

(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  
9. Juni 2005 (09.06.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2005/053051 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01L 51/20

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/013315

(22) Internationales Anmeldedatum:  
24. November 2004 (24.11.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 55 381.9 25. November 2003 (25.11.2003) DE  
10 2004 006 622.1  
10. Februar 2004 (10.02.2004) DE  
10 2004 015 933.5 1. April 2004 (01.04.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **COVION ORGANIC SEMICONDUCTORS GMBH** [DE/DE]; Industriepark Höchst, F 821, 65926 Frankfurt am Main (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GERHARD, Anja** [DE/DE]; Humboldtstrasse 29, 97209 Veitshöchheim (DE). **VESTWEBER, Horst** [DE/DE]; Denkmalstrasse 6, 34830 Gilserberg-Winterscheid (DE). **STÖSSEL, Philipp** [DE/DE]; Hortensienring 17, 65929 Frankfurt (DE).

(74) Anwälte: **DÖRR, Klaus** usw.; Industriepark Höchst, Geb. F 821, 65926 Frankfurt am Main (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, HU, IE, IS, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Erklärung gemäß Regel 4.17:**

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht  
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.



WO 2005/053051 A1

(54) Title: ORGANIC ELECTROLUMINESCENT ELEMENT

(54) Bezeichnung: ORGANISCHES ELEKTROLUMINESZENZELEMENT

(57) Abstract: The invention relates to the improvement of phosphorescing organic electroluminescent devices characterized in that the emission layer, which consists of a matrix material which is doped with at least one phosphorescing emitter, directly adjoins an electrically conducting layer.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft die Verbesserung phosphoreszierender organischer Elektrolumineszenzvorrichtungen, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die Emissionsschicht, bestehend aus einem Matrixmaterial, welches mit mindestens einem phosphoreszierenden Emitter dotiert ist, direkt an eine elektrisch leitfähige Schicht angrenzt.

## Beschreibung

### Organisches Elektrolumineszenzelement

Die vorliegende Erfindung beschreibt ein neuartiges Designprinzip für organische Elektrolumineszenzelemente und dessen Verwendung in darauf basierenden Displays.

In einer Reihe verschiedenartiger Anwendungen, die im weitesten Sinne der Elektronikindustrie zugerechnet werden können, ist der Einsatz organischer Halbleiter als funktionelle Materialien seit geraumer Zeit Realität bzw. wird in naher Zukunft erwartet. Der Einsatz halbleitender organischer Verbindungen, die zur Emission von Licht im sichtbaren Spektralbereich befähigt sind, steht gerade am Anfang der Markteinführung, zum Beispiel in organischen Elektrolumineszenzvorrichtungen (OLED). Für einfache OLEDs enthaltende Vorrichtungen ist die Markteinführung bereits erfolgt, wie die Autoradios der Firma Pioneer, die Mobiltelefone der Firmen Pioneer und SNMD oder eine Digitalkamera der Firma Kodak mit "organischem Display" belegen.

Eine Entwicklung, die sich in den letzten Jahren abzeichnet, ist der Einsatz metallorganischer Komplexe, die Phosphoreszenz statt Fluoreszenz zeigen (M. A. Baldo *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **1999**, 75, 4-6). Aus quantenmechanischen Gründen ist unter Verwendung metallorganischer Verbindungen eine bis zu vierfache Quanten-, Energie- und Leistungseffizienz möglich. Als wesentliche Bedingungen für die praktische Anwendung dieser Phosphoreszenz-Emitter sind hier insbesondere eine hohe operative Lebensdauer und eine niedrige Einsatz- und Betriebsspannung, verbunden mit einer hohen Leistungseffizienz, um mobile Applikationen zu ermöglichen, zu nennen.

Hier wurden in letzter Zeit deutliche Fortschritte erzielt. Jedoch gibt es immer noch erhebliche Probleme, die einer dringenden Verbesserung bedürfen: So ist der Aufbau dieser OLEDs durch die Vielzahl organischer Schichten komplex und aufwändig; eine Reduktion der Anzahl der Schichten wäre für die Produktion sehr

wichtig, um die Zahl der Produktionsschritte zu verringern und damit die Kosten zu senken und die Produktionssicherheit zu erhöhen. Weiterhin ist das Prozessfenster beim bisherigen Deviceaufbau häufig zu klein, d. h. kleinere Schwankungen des Dotierungsgrads oder der Schichtdicke resultieren in großen Schwankungen der Emissionseigenschaften. Hier wäre es wünschenswert, ein größeres Prozessfenster zur Verfügung zu haben, um die Produktionssicherheit zu erhöhen.

Dies macht weitere Verbesserungen bei der Herstellung von OLEDs, insbesondere beim Schichtaufbau, notwendig.

Der allgemeine Aufbau organischer Elektrolumineszenzvorrichtungen auf Basis niedermolekularer Verbindungen ist beispielsweise in US 4,539,507 und US 5,151,629 beschrieben. Üblicherweise besteht eine solche Vorrichtung aus mehreren Schichten, die mittels Vakuummethoden oder Drucktechniken aufeinander aufgebracht werden. Für phosphoreszierende organische

Elektrolumineszenzvorrichtungen sind diese Schichten im Einzelnen:

1. Trägerplatte = Substrat (üblicherweise Glas oder Kunststoffolie).
2. Transparente Anode (üblicherweise Indium-Zinn-Oxid, ITO).
3. Lochinjektions-Schicht (Hole Injection Layer = HIL): z. B. auf der Basis von Kupferphthalocyanin (CuPc) oder leitfähigen Polymeren, wie Polyanilin (PANI) oder Polythiophen-Derivaten (wie PEDOT).
4. Eine oder mehrere Lochtransport-Schichten (Hole Transport Layer = HTL): üblicherweise auf der Basis von Triarylamin-Derivaten, z. B. 4,4',4''-Tris(N-1-naphthyl-N-phenyl-amino)-triphenylamin (NaphDATA) als erste Schicht und N,N'-Di(naphth-1-yl)-N,N'-diphenyl-benzidin (NPB) als zweite Schicht.
5. Eine oder mehrere Emissions-Schichten (Emission Layer = EML): üblicherweise aus mit Phosphoreszenzfarbstoffen, z. B. Tris(phenylpyridyl)-iridium ( $\text{Ir}(\text{PPy})_3$ ), dotierten Matrixmaterialien, wie z. B. 4,4'-Bis(carbazol-9-yl)-biphenyl (CBP).
6. Lochblockier-Schicht (Hole-Blocking-Layer = HBL): üblicherweise aus BCP (2,9-Dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthrolin = Bathocuproin) oder Bis-(2-methyl-8-chinolinolato)-(4-phenylphenolato)-aluminium(III) (BAIq).
7. Elektronentransport-Schicht (Electron Transport Layer = ETL): meist auf Basis von Aluminium-tris-8-hydroxychinolinat ( $\text{AlQ}_3$ ).

8. Elektroneninjektions-Schicht (Electron Injection Layer = EIL, auch Isolatorschicht = ISL genannt): dünne Schicht bestehend aus einem Material mit einer hohen Dielektrizitätskonstanten, wie z. B. LiF, Li<sub>2</sub>O, BaF<sub>2</sub>, MgO, NaF.
9. Kathode: in der Regel Metalle, Metallkombinationen oder Metalllegierungen mit niedriger Austrittsarbeit, z. B. Ca, Ba, Cs, Mg, Al, In, Mg/Ag.

Wie man sieht, werden bei Elektrolumineszenzvorrichtungen basierend auf niedermolekularen Verbindungen den einzelnen Schichten unterschiedliche Funktionen zugeordnet. Dieser Aufbau einer phosphoreszierenden OLED ist somit sehr aufwändig, da viele Schichten, die wiederum aus vielen verschiedenen Materialien bestehen, nacheinander aufgebracht werden müssen, was den Herstellungsprozess solcher OLEDs technisch sehr kompliziert macht.

Bislang gab es mehrere Ansätze, den Schichtaufbau von phosphoreszierenden OLEDs zu vereinfachen:

- In US 2003/0146443 werden OLEDs beschrieben, bei denen die Emissionsschicht (EML) aus einem Matrixmaterial mit elektronenleitenden Eigenschaften besteht, das mit einem phosphoreszierenden Emitter dotiert ist. Dabei vereinfacht sich der Schichtaufbau, da keine separate Elektronentransportschicht verwendet werden muss. Eine Lochtransportschicht ist gemäß dieser Anmeldung jedoch zwangsläufig notwendig. Diese OLEDs erreichen allerdings nicht die gleiche Effizienz wie herkömmlich aufgebaute OLEDs, d. h. unter Verwendung einer HBL/ETL.
- In den nicht offen gelegten Anmeldungen DE 10355358.4 und DE 10355380.0 wurde für bestimmte Matrixmaterialien beschrieben, dass niedrigere Spannungen und höhere Leistungseffizienzen erhalten werden, wenn keine separate Lochblockierschicht und/oder Elektronentransportschicht verwendet wird. Hier gehen also verbesserte elektronische Eigenschaften mit einer deutlich vereinfachten Device-Struktur einher. Jedoch wurden auch hier in allen Beispielen Lochtransportschichten auf Basis von Triarylaminen verwendet.

Durch das Weglassen von Schichten auf Kathodenseite konnte der Deviceaufbau also bereits vereinfacht werden. Für die technische Anwendung wäre es jedoch wünschenswert, den Schichtaufbau in der Elektrolumineszenzvorrichtung noch

weiter vereinfachen zu können, ohne dass sich dabei die elektronischen Eigenschaften im Device verschlechtern.

Überraschend wurde nun gefunden, dass ein Triplett-Device, in dem die Emissionsschicht direkt an die Lochinjektionsschicht oder an die Anode, also an eine elektrisch leitfähige Schicht, angrenzt, weiterhin sehr gute elektronische Eigenschaften bei einem gleichzeitig weiter vereinfachten Schichtaufbau zeigt. Dies ist ein überraschendes Ergebnis, da die Fachwelt bislang immer davon ausgegangen war, dass eine oder mehrere Lochtransportschichten zwischen der Emissionsschicht und der Lochinjektionsschicht bzw. der Anode zwingend notwendig für die gute Funktion einer phosphoreszierenden Elektrolumineszenzvorrichtung ist. So wurde bereits in den ersten Patenten zu Triplett-Devices (z. B. US 6,303,238) eine Lochtransportschicht auf Basis von Triarylaminderivaten verwendet und in der ersten Veröffentlichung eines Triplett-Devices (M. A. Baldo *et al.*, *Nature* **1998**, 395, 151) ein Device-Aufbau beschrieben, in dem Kupferphthalocyanin als Lochinjektionsschicht und NPB als Lochtransportschicht verwendet werden.

Gegenstand der Erfindung ist daher eine organische Elektrolumineszenzvorrichtung, enthaltend eine Anode, eine Kathode und mindestens eine Emissionsschicht, enthaltend mindestens ein Matrixmaterial, welches mit mindestens einem phosphoreszierenden Emitter dotiert ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht auf Anodenseite direkt an eine elektrisch leitfähige Schicht angrenzt.

In einem Aspekt der Erfindung ist die elektrisch leitfähige Schicht auf Anodenseite eine organische oder metallorganische Lochinjektionsschicht zwischen der Anode und der Emissionsschicht.

In einem weiteren Aspekt der Erfindung ist die elektrisch leitfähige Schicht die Anode selbst.

Unter einer Lochinjektionsschicht im Sinne dieser Erfindung soll eine organische oder metallorganische Schicht im direkten Kontakt mit der Anode verstanden werden, die freie Ladungsträger enthält und intrinsisch elektrisch leitfähig ist. Beim Lochinjektionsmaterial, welches niedermolekular, dendritisch, oligomer oder polymer sein kann, handelt es sich also um einen (organischen) elektrischen Leiter, der im Idealfall Ohm'sches Verhalten zeigt, bei dem also der Strom proportional zur angelegten Spannung ist. Die Lochinjektionsschicht ist im Allgemeinen aus dotierten organischen Verbindungen aufgebaut; jedoch gibt es auch andere Verbindungen, die diese Anforderungen erfüllen.

Weil die Abgrenzung zwischen einer Lochinjektionsschicht und einer Lochtransportschicht nicht immer ganz eindeutig ist, sollen im Sinne dieser Erfindung insbesondere folgende Definitionen gelten: Schichten im direkten Kontakt zur Anode, deren elektrische Leitfähigkeit größer als  $10^{-8}$  S/cm ist, bevorzugt zwischen  $10^{-7}$  und  $10^{-1}$  S/cm, besonders bevorzugt zwischen  $10^{-6}$  und  $10^{-2}$  S/cm, werden im Sinne dieser Erfindung als Lochinjektionsschichten bezeichnet. Dabei kann die Messung der Leitfähigkeit in diesem Leitfähigkeitsbereich durch Zweipunkt-Messung am Film durchgeführt werden, wobei der Ohm'sche Widerstand gemessen wird und daraus wiederum, unter Berücksichtigung der Schichtdicke und der Länge, der spezifische Widerstand und die Leitfähigkeit bestimmt werden (D. Meschede, Gerthsen, *Physik*, 21. Auflage, **2001**, Seite 319). Ausführungsbeispiele dieser Schichten sind dotierte leitfähige Polymere, insbesondere dotierte Polythiophen- oder Polyanilinderivate, die direkt an die Anode angrenzen. Weitere Beispiele für Lochinjektionsschichten sind solche, die aus dotierten Triarylaminderivaten, die niedermolekular, oligomer, dendritisch oder polymer sein können, aufgebaut sind und direkt an die Anode angrenzen, wobei die Dotierung des Triarylaminderivats beispielsweise oxidativ durch ein Oxidationsmittel und/oder durch eine Säure und/oder Lewis-Säure erfolgen kann. Ebenso werden im Sinne dieser Erfindung Schichten, die aus Metallphthalocyaninen, wie beispielsweise Kupferphthalocyanin (CuPc), aufgebaut sind und direkt an die Anode angrenzen, als Lochinjektionsschicht bezeichnet (auch wenn hier der Mechanismus der Leitfähigkeit nicht ganz eindeutig ist und möglicherweise, ohne an eine bestimmte Theorie gebunden sein zu wollen, durch eine hohe Photoleitfähigkeit bei Betrieb der OLED zustande kommt).

Unter einer Lochtransportschicht soll dagegen eine Schicht verstanden werden, die zunächst keine freien Ladungsträger enthält und daher keine elektrische Leitfähigkeit zeigt. Bei Lochtransportmaterialien handelt es sich also um organische Halbleiter, die typisches Halbleiter- bzw. Diodenverhalten zeigen. Diese sind im Allgemeinen aus undotierten organischen Verbindungen aufgebaut, meist aus Triarylaminderivaten, die niedermolekular, oligomer, dendritisch oder polymer sein können, wie beispielsweise NaphDATA oder NPB. Die Lochtransportschicht liegt entweder zwischen der Emissionsschicht und der Lochinjektionsschicht oder zwischen der Emissionsschicht und der Anode, wobei bei Verwendung mehrerer Schichten, die diese Eigenschaften aufweisen, alle diese Schichten als Lochtransportschichten bezeichnet werden.

Im Sinne dieser Anmeldung sind keine polymeren organischen Leuchtdioden (PLEDs) gemeint, da dort im Allgemeinen das Polymer selbst schon mehrere Aufgaben, wie Ladungstransport und Emission, erfüllt und deshalb in der Regel hier nur Einschicht- oder Zweischichtdevices (die dann noch eine zusätzliche Ladungsinjektionsschicht enthalten) erzeugt werden. Unter polymeren organischen Leuchtdioden im Sinne dieser Anmeldung sollen organische Leuchtdioden verstanden werden, bei denen die Emissionsschicht aus einem Polymer, einer Mischung mehrerer Polymere oder einer Mischung eines oder mehrerer Polymere mit einer oder mehreren niedermolekularen Verbindungen besteht, wobei das Polymer im Allgemeinen ein Molekulargewicht  $M_w$  von mehr als 5000 g/mol, meist mehr als 10000 g/mol aufweist und dadurch charakterisiert ist, dass es sich um Molekulargewichtsverteilungen handelt.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung handelt es sich also um eine organische Elektrolumineszenzvorrichtung, in der entweder das Matrixmaterial oder der phosphoreszierende Emitter eine niedermolekulare definierte Verbindung mit einem Molekulargewicht von kleiner als 10000 g/mol, bevorzugt kleiner als 5000 g/mol, besonders bevorzugt kleiner als 3000 g/mol. Besonders bevorzugt sind sowohl das Matrixmaterial wie auch der phosphoreszierende Emitter niedermolekulare definierte Verbindungen mit einem Molekulargewicht von kleiner

als 10000 g/mol, bevorzugt kleiner als 5000 g/mol, besonders bevorzugt kleiner als 3000 g/mol.

Die organische Elektrolumineszenzvorrichtung kann außer den oben genannten Schichten noch weitere Schichten, wie beispielsweise eine oder mehrere Lochblockier- (HBL) und/oder Elektronentransport- (ETL) und/oder Elektroneninjectionsschichten (EIL) enthalten. Es sei aber darauf hingewiesen, dass die Elektrolumineszenzvorrichtung auch bei Abwesenheit dieser Schichten sehr gute Ergebnisse liefert und dass es somit wegen des vereinfachten Schichtaufbaus bevorzugt ist, wenn die Elektrolumineszenzvorrichtung diese Schichten nicht enthält. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung grenzt die Emissionsschicht direkt an die Elektronentransportschicht, d. h. die erfindungsgemäße Elektrolumineszenzvorrichtung enthält keine Lochblockierschicht (HBL).

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung grenzt die Emissionsschicht direkt an die Kathode bzw. an die Elektroneninjectionsschicht, d. h. die erfindungsgemäße Elektrolumineszenzvorrichtung enthält keine Lochblockierschicht (HBL) und keine Elektronentransportschicht (ETL).

Es kann auch mehr als eine Emissionsschicht vorhanden sein. Zwei oder mehr Emissionsschichten sind besonders für weiß emittierende Elektrolumineszenzvorrichtungen geeignet. Dabei muss mindestens eine der Emissionsschichten elektrophosphoreszierend sein. Weiterhin können die Emissionsschichten mit denselben oder mit unterschiedlichen Matrixmaterialien aufgebaut sein. Aus Gründen der Kontaminationsgefahr und der Ressourcenschonung hat es sich jedoch als vorteilhaft erwiesen, wenn in mehreren oder allen Emissionsschichten die gleichen Matrixmaterialien verwendet werden.

Bevorzugt ist eine organische Elektrolumineszenzvorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicke der Emissionsschicht eine Dicke von 1 bis 300 nm aufweist, besonders bevorzugt von 5 bis 200 nm, ganz besonders bevorzugt 10 bis 150 nm.

Weiterhin bevorzugt ist eine organische Elektrolumineszenzvorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass als phosphoreszierender Emitter eine Verbindung enthalten ist, die mindestens ein Atom der Ordnungszahl größer 36 und kleiner 84 aufweist. Besonders bevorzugt ist eine organische Elektrolumineszenzvorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass der phosphoreszierende Emitter mindestens ein Element der Ordnungszahl größer 56 und kleiner 80, ganz besonders bevorzugt Molybdän, Wolfram, Rhenium, Ruthenium, Osmium, Rhodium, Iridium, Palladium, Platin, Silber, Gold oder Europium enthält, ganz besonders bevorzugt Iridium oder Platin, beispielsweise gemäß den Patentanmeldungen WO 98/01011, US 02/0034656, US 03/0022019, WO 00/70655, WO 01/41512, WO 02/02714, WO 02/15645, EP 1191613, EP 1191612, EP 1191614, WO 03/040257, WO 03/084972, WO 03/099959, WO 03/040160, WO 02/081488, WO 02/068435, WO 04/026886, WO 04/081017 und DE 10345572.8. Diese werden via Zitat als Bestandteil der Anmeldung erachtet.

Der Dotierungsgrad des phosphoreszierenden Emitters in der Matrix beträgt 0.5 bis 50 %, bevorzugt 1 bis 40 %, besonders bevorzugt 3 bis 30 %, ganz besonders bevorzugt 5 bis 25 %. Dabei wurde überraschend gefunden, dass kleinere Schwankungen im Dotierungsgrad keinen Einfluss auf die elektrischen und optischen Eigenschaften haben.

Bevorzugt ist eine organische Elektrolumineszenzvorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass die Glasstemperatur  $T_g$  des Matrixmaterials größer als 100 °C, besonders bevorzugt größer 120 °C, ganz besonders bevorzugt größer 140 °C ist. Damit die Materialien während der Sublimation und während des Aufdampfprozesses stabil sind, ist es bevorzugt, wenn sie eine hohe thermische Stabilität aufweisen, bevorzugt größer 200 °C, besonders bevorzugt größer 300 °C, ganz besonders bevorzugt größer 350 °C.

Bevorzugt ist eine organische Elektrolumineszenzvorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass das Matrixmaterial im sichtbaren Spektralbereich zwischen 380 nm und 750 nm bei einer Filmdicke von 30 nm eine Extinktion kleiner 0.2, bevorzugt kleiner 0.1, besonders bevorzugt kleiner 0.05, aufweist.

Die niedrigste Triplettenergie der Matrixmaterialien liegt bevorzugt zwischen 2 und 4 eV. Dabei ist die niedrigste Triplettenergie definiert als die Energiedifferenz zwischen dem Singulett-Grundzustand und dem niedrigsten Triplettzustand des Moleküls. Die Bestimmung der Triplettenergie kann durch spektroskopische Methoden oder durch quantenchemische Rechnung erfolgen. Diese Triplettlage hat sich als günstig erwiesen, da dann der Energieübertrag des Matrixmaterials auf den Triplettmitter sehr effizient ablaufen und somit zu hoher Effizienz der Emission aus dem Triplettmitter führen kann. Bevorzugt sind Matrixmaterialien, deren Triplettenergie größer ist als die Triplettenergie des verwendeten Triplettmitters. Bevorzugt ist die Triplettenergie des Matrixmaterials um mindestens 0.1 eV größer als die des Triplettmitters, insbesondere um mindestens 0.5 eV größer als die des Triplettmitters.

Bevorzugt handelt es sich bei dem Matrixmaterial und beim phosphoreszierenden Emitter um ungeladene Verbindungen. Diese sind gegenüber Salzen bevorzugt, da sie sich im Allgemeinen leichter bzw. bei geringerer Temperatur verdampfen lassen als geladene Verbindungen, die ionische Kristallgitter bilden. Außerdem neigen Salze verstärkt zur Kristallisation, was der Bildung glasartiger Phasen entgegensteht. Weiterhin handelt es sich bei dem Matrixmaterial und bei dem phosphoreszierenden Emitter bevorzugt um definierte molekulare Verbindungen.

Es hat sich überraschend gezeigt, dass insbesondere die Verwendung elektronenleitender Matrixmaterialien ohne separate Lochtransportschicht gute Ergebnisse zeigt. Bevorzugt ist das Matrixmaterial daher eine elektronenleitende Verbindung, also eine Verbindung, die sich leicht reduzieren lässt.

Besonders bevorzugt sind Matrixmaterialien, die bei Reduktion überwiegend stabil sind, d. h. überwiegend reversible Reduktion zeigen bzw. überwiegend stabile Radikalanionen bilden. Dabei bedeutet „stabil“ bzw. „reversibel“, dass die Materialien bei Reduktion wenig oder keine Zersetzung bzw. chemische Reaktionen, wie Umlagerungen, zeigen. Dies lässt sich beispielsweise durch Lösungselektrochemie, insbesondere Cyclovoltammetrie, überprüfen.

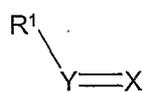
Bevorzugt hat der phosphoreszierende Emitter ein höheres (weniger negatives) HOMO (höchstes besetztes Molekülorbital) als das Matrixmaterial und ist damit hauptsächlich für den Lochstrom in der OLED verantwortlich. Hierbei ist es bevorzugt, wenn das HOMO des phosphoreszierenden Emitters im Bereich von  $\pm 0.5$  eV gegenüber dem HOMO der Lochinjektionsschicht bzw. der Anode (je nachdem, ob eine Lochinjektionsschicht vorhanden ist oder nicht) liegt.

Bevorzugt hat das Matrixmaterial ein niedrigeres (negativeres) LUMO (niedrigstes unbesetztes Molekülorbital) als der phosphoreszierende Emitter und ist damit hauptsächlich für den Elektronenstrom in der OLED verantwortlich. Hierbei ist es bevorzugt, wenn das LUMO des Matrixmaterials im Bereich von  $\pm 0.5$  eV gegenüber dem LUMO der Lochblockierschicht bzw. der Elektronentransportschicht bzw. der Austrittsarbeit der Kathode (je nachdem, welche dieser Schichten direkt an die Emissionsschicht angrenzt) liegt.

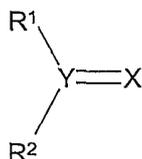
Die Lage des HOMOs bzw. des LUMOs lässt sich durch unterschiedliche Methoden experimentell bestimmen, beispielsweise durch Lösungselektrochemie, z. B. Cyclovoltammetrie, oder durch UV-Photoelektronenspektroskopie. Außerdem lässt sich die Lage des LUMOs berechnen aus dem elektrochemisch bestimmten HOMO und dem optisch durch Absorptionsspektroskopie bestimmten Bandabstand. Auch die quantenchemische Berechnung der HOMO- und LUMO-Lagen ist möglich.

Die Elektronenbeweglichkeit des Matrixmaterials liegt bevorzugt zwischen  $10^{-10}$  und  $1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , besonders bevorzugt zwischen  $10^{-8}$  und  $10^{-1} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , ganz besonders bevorzugt zwischen  $10^{-6}$  und  $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  unter den in der OLED gegebenen Feldstärken von  $10^4$  bis  $10^6 \text{ V/cm}$ . Dabei kann die Elektronenbeweglichkeit beispielsweise durch TOF (time of flight) Messungen bestimmt werden (L. B. Schein, A. Rosenberg, S. L. Rice, *J. Appl. Phys.* **1986**, *60*, 4287; J. X. Mack, L. B. Schein, A. Peled, *Phys. Rev. B* **1989**, *39*, 7500; A. R. Melnyk D. M. Pai: *Physical Methods of Chemistry*, Vol. 8, Eds. B. W. Rossiter, R. C. Baetzold, Wiley, New York, **1993**; 2<sup>nd</sup> ed.).

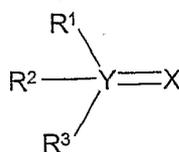
Bevorzugte geeignete Matrixmaterialien, die ohne Lochtransportschicht und gegebenenfalls ohne Lochinjektionsschicht eingesetzt werden können und gute Ergebnisse liefern, sind Ketone, Imine, Phosphinoxide, Phosphinsulfide, Phosphinselenide, Phosphazene, Sulfone und Sulfoxide gemäß den Formeln (1) bis (4),



Formel (1)



Formel (2)



Formel (3)



Formel (4)

wobei die verwendeten Symbole folgende Bedeutung haben:

- Y ist gleich C in Formel (2) und P, As, Sb, Bi in den Formeln (1) und (3) und S, Se, Te, in Formeln (1), (2) und (4);
- X ist bei jedem Auftreten gleich oder verschieden  $\text{NR}^4$ , O, S, Se, Te;
- $\text{R}^1, \text{R}^2, \text{R}^3$  ist bei jedem Auftreten gleich oder verschieden H, F, CN,  $\text{N}(\text{R}^4)_2$ , eine geradkettige, verzweigte oder cyclische Alkyl-, Alkoxy- oder Thioalkoxygruppe mit 1 bis 40 C-Atomen, die mit  $\text{R}^5$  substituiert oder auch unsubstituiert sein kann, wobei ein oder mehrere nicht benachbarte  $\text{CH}_2$ -Gruppen durch  $-\text{R}^6\text{C}=\text{CR}^6-$ ,  $-\text{C}\equiv\text{C}-$ ,  $\text{Si}(\text{R}^6)_2$ ,  $\text{Ge}(\text{R}^6)_2$ ,  $\text{Sn}(\text{R}^6)_2$ , C=O, C=S, C=Se, C=NR<sup>6</sup>, -O-, -S-, -NR<sup>6</sup>- oder -CONR<sup>6</sup>- ersetzt sein können und wobei ein oder mehrere H-Atome durch F, Cl, Br, I, CN oder NO<sub>2</sub> ersetzt sein können, oder ein aromatisches oder heteroaromatisches Ringsystem oder eine Aryloxy- oder Heteroaryloxygruppe mit 1 bis 40 aromatischen C-Atomen, die durch einen oder mehrere Reste  $\text{R}^5$  substituiert sein können, wobei mehrere Substituenten  $\text{R}^1, \text{R}^2$  und/oder  $\text{R}^3$  miteinander ein mono- oder polycyclisches, aliphatisches oder aromatisches Ringsystem bilden können;
- $\text{R}^4$  ist bei jedem Auftreten gleich oder verschieden eine geradkettige, verzweigte oder cyclische Alkyl- oder Alkoxykette mit 1 bis 22 C-Atomen, in der auch ein oder mehrere nicht benachbarte C-Atome durch  $-\text{R}^6\text{C}=\text{CR}^6-$ ,  $-\text{C}\equiv\text{C}-$ ,  $\text{Si}(\text{R}^6)_2$ ,  $\text{Ge}(\text{R}^6)_2$ ,  $\text{Sn}(\text{R}^6)_2$ , -NR<sup>6</sup>-, -O-, -S-, -CO-O- oder -O-CO-O- ersetzt sein können, wobei auch ein oder mehrere H-Atome durch Fluor ersetzt sein können, eine Aryl-, Heteroaryl- oder

- Aryloxygruppe mit 1 bis 40 C-Atomen, welche auch durch einen oder mehrere Reste  $R^6$  substituiert sein kann, oder OH oder  $N(R^5)_2$ ;
- $R^5$  ist bei jedem Auftreten gleich oder verschieden  $R^4$  oder CN,  $B(R^6)_2$  oder  $Si(R^6)_3$ ;
- $R^6$  ist bei jedem Auftreten gleich oder verschieden H oder ein aliphatischer oder aromatischer Kohlenwasserstoffrest mit 1 bis 20 C-Atomen;
- mit der Maßgabe, dass das Molekulargewicht mindestens 150 g/mol beträgt.

Unter einem aromatischen bzw. heteroaromatischen Ringsystem im Sinne dieser Erfindung soll ein System verstanden werden, das nicht notwendigerweise nur aromatische bzw. heteroaromatische Gruppen enthält, sondern in dem auch mehrere aromatische bzw. heteroaromatische Gruppen durch eine kurze nicht-aromatische Einheit (< 10 % der von H verschiedenen Atome, bevorzugt < 5 % der von H verschiedenen Atome), wie beispielsweise  $sp^3$ -hybridisierter C, O, N, etc., unterbrochen sein können. So sollen also beispielsweise auch Systeme wie 9,9'-Spirobifluoren, 9,9-Diarylfluoren, Triarylamine, Diphenylether, etc. als aromatische Systeme verstanden werden.

Ketone und Imine als Matrixmaterialien sind beispielsweise in der nicht offen gelegten Patentanmeldung WO 04/093207 beschrieben. Phosphine, Phosphinsulfide, Phosphinselenide, Phosphazene, Sulfone und Sulfoxide als Matrixmaterialien sind beispielsweise in der nicht offen gelegten Patentanmeldung DE 10330761.3 beschrieben. Bevorzugte Substituenten  $R^1$  bis  $R^3$  sind aromatische oder heteroaromatische Ringsysteme; bevorzugte Substituenten  $R^1$  bis  $R^3$  und bevorzugte Strukturen können den oben genannten Anmeldungen entnommen werden. Besonders bevorzugt sind Ketone, Phosphinoxide und Sulfoxide; ganz besonders bevorzugt sind Ketone.

Weiterhin bevorzugt ist eine organische Elektrolumineszenzvorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass eine oder mehrere Schichten mit einem Sublimationsverfahren beschichtet werden. Dabei werden die niedermolekularen Materialien in Vakuum-Sublimationsanlagen bei einem Druck kleiner  $10^{-5}$  mbar, bevorzugt kleiner  $10^{-6}$  mbar, besonders bevorzugt kleiner  $10^{-7}$  mbar aufgedampft.

Bevorzugt ist ebenfalls eine organische Elektrolumineszenzvorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass eine oder mehrere Schichten mit dem OVPD (Organic Vapour Phase Deposition) Verfahren oder mit Hilfe einer Trägertgasublimation beschichtet werden. Dabei werden die niedermolekularen Materialien in einem inerten Trägertgas bei einem Druck zwischen  $10^{-5}$  mbar und 1 bar aufgebracht.

Weiterhin bevorzugt ist eine organische Elektrolumineszenzvorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass eine oder mehrere Schichten mit dem LITI-Verfahren (Light Induced Thermal Imaging, Thermotransferdruck) beschichtet werden.

Die oben beschriebenen emittierenden Vorrichtungen weisen nun folgende überraschende Vorteile gegenüber dem Stand der Technik auf:

1. Die Effizienz entsprechender Vorrichtungen ist vergleichbar oder höher als bei Systemen, die separate Lochtransportschichten enthalten. Dies ist ein überraschendes Ergebnis, da man bislang immer davon ausgegangen war, dass für eine gute Funktion der Elektrolumineszenzvorrichtung die Verwendung ein oder mehrerer Lochtransportschichten zwingend notwendig ist.
2. Die Betriebsspannungen sind vergleichbar Elektrolumineszenzvorrichtungen, die eine separate Lochtransportschicht enthalten.
3. Die Schichtaufbau ist einfacher, weil mindestens eine organische Schicht weniger verwendet wird als in Elektrolumineszenzvorrichtungen gemäß dem Stand der Technik. Ein besonders deutlicher Vorteil ist gegeben, wenn die Emissionsschicht nicht nur direkt an die Lochinjektionsschicht bzw. an die Anode grenzt, sondern auch direkt an die Kathode grenzt, weil dann die gesamte Elektrolumineszenzvorrichtung nur aus ein oder zwei organischen Schichten (Emissionsschicht und gegebenenfalls Lochinjektionsschicht) besteht. Der Produktionsaufwand wird dadurch deutlich geringer. Dies ist ein erheblicher Vorteil im Produktionsprozess, da bei der herkömmlichen Herstellungsweise im Allgemeinen für jede organische Schicht eine separate Aufdampfanlage verwendet wird, wodurch mindestens eine derartige Anlage somit eingespart werden kann bzw. komplett entfällt. Dies schont die Ressourcen und mindert das Kontaminationsrisiko, wodurch die Ausbeute steigt.

4. Das Emissionsspektrum ist identisch zum Emissionsspektrum, das mit einer vergleichbaren Elektrolumineszenzvorrichtung erhalten wird, die eine Lochtransportschicht enthält. Insbesondere beobachtet man, dass die Emissionseigenschaften, beispielsweise die Emissionsfarbe, in einem weiten Bereich unabhängig vom Dotierungsgrad sind. Dies ist ein klarer Vorteil in der Produktion, da dadurch das Prozessfenster erweitert wird und kleinere Abweichungen bei den Herstellbedingungen nicht zu Abweichungen der Produkteigenschaften führen. Dadurch wird die Produktionssicherheit erhöht.
5. Ebenso sind die Deviceeigenschaften, wie Emissionsfarbe und Spannung, relativ unabhängig von der Schichtdicke der Emissionsschicht. Dies ist ebenfalls ein deutlicher Vorteil in der Produktion, da dadurch das Prozessfenster erweitert wird und kleinere Abweichungen bei den Herstellbedingungen nicht zu Abweichungen der Produkteigenschaften führen. Dadurch wird die Produktionssicherheit erhöht.
6. Die Lebensdauer entsprechender Vorrichtungen ist vergleichbar zu Systemen, die separate Lochtransportschichten enthalten.

Details zu den hier gemachten Angaben finden sich in den unten beschriebenen Beispielen.

Im vorliegenden Anmeldetext und auch in den weiteren folgenden Beispielen wird nur auf organische Leuchtdioden und die entsprechenden Displays abgezielt. Trotz dieser Beschränkung der Beschreibung ist es für den Fachmann ohne weiteres erfinderisches Zutun möglich, das entsprechende erfindungsgemäße Design auch für andere, verwandte Vorrichtungen, z. B. für organische Solarzellen (O-SCs), organische Laserdioden (O-Laser) oder auch photorefraktive Bauteile, um nur einige weitere Anwendungen zu nennen, zu verwenden.

#### **Beispiele:**

##### **Herstellung und Charakterisierung von organischen Elektrolumineszenzvorrichtungen:**

Erfindungsgemäße Elektrolumineszenzvorrichtungen können, wie beispielsweise in der Patentanmeldung DE10330761.3 beschrieben, dargestellt werden. Dieses Verfahren wurde im Einzelfall auf die jeweiligen Gegebenheiten (z. B.

Schichtdickenvariation) angepasst. Für die Herstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtungen wurde keine separate Lochtransportschicht verwendet, außerdem ebenfalls keine Elektronentransportschicht und keine Lochblockierschicht.

In den folgenden Beispielen werden die Ergebnisse verschiedener OLEDs vorgestellt. Der grundlegende Aufbau, wie die verwendeten Materialien und Schichtdicken, waren zur besseren Vergleichbarkeit identisch.

Analog dem o. g. allgemeinen Verfahren wurden emittierende OLEDs mit folgendem Aufbau erzeugt:

PEDOT (HIL)	60 nm (aus Wasser aufgeschleudert; PEDOT bezogen von H. C. Starck; Poly-[3,4-ethylendioxy-2,5-thiophen] mit Poly(styrolsulfonsäure))
Emissionsschicht:	genauer Aufbau: siehe Beispiele in Tabelle 1
Ba-Al (Kathode)	3 nm Ba, darauf 150 nm Al

In keinem der Beispiele wurde eine separate Lochblockierschicht und eine separate Elektronentransportschicht verwendet.

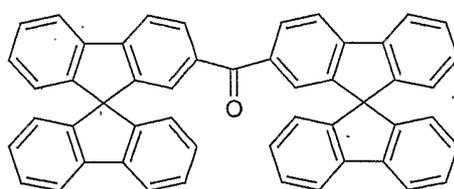
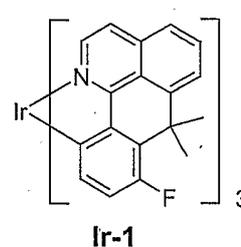
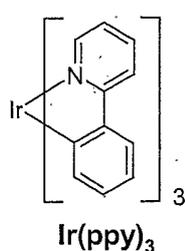
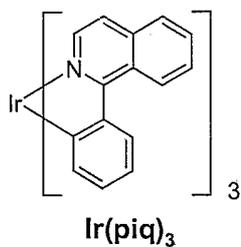
Außerdem wurden zum Vergleich Elektrolumineszenzvorrichtungen erzeugt, die zwischen der Emissionsschicht und der Lochinjektionsschicht eine Lochtransportschicht gemäß dem Stand der Technik enthielten, die folgendermaßen aufgebaut war:

NaphDATA (HTM)	20 nm (aufgedampft; NaphDATA bezogen von SynTec; 4,4',4''-Tris(N-1-naphthyl-N-phenyl-amino)-triphenylamin
S-TAD (HTM)	20 nm (aufgedampft; S-TAD hergestellt nach WO 99/12888; 2,2',7,7'-Tetrakis(diphenylamino)-spirobifluoren)

Diese noch nicht optimierten OLEDs wurden standardmäßig charakterisiert; hierfür wurden die Elektrolumineszenzspektren, die maximale Effizienz (gemessen in cd/A) und die maximale Leistungseffizienz (gemessen in lm/W) in Abhängigkeit der Helligkeit, berechnet aus Strom-Spannungs-Helligkeits-Kennlinien (IUL-Kennlinien), bestimmt.

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse verschiedener Beispiele zusammengefasst. Die Zusammensetzung der Emissionsschicht inklusive der Schichtdicken ist aufgeführt. Die dotierten phosphoreszierenden Emissionsschichten enthalten als Matrixmaterial **M1** die Verbindung Bis(9,9'-spiro-bifluoren-2-yl)keton (synthetisiert gemäß WO 04/093207). Die Lebensdauern der verschiedenen Device-Anordnungen sind dabei vergleichbar. Die Synthese von Ir(piq)<sub>3</sub> erfolgte gemäß US 2003/0068526. Die Synthese von **Ir-1** erfolgte gemäß der nicht offen gelegten Anmeldung DE 10345572.8.

Die in der Tabelle 1 verwendeten Abkürzungen entsprechen den folgenden Verbindungen:



**Matrixmaterial M1**

Tabelle 1:

Experiment	HIL	HTL1	HTL2	EML	Max Effizienz (cd/A)	Max Leistungseffizienz (lm/W)	Spannung (V) bei 100 cd/m <sup>2</sup>
Beispiel 1 a)	PEDOT (60nm)	---	---	M1 : Ir(piq) <sub>3</sub> (20%) (100nm)	7.3	8.2	3.5
Beispiel 1 b) (Vergleich)	PEDOT (60nm)	NaphDATA (20 nm)	S-TAD (20 nm)	M1 : Ir(piq) <sub>3</sub> (20%) (60nm)	7.0	8.1	3.2
Beispiel 1 c) (Vergleich)	PEDOT (60nm)	---	S-TAD (20 nm)	M1 : Ir(piq) <sub>3</sub> (20%) (80nm)	5.8	5.1	4.0
Beispiel 2 a)	PEDOT (60nm)	---	---	M1 : Ir(ppy) <sub>3</sub> (20%) (80nm)	40.1	50.4	3.0
Beispiel 2 b) (Vergleich)	PEDOT (60nm)	NaphDATA (20 nm)	S-TAD (20 nm)	M1 : Ir(ppy) <sub>3</sub> (20%) (60nm)	35.3	49.8	3.0
Beispiel 3 a)	PEDOT (60nm)	---	---	M1 : Ir-1 (10%) (60nm)	14.8	11.4	3.8
Beispiel 3 b) (Vergleich)	PEDOT (60nm)	NaphDATA (20 nm)	S-TAD (20 nm)	M1 : Ir-1 (10%) (60nm)	14.9	11.0	4.0

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass OLEDs, gefertigt nach dem neuen Designprinzip, eine vergleichbare oder höhere Effizienz bei vergleichbaren Spannungen und vergleichbarer Lebensdauer aufweisen, wie man leicht aus Tabelle 1 entnehmen kann, wobei sich der Aufbau der OLED erheblich vereinfacht hat.

## Patentansprüche:

1. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung, enthaltend eine Anode, eine Kathode und mindestens eine Emissionsschicht, enthaltend mindestens ein Matrixmaterial, welches mit mindestens einem phosphoreszierenden Emitter dotiert ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht auf Anodenseite direkt an eine elektrisch leitfähige Schicht angrenzt.
2. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass entweder das Matrixmaterial oder der phosphoreszierende Emitter eine niedermolekulare definierte Verbindung mit einem Molekulargewicht von kleiner als 10000 g/mol ist.
3. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl das Matrixmaterial als auch der phosphoreszierende Emitter niedermolekulare definierte Verbindungen mit einem Molekulargewicht von kleiner als 10000 g/mol sind.
4. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrisch leitfähige Schicht, an die die Emissionsschicht auf Anodenseite grenzt, eine organische oder metallorganische Lochinjektionsschicht ist.
5. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrisch leitfähige Schicht, an die die Emissionsschicht auf Anodenseite grenzt, die Anode ist.
6. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sie weitere Schichten enthält.
7. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die weiteren Schichten eine oder mehrere

Lochblockierschichten und/oder Elektronentransportschichten und/oder Elektroneninjektionsschichten sind.

8. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht ohne Verwendung einer Lochblockierschicht direkt an die Elektronentransportschicht grenzt.
9. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht ohne Verwendung einer Lochblockierschicht und ohne Verwendung einer Elektronentransportschicht direkt an die Kathode bzw. an die Elektroneninjektionsschicht grenzt.
10. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass mehr als eine Emissionsschicht vorhanden ist.
11. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Emissionsschicht eine Schichtdicke von 1 bis 300 nm aufweist.
12. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass als phosphoreszierender Emitter eine Verbindung enthalten ist, die mindestens ein Atom der Ordnungszahl größer 36 und kleiner 84 enthält.
13. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der phosphoreszierende Emitter mindestens ein Element, ausgewählt aus Molybdän, Wolfram, Rhenium, Ruthenium, Osmium, Rhodium, Iridium, Palladium, Platin, Silber, Gold oder Europium, enthält.

14. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Dotierungsgrad des phosphoreszierenden Emitters in der Matrix 0.5 bis 50 % beträgt.
15. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Glasstemperatur  $T_g$  des Matrixmaterials größer als 100 °C ist.
16. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Matrixmaterial im sichtbaren Spektralbereich zwischen 380 nm und 750 nm bei einer Filmdicke von 30 nm eine Extinktion kleiner 0.2 aufweist.
17. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die niedrigste Triplettenergie des Matrixmaterials zwischen 2 und 4 eV liegt.
18. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Matrixmaterial eine elektronenleitende Verbindung ist.
19. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Matrixmaterial überwiegend reversible Reduktion zeigt bzw. überwiegend stabile Radikalanionen bildet.
20. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektronenbeweglichkeit des Matrixmaterials zwischen  $10^{-10}$  und  $1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  liegt.
21. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Matrixmaterial ausgewählt ist aus den Klassen der Ketone, Imine, Phosphinoxide,

Phosphinsulfide, Phosphinselenide, Phosphazene, Sulfone und Sulfoxide, bevorzugt mit aromatischen Substituenten.

22. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Matrixmaterialien ausgewählt sind aus den Klassen der Ketone, Phosphinoxide und Sulfoxide.
23. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass eine oder mehrere Schichten mit einem Sublimationsverfahren beschichtet werden.
24. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass eine oder mehrere Schichten mit dem Organic Vapour Phase Deposition (OVPD) Verfahren oder mit Hilfe einer Trägergassublimation beschichtet werden.
25. Organische Elektrolumineszenzvorrichtung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass eine oder mehrere Schichten mit dem LITI-Verfahren (Light Induced Thermal Imaging) beschichtet werden.
26. Organische Solarzelle, dadurch gekennzeichnet, dass der Aufbau einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 25 entspricht.
27. Organische Laserdiode, dadurch gekennzeichnet, dass der Aufbau einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 25 entspricht.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/013315

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H01L51/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/096138 A1 (LECLOUX DANIEL DAVID ET AL) 22 May 2003 (2003-05-22) paragraph '0081! - paragraph '0084! paragraph '0092!	1-27
X	WO 03/001569 A (THE TRUSTEES OF PRINCETON UNIVERSITY) 3 January 2003 (2003-01-03)	1-3,5-7, 10-20, 23-27
Y	page 8 - page 10	21,22
X	WO 03/072681 A (JSR CORPORATION; ERIYAMA, YUICHI; YASUDA, HIROYUKI; SAKAKIBARA, MITSUH) 4 September 2003 (2003-09-04)	1-4,6-8, 10-20, 23-27
Y		21,22
P,X	-& US 2004/106006 A1 (ERIYAMA YUICHI ET AL) 3 June 2004 (2004-06-03)	1-4,6-8, 10-20, 23,27
P,Y	paragraph '0084! - paragraph '0109!	21,22
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 April 2005

Date of mailing of the international search report

20/04/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Wolfbauer, G

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/013315

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LI H ET AL: "ORGANIC LIGHT-EMITTING DEVICES BASED ON AROMATIC POLYIMIDE DOPED BY ELECTROPHOSPHORESCENT MATERIAL FAC TRIS(2-PHENYLPYRIDINE) IRIIDIUM" SEMICONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY, INSTITUTE OF PHYSICS. LONDON, GB, vol. 18, no. 4, April 2003 (2003-04), pages 278-283, XP001169967 ISSN: 0268-1242 page 280, paragraph 2; figure 3	1-3,5-8, 10-27
X	TOKITO S ET AL: "HIGH-EFFICIENCY PHOSPHORESCENT POLYMER LIGHT-EMITTING DEVICES" ORGANIC ELECTRONICS, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 4, no. 2/3, September 2003 (2003-09), pages 105-111, XP001177145 ISSN: 1566-1199	1-3,6, 8-20, 23-27
Y	page 107; figure 2a	21,22
P,X	COCCHI M ET AL: "HIGHLY EFFICIENT ORGANIC ELECTROPHOSPHORESCENT LIGHT-EMITTING DIODES WITH A REDUCED QUANTUM EFFICIENCY ROLL OFF AT LARGE CURRENT DENSITIES" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 84, no. 7, 16 February 2004 (2004-02-16), pages 1052-1054, XP001197382 ISSN: 0003-6951 page 1052; figure 1c	1-3,5-8, 10-27
X	US 2002/028349 A1 (SEO SATOSHI) 7 March 2002 (2002-03-07) paragraph '0067! - paragraph '0068!; figures 1c,2a,7	1-20, 23-27
Y	paragraph '0086! - paragraph '0090!	21,22
Y	SALBECK J ET AL: "Low molecular organic glasses for blue electroluminescence" SYNTHETIC METALS, ELSEVIER SEQUOIA, LAUSANNE, CH, vol. 91, 1997, pages 209-215, XP002277588 ISSN: 0379-6779 the whole document	21,22
P,Y	WO 2004/016709 A (NEOVIEWKOLON CO., LTD; KIM, JUNG-SOO) 26 February 2004 (2004-02-26) the whole document	21,22

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/013315

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003096138	A1	22-05-2003	CA 2466143 A1	15-05-2003
			EP 1442094 A2	04-08-2004
			WO 03040256 A2	15-05-2003
WO 03001569	A	03-01-2003	WO 03001569 A2	03-01-2003
			US 2003020073 A1	30-01-2003
WO 03072681	A	04-09-2003	JP 2003253257 A	10-09-2003
			EP 1484381 A1	08-12-2004
			WO 03072681 A1	04-09-2003
			US 2004106006 A1	03-06-2004
US 2004106006	A1	03-06-2004	JP 2003253257 A	10-09-2003
			EP 1484381 A1	08-12-2004
			WO 03072681 A1	04-09-2003
US 2002028349	A1	07-03-2002	JP 2002141173 A	17-05-2002
WO 2004016709	A	26-02-2004	AU 2003253451 A1	03-03-2004
			WO 2004016709 A1	26-02-2004

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/013315

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 IPK 7 H01L51/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, INSPEC

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie <sup>o</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2003/096138 A1 (LECLOUX DANIEL DAVID ET AL) 22. Mai 2003 (2003-05-22) Absatz '0081! - Absatz '0084! Absatz '0092!	1-27
X	WO 03/001569 A (THE TRUSTEES OF PRINCETON UNIVERSITY) 3. Januar 2003 (2003-01-03)	1-3,5-7, 10-20, 23-27
Y	Seite 8 - Seite 10	21,22
X	WO 03/072681 A (JSR CORPORATION; ERIYAMA, YUICHI; YASUDA, HIROYUKI; SAKAKIBARA, MITSUH) 4. September 2003 (2003-09-04)	1-4,6-8, 10-20, 23-27
Y		21,22
P,X	-& US 2004/106006 A1 (ERIYAMA YUICHI ET AL) 3. Juni 2004 (2004-06-03)	1-4,6-8, 10-20, 23,27
P,Y	Absatz '0084! - Absatz '0109!	21,22
	----- -/-	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

<sup>o</sup> Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. April 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

20/04/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Wolfbauer, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/013315

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	LI H ET AL: "ORGANIC LIGHT-EMITTING DEVICES BASED ON AROMATIC POLYIMIDE DOPED BY ELECTROPHOSPHORESCENT MATERIAL FAC TRIS(2-PHENYLPYRIDINE) IRIIDIUM" SEMICONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY, INSTITUTE OF PHYSICS. LONDON, GB, Bd. 18, Nr. 4, April 2003 (2003-04), Seiten 278-283, XPO01169967 ISSN: 0268-1242 Seite 280, Absatz 2; Abbildung 3	1-3,5-8, 10-27
X	TOKITO S ET AL: "HIGH-EFFICIENCY PHOSPHORESCENT POLYMER LIGHT-EMITTING DEVICES" ORGANIC ELECTRONICS, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, Bd. 4, Nr. 2/3, September 2003 (2003-09), Seiten 105-111, XPO01177145 ISSN: 1566-1199 Seite 107; Abbildung 2a	1-3,6, 8-20, 23-27
Y		21,22
P,X	COCCHI M ET AL: "HIGHLY EFFICIENT ORGANIC ELECTROPHOSPHORESCENT LIGHT-EMITTING DIODES WITH A REDUCED QUANTUM EFFICIENCY ROLL OFF AT LARGE CURRENT DENSITIES" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 84, Nr. 7, 16. Februar 2004 (2004-02-16), Seiten 1052-1054, XPO01197382 ISSN: 0003-6951 Seite 1052; Abbildung 1c	1-3,5-8, 10-27
X	US 2002/028349 A1 (SEO SATOSHI) 7. März 2002 (2002-03-07) Absatz '0067! - Absatz '0068!; Abbildungen 1c,2a,7	1-20, 23-27
Y	Absatz '0086! - Absatz '0090!	21,22
Y	SALBECK J ET AL: "Low molecular organic glasses for blue electroluminescence" SYNTHETIC METALS, ELSEVIER SEQUOIA, LAUSANNE, CH, Bd. 91, 1997, Seiten 209-215, XPO02277588 ISSN: 0379-6779 das ganze Dokument	21,22
P,Y	WO 2004/016709 A (NEOVIEWKOLON CO., LTD; KIM, JUNG-SOO) 26. Februar 2004 (2004-02-26) das ganze Dokument	21,22

# INTERNATIONALES RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/013315

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2003096138 A1	22-05-2003	CA 2466143 A1 EP 1442094 A2 WO 03040256 A2	15-05-2003 04-08-2004 15-05-2003
WO 03001569 A	03-01-2003	WO 03001569 A2 US 2003020073 A1	03-01-2003 30-01-2003
WO 03072681 A	04-09-2003	JP 2003253257 A EP 1484381 A1 WO 03072681 A1 US 2004106006 A1	10-09-2003 08-12-2004 04-09-2003 03-06-2004
US 2004106006 A1	03-06-2004	JP 2003253257 A EP 1484381 A1 WO 03072681 A1	10-09-2003 08-12-2004 04-09-2003
US 2002028349 A1	07-03-2002	JP 2002141173 A	17-05-2002
WO 2004016709 A	26-02-2004	AU 2003253451 A1 WO 2004016709 A1	03-03-2004 26-02-2004