

(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
27. Juli 2006 (27.07.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/077136 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 51/52 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/000502

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Januar 2006 (20.01.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2005 002 836.5 20. Januar 2005 (20.01.2005) DE
20 2005 000 979.2 20. Januar 2005 (20.01.2005) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **SCHOTT AG** [DE/DE]; Hattenbergstrasse 10, 55122
Mainz (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **OTTERMAN,
Clemens** [DE/DE]; Eppsteiner Strasse 4, 65795 Hatter-
sheim (DE).

(74) Anwalt: **HERDEN, Andreas**; Blumbach, Zinngrebe,
Alexandrastrasse 5, 65187 Wiesbaden (DE).

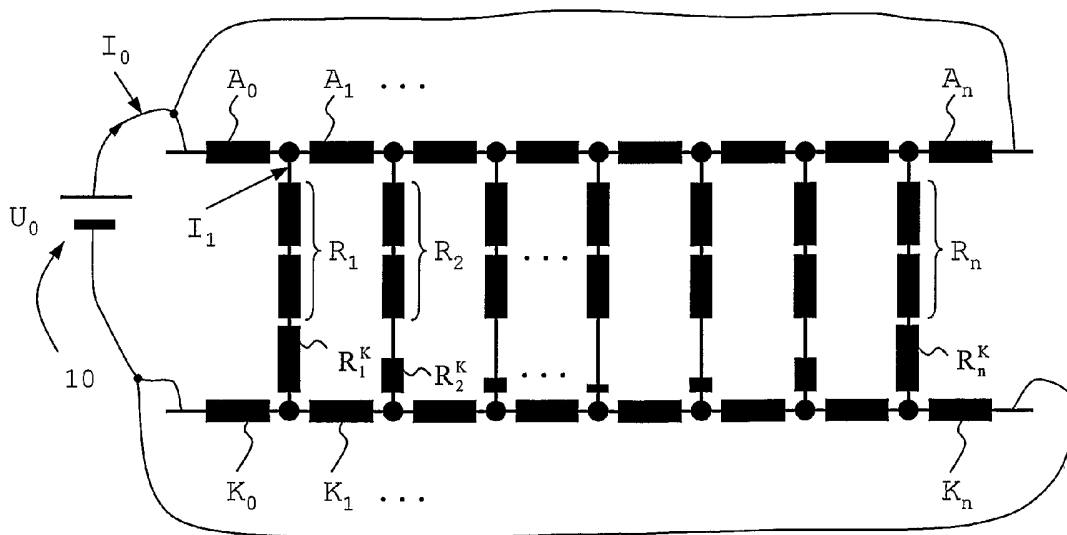
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, 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, LT, LU, LV, MC,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTRO-OPTICAL ELEMENT COMPRISING A CONTROLLED, IN PARTICULAR, UNIFORM FUNCTION-
ALITY DISTRIBUTION

(54) Bezeichnung: ELSSKTRO-OPTISCHES ELEMENT MIT GESTEUERTER, INSBESONDERE UNIFORMER FUNKTIO-
NALI TÄTSVERSSILUNG



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a flat electro-optical element in an economical and simple manner, which comprises a functional surface having a defined, in particular, a homogenous functionality distribution. Said method comprises the following steps; a substrate is prepared, a first electrode layer is applied, at least one functional layer is applied, a second electrode layer is applied, and at least one resistance adjusting layer, which has an electric resistance and which is perpendicular to the plane of the layer, is applied, said resistance varying in at least one horizontal direction along the plane of the layer. The invention also relates to a method for producing a coated substrate in order to produce an electro-optical element. The invention further relates to a correspondingly produced electro-optical element, a coated substrate, and to the use of a coated substrate for producing an electro-optical element and to the use of an electro-optical element.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



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).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

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.

(57) Zusammenfassung: Zur kostengünstigen, und einfachen Herstellung eines flächigen elektro-optischen Elementes, welches eine Funktionsfläche mit einer definierten, insbesondere einer homogenen Funktionalitätsverteilung aufweist, ' sieht die Erfindung ein Verfahren vor, umfassend das Bereitstellen eines Substrats, das Aufbringen einer ersten Elektrodenschicht, das Aufbringen zumindest einer Funktionsschicht, das Aufbringen einer zweiten Elektrodenschicht, sowie das Aufbringen zumindest einer Widerstandsanpassungs-Schicht, welche einen elektrischen Widerstand senkrecht zur Schichtebene aufweist, der in zumindest einer horizontalen Richtung entlang der Schichtebene variiert. Weiterhin schlägt die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines beschichteten Substrats zur Herstellung eines elektro-optischen Elementes vor. Ferner umfasst die Erfindung ein entsprechend hergestelltes elektro-optisches Element, ein beschichtetes Substrat, sowie die Verwendung eines beschichteten Substrats zur Herstellung eines elektro-optischen Elementes und die Verwendung eines elektro-optischen Elementes .

**Elektro-optisches Element mit gesteuerter, insbesondere
uniformer Funktionalitätsverteilung**

5 Beschreibung

Die Erfindung betrifft allgemein flächige oder zumindest in
Teilbereichen flächige elektro-optische Elemente, und
insbesondere flächige elektro-optische Elemente mit einer
vorbestimmten Funktionalitätsverteilung, insbesondere einer
10 über die Funktionsfläche gleichmässigen
Funktionalitätsverteilung, sowie ein Substrat und ein
Verfahren zu deren Herstellung.

Elektro-optische Elemente lassen sich vielfältig einsetzen,
15 wie beispielsweise als Photovoltaik-Elemente, elektrochrome
Elemente, Flüssigkristall-Elemente oder optoelektronische
Sensoren. Ein besonders interessantes Einsatzgebiet sind
ferner organische, elektro-optische Elemente, insbesondere
organische lichtemittierende Dioden.

20 Der elektrochrome Effekt beruht darauf, dass sich bei
Verschieben der elektrischen Ladung innerhalb eines
funktionalen Schichtverbundes durch Anlegen einer
geeigneten Spannung die optischen Eigenschaften des
25 Verbundes, wie beispielsweise der Transmissionsgrad,
ändern. Dieser Effekt wird beispielsweise für elektrisch
abblendbare Rückspiegel in der Automobilindustrie oder auch
für großflächige Anzeigetafeln genutzt. Zunehmend werden
auch in Gebäuden zur Steuerung der solaren Einstrahlung
30 statt Jalousien, Rollos oder Markisen schaltbare
Verglasungen auf der Basis elektrochromer Schichten
verwendet.

Photovoltaik-Elemente verwenden typischerweise geeignet dotierte Halbleiter, um die auf eine Fläche auftreffende Lichteinstrahlung in Strom umzuwandeln. Diese Elemente haben als Solarzellen weite Verbreitung gefunden.

5

Für die Sensorik lassen sich verschiedene elektro-optische Effekte einsetzen. So kann ein Schichtsystem, das spannungsabhängig Licht emittiert, welches von einem darunter liegenden Array von Photodioden registriert wird, beispielsweise zur Fingerabdruckerkennung eingesetzt werden. Weit verbreitet sind ferner auf photovoltaischen Reaktionen basierende CMOS- oder CCD-Sensoren wie sie beispielsweise in Digitalkameras Verwendung finden.

15 Ein besonders interessantes Einsatzgebiet ist das der organischen, elektro-optischen Elemente. Organische, elektro-optische Elemente, insbesondere organische Leuchtdioden (OLEDs), bestehen in der Regel aus zwei Elektrodenschichten mit dazwischen angeordneten organischen Schichten, die mindestens einen organischen elektrolumineszenten Leuchtstoff beinhalten. Die Schichten werden auf ein Trägermaterial (Substrat) aufgebracht, das typischerweise transparent ist. Vorzugsweise finden für diesen Zweck Glassubstrate Verwendung. Damit Licht
20 substratseitig von dem Bauteil emittiert werden kann, muss die dem Substrat zugewandte Elektrode, typischerweise die Anode, ebenfalls transparent ausgeführt werden. Als Materialien werden in der Regel Halbleiterschichten mit hoher Leitfähigkeit, wie z.B. transparente leitfähige Oxide (TCO), insbesondere ITO (Indium-Zinn-Oxid), eingesetzt. OLEDs sind stromgetriebene Bauelemente, d.h. während des Betriebs fließt ein definierter Strom durch die Elektrodenschichten und führt hier zu lateralen Potentialunterschieden, bedingt durch die endlichen
30 ohmschen Widerstände der Elektrodenschichten. Der Querstrom

zwischen den Elektrodenschichten, der die organischen
Leuchtschichten durchfließt, führt zur Lichterzeugung, die
proportional zur Stromdichte ist. Lokale Unterschiede in
der Stromdichte führen daher zu lokal unterschiedlicher
5 Lichtemission.

Für Leucht- bzw. Beleuchtungselemente werden flache
großflächige Leuchtquellen mit uniformer oder vorgegebener
Leuchtdichteverteilung benötigt. Typischerweise können
10 diese Bauelemente nur in der Randzone kontaktiert werden.
Die Leitfähigkeit der zur Zeit bekannten besten Materialien
zur Bildung transparenter Elektrodenschichten ist jedoch
nicht hinreichend, um die Elektrodenschichten als
Äquipotentialflächen beim Bauteildesign berücksichtigen zu
15 können. Der signifikante lokale Widerstand der Elektroden
bedingt Spannungsabfälle in den Elektrodenschichten, die zu
unterschiedlichen Spannungsdifferenzen zwischen den
Elektrodenschichten führen. Damit stellen sich, von außen
nicht steuerbar, unterschiedliche lokale Stromdichten quer
20 zu den Leuchtschichten ein, die zu lokal unterschiedlichen
Leuchtdichten führen. Je größer die Leuchtflächen sind,
desto stärker bilden sich die unerwünschten Inhomogenitäten
der Leuchtdichteverteilung aus.

Wünschenswert wären daher Elektroden mit möglichst kleinen
Flächenwiderständen, die im Vergleich zu den Widerständen
der organischen Schichten als Äquipotentialschichten
betrachtet werden könnten. In diesem Fall ergäbe sich ein
OLED-Bauelement, was bei uniformer Ausführung der
30 Funktionalschichten uniform Licht emittieren würde.
Außerdem wären die ohmschen Verluste des Stromflusses in
den Elektroden entsprechend gering. Dies ist für die
Kathode, die typischerweise als Metallschicht ausgeführt
ist, weitgehend erfüllt. Die transparente Schicht jedoch
35 weicht signifikant von dem Idealzustand ab.

Dementsprechend wurde versucht, die Flächenwiderstände der Elektrodenschichten durch eine größere Dicke der Schichten zu reduzieren. Typische, als Anode in OLEDs eingesetzte, ITO-Schichten weisen Schichtdicken von ca. 100 nm und Flächenwiderstände von 10 - 20 Ohm auf. Eine Erhöhung der Schichtdicke führt in der Regel zur Erhöhung der Absorptionsverluste in der transparenten Elektrodenschicht und damit zur Reduktion des emittierten Lichts. Weiterhin können sich bei dickeren ITO-Schichten Interferenzstrukturen einstellen, die ebenfalls zu Intensitätsreduktionen beziehungsweise zu lokalen Inhomogenitäten durch Variationen in der Interferenzwirkung führen können. Die Abscheidung dickerer Schichten führt außerdem zu einer Verlängerung der Prozesszeiten und damit zu einer Erhöhung der Bauteil-Herstellkosten.

Es wurden auch Versuche unternommen, die Leitfähigkeit der transparenten Elektrodenschicht auf andere Weise zu erhöhen. Jedoch führt eine hinreichende Erhöhung der Leitfähigkeit immer zu einer signifikanten Erhöhung der Absorptionsverluste in der transparenten Elektrodenschicht und damit zu einer deutlichen Reduktion des emittierten Lichts. Damit ergibt sich eine inakzeptable Effizienz des Bauteils beziehungsweise eine inakzeptable Leistungsaufnahme zur Erzielung einer gewünschten Lichtstärke.

Aus WO 00/17911 A1 ist bekannt, den Flächenwiderstand der Elektroden durch leitfähige transparente Zusatzschichten zu reduzieren. Solche Zusatzschichten erhöhen jedoch den Herstellungsaufwand und damit die Kosten. Ein weiterer Nachteil liegt darin, dass diese Maßnahme nur zur Verbesserung der Uniformität der Leuchtdichteverteilung eines vorgegebenen Bauteils geeignet ist. Sobald die Leuchtfläche vergrößert oder die Leuchtstärke insgesamt

erhöht wird, stellen sich wieder größere Inhomogenitäten durch die sich dann ergebenden Spannungsabfälle in den Elektroden ein. Die Zusatzschichten dürfen außerdem selbst keine wesentliche Absorption im sichtbaren Spektrum aufweisen

Aus EP 969517 A1 ist bekannt, den Flächenwiderstand der Elektroden durch Zusatzbeschichtung mit einem engmaschigen Metallgitter zu reduzieren. Nachteilig an diesem Ansatz ist zunächst wiederum der durch die Zusatzbeschichtung deutlich erhöhte Herstellungsaufwand und dadurch erhöhten Kosten für das OLED-Bauteil. Außerdem können durch das Metallgitter weitere Prozesse zur OLED-Bauteilherstellung signifikant beeinträchtigt werden. So können sich beispielsweise Schattenwürfe bei PVD-Beschichtungen oder Streifen bzw. Furchen bei Beschichtungen aus der Flüssigphase, beispielsweise mittels Spin Coating oder Dip Coating, bilden. Auch kann sich die Gefahr von Kurzschlüssen zwischen den Elektroden und damit der Totalzerstörung der Bauteile erhöhen. Weiterhin bildet die Gitterstruktur dunkle Bereiche in der Leuchtfläche des Bauteils, da unmittelbar unter der Gitterstruktur kein Licht emittiert wird.

In EP 997058 A1 wird zur Verbesserung der Homogenität der Leuchtdichtevertelung vorgeschlagen, eine transparente Elektrode und eine Metallelektrode zu kombinieren, deren Flächenwiderstandsverhältnis bei etwa 1 liegt. Da sich der Flächenwiderstand der transparenten Elektrode nur bei gleichzeitig erhöhtem Lichtverlust reduzieren lässt, wird das Flächenwiderstandsverhältnis durch eine Erhöhung des Flächenwiderstandes der Metallelektrode erreicht. Dies führt jedoch zu einer signifikanten Erhöhung des inneren Leitungswiderstand des Bauelements und der hieraus resultierenden ohmschen Verluste um etwa einen Faktor 2.

Zusätzlich erhöht sich die erforderliche Betriebsspannung. Zudem hat der Angleich der Flächenwiderstände nur in sehr speziellen Kontaktierungskonfigurationen einen mindernden Einfluss auf die Leuchtdichteinhomogenität, bei
5 symmetrischer Beschaltung des Bauteils hat das Widerstands-
verhältnis keinerlei Einfluss. Ferner lassen sich die Inhomogenitäten durch angepasste Anoden- und Kathoden-
widerstände gemäß der EP 997058 A1 nicht vollständig beseitigen, bei ausgedehnten Bauteilen sind diese im
10 Gegenteil noch stark ausgeprägt.

Eine homogenere Leuchtdichteverteilung lässt sich auch durch eine Unterteilung der Leuchtfläche des Bauteils in separate, kleine Leuchtbereiche erreichen. Eine nach diesem
15 Prinzip aufgebaute OLED ist beispielsweise aus
US 6,515,417 B1 bekannt. Diese Lösung erhöht jedoch den Herstellungsaufwand und damit die Kosten für das OLED-
Bauteil ganz erheblich.

20 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Weg
aufzuzeigen, wie ein kostengünstig und einfach herzu-
stellendes, verbessertes elektro-optisches Element
bereitgestellt werden kann, das eine Funktionsfläche mit
einer definierten, insbesondere einer homogenen,
25 Funktionalitätsverteilung aufweist.

Diese Aufgabe wird bereits in höchst überraschend einfacher Weise durch ein Verfahren zur Herstellung eines elektro-
optischen Elements gemäß Anspruch 1, ein Verfahren zur
30 Herstellung eines Substrats gemäß Anspruch 64, ein elektro-
optisches Element gemäß Anspruch 32, sowie ein
beschichtetes Substrat gemäß Anspruch 66 gelöst. Ferner
wird die Aufgabe durch eine Verwendung gemäß der Ansprüche
69 und 70 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind
35 Gegenstand der jeweiligen Unteransprüche.

Dementsprechend umfasst das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines elektro-optischen Elements, das Bereitstellen eines Substrats, das Aufbringen einer ersten
5 Elektrodenschicht, das Aufbringen zumindest einer Funktionsschicht, das Aufbringen einer zweiten Elektrodenschicht, sowie das Aufbringen zumindest einer Widerstandsanpassungs-Schicht, welche einen elektrischen Widerstand senkrecht zur Schichtebene aufweist, der in
10 zumindest einer horizontalen Richtung entlang der Schichtebene variiert.

Besonders vorteilhaft ist das Verfahren zur Herstellung eines organischen, elektro-optischen Elements, insbesondere
15 einer organischen, lichtemittierenden Diode, angepasst. Hierfür umfasst das Aufbringen der Funktionsschicht das Aufbringen zumindest einer Schicht, welche ein organisches, elektro-optisches Material aufweist.

20 Das Verfahren kann auch zur Herstellung eines elektrochromen Elements, wie beispielsweise eines elektrochromen Fensterelementes oder eines elektrochromen Spiegels, angepasst sein, wobei das Aufbringen der Funktionsschicht das Aufbringen zumindest einer
25 elektrochromen Schicht umfasst. Geeignete Materialien für die elektrochrome Schicht sind beispielsweise WO_x , NiO_x , VO_x oder NbO_x .

Ferner kann das Verfahren auch das Aufbringen einer
30 photovoltaischen Schicht als Funktionsschicht vorsehen. Vorteilhaft umfasst die Funktionsschicht weiterhin zumindest eine dotierte Halbleiterschicht, insbesondere ein Doppelschichtsystem mit einer p-dotierten und einer n-dotierten Halbleiterschicht. Derartige Funktionsschichten
35 können zur Herstellung verschiedener elektro-optischer

Elemente, wie beispielsweise Photovoltaik-Elemente oder optoelektronische Sensoren, eingesetzt werden.

5 Durch Einfügen einer zusätzlichen lokal variierenden Widerstandsanpassungs-Schicht, beispielsweise mit lokal variierender Schichtdicke oder Leitfähigkeit, lassen sich auf einfache Art in weiten Bereichen vorgegebene Funktionalitätsverläufe, insbesondere uniforme Funktionalitätsverteilungen erzielen. Zu diesem Zweck kann
10 die Widerstandsanpassungs-Schicht prinzipiell an beliebiger Stelle innerhalb des jeweiligen Schichtpakets angeordnet werden.

Insbesondere die Widerstände der Schichten eines
15 organischen, elektro-optischen Elements sind typischerweise quer zur Schicht (typische Längendimension 0,1 μm) deutlich geringer als die Widerstände entlang der Schicht (typische Längendimension 100 μm), so dass hauptsächlich nur Stromleitung quer zur Schicht stattfindet.

20 Zweckmäßigerweise umfasst das Verfahren das Aufbringen von Kontaktflächen auf der ersten und der zweiten Elektroden-schicht, vorzugsweise in den Randbereichen der Schichten, zum Abgreifen oder Anlegen einer elektrischen Spannung
25 zwischen den Elektrodenschichten. Vorteilhaft sind die Kontaktflächen in den Randbereichen der Elektrodenschichten angeordnet, um beispielsweise den Lichteintritt oder Lichtaustritt durch transparente Elektrodenschichten zu ermöglichen.

30 Vorteilhaft sieht das Verfahren vor, eine Funktionalitäts-verteilung der Funktionsfläche und einen Wert für die Betriebsspannung des elektro-optischen Elementes vorzugeben und die zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht derart
35 aufzubringen, dass das elektro-optische Element bei Anlegen

der vorgegebenen Betriebsspannung zwischen der ersten und der zweiten Elektrodenschicht im wesentlichen die vorgegebene Funktionalitätsverteilung aufweist. Im Betrieb kann die Betriebsspannung vom vorgegebenen Wert um ca.
5 $\pm 10 \%$ abweichen, ohne dass dies wesentlich die vorgegebene Funktionalitätsverteilung beeinträchtigt.

Besonders vorteilhaft sieht das Verfahren vor, die zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht derart
10 aufzubringen, dass die Lichtaustritts- oder Lichteintrittsfläche des elektro-optischen Elementes bei Anlegen einer Spannung zwischen der ersten und der zweiten Elektrodenschicht eine im wesentlichen uniforme Funktionalitätsverteilung aufweist. Unter einer uniformen
15 Funktionalitätsverteilung ist eine über die Funktionsfläche, typischerweise die Lichtaustritts- bzw. Lichteintrittsfläche, im wesentlichen konstante Funktionalitätsverteilung zu verstehen. Bei der Funktionalitätsverteilung kann es sich vorteilhaft
20 beispielsweise um die Leuchtdichteverteilung eines lichtemittierenden Elementes, die Verteilung des Transmissionsgrades eines elektrochromen Elementes oder die Verteilung der Lichtempfindlichkeit handeln.

25 Der Widerstandsverlauf der Widerstandsanpassungs-Schicht zum Erzielen einer vorgegebenen, insbesondere uniformen, Funktionalitätsverteilung ist abhängig von der Geometrie des elektro-optischen Elementes, von der Art der Kontaktierung der Elektrodenschichten und gegebenenfalls
30 von den Betriebsparametern des elektro-optischen Elementes.

Für einfache Geometrien des elektro-optischen Elementes, wie beispielsweise rechteckige oder ovale Geometrien, bei welchen insbesondere Kontaktierungen entlang

gegenüberliegender Kanten vorgesehen sind, lässt sich der Widerstandsverlauf der Widerstandsanpassungs-Schicht mit Hilfe einfacher mathematischer Beziehungen angeben.

5 So kann das Verfahren vorteilhaft vorsehen, die Widerstandsanpassungs-Schicht derart aufzubringen, dass der Widerstand senkrecht zur Schichtebene an zumindest einem Punkt der Schichtebene minimal ist und in zumindest einer horizontalen Richtung von dem zumindest einen Punkt entlang
10 der Schicht im wesentlichen zunimmt.

Besonders vorteilhaft nimmt der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene von dem zumindest einen Punkt mit minimalem Widerstand zum
15 Rand der Schicht hin im wesentlichen quadratisch mit dem Abstand zu.

Für Elektrodenschichten mit über die Leuchtfläche uniformen Flächenwiderständen und bestimmte, insbesondere
20 symmetrische, Geometrien sieht das Verfahren vorteilhaft vor, die Widerstandsanpassungs-Schicht derart aufzubringen, dass der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene in zumindest einer horizontalen Richtung entlang der Schichtebene einen Verlauf aufweist,
25 der im wesentlichen proportional zu $\frac{m \cdot A + (2 - m) \cdot K}{2} \cdot r^n$

ist, mit

A: Uniformer Flächenwiderstand der als Anode vorgesehenen Elektrodenschicht,

K: Uniformer Flächenwiderstand der als Kathode
30 vorgesehenen Elektrodenschicht,

r: Abstand entlang der Schichtebene zu einem ausgezeichneten Punkt oder einer ausgezeichneten Kurve in der Schichtebene, wobei in dem ausgezeichneten Punkt beziehungsweise entlang der ausgezeichneten

Kurve der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene minimal ist,
 n: Exponent mit $n > 0$, insbesondere mit $n = 2$,
 m: Relative Gewichtung der Elektrodenwiderstände,
 5 insbesondere mit $m=1$.

Die Widerstandsanpassungs-Schicht kann zusätzlich einen über die Schicht konstanten Widerstandsanteil aufweisen, so dass der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht
 10 senkrecht zur Schichtebene in zumindest einer horizontalen Richtung entlang der Schichtebene einen Verlauf aufweist, der im wesentlichen durch die Gleichung

$$(1) \quad R(r) = C_1 \cdot \frac{m \cdot A + (2 - m) \cdot K}{2} \cdot r^n + C_2$$

beschrieben wird, mit

15 R: Lokaler elektrischer Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene,

C_1, C_2 : Vom Abstand r unabhängige Konstanten,
 und mit A, K, r, n und m wie oben.

20 Weisen die Elektroden bekannte systematische Inhomogenitäten auf, z.B. abscheidebedingte Variationen der Metallkathode, so können diese ebenfalls durch geeignete Wahl der Ausprägung der Widerstandsanpassungs-Schicht
 25 vermindert oder sogar weitgehend kompensiert werden.

Für beliebige, unsymmetrische Formen und/oder symmetriezerstörende Kontaktierungen, wie zum Beispiel Punktkontakte bei rechteckigen Funktionsflächen, lassen
 30 sich in der Regel keine einfachen analytischen Ausdrücke für den Widerstandsverlauf der Widerstandsanpassungs-Schicht angeben. In diesen Fällen kann die Bestimmung des Widerstandsverlauf mittels numerischer Verfahren bzw. mittels Simulationen erfolgen. Hierzu kann beispielsweise

die "Finite Elemente"-Methode oder die Inversion von Feldgleichungssystemen eingesetzt werden.

Das Aufbringen der Widerstandsanpassungs-Schicht umfasst
5 vorteilhaft das Auftragen eines fluiden Beschichtungsmaterials, beispielsweise mittels Spin-Coating oder Tauchbeschichten.

Besonders vorteilhaft sind Ausgestaltungen des Verfahrens,
10 welche die gezielte lokale Variation der Widerstandsanpassungs-Schicht auf einfache und kostengünstige Weise ermöglichen. Insbesondere zur Erzielung von Schichtdickenvariationen sind Drucktechniken geeignet, wie Flexodruck, Siebdruck oder elektrophotographische Druckverfahren.
15 Besonders geeignet sind auch Ink-jet-Druckverfahren oder andere Sprühverfahren.

Zum Auftragen eines fluiden Beschichtungsmaterials umfasst das Verfahren dementsprechend vorteilhaft das Bedrucken
20 mittels eines rechnergesteuerten Druckkopfes, insbesondere mittels eines Inkjet- Druckkopfes, das Bedrucken durch Siebdruck, das Bedrucken durch Flexodruck oder Gravurdruck, oder das Besprühen durch eine Maske.

25 Zum Aufbringen der Widerstandsanpassungs-Schicht können neben den genannten Drucktechniken vorteilhaft auch im Prinzip alle bekannten Abscheideverfahren eingesetzt werden.

30 Dementsprechend umfasst das Verfahren vorteilhaft das Abscheiden einer Schicht durch physikalische Dampfphasenabscheidung, insbesondere durch Aufdampfen oder Sputtern, oder durch chemische Dampfphasenabscheidung, insbesondere plasmainduzierte chemische Dampfphasenabscheidung. Auch

können zum Aufbringen der Widerstandsanpassungs-Schicht verschiedene Verfahren kombiniert werden.

Für die Variation des Widerstandes der Widerstands-
anpassungs-Schicht gibt es verschiedene Möglichkeiten.
Dementsprechend umfasst das Aufbringen der zumindest einen
Widerstandsanpassungs-Schicht vorteilhaft das Aufbringen
von Schichtbereichen mit unterschiedlicher Schichtdicke
und/oder unterschiedlicher Schichtzusammensetzung und/oder
unterschiedlicher Schichtmorphologie.

Die einfachste und am besten kontrollierbare Art der
Widerstandsvariation ist die Variation der Schichtdicke, da
der lokale Querwiderstand direkt proportional zur lokalen
Schichtdicke ist, ausgehend von einem spezifischen
Widerstand der Schicht, der überall homogen und von der
Schichtdicke unabhängig ist. Die oben genannten
Beschichtungsverfahren wie Drucktechniken oder
Sprühtechniken sind hierfür besonders geeignet, da diese
Verfahren eine Variation der Schichtdicke auf einfache
Weise zulassen.

Die Schichtdickenvariation kann zu einer zusätzlichen
optischen Wirkung, beispielsweise zu Absorptions- oder
Interferenzeffekten, führen. Diese Wirkung kann ebenfalls
Variationen in der Funktionalitätsverteilung, insbesondere
in der Leuchtdichteverteilung, zur Folge haben.

Dieser Effekt bietet eine weitere Möglichkeit zur
Modulation der Funktionalitätsverteilung des elektro-
optischen Bauteils. Die Bestimmung des Widerstandsverlauf
der Widerstandsanpassungs-Schicht zur Erzielung einer
vorgegebenen Funktionalitätsverteilung unter Ausnutzung
dieses Effektes kann mittels gekoppelter elektro-optischer
Simulationen unter Berücksichtigung von mikroskopischen

Materialeigenschaften, Transport-, Rekombinations- und Lichterzeugungsvorgängen erfolgen

Bestimmte Widerstandsprofile können auch durch geeignete
5 lateral unterschiedliche Dotierungen der leitfähigen
Widerstandsanpassungs-Schicht mit Stoffen, welche die
Leitfähigkeit beeinflussen, eingestellt werden. Diese
Stoffe können während der Abscheidung der
Widerstandsanpassungs-Schicht beigemischt sein oder
10 anschließend über Diffusionsprozesse in die Schicht
eingebracht werden. Letzteres kann über Thermotransfer,
lokale Aktivierung, zum Beispiel über Temperatur, Licht
oder mechanischen Energieeintrag, Bedruckung oder
dergleichen erreicht werden. Vorteilhaft kann hier die
15 Schichtdicke weitgehend konstant gehalten werden, so dass
nachteilige lokale Interferenzeffekte stark unterdrückt
werden können. Um eine Langzeitstabilität des Bauteils zu
gewährleisten, sieht das Verfahren vorteilhaft vor, dass im
fertigen Bauteil die Diffusionsprozesse nicht weiterlaufen.

20 Auch durch Variation der Morphologie der Widerstands-
anpassungs-Schicht, insbesondere bei Polymerschichten, kann
eine Variation des Widerstandes erreicht werden, da die
Morphologie einen Einfluss auf den lokalen spezifischen
25 Widerstand und damit auf den lokalen Querwiderstand hat.
Gefügeänderungen können über Temperatureintragsprofile bei
Ausbacken, über lokale Aktivierung zum Beispiel durch
Temperatur, Licht, mechanischen Energieeintrag oder
chemische Aktivatoren oder über bestimmte Materialzusammen-
30 setzungen eingestellt werden.

Selbstverständlich können die beschriebenen Verfahren zur
Variation des Widerstandes der Widerstandsanpassungs-
Schicht auch miteinander kombiniert werden.

Zur Lichtaus- und/oder Lichteinkopplung umfasst das Aufbringen der ersten und/oder der zweiten Elektroden-schicht vorteilhaft das Aufbringen einer
5 zumindest teilweise transparenten, elektrisch leitfähigen Schicht, die insbesondere ITO (Indium-Zinn-Oxid) aufweist. Aufgrund der hohen Materialkosten von ITO wird die erste bzw. zweite Elektroden-schicht zumindest auf der Seite des elektro-optischen Elementes, auf der keine Lichtaus-
10 und/oder Lichteinkopplung erforderlich ist, vorteilhaft als Metallschicht aufgebracht.

Ferner weisen die erste und die zweite Elektroden-schicht des elektro-optischen Elementes vorteilhaft unterschied-
15 liche Austrittsarbeiten auf.

Auch die Widerstandsanpassungs-Schicht wird vorteilhaft derart aufgebracht, dass die Austrittspotentiale auf die elektrischen Anforderungen der Funktionsschicht, im Falle
20 eines organischen, elektro-optischen Elementes auf die des Elektrolumineszenz-Schichtpakets, abgestimmt sind.

Je nach Position der Widerstandsanpassungs-Schicht in der Schichtfolge des elektro-optischen Elementes können sich
25 unterschiedliche Anforderungen an die Transparenz der Widerstandsanpassungs-Schicht ergeben.

Weiterhin sind die Materialien und Herstellverfahren der Widerstandsanpassungs-Schicht vorzugsweise kompatibel mit
30 den Anforderungen des elektro-optischen Elementes, beispielsweise bezüglich Temperaturbeschränkungen oder Lösungsmittelresistenz, und beeinträchtigen nicht die Elektrolumineszenz-Eigenschaften des Bauteils.

Prinzipiell sind alle leitfähigen Schichtmaterialien, die diese Randbedingungen erfüllen, geeignet. Beispiele geeigneter anorganischer Materialien umfassen ITO (Indium-Zinn-Oxid), SnO_x , InO_x , ZnO_x , TiO_x , a:C-H, sowie dotiertes Si. Geeignete organische Materialien, insbesondere für organische, elektrooptische Elemente, sind beispielsweise PEDOT (Poly(3,4-ethylendioxythiophen)), PEDOT/PSS (PSS: Poly(styrolsulfonsäure)), PANI (Polyanilin), Antrazen, Alq_3 (Tris(8-oxychinolinato)-aluminium), TPD (Triphenyldiamin), CuPc (Kupferphthalocyanin), NPD (N,N'-Bis(1-naphtyl)-N,N'-diphenylbenzidin), sowie auch alle in der Literatur als Alternative zu PEDOT genannten Materialien.

Bei organischen, elektrooptischen Elementen wird die Widerstandsanpassungs-Schicht besonders vorteilhaft als Lochleiterschicht, insbesondere als PEDOT- oder PANI-Schicht, aufgebracht, da eine solche Schicht bereits typischer Bestandteil beispielsweise von Polymer-OLED's ist und daher die durch die Widerstandsanpassungs-Schicht zu erzielende Korrekturfunktion zusammen mit der Lochleiterfunktionalität in einem Arbeitsschritt besonders einfach und kostengünstig erzeugt werden kann.

Vorteilhaft kann das Verfahren ferner das Aufbringen einer oder mehrerer funktionaler Schichten vorsehen, wie beispielsweise Lochinjektionsschichten, Elektronenblockerschichten, Lochblockerschichten, Elektronleiterschichten, Lochleiterschichten und/oder Elektroneninjektionsschichten. Ferner kann das Verfahren auch das Aufbringen zumindest einer Ionenleiterschicht und/oder Ionenspeicherschicht umfassen.

Mit besonderem Vorteil umfasst das Verfahren das Aufbringen einer Lichtabsorptionsschicht, insbesondere einer farbneutralen Lichtabsorptionsschicht, mit horizontal entlang

der Schichtebene variierenden Lichtabsorptionseigenschaften.

5 Besonders bevorzugt umfasst das Aufbringen der Lichtabsorptionsschicht das Aufbringen einer photosensitiven Schicht, das Belichten der photosensitiven Schicht und das Entwickeln der photosensitiven Schicht.

10 Modulationstechniken wie zum Beispiel Maskierungen von uniformen Leuchtschichten zur Darstellung von Symbolen oder Schrift oder Farbgebungen können dazu eingesetzt werden, gezielte Funktionalitätsverteilungen, insbesondere Leuchtdichteverteilungen, einzustellen. Hierzu können die lichtabsorbierenden Schichten direkt auf das Bauteil
15 aufgebracht werden.

Besonders vorteilhaft ist die selbststeuernde Optimierung des Leuchtprofils lichtemittierender Bauteile individuell für jedes individuelle Bauteil zum Ausgleich von
20 statistisch verteilten lokalen Unterschieden.

Eine selbststeuernde Optimierung des Leuchtprofils kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass zunächst eine photosensitive Schicht wie z.B. eine Photoemulsion
25 aufgebracht wird, diese durch abgestimmtes Einschalten des lichtemittierenden, elektro-optischen Bauteils belichtet, entwickelt und damit optimal auf jedes individuelle Bauteil und dessen lokale Defekte wie Beschichtungsfehler oder Kurzschlüsse angepasst wird. Anschließend erfolgt eine
30 Fixierung der photosensitiven Schicht und zweckmäßigerweise das Aufbringen einer Schutzbeschichtung, z.B. mit einem Lack.

Dementsprechend umfasst das Verfahren besonders
35 vorteilhaft, dass das Belichten der photosensitiven Schicht

durch Einschalten des elektro-optischen Elementes für eine vorgegebene Zeitdauer erfolgt, wobei das Einschalten durch Anlegen einer vorgegebenen Spannung zwischen der ersten und der zweiten Elektroden-schicht erfolgt.

5

Eine weitere Variante zur Optimierung des Leuchtprofils ist die aktiv gesteuerte individuelle Beschichtung. Dazu wird die Leuchtdichte-Verteilung der Austrittsleuchtfläche des elektro-optischen Bauteils mittels eines geeigneten

10 Detektorsystems, beispielsweise mittels eines Kamerasystems mit Bildverarbeitung, erfasst und gespeichert. Aus der erfassten Leuchtdichte-Verteilung wird eine

Absorptionsdichte-Verteilung zur optimalen lokalen Korrektur des Helligkeitsprofils berechnet. Entsprechend der

15 berechneten Absorptionsdichte-Verteilung wird eine lokal variierende Absorptivschicht beispielsweise mittels eines Sprüh- oder Druckprozesses, wie z.B. Ink-jet Printing oder elektrophotographisches Drucken, auf die Lichtaustrittsfläche aufgebracht. Anschließend erfolgt wiederum eine

20 Fixierung und zweckmäßigerweise das Aufbringen einer Schutzbeschichtung. Für die Absorptivschicht können verschiedene organische und anorganische Materialien eingesetzt werden, zum Beispiel Duroplaste, Thermoplaste, Sol-Gel-Lösungen oder Farben.

25

Eine nochmals weitere Variante besteht in der aktiv gesteuerten individuellen Maskierung, bei der eine separate Maske auf Glas- oder Polymersubstrat hergestellt und auf der Frontseite des Bauteils fixiert wird.

30

Weitere Abwandlungen der Methode zur Erzeugung des Absorptionsprofils umfassen beispielsweise die aktiv gesteuerte individuelle Belichtung, bei der die Rohleuchtdichte erfasst, die Korrektur berechnet und eine

35 Photoemulsion beispielsweise mittels eines geführten

Lichtstrahls belichtet wird, sowie die aktiv gesteuerte individuelle Fixierung von absorptiven Materialien, bei der die Rohleuchtdichte erfasst, die Korrektur berechnet und zur Fixierung und Ausbildung der absorptiven Beschichtung
5 ein Belag auf der Bauteiloberfläche belichtet wird.

Eine weitere Variante umfasst das Aufbringen einer selbstregelnden phototropen Beschichtung.

10 Alle beschriebenen Verfahren zum Aufbringen einer Lichtabsorptionsschicht haben den Vorteil, dass jedes individuelle Bauteil hinsichtlich der vorgegebenen Leuchtdichteverteilung optimiert werden kann.

15 Abgewandelt kann die absorptive Korrekturschicht auch in das Bauteil integriert werden. Je nach Position in der Schichtfolge muss dann jedoch die Schicht noch zusätzliche Leitfähigkeit aufweisen und interferenzoptisch bzw. im Lichtbrechverhalten angepasst sein. Auch hier ist eine
20 individuelle Einstellung des lokalen Absorptionsverhaltens durch das Aufbringen einer phototropen Beschichtung oder durch Einstellen der Absorption über einen Energieeintrag von außen, beispielsweise mittels eines Lasers, möglich.

25 Je nach Einsatzzweck des herzustellenden Bauteils kann das Verfahren ferner vorteilhaft den Schritt des Aufbringens einer zumindest teilweise spiegelnden Schicht oder eines zumindest teilweise spiegelnden Schichtsystems und/oder den Schritt des Aufbringens einer zumindest teilweise
30 entspiegelnden Schicht oder eines zumindest teilweise entspiegelnden Schichtsystems umfassen.

Im Rahmen der Erfindung liegt außerdem ein elektro-optisches Element, welches insbesondere mit dem oben
35 beschriebenen Verfahren herstellbar ist.

Ein erfindungsgemäßes elektro-optisches Element, umfasst dementsprechend ein Substrat, eine erste Elektrodenschicht, zumindest eine Funktionsschicht, eine zweite
5 Elektrodenschicht, und zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht, welche einen elektrischen Widerstand senkrecht zur Schichtebene aufweist, der in zumindest einer horizontalen Richtung entlang der Schichtebene variiert.

10

Ein erfindungsgemäßes elektro-optisches Element kann auch aus mehreren oder einer Vielzahl separater flächiger Teilelemente zusammengesetzt sein, welche beispielsweise auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet sind.

15

Vorteilhaft ist das Element als organisches elektro-optisches Element, insbesondere als organische, lichtemittierende Diode, ausgebildet, wobei die Funktionsschicht zumindest ein organisches, elektro-
20 optisches Material aufweist.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Elementes ist ein elektrochromes Element, bei welchem die zumindest eine Funktionsschicht zumindest eine
25 elektrochrome Schicht umfasst. Bevorzugt weist die elektrochrome Schicht WO_x auf, aber auch andere dem Fachmann bekannte Materialien wie beispielsweise NiO_x , VO_x oder NbO_x liegen im Rahmen der Erfindung.

30 Ferner kann die Funktionsschicht bevorzugt eine photovoltaische Schicht umfassen. Für viele Einsatzzwecke ist auch eine Funktionsschicht vorteilhaft, welche zumindest eine dotierte Halbleiterschicht, insbesondere ein Doppelschichtsystem mit einer p-dotierten und einer n-dotierten Halbleiterschicht, umfasst.
35

- Typischerweise ist die als Anode wirkende Elektrodenschicht auf dem Substrat und die als Kathode wirkende Elektroden-
schicht auf dem dazwischen liegenden Schichtsystem
5 angeordnet. Selbstverständlich liegt aber auch ein
invertiertes System, bei welchem die Kathode auf dem
Substrat und die Anode auf dem dazwischen liegenden
Schichtsystem aufgebracht ist, im Rahmen der Erfindung.
- 10 Vorteilhaft weist die erste und/oder die zweite
Elektrodenschicht eines erfindungsgemäßen Elementes in den
Randbereichen eine Kontaktfläche zum Anlegen und/oder
Abgreifen einer elektrischen Spannung auf. Bei Anlegen
einer Spannung zwischen der ersten und der zweiten
15 Elektrodenschicht, welche innerhalb einer Toleranz von
 $\pm 10 \%$ einer vorgegebenen Betriebsspannung entspricht,
weist die Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche des
Elementes vorteilhaft im wesentlichen eine vorgegebene
Funktionalitätsverteilung auf, wobei die
20 Funktionalitätsverteilung besonders vorteilhaft einer
uniformen Verteilung über die Lichtaustritts- und/oder
Lichteintrittsfläche entspricht.
- Der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht weist
25 besonders vorteilhaft einen Verlauf wie oben für das
Verfahren beschrieben auf. Dementsprechend nimmt der
Widerstand senkrecht zur Schichtebene bevorzugt von einem
Punkt minimalen Widerstands zum Rand der Schicht hin zu,
insbesondere quadratisch.
- 30 Besonders bevorzugt weist der Widerstand der
Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene in
zumindest einer horizontalen Richtung entlang der
Schichtebene einen Verlauf auf, der im wesentlichen durch

die Gleichung $R(r) = C_1 \cdot \frac{m \cdot A + (2 - m) \cdot K}{2} \cdot r^n + C_2$

beschrieben wird (verwendete Größen wie oben).

Vorteilhaft ist die Widerstandsanpassungs-Schicht mittels
5 einem der folgenden Verfahren aufgebracht:

- Spin-Coating,
- Tauchbeschichten,
- Bedrucken mittels eines Inkjet- Druckkopfes,
- Bedrucken durch Siebdruck,
- 10 - Bedrucken durch Flexodruck oder Gravurdruck,
- Besprühen durch eine Maske,
- physikalische Dampfphasenabscheidung, insbesondere
Aufdampfen oder Sputtern, oder
- chemische Dampfphasenabscheidung, insbesondere
- 15 plasmainduzierte chemische Dampfphasenabscheidung,

Vorzugsweise weist die Widerstandsanpassungs-Schicht
Schichtbereiche mit unterschiedlicher Schichtdicke und/oder
unterschiedlicher Schichtzusammensetzung und/oder
20 unterschiedlicher Schichtmorphologie auf.

Beispiele geeigneter Materialien für die Widerstands-
anpassungs-Schicht sind die oben im Zusammenhang mit dem
Verfahren genannten.

25

Die Elektrodenschichten eines erfindungsgemäßen Elements
sind vorteilhaft derart ausgebildet, dass die erste und die
zweite Elektrodenschicht unterschiedliche Austrittsarbeiten
aufweisen. Ferner sind die erste und/oder die zweite
30 Elektrodenschicht bevorzugt zumindest teilweise
transparent, und weisen insbesondere Indium-Zinn-Oxid auf.
Alternativ sind die erste und/oder zweite Elektrodenschicht
vorteilhaft als Metallschicht ausgebildet. Für eine
einseitige Lichtaus- und/oder Lichteinkopplung ist

vorteilhaft eine der Elektrodenschichten als transparente ITO-Schicht und die andere als Metallschicht ausgebildet.

5 Vorteilhaft umfasst das Element weiterhin zumindest eine Lochinjektionsschicht und/oder eine Elektronenblockerschicht und/oder eine Lochblockerschicht und/oder eine Elektronleiterschicht und/oder eine Lochleiterschicht und/oder eine Elektroneninjektionsschicht und/oder eine Ionenleiterschicht und/oder eine Ionenspeicherschicht.

10

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Elementes umfasst eine Lichtabsorptionsschicht, insbesondere eine farbneutrale Lichtabsorptionsschicht, mit horizontal entlang der Schichtebene variierenden Lichtabsorptionseigenschaften, welche insbesondere wie oben beschrieben hergestellt ist.

15

Das Element umfasst ferner vorteilhaft weitere Funktionalschichten wie beispielsweise Antireflexschichten.

20

Die Form der Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche eines erfindungsgemäßen Elementes ist besonders vorteilhaft im wesentlichen symmetrisch, insbesondere rechteckig, rund oder oval.

25

Für spezielle Einsatzzwecke, beispielsweise in der Automobilindustrie, umfasst die Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche vorteilhaft zumindest einen spitzwinkligen Bereich. Dies ist zum Beispiel bei einer Fläche in Form eines Kreisausschnitts gegeben.

30

Insbesondere bei symmetrischen Formen weist die Widerstandsanpassungs-Schicht einen Widerstandsverlauf auf, welcher sich analytisch durch die oben angegebene Gleichung 1 ausdrücken lässt.

35

Je nach Einsatzzweck kann die Lichtaustritts- und/oder
Lichteintrittsfläche eines erfindungsgemäßen Elementes auch
eine freie, nicht symmetrische Formgebung aufweisen. In
5 diesen Fällen ist der Widerstandsverlauf der
Widerstandsanpassungs-Schicht in der Regel nicht durch
einen einfachen analytischen Ausdruck gegeben, sondern das
Ergebnis numerischer Verfahren oder Simulationen, wie zum
Beispiel der "Finite Elemente"-Methode oder der Inversion
10 von Feldgleichungssystemen.

Die Erfindung umfasst ferner ein Verfahren zur Herstellung
eines beschichteten Substrats, mit den Schritten:
- Bereitstellen eines Substrats,
15 - Aufbringen zumindest einer Elektrodenschicht,
- Aufbringen zumindest einer Widerstandsanpassungs-Schicht
auf das Substrat, welche einen elektrischen Widerstand
senkrecht zur Schichtebene aufweist, der in horizontaler
Richtung entlang der Schichtebene variiert, wobei
20 zumindest eine Teilfläche der Elektrodenschicht als
Kontaktfläche vorgesehen wird und der Widerstandsverlauf
der Widerstandsanpassungs-Schicht vom Flächenwiderstand der
Elektrodenschicht und von der Anordnung der zumindest einen
Kontaktfläche abhängt.

25 Vorteilhaft umfasst dabei das Aufbringen der zumindest
einen Elektrodenschicht das Aufbringen einer zumindest
teilweise transparenten, elektrisch leitfähigen Schicht
umfasst, die insbesondere Indium-Zinn-Oxid aufweist.

30 Entsprechend umfasst die Erfindung ferner ein beschichtetes
Substrat zur Herstellung eines elektro-optischen Elementes,
insbesondere eines photovoltaischen Elementes, eines
elektrochromen Elementes, oder einer OLED oder PLED,
35 insbesondere hergestellt mit einem Verfahren wie oben

beschrieben, umfassend zumindest eine Elektrodenschicht und
zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht, welche einen
elektrischen Widerstand senkrecht zur Schichtebene
aufweist, der in horizontaler Richtung entlang der
5 Schichtebene variiert.

Als Substratmaterial des beschichteten Substrats sind
verschiedene Materialien geeignet, wie beispielsweise Glas,
insbesondere Kalk-Natron Glas, Glaskeramik und/oder
10 Kunststoff, insbesondere ein barrierebeschichteter
Kunststoff, und/oder Kombinationen davon.

Die Elektrodenschicht des beschichteten Substrats ist
bevorzugt zumindest teilweise transparent ausgebildet und
15 weist insbesondere Indium-Zinn-Oxid auf.

Auf die beschriebene Weise kann ein vorkorrigiertes
Substrat bereitgestellt werden, welches zur Erzielung
uniformer Funktionalitätsverteilungen, insbesondere
20 uniformer Leuchtdichteverteilungen, eingesetzt werden kann.

Das Substrat kann noch durch weitere Funktionalschichten
wie z.B. Antireflexschichten veredelt werden.

25 Die Widerstandsanpassungs-Schicht kann in einem separaten
Beschichtungsschritt abgeschieden oder beispielsweise in
eine für ein organisches, elektro-optisches Element
vorgesehene Lochleiterschicht integriert werden, welche
beispielweise als PEDOT-Beschichtung ausgebildet ist. Die
30 Integration in eine PEDOT-Beschichtung bietet den weiteren
Vorteil, dass die Widerstandskorrekturschicht in der
Austrittsarbeit sehr gut an die Anode angepasst ist.

Vorteilhaft ist die Widerstandsanpassungs-Schicht derart
35 ausgebildet, dass diese nicht durch nachfolgende

Reinigungsvorgänge beeinträchtigt wird. Ferner ist die Widerstandsanpassungs-Schicht vorteilhaft gegen Lösungsmittel weiterer Flüssigbeschichtungen (beispielsweise bei Polymer-OLEDs) im wesentlichen
5 resistant. Außerdem ist die Widerstandsanpassungs-Schicht vorteilhaft vakuumfest und weitgehend optisch inaktiv bezüglich Interferenzen oder Absorption.

Ebenfalls im Rahmen der Erfindung liegt die Verwendung
10 eines Substrates wie oben beschrieben zur Herstellung eines elektro-optischen Elementes, insbesondere eines photovoltaischen Elementes, eines elektrochromen Elementes, oder einer OLED oder PLED, sowie ferner die Verwendung eines elektro-optischen Elements wie oben beschrieben
15 - als Leuchtmittel,
- als Beleuchtungsmittel,
- als Hinweis- oder Leuchttafel,
- als variables Hinweisschild,
- als Schalter- oder Sensorbeleuchtung,
20 - als hoch- oder niedrigauflösendes Display,
- als digitale Plakatwand oder Werbetafel,
- in Leuchtböden oder Leuchttischen,
- als Lichtfläche zur Ambientebeleuchtung,
- zur Hintergrundbeleuchtung von Displays,
25 - zur Spezialbeleuchtung, insbesondere in der Mikroskopie,
- zur Signalgebung oder Beleuchtung, insbesondere im Automobil-, Luftfahrt- Schifffahrts- oder Haushaltsbereich,
- als Photovoltaik-Element,
- als optoelektronischen Sensor,
30 - als Flüssigkristall-Element,
- als elektrochromes Fensterelement, oder
- als elektrochromen Spiegel.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter
35 Ausführungsformen am Beispiel einer OLED und unter

Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben. Dabei bezeichnen gleiche Bezugszeichen in den Zeichnungen gleiche oder ähnliche Teile.

5 Es zeigen jeweils schematisch:

- Fig. 1a eine perspektivische Ansicht eines OLED-Bauteils nach dem Stand der Technik,
- Fig. 1b eine Querschnittsansicht eines OLED-Bauteils
10 nach dem Stand der Technik,
- Fig. 1c ein Ersatz-Widerstandsnetzwerk des OLED-Bauteils aus Fig. 1a und 1b,
- Fig. 2 ein Ersatz-Widerstandsnetzwerk eines erfindungsgemäßen OLED-Bauteils,
- 15 Fig. 3a-f Vergleich eines OLED-Bauteils ohne und mit Widerstandsanpassungsschicht bei symmetrischer Kontaktierung,
- Fig. 4a-f Vergleich eines OLED-Bauteils ohne und mit Widerstandsanpassungsschicht bei diagonalen
20 Kontaktierung,
- Fig. 5a-f Vergleich eines OLED-Bauteils ohne und mit Widerstandsanpassungsschicht bei einseitiger Kontaktierung,
- Fig. 6a-f Vergleich eines OLED-Bauteils ohne und mit Widerstandsanpassungsschicht bei beidseitiger
25 Kontaktierung der Anode und einseitiger Kontaktierung der Kathode,
- Fig. 7a Potentialverläufe in einem OLED-Bauteil mit Widerstandsanpassungsschicht und symmetrischer
30 Kontaktierung für unterschiedliche Stromstärken,
- Fig. 7b Leuchtstärken eines OLED-Bauteils mit Widerstandsanpassungsschicht und symmetrischer Kontaktierung für unterschiedliche Stromstärken,

- Fig. 8 Leuchtstärkenverteilungen eines OLED-Bauteils mit randomisierten Abweichungen der Widerstandswerte der Widerstandsanpassungsschicht
- Fig. 9 eine perspektivische Ansicht eines ersten
5 erfindungsgemäßen rechteckigen OLED-Bauteils,
- Fig. 10 eine perspektivische Ansicht eines zweiten erfindungsgemäßen rechteckigen OLED-Bauteils,
- Fig. 11 eine perspektivische Ansicht eines dritten erfindungsgemäßen rechteckigen OLED-Bauteils,
- 10 Fig. 12 eine perspektivische Ansicht eines vierten erfindungsgemäßen rechteckigen OLED-Bauteils,
- Fig. 13 eine perspektivische Ansicht eines ersten erfindungsgemäßen runden OLED-Bauteils,
- Fig. 14 eine perspektivische Ansicht eines zweiten
15 erfindungsgemäßen runden OLED-Bauteils,
- Fig. 15 eine Querschnittsansicht des OLED-Bauteils aus Fig. 14,
- Fig. 16 eine Aufsicht des OLED-Bauteils aus Fig. 14,
- Fig. 17 eine perspektivische Ansicht eines
20 erfindungsgemäßen spitzwinkligen OLED-Bauteils,
- Fig. 18 ein Ersatz-Widerstandsnetzwerk des OLED-Bauteils aus Fig. 17 ohne Widerstandsanpassungsschicht,
- Fig. 19 ein Ersatz-Widerstandsnetzwerk des OLED-Bauteils aus Fig. 17 mit Widerstandsanpassungsschicht,
- 25 Fig. 20 eine perspektivische Ansicht eines ersten erfindungsgemäßen Substrats,
- Fig. 21 eine perspektivische Ansicht eines zweiten erfindungsgemäßen Substrats,
- Fig. 22 eine perspektivische Ansicht eines dritten
30 erfindungsgemäßen Substrats,
- Fig. 23 eine perspektivische Ansicht eines vierten erfindungsgemäßen Substrats,
- Fig. 24 eine Querschnittsansicht eines elliptischen OLED-Bauteils,

Fig. 25 eine Aufsicht des OLED-Bauteils aus Fig. 24.

Die Figuren 1a und 1b zeigen schematisch ein rechteckiges OLED-Bauteil 100 nach dem Stand der Technik. In Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht und in Fig. 2 eine Querschnittsansicht durch das Bauteil 100 dargestellt. Das OLED-Bauteil 100 ist in diesem Ausführungsbeispiel als Polymer-OLED (PLED) ausgebildet und weist dementsprechend 2 organische Schichten 130 und 140 auf.

Auf einem transparenten Substrat 110, beispielsweise ein Glassubstrat oder ein entsprechend passiviertes Polymer-substrat ist eine transparente leitfähige Elektrodenschicht 121 als Anode aufgebracht.

Darauf folgt eine Ausgleichsschicht 130 zum Ausgleichen von Substratunebenheiten, welche in diesem Ausführungsbeispiel auch als Lochleiterschicht (HTL, Hole Transport Layer) wirkt. Hierauf folgt die Elektrolumineszenzschicht 140 (EL-Schicht), welche beispielsweise licht-emittierende Polymere (LEP), wie z.B. PPV (poly-para-phenylene-venylene) oder Parylene, oder kurzkettigere organische Moleküle, wie z.B. Alq₃ mit entsprechenden Dotierstoffen, umfasst. Die Polymere werden typischerweise aus der Flüssigphase, die kurzkettigeren organischen Moleküle aus der Gasphase durch thermisches Verdampfen abgeschieden.

Die OLED-Schichtfolge wird durch die Kathodenschicht 122 abgeschlossen. Das dargestellte Ausführungsbeispiel sieht eine symmetrische Beschaltung vor. Dementsprechend sind zur Kontaktierung des Bauteils 100 Kontaktflächen 151 und 152 auf zwei gegenüberliegenden Seiten der Anodenschicht 121 und Kontaktflächen 153 und 154 auf zwei gegenüberliegenden Seiten der Kathodenschicht 122 angeordnet. Die Beschaltung

mit einer Gleichspannungsquelle 10 und entsprechende Leitungen 20 ist in Fig. 1b dargestellt.

Die typischerweise vorgesehene Verkapselung zum Schutz der Funktionalsschichten gegen Zerstörung durch Sauerstoff oder Wasser aus der Umgebung ist nicht dargestellt.

Fig. 1c zeigt ein Ersatz-Widerstandsnetzwerk des in den Fig. 1a und 1b dargestellten OLED-Bauteils. In diesem idealisierten Netzwerk sind die Widerstände innerhalb der organischen Schichten vernachlässigt, da diese mit einer Längenskala im Bereich von μm bis mm typischerweise signifikant größer sind als die Flächenwiderstände der Elektrodenschichten bzw. die lokalen Querwiderstände zu den Schichten bei typischen Schichtdicken im Bereich von 100 nm.

Der lokale Querwiderstand durch die organischen Schichten ergibt sich aus der Summe der Querwiderstände durch die HTL- und die EL-Schicht zu:

$$(2) \quad R_i = R_{\text{HTL}, i} + R_{\text{EL}, i} (I_i) \quad \text{mit } i = 1, \dots, n,$$

wobei der Widerstandswert der EL-Schicht von der durchfließenden Stromstärke I_i abhängt. Zusammen mit den Schichtwiderständen A_i der Anode und K_i der Kathode lassen sich die Stromstärken I_i in den einzelnen Zweigen und die resultierenden Potentialdifferenzen zwischen den Elektroden berechnen. Die Schichtwiderstände der Elektrodenschichten können in der Regel entlang der Schichtebene als konstant angenommen werden. Die lokal emittierte Lichtstärke ist ebenfalls durch die vorherrschende Stromstärke bestimmt. Die Abhängigkeiten des Widerstands der EL-Schicht und der Lichtstärke von der Stromstärke $R_{\text{EL}} (I_i)$ und $L_{\text{EL}} (I_i)$

können direkt an lateral kleinen Bauelementen (Pixel-Device) experimentell bestimmt werden. Da per se die einzelnen Stromstärken I_i und damit $R_{EL}(I_i)$ unbekannt sind, erfolgt die Berechnung des Netzwerks iterativ.

5

Der Grundgedanke einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist es, durch eine Widerstandsanpassungs-Schicht Korrekturen vorzusehen, welche vorzugsweise eine konstante Leuchtdichte über die gesamte Leuchtfäche des OLED-Bauteils ermöglicht.

10

Es zeigt sich, dass die Dimensionierung der Widerstandsanpassungs-Schicht in der vorliegenden Näherung nur von den Flächenwiderständen der beiden Elektrodenschichten abhängt.

15

Es gilt folgender parabelförmiger Widerstandsverlauf für die Schicht im Falle der in Fig. 2 dargestellten beidseitigen symmetrischen Beschaltung

$$(3) \quad R_i^K = \frac{A + K}{2} \cdot \left(i - \frac{n+1}{2} \right)^2, \quad i \in \{1, \dots, n\}$$

20 mit

$A = A_i = \text{const.}, K = K_i = \text{const.}, i \in \{1, \dots, n-1\},$ und
 $A_0 = A_n = 2 \cdot A, K_0 = K_n = 2 \cdot K$

25

In den Figuren 3 bis 6 sind die sich einstellenden Strom- und damit Leuchtdichteverteilungen für unterschiedlich kontaktierte OLED-Bauteile dargestellt. Für OLED-Bauteile nach dem Stand der Technik ergeben sich dabei immer Inhomogenitäten der Leuchtdichte. Es ist offensichtlich, dass mit keinem Beschaltungsansatz bei entsprechend

30 ausgedehnten Bauelementen und/oder großen Leuchtstärken, d.h. bei großen Stromdichten und damit Spannungsabfällen, eine uniforme Leuchtdichteverteilung nach dem Stand der Technik erzielt werden kann.

Die in den Fig. 3-6 dargestellten Beschaltungsbeispiele und berechneten Verteilungen basieren jeweils auf einem wie in Fig. 2 dargestellten Ersatz-Widerstandsnetz für ein
5 entsprechendes rechteckiges OLED-Bauteil mit entsprechender Beschaltung. Wie in Fig. 2 ist das Bauteil jeweils mit dem Substrat oben dargestellt (um 180° gedrehte Darstellung im Vergleich zu Fig. 1a und 1b). Die Beschaltung ist in den Fig. 3a, 3d, 4a, 4d, 5a, 5d, 6a und 6d jeweils durch
10 entsprechende Pfeile dargestellt.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden die Querwiderstände jeweils als konstant und gleich angenommen. Den Rechnungen liegen ferner ein konstanter Kathodenwider-
15 stand K von 1 Ohm, ein konstanter Anodenwiderstand A von 10 Ohm, ein konstanter Querwiderstand von 300 Ohm, Leitungs- und Kontaktwiderstände mit $A_0 = A_n = 2 \cdot A$ und $K_0 = K_n = 2 \cdot K$, sowie ein Gesamtstrom von 100 mA durch das Bauelement zugrunde. Die für diesen Gesamtstrom jeweils
20 erforderliche Betriebsspannung U_0 ist jeweils angegeben.

Fig. 3a zeigt ein OLED-Bauteil nach dem Stand der Technik wie beispielsweise in Fig. 1a dargestellt, welches beidseitig symmetrisch beschaltet ist. Die Lichtaustritts-
25 richtung weist nach oben, entsprechend befindet sich das Substrat 110 auf der oberen Seite des Bauteils. Zwischen der transparenten Anodenschicht 121 und der Kathodenschicht 122 sind die HTL-Schicht 130 und die EL-Schicht 140 angeordnet.

30 In Fig. 3b sind die Potentialverläufe 310 bzw. 320 der Anoden- bzw. Kathodenschicht dargestellt. Die resultierende Stromdichteverteilung 330 ist in Fig. 3c dargestellt.

Demgegenüber zeigt Fig. 3d ein OLED-Bauteil, welches ebenfalls beidseitig symmetrisch beschaltet ist, aber im Gegensatz zu dem in Fig. 3a dargestellten Bauteil zusätzlich zum Substrat 210, den Elektrodenschichten 221 und 222, sowie den HTL- und EL-Schichten 230 und 240 eine Widerstandsanpassungs-Schicht 262 aufweist.

Die Widerstandsanpassungs-Schicht 262 weist einen lateral variierenden Widerstandsverlauf entsprechend der obigen Gleichung (3) auf. Die entsprechenden Potentialverläufe 410 bzw. 420 der Anoden- bzw. Kathodenschicht sind in Fig. 3e dargestellt. Durch die erfindungsgemäße Widerstandsanpassungs-Schicht 262 ergibt sich die in Fig. 3f dargestellte homogene Stromdichteverteilung 430.

Dementsprechend weist ein auf diese Weise korrigiertes OLED-Bauteil eine homogene Leuchtdichteverteilung auf.

Die nachfolgenden Figuren 4a-f, 5a-f und 6a-f unterscheiden sich von den Figuren 3a-f nur durch eine jeweils andere Beschaltung der OLED-Bauteile.

Die Korrektur bei einer diagonalen Beschaltung eines OLEDs-Bauteil, wie in den Fig. 4a - 4f dargestellt, erfolgt ebenfalls mittels eines parabelförmigen Widerstandsverlaufs der Widerstandsanpassungs-Schicht entsprechend der Gleichung

$$(4) \quad R_i^K = \frac{A + K}{2} \cdot (i - i_0)^2, \quad i \in \{1, \dots, n\}$$

mit

$A = A_i = \text{const.}, K = K_i = \text{const.}, i \in \{1, \dots, n - 1\},$ und
 $A_0 = A_n = 2 \cdot A, K_0 = K_n = 2 \cdot K$

Der durch den Parameter i_0 definierte Scheitelpunkt der Parabel ist für den Fall, dass der Anodenwiderstand A

grösser ist als der Kathodenwiderstand K, von der Mitte des Bauteils zum Kathodenanschluss-seitigen Bereich des Bauteils hin verschoben.

5 Auch in diesem Fall wird die Stärke des Korrektur-
widerstandsverlaufs nur durch die Flächenwiderstände von
Anode und Kathode bestimmt und ist unabhängig vom Wert des
Gesamtstroms bzw. weiterer homogener widerstandsbehafteter
Schichten, insbesondere der EL-Schichten. Die Lage des
10 Scheitelpunkts i_0 hingegen ist abhängig von Verhältnis der
Elektrodenwiderstände. So liegt der Scheitelpunkt für den
Fall $A = K$ in der Mitte des Bauelements analog zur
symmetrischen Beschaltung und für $A \gg K$ verhält sich das
Bauelement wie im Falle einseitiger Kontaktierung wie in
15 Fig. 5a - 5f dargestellt, d.h. der Scheitelpunkt verlagert
sich zu der Stirnseite mit Kathodenkontakt. Für $A > K$
befindet sich i_0 zwischen diesen Extrempositionen. Diese
Lage ist unabhängig vom Gesamtstrom und dem Verhalten
weiterer homogen ausgebildeter EL-Schichten.
20
Mit anderen Worten entspricht die in den Fig. 5a - 5f
dargestellte einseitige Beschaltung eines OLED-Bauteils
schaltungstechnisch einem halbseitigen Bauteil entsprechend
der in Fig. 3d dargestellten symmetrischen Beschaltung und
25 kann daher mit dem gleichen parabelförmigen Widerstands-
verlauf nach Ansatz (4) korrigiert werden, wenn der
Scheitelpunkt der Parabel (i_0) auf die der Kontaktseite
gegenüberliegende Stirnseite gelegt wird.

30 Wie aus Formel (3) hervorgeht liegt bei beidseitiger
Kontaktierung eines symmetrisch aufgebauten Widerstands-
netzes der Scheitelpunkt in Bauteilmitte, d.h. bei
$$i_0 = \frac{n+1}{2},$$
 wobei n die Anzahl der Querwiderstände angibt.
Für das einseitig kontaktierte Widerstandsnetz liegt die

Spiegelebene leicht außerhalb des letzten gegenüber-
liegenden Querwiderstands (zusätzlicher Abstand $\Delta i = \frac{1}{2}$),
da sonst dieser Widerstand auf sich selbst gespiegelt würde
und nur für den halben Widerstandswert stände.

5

Auch in diesem Fall wird die Stärke des Korrektur-
widerstandsverlaufs nur durch die Flächenwiderstände von
Anode und Kathode bestimmt und ist unabhängig vom Wert des
Gesamtstroms bzw. weiterer homogener widerstandsbehafteter
10 Schichten, ins. der EL-Schichten. Die Lage des Scheitel-
punkts ist unabhängig von den Elektrodenwiderständen.

Auch bei der in den Fig. 6a - 6f dargestellten Beschaltung
mit beidseitiger Kontaktierung der Anodenschicht und
15 einseitiger Kontaktierung der Kathodenschicht folgt der
Widerstandsverlauf der Widerstandsanpassungs-Schicht dem
prinzipiell parabolischen Verlauf nach Gleichung (4) und
hängt nur von den Elektrodenwiderständen A und K ab. Für
K << A fällt der Widerstandsverlauf für diese Beschaltung
20 mit dem für eine symmetrische Beschaltung entsprechend den
Fig. 3a - 3f zusammen und der Scheitelpunkt i_0 liegt in der
Mitte des Bauelements. Mit Reduktion des Verhältnisses A/K
verschiebt sich der Scheitelpunkt in Richtung der dem
Kathodenkontakt abgewandten Seite des Bauelements.

25

Auch in diesem Fall wird die Stärke des Korrektur-
widerstandsverlaufs nur durch die Flächenwiderstände von
Anode und Kathode bestimmt und ist unabhängig vom Wert des
30 Gesamtstroms bzw. weiterer homogener widerstandsbehafteter
Schichten, ins. der EL-Schichten.

In den Fig. 7a und 7b sind jeweils die sich bei unter-
schiedlichen Gesamtstromstärken zwischen 20 und 500 mA für

ein symmetrisch beschaltetes und mittels einer Widerstands-
anpassungs-Schicht korrigiertes OLED-Bauteil ergebenden
Potentialverläufe beziehungsweise Stromverteilungen
dargestellt. Im Einzelnen sind dargestellt für eine
5 Stromstärke von 50 mA in Fig. 7a der Potentialverlauf 502
und in Fig. 7b der Leuchtstärkeverlauf 512, für eine
Stromstärke von 100 mA in Fig. 7a der Potentialverlauf 504
und in Fig. 7b der Leuchtstärkeverlauf 514, für eine
Stromstärke von 200 mA in Fig. 7a der Potentialverlauf 506
10 und in Fig. 7b der Leuchtstärkeverlauf 516, und für eine
Stromstärke von 500 mA in Fig. 7a der Potentialverlauf 508
und in Fig. 7b der Leuchtstärkeverlauf 518.

Den Rechnungen liegt ein konstanter Kathodenwiderstand von
15 1 Ohm, ein konstanter Anodenwiderstand von 10 Ohm,
Leitungs- und Kontaktwiderstände A_0 , K_0 , A_n und K_n , welche
doppelt so groß sind wie A und K , sowie ein Gesamtstrom
durch das Bauelement von 100 mA zugrunde. Ferner liegt den
Rechnungen eine reale OLED-Kennlinie zugrunde.

20 Es zeigt sich, dass, der Verlauf der Widerstandsanpassungs-
Schicht unabhängig von der Gesamtstromstärke ist. Weiter
können auf die Widerstandsanpassungs-Schicht beliebige
weitere Schichten aufgebracht werden (PEDOT, EL, etc.)
25 Solange diese Schichten in Summe einen uniformen
Querwiderstand mit gleicher Stromabhängigkeit aufweisen,
bleibt die Uniformität des Querstroms unverändert. Der
gleichförmige Widerstand der weiteren Schichten führt in
Verbindung mit der gleichförmigen Stromverteilung zu einer
30 über die Fläche konstanten Potentialvergrößerung zwischen
den beiden Elektroden-schichten.

Die Erzeugung uniformer Leuchtflächen mittels einer
Widerstandsanpassungs-Schicht ist robust gegen Störungen
35 der lokalen Bauteileigenschaften. Ein "Rauschen" der

Korrekturwiderstandswerte und der OLED-Kennlinie um $\pm 5\%$ führen nur zu einer Fluktuation der lokalen Helligkeiten um die Werte des ungestörten Falls, aber zu keiner signifikanten systematischen Abweichung von der Uniformität. Die Ergebnisse entsprechender Rechnungen zeigt Fig. 8, in der verschiedene Leuchtdichteverläufe 370 für um $\pm 5\%$ gestörte Korrekturwiderstandswerte bzw. OLED-Kennlinien dargestellt sind. Die jeweiligen Mittelwerte 380 sowie das statistische Mittel 390 sind ebenfalls dargestellt.

Für rechteckige Bauelemente lassen sich die oben beschriebenen Schaltnetze aus diskreten Widerständen auf kontinuierliche Schichtmodelle überführen, indem die diskreten Ansätze für die Korrekturwiderstandsverläufe nach Gleichung (4) durch folgende Verallgemeinerung ersetzt werden:

$$(5) \quad R_{\text{kor}}(x) = C_1 \cdot \frac{m \cdot A + (2-m) \cdot K}{2} \cdot (x - x_0)^n + C_2, \text{ mit}$$

- R_{kor} : Lokaler elektrischer Widerstand der Widerstands-
 20 standanpassungs-Schicht senkrecht zur Schicht-
 ebene,
 A: Uniformer Flächenwiderstand der als Anode vorgesehenen
 Elektrodenschicht,
 K: Uniformer Flächenwiderstand der als Kathode
 25 vorgesehenen Elektrodenschicht,
 x_0 : Lage des Scheitelpunktes des Widerstandsverlaufes
 x: Koordinate entlang der Schichtebene zwischen den
 Anschlussseiten,
 C_1, C_2 : Konstanten,
 30 n: Exponent mit $n > 0$, insbesondere mit $n = 2$,
 m: Relative Gewichtung der Elektrodenwiderstände,
 insbesondere mit $m = 1$.

Die Konstante C_2 beschreibt einen konstanten Widerstands-Sockelbeitrag, der beispielsweise beschichtungstechnisch

bedingt ist. Zum Beispiel wird die Widerstandsanpassungs-Schicht in der Regel im Scheitelpunkt eine minimale Dicke größer Null aufweisen.

- 5 Voraussetzung für die Anwendbarkeit obiger Gleichung ist, dass die Kontaktierung über die ganze Länge der Bauteilseiten erfolgt bzw. der Flächenwiderstand im Kontaktierungsbereich klein gegen die typischen Widerstände der Elektrodenschicht ist.

10

Bedingt durch Spannungsabfälle im Kontaktierungsbereich sind bei lokalen, beispielsweise im wesentlichen punktförmigen Kontakten ohne Gegenmaßnahmen Störungen der Leuchtdichteuniformität zu erwarten. Aber auch dieser
15 Effekt kann durch eine geeignete Wahl der Ausprägung der Widerstandsanpassungs-Schicht korrigiert werden.

Fig. 9 zeigt schematisch eine perspektivische Ansicht eines erfindungsgemäßen rechteckigen OLED-Bauteils 202. In diesem
20 Ausführungsbeispiel ist auf einem Substrat 210 eine erste als Anode vorgesehene Elektrodenschicht 221 angeordnet, welche zur symmetrischen Beschaltung an gegenüberliegenden Seiten Kontaktierungen 251 und 252 aufweist. Die Elektrodenschicht 221 ist für eine Lichtauskopplung durch
25 das Substrat bevorzugt als transparente ITO-Schicht ausgebildet. Das OLED-Bauteil ist in diesem Ausführungsbeispiel als PLED ausgebildet und weist dementsprechend eine Lochleiterschicht 230 und eine Elektrolumineszenzschicht 240 auf. Zwischen der Elektrodenschicht 221 und der
30 Lochleiterschicht 230 ist die Widerstandsanpassungs-Schicht 262 angeordnet. Die OLED-Schichtfolge wird durch die als Kathode vorgesehene Elektrodenschicht 222 abgeschlossen, welche zur symmetrischen Beschaltung an gegenüberliegenden Seiten Kontaktierungen 253 und 254 aufweist. Bei dem in
35 Fig. 9 dargestellten OLED-Bauteil handelt es sich demnach

im wesentlichen um das Bauteil aus Fig. 1a, welches
zusätzlich die Widerstandsanpassungs-Schicht 262 aufweist.

In dem in Fig. 9 dargestellten Ausführungsbeispiel ist die
5 Widerstandsanpassungs-Schicht 262 derart ausgebildet, dass
der elektrische Widerstand durch Variation der Schichtdicke
variiert wird. Der Widerstandsverlauf entspricht einem
Verlauf gemäß obiger Gleichung (5) mit x die Koordinate auf
einer Achse entlang der Schichtebene, welche die
10 Kontaktierungen 251 und 252 verbindet und senkrecht zu
deren Hauptachsen verläuft, und mit x_0 in der Schichtmitte
gelegen. Dementsprechend weist das OLED-Bauteil 202 eine im
wesentlichen homogene Leuchtdichteverteilung über die
gesamte Lichtaustrittsfläche auf.

15 Statt durch Variation der Schichtdicke kann die Variation
des Widerstandes der Widerstandsanpassungs-Schicht auch auf
andere Weise erzielt werden, beispielsweise durch Variation
der Schichtzusammensetzung und/oder der Schichtmorphologie.
20 Dies ist in der in Fig. 10 dargestellten Ausführungsform
eines erfindungsgemäßen OLED-Bauteils 204 realisiert. Diese
Ausführungsform 204 entspricht der in Fig. 9 dargestellten
202, wobei die Widerstandsanpassungs-Schicht 264 den
gleichen Widerstandsverlauf aufweist wie die Schicht 262,
25 mit dem Unterschied, dass die Schicht 264 eine entlang der
Schichtebene variierende Schichtzusammensetzung bei
gleichbleibender Schichtdicke aufweist. Die Variation der
Schichtzusammensetzung kann beispielsweise derart erfolgen,
dass unterschiedliche Zusammensetzungen von Schicht-
30 materialien durch geeignete Druckverfahren aufgebracht
werden, wobei die unterschiedlichen Zusammensetzungen
unterschiedliche spezifische Widerstände aufweisen.

In den Fig. 11 und 12 sind bevorzugte Ausführungsformen
35 erfindungsgemäßer OLED-Bauteile 206 und 208 dargestellt,

bei welchen jeweils die HTL-Schicht und die Widerstands-
standsanpassungs-Schicht zu einer korrigierten HTL-Schicht
232 bzw. 234 kombiniert sind. Dies bietet den besonderen
Vorteil, dass für das Aufbringen der Widerstandsanpassungs-
5 Schicht kein zusätzlicher Arbeitsschritt erforderlich ist.

Die in Fig. 11 dargestellte korrigierte HTL-Schicht 232
weist eine entlang der Schichtebene variierende Schicht-
dicke auf, durch deren Verlauf, welcher wiederum der
10 Gleichung (5) entspricht, eine homogene Leuchtdichte-
verteilung des OLED-Bauteils erreicht wird. In dem in Fig.
12 dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Widerstands-
verlauf der korrigierten HTL-Schicht 234 durch eine
Variation der Schichtzusammensetzung und/oder der
15 Schichtmorphologie gegeben.

Selbstverständlich liegen neben den in den Fig. 9 bis 12
dargestellten rechteckigen OLED-Bauteilen 202 bis 208 auch
andere Bauformen im Rahmen der Erfindung.

20 In Fig. 13 ist schematisch eine perspektivische Ansicht
einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen, runden OLED-
Bauteils 600 dargestellt. Dieses Abuteil 600 umfasst ein
rundes Substrat 610, auf welchem vollflächig eine
25 Anodenschicht 621 angeordnet ist. Im Randbereich der
Anodenschicht 621 ist zur Kontaktierung eine ringförmige
Kontaktfläche 651 vorgesehen. Zwischen der Anodenschicht
621 und der darüber angeordneten Kathodenschicht 622 sind
eine korrigierte HTL-Schicht 634 und eine Elektro-
30 lumineszenzschicht 640 angeordnet. In diesem Ausführungs-
beispiel weist auch die Kathodenschicht 622 eine ring-
förmige Kontaktfläche 652 auf. Die korrigierte HTL-Schicht
634 weist einen geeigneten Widerstandsverlauf entlang der
Schichtebene auf, welcher von der Schichtmitte zum Rand hin

zunimmt, so dass das OLED-Bauteil 600 eine homogene Leuchtdichteverteilung aufweist.

Das in Fig. 14 dargestellte runde OLED-Bauteil 700 umfasst ebenfalls ein Substrat 710, auf welchem eine Anodenschicht 721 mit ringförmiger Kontaktfläche 751 angeordnet ist. Auf der Anodenschicht 721 ist eine korrigierte HTL-Schicht 734 und eine EL-Schicht 740 angeordnet. Abgeschlossen wird die Schichtfolge wiederum durch die Kathodenschicht 722. Im Gegensatz zu der in Fig. 13 dargestellten Ausführungsform 600 weist die Kathodenschicht 722 des Bauteils 700 eine in der Schichtmitte angeordnete Kontaktfläche 752 auf. Die im wesentlichen punktförmige bzw. kleinflächige Kontaktfläche 752 vereinfacht die Kontaktierung des Bauteils 700.

Die Fig. 15 und 16 zeigen jeweils schematisch eine Querschnittsansicht bzw. eine Aufsicht des in Fig. 14 dargestellten Bauteils 700. Ebenfalls dargestellt ist jeweils eine Spannungsquelle 10, an welche das OLED-Bauteil 700 angeschlossen ist. Der in dieser Ausführungsform durch Variation der Schichtzusammensetzung und/oder der Schichtmorphologie realisierte Widerstandsverlauf der korrigierten HTL-Schicht 734 ist in Fig. 15 durch entsprechende Schraffuren angedeutet. Der Widerstand quer zur Schichtebene nimmt in diesem Ausführungsbeispiel von der Schichtmitte zum Rand hin im wesentlichen linear zu.

Fig. 17 zeigt eine besonders bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen OLED-Bauteils 900, welche eine spitzwinklige Bauform aufweist. Bei dem Bauteil 900 sind eine separate HTL-Schicht 930 und Widerstandsanpassungsschicht 964 vorgesehen. Abgesehen davon stellt das OLED-Bauteil 900 im wesentlichen ein Segment des in Fig. 14 bis 16 dargestellten runden OLED-Bauteils 700 dar. Dementsprechend umfasst das OLED-Bauteil 900 ein Substrat 910,

eine darauf angeordnete Anodenschicht 921 mit einer am Rand angeordneten Kontaktierungsfläche 951, sowie eine oberhalb der Widerstandsanpassungs-Schicht 964 und der HTL-Schicht 930 angeordnete EL-Schicht 940. Abgeschlossen wird die
5 Schichtfolge wiederum mit einer Kathodenschicht 922, welche in dieser Ausführungsform eine kleinflächige Kontaktierung 952 aufweist.

Analog zu dem in Fig. 1c dargestellten Ersatz-Widerstands-
10 netzwerk zeigt Fig. 18 ein Ersatz-Widerstandsnetzwerk für das in Fig. 17 dargestellte OLED-Bauteil 900, jedoch ohne Widerstandsanpassungs-Schicht 964.

Der lokale Querwiderstand durch die organischen Schichten
15 ergibt sich aus der Summe der Querwiderstände durch die HTL- und die EL-Schicht entsprechend obiger Gleichung (2), wobei der Widerstandswert der EL-Schicht wiederum von der durchfließenden Stromstärke I_i abhängt. Zusammen mit den Schichtwiderständen A_i der Anodenschicht und K_i der
20 Kathodenschicht und ausgehend von der angelegten Spannung U_0 und dem Gesamtstrom I_0 lassen sich die Stromstärken I_i in den einzelnen Zweigen und die resultierenden Potentialdifferenzen zwischen den Elektroden-schichten iterativ berechnen.

25 Die Rechnungen ergeben zur Erzielung einer homogenen Leuchtdichte-verteilung dieses Bauteils eine lineare oder näherungsweise lineare Abnahme der in Fig. 19 dargestellten Korrekturwiderstände R_i^K ($i = 1, \dots, n$) mit steigendem i .

30 Da der Widerstandsverlauf der Widerstandsanpassungs-Schicht für eine homogene Leuchtdichte-verteilung des OLED-Bauteils unabhängig von der Stromstärke ist, wie beispielsweise in Fig. 7b dargestellt, sieht die Erfindung besonders

vorteilhaft ein vorkorrigiertes Substrat vor, welches mit einer Widerstandsanpassungs-Schicht beschichtet ist.

Verschiedene Ausführungsformen eines solchen erfindungs-
5 gemäßen Substrates sind in den Fig. 20 bis 23 dargestellt.
Die dargestellten Substrate 802, 804, 806 und 808 umfassen
jeweils ein Substrat 810 mit einer darauf aufgebracht
Elektrodenschicht 821, welche vorzugsweise als ITO-Schicht
ausgebildet ist und Kontaktierungsflächen 851 und 852
10 aufweist.

Das Substrat 802 weist eine Widerstandsanpassungs-Schicht
862 auf, welche in der Schichtdicke entlang der
Schichtebene variiert und vorzugsweise ebenfalls als
15 transparente ITO-Schicht ausgebildet ist. Die
Widerstandsanpassungs-Schicht 862 kann wie in Fig. 20
dargestellt zusätzlich beispielsweise mit einer HTL-Schicht
830 beschichtet sein, welche vorteilhaft als PEDOT-Schicht
ausgebildet sein kann.

20 Bei der in Fig. 21 dargestellten Ausführungsform ist die
Widerstandsanpassungs-Schicht 864 derart ausgebildet, dass
die Widerstandsvariation entlang der Schichtebene durch
eine Variation der Schichtzusammensetzung und/oder der
25 Schichtmorphologie und/oder der Dichte der Schicht bei
gleichbleibender Schichtdicke realisiert ist. Auch in
diesem Ausführungsbeispiel ist eine HTL-Schicht 830
vorgesehen.

30 Die Widerstandsanpassungs-Schicht kann auch vorteilhaft in
die beispielsweise als PEDOT-Schicht ausgebildete HTL-
Beschichtung integriert werden. Entsprechende Ausführungs-
formen eines erfindungsgemäßen beschichteten Substrats 806
bzw 808 sind in den Fig. 22 bzw. 23 dargestellt. Das
35 Substrat 806 umfasst eine durch Variation der Schichtdicke

vorkorrigierte HTL-Schicht 832, das Substrat 808 eine durch Variation beispielsweise der Schichtmorphologie vorkorrigierte HTL-Schicht 834.

5 Vorteilhaft ist die Widerstandsanpassungs-Schicht 862 bzw. 864 bzw. die vorkorrigierte HTL-Schicht 832 bzw. 834 derart ausgebildet, dass diese nicht durch nachfolgende Reinigungsvorgänge beeinträchtigt wird und im wesentlichen gegen Lösungsmittel weiterer Flüssigbeschichtungen
10 resistent ist. Ferner ist die Widerstandsanpassungs-Schicht vorteilhaft vakuumfest und weitgehend optisch inaktiv bezüglich Interferenzen oder Absorption ausgebildet.

Ein Beispiel einer ovalen Bauform ist in Fig. 24 und 25
15 dargestellt. Das in den Fig. 24 und 25 jeweils schematisch als Querschnittsansicht bzw. als Aufsicht dargestellte elliptische OLED-Bauteil umfasst ein Substrat 710, auf welchem eine Anodenschicht 721 angeordnet ist, an deren Rand eine Kontaktfläche 751 vorgesehen ist. Auf der
20 Anodenschicht 721 sind eine korrigierte HTL-Schicht 734 und eine EL-Schicht 740 angeordnet. Abgeschlossen wird die Schichtfolge durch die Kathodenschicht 722. Die Kathodenschicht 722 des Bauteils weist zwei jeweils in den Brennpunkten der Ellipse angeordnete Kontaktflächen 752
25 auf. Die im wesentlichen punktförmigen bzw. kleinflächigen Kontaktflächen 752 vereinfachen die Kontaktierung des Bauteils.

30

Bezugszeichenliste:

	10	Spannungsquelle
	20	Anschlussleitung
5	100	OLED-Bauteil
	110	Substrat
	121, 122	Elektrodenschicht
	130	Lochleiterschicht
	140	Elektrolumineszenzschicht
10	151 - 154	Kontaktierungen
	202 - 208	Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen OLED-Bauteils mit rechteckiger Bauform
	210	Substrat
	221, 222	Elektrodenschicht
15	230	Lochleiterschicht
	232, 234	Korrigierte Lochleiterschicht
	240	Elektrolumineszenzschicht
	251 - 254	Kontaktierungen
	262, 264	Widerstandsanpassungs-Schicht
20	310	Potentialverlauf entlang der Anodenschicht für unkorrigiertes Bauteil
	320	Potentialverlauf entlang der Kathodenschicht für unkorrigiertes Bauteil
	330	Verlauf der Stromstärke quer zur Schichtebene in Abhängigkeit der Position entlang der
25		Elektrodenschichten für unkorrigiertes Bauteil
	370	Leuchtdichteverläufe für um $\pm 5\%$ gestörte Korrekturwiderstandswerte bzw. OLED-Kennlinien
	380	Mittelwert der gestörten Leuchtdichteverläufe
30	390	Statistischer Mittelwert
	410	Potentialverlauf entlang der Anodenschicht für korrigiertes Bauteil
	420	Potentialverlauf entlang der Kathodenschicht für korrigiertes Bauteil

	430	Verlauf der Stromstärke quer zur Schichtebene in Abhängigkeit der Position entlang der Elektroden-schichten für korrigiertes Bauteil
	502	Potentialverlauf für korrigiertes Bauteil bei
5		einer Stromstärke von 50 mA
	504	Potentialverlauf für korrigiertes Bauteil bei
		einer Stromstärke von 100 mA
	506	Potentialverlauf für korrigiertes Bauteil bei
		einer Stromstärke von 200 mA
10	508	Potentialverlauf für korrigiertes Bauteil bei
		einer Stromstärke von 500 mA
	512	Leuchtstärkeverlauf für korrigiertes Bauteil
		bei einer Stromstärke von 50 mA
	514	Leuchtstärkeverlauf für korrigiertes Bauteil
15		bei einer Stromstärke von 100 mA
	516	Leuchtstärkeverlauf für korrigiertes Bauteil
		bei einer Stromstärke von 200 mA
	518	Leuchtstärkeverlauf für korrigiertes Bauteil
		bei einer Stromstärke von 500 mA
20	600	OLED-Bauteil mit runder Bauform
	610	Substrat
	621, 622	Elektroden-schicht
	634	Korrigierte Lochleiterschicht
	640	Elektrolumineszenzschicht
25	651, 652	Kontaktierungen
	700	OLED-Bauteil mit runder Bauform
	710	Substrat
	721, 722	Elektroden-schicht
	734	Korrigierte Lochleiterschicht
30	740	Elektrolumineszenzschicht
	751, 752	Kontaktierungen
	802 - 808	Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen beschichteten Substrats mit rechteckiger Bauform

	810	Substrat
	821	Elektrodenschicht
	830	Lochleiterschicht
	832, 834	Korrigierte Lochleiterschicht
5	851, 852	Kontaktierungen
	862, 864	Widerstandsanpassungs-Schicht
	900	OLED-Bauteil mit spitzwinkligem Querschnitt
	910	Substrat
	921, 922	Elektrodenschicht
10	930	Lochleiterschicht
	964	Widerstandsanpassungs-Schicht
	940	Elektrolumineszenzschicht
	951, 952	Kontaktierungen
	$A_0 - A_n$	Anodenwiderstände
15	$K_0 - K_n$	Kathodenwiderstände
	$R_1 - R_n$	Lokale Schichtwiderstände
	$I_1 - I_n$	Lokale Stromstärken
	$R_{HTL,1} - R_{HTL,n}$	Lokale Widerstände der Lochleiterschicht
	$R_{EL,1} - R_{EL,n}$	Lokale Widerstände der Elektrolumineszenz-
20		schicht
	U_0	Zwischen Anode und Kathode angelegte Spannung
	I_0	Gesamtstromstärke durch das Bauteil
	$R_1^K - R_n^K$	Lokale Widerstände der Widerstandsanpassungs-
		schicht

25

Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines elektro-optischen Elements, umfassend die Schritte
5 - Bereitstellen eines Substrats,
 - Aufbringen einer ersten Elektrodenschicht,
 - Aufbringen zumindest einer Funktionsschicht, welche insbesondere zumindest ein elektro-optisch einsetzbares Material aufweist,
10 - Aufbringen einer zweiten Elektrodenschicht, gekennzeichnet durch den Schritt des
 - Aufbringens zumindest einer Widerstandsanpassungsschicht, welche einen elektrischen Widerstand senkrecht zur Schichtebene aufweist, der in zumindest
15 einer horizontalen Richtung entlang der Schichtebene variiert.
2. Verfahren nach Anspruch 1 zur Herstellung eines organischen, elektro-optischen Elements, insbesondere
20 einer organischen, lichtemittierenden Diode, wobei das Aufbringen zumindest einer Funktionsschicht das Aufbringen zumindest einer Schicht umfasst, welche zumindest ein organisches, elektro-optisches Material aufweist.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 zur Herstellung eines elektrochromen Elements, wobei das Aufbringen zumindest einer Funktionsschicht das Aufbringen zumindest einer elektrochromen Schicht umfasst.
- 30 4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die elektrochrome Schicht WO_x , NiO_x , VO_x und/oder NbO_x aufweist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Aufbringen der zumindest einen Funktionsschicht das Aufbringen zumindest einer photovoltaischen Schicht umfasst.
- 5 6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die zumindest eine Funktionsschicht zumindest eine dotierte Halbleiterschicht, insbesondere ein Doppelschichtsystem mit einer p-dotierten und einer n-dotierten Halbleiterschicht, umfasst.
- 10 7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, weiterhin umfassend das Aufbringen von Kontaktflächen in den Randbereichen der ersten und der zweiten Elektrodenschicht zum Anlegen oder Abgreifen einer elektrischen Spannung zwischen der ersten und der
- 15 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Schritte:
- 20 - Vorgeben einer Funktionalitätsverteilung zumindest einer Fläche des elektro-optischen Elementes,
- Vorgeben einer Betriebsspannung des elektro-optischen Elementes und
- Aufbringen der zumindest einen Widerstands-
- 25 anpassungs-Schicht, so dass die zumindest eine Fläche des elektro-optischen Elements bei Anlegen einer Spannung mit dem Wert der vorgegebenen Betriebsspannung $\pm 10\%$ zwischen der ersten und der zweiten Elektrodenschicht im wesentlichen die
- 30 vorgegebene Funktionalitätsverteilung aufweist.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch das Aufbringen der zumindest einen Widerstandsanpassungs-Schicht, so dass die

Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche des elektro-optischen Elementes eine im wesentlichen uniforme Funktionalitätsverteilung aufweist.

- 5 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Funktionalitätsverteilung eine Leuchtdichte-verteilung ist.
- 10 11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene an zumindest einem Punkt der Schichtebene minimal ist und in zumindest einer horizontalen Richtung von dem zumindest einen Punkt zum Rand der Schicht hin im wesentlichen zunimmt.
- 15 12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene an zumindest einem Punkt der Schichtebene minimal ist und in zumindest einer horizontalen Richtung von dem zumindest einen Punkt zum Rand der Schicht hin im wesentlichen quadratisch mit dem Abstand von dem zumindest einen Punkt zunimmt.
- 20 13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene in zumindest einer horizontalen Richtung entlang der Schichtebene einen Verlauf aufweist, der im wesentlichen proportional zu $\frac{m \cdot A + (2-m) \cdot K}{2} \cdot r^n$ ist, mit
- 25 A: Uniformer Flächenwiderstand der als Anode vorgesehenen Elektroden-schicht,
K: Uniformer Flächenwiderstand der als Kathode vorgesehenen Elektroden-schicht,
r: Abstand entlang der Schichtebene zu einem ausge-
- 30

- zeichneten Punkt oder einer ausgezeichneten Kurve
 in der Schichtebene, wobei in dem ausgezeichneten
 Punkt beziehungsweise entlang der ausgezeichneten
 Kurve der Widerstand der Widerstandsanpassungs-
 5 Schicht senkrecht zur Schichtebene minimal ist,
 n: Exponent mit $n > 0$, insbesondere mit $n = 2$,
 m: Relative Gewichtung der Elektrodenwiderstände,
 insbesondere mit $m = 1$.
- 10 14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
 der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht
 senkrecht zur Schichtebene in zumindest einer
 horizontalen Richtung entlang der Schichtebene einen
 Verlauf aufweist, der im wesentlichen durch die
 15 Gleichung
$$R(r) = C_1 \cdot \frac{m \cdot A + (2 - m) \cdot K}{2} \cdot r^n + C_2$$

 beschrieben wird, mit
 R: Lokaler elektrischer Widerstand der Wider-
 standsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schicht-
 ebene,
 20 A: Uniformer Flächenwiderstand der als Anode
 vorgesehenen Elektroden-schicht,
 K: Uniformer Flächenwiderstand der als Kathode
 vorgesehenen Elektroden-schicht,
 r: Abstand entlang der Schichtebene zu einem aus-
 25 gezeichneten Punkt oder einer ausgezeichneten
 Kurve in der Schichtebene, wobei in dem ausge-
 zeichneten Punkt beziehungsweise entlang der
 ausgezeichneten Kurve der Widerstand der Wider-
 standsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schicht-
 30 ebene minimal ist,
 C_1, C_2 : Vom Abstand r unabhängige Konstanten,
 n: Exponent mit $n > 0$, insbesondere mit $n = 2$,
 m: Relative Gewichtung der Elektrodenwiderstände,
 insbesondere mit $m = 1$.

15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
das Aufbringen der zumindest einen Widerstands-
anpassungs-Schicht das Auftragen eines fluiden
5 Beschichtungsmaterials umfaßt.
16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Auftragen des
fluiden Beschichtungsmaterials mittels Spin-Coating
oder Tauchbeschichten erfolgt.
- 10 17. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Auftragen des
fluiden Beschichtungsmaterials zumindest einen der
Schritte
- Bedrucken mittels eines rechnergesteuerten
15 Druckkopfes, insbesondere mittels eines Inkjet-
Druckkopfes,
- Bedrucken durch Flexodruck oder Gravurdruck,
- Bedrucken durch Siebdruck oder
- Besprühen durch eine Maske
20 umfaßt.
18. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
das Aufbringen der zumindest einen Widerstands-
anpassungs-Schicht das Abscheiden einer Schicht durch
25 physikalische Dampfphasenabscheidung, insbesondere
durch Aufdampfen oder Sputtern, oder durch chemische
Dampfphasenabscheidung, insbesondere plasmainduzierte
chemische Dampfphasenabscheidung, umfaßt.
- 30 19. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
das Aufbringen der zumindest einen Widerstands-
anpassungs-Schicht das Aufbringen von Schichtbereichen
mit unterschiedlicher Schichtdicke und/oder
unterschiedlicher Schichtzusammensetzung und/oder
35 unterschiedlicher Schichtmorphologie umfaßt.

20. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
das Aufbringen der zumindest einen Widerstands-
anpassungs-Schicht das Aufbringen zumindest eines der
5 Materialien ITO, SnO_x, InO_x, ZnO_x, TiO_x, a:C-H,
dotiertes Si, PEDOT, PEDOT/PSS, PANI, Antrazen, Alq₃,
TDP, CuPu oder NPD umfasst.
21. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
10 die zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht als
Lochleiterschicht aufgebracht wird.
22. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
15 die erste und die zweite Elektrodenschicht
unterschiedliche Austrittsarbeiten aufweisen.
23. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei das Aufbringen der ersten und/oder der zweiten
Elektrodenschicht das Aufbringen einer zumindest
20 teilweise transparenten, elektrisch leitfähigen
Schicht umfasst, die insbesondere Indium-Zinn-Oxid
aufweist.
24. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
25 wobei das Aufbringen der ersten und/oder der zweiten
Elektrodenschicht das Aufbringen einer Metallschicht
umfasst.
25. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
30 gekennzeichnet durch den Schritt des Aufbringens
zumindest einer Lochinjektionsschicht und/oder einer
Elektronenblockerschicht und/oder einer
Lochblockerschicht und/oder einer
Elektronleiterschicht und/oder einer Lochleiterschicht
35 und/oder einer Elektroneninjektionsschicht.

26. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch den Schritt des Aufbringens
zumindest einer Ionenleiterschicht und/oder einer
5 Ionenspeicherschicht.
27. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch das Aufbringen einer
Lichtabsorptionsschicht, insbesondere einer
10 farbneutralen Lichtabsorptionsschicht, mit horizontal
entlang der Schichtebene variierenden
Lichtabsorptionseigenschaften.
28. Verfahren nach Anspruch 27, wobei das Aufbringen der
15 Lichtabsorptionsschicht folgende Schritte umfasst:
- Aufbringen einer photosensitiven Schicht,
- Belichten der photosensitiven Schicht,
- Entwickeln der photosensitiven Schicht.
- 20 29. Verfahren nach Anspruch 27, wobei das elektro-optische
Element als lichtemittierendes Element ausgebildet ist
und das Belichten der photosensitiven Schicht durch
Einschalten des elektro-optischen Elementes für eine
vorgegebene Zeitdauer erfolgt, wobei das Einschalten
25 durch Anlegen einer vorgegebenen Spannung zwischen der
ersten und der zweiten Elektroden-schicht erfolgt.
30. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch den Schritt des Aufbringens einer
30 zumindest teilweise spiegelnden Schicht oder eines
zumindest teilweise spiegelnden Schichtsystems.
31. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch den Schritt des Aufbringens einer

zumindest teilweise entspiegelnden Schicht oder eines
zumindest teilweise entspiegelnden Schichtsystems.

32. Elektro-optisches Element, insbesondere hergestellt
5 mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 31,
umfassend
- ein Substrat,
- eine erste Elektrodenschicht,
- zumindest eine Funktionsschicht und
10 - eine zweite Elektrodenschicht,
gekennzeichnet durch
- zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht, welche
einen elektrischen Widerstand senkrecht zur
Schichtebene aufweist, der in zumindest einer
15 horizontalen Richtung entlang der Schichtebene
variiert.
33. Element nach Anspruch 32, welches als organisches
elektro-optisches Element, insbesondere als
20 organische, lichtemittierende Diode, ausgebildet ist,
wobei die Funktionsschicht zumindest ein organisches,
elektro-optisches Material aufweist.
34. Element nach Anspruch 32, ausgebildet als
25 elektrochromes Element, wobei die zumindest eine
Funktionsschicht zumindest eine elektrochrome Schicht
umfasst.
35. Element nach Anspruch 34, wobei die elektrochrome
30 Schicht WO_x , NiO_x , VO_x und/oder NbO_x aufweist.
36. Element nach Anspruch 32, wobei die zumindest eine
Funktionsschicht zumindest eine photovoltaische
Schicht umfasst.

37. Element nach Anspruch 32, wobei die zumindest eine Funktionsschicht zumindest eine dotierte Halbleiterschicht, insbesondere ein Doppelschichtsystem mit einer p-dotierten und einer n-dotierten Halbleiterschicht, umfasst.
38. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die erste und/oder zweite Elektrodenschicht in den Randbereichen eine Kontaktfläche zum Anlegen oder Abgreifen einer elektrischen Spannung aufweist.
39. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche des Elementes bei Anlegen einer Spannung mit dem Wert einer vorgegebenen Betriebsspannung $\pm 10\%$ zwischen der ersten und der zweiten Elektrodenschicht im wesentlichen eine vorgegebene Funktionalitätsverteilung aufweist.
40. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche des Elementes eine im wesentlichen uniforme Funktionalitätsverteilung aufweist.
41. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Funktionalitätsverteilung eine Leuchtdichteverteilung ist.
42. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene an zumindest einem Punkt der Schichtebene minimal ist und in zumindest einer

horizontalen Richtung von dem zumindest einen Punkt zum Rand der Schicht hin im wesentlichen zunimmt.

43. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
 5 der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene an zumindest einem Punkt der Schichtebene minimal ist und in zumindest einer horizontalen Richtung von dem zumindest einen Punkt zum Rand der Schicht hin im wesentlichen quadratisch
 10 mit dem Abstand von dem zumindest einen Punkt zunimmt.

44. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
 der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene in zumindest einer
 15 horizontalen Richtung entlang der Schichtebene einen Verlauf aufweist, der im wesentlichen proportional zu

$$\frac{m \cdot A + (2 - m) \cdot K}{2} \cdot r^n$$
 ist, mit

A: Uniformer Flächenwiderstand der als Anode vorgesehenen Elektrodenschicht,

20 K: Uniformer Flächenwiderstand der als Kathode vorgesehenen Elektrodenschicht,

r: Abstand entlang der Schichtebene zu einem ausgezeichneten Punkt oder einer ausgezeichneten Kurve in der Schichtebene, wobei in dem ausgezeichneten
 25 Punkt beziehungsweise entlang der ausgezeichneten Kurve der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene minimal ist,

n: Exponent mit $n > 0$, insbesondere mit $n = 2$,

m: Relative Gewichtung der Elektrodenwiderstände,
 30 insbesondere mit $m=1$.

45. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
 der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene in zumindest einer

horizontalen Richtung entlang der Schichtebene einen Verlauf aufweist, der im wesentlichen durch die

$$\text{Gleichung } R(r) = C_1 \cdot \frac{m \cdot A + (2 - m) \cdot K}{2} \cdot r^n + C_2$$

beschrieben wird, mit

- 5 R: Lokaler elektrischer Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene,
- A: Uniformer Flächenwiderstand der als Anode vorgesehenen Elektroden-schicht,
- 10 K: Uniformer Flächenwiderstand der als Kathode vorgesehenen Elektroden-schicht,
- r: Abstand entlang der Schichtebene zu einem ausgezeichneten Punkt oder einer ausgezeichneten Kurve in der Schichtebene, wobei in dem ausgezeichneten Punkt beziehungsweise entlang der
- 15 ausgezeichneten Kurve der Widerstand der Widerstandsanpassungs-Schicht senkrecht zur Schichtebene minimal ist,
- C_1, C_2 : Vom Abstand r unabhängige Konstanten
- 20 n: Exponent mit $n > 0$, insbesondere mit $n = 2$,
- m: Relative Gewichtung der Elektrodenwiderstände, insbesondere mit $m=1$.

25 46. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht mittels eines fluiden Beschichtungsmaterials aufgebracht ist.

30 47. Element nach Anspruch 46, wobei die zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht mittels Spin-Coating oder Tauchbeschichten aufgebracht ist.

48. Element nach Anspruch 46, wobei die zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht durch

- Bedrucken mittels eines Inkjet- Druckkopfes,
 - Bedrucken durch Flexodruck oder Gravurdruck,
 - Bedrucken durch Siebdruck oder
 - Besprühen durch eine Maske
- 5 aufgebracht ist.

49. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht durch physikalische Dampfphasenabscheidung, insbesondere
10 durch Aufdampfen oder Sputtern, oder durch chemische Dampfphasenabscheidung, insbesondere plasmainduzierte chemische Dampfphasenabscheidung, aufgebracht ist.

50. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht
15 Schichtbereiche mit unterschiedlicher Schichtdicke und/oder unterschiedlicher Schichtzusammensetzung und/oder unterschiedlicher Schichtmorphologie aufweist.

20 51. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht zumindest eines der Materialien ITO, SnO_x, InO_x, ZnO_x, TiO_x, a:C-H, dotiertes Si, PEDOT, PEDOT/PSS, PANI,
25 Antrazen, Alq₃, TDP, CuPu oder NPD umfasst.

52. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die zumindest eine Widerstandsanpassungs-Schicht als Lochleiterschicht ausgebildet ist.

30 53. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die erste und die zweite Elektrodenschicht unterschiedliche Austrittsarbeiten aufweisen.

54. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die erste und/oder die zweite Elektrodenschicht zumindest teilweise transparent ist, und insbesondere Indium-Zinn-Oxid aufweist.
- 5
55. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die erste und/oder zweite Elektrodenschicht als Metallschicht ausgebildet ist.
- 10
56. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest eine Lochinjektionsschicht und/oder eine Elektronenblockerschicht und/oder eine Lochblockerschicht und/oder eine Elektronleiterschicht und/oder eine Lochleiterschicht und/oder eine Elektroneninjectionsschicht.
- 15
57. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest eine Ionenleiterschicht und/oder eine Ionenspeicherschicht.
- 20
58. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Lichtabsorptionsschicht, insbesondere eine farbneutrale Lichtabsorptionsschicht, mit horizontal entlang der Schichtebene variierenden Lichtabsorptionseigenschaften.
- 25
59. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine zumindest teilweise spiegelnde Schicht oder ein zumindest teilweise spiegelndes Schichtsystem.
- 30
60. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine zumindest teilweise

entspiegelnde Schicht oder ein zumindest teilweise entspiegelndes Schichtsystem.

- 5 61. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine im wesentlichen symmetrische, insbesondere rechteckige, runde oder ovale, Form der Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche.
- 10 62. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche mit freier, nicht symmetrischer Formgebung.
- 15 63. Element nach einem der Ansprüche 61 oder 62, gekennzeichnet durch eine Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche, welche zumindest einen spitzwinkligen Bereich umfasst.
- 20 64. Verfahren zur Herstellung eines beschichteten Substrats, umfassend die Schritte:
- Bereitstellen eines Substrats,
 - Aufbringen zumindest einer Elektrodenschicht,
 - Aufbringen zumindest einer Widerstandsanpassungs-
- 25 Schicht auf das Substrat, welche einen elektrischen Widerstand senkrecht zur Schichtebene aufweist, der in horizontaler Richtung entlang der Schichtebene variiert, wobei
- 30 zumindest eine Teilfläche der Elektrodenschicht als Kontaktfläche vorgesehen wird und der Widerstandsverlauf der Widerstandsanpassungs-Schicht vom Flächenwiderstand der Elektrodenschicht und von der Anordnung der zumindest einen Kontaktfläche abhängt.

65. Verfahren nach Anspruch 64, wobei das Aufbringen der
zumindest einen Elektrodenschicht das Aufbringen einer
zumindest teilweise transparenten, elektrisch
leitfähigen Schicht umfasst, die insbesondere Indium-
Zinn-Oxid aufweist.
66. Beschichtetes Substrat zur Herstellung eines elektro-
optischen Elementes, insbesondere hergestellt mit
einem Verfahren nach einem der Ansprüche 64 oder 65,
gekennzeichnet durch zumindest eine Elektrodenschicht
und eine Widerstandsanpassungs-Schicht, welche einen
elektrischen Widerstand senkrecht zur Schichtebene
aufweist, der in horizontaler Richtung entlang der
Schichtebene variiert.
67. Beschichtetes Substrat nach Anspruch 66, dadurch
gekennzeichnet, dass das Substrat Glas, insbesondere
Kalk-Natron Glas, eine Glaskeramik und/oder einen
Kunststoff, insbesondere einen barrierebeschichteten
Kunststoff, und/oder Kombinationen davon umfasst.
68. Beschichtetes Substrat nach einem der vorstehenden
Ansprüche, wobei die Elektrodenschicht zumindest
teilweise transparent ist, und insbesondere Indium-
Zinn-Oxid aufweist.
69. Verwendung eines Substrates gemäß einem der Ansprüche
66 bis 68 zur Herstellung eines elektro-optischen
Elementes, insbesondere eines Photovoltaik-Elementes,
eines photochromen Elementes, eines optoelektronischen
Sensors, einer OLED oder einer PLED.
70. Verwendung eines elektro-optischen Elements gemäß
einem der Ansprüche 32 bis 63
- als Leuchtmittel, oder

- als Beleuchtungsmittel, oder
- als Hinweis- oder Leuchttafel oder
- als variables Hinweisschild, oder
- als Schalter- oder Sensorbeleuchtung oder
- 5 - als hoch- oder niedrigauflösendes Display, oder
- als digitale Plakatwand oder Werbetafel oder
- in Leuchtböden oder Leuchttischen oder
- als Lichtfläche zur Ambientebeleuchtung oder
- zur Hintergrundbeleuchtung von Displays oder
- 10 - zur Spezialbeleuchtung, insbesondere in der
Mikroskopie,
- zur Signalgebung oder Beleuchtung, insbesondere im
Automobil-, Luftfahrt- Schifffahrts- oder
Haushaltsbereich,
- 15 - als Photovoltaik-Element,
- als optoelektronischen Sensor,
- als Flüssigkristall-Element,
- als elektrochromes Fensterelement, oder
- als elektrochromen Spiegel.
- 20

1/18

Fig. 1a
(Stand der Technik)

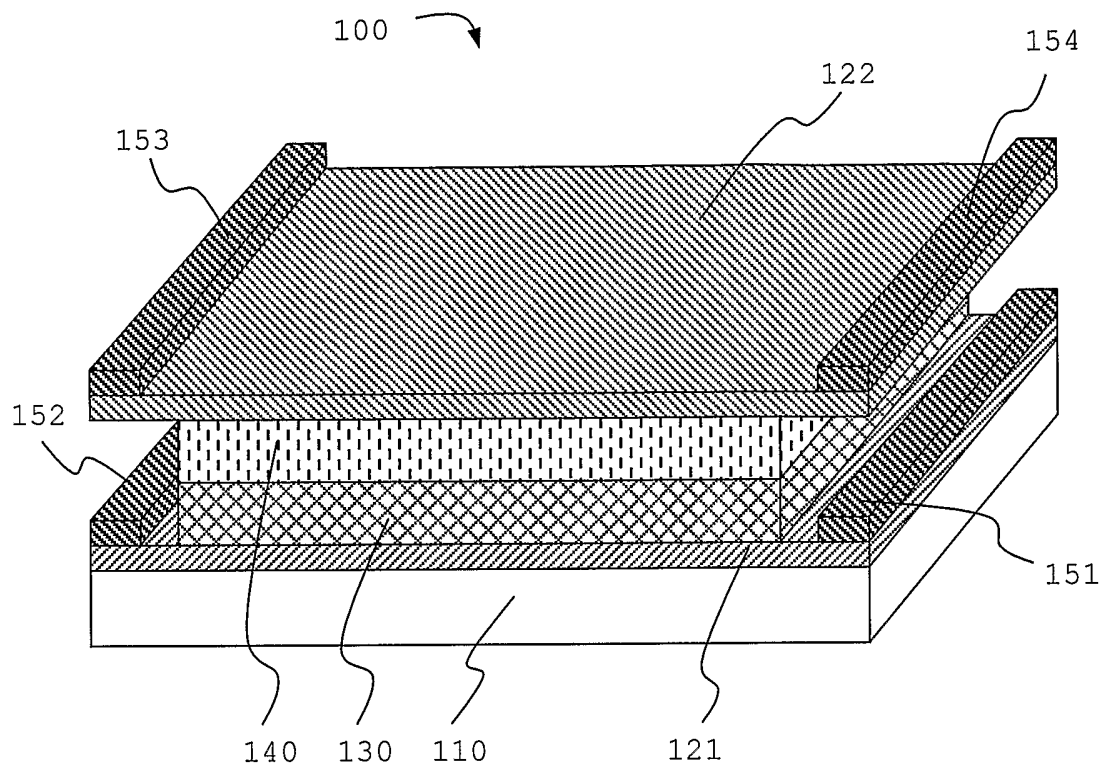


Fig. 1b

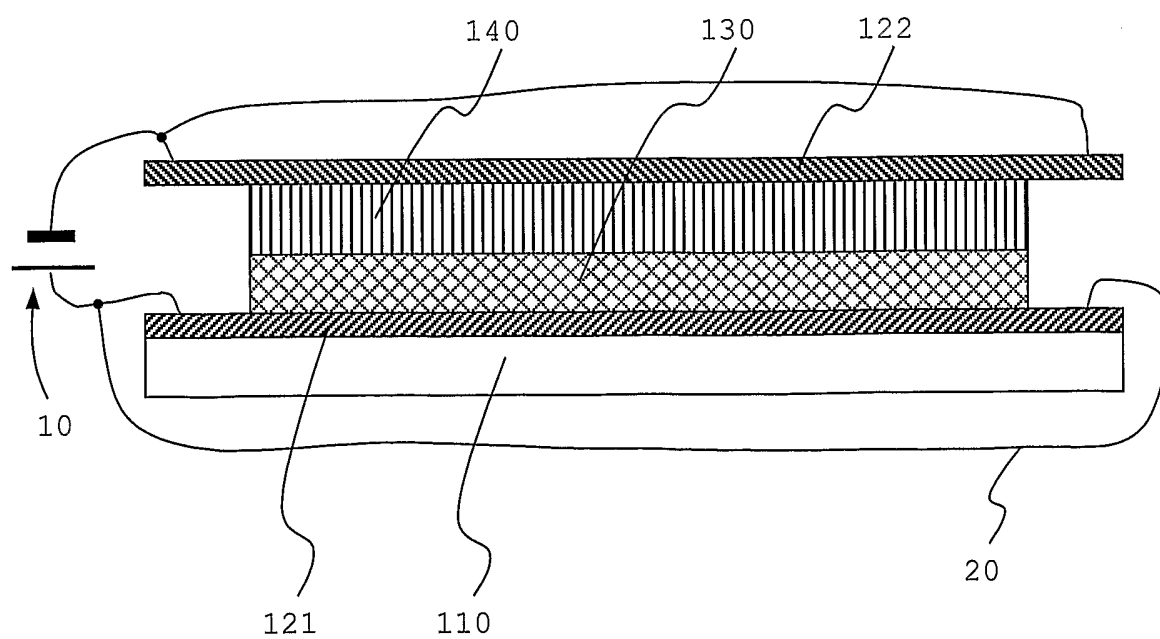


Fig. 1c

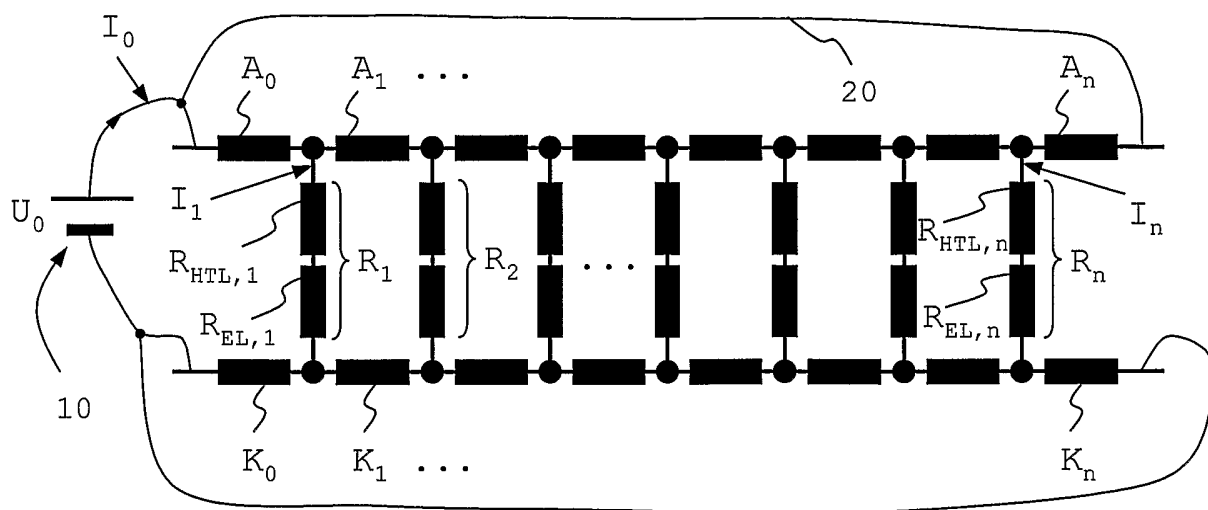


Fig. 2

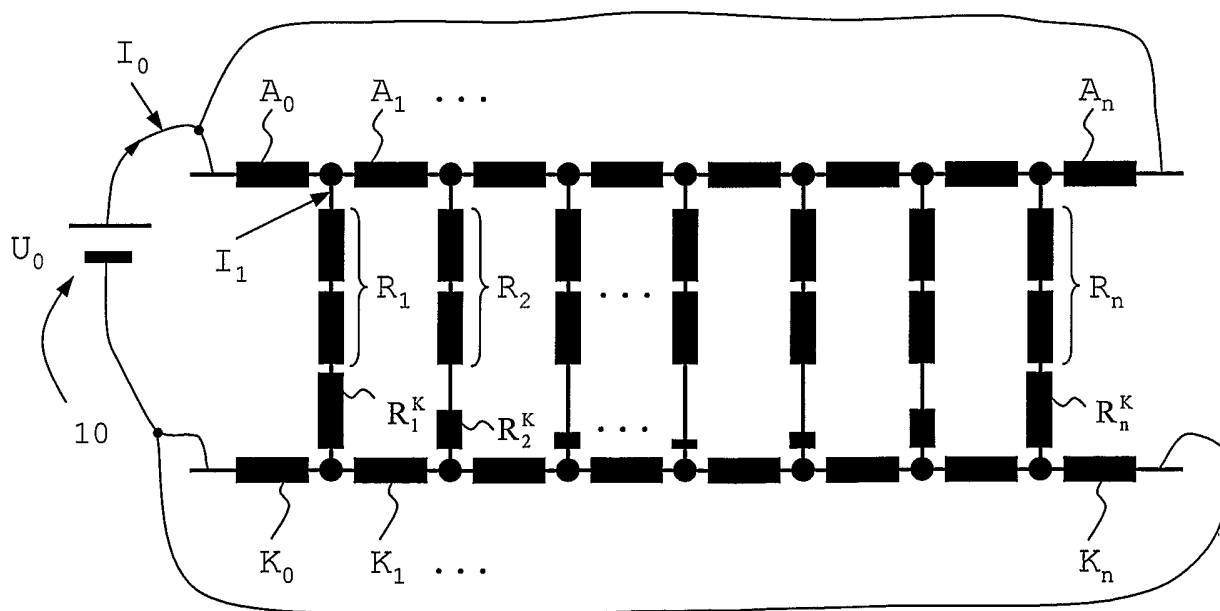


Fig. 3a

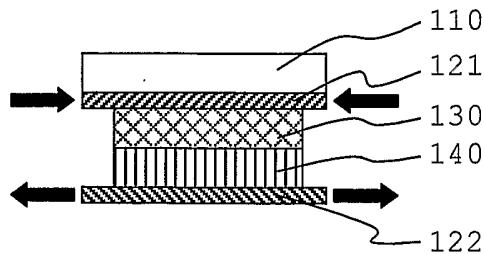


Fig. 3d

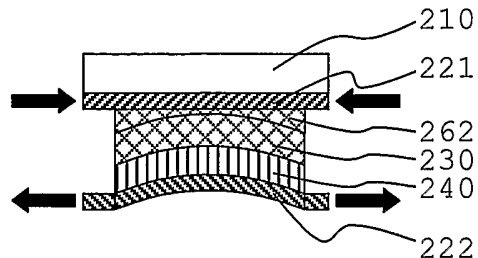


Fig. 3b

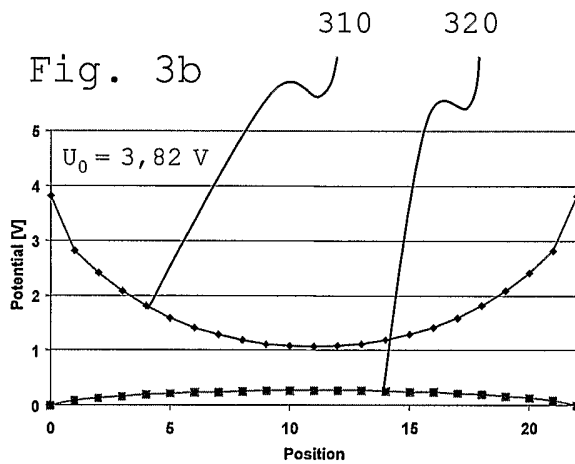


Fig. 3e

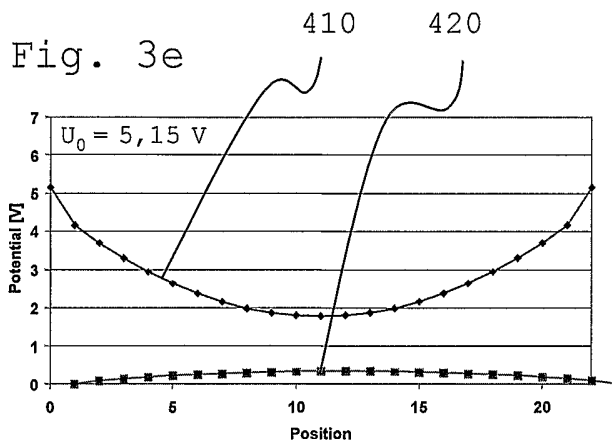


Fig. 3c

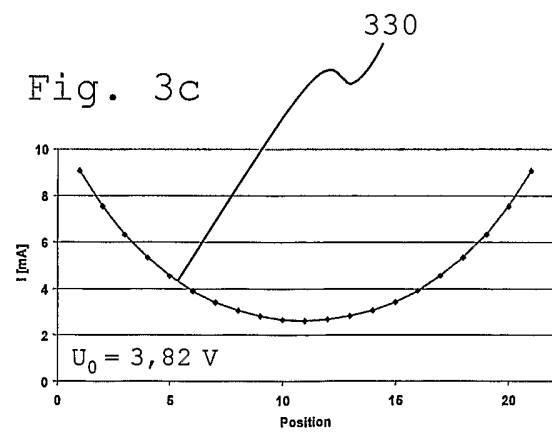


Fig. 3f

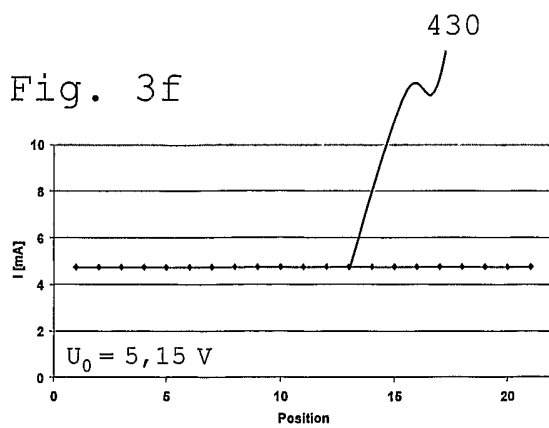


Fig. 4a

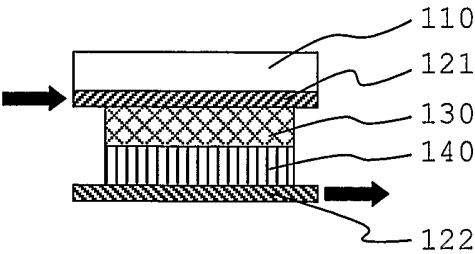


Fig. 4d

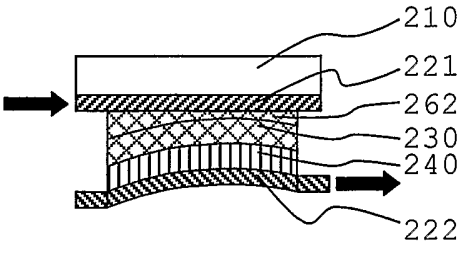


Fig. 4b

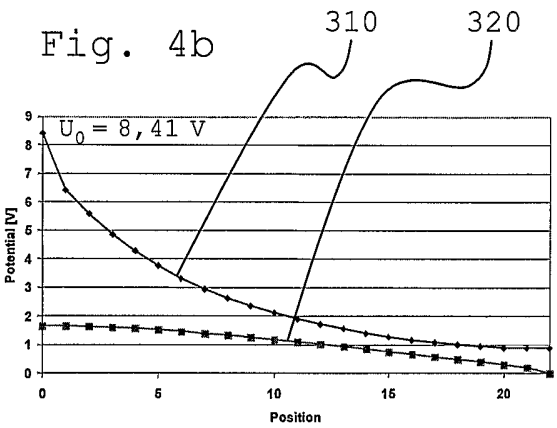


Fig. 4e

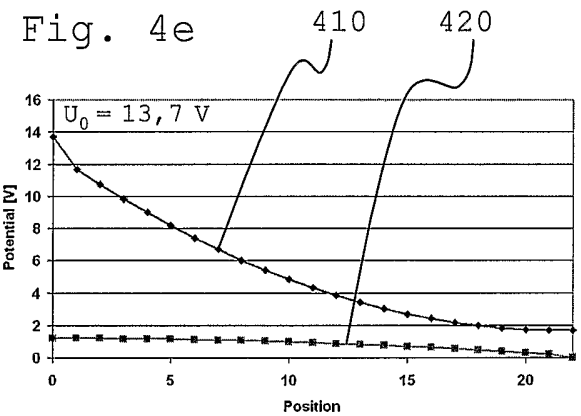


Fig. 4c

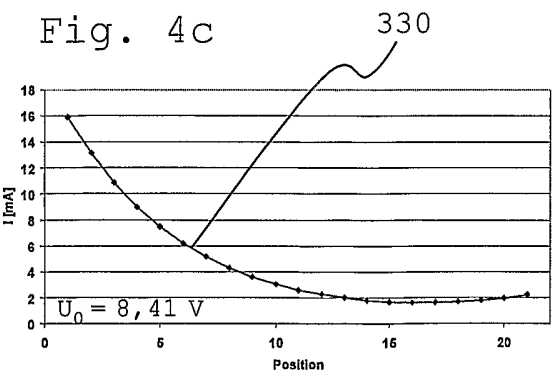


Fig. 4f

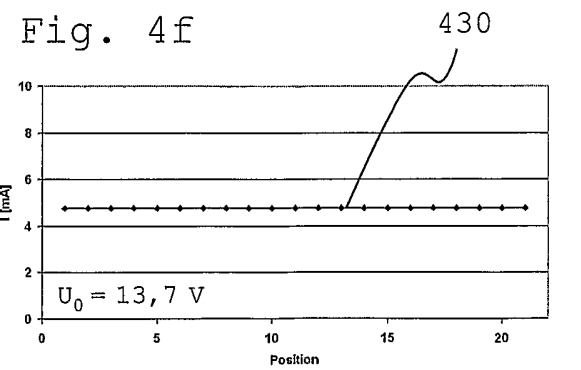


Fig. 5a

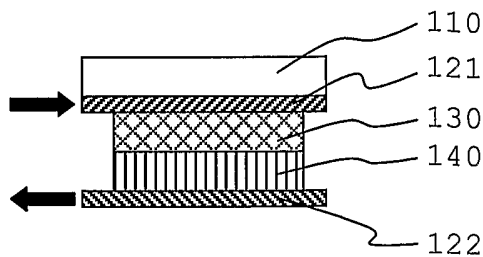


Fig. 5d

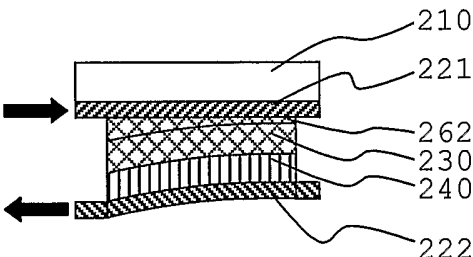


Fig. 5b

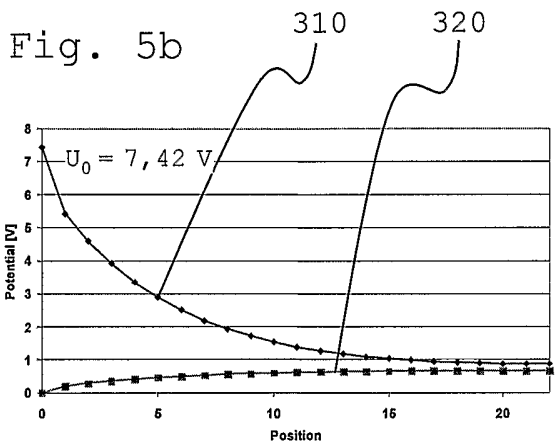


Fig. 5e

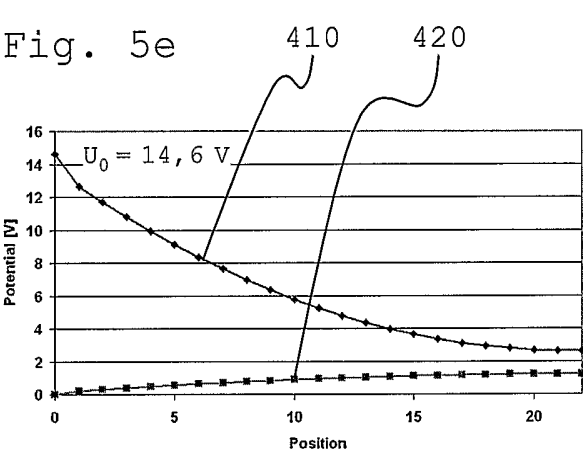


Fig. 5c

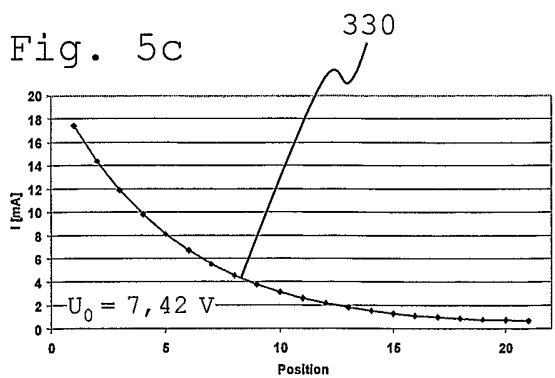


Fig. 5f

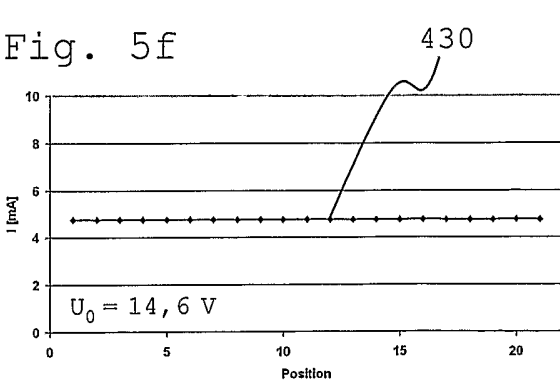


Fig. 6a

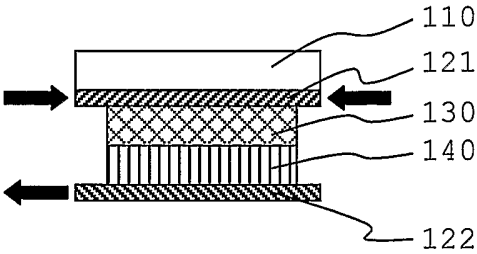
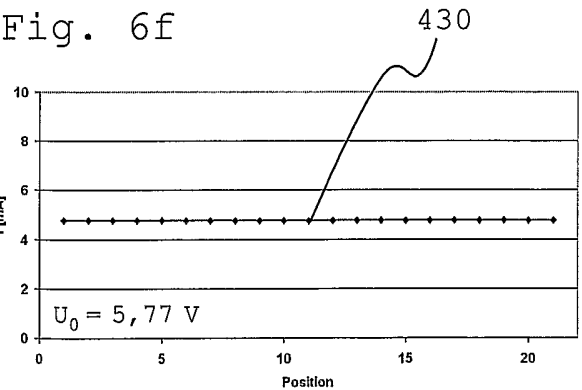
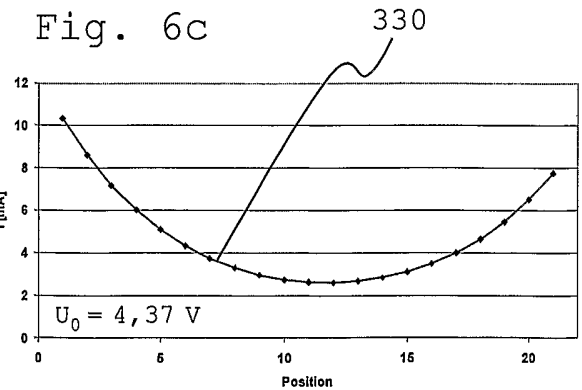
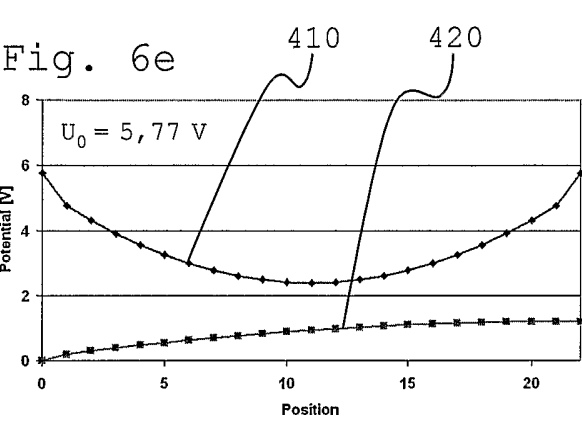
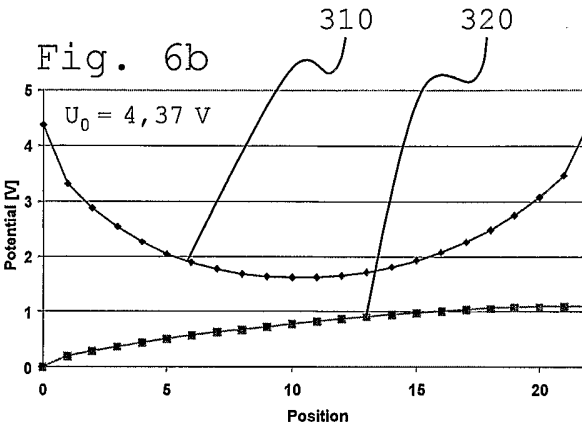
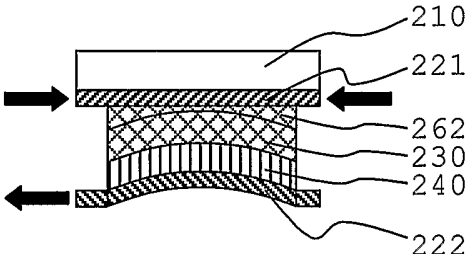


Fig. 6d



7/18

Fig. 7a

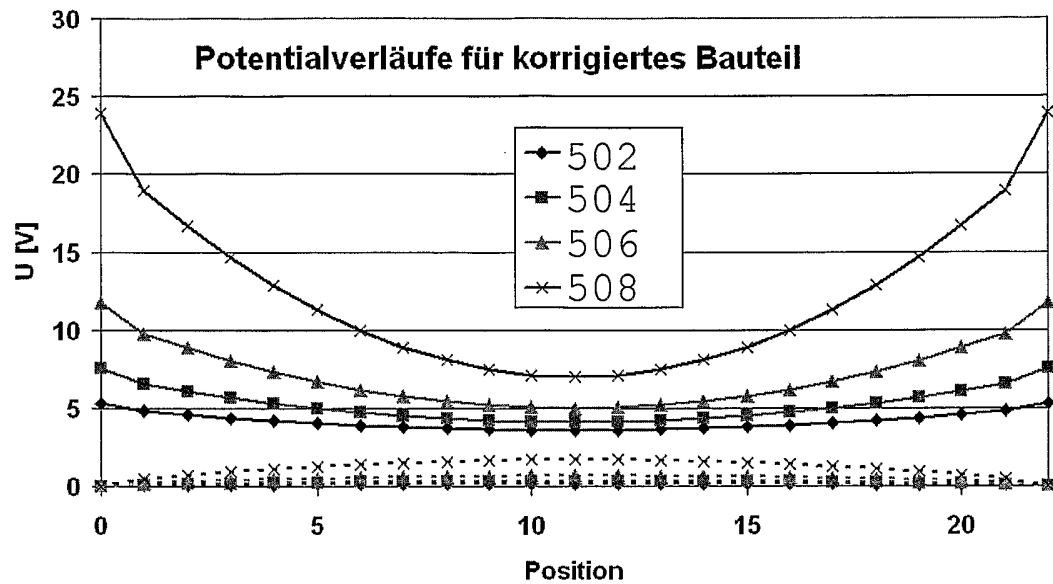


Fig. 7b

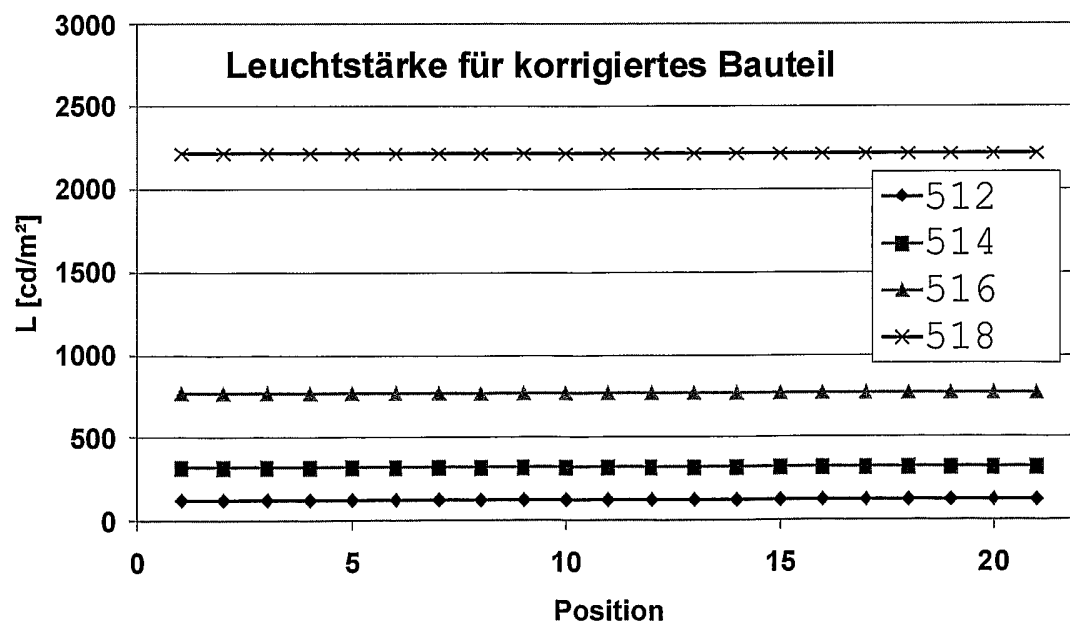
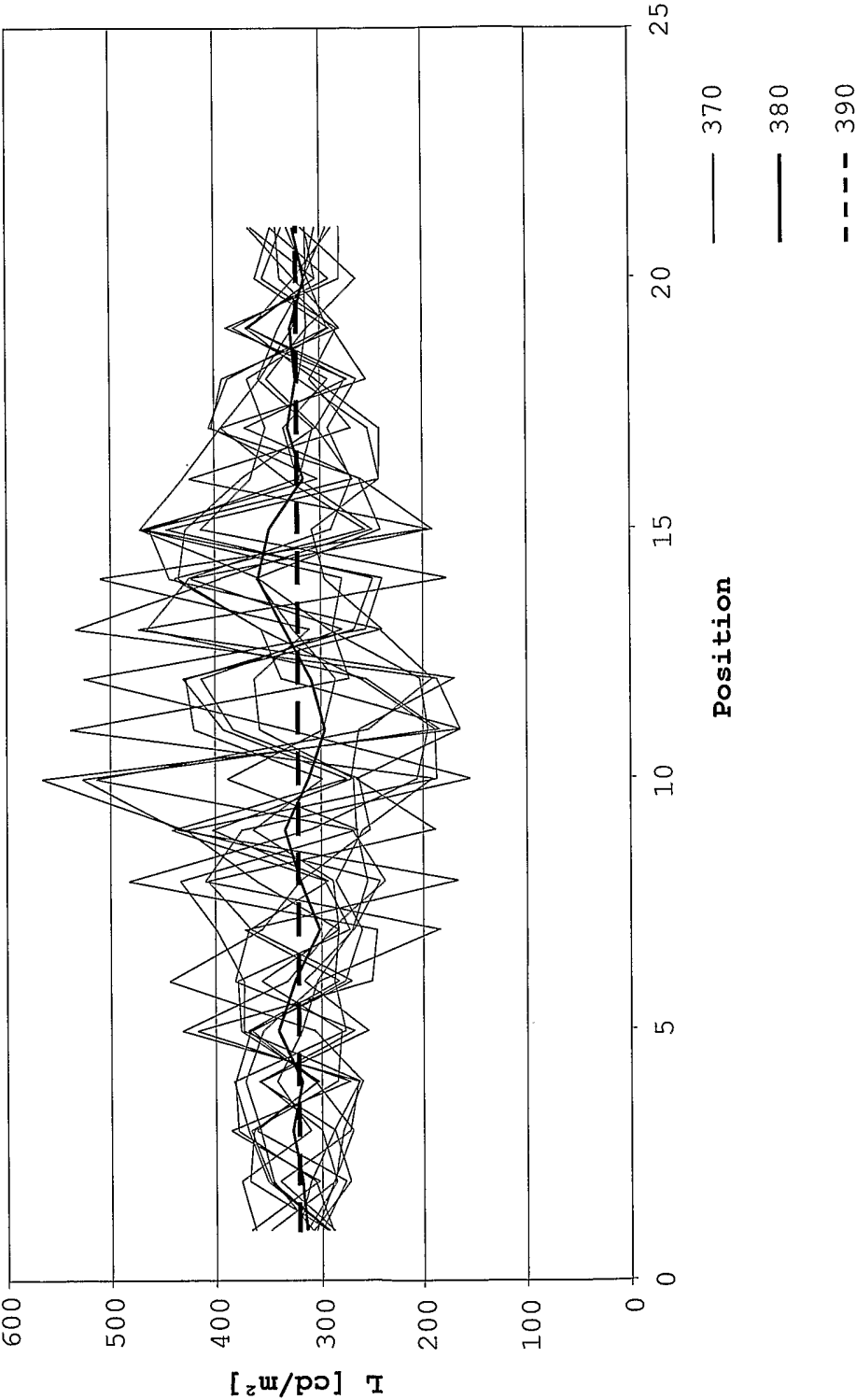


Fig. 8



9/18

Fig. 9

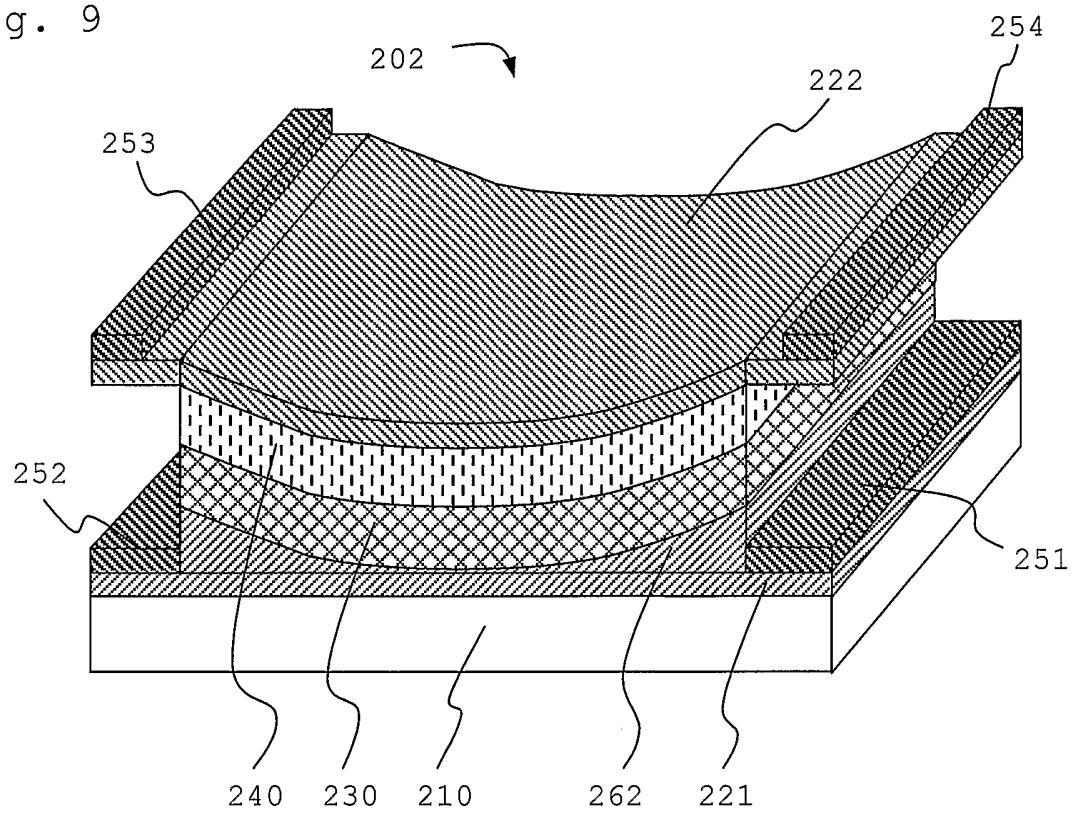
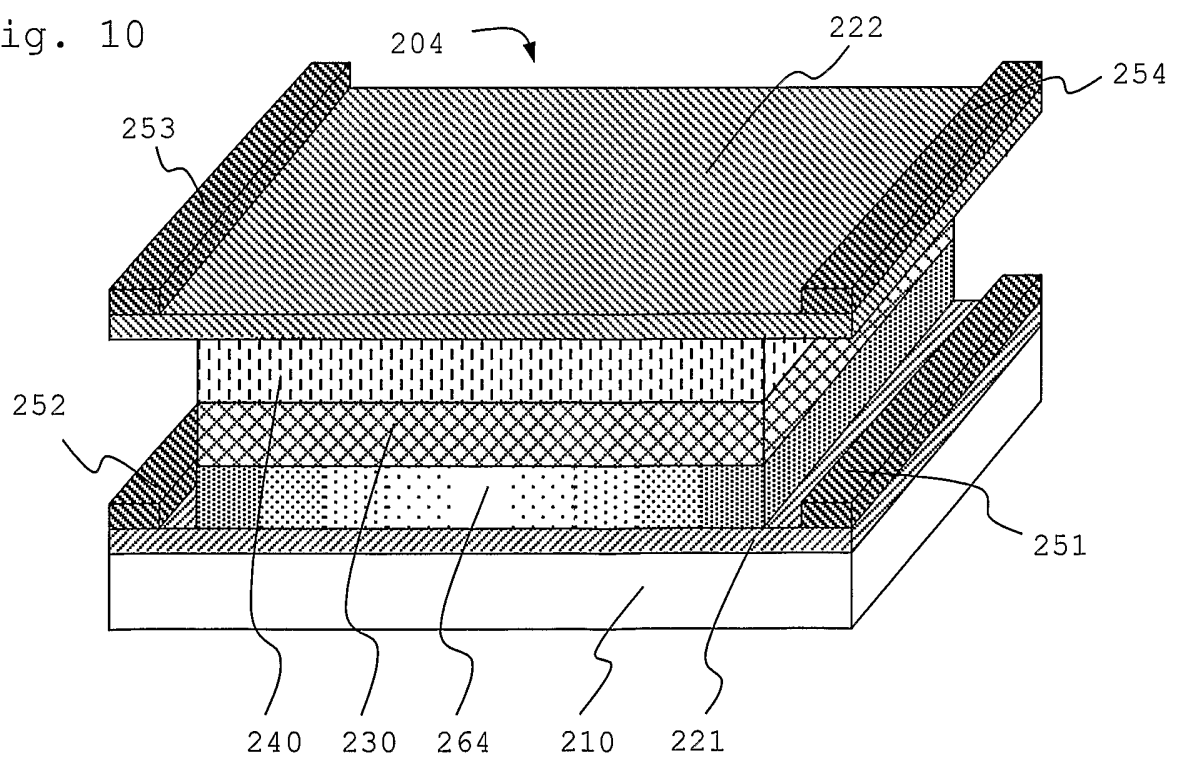


Fig. 10



10/18

Fig. 11

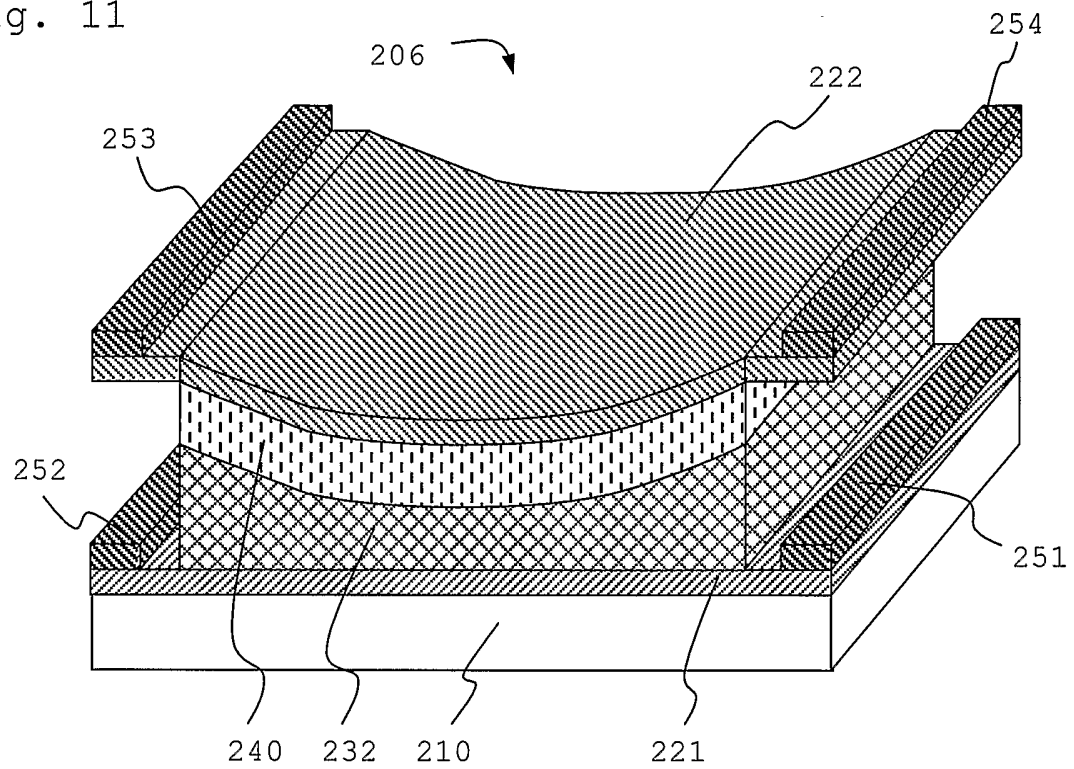
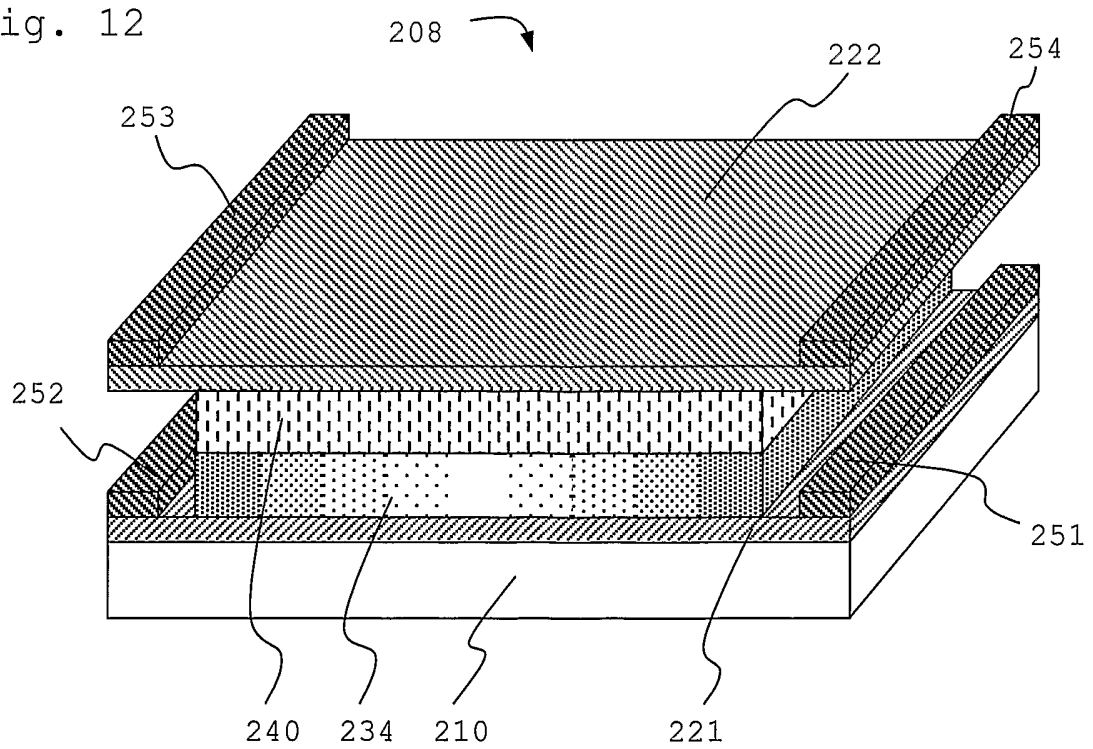


Fig. 12



11/18

Fig. 13

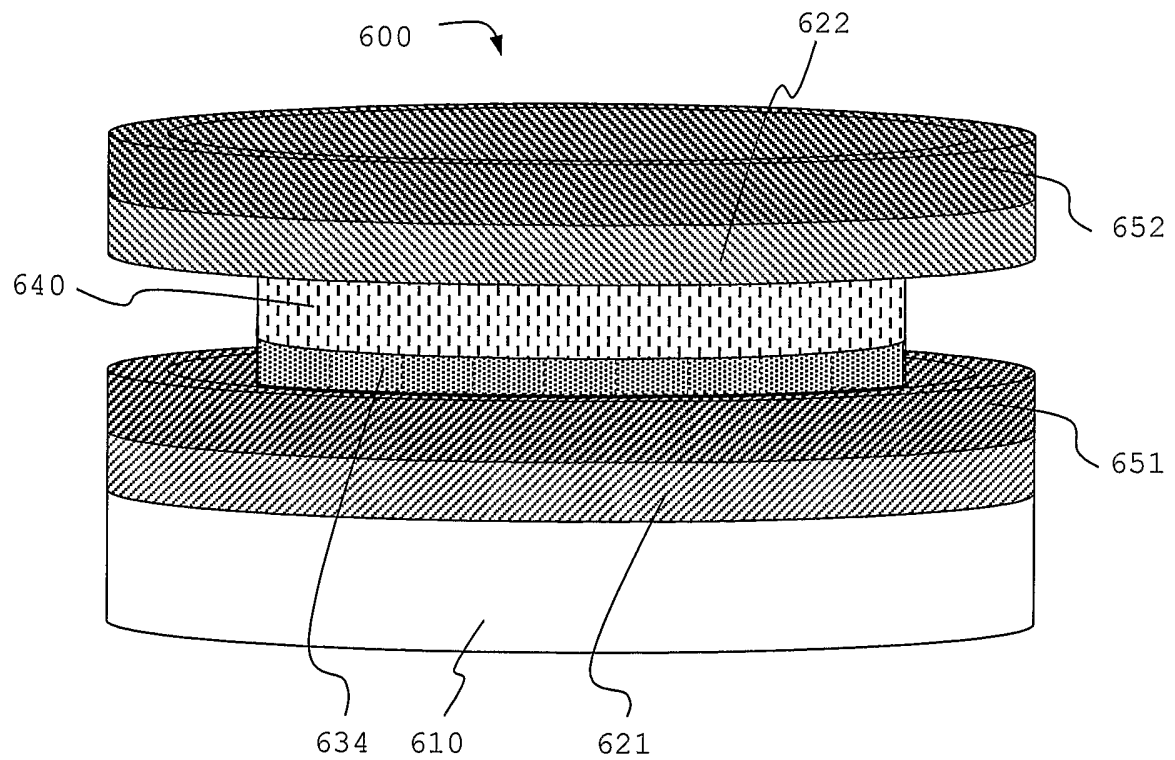
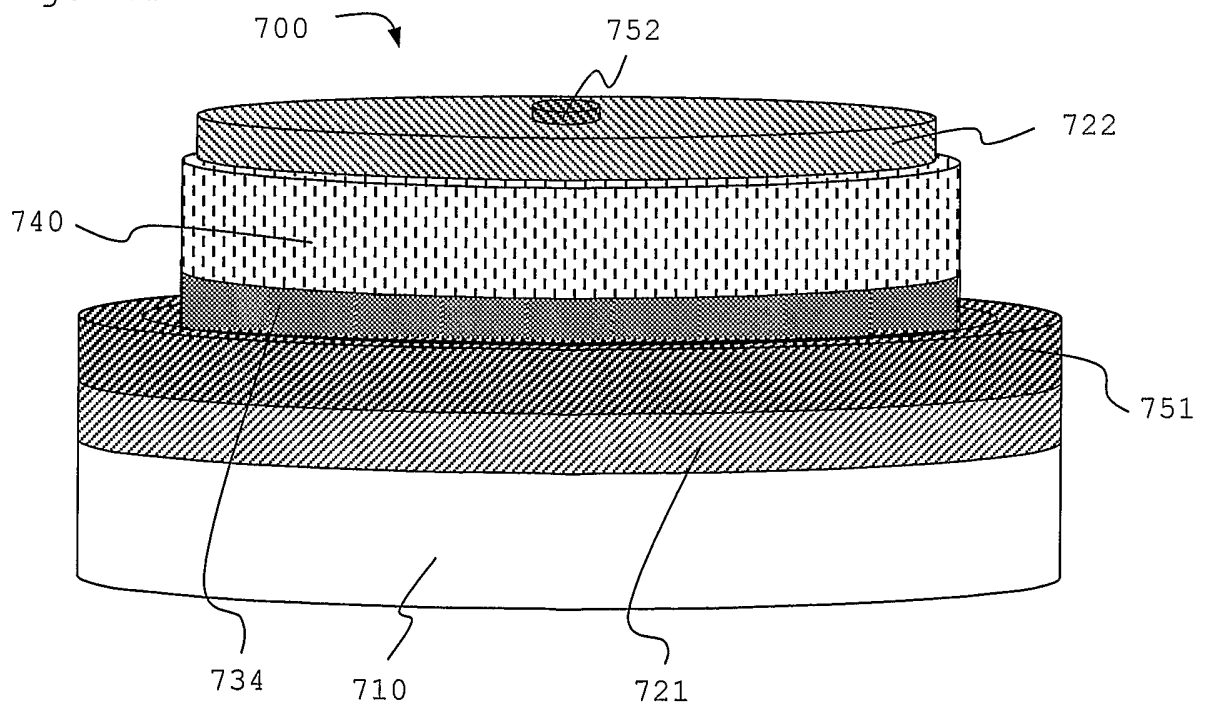


Fig. 14



12/18

Fig. 15

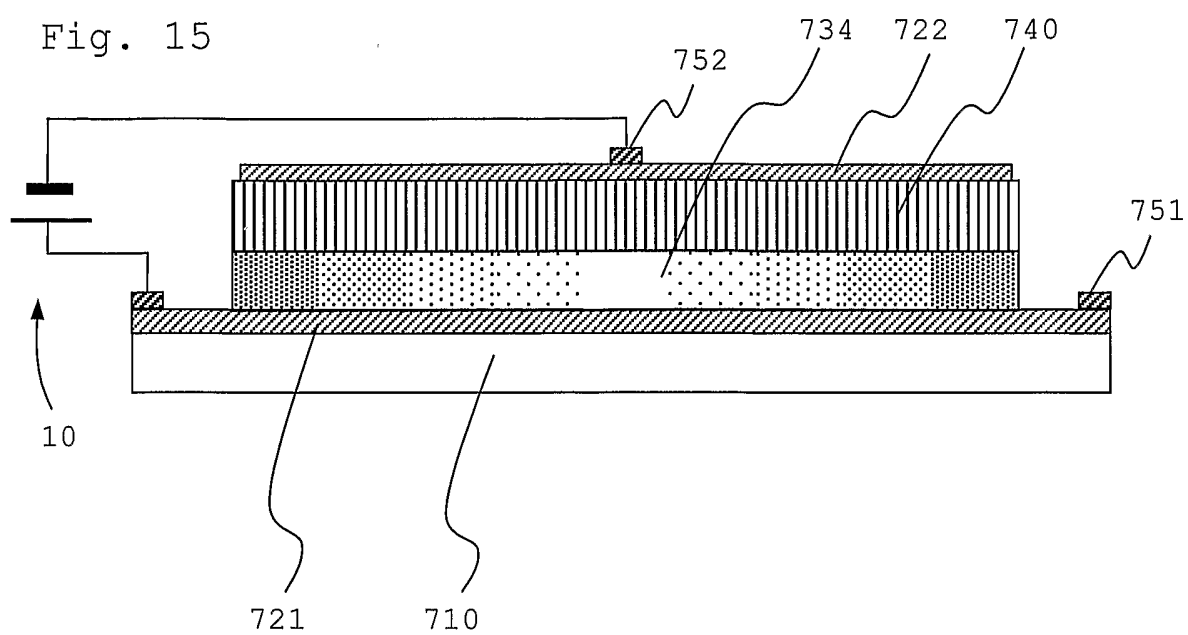


Fig. 16

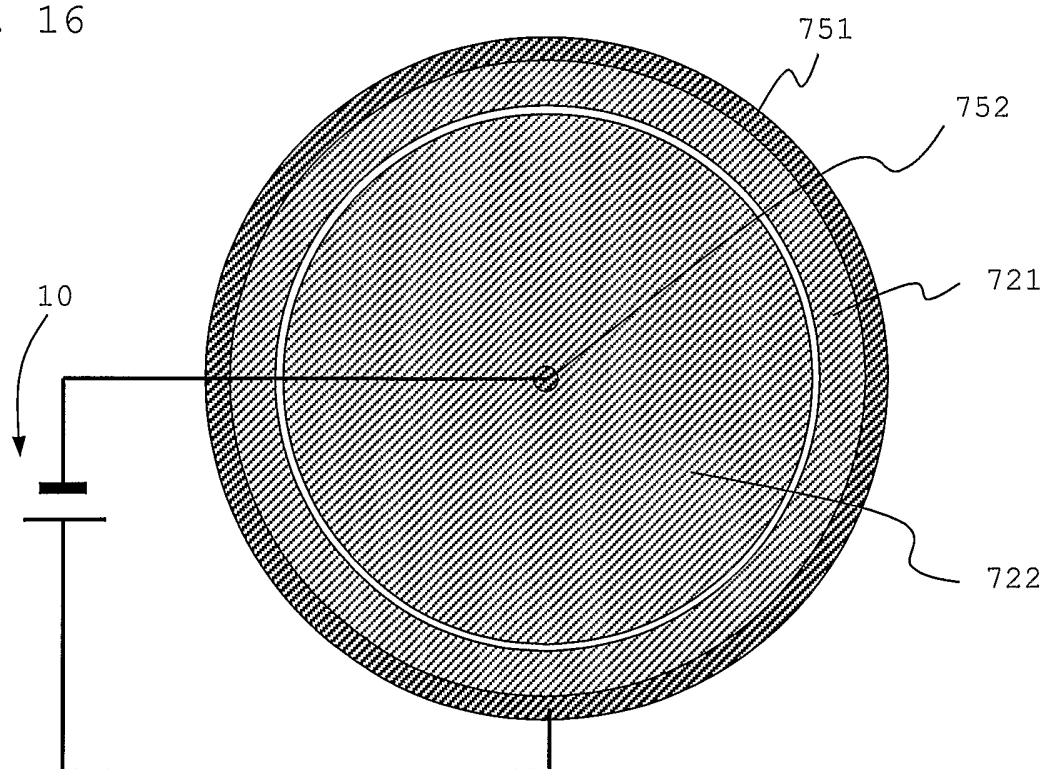


Fig. 17

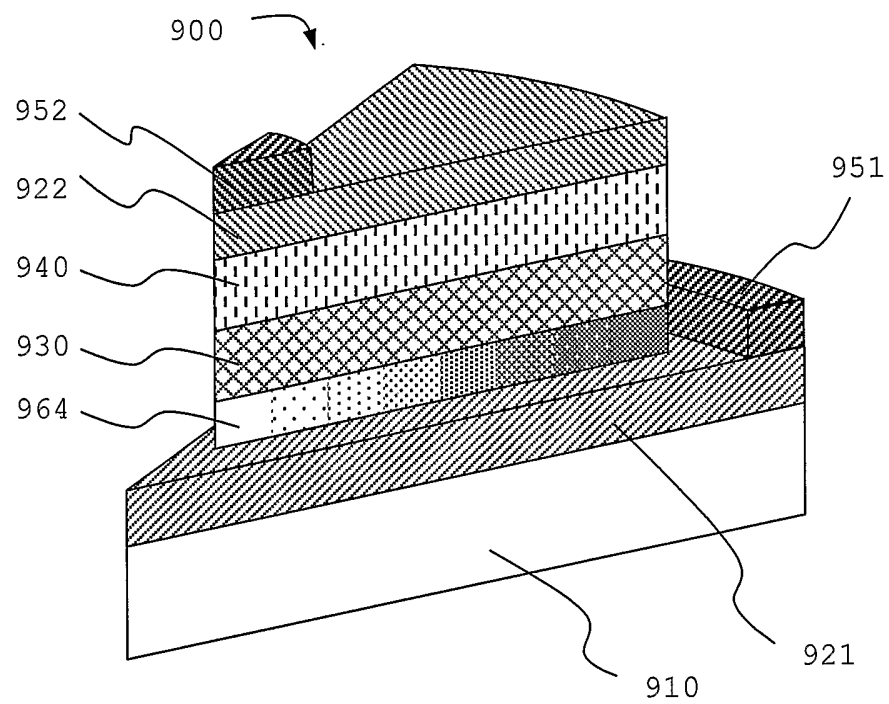


Fig. 18

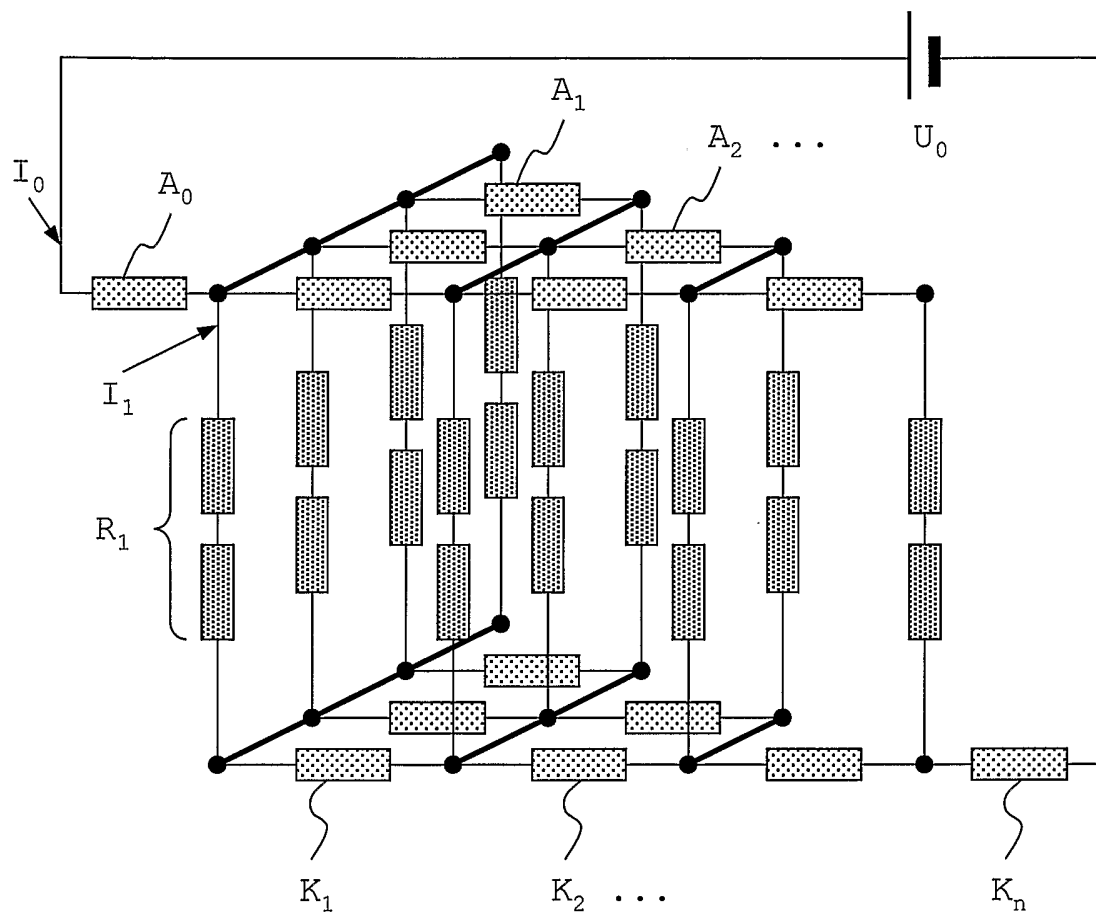


Fig. 19

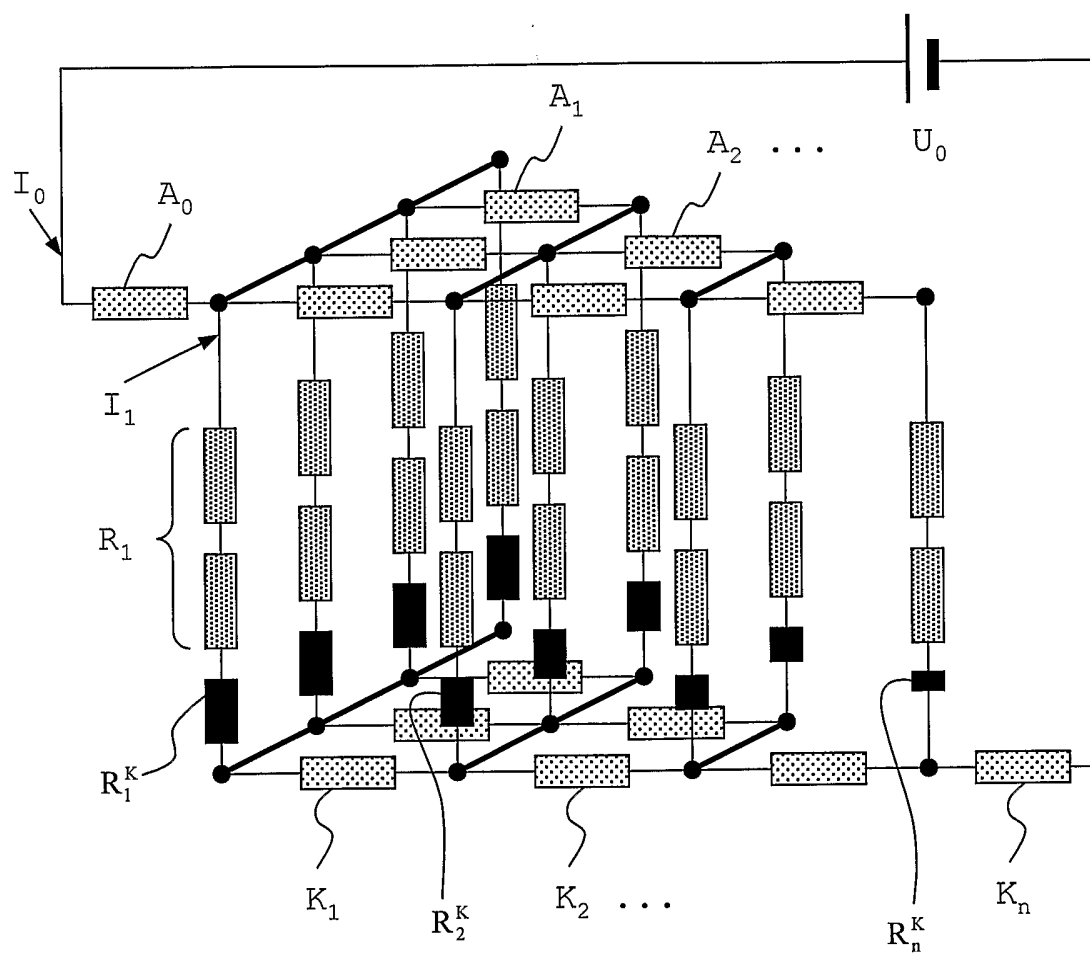


Fig. 20

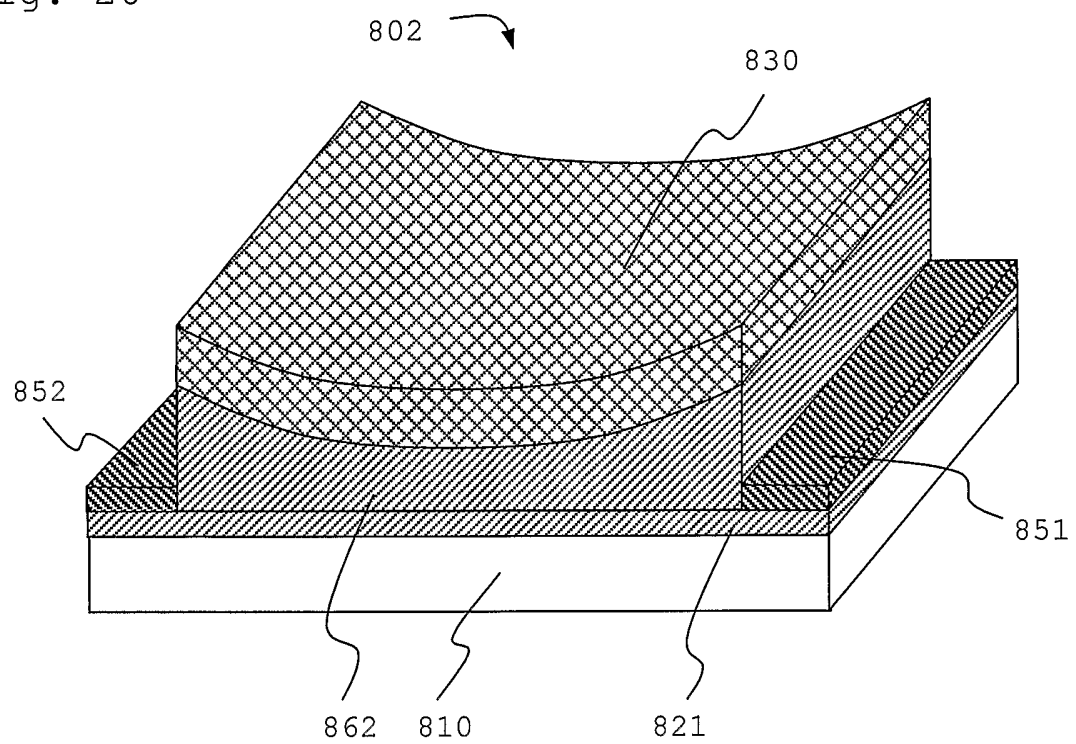


Fig. 21

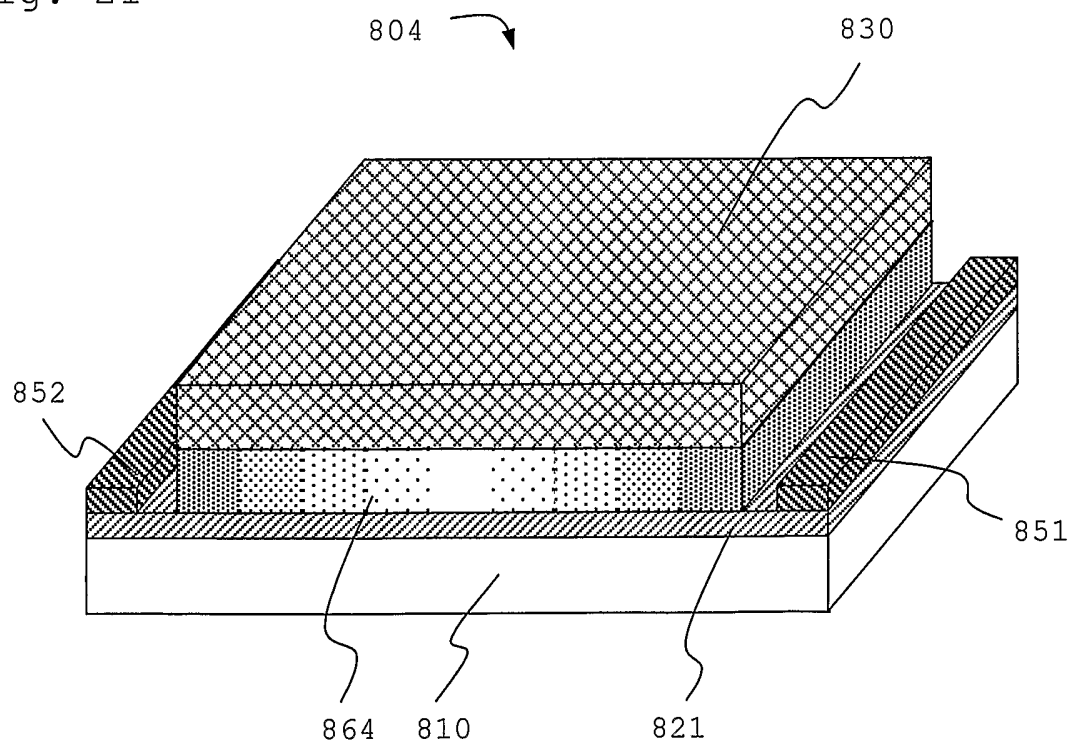


Fig. 22

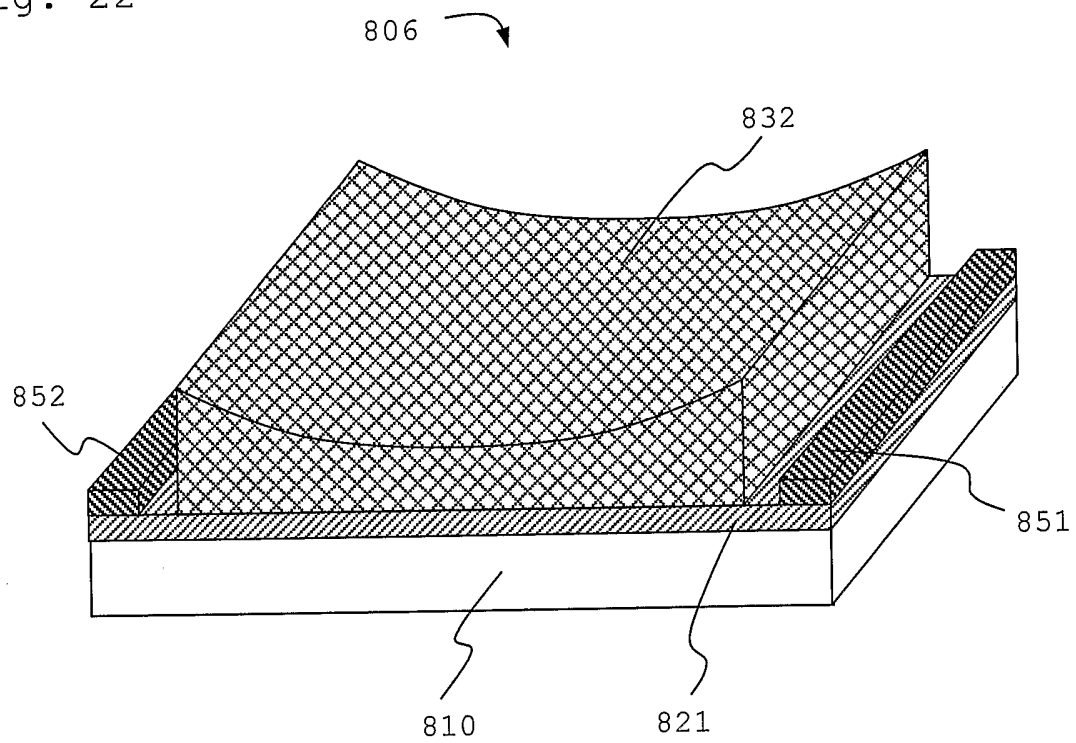


Fig. 23

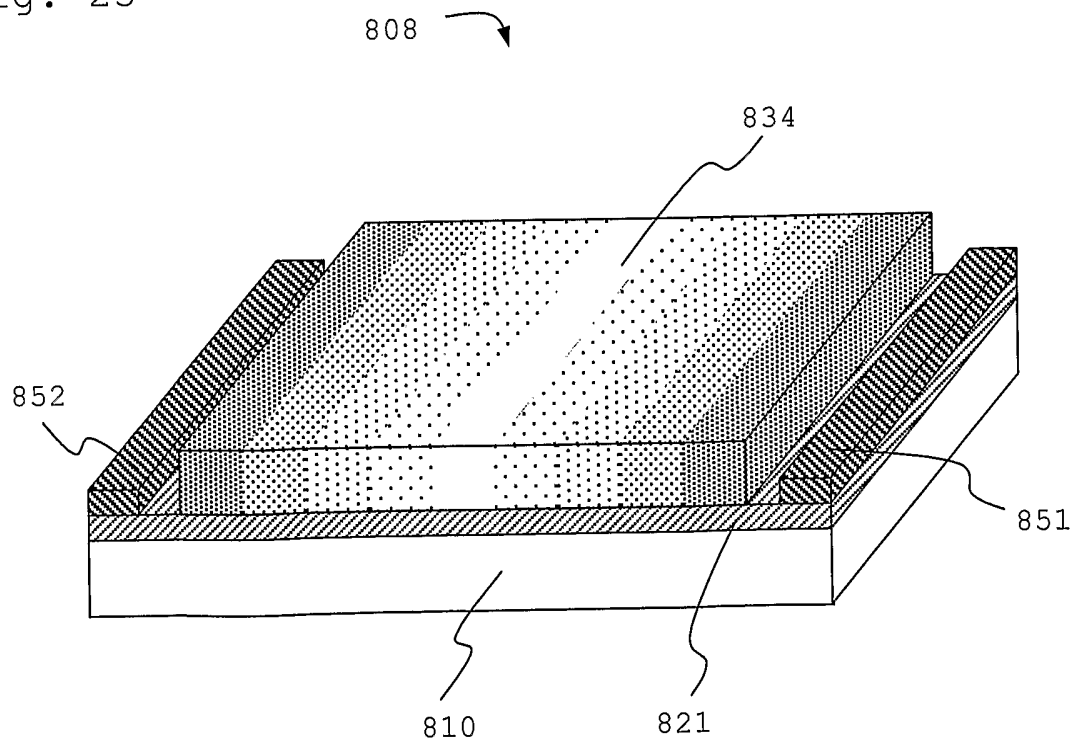


Fig. 24

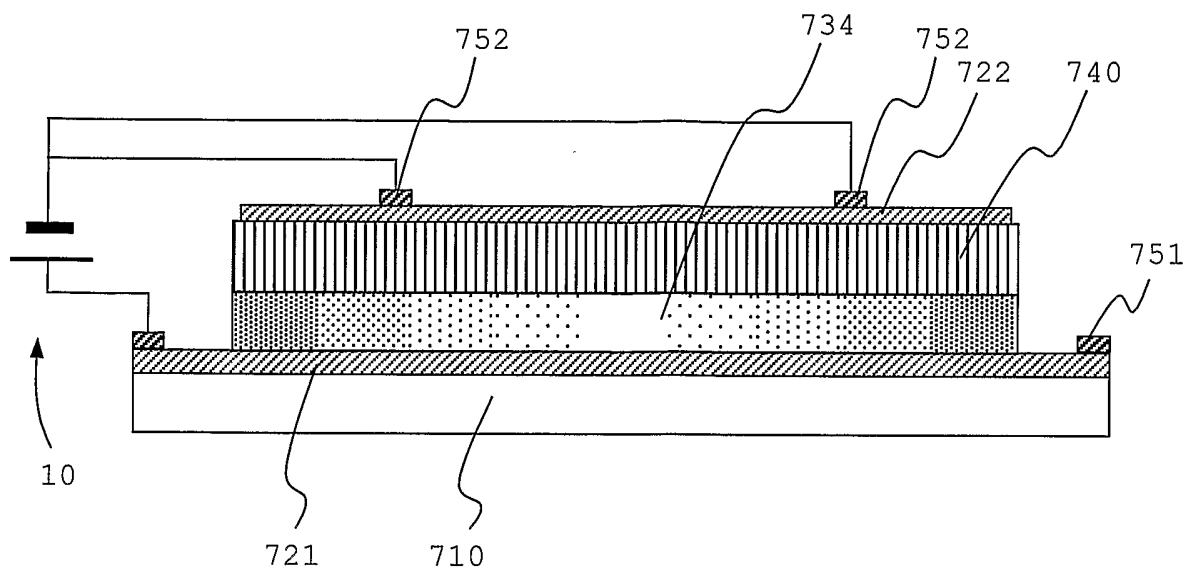


Fig. 25

