



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 012 794 B3** 2008.06.19

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 012 794.6**
(22) Anmeldetag: **16.03.2007**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **19.06.2008**

(51) Int Cl.⁸: **C07D 471/04** (2006.01)
C07F 11/00 (2006.01)
C09K 11/06 (2006.01)
H01L 51/54 (2006.01)
H01L 33/00 (2006.01)
C07D 215/24 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
Novald AG, 01307 Dresden, DE

(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT, 28209 Bremen

(72) Erfinder:
**Lux, Andrea, 01277 Dresden, DE; Saalbeck, Josef,
34260 Kaufungen, DE; Kussler, Manfred, 79774
Albbruck, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
WO 05/0 86 251 A2
WO 03/0 88 271 A1
**C.W. Tang et al., Appl. Phys. Lett. 1987, 51(12),
913-5;**

(54) Bezeichnung: **Pyrido[3,2-h]chinazoline und/oder deren 5,6-Dihydroderivate, deren Herstellungsverfahren und diese enthaltendes dotiertes organisches Halbleitermaterial**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft Pyrido[3,2-h]chinazoline und/oder deren 5,6-Dihydroderivate, Verfahren zu deren Herstellung und dotierte organische Halbleitermaterialien, die solche Chinazoline verwenden.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Pyrido[3,2-h]chinazoline und/oder deren 5,6-Dihydroderivate, Verfahren zu deren Herstellung sowie dotierte organische Halbleitermaterialien, in denen diese Chinazoline eingesetzt werden.

[0002] Seit der Demonstration von organischen Leuchtdioden und Solarzellen 1989 [C.W. Tang et al., Appl. Phys. Lett. 51 (12), 913 (1987)] sind aus organischen Dünnschichten aufgebaute Bauelemente Gegenstand intensiver Forschung. Derartige Schichten besitzen vorteilhafte Eigenschaften für die genannten Anwendungen, wie z.B. effiziente Elektrolumineszenz für organische Leuchtdioden, hohe Absorptionskoeffizienten im Bereich des sichtbaren Lichtes für organische Solarzellen, preisgünstige Herstellung der Materialien und Fertigung der Bauelemente für einfachste elektronische Schaltungen, u.a. kommerzielle Bedeutung hat bereits der Einsatz organischer Leuchtdioden für Displayanwendungen.

[0003] Die Leistungsmerkmale (opto-)elektronischer mehrschichtiger Bauelemente werden unter anderem von der Fähigkeit der Schichten zum Transport der Ladungsträger bestimmt. Im Falle von Leuchtdioden hängen die ohmschen Verluste in den Ladungstransportschichten beim Betrieb mit der Leitfähigkeit zusammen, was einerseits direkten Einfluss auf die benötigte Betriebsspannung hat, andererseits aber auch die thermische Belastung des Bauelements bestimmt. Weiterhin kommt es in Abhängigkeit von der Ladungsträgerkonzentration der organischen Schichten zu einer Bandverbiegung in der Nähe eines Metallkontakts, die die Injektion von Ladungsträgern erleichtert und damit den Kontaktwiderstand verringern kann. Ähnliche Überlegungen führen auch für organische Solarzellen zu dem Schluss, dass deren Effizienz auch durch die Transporteigenschaften für Ladungsträger bestimmt wird.

[0004] Durch Dotierung von Löchertransportschichten mit einem geeigneten Akzeptormaterial (p-Dotierung) bzw. von Elektronentransportschichten mit einem Donatormaterial (n-Dotierung) kann die Ladungsträgerdichte in organischen Festkörpern (und damit die Leitfähigkeit) beträchtlich erhöht werden. Darüber hinaus sind in Analogie zur Erfahrung mit anorganischen Halbleitern Anwendungen zu erwarten, die gerade auf Verwendung von p- und n-dotierten Schichten in einem Bauelement beruhen und anders nicht denkbar waren. In US 5,093,698 A ist die Verwendung von dotierten Ladungsträgertransportschichten (p-Dotierung der Löchertransportschicht durch Beimischung von akzeptorartigen Molekülen, n-Dotierung der Elektronentransportschicht durch Beimischung von donatorartigen Molekülen) in organischen Leuchtdioden beschrieben.

[0005] Folgende Ansätze sind bisher für die Verbesserung der Leitfähigkeit von organischen aufgedampften Schichten bekannt:

1. Erhöhung der Ladungsträgerbeweglichkeit durch
 - a) Verwendung von Elektronentransportschichten bestehend aus organischen Radikalen (US 5,811,833 A),
 - b) Erzeugung hoch geordneter Schichten, die eine optimale Überlappung der π -Orbitale der Moleküle erlauben,
2. Erhöhung der Dichte der beweglichen Ladungsträger durch
 - a) Reinigung und schonende Behandlung der Materialien, um die Ausbildung von Ladungsträgerhaftstellen zu vermeiden,
 - b) Dotierung organischer Schichten mittels
 - aa) anorganischer Materialien (Alkalimetalle: J. Kido et al., US 6,013,384; J. Kido et al., Appl. Phys. Lett. 73, 2866 (1998), Oxidationsmittel wie Iod, SbCl_5 etc.)
 - bb) organischer Materialien (TNCQ: M. Maitrot et al., J. Appl. Phys., 60 (7), 2396-2400 (1986), F4TCNQ: M. Pfeiffer et al., Appl. Phys. Lett., 73 (22), 3202 (1998), BEDT-TTF: A. Nollau et al., J. Appl. Phys., 87 (9), 4340 (2000), Naphthalendicarbonsäureamide: M. Thomson et al., WO 03088271 A1 kationische Farbstoffe: A.G. Werner, Appl. Phys. Lett. 82, 4495 (2003))
 - cc) Organometallverbindungen (Metallozene: M. Thomson et al., WO 0308827 A1)
 - dd) Metallkomplexe ($\text{Ru}^0(\text{terpy})_3$: K. Harada et al., Phys. Rev. Lett. 94, 036601 (2005))

[0006] Während es für die p-Dotierung bereits ausreichend starke, organische Dotanden gibt (F4TCNQ), stehen für die n-Dotierung nur anorganische Materialien, z.B. Cäsium, zur Verfügung. Durch Einsatz dieser konnte auch bereits eine Verbesserung der Leistungsparameter von OLEDs erzielt werden. So erzielt man durch Dotierung der Löchertransportschicht mit dem Akzeptormaterial F4TCNQ eine drastische Reduzierung der Betriebsspannung der Leuchtdiode (X. Zhou et al., Appl. Phys. Lett., 78 (4), 410 (2001)). Ein ähnlicher Erfolg ist durch die Dotierung der elektronen-transportierenden Schicht mit Cs oder Li zu erzielen (J. Kido et al., Appl. Phys. Lett., 73 (20), 2866 (1998); J.-S. Huang et al, Appl. Phys. Lett., 80, 139 (2002)).

[0007] Ein großes Problem bei der n-Dotierung war lange Zeit, dass für diese nur anorganische Materialien zur Verfügung standen. Die Verwendung von anorganischen Materialien hat jedoch den Nachteil, dass die verwendeten Atome bzw. Moleküle aufgrund ihrer geringen Größe leicht im Bauelement diffundieren können und somit eine definierte Herstellung z.B. scharfer Übergänge von p- dotierten zu n-dotierten Gebieten erschweren.

[0008] Die Diffusion sollte demgegenüber bei Verwendung großer, Raum ausfüllender, organischer Moleküle als Dotanden eine untergeordnete Rolle spielen, da Platzwechselfvorgänge nur unter Überwindung höherer Energiebarrieren möglich sind.

[0009] Aus der WO 2005/086251 A2 ist die Verwendung eines Metallkomplexes als n-Dotand zur Dotierung eines organischen halbleitenden Matrixmaterials zur Veränderung der elektrischen Eigenschaften desselben bekannt, wobei die Verbindung bezüglich des Matrixmaterials einen n-Dotanden darstellt. Dabei wird vorgeschlagen, als Dotandenverbindung einen neutralen elektronenreichen Metallkomplex mit einem Zentralatom als vorzugsweise neutrales oder geladenes Übergangsmetallatom mit einer Valenzelektronenzahl von zumindest 16 einzusetzen.

[0010] Es ist seit vielen Jahren insbesondere bei organischen polymeren Halbleitermaterialien bekannt, daß ein wirksamer Elektronentransfer von einem Dotanden (beispielsweise Natrium) auf die organische Matrix (beispielsweise Polyacetylen) nur möglich ist, wenn die Differenz zwischen HOMO-Energieniveau (= Ionisationspotential) des Dotanden und dem LUMO-Energieniveau (= Elektronenaffinität) der Matrix möglichst gering ist.

[0011] Zur Bestimmung des Ionisationspotentials ist Ultraviolett-Photoelektronenspektroskopie (UPS) die bevorzugte Methode (z.B. R. Schlaf et al., J. Phys. Chem. B 103, 2984 (1999)). Eine verwandte Methode, inverse Photoelektronenspektroskopie (IPES), wird zur Bestimmung von Elektronenaffinitäten herangezogen (z.B. W. Gao et al, Appl. Phys. Lett. 82, 4815 (2003), ist jedoch weniger etabliert. Alternativ können die Festkörperpotentiale durch elektrochemische Messungen von Oxidationspotentialen E_{ox} bzw. Reduktionspotentialen E_{red} in der Lösung, z.B. durch Cyclovoltammetrie (engl. Cyclic Voltammetry, CV), abgeschätzt werden (z.B. J.D. Anderson, J. Amer. Chem. Soc. 120, 9646 (1998)). Mehrere Arbeiten geben empirische Formeln zur Umrechnung der elektrochemischen Spannungsskala (Oxidationspotentiale) in die physikalische (absolute) Energieskala (Ionisationspotentiale) an, z.B. B.W. Andrade et al., Org. Electron. 6, 11 (2005); T.B. Tang, J. Appl. Phys. 59, 5 (1986); V.D. Parker, J. Amer. Chem. Soc. 96, 5656 (1974); L.L. Miller, J. Org. Chem. 37, 916 (1972), Y. Fu et al., J. Amer. Chem. Soc. 127, 7227 (2005). Zwischen Reduktionspotential und Elektronenaffinität ist keine Korrelation bekannt, da sich Elektronenaffinitäten nur schwer messen lassen. Deshalb werden vereinfacht die elektrochemische und die physikalische Energieskala über $IP = 4.8 \text{ eV} + e \cdot E_{ox}$ (vs. Ferrocen/Ferrocenium) bzw. $EA = 4.8 \text{ eV} + e \cdot E_{red}$ (vs. Ferrocen/Ferrocenium) ineinander umgerechnet, wie in B.W. Andrade, Org. Electron. 6, 11 (2005) (siehe dort auch Ref. 25-28) beschrieben. Die Umrechnung von verschiedenen Standardpotentialen bzw. Redoxpaaren wird beispielsweise in A.J. Bard, L.R. Faulkner, „Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications“, Wiley, 2. Auflage 2000 beschrieben.

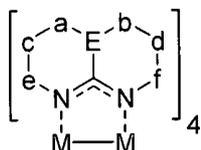
[0012] Aus der obigen Darstellung ergibt sich somit, daß die genaue Ermittlung sämtlicher Energiewerte gegenwärtig nicht möglich ist und die dargestellten Werte lediglich als Richtgrößen aufgefaßt werden können.

[0013] Beim n-Dotieren fungiert der Dotand als Elektronendonator und überträgt Elektronen auf eine Matrix, welche sich durch eine genügend hohe Elektronenaffinität auszeichnet. Das heißt die Matrix wird reduziert. Durch den Transfer von Elektronen vom n-Dotanden auf die Matrix wird die Ladungsträgerdichte der Schicht erhöht. Inwieweit ein n-Dotand in der Lage ist, Elektronen an eine geeignete, elektronenaffine Matrix abzugeben und dadurch die Ladungsträgerdichte und damit einhergehend die elektrische Leitfähigkeit zu erhöhen, hängt wiederum von der relativen Lage des HOMOs des n-Dotanden und des LUMOs der Matrix relativ zueinander ab. Wenn das HOMO des n-Dotanden über dem LUMO der elektronenaffinen Matrix liegt, kann ein Elektronentransfer stattfinden. Wenn das HOMO des n-Dotanden unter dem LUMO der elektronenaffinen Matrix liegt, kann ebenfalls ein Elektronentransfer stattfinden, vorausgesetzt, dass die Energiedifferenz zwischen den beiden Orbitalen ausreichend niedrig ist, um eine gewisse thermische Population des höheren Energieorbitals zu ermöglichen. Je kleiner diese Energiedifferenz ist, desto höher sollte die Leitfähigkeit der resultierenden Schicht sein. Die höchste Leitfähigkeit ist jedoch zu erwarten für den Fall, dass das HOMO-Niveau des n-Dotanden über dem LUMO-Niveau der elektronenaffinen Matrix liegt. Die Leitfähigkeit ist praktisch messbar und ein Maß dafür, wie gut der Elektronenübertrag vom Donor auf den Akzeptor funktioniert, vorausgesetzt, dass die Ladungsträgermobilitäten verschiedener Matrizen vergleichbar sind.

[0014] Die Leitfähigkeit einer Dünnschichtprobe wird mit der 2-Punkt-Methode gemessen. Dabei werden auf ein Substrat Kontakte aus einem leitfähigen Material aufgebracht, z.B. Gold oder Indium-Zinn-Oxid. Danach

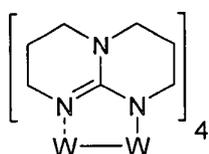
wird die zu untersuchende Dünnschicht großflächig auf das Substrat aufgebracht, so dass die Kontakte von der Dünnschicht überdeckt werden. Nach Anlegen einer Spannung an die Kontakte wird der dann fließende Strom gemessen. Aus der Geometrie der Kontakte und der Schichtdicke der Probe ergibt sich aus dem so bestimmten Widerstand die Leitfähigkeit des Dünnschichtmaterials. Die 2-Punkt-Methode ist zulässig, wenn der Widerstand der Dünnschicht wesentlich größer ist als der Widerstand der Zuleitungen oder der Kontaktwiderstand. Experimentell wird dies dadurch einen genügend hohen Kontaktabstand gewährleistet, und dadurch kann die Linearität der Strom-Spannungs-Kennlinie überprüft werden.

[0015] Untersuchungen der Erfinder haben gezeigt, daß Metallkomplexdotanden der Struktur I



Struktur I

vorteilhaft als Dotanden für ein organisches Matrixmaterial eingesetzt werden können, da ein solcher Dotand das oben beschriebene Diffusionsproblem löst. Aus diesem Grunde wurde ein Dotand mit der Struktur Ia



Struktur Ia = W(hpp)₄

als Dotand für herkömmliche Elektronentransportmaterialien, wie Alq₃ (Tris(8-hydroxyquinolinato)-aluminium) oder BPhen (4,7-Diphenyl-1,10-phenanthrolin), getestet.

[0016] Das Gasphasenionisationspotential des Dotanden mit der Struktur Ia beträgt 3,6 eV. Das entsprechende Ionisationspotential des Festkörpers kann nach Y. Fu et al. (J. Am. Chem. Soc. 2005, 127, 7227-7234) abgeschätzt werden und beträgt etwa 2,5 eV.

[0017] Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: CV-Daten, empirisch ermittelte LUMO-Energien und gemessene Leitfähigkeiten verschiedener Elektronentransportmaterialien (BALq₂ = Bis(2-methyl-8-quinolinato)-4-(phenylphenolato)aluminium-(III), BPhen = Bathophenanthrolin, Alq₃: (Tris(8-hydroxyquinoline)-)aluminium

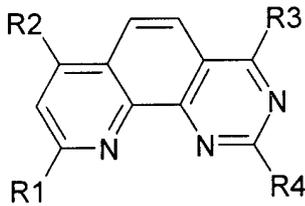
Matrixmaterial	LUMO in eV (ermittelt über CV mit Fc/Fc ⁺ als internen Standard)	σ·(Leitfähigkeit) in S/cm undotiert	σ·(Leitfähigkeit) in S/cm bei einer Dotierkonzentration von 5 mol%
Alq ₃	2,4	< 1E-10	9,2E-8
BPhen	2,42	< 1E-10	4E-9
BAlq ₂	2,39	< 1E-10	8e-8

[0018] Wie aus der Tabelle 1 entnommen werden kann, sind die erzielten Leitfähigkeiten mit den bekannten Matrixmaterialien noch unzureichend und sehr gering.

[0019] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, verbesserte Matrixmaterialien für dotierte organische Halbleitermaterialien bereitzustellen, die die Nachteile des Stands der Technik überwinden. Insbesondere sollen die Leitfähigkeiten unter Einsatz der Matrixmaterialien verbessert werden. Auch soll ein Halbleitermaterial zur Verfügung gestellt werden, das eine erhöhte Ladungsträgerdichte und effektive Ladungsträgerbeweglichkeit sowie eine verbesserte Leitfähigkeit aufweist. Das Halbleitermaterial soll eine hohe thermische Stabilität zeigen, die sich beispielsweise aus höheren Glasübergangspunkten, höheren Sublimationstemperaturen und höheren Zersetzungstemperaturen ergibt.

[0020] Schließlich ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein Herstellungsverfahren für die Matrixmaterialien bereitzustellen.

[0021] Die Aufgabe der Erfindung wird gelöst durch Pyrido[3,2-h]chinazoline der folgenden Struktur 8:



Struktur 8

und/oder deren 5,6-Dihydroderivate

wobei:

R¹ und R², substituiert oder unsubstituiert, Aryl, Heteroaryl, Alkyl der Formel CHR₂ mit R=Alkyl, mit C₁-C₂₀ oder Alkyl der Formel CR₃ mit R=Alkyl, mit C₁-C₂₀ ist;

R³ ausgewählt ist aus H, substituiert oder unsubstituiert, Alkyl mit C₁-C₂₀, Aryl und Heteroaryl;

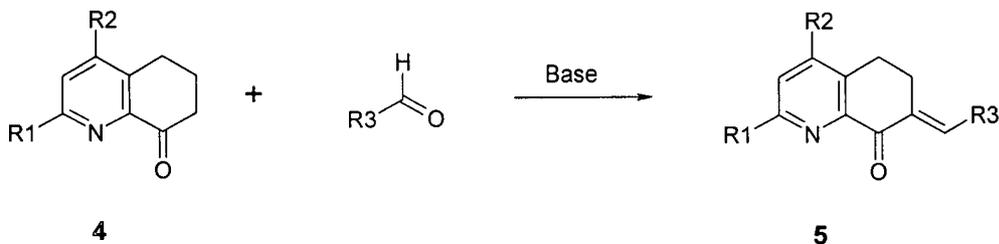
R⁴ ausgewählt ist aus H, substituiert oder unsubstituiert, Alkyl mit C₁-C₂₀, Aryl, Heteroaryl, NH₂, NHR mit R=Alkyl mit C₁-C₂₀, NR₂ mit R=Alkyl mit C₁-C₂₀, N-Alkylaryl, N-Aryl₂, Carbazolyl, Dibenzazepinyl und CN;

[0022] In den Pyrido[3,2-h]chinazolinen der Struktur 8 sollen R¹ und R² vorzugsweise nicht H, CN, Halogen, NH₂, NO, NO₂, OH, SH, OR, SR, COOR, CHO sowie Alkyl der Formel CH₃ und CH₂R mit R=Alkyl mit C₁-C₂₀ sein.

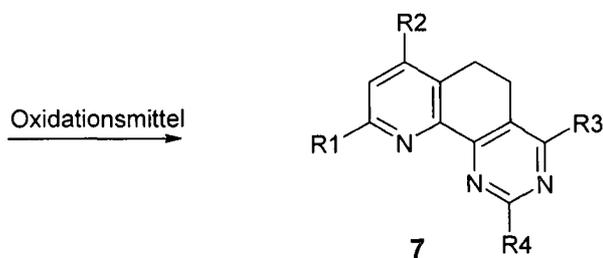
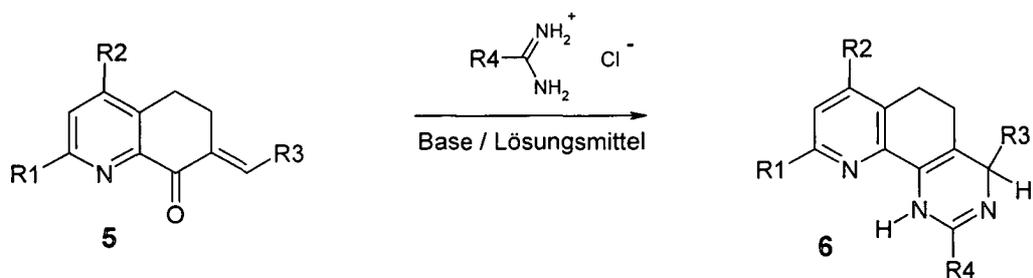
[0023] Diese Pyrido[3,2-h]chinazoline und/oder deren 5,6-Dihydroderivate können als Matrixmaterialien in dotierten organischen Halbleitermaterialien eingesetzt werden und führen dann zu verbesserten Leitfähigkeitsergebnissen.

[0024] Die Pyrido[3,2-h]chinazoline und/oder deren 5,6-Dihydroderivate können gemäß einem Verfahren hergestellt werden, das die folgenden Schritte umfaßt:

(i) Umsetzung eines 2,4-disubstituierten Chinolinons der Struktur 4 mit einem Aldehyd in Gegenwart einer Base zur Darstellung eines Benzylidenhydrochinolinons 5 gemäß dem folgenden Reaktionsschema:



(ii) Umsetzung des Benzylidenhydrochinolinons 5 mit Benzamidiniumhydrochlorid unter basischen Bedingungen zur Darstellung eines 1,4,5,6-Tetrahydro-pyrido[3,2-h]chinazolins 6 und anschließender Oxidation zur Darstellung eines 5,6-Dihydro-pyrido[3,2-h]chinazolins 7 gemäß dem folgenden Reaktionsschema:



(iii) optional Aromatisierung des 5,6-Dihydro-pyrido[3,2-h]chinazolin 7 zum Pyrido[3,2-h]chinazolins 8 gemäß dem folgenden Reaktionsschema:



wobei R^1 , R^2 , R^3 und R^4 wie oben in Anspruch 1 definiert sind.

[0025] Dabei ist es bevorzugt, daß als Base Kaliumhydroxid und/oder Kalium-tert-butylat verwendet wird.

[0026] Auch ist bevorzugt vorgesehen, daß zur Oxidation des 1,4,5,6-Tetrahydro-pyrido[3,2-h]chinazolins 6 Chloranil eingesetzt wird.

[0027] Ebenfalls wird bevorzugt vorgeschlagen, daß die Aromatisierung durch Pd-katalysierte Dehydrierung mittels Pd/C erfolgt.

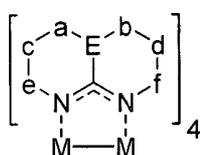
[0028] Erfindungsgemäß ist auch ein dotiertes organisches Halbleitermaterial umfassend mindestens ein organisches Matrixmaterial, das mit mindestens einem Dotanden dotiert ist, wobei das Matrixmaterial ein Pyrido[3,2-h]chinazolin und/oder 5,6-Dihydroderivat desselben ist.

[0029] Dabei ist bevorzugt, daß das Matrixmaterial reversibel reduzierbar ist.

[0030] Alternativ wird vorgeschlagen, daß das Matrixmaterial bei einer Reduktion durch den Dotanden in stabile, redox-inaktive Bestandteile zerfällt.

[0031] Der Dotand kann ein Metallkomplex sein.

[0032] Bevorzugt weist der Metallkomplex eine Struktur I auf, die in der Patentanmeldung DE 10 2004 010 954 A1 entsprechend WO 0508625 A2 offenbart ist:

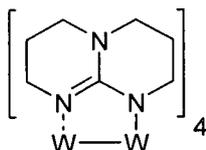


Struktur I

wobei M ein Übergangsmetall ist, vorzugsweise Mo oder W; und wobei

- die Strukturelemente a-f die Bedeutung: a = $-\text{CR}_9\text{R}_{10}^-$, b = $-\text{CR}_{11}\text{R}_{12}^-$, c = $-\text{CR}_{13}\text{R}_{14}^-$, d = $-\text{CR}_{15}\text{R}_{16}^-$, e = $-\text{CR}_{17}\text{R}_{18}^-$ und f = $-\text{CR}_{19}\text{R}_{20}^-$ aufweisen können, wobei $\text{R}_9\text{-R}_{20}$ unabhängig Wasserstoff, Alkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Cycloalkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkenyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkynyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Aryl, Heteroaryl, -NRR oder -OR sind, wobei R = Alkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Cycloalkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkenyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkynyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Aryl oder Heteroaryl ist, wobei vorzugsweise $\text{R}_9, \text{R}_{11}, \text{R}_{13}, \text{R}_{15}, \text{R}_{17}, \text{R}_{19} = \text{H}$ und $\text{R}_{10}, \text{R}_{12}, \text{R}_{14}, \text{R}_{16}, \text{R}_{18}, \text{R}_{20} = \text{Alkyl mit } \text{C}_1\text{-C}_{20}, \text{Cycloalkyl mit } \text{C}_1\text{-C}_{20}, \text{Alkenyl mit } \text{C}_1\text{-C}_{20}, \text{Alkynyl mit } \text{C}_1\text{-C}_{20}, \text{Aryl, Heteroaryl, -NRR oder -OR ist, oder}$
- bei den Strukturelementen c und/oder d C durch Si ersetzt sein kann, oder
- wahlweise a oder b oder e oder f NR ist, mit R = Alkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Cycloalkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkenyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkynyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Aryl, Heteroaryl, oder
- wahlweise a und f oder b und e NR sind, mit R = Alkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Cycloalkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkenyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkynyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Aryl, Heteroaryl,
- wobei die Bindungen a-c, b-d, c-e und d-f, aber nicht gleichzeitig a-c und c-e und nicht gleichzeitig b-d und d-f, ungesättigt sein können,
- wobei die Bindungen a-c, b-d, c-e und d-f Teil eines gesättigten oder ungesättigten Ringsystems sein können, welches auch die Heteroelemente O, S, Se, N, P, Ge, Sn enthalten kann, oder
- die Bindungen a-c, b-d, c-e und d-f Teil eines aromatischen oder kondensierten aromatischen Ringsystems sind, welches auch die Heteroelemente O, S, Si, N enthalten kann,
- wobei das Atom E ein Hauptgruppenelement ist, bevorzugt ausgewählt aus der Gruppe C, N, P, As, Sb
- wobei das Strukturelement a-e-b wahlweise Bestandteil eines gesättigten oder ungesättigten Ringsystems ist, welches auch die Heteroelemente O, S, Se, N, P, Si, Ge, Sn enthalten kann, oder
- das Strukturelement a-E-b wahlweise Bestandteil eines aromatischen Ringsystems ist, welches auch die Heteroelemente O, S, Se, N enthalten kann.

[0033] Besonders bevorzugt ist, daß der Dotand die folgende Struktur Ia aufweist:



Struktur Ia = $\text{W}(\text{hpp})_4$

[0034] Bevorzugt ist alternativ auch, daß der Dotand eine organische Verbindung mit ausreichend hohem Oxidationspotential (HOMO) ist.

[0035] Bevorzugt ist alternativ auch, daß der Dotand ein Alkali- und/oder Erdalkalimetall ist, vorzugsweise Cäsium.

[0036] Auch wird vorgeschlagen, daß das erfindungsgemäße organische Halbleitermaterial ein Energieniveau für das unterste unbesetzte Molekülorbital (LUMO) aufweist, welches sich um 0 bis 0,5V gegenüber dem Ionisationspotential (HOMO) des Dotanden, bevorzugt um 0 bis 0,3V, besonders bevorzugt um 0 bis 0,15V, unterscheidet.

[0037] Eine Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, daß das Matrixmaterial ein LUMO-Energieniveau aufweist, welches tiefer liegt als das HOMO des Dotanden. „Tiefer“ bedeutet in diesem Fall, dass das LUMO-Energieniveau einen kleineren Zahlenwert aufweist als das HOMO-Energieniveau. Da beide Größen negativ vom Vakuumniveau aus angegeben werden, bedeutet dies, dass der absolute Betrag des HOMO-Energiewertes kleiner ist als der absolute Betrag des LUMO-Energiewertes.

[0038] Bevorzugt ist auch, daß die Konzentration des Dotanden 0,5 bis 25 Masseprozent, bevorzugt 1 bis 15 Masseprozent, besonders bevorzugt 2,5 bis 5 Masseprozent beträgt.

[0039] Erfindungsgemäß ist auch eine organische Leuchtdiode, welche ein erfindungsgemäßes Halbleitermaterial umfaßt, sowie Benzylidenhydrochinolinone der Struktur 5.

[0040] Überraschenderweise wurde festgestellt, daß Pyrido[3,2-h]chinazoline und/oder deren 5,6-Dihydroderivate als redoxdotierbare Matrixmaterialien eingesetzt werden können, die mit Metallkomplexdotanden dotiert werden können, insbesondere mit denen der Struktur I.

[0041] Bei Einsatz solcher dotierten Schichten die Leistungseffizienz einer erfindungsgemäßen OLED erhöht.

[0042] Die erfindungsgemäß für das Halbleitermaterial eingesetzten Matrixmaterialien zeigen ferner eine gegenüber dem Stand der Technik verbesserte thermische Stabilität, die insbesondere auf erhöhte Glasübergangstemperaturen, und erhöhte Sublimations- und Zersetzungstemperaturen zurückzuführen ist.

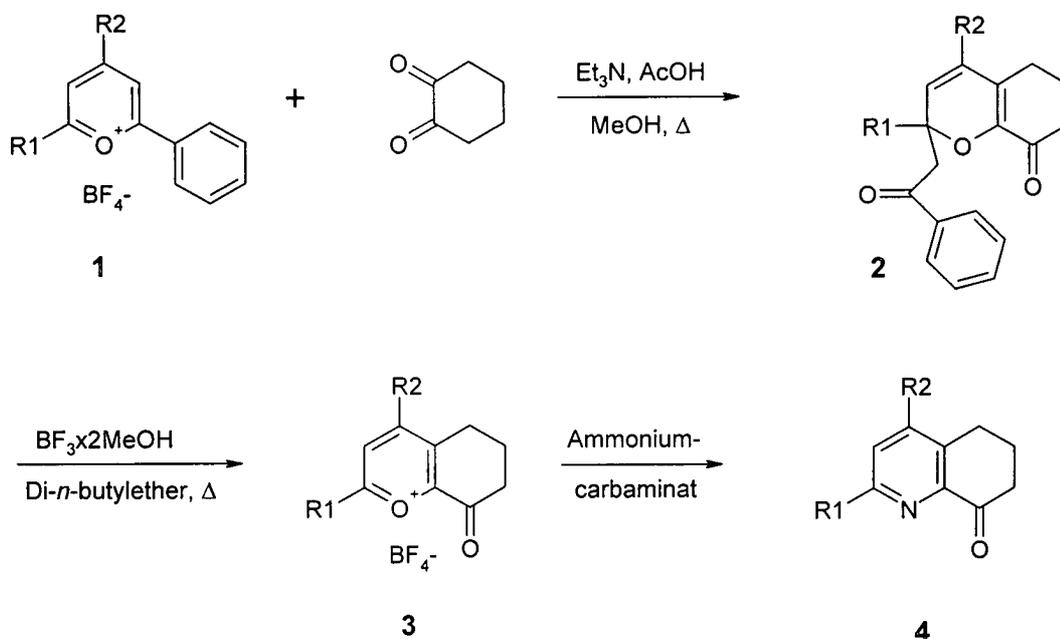
[0043] Bevorzugt ist, dass die Glasübergangstemperatur T_g des Matrixmaterials höher ist als diejenige von 4,7-Diphenyl-1,10-phenanthrolin ($T_g = 63^\circ\text{C}$).

[0044] Bevorzugt weist das Matrixmaterial eine Verdampfungstemperatur von mindestens 200°C auf.

[0045] Bevorzugt weist das Matrixmaterial eine Zersetzungstemperatur von mindestens 300°C auf.

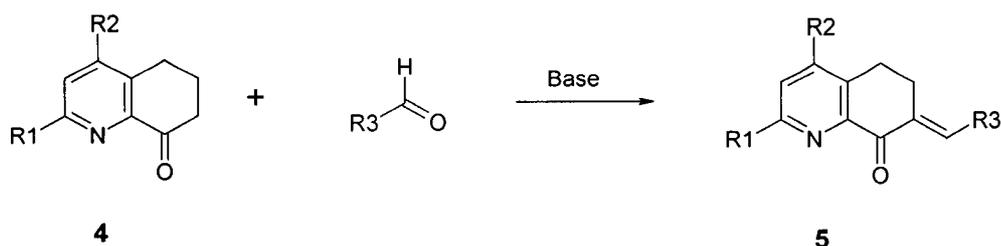
[0046] 4,6,7-Triazaphenanthrene, oder systematisch: Pyrido[3,2-h]chinazoline, wie voran stehend beschrieben, sind aus der Literatur bisher nicht bekannt.

[0047] 2,4-Disubstituierte Chinolinone der Struktur 4 lassen sich in einer Dreistufensynthese, ausgehend von 2,4,6-Triphenylpyryliumsalzen 1 und Cyclohexandion, über die Stufe der 8-Oxo-1-benzopyryliumsalze 3 gewinnen (s. Schema 1). 8-Oxo-1-benzopyryliumperchlorat wurde bereits von Zimmermann et al. beschrieben (T. Zimmermann, G.W. Fischer, B. Olk, M. Findeisen: J. Prakt. Chem. 331, 306-318 [1989]). Da die Verwendung von Perchloraten in größerem Maßstab aus Sicherheitsgründen problematisch ist, wurde in der vorliegenden Erfindung die Synthese über das Tetrafluoroborat 3 neu entwickelt.



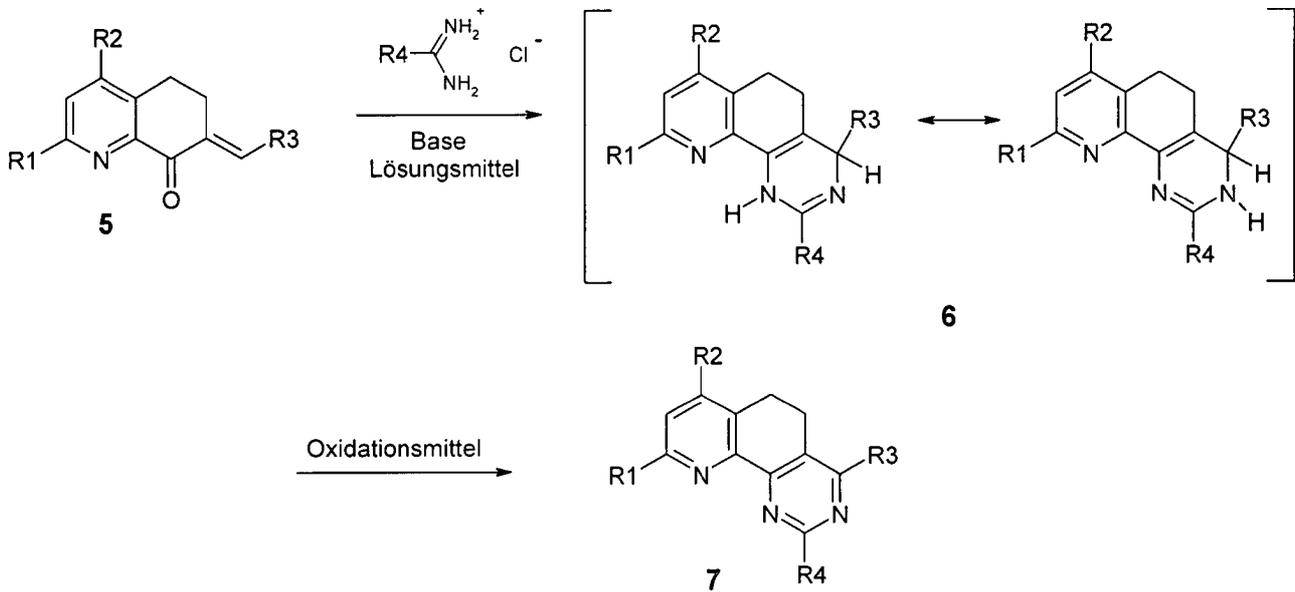
Schema 1

[0048] 2,4-disubstituierte Chinolinone der Struktur 4 haben sich dabei als besonders wertvolle Synthesebausteine für den Aufbau von N-Heterozyklen erwiesen. Es ist bekannt, dass die Kondensation von Chinolinonen und Aldehyden zur Bildung von Benzylidenderivaten herangezogen werden kann. Die Anwendung dieser Reaktion auf die 2,4-disubstituierten Chinolinone nach Schema 2 führt zu neuen Benzylidenhydrochinolinonen 5.

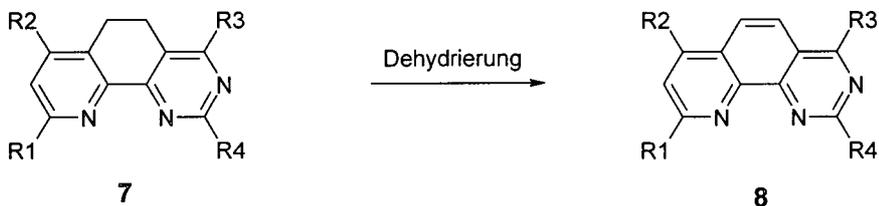


Schema 2

[0049] Es hat sich gezeigt, dass diese Substanzklasse die Schlüsselverbindung zur Darstellung von neuartigen Pyrido[3,2-h]chinazolinen 8 darstellt, welche Hauptgegenstand der vorliegenden Erfindung sind. Es wurde überraschend gefunden, dass die Umsetzung der genannten Benzylidendi-hydrochinolinone 5 mit Benzamidi-niumhydrochlorid unter basischen Bedingungen zur Bildung von Zwischenverbindungen 6 führt, welche anschließend durch Oxidation, bspw. mit Chloranil, in neuartige 5,6-Dihydro-pyrido[3,2-h]chinazoline 7 nach Schema 3 übergeführt werden können.



[0050] Die anschließende Aromatisierung zu neuen Pyrido[3,2-h]chinazolinen 8 kann bspw. durch Pd-katalysierte Dehydrierung der Dihydroverbindungen 7 nach Schema 4 erfolgen.

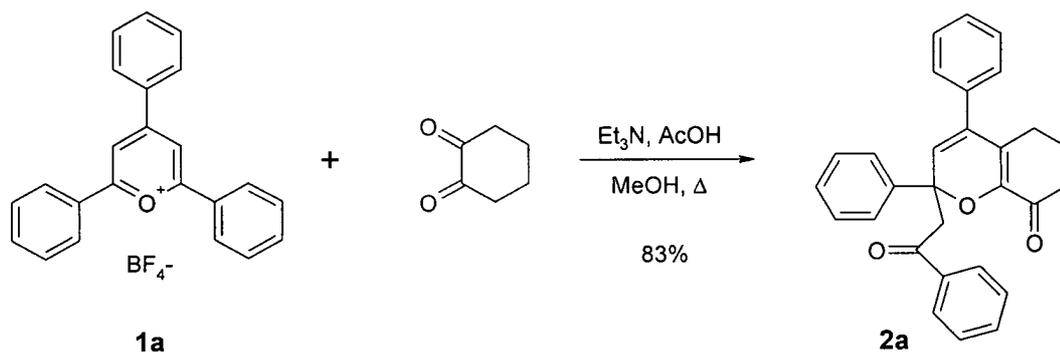


[0051] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele.

Beispiel 1

[0052] Es wird die vollständige Synthese eines Derivates 8a der neuen Substanzklasse der 2,4,7,9-tetrasubstituierten Pyrido-[3,2-h]-chinazoline 8 im Folgenden beschrieben.

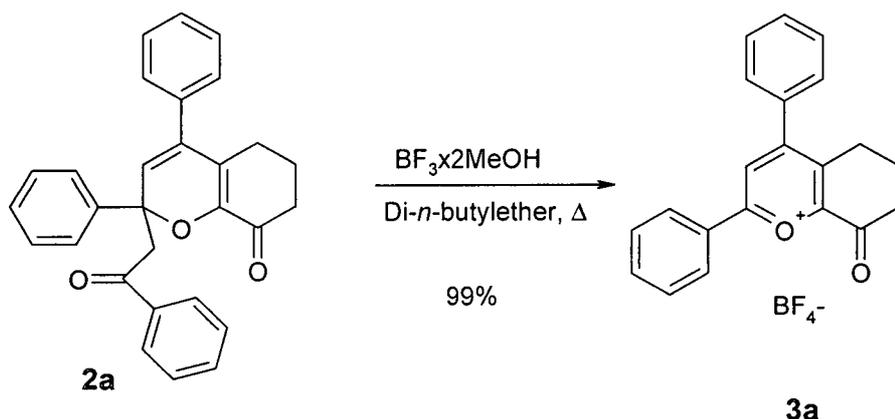
Stufe 1: Synthese von 5,6-Dihydro-2-phenacyl-2,4-diphenyl-2H,7H-1-benzopyran-8-on 2a



Lit.: T. Zimmermann, G.W. Fischer, B. Olk, M. Findeisen: J. prakt. Chem. 331, 306-318 [1989]

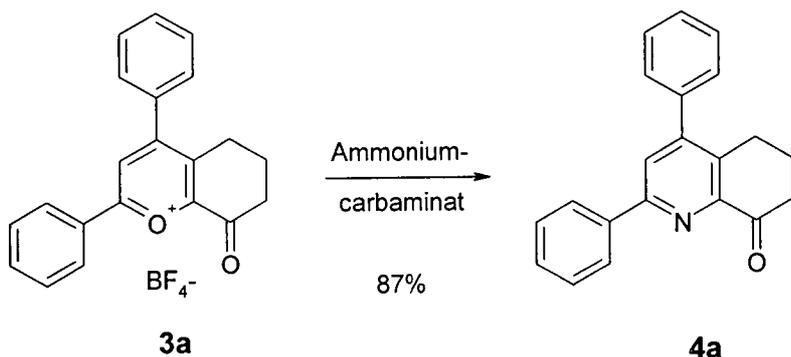
[0053] Eine Suspension von 13,51g 2,4,6-Triphenylpyryliumtetrafluoroborat (34,1mmol) und 4,78g Cyclohexan-1,2-dion (42,6mmol) wird in Methanol zum Sieden erhitzt, dann wird eine Lösung von 4,56g Essigsäure (75,9mmol) und 7,68g Triethylamin (75,9 mmol) in wenig Methanol hinzugegeben. Nach 7 h Erhitzen unter Rückfluss lässt man auf Raumtemperatur abkühlen. Der hellgelbe Niederschlag wird abgesaugt, portionsweise mit 100 ml eisgekühltem Methanol gewaschen und zur Gewichtskonstanz getrocknet. Man erhält 11,37 g eines hellgelben Pulvers (79,3%) mit einem Schmelzpunkt von 178-179°C (Lit.: 182-184°C).

Stufe 2: Synthese von 5,6,7,8-Tetrahydro-8-oxo-2,4-diphenyl-1-benzopyryliumtetrafluoroborat 3a



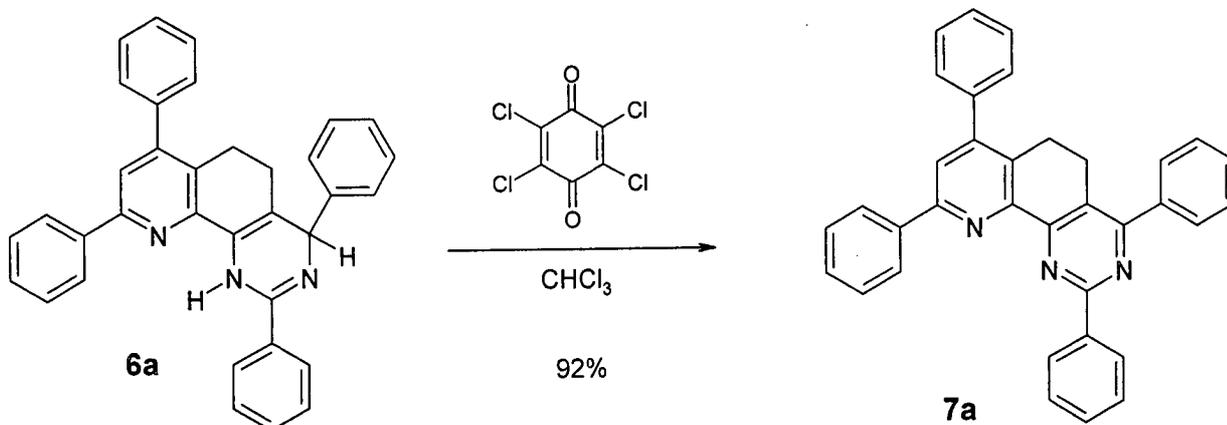
[0054] Die Suspension von 32,7g 5,6-Dihydro-2-phenacyl-2,4-diphenyl-2H, 7H-1-benzopyran-8-on (77,8mmol) in 500ml Di-*n*-butylether wird mit 25ml BF_3 -Dimethanol-Komplex (50% BF_3) versetzt, wobei sich die Suspension orange färbt. Die Suspension wird 2 h bei Raumtemperatur nachgerührt und anschließend zum Sieden erhitzt, anschließend 2 h unter Rückfluss gekocht. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur wird der Niederschlag über eine Nutsche mit Papierfilter abgesaugt, mit Diethylether gewaschen. Nach Trocknen im Hochvakuum erhält man 29,9g (99%) terracottafarbenes Pulver mit einem Schmelzpunkt von 213-214°C (Zersetzung). IR: Die CO-Valenz-Schwingungsbande erscheint bei 1718 cm^{-1} .

Stufe 3: Synthese von 6,7-Dihydro-2,4-diphenylchinolin-8(5H)-on 4a



breiterte NH-Bande bei 3385 cm^{-1} sowie in geringer Intensität eine Bande bei 1687 cm^{-1} die einer isolierten C=N Bande zuzuordnen ist. Die etwas intensivere Bande bei 1630 cm^{-1} ist auf den Dihydrochinolinring zurückzuführen. $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, CD_2Cl_2): $\delta = 8,46$ (s, br, NH), $8,12$ - $8,04$ (m, 2H, o-H von 9-Phenyl), $7,95$ - $7,88$ (m, 2H, o-H von 2-Phenyl), $7,60$ (s, 1H, H_8), $7,56$ - $7,22$ (m, 16H, arom. H), $5,40$ (s, 1H, H_4), $2,99$ - $2,80$ (m, 2H), $2,30$ - $2,18$ (m, 1H), $2,18$ - $2,06$ (m, 1H).

Stufe 6: Synthese von 5,6-Dihydro-2,4,7,9-tetraphenyl-pyrido[3,2-h]chinazolin 7a

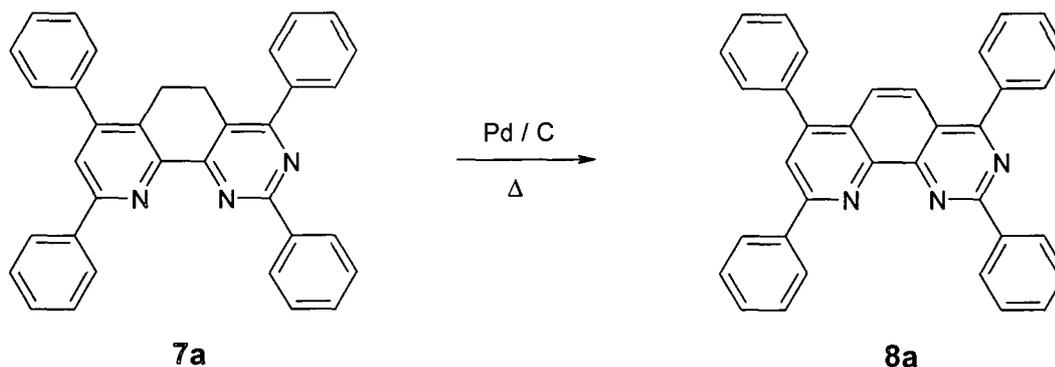


[0058] Es werden 3,43g 2,4,7,9-Tetraphenyl-1,4,5,6-tetrahydropyrido[3,2-h]chinazolin (7mmol) in 50ml Chloroform gelöst; dann werden in einer Portion 1,97g Chloranil (8mmol) hinzugefügt. Die resultierende bräunliche Suspension wird bei Raumtemperatur weitergerührt. Bereits nach 30 min zeigt die DC-Kontrolle der überstehenden Lösung (Aluminiumoxid; Laufmittel: Methylchlorid), dass der Fleck des Edukts weitgehend verschwunden ist. Die Suspension wird weitere 2h bei Raumtemperatur nachgerührt und abgesaugt und luftgetrocknet. Das cremefarbene Pulver (1,35g) wird portionsweise mit 50ml Chloroform gewaschen. Die Chloroformlösung wird mit 100ml 6%iger Kaliumcarbonatlösung versetzt und kräftig durchgerührt. Die wässrige Phase wird im Scheidetrichter abgetrennt, zweimal mit jeweils 25 ml Chloroform ausgeschüttelt und verworfen. Die vereinigten Chloroformphasen werden mit destilliertem Wasser gewaschen und nach Abtrennen der wässrigen Phase über wasserfreiem Kaliumcarbonat getrocknet. Die getrocknete hellgelbe Chloroformlösung wird über ein Faltenfilter filtriert und mit 50 ml Cyclohexan versetzt. Das Chloroform wird am Rotavapor unter vermindertem Druck weitgehend abdestilliert. Das erhaltene cremefarbene, mikrokristalline Pulver wird abgesaugt, mit Cyclohexan gewaschen und im Hochvakuum getrocknet: man erhält 3,10 g elfenbeinfarbenes, mikrokristallines Produkt (91%) mit einem Schmelzpunkt von 298 - 299°C . Die TGA zeigt den Schmelzpeak bei 299°C . Nach Abkühlen der Probe zeigt die 2.

[0059] Aufheizung eine T_g bei 103°C . Im IR-Spektrum sind die NH-Bande bei 3385 cm^{-1} sowie die C=N-Banden bei 1687 cm^{-1} und 1630 cm^{-1} des Edukts verschwunden, stattdessen ist in geringer Intensität bei 1591 cm^{-1} resp. 1581 cm^{-1} eine neue aufgespaltene Bande zu beobachten. $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, CDCl_3): $\delta = 8,78$ (d, 2H, o-H von 2-Phenyl), $8,31$ (d, 2H, o-H von 9-Phenyl), $7,83$ (s, 1H, H_8), $7,78$ - $7,73$ (m, 2H, o-H von 4-Phenyl), $7,64$ - $7,36$ (m, 14H, arom. H), $3,08$ (dd, 2H), $2,95$ (dd, 2H).

[0060] 5,6-Dihydro-2,4,7,9-tetraphenyl-pyrido[3,2-h]chinazolin 7a besitzt in THF das Reduktionshalbstufenpotential $E_{1/2}^{\text{red}} = -2.27\text{ V}$ ($\Delta E_p^{\text{red}} = 70\text{ mV}$) vs. Fc/Fc^+ . Die Reduktion ist reversibel. Ein Oxidationspotential ist innerhalb des in THF zur Verfügung stehenden Fensters nicht messbar.

Stufe 7 Synthese von 2,4,7,9-Tetraphenyl-pyrido[3,2-h]chinazolin 8a



[0061] Es werden 940mg 5,6-Dihydro-2,4,7,9-tetraphenyl-pyrido[3,2-h]chinazolin (1,93mmol) in 50ml Diethylenglykol suspendiert und durch Erwärmen in Lösung gebracht, dann werden 200mg Pd/C (5%) portionsweise hinzugefügt. Die Suspension wird zum Sieden erhitzt, 10 h unter Rückfluss erhitzt und anschließend an der Luft auf Raumtemperatur abgekühlt. Nach DC Kontrolle werden 50 ml destilliertes Wasser hinzugefügt. Die Suspension wird 30 min bei Raumtemperatur nachgerührt, filtriert und der Filterkuchen portionsweise mit destilliertem Wasser gewaschen und scharf trockengesaugt. Der mit weißen Kristallen durchsetzte schwarze Rückstand wird auf der Glasfritte portionsweise mit 400 ml Chloroform gewaschen. Das bräunlich-gelbe Filtrat wird über wasserfreiem Natriumsulfat getrocknet, filtriert und bis zur Trockene eingedampft. Der cremefarbene Rückstand wird in 50 ml Chloroform unter leichtem Erwärmen gelöst und in 100 ml Cyclohexan filtriert. Die hellgelbe Lösung wird auf das halbe Volumen eingeeengt, wobei sich ein elfenbeinfarbener, watteähnlicher Niederschlag abscheidet. Dieser wird abgesaugt, mit wenig Cyclohexan sowie Diethylether gewaschen und im Hochvakuum getrocknet: man erhält 0,82g (87,5%) eines mikrokristallinen, weißen Pulvers mit sehr scharfem Schmelzpunkt bei 327°C. Eine Glasübergangstemperatur T_g ist zunächst nicht messbar. Die kontrolliert aufgenommene Abkühlkurve (10 K/min) nach der 2. Aufheizung zeigt Rekristallisation bei 272 °C. Nach schnellem Abkühlen wird in der DSC eine T_g von 103°C gemessen. Das $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum enthält nur die Signale von 5,6-Dihydro-2,4,7,9-tetraphenyl-pyrido[3,2-h]chinazolin. Die Signale der Methylenprotonen des Eduktes bei 3.07 (dd, 2H) und 2.95 (dd, 2H) sind verschwunden.

[0062] Tetraphenyl-pyrido[3,2-h]chinazolin 8a besitzt in MeCN das Reduktionshalbstufenpotential $E_{1/2}^{1,\text{red}} = -2.06 \text{ V}$ ($\Delta E_p^{1,\text{red}} = 70 \text{ mV}$) vs. Fc/Fc^+ . Die Reduktion ist reversibel. Ein Oxidationspotential ist innerhalb des in MeCN zur Verfügung stehenden Fensters nicht messbar.

[0063] Eine Zersetzungstemperatur von 8a (DSC) unter Stickstoff konnte bis 500°C nicht festgestellt werden. Somit ist die Verbindungsklasse thermisch stark belastbar. Die Sublimationstemperatur von 8a beträgt 259°C und befindet sich damit deutlich über der 200°C Marke. Aus einem Vergleich der Glasübergangstemperaturen von 7a und 8a mit BPhen ergibt sich, dass die morphologische Stabilität von BPhen sehr gering, hingegen die von 7a und 8a deutlich erhöht ist.

Beispiel 2

[0064] Im Folgenden wird die Teilsynthese eines Derivates 8b ausgehend von 4a beschrieben.

Stufe 4: Synthese von 7-Toluyden-6,7-dihydro-2,4-diphenyl-chinolin-8(5H)-on 5b

[0065] Zu einer Suspension von 5 g 6,7-Dihydro-2,4-diphenyl-chinolin-8(5H)-on (16.7 mmol) und 2.41g (~2.4ml) p-Methylbenzaldehyd (20.04mmol) in 40 ml Methanol wird wie im Beispiel 1 beschrieben eine Lösung von 1,5 g Kaliumhydroxid (36,7mmol) in 15ml destilliertem Wasser hinzugefügt. Die resultierende Suspension wird bei Raumtemperatur im verschlossenen Rundkolben 1d gerührt, mit Eisessig neutralisiert und 30 min bei Raumtemperatur nachgerührt. Der Niederschlag wird abgesaugt, mit destilliertem Wasser gewaschen und getrocknet. Das elfenbeinfarbene Pulver wird in 80 ml Methanol suspendiert und 30 min bei Raumtemperatur nachgerührt. Der Niederschlag wird abgesaugt, mit Methanol sowie Diethylether gewaschen und im Hochvakuum getrocknet: 3.2 g elfenbeinfarbenes Pulver (47%) mit einem Schmelzpunkt von 175-185°C (Zersetzung). Das Produkt zeigt die für Chalkone charakteristische CO-Valenzschwingungsbande bei 1675 cm^{-1} .

$^1\text{H-NMR}$ (500 MHz; CD_2Cl_2): $\delta = 8,13$ (d, 2H, o-H von 2-Phenyl), 7,96 (s, 1H, H_9), 7,81 (s, 1H, H_3), 7,56-7,32 (m, 11 arom. H), 7,21 (d, 2H von Phenyl), 3,08 (dt, 2H), 2,94 (t, 2H), 2,37 8s, 3H.

Stufe 5: Synthese von 1,4,5,6-Tetrahydro-2,7,9-triphenyl-4-p-toluylypyrido[3,2-h]chinazolin 6b

[0066] Es werden 3g 7-Toluyden-6,7-dihydro-2,4-diphenyl-chinolin-8(5H)-on (7,5mmol) und 1,6g Benzamidiniumchlorid-Monohydrat (8,2mmol) in 50ml Ethanol suspendiert und zum Sieden erhitzt. Zu dieser Suspension wird eine Lösung von 1,2 g Kalium-tert.-butylat (10 mmol) in 20 ml Ethanol hinzugegeben, wobei sich der Niederschlag allmählich auflöst. Nach 24 h Kochen unter Rückfluss lässt man die Suspension auf Raumtemperatur abkühlen. Der Niederschlag wird abgesaugt, mit destilliertem und Ethanol gewaschen und im Hochvakuum bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Man erhält 2,6g Produkt (57%) mit einem Schmelzpunkt von 128-133°C.

[0067] Das Produkt zeigt im IR-Spektrum (ATR) eine verbreiterte NH-Bande bei 3418 cm^{-1} sowie in geringer Intensität eine Bande bei 1625 cm^{-1} , die einer isolierten C=N Bande zuzuordnen ist. $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, CD_2Cl_2): δ = 8,43 (s, br, NH), 8,09 (d, 2H, o-H von 9-Phenyl), 7,93-7,91 (m, 2H, o-H von 2-Phenyl), 7,59 (s, 1H, H_8), 7,54-7,43 (m, 10H, arom. H), 7,38 (d, 2H), 7,35 (d, 2H), 7,15 (d, 2H), 5,35 (s, 1H, H_4), 2,95-2,82 (m, 2H), 2,32 (s, 3H), 2,26-2,20 (m, 1 H), 2,15-2,08 (m, 1H).

Stufe 6b: Synthese von 5,6-Dihydro-2,7,9-triphenyl-4-p-toluylypyrido[3,2-h]chinazolin 7b

[0068] Es werden 2,5g 2,4,7,9-Tetraphenyl-1,4,5,6-tetrahydropyrido[3,2-h]chinazolin (4,96mmol) in 70 ml Chloroform gelöst; dann werden in einer Portion 1.46g Chloranil (5,95mmol) hinzugefügt. Die resultierende bräunliche Suspension wird bei Raumtemperatur weitergerührt. Bereits nach 30min zeigt die DC-Kontrolle der überstehenden Lösung (Aluminiumoxid; Laufmittel: Methylenchlorid), dass die Umsetzung vollständig ist. Die Suspension wird über eine D4-Glasfritte filtriert. Die Chloroformlösung wird mit 100 ml 6%iger Kaliumcarbonatlösung versetzt und kräftig durchgerührt. Die wässrige Phase wird zweimal mit jeweils 25 ml Chloroform ausgeschüttelt und dann verworfen. Die vereinigten Chloroformphasen werden mit destilliertem Wasser gewaschen, über wasserfreiem Kaliumcarbonat getrocknet, filtriert und mit 50 ml Cyclohexan versetzt. Das Chloroform wird unter vermindertem Druck weitgehend abdestilliert. Das erhaltene Pulver wird abgesaugt, mit etwa wenig Cyclohexan gewaschen und im Hochvakuum getrocknet; man erhält 2,1g (85%) elfenbeinfarbenes, mikrokristallines Produkt mit einem Schmelzpunkt von 261°C und einer Tg von 109°C. $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, CDCl_3): δ = 8,77 (d, 2H, o-H von 2-Phenyl), 8,29 (d, 2H, o-H von 9-Phenyl), 7,81 (s, 1H, H_8), 7,67 (d, 2H, o-H von 4-Phenyl), 7,56-7,44 (m, 10H, arom. H), 7,42 (d, 2H, Phenyl), 7,32 (d, 2H, Phenyl), 3,07 (m, 2H), 2,93 (m, 2H), 2,44 (s, 3H).

[0069] 5,6-Dihydro-2,7,9-triphenyl-4-p-toluylypyrido[3,2-h]chinazolin 7b besitzt in THF das Reduktionshalbstufenpotential $E_{1/2}^{\text{I,red}} = -2.29 \text{ V}$ ($\Delta E_p^{\text{I,red}} = 70 \text{ mV}$) vs. Fc/Fc^+ . Die Reduktion ist reversibel. Ein Oxidationspotential ist innerhalb des in THF zur Verfügung stehenden Fensters nicht messbar.

Stufe 7: Synthese von 2,7,9-Triphenyl-4-p-toluylypyrido[3,2-h]chinazolin 8b

[0070] Es werden 2g 5,6-Dihydro-2,7,9-triphenyl-4-p-toluylypyrido[3,2-h]chinazolin (3.98mmol) in 100ml Diethylenglykol suspendiert und durch Erwärmen in Lösung gebracht, dann werden 500 mg Pd/C (10%) portionsweise hinzugefügt. Die Suspension wird zum Sieden erhitzt und unter Rückfluss gekocht, bis laut DC Kontrolle die Ausgangsverbindung nicht mehr nachweisbar ist. Es werden 50ml destilliertes Wasser hinzugefügt, 30min bei Raumtemperatur nachgerührt und filtriert. Der Rückstand wird portionsweise mit 300ml destilliertem Wasser gewaschen und trocken gesaugt. Dann wird der Rückstand portionsweise mit 600ml Chloroform gewaschen. Das Filtrat wird über wasserfreiem Natriumsulfat getrocknet und filtriert. Die Lösung wird unter leicht vermindertem Druck zur Trockene eingedampft. Der cremefarbene Rückstand wird in 50ml Chloroform unter leichtem Erwärmen gelöst und in 100ml Cyclohexan filtriert. Die hellgelbe Lösung wird unter vermindertem Druck auf das halbe Volumen eingeeengt, wobei sich ein elfenbeinfarbener, watteähnlicher Niederschlag abscheidet. Der Niederschlag wird abgesaugt, mit Cyclohexan sowie Diethylether gewaschen und im Hochvakuum getrocknet. Man erhält 1,5g (75%) mikrokristallines, weißes, watteähnliches Pulver mit einer Schmelztemperatur von 261°C. Eine Tg konnte mittels DSC nicht detektiert werden.

[0071] Das $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum in CDCl_3 enthält nur die Signale von 5,6-Dihydro-2,4,7,9-tetraphenylpyrido[3,2-h]chinazolin. Die Signale der Methylenprotonen des Eduktes bei 3,07 (dd, 2H) und 2,95 (dd, 2H) sind verschwunden, d.h., die Dehydrierung ist vollständig verlaufen.

[0072] 2,7,9-Triphenyl-4p-toluylypyrido[3,2-h]chinazolin 8b besitzt in THF das Reduktionshalbstufenpotential $E_{1/2}^{\text{I,red}} = -2.29 \text{ V}$ ($\Delta E_p^{\text{I,red}} = 70 \text{ mV}$) vs. Fc/Fc^+ . Die Reduktion ist reversibel. Ein Oxidationspotential ist innerhalb des in THF zur Verfügung stehenden Fensters nicht messbar.

[0073] Eine Zersetzungstemperatur von 8b (DSC) unter Stickstoff konnte bis 500°C nicht festgestellt werden. Somit ist die Verbindungsklasse thermisch stark belastbar. Die Sublimationstemperatur von 8b beträgt 272°C und befindet sich damit deutlich über der 200°C Marke. Aus einem Vergleich der Glasübergangstemperaturen von 7b und 8b mit BPhen ergibt sich, dass die morphologische Stabilität von BPhen sehr gering, hingegen die von 7a und 8a deutlich erhöht ist.

Beispiel 3

[0074] Ein Glassubstrat wird mit Kontakten aus Indium-Zinn-Oxid versehen. Auf das Substrat wird danach eine Schicht aus 7a dotiert mit einem Dotanden der Struktur Ia hergestellt. Die Dotierkonzentration des Dotanden Ia beträgt 5mol%. Die Leitfähigkeit der Schicht beträgt $4.13 \cdot 10^{-5}$ S/cm bei Raumtemperatur.

Beispiel 4

[0075] Ein Glassubstrat wird mit Kontakten aus Indium-Zinn-Oxid versehen. Auf das Substrat wird danach eine Schicht aus 8a dotiert mit einem Dotanden der Struktur Ia hergestellt. Die Dotierkonzentration des Dotanden Ia beträgt 5mol%. Die Leitfähigkeit der Schicht beträgt $1,84 \cdot 10^{-5}$ S/cm bei Raumtemperatur.

Beispiel 5

[0076] Ein Glassubstrat wird mit Kontakten aus Indium-Zinn-Oxid versehen. Auf das Substrat wird danach eine Schicht aus 7b dotiert mit einem Dotanden der Struktur Ia hergestellt. Die Dotierkonzentration des Dotanden Ia beträgt 5mol%. Die Leitfähigkeit der Schicht beträgt $2.05 \cdot 10^{-6}$ S/cm bei Raumtemperatur.

Beispiel 6

[0077] Ein Glassubstrat wird mit Kontakten aus Indium-Zinn-Oxid versehen. Auf das Substrat wird danach eine Schicht aus 8b dotiert mit einem Dotanden der Struktur Ia hergestellt. Die Dotierkonzentration des Dotanden Ia beträgt 5mol%. Die Leitfähigkeit der Schicht beträgt $2.76 \cdot 10^{-5}$ S/cm bei Raumtemperatur.

Vergleichsbeispiel 7

[0078] Ein Vergleichsbeispiel 7 wurde analog zur Vorgehensweise nach Beispielen 3 bis 6 durchgeführt, jedoch wurde anstelle des Matrixmaterials 7a, 8a bzw. 7b, 8b das aus der Literatur bekannte BPhen verwendet. Die erhaltene Leitfähigkeit der Schicht beträgt $4 \cdot 10^{-9}$ S/cm.

[0079] Ein Vergleich der Leitfähigkeiten aus den Beispielen 3 bis 6 mit den Leitfähigkeitswerten für die aus dem Stand der Technik bekannten Matrixmaterialien Alq₃, BPhen oder BALq₂ (Tabelle 1 und Vergleichsbeispiel 7) zeigt somit für die erfindungsgemäße Substanzklasse 8 eine deutliche, um 3-4 Größenordnungen verbesserte Leitfähigkeit.

Beispiel 8

[0080] Ein Substrat aus Glas wird mit Indium-Zinn-Oxid-Kontakten versehen. Darauf werden dann nacheinander die Schichten: Spiro-TTB dotiert mit p-Dotand 2-(6-Dicyanomethylene-1,3,4,5,7,8-hexafluoro-6H-naphthalen-2-yliden)-malononitril (50nm, 1,5 w%)/N,N'-Di(naphthalen-2-yl)-N,N'-diphenylbenzidin (10nm), N,N'-Di(naphthalen-2-yl)-N,N'-diphenylbenzidin dotiert mit Emitter Iridium(III)bis(2-methyldibenzo[f,h]quinoxalin)(acetylacetonat) (20nm, 10wt%)/2,4,7,9-Tetraphenylphenanthrolin (10nm)/8a dotiert mit Ia (60nm, 8 w%)/Al (100nm) abgeschieden. Die so hergestellte organische Leuchtdiode emittiert orangerotes Licht und weist bei 1000 cd/m² folgende Betriebsparameter auf: 3,2V und 20 cd/A.

Vergleichsbeispiel 9

(Stand der Technik)

[0081] Eine OLED Struktur wie im Beispiel 6 wurde hergestellt. Dabei wurde statt der mit Ia n-dotierten Elektronentransportschicht 8a die undotierte Elektronentransportschicht 8a verwendet. Diese OLED weist bei 100 cd/m² folgende Betriebsparameter auf: 18.2V und 7.4 cd/A.

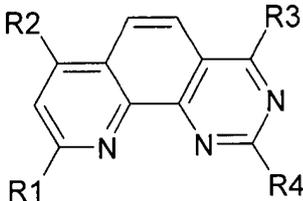
[0082] Die Verwendung von mit Ia dotiertem 8a als Elektronentransportschicht führt also dazu, dass eine

OLED Struktur eine geringere Betriebsspannung und/oder eine höhere Stromeffizienz aufweist. Mithin ist auch die Leistungseffizienz des Bauelementes erhöht.

[0083] Die in der Beschreibung und in den Ansprüchen offenbarten Merkmale können sowohl einzeln als auch in einer beliebigen Kombination zur Verwirklichung der Erfindung in ihren unterschiedlichen Ausführungsformen wesentlich sein.

Patentansprüche

1. Pyrido[3,2-h]chinazoline der folgenden Struktur 8:



Struktur 8

und/oder deren 5,6-Dihydroderivate

wobei:

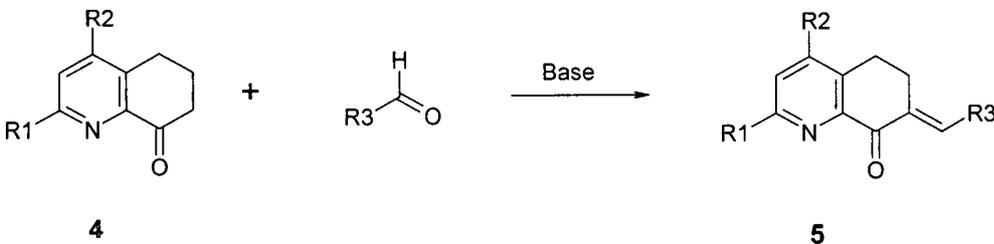
R¹ und R², substituiert oder unsubstituiert, Aryl, Heteroaryl, Alkyl der Formel CHR₂ mit R=Alkyl mit C₁-C₂₀ oder Alkyl der Formel CR₃ mit R=Alkyl mit C₁-C₂₀ ist;

R³ ausgewählt ist aus H, substituiert oder unsubstituiert, Alkyl mit C₁-C₂₀, Aryl und Heteroaryl;

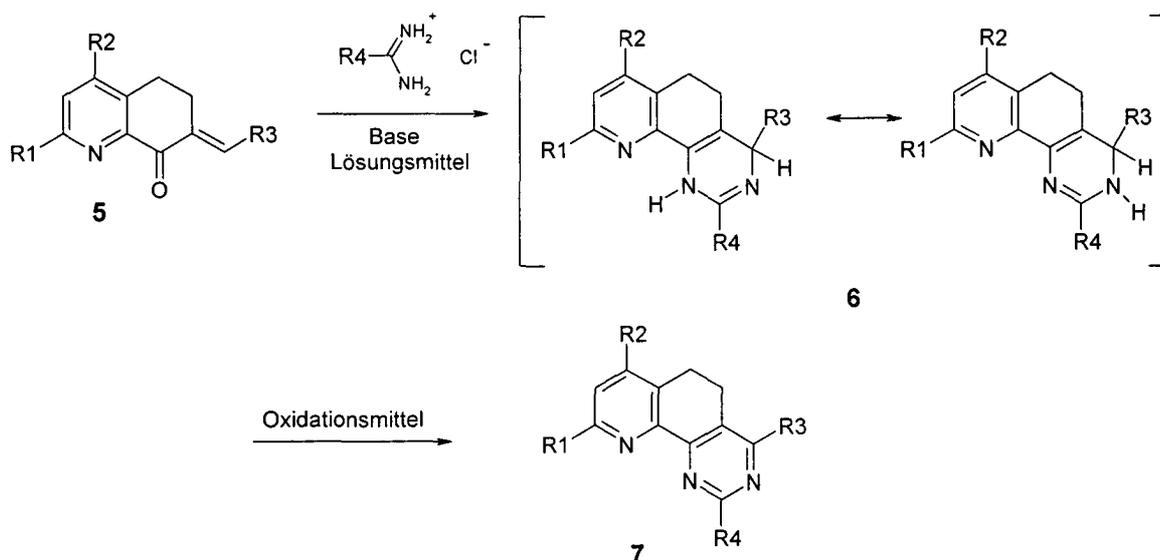
R⁴ ausgewählt ist aus H, substituiert oder unsubstituiert, Alkyl mit C₁-C₂₀, Aryl, Heteroaryl, NH₂, NHR mit R=Alkyl mit C₁-C₂₀, NR₂ mit R=Alkyl mit C₁-C₂₀, N-Alkylaryl, N-Aryl₂, Carbazolyl, Dibenzazepinyl und CN.

2. Verfahren zur Herstellung von Pyrido[3,2-h]chinazolinen und/oder deren 5,6-Dihydroderivaten, welches die folgenden Schritte umfasst:

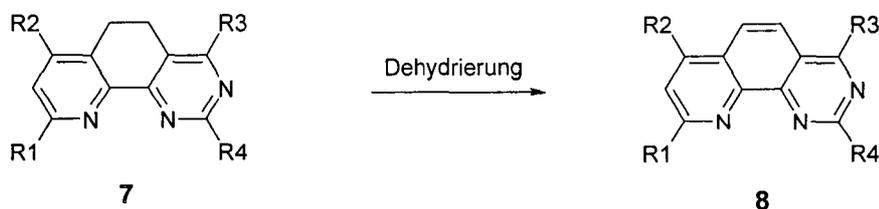
(i) Umsetzung eines 2,4-disubstituierten Chinolinons der Struktur 4 mit einem Aldehyd in Gegenwart einer Base zur Darstellung eines Benzylidendihydrochinolinons 5 gemäß dem folgenden Reaktionsschema:



(ii) Umsetzung des Benzylidendihydrochinolinons 5 mit Benzamidiniumhydrochlorid unter basischen Bedingungen zur Darstellung eines 1,4,5,6-Tetrahydro-pyrido[3,2-h]chinazolins 6 und anschließender Oxidation zur Darstellung eines 5,6-Dihydro-pyrido[3,2-h]chinazolins 7 gemäß dem folgenden Reaktionsschema:



(iii) optional Aromatisierung des 5,6-Dihydro-pyrido[3,2-h]chinazolins 7 zum Pyrido[3,2-h]chinazolin 8 gemäß dem folgenden Reaktionsschema:



wobei R¹, R², R³ und R⁴ wie oben in Anspruch 1 definiert sind.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Base Kaliumhydroxid und/oder Kalium-tert-butylat verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Oxidation des 1,4,5,6-Tetrahydro-pyrido[3,2-h]chinazolins 6 Chloranil eingesetzt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Aromatisierung durch Pd-katalysierte Dehydrierung mittels Pd/C erfolgt.

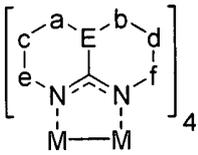
6. Dotiertes organisches Halbleitermaterial umfassend mindestens ein organisches Matrixmaterial, das mit mindestens einem Dotanden dotiert ist, wobei das Matrixmaterial ein Pyrido[3,2-h]chinazolin und/oder 5,6-Dihydroderivat nach Anspruch 1 ist.

7. Halbleitermaterial nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Matrixmaterial reversibel reduzierbar ist.

8. Halbleitermaterial nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Matrixmaterial bei einer Reduktion in stabile, redox-reaktive Bestandteile zerfällt.

9. Halbleitermaterial nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Dotand ein Metallkomplex ist.

10. Halbleitermaterial nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Metallkomplex eine Struktur I aufweist:



Struktur I

wobei M ein Übergangsmetall ist; und wobei

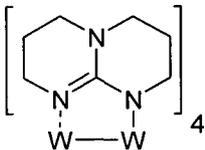
- die Strukturelemente a-f die Bedeutung: a = $-\text{CR}_9\text{R}_{10}^-$, b = $-\text{CR}_{11}\text{R}_{12}^-$, c = $-\text{CR}_{13}\text{R}_{14}^-$, d = $-\text{CR}_{15}\text{R}_{16}^-$, e = $-\text{CR}_{17}\text{R}_{18}^-$ und f = $-\text{CR}_{19}\text{R}_{20}^-$ aufweisen können, wobei $\text{R}_9\text{-R}_{20}$ unabhängig Wasserstoff, Alkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Cycloalkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkenyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkynyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Aryl, Heteroaryl, NRR oder -OR sind, wobei R = Alkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Cycloalkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, NRR oder -OR sind, wobei R = Alkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Cycloalkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkenyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkynyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Aryl oder Heteroaryl ist, oder
- bei den Strukturelementen c und/oder d C durch Si ersetzt sein kann, oder
- wahlweise a oder b oder e oder f NR ist, mit R = Alkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Cycloalkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkenyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkynyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Aryl, Heteroaryl, oder
- wahlweise a und f oder b und e NR sind, mit R = Alkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Cycloalkyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkenyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Alkynyl mit $\text{C}_1\text{-C}_{20}$, Aryl, Heteroaryl,
- wobei die Bindungen a-c, b-d, c-e und d-f, aber nicht gleichzeitig a-c und c-e und nicht gleichzeitig b-d und d-f, ungesättigt sein können,
- wobei die Bindungen a-c, b-d, c-e und d-f Teil eines gesättigten oder ungesättigten Ringsystems sein können, welches auch die Heteroelemente O, S, Se, N, P, Ge, Sn enthalten kann, oder
- die Bindungen a-c, b-d, c-e und d-f Teil eines aromatischen oder kondensierten aromatischen Ringsystems sind, welches auch die Heteroelemente O, S, Si, N enthalten kann,
- wobei das Atom E ein Hauptgruppenelement ist,
- wobei das Strukturelement a-E-b wahlweise Bestandteil eines gesättigten oder ungesättigten Ringsystems ist, welches auch die Heteroelemente O, S, Se, N, P, Si, Ge, Sn enthalten kann, oder
- das Strukturelement a-E-b wahlweise Bestandteil eines aromatischen Ringsystems ist, welches auch die Heteroelemente O, S, Se, N enthalten kann.

11. Halbleitermaterial nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß M Mo oder W ist.

12. Halbleitermaterial nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß $\text{R}_9, \text{R}_{11}, \text{R}_{13}, \text{R}_{15}, \text{R}_{17}, \text{R}_{19} = \text{H}$ und $\text{R}_{10}, \text{R}_{12}, \text{R}_{14}, \text{R}_{16}, \text{R}_{18}, \text{R}_{20} = \text{Alkyl mit } \text{C}_1\text{-C}_{20}, \text{Cycloalkyl mit } \text{C}_1\text{-C}_{20}, \text{Alkenyl mit } \text{C}_1\text{-C}_{20}, \text{Alkynyl mit } \text{C}_1\text{-C}_{20}, \text{Aryl, Heteroaryl, -NRR oder -OR ist.}$

13. Halbleitermaterial nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß E ausgewählt ist aus der Gruppe C, N, P, As, Sb.

14. Halbleitermaterial nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Dotand die folgender Struktur Ia aufweist:

Struktur Ia = $\text{W}(\text{hpp})_4$

15. Halbleitermaterial nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Dotand ein Alkali- und/oder Erdalkalimetall ist.

16. Halbleitermaterial nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Dotand Caesium ist.

17. Halbleitermaterial nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Matrixmaterial ein Energieniveau für das unterste unbesetzte Molekülorbital (LUMO) aufweist, welches sich um 0-0,5 V gegenüber dem Ionisationspotential (HOMO) des Dotanden unterscheidet.

18. Halbleitermaterial nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß sich das Energieniveau des Ma-

trixmaterials gegenüber dem Ionisationspotential des Dotanden um 0-0,3 V unterscheidet.

19. Halbleitermaterial nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß sich das Energieniveau des Matrixmaterials gegenüber dem Ionisationspotential des Dotanden um 0-0,15 V unterscheidet.

20. Halbleitermaterial nach einem der Ansprüche 6 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Matrixmaterial ein LUMO-Energieniveau aufweist, welches tiefer liegt als das Ionisationspotential (HOMO) des Dotanden.

21. Halbleitermaterial nach einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Konzentration des Dotanden 0,5 bis 25 Masseprozent beträgt.

22. Halbleitermaterial nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Konzentration des Dotanden 1 bis 10 Masseprozent beträgt.

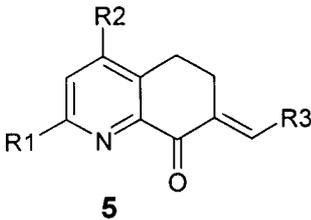
23. Halbleitermaterial nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Konzentration des Dotanden 2,5 bis 5 Masseprozent beträgt.

24. Halbleitermaterial nach einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Glasübergangstemperatur T_g des Matrixmaterials höher ist als diejenige von 4,7-Diphenyl-1,10-phenanthrolin.

25. Halbleitermaterial nach einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß das Matrixmaterial eine Verdampfungstemperatur von mindestens 200°C aufweist.

26. Organische Leuchtdiode, welche ein Halbleitermaterial nach einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 25 umfaßt.

27. Benzylidenhydrochinolinon der Formel 5



wobei R^1 , R^2 und R^3 wie in Anspruch 1 definiert sind.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen