit einem Mindestbetrag im Nanometerbereich voneinander entfernt. Der Mindestbetrag des Abstands a kann zwischen den benachbarten Grenzflächen 1012, 1013 der Zonen 1014, 1016, 1018, 1020, 1022 des Mischsystems 108 zwei Nanometer betragen. Dabei können das Wirtsmaterial 109 als auch der Emitterfarbstoff 1011 verschiedener Emissionsschichten 1042, 1043, 1044, 1045, 1046 jeweils verschieden sein.

Die Emissionsschicht 1042 weist durch eine vorgegebene Sub-Strukturierung schichtartige Zonen 1014, 1016, 1018, 1020, 1022 des Mischsystems 108 aus Wirtsmaterial 109 und Emitterfarbstoff 1011 und schichtartige Zonen aus dem Wirtsmaterial 109 auf, wobei die Sub-Strukturierung durch sequentielle Abfolge von schichtartigen Zonen in Form einer
5 Vertikalstrukturierung aus Zonen 1015, 1017, 1019, 1021 reinen Wirtsmaterials von mindestens zwei Nanometer Stärke und Mischsystemzonen 1014, 1016, 1018, 1020, 1022 aus Wirtsmaterial und phosphoreszent Licht emittierendem Emitterfarbstoff ausgebildet ist.

In Fig. 12 sind bezüglich der Vertikalstrukturierung mehrere schematische Ausbildungen der
10 Emissionsschichten 1042, 1043, 1044, 1045 in vertikaler Schichtabfolge dargestellt, wobei in Fig. 12a die Emissionsschicht 1042 mit abwechselnden Schichten B und A, in Fig. 12b die Emissionsschicht 1043 mit abwechselnden Schichten B und C, in Fig. 12c die Emissionsschicht 1044 mit abwechselnden Schichten B und C+D sowie in Fig. 12d die Emissionsschicht 1045 mit abwechselnden Schichten B, C und D gezeigt werden und wobei
15 A reines Wirtsmaterial, B ein Mischsystem aus Wirtsmaterial 109 und Emitterfarbstoff 1011, C ein von A verschiedenes Material, mit den physikalischen Vorgaben, die für A gelten, D ein weiteres von A verschiedenes Material, mit den physikalischen Vorgaben, die für A gelten, sind.

20 Es können die Löchertransportschicht 102 p-dotiert und/oder die Elektronentransportschicht 106 n-dotiert sein. Die Löchertransportschichten 102, 103 können aber auch in einer Schicht zusammengefasst und/oder die Elektronentransportschichten 105, 106 können in einer Schicht zusammengefasst sein.

25 Die Zonen 1015, 1017, 1019, 1021 reinen Wirtsmaterials 109 können durch Zonen eines anderen Wirtsmaterials 191 (nicht dargestellt) ersetzt sein, wobei dessen Triplett-Energie T_{Wirt191} größer als die Triplett-Energie T_{Emitter} des eingesetzten Emitterfarbstoffs mit $T_{\text{Wirt191}} > T_{\text{Emitter}}$ ist.

30 Die Zonen 1015, 1017, 1019, 1021 reinen Wirtsmaterials 109 können durch Zonen einer Materialkombination von mehreren Materialien ersetzt sein, wobei deren Triplett-Energien T_{Komb} größer als die Triplett-Energien T_{Emitter} des Emitterfarbstoffs 1011 mit $T_{\text{Komb}} > T_{\text{Emitter}}$ für alle Materialien sind.

Verschiedene Zonen 1015, 1017, 1019, 1021 reinen Wirtsmaterials können in beliebiger, sequentieller Reihenfolge von Zonen mehrerer Materialien ersetzt sein. Verschiedene Zonen 1014, 1016, 1018, 1020, 1022 des Mischsystems können verschiedene phosphoreszente
5 Emitterfarbstoffe enthalten.

Die Zonen eines Mischsystems können mehrere, verschiedene Wirtsmaterialien und/oder mehrere, verschiedene Emitterfarbstoffe enthalten.

10 Das Bauelement 1010 kann zusätzliche Emissionsschichten mit einer Fluoreszenz-Emission aus Singulett-Zuständen enthalten, wobei die zusätzlichen Emissionsschichten reine Zonen oder Mischsysteme sind. Bei Mischsystemen kann die Konzentration des Emitterfarbstoffes im Wirtsmaterial 109 zwischen 0.1mol% und 50mol% liegen. Der Abstand von Zonen reinen
15 Wirtsmaterials kann zwischen 2nm und 20nm liegen. Die Zonen des Mischsystems aus Wirtsmaterial und Emitterfarbstoff können eine räumliche Ausdehnung von 0,5nm bis 100nm haben.

In der Emissionsschicht 1046, wie in Fig. 13a, 13b gezeigt, können die Zonen 1023, 1024, 1025 der Mischsysteme 108 und / oder der Zonen 1091 der Wirtsmaterialien als Schichten
20 oder als kugelförmige oder kubische Körper oder als Körper anderer vorgegebener Geometrie ausgebildet sein.

Die als Schichten ausgebildeten Zonen können aus im Vakuum aufgedampften kleinen Molekülen oder teilweise aus Polymeren bestehen. In dem Verfahren zur Herstellung von
25 Bauelementen, die mindestens eine phosphoreszent Licht emittierende Emissionsschicht enthalten, wird die Emissionsschicht 1042, 1043, 1044, 1045; 1046 durch eine gezielte Sub-Strukturierung von Zonen 1014, 1016, 1018, 1020, 1022; 1023, 1024, 1025 mindestens eines Mischsystems 108 aus mindestens einem Wirtsmaterial 109 und mindestens einem Emitterfarbstoff 1011 und Zonen 1015, 1017, 1019, 1021; 1091 eines Wirtsmaterials 109
30 erzeugt, wobei die Zonen 1014, 1016, 1018, 1020, 1022 des Mischsystems 108 räumlich definiert voneinander durch Zonen 1015, 1017, 1019, 1021; 1091 des Wirtsmaterials 109 getrennt positioniert werden, deren Triplett-Energien T_{Wirt} größer als die des Emitterfarbstoffs 1011 T_{Emitter} ($T_{\text{Wirt}} > T_{\text{Emitter}}$) sind, wobei die Sub-Strukturierung durch sequentielle Abfolge

von Zonen in Form einer Vertikalstrukturierung aus Schichten 1015, 1017, 1019, 1021 des Wirtsmaterials 109 von mindestens zwei Nanometer Stärke und Mischschichten 1014, 1016, 1018, 1020, 1022 aus Wirtsmaterial 109 und phosphoreszent emittierendem Emitterfarbstoff 1011 oder durch eine vorgegebene verteilte Anordnung von Zonen 1023, 1024, 1025 in Form von Körpern mindestens eines Mischsystems 108 in mindestens einer Zone 1091 eines umgebenden Wirtsmaterials 109 oder umgekehrt durchgeführt wird.

Die Vertikalstrukturierung kann während einer Mischverdampfung von Wirtsmaterial 109 und Emitterfarbstoff 1011 durch eine Anordnung von mechanisch beweglichen Blenden vor der Emitterfarbstoffquelle durchgeführt werden, welche die Verdampfung des Emitterfarbstoffes 1011 periodisch unterbrechen.

Die Sub-Strukturierung kann auch mittels einer Lateralstrukturierung (nicht gezeichnet) während einer Mischverdampfung von Wirtsmaterial 109 und Emitterfarbstoff 1011 durch periodisches Einführen von Schattenmasken zwischen Substrat und Verdampfungsquellen erreicht werden. Eine Kombination von Vertikal- und Lateralstrukturierung ist auch möglich, sodass eine Sub-Strukturierung in allen Raumrichtungen erreicht werden kann.

Vorgeschlagen wird insbesondere eine Sub-Strukturierung der Emissionsschicht. Die Ausbildung der übrigen Schichtabfolge kann auf den aus dem Stand der Technik bekannten Strukturen basieren. Beide Blockerschichten 103, 105 müssen energetisch höhere Triplett-niveaus als der Emitterfarbstoff haben. Löcher- und Elektronentransportschicht 102, 106 können optional p- oder n-dotiert sein. Im Falle von Dotierung der Transportschichten sind die Blockschichten 103, 105 obligatorisch, um Exzitonlöschung an den Grenzflächen zu vermeiden. Konventionelle, elektrisch undotierte OLEDs können je nach Ausführung, reduzierte Schichtanzahl haben. Hier können zum Beispiel Funktionen der Schichten 102 und 103 bzw. 105 und 106 in je einem Material zusammengefasst werden.

Die Herstellung der einzelnen organischen Schichten kann durch thermische Verdampfung, Molekularstrahl-Epitaxie, Aufschleudern aus Lösungen sowie durch Abscheidung aus der Gasphase geschehen.

An das Mischsystem sind im Allgemeinen folgende Bedingungen gestellt: a) Die Triplet-Energie T_{Wirt} des Wirtsmaterials 109, 191 sollte größer oder gleich der Triplet-Energie T_{Emitter} des Emitterfarbstoffes 1011 sein, und b) Das Absorptionsspektrum des Emitterfarbstoffs 1011 sollte stark mit dem Emissionsspektrum des Wirtsmaterials 109, 191 überlappen, damit ein effizienter Exzitonen-Energie-übertrag stattfinden kann.

Die Forderung, dass die Triplet-Energie T_{W} des Wirtsmaterials 109, 191 größer als die Triplet-Energie T_{E} des Emitterfarbstoffes 1011 sein soll, bedeutet, die Triplet-Exzitonen effizient auf dem Emitterfarbstoff 1011 einzufangen, d.h. deren Diffusion zu Wirtszuständen zu unterbinden.

Weitere Bedingungen an die Sub-Schicht-Strukturen sind:

- i) Die Zonen des Mischsystems 108 sollten so dünn wie möglich sein, um Diffusion in den einzelnen Zonen zu minimieren.
- 15 ii) Die reinen Schichten des Wirtsmaterials 109 sollten so dünn wie möglich sein, um sowohl Fluoreszenz dieser zu unterbinden als auch elektrische Seiteneffekte wie zum Beispiel höhere Betriebsspannungen durch dicke zusätzliche intrinsische Schichten in der Emissionsschicht 1042 zu vermeiden.
- 20 iii) Die reinen Schichten mit dem Wirtsmaterial 109 müssen mindestens so dick sein, dass Dextertransferprozesse zwischen den Sub-Strukturen 1042 nicht möglich ist ($> 1-2\text{nm}$).

In einem speziellen Ausführungsbeispiel sind in der OLED 10 entsprechend Fig. 11b folgende Materialien eingesetzt, wobei die chemische Bezeichnungen der Materialien in den Fig. 19, 20 dargestellt sind:

25

- 101 transparentes ITO (Indium-Zinn-Oxid) auf einem Glassubstrat (90nm) als Anode
- 102 MeO-TPD elektrisch dotiert mit $\text{F}_4\text{-TCNQ}$, 4mol% (35nm)
- 103 NPB (10nm)
- 104 TCTA: $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ (als Referenzstruktur 1041 (20nm) und als Sub-Schicht-Struktur 1042
30 (20nm))
- 105 TPBi (10nm)
- 106 BPhen elektrisch dotiert mit Cäsium (Cs) (55nm)
- 107 reflektierende Aluminiumschicht (100nm) als Katode.

Die Sub-Schicht-Struktur 1042 entspricht exakt der nachfolgend in der Voruntersuchung erläuterten Struktur. Als Voruntersuchungen werden Photolumineszenz-Untersuchungen der TCTA:Ir(ppy)₃-Emissionsschicht (Referenzstruktur 1041 und Sub-Schicht-Struktur 1042) durchgeführt. Dabei werden auf Quarzglas-Substraten jeweils 20nm Emissionsschicht aufgedampft. Die Referenzstruktur 1041 ist eine Mischsystemschicht aus TCTA:Ir(ppy)₃ mit einer Konzentration von ca. 10mol%. Die Sub-Schicht-Struktur hat folgende Sequenz, wobei hier die Schicht A=TCTA (Wirtsmaterial) und die Schicht B=TCTA:Ir(ppy)₃ (Mischsystem aus Wirtsmaterial und Emitterfarbstoff) entspricht: B(2nm) [/ A(2nm) / B(1nm)]₆, mit einer totalen Dicke von 20nm, welche genau der Emissionszonendicke der Referenzstruktur 1041 entspricht.

In Fig. 14 sind die Photolumineszenz(PL)-Spektren beider Struktur-Schichten 1041, 1042 zu sehen. Beide zeigen starke Emission des Ir(ppy)₃-Triplet-Zustandes mit einem Maximum bei ca. 510nm. Für die Sub-Schicht-Struktur 1042 ist sichtbar, dass die Fluoreszenz von TCTA, dem Wirtsmaterial, erhöht ist. Dies ist bei optischer Anregung zu erwarten, da nahezu alle Exzitonen auf dem Singulett-Zustand von TCTA gebildet werden, so dass ein Bruchteil direkt emittiert wird, statt zum Energieübertrag beizusteuern.

Die beiden Struktur-Schichten 1041, 1042 wurden zeitaufgelöst untersucht, d.h. mit einem kurzen Laserpuls angeregt und das Abklingverhalten der Emission gemessen. Die entsprechenden Zerfallskurven sind in Fig. 15 gezeigt. Es tritt ein rein exponentieller Abfall auf, wenn die Triplet-Triplet-Löschung TTA vernachlässigbar ist, d.h. die angeregten Spezies relaxieren nur direkt. Die zu beobachtende Krümmung am Anfang des Zerfalls ist ein Maß für die bimolekulare Rekombination, hier die Triplet-Triplet-Löschung TTA (vgl. Reineke et al., Phys. Rev. B 75 (2007) 125328).

Bei einem Vergleich der Sub-Schicht-Struktur 1042 mit der Referenzstruktur 1041 weist die Sub-Schicht-Struktur 1042 einen deutlich reduzierten Beitrag der Triplet-Triplet-Löschung TTA auf. Der Effekt ist noch deutlicher, wenn das aktive Volumen, d.h. das Volumen in dem sich Ir(ppy)₃ befinden, um ca. 2/3 kleiner ist als bei der Referenzstruktur 1041, d.h. die effektive Exzitonendichte in der Sub-Schicht-Struktur 1042 um den Faktor Drei größer ist.

Wie in Fig. 11c auch gezeigt ist, sind die energetischen Lagen des höchsten besetzten Molekülorbital (HOMO) und des niedrigsten unbesetzten Molekülorbital (LUMO) oder die der Austrittsarbeit (WF) im Falle der Metalle in folgender Liste aufgezeigt (Reineke et al., Phys. Rev. B 75 (2007) 125328 und Kundu et al., Adv. Funct. Mat. 13 (2003) 445):

5

101 ITO / WF = -4.6eV

102 MeO-TPD:F₄-TCNQ / HOMO = -5.1eV / LUMO = -1.9eV

103 NPB / HOMO = -5.4eV / LUMO = -2.3eV

104 Wirtsmaterial: TCTA / HOMO = -5.9eV / LUMO = -2.7eV; Emitterfarbstoff: Ir(ppy)₃

10

/ HOMO = -5.4eV / LUMO = -2.4eV

105 TPBi / HOMO = -6.2eV / LUMO = -2.7eV

106 BPhen:Cs / HOMO = -6.4eV / LUMO = -3.0eV

107 Al / WF = -4.3eV.

15

In Fig. 16 sind die Stromdichte-Spannungs-Charakteristiken beider Strukturen 1041, 1042 zu sehen. Bei kleinen Spannungen fließt in der Referenzstruktur 1041 ein geringfügig höherer Strom bei gleicher Spannung. Ursache dafür sind die zusätzlichen reinen TCTA-Schichten, die den möglichen Transport von Ladungsträgern auf dem Emittermolekül erschweren. In Gesamtheit ist aber bemerkenswert, dass die Stromdichte-Spannungs-Kurven nahezu

20 identisch sind, d.h. im Bereich von gewöhnlichen Helligkeiten (0.1 bis 100mA/cm²) keine Unterschiede zu sehen sind, sodass die Leistungseffizienz durch die Sub-Schicht-Struktur 1042 nicht maßgeblich beeinflusst wird.

25

In Fig. 17 sind die Elektrolumineszenz (EL)-Spektren beider Struktur-Schichten 1041, 1042 dargestellt. Für beide Struktur-Schichten 1041, 1042 gilt gleichermaßen, dass keine Fluoreszenz vom Wirtsmaterial, TCTA, wie in Fig. 14 gezeigt ist, vorhanden ist. Dies belegt, dass der Energieübertrag in beiden Strukturen 1041, 1042 sehr effizient ist und somit hohe Effizienz der Ir(ppy)₃-Emission zu erwarten ist. Der Fakt, dass im Kontrast zu den Photolumineszenz-Spektren keine TCTA-Fluoreszenz zu beobachten ist, liegt in dem starken

30 Unterschied der Exzitonen-Erzeugung im Fall von Elektronenlumineszenz. Hier werden statistisch schon 75% der Exzitonen im Triplett-Zustand gebildet, sowohl auf TCTA als auch Ir(ppy)₃, hingegen in Photolumineszenz-Experimenten, wie oben erwähnt, nahezu nur Singulett-Exzitonen auf TCTA erzeugt werden.

Fig. 18 enthält die Externe Quanteneffizienz EQE beider OLEDs 101, 1010 als Funktion der Stromdichte j mit $EQE=f(j)$. Beide Kurven fallen zu hohen Stromdichten ab, was auch hohe Helligkeiten bedeutet. Beide OLEDs 101, 1010 haben vergleichbare Effizienzen bei geringen Helligkeiten zwischen 14% und 16%. Die geringfügig kleinere Effizienz der Sub-Schicht-Struktur 1042 ist statistischer Natur, die Photolumineszenz-Messung bei gleicher Anregungsdichte, wie in Fig. 14 zur Voruntersuchung dargestellt ist, zeigt, dass beide OLEDs 101, 1010 gleiche Intensitäten erreichen. Der Verlauf der Externen Quanteneffizienz beider OLEDs 101, 1010 zeigt, dass die Sub-Schicht-Struktur 1042 einen reduzierten Effizienzabfall bei hohen Stromdichten aufweist. Bei Stromdichten von 20-30mA/cm² sind die Effizienzen beider OLEDs 101, 1010 mit ca. 12% EQE gleich.

Die Sub-Schicht-Struktur 1042 ist in diesem speziellen Ausführungsbeispiel nur stellvertretend für die anderen Substrukturen 1043, 1044, 1045, 1046 genannt und dargestellt.

15

In der Druckschrift Reineke et al., Phys. Rev. B 75 (2007) 125328, ist eine Modellrechnung beschrieben, die es ermöglicht, diesen Effizienzurückgang als Funktion der Stromdichte zu modellieren. Hierbei fließen die für die OLEDs 101, 1010 wichtigen Parameter ein, die den Quanteneffizienz-Rückgang bestimmen: a) Triplett-Lebensdauer τ , b) TTA Ratenkonstante k_{TT} , c) Triplett-Ladungsträger-Löschungsratenkonstante k_p und d) Dicke der Exzitonrekombinationszone w .

20

Der Modellrechnung zu Grunde liegend ist folgende Ratengleichung, die die Zeitentwicklung der Exzitonendichte angeregter Emitterfarbstoffe beschreibt:

25

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{n}{\tau} - \frac{1}{2} k_{TT} n^2 - k_p \frac{\rho_c(j)}{e} n + \frac{j}{ew}$$

Im OLED-Dauerbetrieb ist $dn/dt=0$, sodass für obige Ratengleichung folgende stationäre Lösung gefunden wird:

30

$$\frac{EQE(j)}{EQE_0} = \frac{ew}{j\tau} \left[\left(\frac{\left(\frac{1}{\tau} + k_p C j^{1/(l+1)} \right)^2 + 2k_{TT} \frac{j}{ew}}{k_{TT}^2} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{\left(\frac{1}{\tau} + k_p C j^{1/(l+1)} \right)}{k_{TT}} \right],$$

mit folgenden Parametern: j – Stromdichte, e – Elementarladung, EQE – Externe Quanteneffizienz, C – Konstante, die Materialeigenschaften beschreibt und l – einheitsloser Parameter, der die Transporteigenschaften im organischen Festkörper charakterisiert. Letztere Gleichung beschreibt also die Externe Quanteneffizienz $\eta(j)$ als Funktion der Stromdichte in funktionaler Abhängigkeit der oben genannten Parameter (k_{TT} , k_p , τ und w). Mit Hilfe der Modellrechnung können Einflüsse verschiedener Parameter, wie hier im Anschluss für k_{TT} angeführt, bewertet werden.

10

Die Triplett-Lebensdauer τ wird auf $1.64 \mu\text{s}$ bestimmt und festgehalten. Für die TTA Ratenkonstante k_{TT} und Triplett-Ladungsträger-Löschungsratenkonstante k_p werden Werte angenommen und festgehalten, die bei anderen, vergleichbaren TCTA:Ir(ppy)₃-basierenden OLEDs 101 gemessen wurden (Reineke et al., Phys. Rev. B 75 (2007) 125328). Die Dicke der Rekombinationszone wurde zum Fitten benutzt. Das Resultat ist die durchgezogene Fit-Gerade aus Fig. 18.

15

Um den Verlauf der Sub-Schicht-Struktur 1042 zu modellieren, wird ausgehend von der durchgezogenen Kurve in Fig. 18 nur die Ratenkonstante für die Triplett-Triplett-Löschung TTA geändert und zwar, wie in Fig. 18 dargestellt, halbiert. Es kann eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Daten bezüglich der gestrichelten Kurve in Fig. 18 festgestellt werden. Zum besseren Vergleich ist die Modellrechnung für die Sub-Schicht-Struktur 1042 nochmals mit den Parametern der Referenzstruktur 1041 geplottet (schwarzgepunktet). Hier wird deutlich, dass die Modellrechnung den Effizienz-Rückgang überschätzt. Bei der Modellrechnung ist die Dicke der Rekombinationszone w konstant gehalten, was aus folgender Überlegung sinnvoll ist. Es wurde gezeigt, dass die Referenzstruktur 1041 eine Rekombinationszone von ca. 5nm hat (Reineke et al., Phys. Rev. B 75 (2007) 125328). Die Sub-Schicht-Struktur hat auf Grund ihrer Zusammensetzung effektiv maximal 8nm

25

Emissionszone zur Verfügung, da die Exzitonen in den Mischschichtteilen eingefangen sind. Des Weiteren, wie in obiger Struktur erwähnt, kommt NPB als Elektronenblocker zum Einsatz, der auf Grund seines tiefen Triplett-Niveaus mit einer Maximum-Wellenlänge von ca. 540nm die bei 510nm lokalisierte Ir(ppy)₃ löscht, d.h. die Exzitonen werden auf das nichtstrahlende NPB Triplett-Niveau übertragen (Goushi et al., Journ. Appl. Phys. 95 (2004) 7798). Für die Sub-Schicht-OLED 1010 sollte deshalb eine deutlich geringere Ausgangseffizienz bei geringen Helligkeiten erwarten werden. Daraus kann geschlossen werden, dass die Rekombinationszonendicke der Sub-Schicht-Struktur 1042 kleiner als die nominellen 8nm ist, somit vergleichbar mit der Referenzstruktur 1041.

10

Wird eine Stromdichte j_c als die Stromdichte definiert, bei der die Effizienz den halben Wert derer bei geringen Helligkeiten entspricht, bei denen Löschmechanismen keine Rolle spielen, so können mit der Modellrechnung quantitative Aussagen über die Unterschiede getroffen werden. Im Vergleich mit der Referenzstruktur 1041 kann die Stromdichte j_c von 140mA/cm² auf 270mA/cm² für die Sub-Struktur 1042 fast verdoppelt werden.

15

Die Erfindung beschreibt eine Möglichkeit zur Reduktion des Effizienzurückgangs durch eine gezielte Modifikation der Sub-Struktur der Emissionszone, d.h. der Schicht, in der die Ladungsträger in Licht umgewandelt werden.

20

In der Fig. 21 sind Emissionsschicht-Strukturen 2020, 2030, 2040 von Bauelementen 2070 zur phosphoreszenten Lichtemission aus Triplett-Zuständen dargestellt.

Erfindungsgemäß sind für die Erzeugung einer abgestimmten Farblichtemission 2053, 2054 oder Weißlichtemission 2055 in einer Emissionsschicht-Struktur 2020, 2030 oder 2040 mindestens eine Emissionsschicht 209,2010 vorhanden, wobei eine Sub-Strukturierung in mindestens einer der Emissionsschichten 209, 2010 vorliegt oder mindestens eine Emissionsschicht 209, 2010 mit einer Sub-Strukturierung vorhanden ist, bei der die Kombination von verschiedenen Emittiermaterialien, mit verschiedenem Basis-Emissionsspektren, in verschiedenen Zonen des Mischgebiets vorgesehen ist.

30

Hierbei zeigen die Fig. 21a und Fig. 21b eine erste Emissionsschicht-Struktur 2020 und eine zweite Emissionsschicht-Struktur 2030 jeweils mit einer Zusammensetzung zur einfachen,

modularen Farbabstimmung durch die Sub-Strukturierung und die Fig.21c eine dritte Emissionsschicht-Struktur 2040 sowie die Fig. 21c ein auf der Basis der Emitterschicht-Struktur 2040 konkret ausgebildetes Bauelement 2070, das Weißlicht emittiert.

- 5 In den Emissionsschicht-Strukturen 2020, 2030, 2040 sind folgende Materialien eingesetzt, deren chemische Bezeichnungen in den Fig. 26, 27, 28 angegeben sind. Die verschiedenen Emissionszonen der Emissionsschicht-Strukturen 2020, 2030, 2040 sind in den Fig. 21a, 21b, 21c gezeigt. Die schematisch dargestellte, zugehörige Schichtstruktur der kompletten OLED 2070, die in Fig. 21d gezeigt ist, ist wie folgt aufgebaut, wobei die Bezugszeichen
- 10 2060 transparentes ITO (Indium-Zinn-Oxid) auf einem Glassubstrat (90nm) als Anode,
2061 MeO-TPD elektrisch dotiert mit F₄-TCNQ, 4mol% (60nm),
2062 NPB (10nm),
2040 gesamte Emissionsschicht-Struktur,
2063 TPBi (10nm),
- 15 2064 BPhen elektrisch dotiert mit Cäsium (Cs) (40nm),
2065 eine reflektierende Aluminiumschicht (100nm) als Katode,
wobei die jeweiligen Schichtdicken in Nanometern - nm - angegeben sind, darstellen.

Anstelle der Emissionsschicht-Struktur 2040 für eine Weißlichtemission können die
20 Emissionsschicht-Strukturen 2020, 2030 für die Erzeugung einer abgestimmten Farbemission eingesetzt sein.

In Fig. 21 sind die Emissionsschicht-Strukturen 2020, 2030, 2040 für die zugehörigen Bauelemente 2070 – OLED - schematisch dargestellt. Hierbei handelt es sich jeweils um eine
25 Kombination von zwei sequentiell genutzten Wirtsmaterialien 207, 208, wobei das Wirtsmaterial 207 TCTA und das Wirtsmaterial 208 TPBi sind, deren Strukturformel und Strukturaufbau in Fig. 27 und 28 angegeben sind. In den Mischzonen 201, 202, 203, 204, 205, 206 sind die Emitterfarbstoffe jeweils mit ca. zehn Gewichtsprozenten in das jeweilige Wirtsmaterial 207, 208 eingebracht. Die einzelnen Schichten 201, 202, 203, 204, 205, 206 der
30 Mischzonen sind 1nm dick, die Zonen reinen Wirtsmaterials 207, 208 weisen eine Dicke von 2nm auf, sodass jeweils die gesamten Emissionsschicht-Strukturen 2020, 2030 etwa 20nm und die Emissionsschicht-Struktur 2040 etwa 17nm dick sind, wobei die Emissionsschicht-Strukturen 2020, 2030, 2040 sich aus zwei Einzelemissionsschichten 209, 2010 zu je 10nm

(bzw. 7nm bei im Fall von 2040) zusammensetzen, wobei die Einzelemissionsschichten 209, 2010 durch die Wahl der Wirtsmaterialien 207 und 208 definiert sind. Dabei ist die Triplett-Energie des Wirtsmaterials 208 TPBi kleiner als die des Emitterfarbstoffs FIr(pic) in der Mischzonenschicht 204 in Fig. 21. Die Natur der blauen Farbstoffe verlangt dementsprechend auch Wirtsmaterialien mit immer höheren Triplett-Energien, was zur Konsequenz hat, dass die Bandlücke der Transportniveaus (Differenz HOMO-LUMO) auch größer wird. Solche Wirtsmaterialien haben oft den Nachteil, dass somit die Injektion von Ladungsträgern in ein solches Material deutlich schwerer wird, was die Betriebsspannung stark in die Höhe treibt. Ein Kompromiss wird dadurch erreicht, dass für die Emissionsschicht-Struktur eine schlechtere Energiekonversionseffizienz für die blaue Farbe durch die höhere Triplett-Energie des blauen Farbstoffs im Vergleich zum Wirtsmaterial vorgesehen ist, um die Betriebsspannung niedrig zu halten und somit hohe Leistungseffizienzen zu gewährleisten.

Fig. 22 zeigt drei Basis-Elektrolumineszenz-Spektren 2050, 2051, 2052 der Emitterfarbstoffe, wie sie in monochromen Emissionsschicht-Strukturen gemessen werden können. Die monochromen Emissionsschicht-Strukturen weisen die Basisfarben auf, deren additive Kombination das abgestimmte Emissionsspektrum 2053, 2054, insbesondere die Weißlichtemission 2055, erreicht.

Fig. 23 zeigt die zusammengesetzten Elektrolumineszenz-Spektren 2053, 2054 der Emissionsschicht-Strukturen 2020, 2030 gemäß der Fig. 21a und 21b. In beiden zugehörigen Emissions-Spektren 2053, 2054 ist eine Zusammensetzung der Basisspektren 2050, 2051 sowie 2050, 2052 aus Fig. 22 vorhanden. Bemerkenswert ist der Unterschied der spektralen Verteilung der Emissionsschicht-Strukturen 2020, 2030 gemäß Fig. 21a und Fig. 21b unter Beachtung der Ähnlichkeit beider Strukturen 2020, 2030. Im Vergleich zur Emissionsschicht-Struktur 2020 in Fig. 21a ist in der Emissionsschicht-Struktur 2030 gemäß Fig. 21b lediglich eine 1nm dicke Mischschichtzone, die den grünen Emitter Ir(ppy)₃ in TPBi enthält, durch eine Kombination von 1nm Ir(MDQ)₂(acac) in TPBi ersetzt. Die Emission, im Falle Fig. 21a, grünlastig, ändert sich stark zu einer blau-rot Kombination in der Emissionsschicht-Struktur 2030 gemäß Fig. 21b. Der Vergleich der Emissionsschicht-Strukturen 2020, 2030 in Fig. 21a und Fig. 21b zeigt auf, wie einfach die Farbabstimmung in einer zugehörigen OLED einstellbar ist, wenn die Emitterfarbstoffe modular in räumlich getrennten Zonen variiert werden können.

Fig. 24 zeigt das Elektrolumineszenz-Spektrum 2055 der Emissionsschicht-Struktur 2040 einer schematisch dargestellten OLED 2070. Alle in Fig. 22 dargestellten Spektren 2050, 2051, 2052 der Basisemitterfarbstoffe tragen zu dem Spektrum 2055 bei. Die CIE-Koordinaten im CIE-Farbraum sind (0.42, 0.47), welche nahe dem Weiß-Punkt (0.445,0.405) sind.

Zusammenfassend wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines Bauelements 2070 zur phosphoreszenten Lichtemission aus Triplett-Zuständen gemäß Patentanmeldung 10 2007 033 209.4-33 mit einer vorgesehenen Emissionsschicht-Struktur 2020, 2030 oder 2040 durchgeführt, wobei unter Einsatz von verschiedenen Emittierfarbstoffen mit unterschiedlichen Emissionsfarben eine abgestimmte Farbemission 2053, 2054 oder eine Weißlichtemission 2055 realisiert wird.

Es kann sowohl eine Weißlichtemission 2055 durch die Emission verschiedener Zonen mit unterschiedlichem Emissionsspektrum 2050, 2051, 2052 als auch die Reduktion der diffusionsbasierten Triplett-Triplett-Löschung erreicht werden.

Durch die kombinatorische räumliche Anordnung von verschiedenen Emittierfarbstoffen kann räumlich in der Emissionsschicht-Struktur 2020, 2030, 2040 eine modulare Variabilität in der Farbabstimmung, um Licht eines vorgegebenen Spektrums, insbesondere um Weißlicht zu erzeugen, erreicht werden.

Fig. 25 zeigt die äußere Quanteneffizienz und die Leistungseffizienz der Emissionsschicht-Struktur 2030 einer OLED als Funktion der Helligkeit. Bei beleuchtungsrelevanten Helligkeiten von 1000 cd/m^2 erreicht die Emissionsschicht-Struktur 2040 eine Externe Quanteneffizienz (Kreisverbindungskurve) von 12.5 % und eine Leistungseffizienz (Schwarzquadratverbindungskurve) von 29.6 lm/W, gemessen in Vorwärtsrichtung unter der Annahme einer Lambert'schen Abstrahlcharakteristik. Die Leistungseffizienzabnahme von 100 auf 1000 cd/m^2 beträgt hier 89%. Im Vergleich mit der oben genannten Druckschrift D'Andrade, Adv. Mat. 16, 2004, S. 624 ist sowohl der absolute Wert der Leistungseffizienz bei 1000 cd/m^2 höher, also um den Faktor drei, als auch der Effizienzrückgang bei hohen Helligkeiten deutlich verringert.

Die in der vorstehenden Beschreibung, den Ansprüchen und den Figuren offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen von Bedeutung sein.

Bezugszeichenliste

	1	Anode
	2	Kathode
5	3	Löchertransportschicht
	4	Licht emittierender Bereich
	5	Elektronentransportschicht
	6	Löcherblockschicht
	7	Elektronenblockschicht
10	101	hochleitfähige Anode
	102	Löchertransportschicht
	103	Elektronen- und Exzitonenblockschicht
	104	Emissionsschicht
	1041	Standard-Emissionszone
15	1042	Emissionsschicht mit exzitonischen Sub-Strukturen
	1043, 1044, 1045, 1046	Emissionsschicht
	105	Löcher- und Exzitonenblockschicht
	106	Elektronentransportschicht
	107	hochleitfähige Kathode
20	108	Mischsystem
	109	Wirtsmaterial
	191	anderes Wirtsmaterial
	1091	Zone
	1010	Bauelement
25	10101	Bauelement nach dem Stand der Technik
	1011	Emitterfarbstoff
	1012	erste Grenzfläche
	1013	zweite Grenzfläche
	1014, 1015, 1016, 1017, 1018, 1019, 1020, 1021, 1022, 1023, 1024, 1025	Zone
30	201	Mhschicht mit TCTA und Ir(MDQ) ₂ (acac)
	202	Mischschicht mit TCTA und Ir(ppy) ₃
	203	Mischschicht mit TCTA und FIr(pic)
	204	Mischschicht mit TPBi und FIr(pic)

- 205 Mischschicht mit TPBi und Ir(ppy)₃
- 206 Mischschicht mit TPBi und Ir(MDQ)₂(acac)
- 207 erstes Wirtsmaterial TCTA
- 208 zweites Wirtsmaterial TPBi
- 5 209 erste Einzelemissionsschicht
- 210 zweite Einzelemissionsschicht
- 2020 erste gesamte Emissionsschicht-Struktur
- 2030 zweite gesamte Emissionsschicht-Struktur
- 2040 dritte gesamte Emissionsschicht-Struktur
- 10 2050 erstes Basisspektrum
- 2051 zweites Basisspektrum
- 2052 drittes Basisspektrum
- 2053 erstes zusammengesetztes Farbspektrum
- 2054 zweites zusammengesetztes Farbspektrum
- 15 2055 Weißlichtspektrum
- 2060 Anode
- 2061 Löchertransportschicht
- 2062 Elektronenblockerschicht
- 2063 Löcherblockerschicht
- 20 2064 Elektronentransportschicht
- 2065 Katode
- 2070 Bauelement

Ansprüche

1. Licht emittierendes Bauelement, insbesondere organische Leuchtdiode, mit einer Elektrode und einer Gegenelektrode und einem zwischen der Elektrode und der Gegenelektrode angeordneten organischen Bereich mit einem organischen Licht emittierenden Bereich, welcher mindestens eine Emissionsschicht (EML 1) umfasst und welcher beim Anlegen einer elektrischen Spannung an die Elektrode und die Gegenelektrode Licht in mehreren Farbbereichen im sichtbaren Spektralbereich emittierend gebildet ist, wahlweise bis hin zu Weißlicht, wobei:
 - die Emissionsschicht (EML 1) wenigstens einen überwiegend im blauen oder blaugrünen Spektralbereich Licht emittierenden, fluoreszierenden Emitter sowie wenigstens einen überwiegend im nicht-blauen Spektralbereich Licht emittierenden, phosphoreszierenden Emitter enthält,
 - in der Emissionsschicht (EML 1) für den wenigstens einen fluoreszierenden Emitter eine Triplettenenergie für ein Energieniveau eines Tripletzustandes größer als eine oder angenähert gleich (innerhalb 0,1eV) einer Triplettenenergie für ein Energieniveau eines Tripletzustandes des wenigstens einen phosphoreszierenden Emitter ist, und
 - der Licht emittierende organische Bereich einen mindestens 5%-igen Anteil des erzeugten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich als Fluoreszenzlicht von Singulettzuständen des wenigstens einen fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht (EML 1) abgebend gebildet ist.
2. Licht emittierendes Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht (EML1) aus einer massiven Schicht des als Matrixmaterial verwendeten wenigstens einen fluoreszierenden Emitters besteht, in welche der wenigstens eine phosphoreszierende Emitter eingelagert ist.
3. Licht emittierendes Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht (EML1) aus einem organischen Material besteht, in welche der wenigstens eine fluoreszierende Emitter mit einer Konzentration zwischen 0,1 und 50 Mol % und der wenigstens eine phosphoreszierende Emitter eingelagert sind.
4. Licht emittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der organische Licht emittierende Bereich einen mindestens

10%-igen Anteil des erzeugten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich als Fluoreszenzlicht von Singulettzuständen des wenigstens einen fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht (EML 1) abgebend gebildet ist.

- 5 5. Licht emittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der organische Licht emittierende Bereich einen mindestens 15%-igen Anteil des erzeugten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich als Fluoreszenzlicht von Singulettzuständen des wenigstens einen fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht (EML 1) abgebend gebildet ist.
- 10
6. Licht emittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der organische Licht emittierende Bereich einen mindestens 20%-igen Anteil des erzeugten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich als Fluoreszenzlicht von Singulettzuständen des wenigstens einen fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht (EML 1) abgebend gebildet ist.
- 15
7. Licht emittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der organische Licht emittierende Bereich einen mindestens 25%-igen Anteil des erzeugten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich als Fluoreszenzlicht von Singulettzuständen des wenigstens einen fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht (EML 1) abgebend gebildet ist.
- 20
8. Licht emittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der organische Licht emittierende Bereich eine weitere Emissionsschicht (EML 2) mit wenigstens einem überwiegend im nicht-blauen Spektralbereich Licht emittierenden, phosphoreszierenden Emittlern umfasst.
- 25
9. Licht emittierendes Bauelement nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht (EML 1) und die weitere Emissionsschicht (EML 2) aneinandergrenzend gebildet sind.
- 30
10. Licht emittierendes Bauelement nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht (EML 1) und die weitere Emissionsschicht (EML 2) Löcher transportierend gebildet sind und dass ein Abstand zwischen einer der als Kathode gebildeten Elektrode zugewandten Oberfläche der Emissionsschicht (EML
- 35

1) und einer der Emissionsschicht (EML 1) zugewandten Oberfläche der Kathode kleiner als ein Abstand zwischen einer der Kathode zugewandten Oberfläche der weiteren Emissionsschicht (EML 2) und einer der weiteren Emissionsschicht (EML 2) zugewandten Oberfläche der Kathode ist.

5

11. Licht emittierendes Bauelement nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht (EML 1) und die weitere Emissionsschicht (EML 2) Elektronen transportierend gebildet sind und dass ein Abstand zwischen einer der als Anode gebildeten Gegenelektrode zugewandten Oberfläche der Emissionsschicht (EML 1) und einer der Emissionsschicht (EML 1) zugewandten Oberfläche der Anode kleiner als ein Abstand zwischen einer der Anode zugewandten Oberfläche der weiteren Emissionsschicht (EML 2) und einer der weiteren Emissionsschicht (EML 2) zugewandten Oberfläche der Anode ist.

10

12. Licht emittierendes Bauelement nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht (EML 1) Elektronen transportierend gebildet ist und die weitere Emissionsschicht (EML 2) Löcher transportierend gebildet ist und dass ein Abstand zwischen einer der als Kathode gebildeten Elektrode zugewandten Oberfläche der Emissionsschicht (EML 1) und einer der Emissionsschicht (EML 1) zugewandten Oberfläche der Kathode kleiner als ein Abstand zwischen einer der Kathode zugewandten Oberfläche der weiteren Emissionsschicht (EML 2) und einer der weiteren Emissionsschicht (EML 2) zugewandten Oberfläche der Kathode ist.

20

13. Licht emittierendes Bauelement nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht (EML 1) Löcher transportierend gebildet ist und die weitere Emissionsschicht (EML 2) Elektronen transportierend gebildet ist und dass ein Abstand zwischen einer der als Anode gebildeten Gegenelektrode zugewandten Oberfläche der Emissionsschicht (EML 1) und einer der Emissionsschicht (EML 1) zugewandten Oberfläche der Anode kleiner als ein Abstand zwischen einer der Anode zugewandten Oberfläche der weiteren Emissionsschicht (EML 2) und einer der weiteren Emissionsschicht (EML 2) zugewandten Oberfläche der Anode ist.

30

14. Licht emittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Emissionsschicht (EML 1) und der Kathode eine Löcherblockschicht angeordnet ist, wobei die Löcherblockschicht Elektronen transpor-

35

tierend ist und ein organisches Material der Löcherblockschicht ein HOMO-Niveau aufweist, welches um wenigstens etwa 0.3 eV tiefer liegt als ein HOMO-Niveau des fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht (EML 1).

- 5 15. Licht emittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9 oder 11, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, dass zwischen der Emissionsschicht (EML 1) und der Anode ei-
ne Elektronenblockschicht angeordnet ist, wobei die Elektronenblockschicht Löcher
transportierend ist und ein organisches Material der Elektronenblockschicht ein LUMO-
Niveau aufweist, welches um wenigstens etwa 0.3 eV höher liegt als ein LUMO-Niveau
10 des fluoreszierenden Emitters in der Emissionsschicht (EML 1).
16. Licht emittierendes Bauelement nach Anspruch 14 oder 15, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t, dass eine minimale Energie von Singulettexzitonen und von Triplettexzi-
tonen in der Löcherblockschicht oder in der Elektronenblockschicht größer ist als eine
15 minimale Energie von Singulettexzitonen und von Triplettexzitonen in der Emissions-
schicht (EML 1).
17. Licht emittierendes Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, dass die Emissionsschicht (EML 1) und / oder die weitere Emis-
20 sionsschicht (EML 2) mehrschichtig gebildet sind.
18. Licht emittierendes Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, dass die Emissionsschicht (EML 1) eine Dicke zwischen etwa
25 10 nm und etwa 100 nm aufweist.
19. Licht emittierendes Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, dass der organische Licht emittierende Bereich Weißlicht emit-
tierend gebildet ist, wobei der wenigstens eine phosphoreszierenden Emitter in der E-
missionsschicht (EML 1) und / oder in der weiteren Emissionsschicht (EML 2) ein im
30 roten, im orangen, im gelben oder im grünen Spektralbereich Licht emittierender Emit-
ter ist.
20. Licht emittierendes Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, dass zwischen dem organischen Licht emittierenden Bereich und

der Elektrode und / oder zwischen dem organischen Licht emittierenden Bereich und der Gegenelektrode eine jeweilige dotierte organische Schicht gebildet ist.

21. Licht emittierendes Bauelement nach Anspruch 20, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die jeweilige dotierte organische Schicht eine mit einem Akzeptor-Material p-dotierte oder eine mit einem Donator-Material n-dotierte Schicht ist.
22. Licht emittierendes Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der wenigstens eine fluoreszierende Emitter in der Emissionsschicht (EML 1) eine metall-organische Verbindung oder eine Komplexverbindung mit einem Metall mit einer Ordnungszahl kleiner als 40 ist.
23. Licht emittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 21, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der wenigstens eine fluoreszierende Emitter in der Emissionsschicht (EML 1) einen Elektronen ziehenden Substituenten aus einer der folgenden Klassen umfasst:
- Halogene wie Fluor, Chlor, Brom oder Iod;
 - CN;
 - halogenierte oder cyanosubstituierte Alkane oder Alkene, insbesondere Trifluormethyl, Pentafluorethyl, Cyanovinyl, Dicyanovinyl, Tricyanovinyl;
 - halogenierte oder cyanosubstituierte Arylreste, insbesondere Pentafluorphenyl; und
 - Borylreste, insbesondere Dialkyl-boryl, Dialkyl-boryl mit Substituenten an den Alkylgruppen, Diaryl-boryl oder Diaryl-boryl mit Substituenten an den Arylgruppen.
24. Licht emittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 21, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der wenigstens eine fluoreszierende Emitter in der Emissionsschicht (EML 1) einen elektronenschiebenden Substituenten einer der folgenden Klassen umfasst:
- Alkylreste wie Methyl, Ethyl, Tertiärbutyl, Isopropyl;
 - Alkoxyreste;
 - Arylreste mit oder ohne Substituenten am Aryl, insbesondere TolyI und Mesithyl; und
 - Aminogruppen insbesondere NH₂, Dialkylamin, Diarylamin und Diarlyamin mit Substituenten am Aryl.

25. Licht emittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der fluoreszierende wenigstens eine Emitter in der Emissionsschicht (EML 1) eine funktionale Gruppe mit einer Elektronen-Akzeptor-Eigenschaft aus einer der folgenden Klassen umfasst:
- 5 - Oxadiazol
 - Triazol
 - Benzothiadiazole
 - Benzimidazole und N-Aryl-Benzimidazole
 - Bipyridin
 - 10 - Cyanovinyl
 - Quinoline
 - Triarylboryl
 - Silol-Einheiten, insbesondere Derivat-Gruppen von Silacyclopentadien
 - Cyclooctatetraen
 - 15 - Chinoide Strukturen und Ketone, inkl. chinoide Thiophen-Derivate
 - Pyrazoline
 - Pentaaryl-Cyclopentadien
 - Benzothiadiazole
 - Oligo-Para-Phenyl mit elektronenziehenden Substituenten und
 - 20 - Fluorene und Spiro-Bifluorene mit elektronenziehenden Substituenten.
26. Licht emittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der fluoreszierende wenigstens eine Emitter in der Emissionsschicht (EML 1) eine funktionale Gruppe mit einer Elektronen-Donator-Eigenschaft aus einer der folgenden Klassen umfasst:
- 25 - Triarylamine
 - Oligo-Para-Phenyl oder Oligo-Meta-Phenyl
 - Carbazole
 - Fluoren oder Spiro-Bifluorene
 - 30 - Phenylen-Vinyl-Einheiten
 - Naphtalen
 - Anthrazen
 - Perylen
 - Pyren und
 - 35 - Thiophen.

27. Licht emittierendes Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, dass die folgenden Merkmale gebildet sind:
- die Elektrode ist als eine optisch reflektierende Elektrode gebildet,
 - 5 - zwischen der Emissionszone (EML 1) und der optisch reflektierenden Elektrode ist
eine Ladungsträgertransportschicht angeordnet, die eine Schichtdicke d_1 aufweist,
und
 - für die Schichtdicke gilt $d_1 = (\lambda_{\text{blau}}/4) - ET$, wobei ET die Eindringtiefe elektromagneti-
10 scher Wellen in die optisch reflektierenden Elektrode und λ_{blau} eine Wellenlänge im
blauen Spektralbereich von 380nm bis 500nm ist.
28. Licht emittierendes Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, dass der organische Bereich mit einer Schichtdicke d_{OB} gebil-
det ist, für die gilt: $d_{OB} = d_{OB1} + d_{OB2} - d_{Anode}$, wobei $d_{OB1} = (2 \cdot n + 1) \cdot 0.25 \cdot \lambda_{\text{blau}}$ und
15 $d_{OB2} = m \cdot 0.5 \cdot \lambda_{\text{blau}}$ und wobei d_{OB1} ein Abstand der Emissionsschicht von einer Ka-
thode, n ganze Zahl n größer oder gleich null, d_{OB2} ein Abstand der Emissionsschicht
von einer Grenzfläche zwischen einer Anode und einem Trägersubstrat, m eine natürli-
che Zahl größer oder gleich 1 und d_{Anode} eine Schichtdicke der Anode sind.
29. Licht emittierendes Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h
20 g e k e n n z e i c h n e t, dass in der Emissionsschicht (EML 1) ein Raumbereich mit ei-
ner ersten Konzentration des wenigstens einen phosphoreszierenden Emitters und ein
weiterer Raumbereich mit einer zweiten, von der ersten Konzentration verschiedenen
Konzentration des wenigstens einen phosphoreszierenden Emitters gebildet sind.
- 25
30. Licht emittierendes Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, dass in der Emissionsschicht (EML 1) ein Raumbereich gebildet
ist, welcher frei von einer Beimischung des wenigstens einen phosphoreszierenden E-
30 mitters ist.
31. Organisches Licht emittierendes Bauelement, insbesondere phosphoreszierende organi-
sche Leuchtdiode, mit einer Anode und einer Kathode sowie einer Anordnung organi-
scher Schichten hierzwischen, die eine Löchertransportschicht, eine Emissionsschicht
und eine Elektronentransportschicht umfasst, wobei die Emissionsschicht eine Sub-

Strukturierung mit Zonen aufweist, welche Zonen bestehend aus mindestens einem Wirtsmaterial und Zonen bestehend aus einem Mischsystem mit mindestens einem phosphoreszenten Emitterfarbstoff umfasst, wobei die Zonen bestehend aus dem Mischsystem durch die Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial räumlich voneinander getrennt sind.

5

32. Bauelement nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Zonen in einer Schichtstruktur gebildet sind, wobei die Schichtstruktur eine sequentielle Abfolge von schichtartigen Zonen in Form einer Vertikalstrukturierung aus den Zonen bestehend aus dem Mischsystem und den Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial umfasst.

10

33. Bauelement nach Anspruch 31 oder 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Zonen in einer Schichtstruktur gebildet sind, wobei die Schichtstruktur eine sequentielle Abfolge von schichtartigen Zonen in Form einer Lateralstrukturierung aus den Zonen bestehend aus dem Mischsystem und den Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial umfasst.

15

34. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil der Zonen als kugelförmiger oder kubische Körper ausgebildet sind.

20

35. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass benachbarte Grenzflächen der Zonen bestehend aus dem Mischsystem wenigstens in einem Abstand im Nanometerbereich voneinander entfernt sind, wobei der Abstand einer Dicke der Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial entspricht.

25

36. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 35, dadurch gekennzeichnet, dass die Löchertransportschicht p-dotiert und / oder die Elektronentransportschicht n-dotiert sind.

30

37. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass die Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial durch Zonen eines anderen Wirtsmaterials ersetzt sind, wobei dessen Triplett-Energie (T_{Wirt1})

35

größer als die Triplett-Energie (T_{Emitter}) des mindestens einen phosphoreszenten Emitterfarbstoff mit $T_{\text{Wirt91}} > T_{\text{Emitter}}$ ist.

- 5 38. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass Zonen (1015, 1017, 1019, 1021) bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial durch Zonen einer Materialkombination von mehreren Materialien ersetzt sind, wobei deren Triplett-Energien (T_{Komb}) größer als die Triplett-Energien (T_{Emitter}) des mindestens einen phosphoreszenten Emitterfarbstoff mit $T_{\text{Komb}} > T_{\text{Emitter}}$ für alle Materialien sind.
- 10 39. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 38, dadurch gekennzeichnet, dass Zonen (1015, 1017, 1019, 1021) bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial in sequentieller Reihenfolge mit Zonen mehrerer Materialien gebildet sind.
- 15 40. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass verschiedene phosphoreszente Emitterfarbstoffe in den Mischsystemen enthalten sind.
- 20 41. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 40, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Mischsystemen mit unterschiedlichen Wirtsmaterialien gebildet sind.
- 25 42. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 41, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzliche Emissionsschichten mit einer Fluoreszenz-Emission aus Singulett-Zuständen gebildet sind.
- 30 43. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 42, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Mischsystemen die Konzentration des mindestens einen phosphoreszenten Emitterfarbstoffes in dem mindestens einen Wirtsmaterials zwischen 0.1mol% und 50mol% liegt.
- 35 44. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 43, dadurch gekennzeichnet, dass ein Abstand zwischen den Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial zwischen etwa 2nm und etwa 20nm liegt.

45. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 44, dadurch gekennzeichnet, dass die Zonen bestehend aus dem Mischsystem eine räumliche Ausdehnung von etwa 0,5nm bis etwa 100nm aufweisen.
- 5
46. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 45, dadurch gekennzeichnet, dass die organischen Schichten aus im Vakuum aufgedampften kleinen Molekülen oder teilweise aus Polymeren bestehen.
- 10
47. Bauelement nach mindestens einem der Ansprüche 31 bis 46, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht eine weitere Sub-Strukturierung aufweist, bei der eine Mischfarblicht bis hin zum Weißlicht emittierende Kombination von verschiedenen Emitterfarbstoffen, die verschiedene Basis-Emissionsspektren aufweisen, in verschiedenen Zonen eines Mischgebiets (201, 202, 203, 204, 205, 206) vorgesehen ist.
- 15
48. Bauelement nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass die Triplett-Energien T_{Wirt} von Wirtsmaterialien kleiner als die oder gleich den Triplett-Energien T_{Emitter} der Emitterfarbstoffe sind.
- 20
49. Verfahren zum Herstellen eines organischen Bauelementes, insbesondere phosphoreszierende organische Leuchtdiode, bei dem eine Anode und eine Kathode sowie hierzwischen eine Anordnung organischer Schichten gebildet werden, die eine Löchertransportschicht, eine Emissionsschicht und eine Elektronentransportschicht umfasst, wobei die Emissionsschicht mit einer Sub-Strukturierung mit Zonen gebildet wird, welche Zonen
- 25
- bestehend aus mindestens einem Wirtsmaterial und Zonen bestehend aus einem Mischsystem aus mindestens einem phosphoreszenten Emitterfarbstoff und dem mindestens einen Wirtsmaterials umfasst, wobei die Zonen bestehend aus dem Mischsystem durch die Zonen bestehend aus dem mindestens einen Wirtsmaterial räumlich voneinander getrennt gebildet werden.
- 30

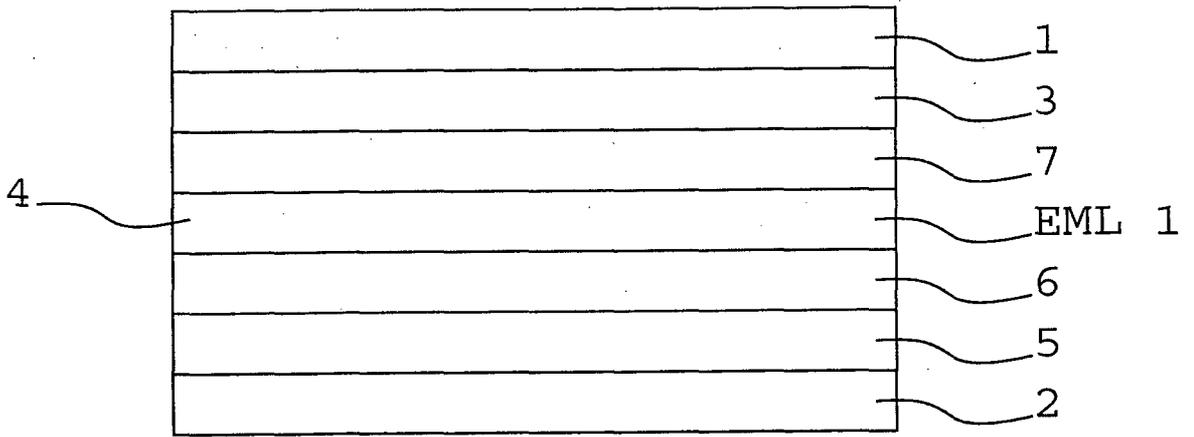


Fig. 1

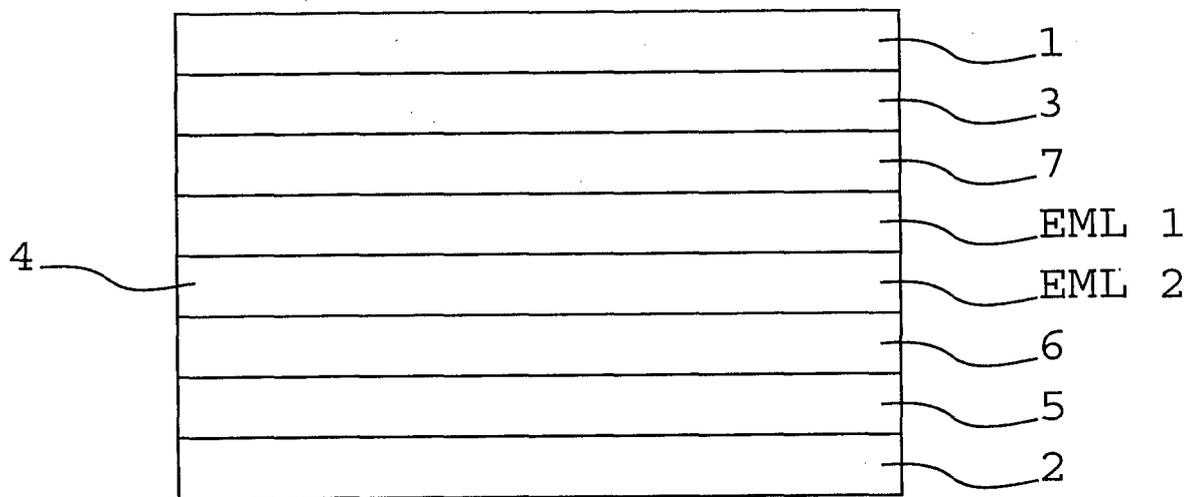


Fig. 2

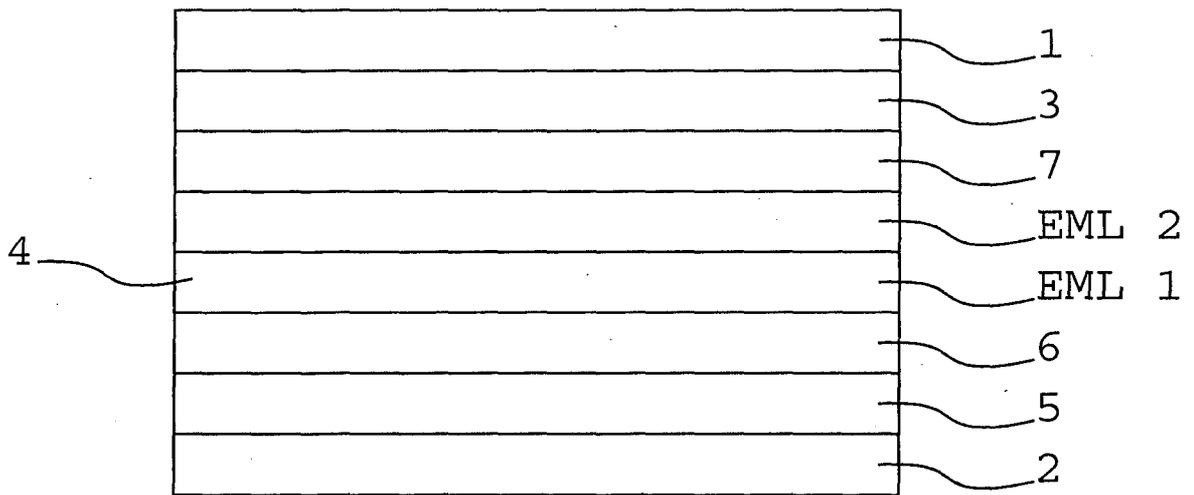


Fig. 3

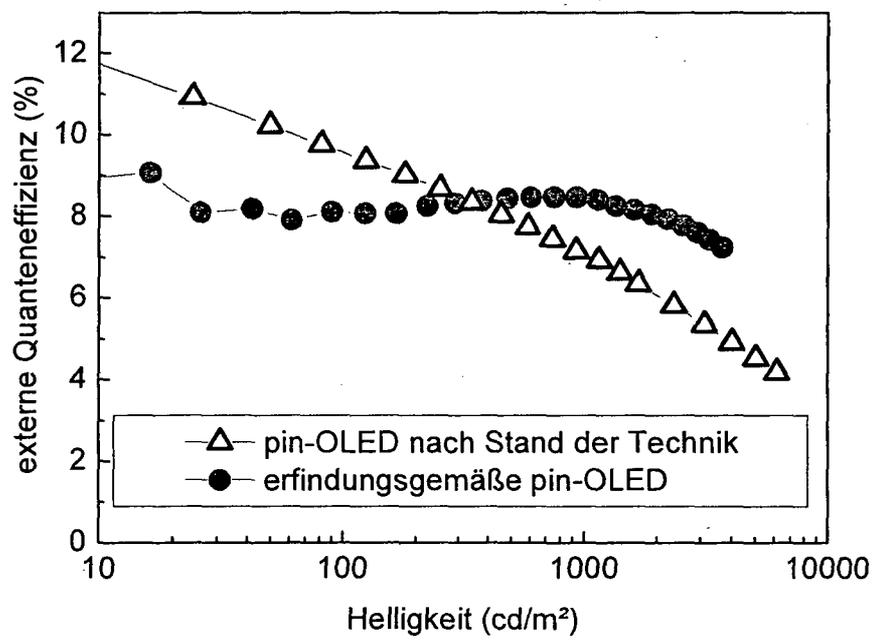


Fig. 4

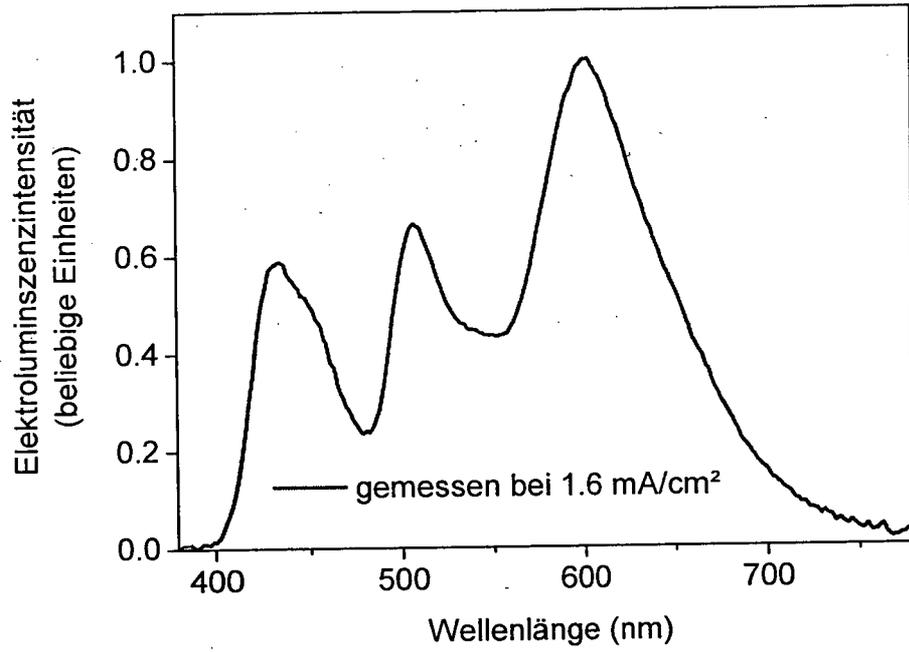


Fig. 5

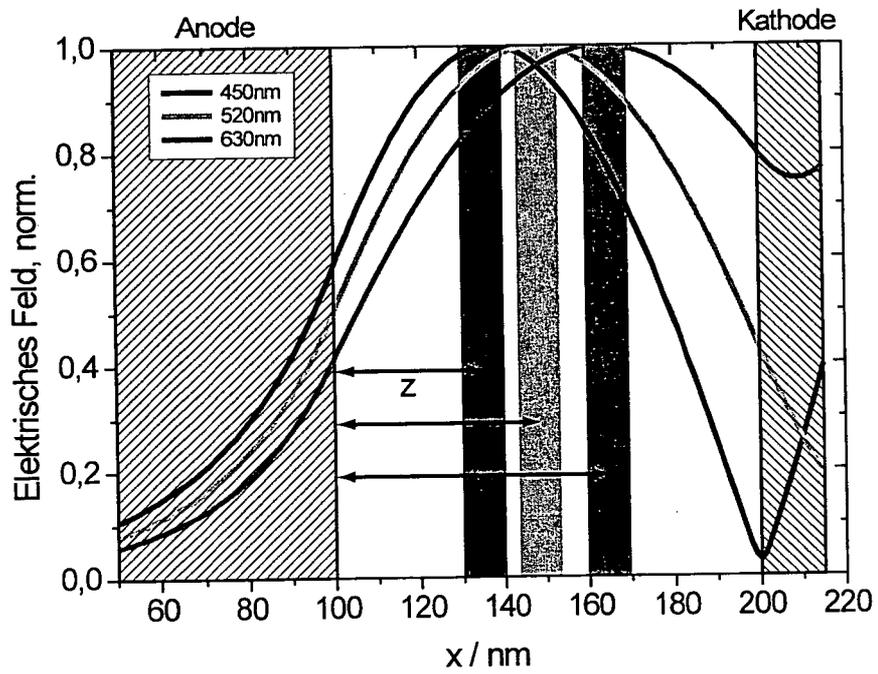


Fig. 6

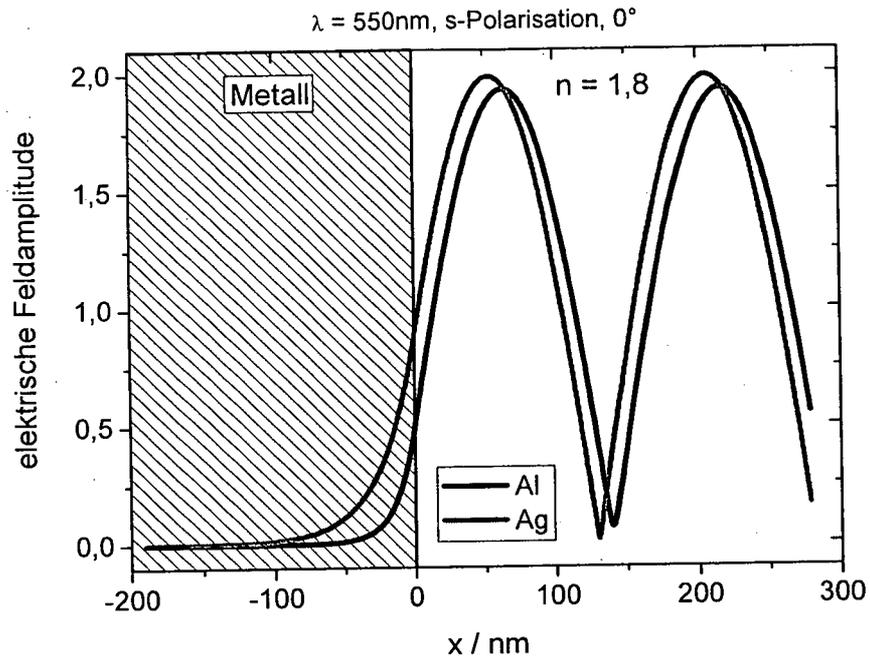


Fig. 7

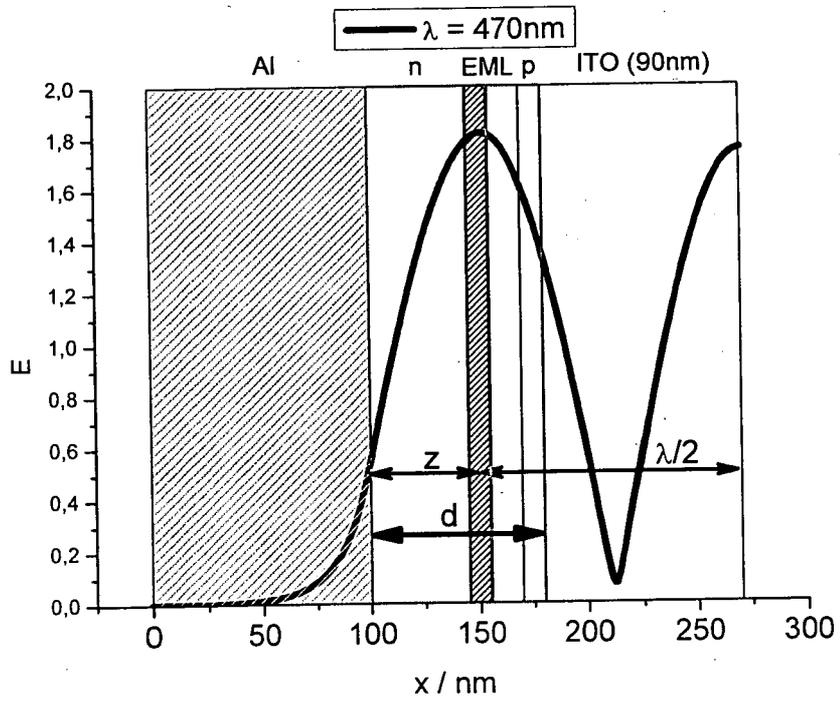


Fig. 8

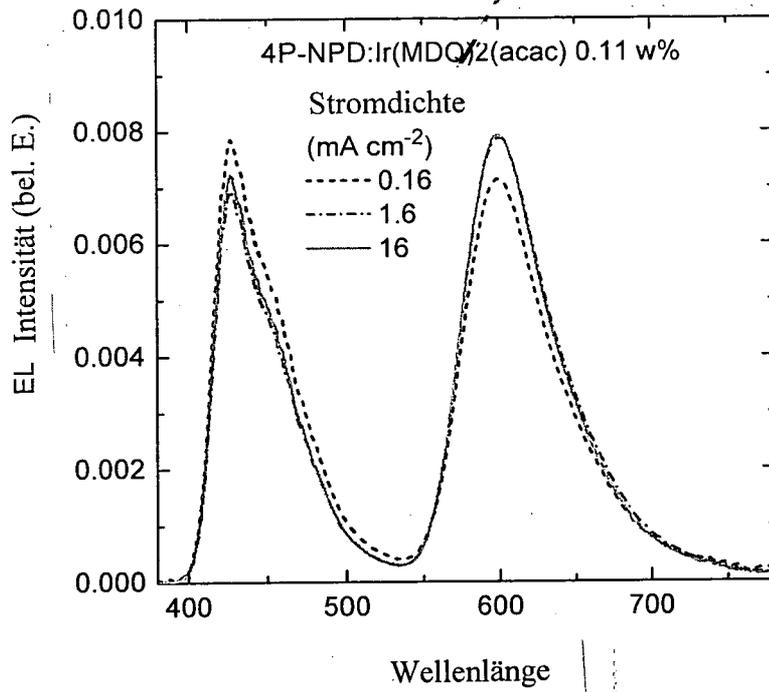


Fig. 9

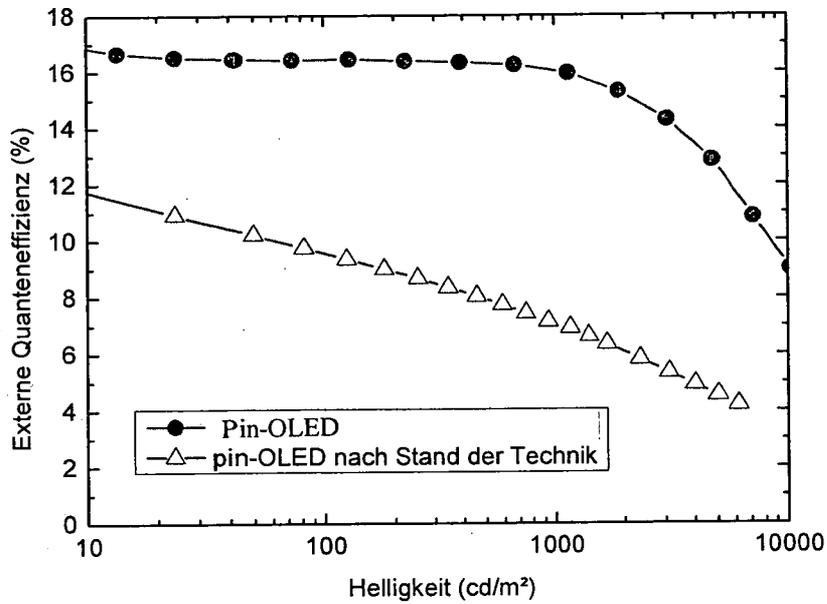


Fig. 10

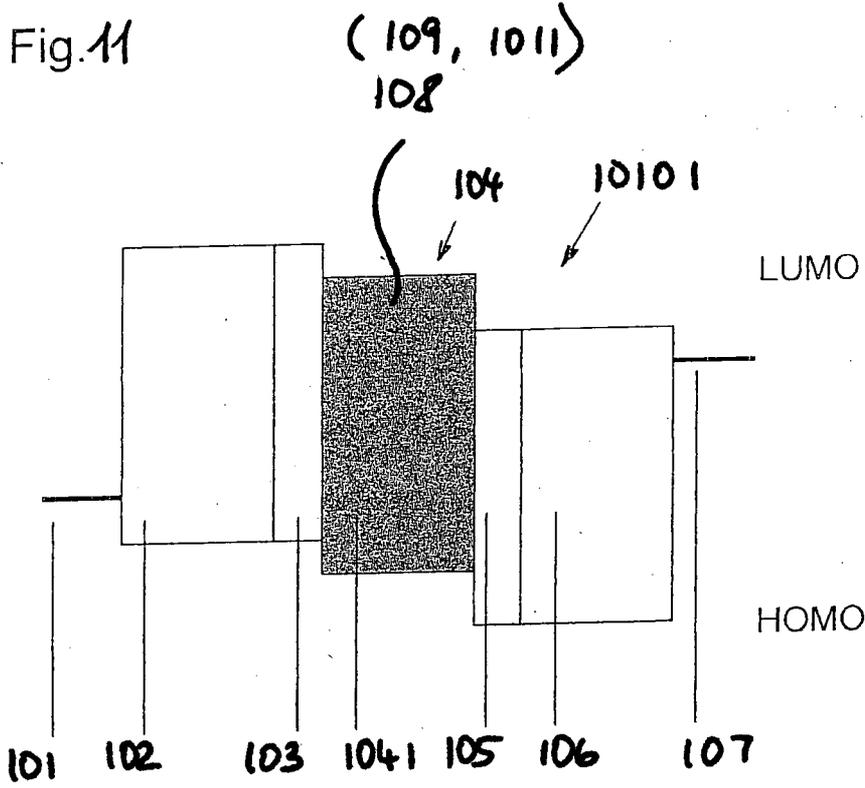


Fig. 11a Stand der Technik

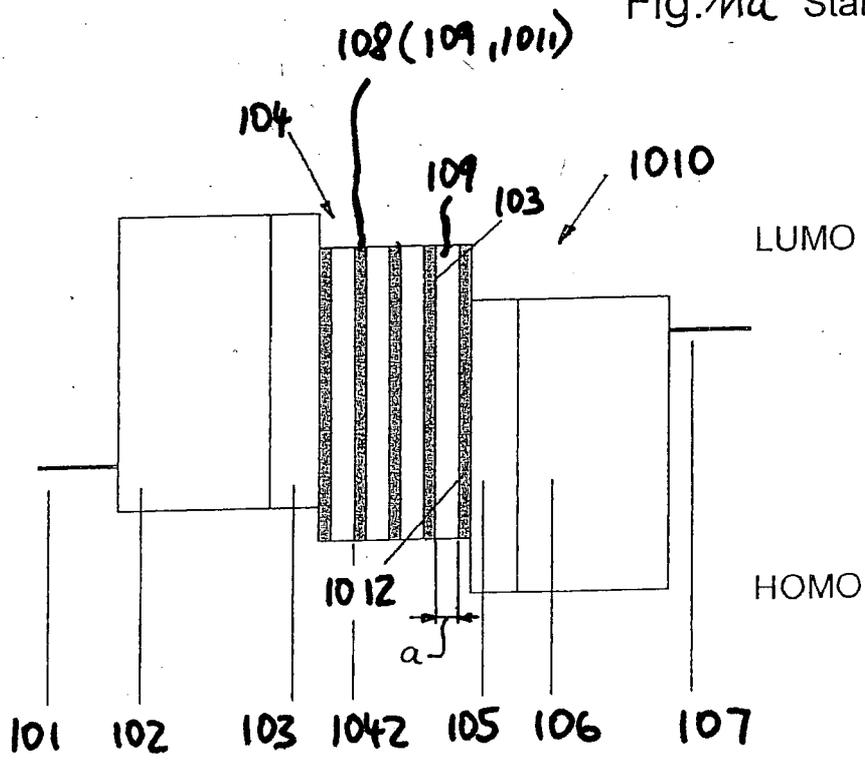


Fig. 11b

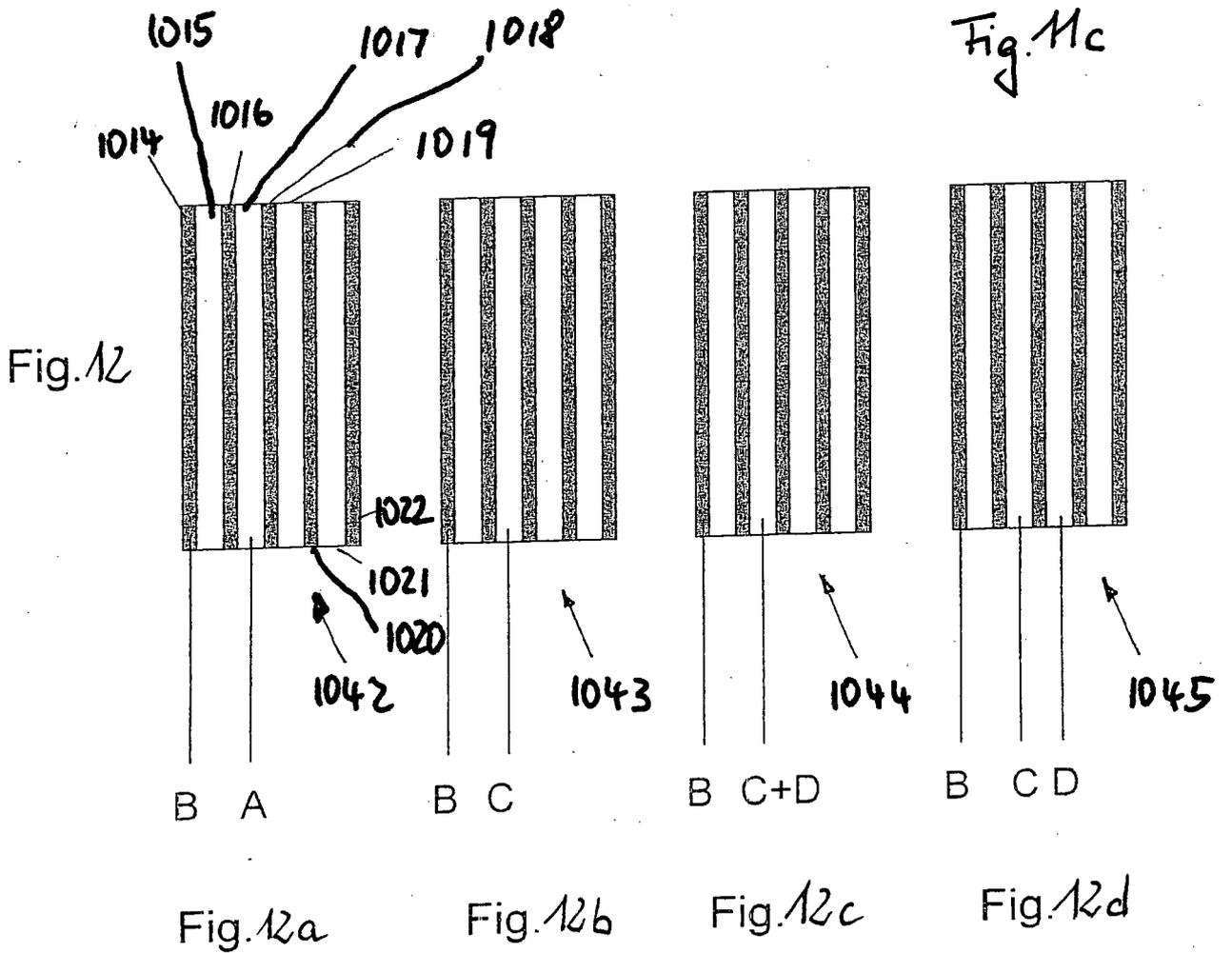
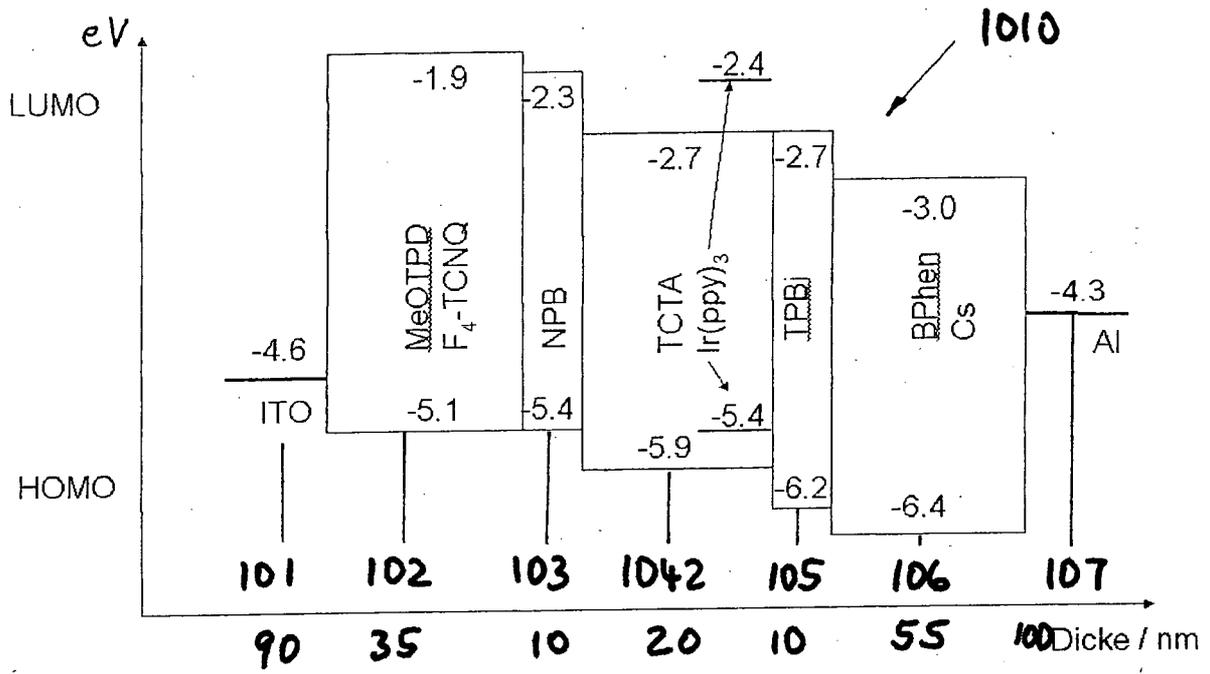
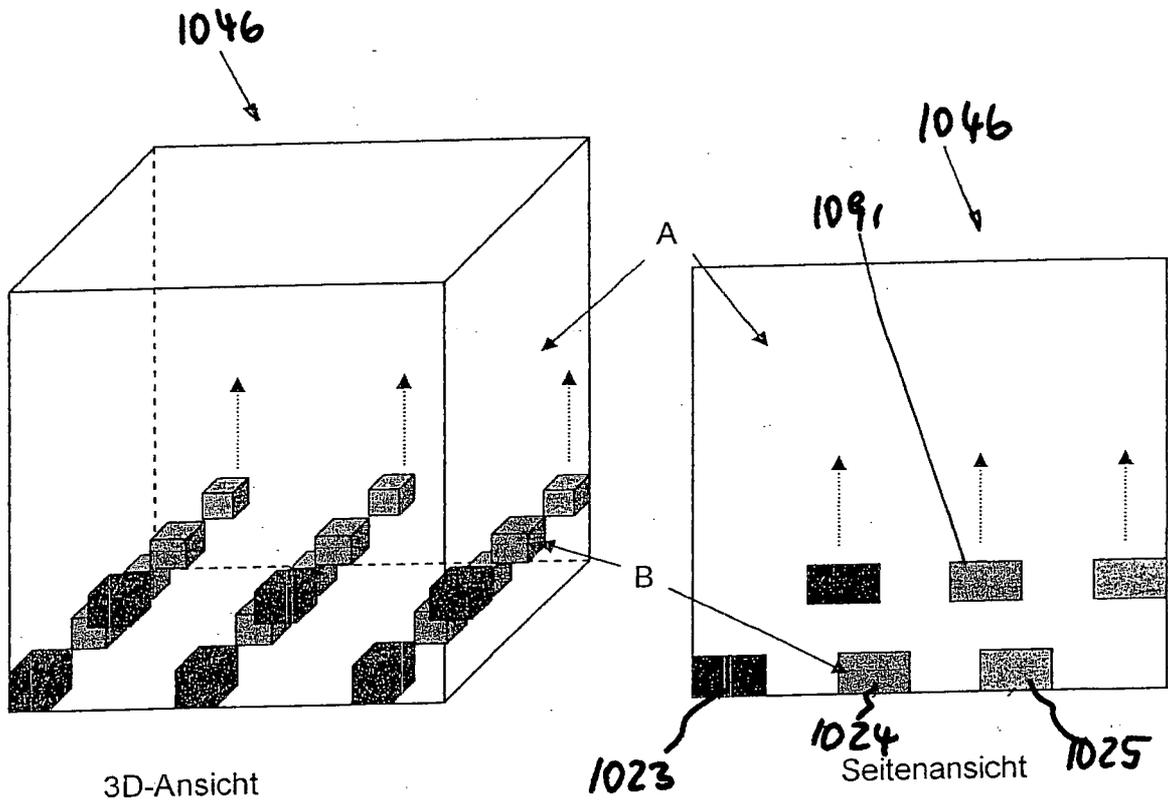


Fig.13



3D-Ansicht

Fig.13a

Seitenansicht

Fig.13b

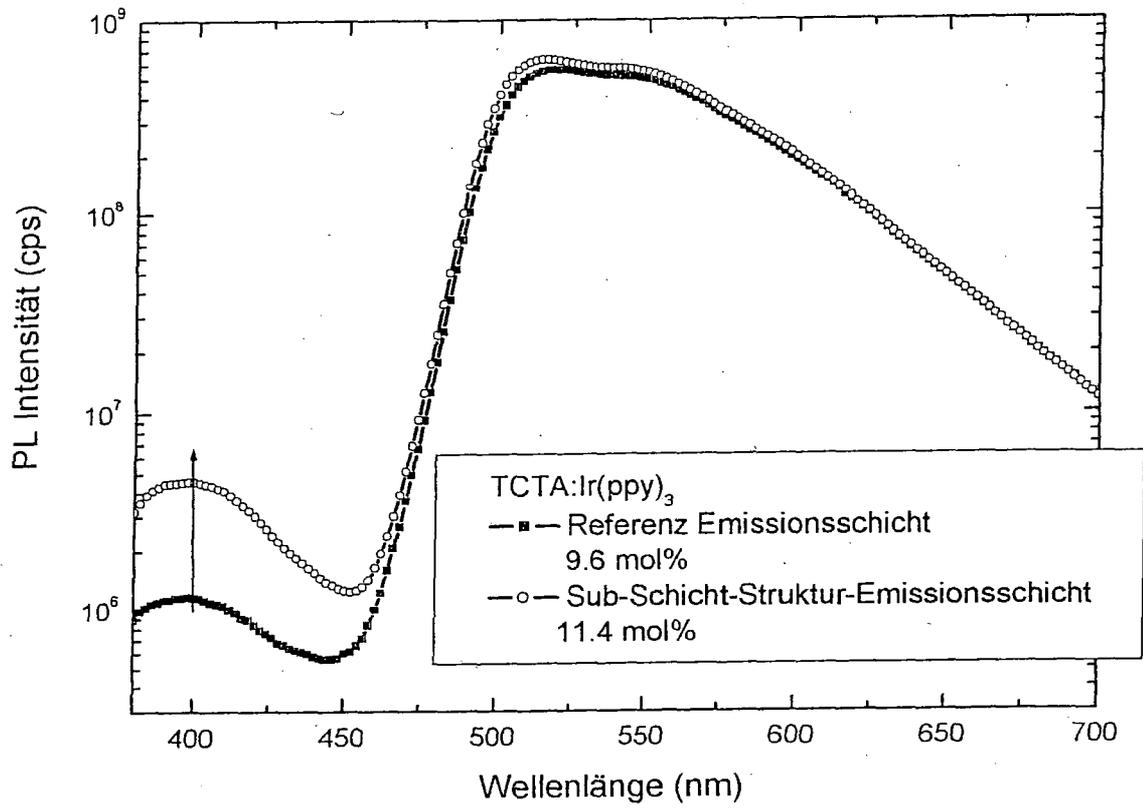


Fig. 14

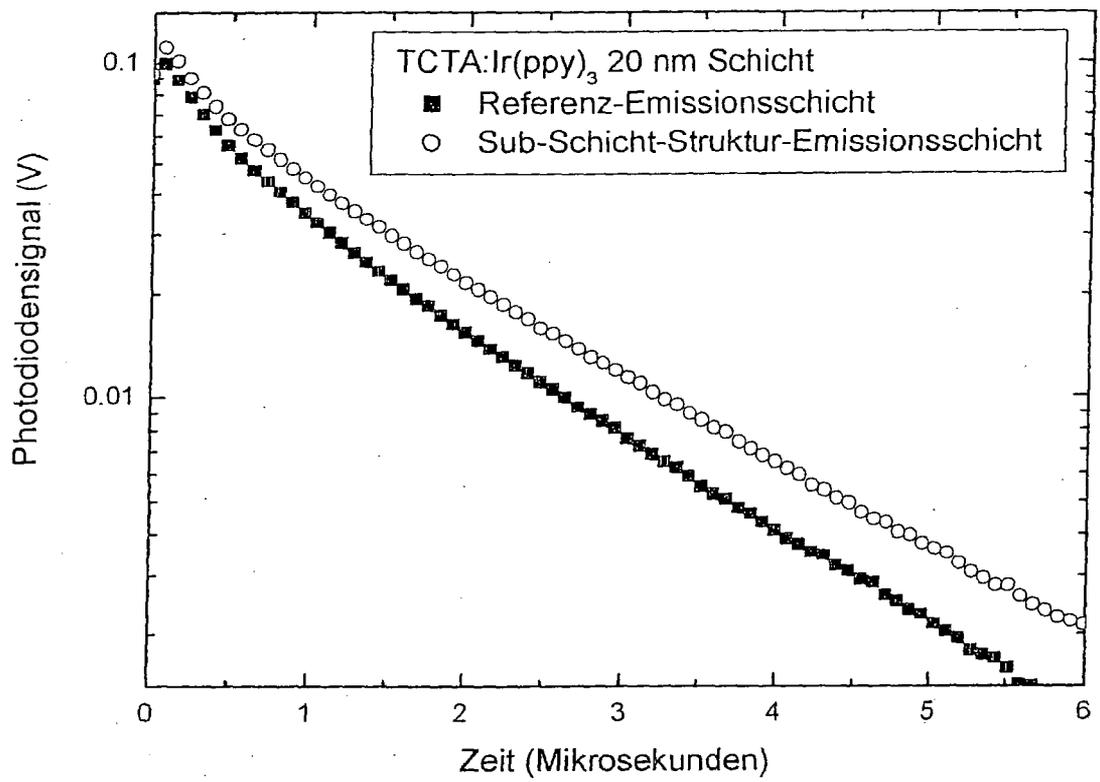


Fig.15

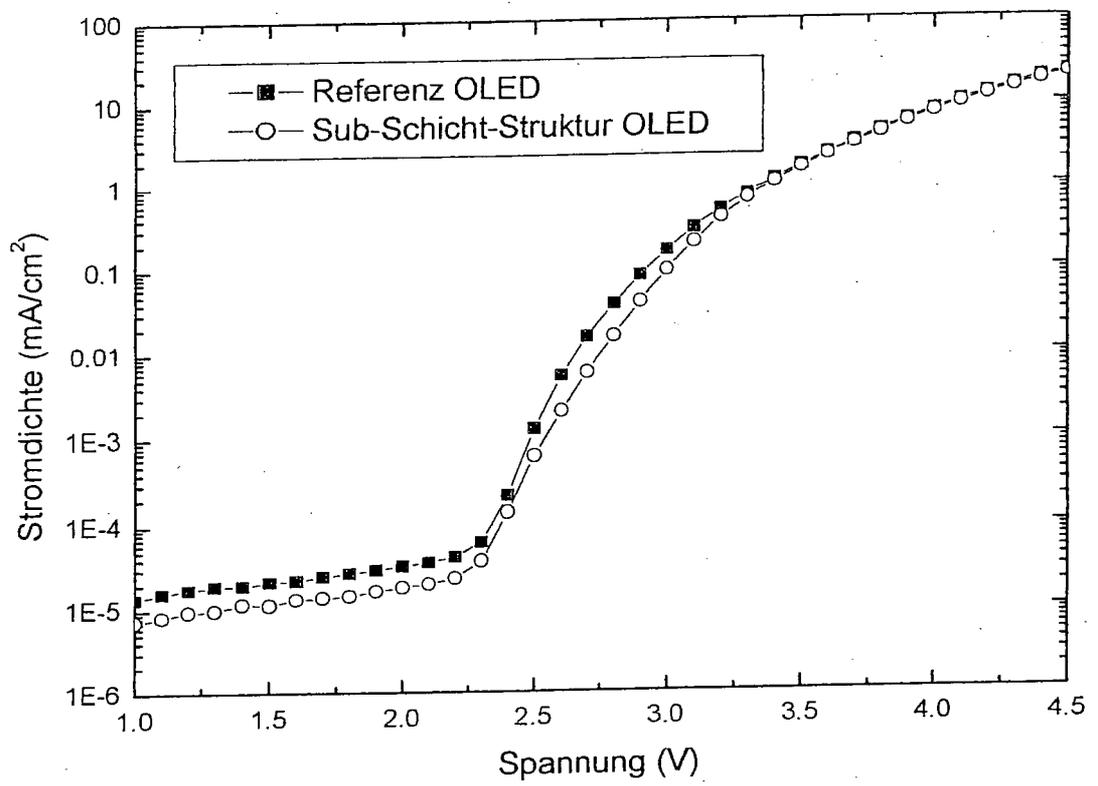


Fig.16

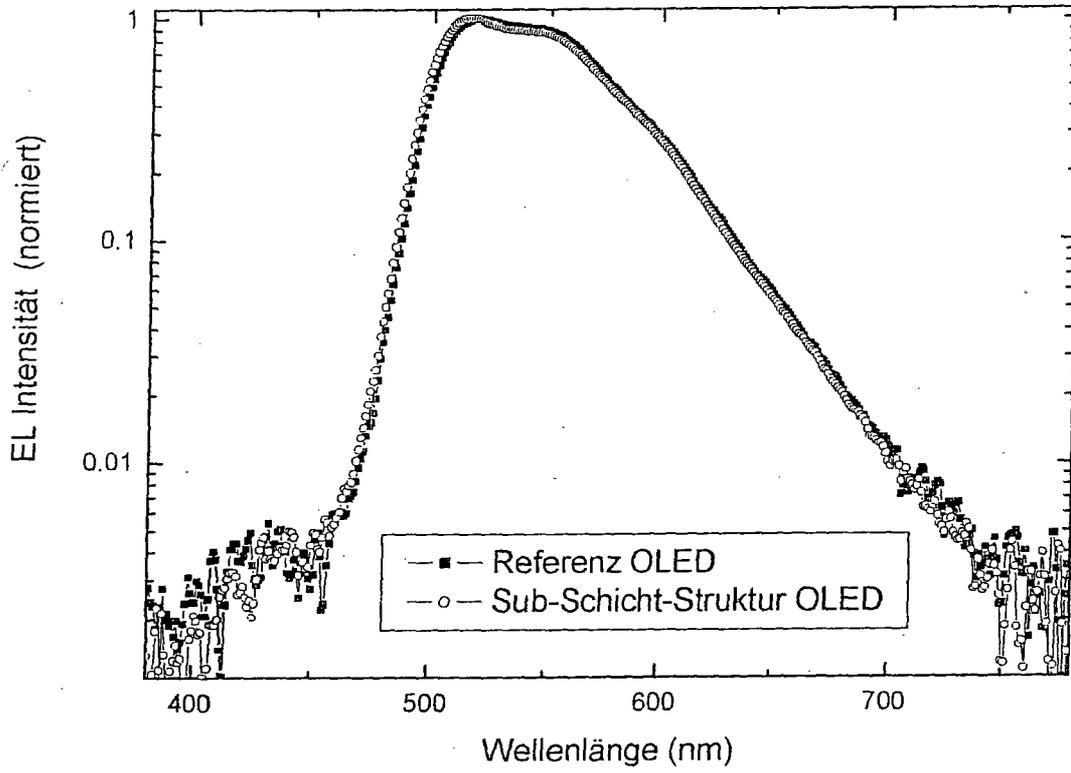


Fig.17

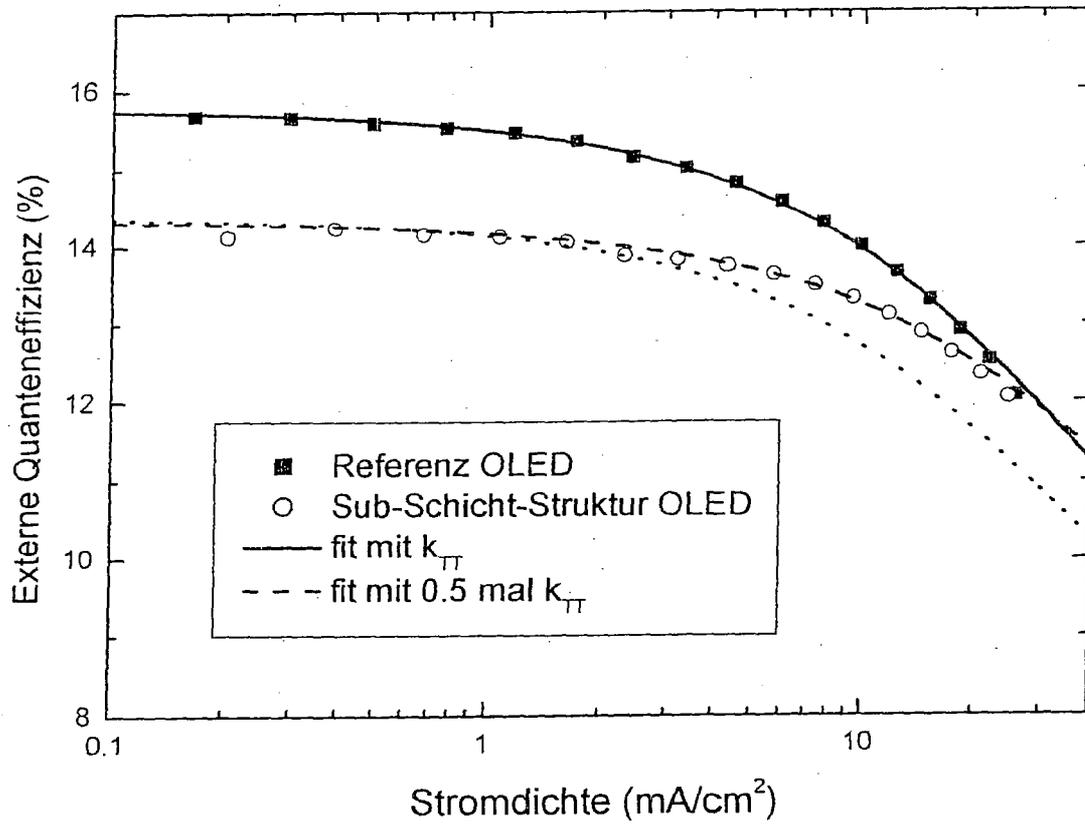
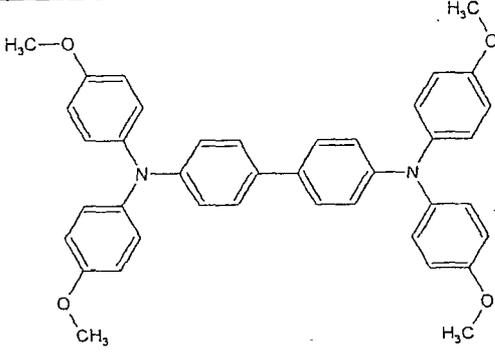
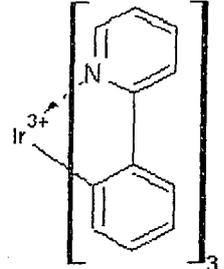
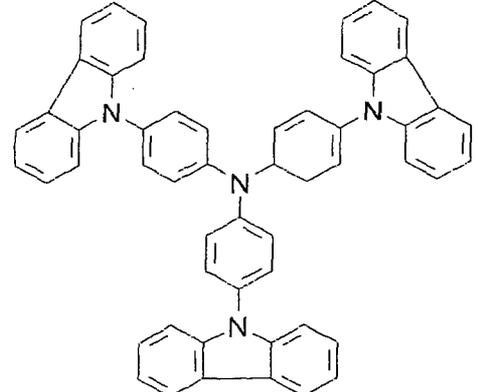
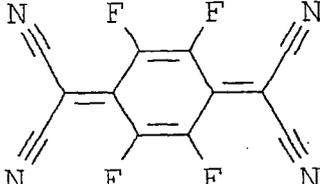


Fig.18

Fig.19

<p>MeO-TPD</p> <p>N,N,N',N'-Tetrakis(4-methoxyphenyl)-benzidine</p>	
<p>Ir(ppy)₃</p> <p><i>fac</i>-tris(2-phenylpyridine) iridium</p>	
<p>TCTA</p> <p>4,4',4''-tris (N-carbazolyl)-triphenylamine</p>	
<p>F4-TCNQ</p> <p>2,3,5,6-tetrafluoro-7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane</p>	

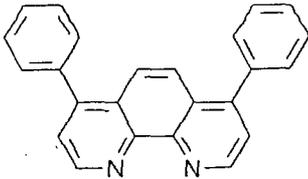
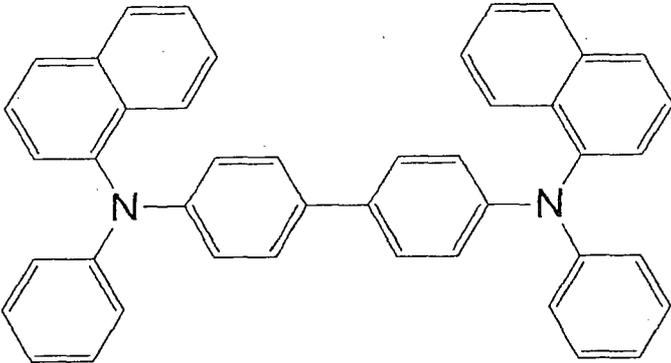
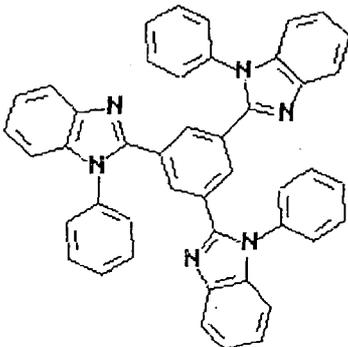
<p>Bphen</p> <p>4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline</p>	 <p>The structure shows a central phenanthroline core (three fused rings: two benzene rings and one pyridine ring) with two phenyl rings attached at the 4 and 7 positions.</p>
<p>NPB</p> <p>N,N'-di(naphthalen-2-yl)-N,N'-diphenylbenzidine</p>	 <p>The structure shows a central benzidine core (two benzene rings connected by a para-para bond) with two nitrogen atoms. Each nitrogen is bonded to one naphthalen-2-yl group and one phenyl group.</p>
<p>TPBi</p> <p>2,2'2''(1,3,5-benzenetriyl) tris-(1-phenyl-1H-benzimidazole)</p>	 <p>The structure shows a central 1,3,5-benzenetriyl core (a benzene ring with three bonds at the 1, 3, and 5 positions) connected to three 1-phenyl-1H-benzimidazole groups.</p>

Fig. 20

Fig. 21

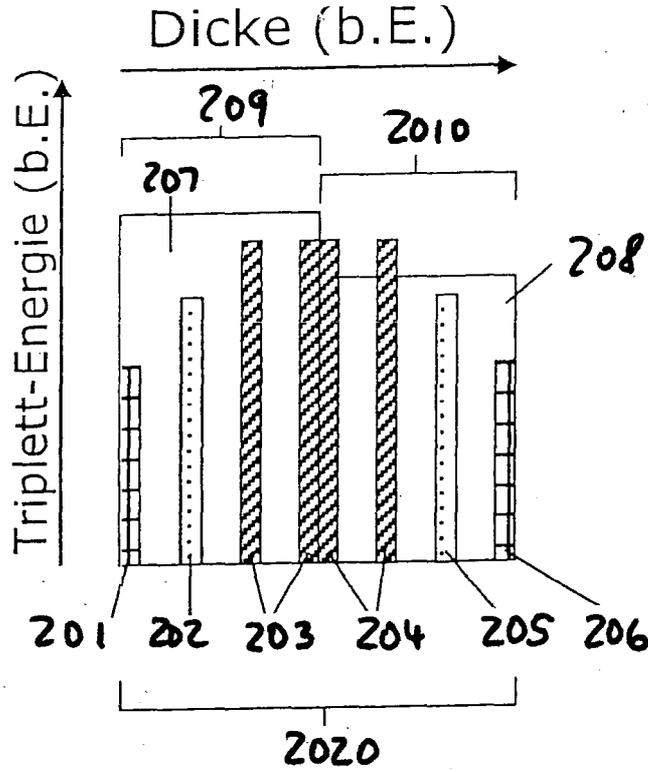


Fig. 21a

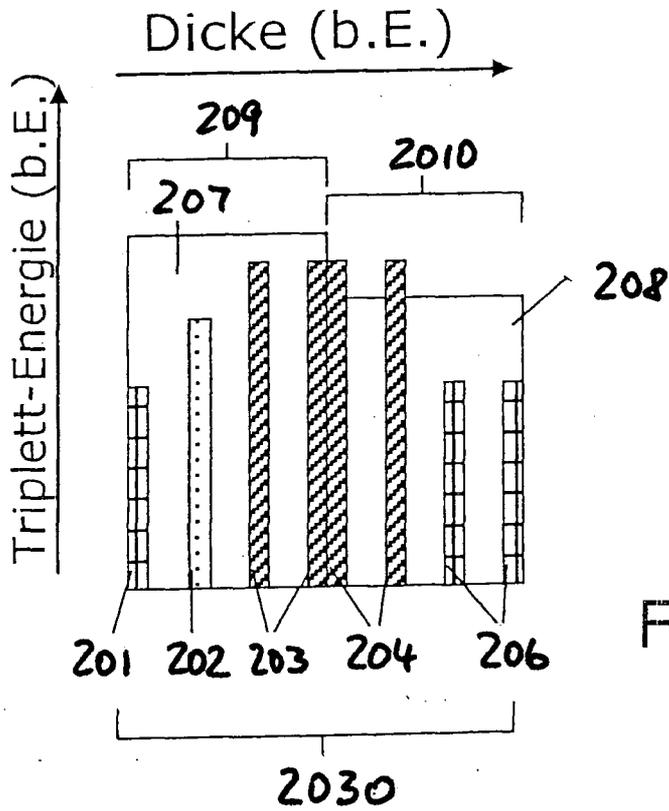


Fig. 21b

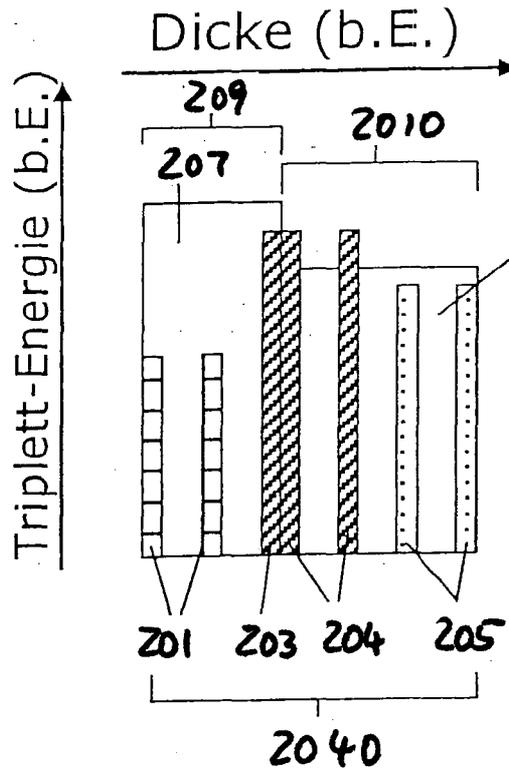


Fig. 21c

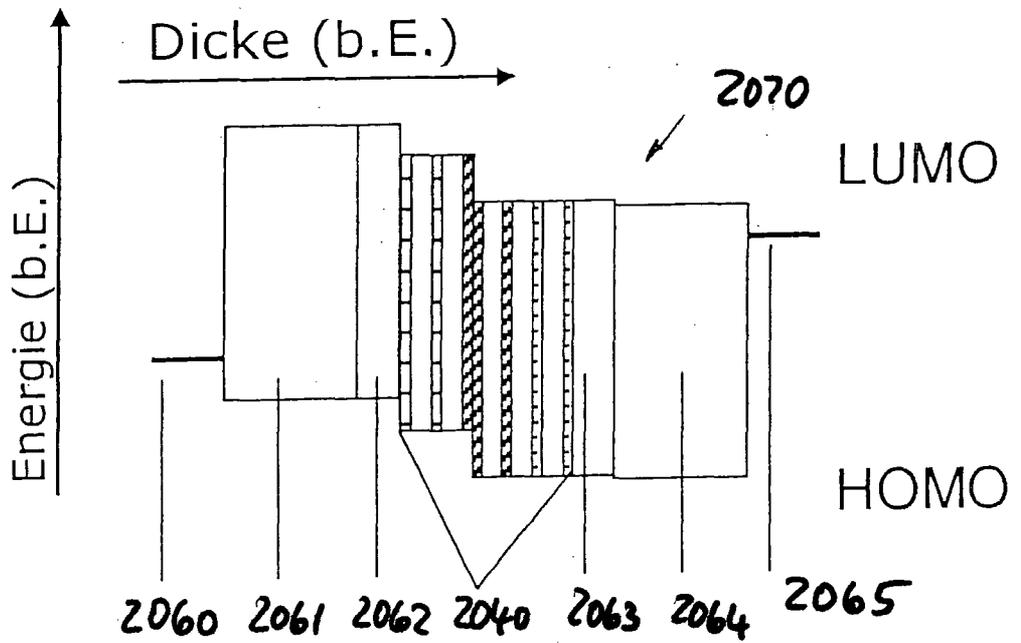


Fig. 21d

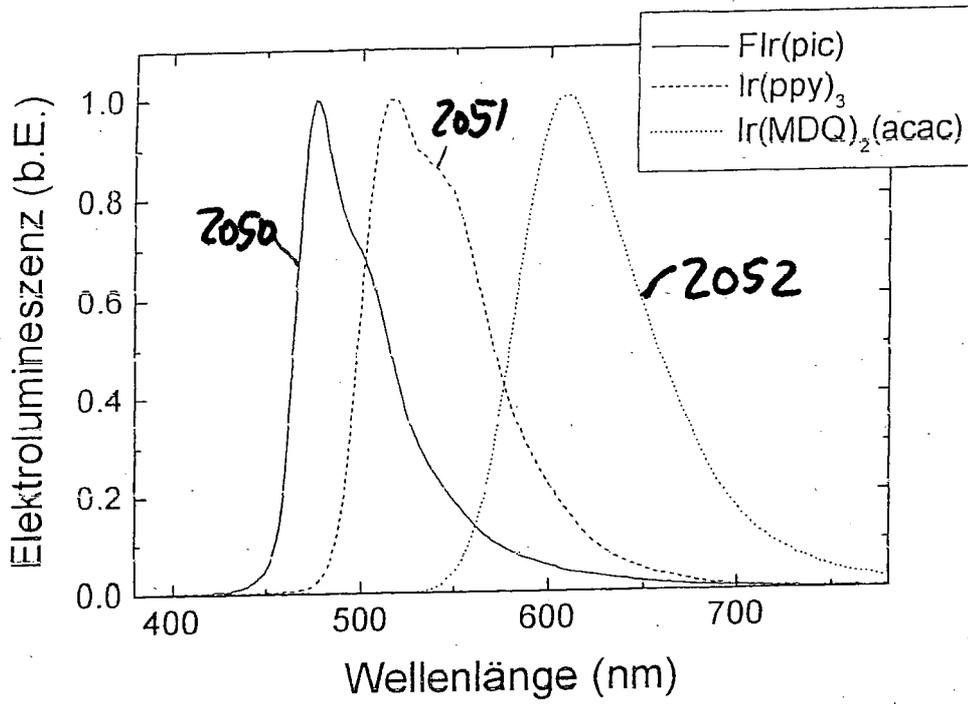


Fig. 22

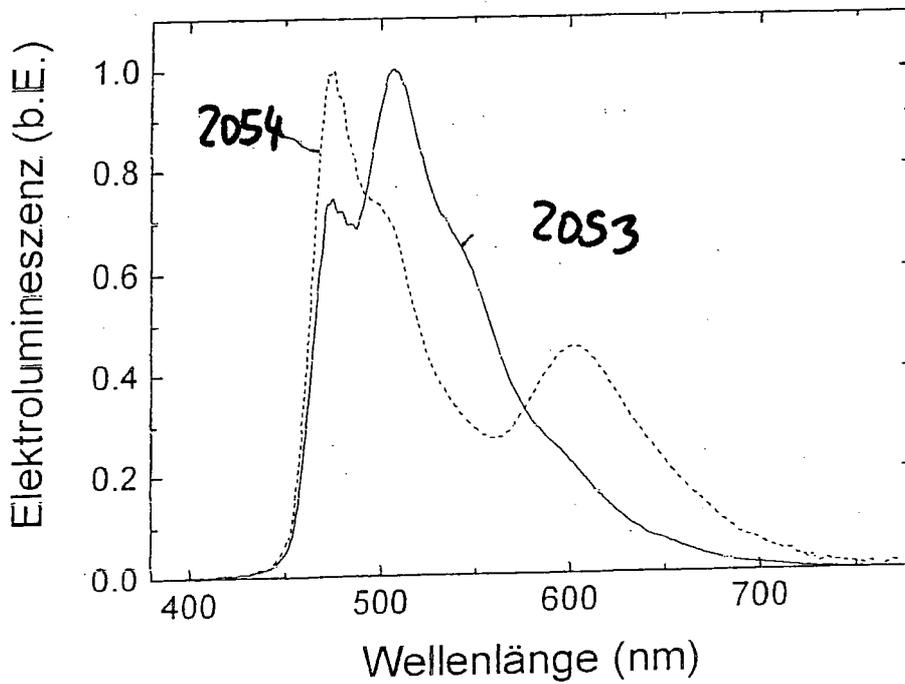


Fig. 23

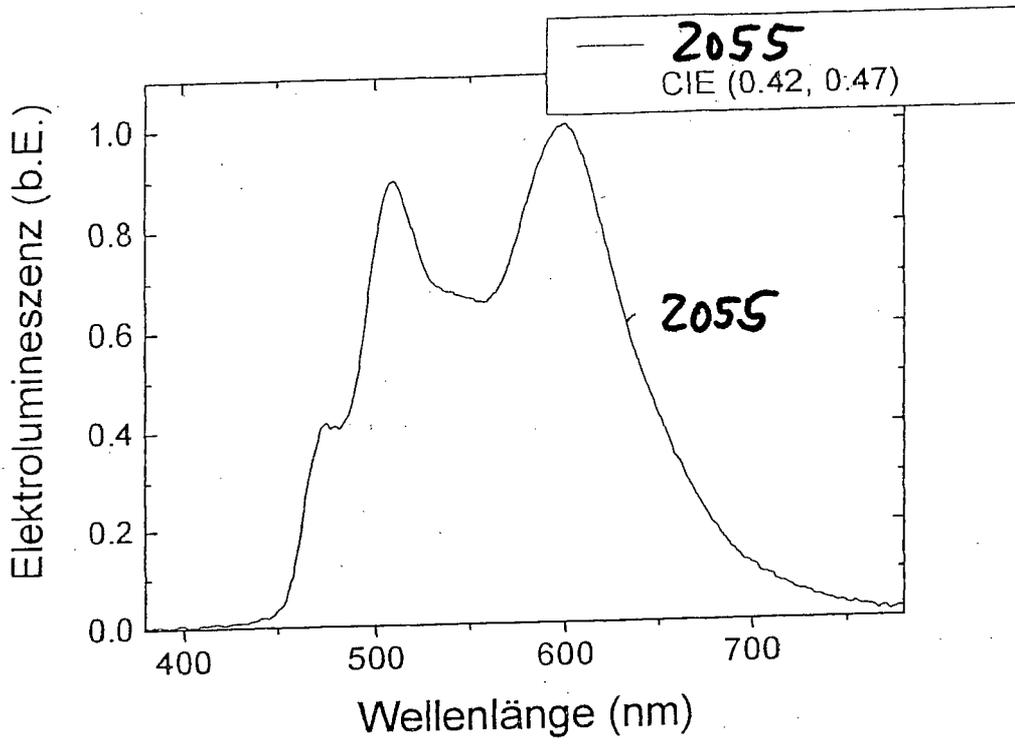


Fig. 24

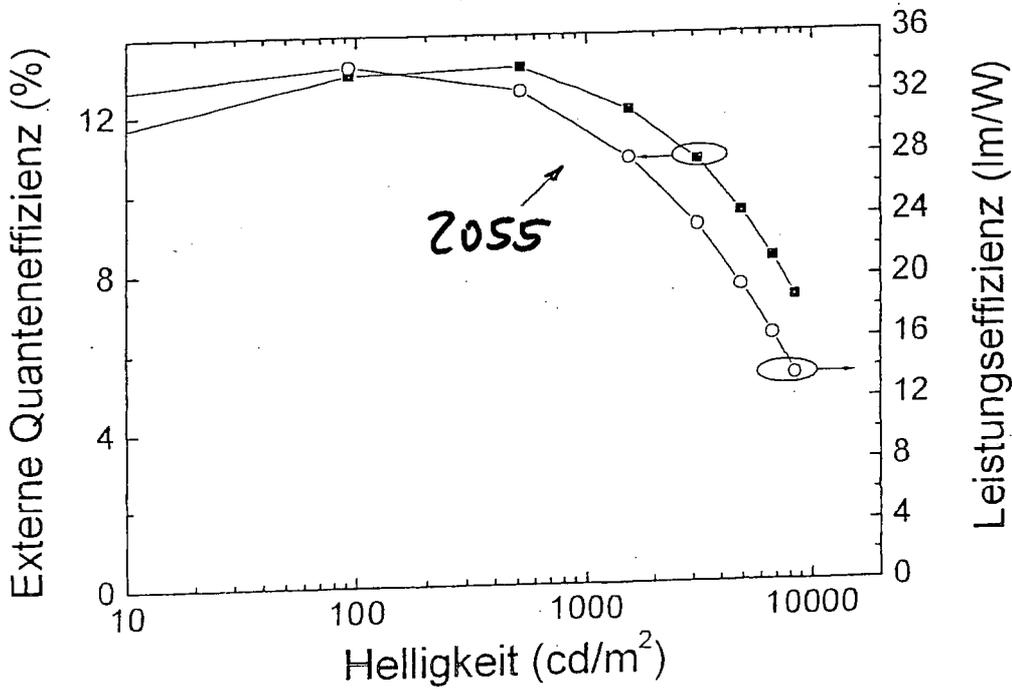


Fig. 25

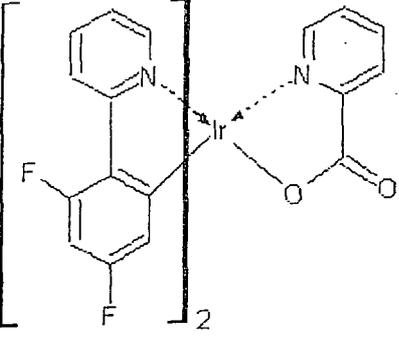
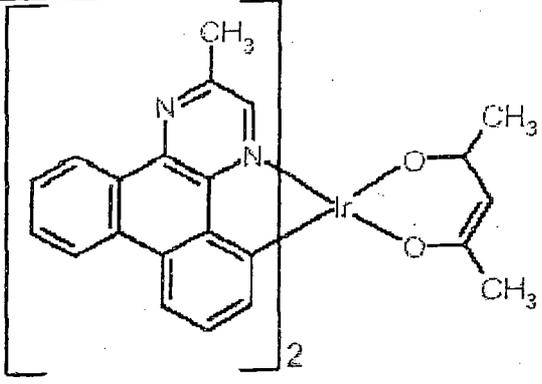
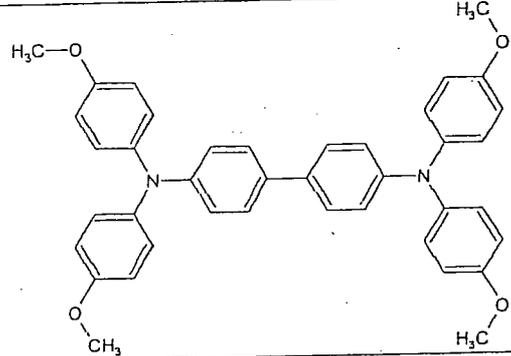
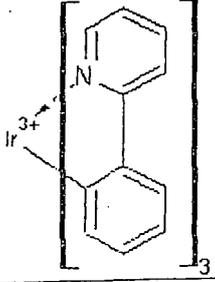
<p>FIr(pic)</p> <p>Iridium-bis-(4,6,-difluorophenyl-pyridinato-N,C2)-picolinate</p>	 <p>The structure shows an Iridium (Ir) center coordinated to two bidentate ligands. Each ligand consists of a 4,6-difluorophenylpyridine ring system coordinated through the nitrogen atom and one of the ortho carbons (C2 and C6) of the phenyl ring. The second ligand is a picolinate ion, coordinated through its nitrogen and oxygen atoms. The entire complex is enclosed in brackets with a subscript of 2.</p>
<p>Ir(MDQ)₂(acac)</p> <p>Iridium (III) bis(2-methyl-dibenzo[f,h]quinoxaline)(acetylacetonate)</p>	 <p>The structure shows an Iridium (Ir) center coordinated to two bidentate ligands. One ligand is 2-methyl-dibenzo[f,h]quinoxaline, coordinated through its two nitrogen atoms. The other ligand is acetylacetonate (acac), coordinated through its two oxygen atoms. The entire complex is enclosed in brackets with a subscript of 2.</p>
<p>MeO-TPD</p> <p>N,N,N',N'-Tetrakis(4-methoxyphenyl)-benzidine</p>	 <p>The structure shows the MeO-TPD ligand, which is N,N,N',N'-tetrakis(4-methoxyphenyl)-benzidine. It consists of a central benzidine core (two benzene rings connected by a para-phenylene ring) with four methoxy groups (-OCH₃) attached to the outer phenyl rings.</p>
<p>Ir(ppy)₃</p> <p>fac-tris(2-phenylpyridine) iridium</p>	 <p>The structure shows the Ir(ppy)₃ complex, where an Iridium (Ir) center is coordinated to three facially coordinated 2-phenylpyridine (ppy) ligands. The Ir is labeled with a 3+ charge. The entire complex is enclosed in brackets with a subscript of 3.</p>

Fig. 26

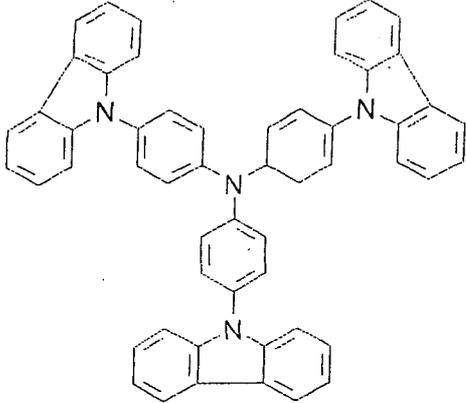
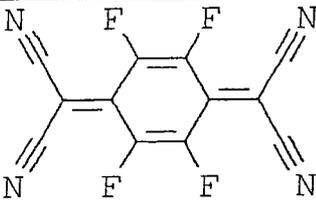
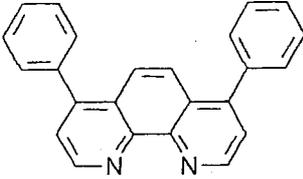
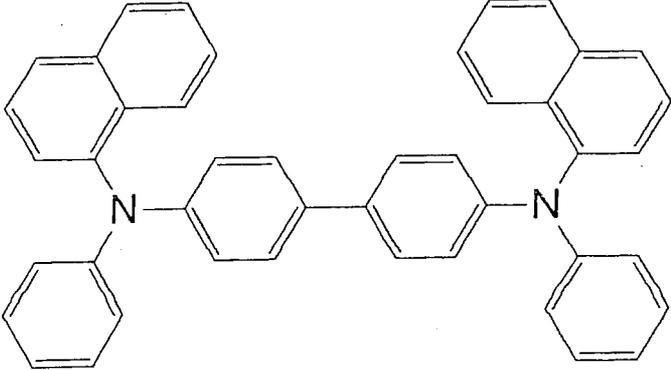
<p>TCTA</p> <p>4,4',4''-tris (N-carbazolyl)- triphenylamine</p>	
<p>F4-TCNQ</p> <p>2,3,5,6-tetrafluoro-7,7,8,8- tetracyano-quinodimethane</p>	
<p>Bphen</p> <p>4,7-diphenyl-1,10- phenanthroline</p>	
<p>NPB</p> <p>N,N'-di (naphthalen-2-yl) -N,N' - diphenyl-benzidine</p>	

Fig.27

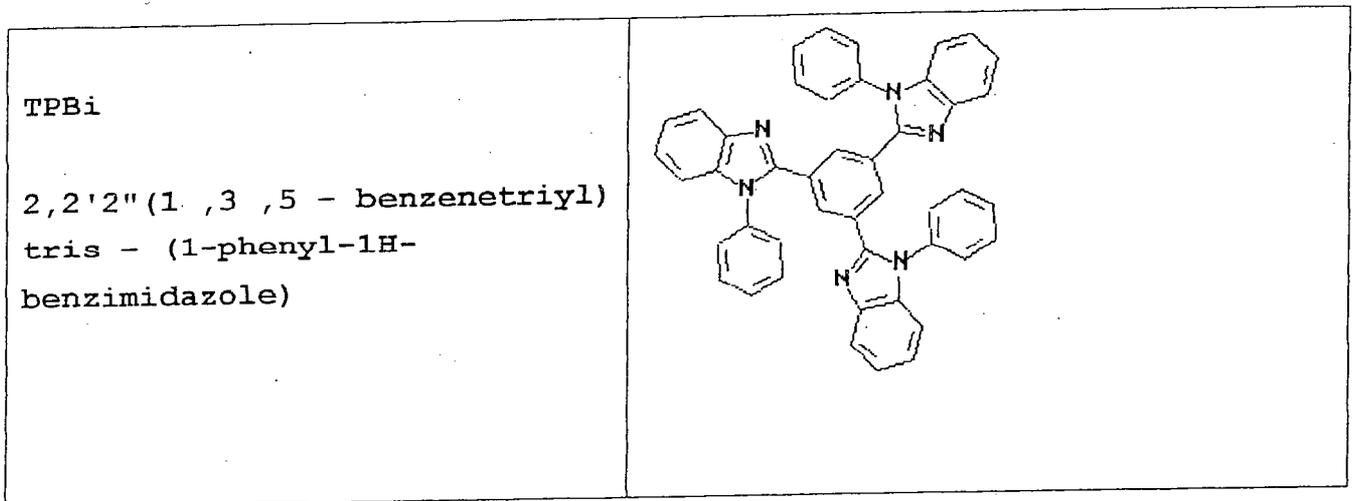


Fig.28