

(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
3. Oktober 2013 (03.10.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/144138 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/056392
- (22) Internationales Anmeldedatum:
26. März 2013 (26.03.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2012 102 565.7
26. März 2012 (26.03.2012) DE
- (71) Anmelder: TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BRAUNSCHWEIG CAROLO-WILHELMINA
[DE/DE]; Pockelsstraße 14, 38106 Braunschweig (DE).
RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG
[DE/DE]; Grabengasse 1, 69117 Heidelberg (DE).
- (72) Erfinder: KOWALSKY, Wolfgang; Dorothea-Erxleben-
Str. 41 B, 38116 Braunschweig (DE). SCHULTHEISS,
Katrin; Elly-Heuss-Knapp-Str. 11, 76356 Weingarten
(DE). DONHAUSER, Daniela; Im Bubenwingert 25,
69181 Leimen (DE). KRÖGER, Michael; Schröderstr. 32,
69120 Heidelberg (DE). DIETERLE, Levin; Bachstraße
79, 76185 Karlsruhe (DE). SCHRÖDER, Rasmus;
Apfelskopfweg 32, 69118 Heidelberg (DE).

PFANNMÖLLER, Martin; Karl-Metz-Str. 5, 69115
Heidelberg (DE).

(74) Anwalt: CONSTANTIN, Günther; GRAMM, LINS &
PARTNER GBR, Freundallee 13a, 30173 Hannover (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING AN ELECTRIC COMPONENT, CODEPOSITION SYSTEM, AND ELECTRIC
COMPONENT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES ELEKTRISCHEN BAUTEILS, KODEPOSITIONSANLAGE
UND ELEKTRISCHES BAUTEIL

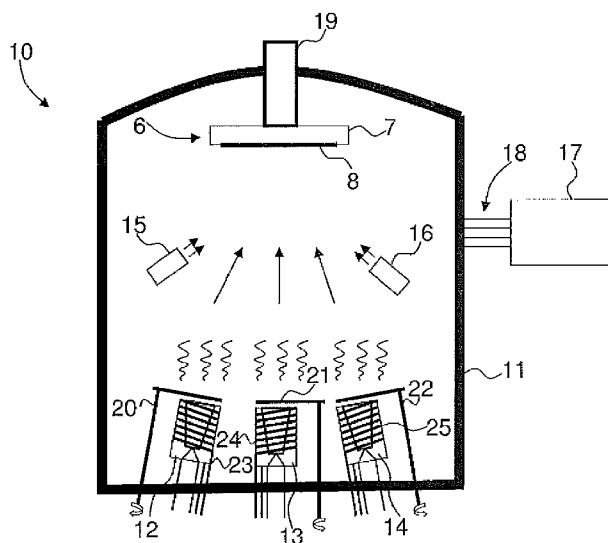


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing an electric component (70, 80, 81, 82, 83) that has at least one substrate (6) and at least one coating (4) which is arranged on the substrate (6) and which is made of at least two different materials (1, 2) that are deposited on the substrate (6) in a common deposition process. The invention is characterized in that thread-like structures (5) of a second deposited material (2) are formed in a first deposited material (1) in the course of the deposition process. One or more nucleation parameters of the second material (2) are controlled during the formation of the thread-like structures (5) in the first material (1) by one or more method parameters in accordance with a desired shape of the second material (2) thread-like structures (5) to be produced by means of the production process. The invention further relates to a codeposition system for producing an electric component and to an electric component which is produced according to such a method.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



SI, SK, SM, 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 (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Bauteils (70, 80, 81, 82, 83), das wenigstens ein Substrat (6) und wenigstens eine auf dem Substrat (6) angeordnete Beschichtung (4) aus wenigstens zwei unterschiedlichen Materialien (1, 2) aufweist, die in einem gemeinsamen Abscheidungsprozess auf dem Substrat (6) abgeschieden werden, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten abgeschiedenen Material (1) im Verlaufe des Abscheidungsprozesses fadenartige Strukturen (5) eines zweiten abgeschiedenen Materials (2) gebildet werden, wobei einer oder mehrere Nukleationsparameter des zweiten Materials (2) bei der Ausbildung der fadenartigen Strukturen (5) im ersten Material (1) durch einen oder mehrere Verfahrensparameter nach Maßgabe einer gewünschten, durch den Herstellprozess zu erzeugenden Sollform der fadenartigen Strukturen (5) des zweiten Materials (2) gesteuert werden. Die Erfindung betrifft außerdem eine Kodepositionsanlage zur Herstellung eines elektrischen Bauteils sowie ein elektrisches Bauteil, das nach einem solchen Verfahren hergestellt ist.

Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Bauteils, Kodepositionsanlage und elektrisches Bauteil

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Bauteils gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Die Erfindung betrifft außerdem eine Kodepositionsanlage gemäß dem Anspruch 10 zur Herstellung eines elektrischen Bauteils sowie ein elektrisches Bauteil gemäß dem Anspruch 11, das nach einem solchen Verfahren hergestellt ist.

10

Allgemein betrifft die Erfindung das Gebiet der Abscheidung von Dünnschichten auf einem Substrat, wobei wenigstens eine Dünnschicht aus zumindest zwei unterschiedlichen Materialien gebildet ist. Solche Verfahren werden beispielsweise im Bereich der Herstellung von Halbleiterbauteilen angewandt, z.B.
15 zur Herstellung organischer Leuchtdioden. Auch andere Arten elektrischer Bauteile können mit solchen Verfahren hergestellt werden.

20

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Bauteils, das wenigstens ein Substrat und wenigstens eine auf dem Substrat angeordnete Beschichtung aus wenigstens zwei unterschiedlichen Materialien aufweist, die in einem gemeinsamen Abscheidungsprozess auf dem Substrat abgeschieden werden, anzugeben, durch das elektrische Bauteile mit im Vergleich zu bekannten Bauteilen verbesserten Betriebseigenschaften hergestellt werden können. Ferner soll ein elektrisches Bauteil mit
25 verbesserten Betriebseigenschaften angegeben werden. Betriebseigenschaften eines elektrischen Bauteils sind beispielsweise die elektrische Verlustleistung,

damit einhergehend der elektrische Wirkungsgrad, der nutzbare Betriebstemperaturbereich des elektrischen Bauteils sowie sonstige erweiterte Einsatzgebiete für das elektrische Bauteil.

- 5 Die Aufgabe wird gemäß Anspruch 1 gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Bauteils, das wenigstens ein Substrat und wenigstens eine auf dem Substrat angeordnete Beschichtung aus wenigstens zwei unterschiedlichen Materialien aufweist, die in einem gemeinsamen Abscheidungsprozess auf dem Substrat abgeschieden werden, wobei in einem ersten abgeschiedenen Material im Verlaufe des Abscheidungsprozesses fadenartige
10 Strukturen eines zweiten abgeschiedenen Materials gebildet werden, wobei einer oder mehrere Nukleationsparameter des zweiten Materials bei der Ausbildung der fadenartigen Strukturen im ersten Material durch einen oder mehrere Verfahrensparameter nach Maßgabe einer gewünschten, durch den Herstellprozess zu erzeugenden Sollform der fadenartigen Strukturen des zweiten
15 Materials gesteuert werden.

Der Erfindung liegt eine völlig neuartige Erkenntnis über die Möglichkeiten der Materialabscheidung bei gemeinsamen Abscheidungsprozessen zugrunde.

- 20 Bisher war man davon ausgegangen, dass die auf dem Substrat abgeschiedenen unterschiedlichen Materialien sich hierbei homogen durchmischen. Es wurde nun herausgefunden, dass durch die Steuerung bestimmter Parameter des Abscheidungsprozesses gezielt inhomogene Strukturen erzeugt werden können, insbesondere fadenartige Strukturen, z.B. in Form von Nanofilamenten. Durch Steuerung von einem oder mehreren der genannten Verfahrensparameter des Abscheidungsprozesses kann eine Phasenseparation bei der Ko-
25 deposition der zwei verschiedenen Materialien auf dem Substrat gezielt beeinflusst werden, so dass im Laufe des Abscheidungsprozesses fadenartige Strukturen, die man auch als faserartige Strukturen bezeichnen kann, mit unterschiedlicher Ausbildung erzeugt werden können, z.B. hinsichtlich Durchmesser und Abstand voneinander. Hierdurch können bestimmte Betriebseigenschaften
30 des elektrischen Bauteils beeinflusst und damit verbessert werden. Die Steue-

rung der Verfahrensparameter kann z.B. durch eine entsprechend programmierte elektronische Steuerungseinrichtung erfolgen.

- Erfindungsgemäß kann insbesondere vorgesehen sein, dass die fadenartigen Strukturen in Form von Filamenten während des Abscheidungsprozesses auf dem Substrat fadenförmig in dem ersten Material, das als Matrixmaterial für das zweite Material dient, aufwachsen. Die fadenartigen Strukturen werden während dieses Aufwachsprozesses erst erzeugt. Insbesondere kann vorgesehen werden, dass die fadenartigen Strukturen im Laufe des Abscheidungsprozesses durch eine Phasenseparation bei der Kodeposition des ersten und des zweiten Materials auf dem Substrat erzeugt werden. Hierbei kann einer oder mehrere Nukleationsparameter des zweiten Materials, wie im Anspruch 1 angegeben, gesteuert werden.
- Hochauflösende Untersuchungen in einem Transmissions-Elektronenmikroskop mit Elektronen-Energieverlusts-Spektroskopie belegen, dass es möglich ist, dass die zwei verschiedenen Materialien sich in nahezu vollständig getrennte Phasen entmischen, abgesehen von gewissen Restverunreinigungen. Das in geringerer Konzentration vorhandene Material bildet dabei fadenartige Strukturen aus, die sich vom Substrat bis zur gegenüberliegenden Oberfläche hin fadenförmig hindurch ziehen. Diese Phasenseparation ist in der Oberflächenmobilität der beim Depositionsprozess auf die Oberfläche auftreffenden Spezies begründet. Die Moleküle der unterschiedlichen Materialien werden beim Auftreffen auf dem Substrat nicht augenblicklich am Auftreffort fixiert, sondern können auf der Oberfläche migrieren. Sie lagern sich schließlich bevorzugt bei gleichartigen Molekülen an.

Mit der Erfindung kann gezielt die elektrische Leitfähigkeit des erfindungsgemäß hergestellten elektrischen Bauteils in einer gewünschten Richtung beeinflusst werden. Es wurde herausgefunden, dass durch die fadenartigen Strukturen die elektrische Leitfähigkeit in der Richtung deutlich verringert werden kann, in der sich die einzelnen fadenartigen Strukturen bzw. Filamente erstrecken, d. h. bezogen auf die Darstellung in Figur 2 beispielsweise in vertikaler

Richtung. Dagegen ist die elektrische Leitfähigkeit in horizontaler Richtung durch die fadenartigen Strukturen im Wesentlichen unbeeinflusst. So kann z. B. bei geeigneter Beimischung des zweiten Materials, entsprechend den nachfolgend noch angegebenen Volumenanteilen, eine etwa um den Faktor 100 erhöhte Leitfähigkeit in vertikaler Richtung im Vergleich zur Leitfähigkeit in horizontaler Richtung erzielt werden. Hierdurch lassen sich gezielt bestimmte elektronische Bauteile, wie nachfolgend noch erläutert, in verbesserter Weise herstellen und hinsichtlich ihrer Eigenschaften definiert einstellen.

- 10 Einer oder mehrere Nukleationsparameter des zweiten Materials können bei der Ausbildung der fadenartigen Strukturen im ersten Material, das dabei sozusagen die Matrix für das zweite Material bereitstellt, durch einen oder mehrere der folgenden Verfahrensparameter gesteuert werden:
- a) die Temperatur des Substrats,
 - 15 b) die Abscheidungsgeschwindigkeit des ersten und/oder zweiten Materials,
 - c) die Zugabe wenigstens eines dritten Materials, das sich von dem ersten und zweiten abgeschiedenen Material unterscheidet und das bei dem gemeinsamen Abscheidungsprozess zusammen mit dem ersten und zweiten Material abgeschieden wird.
 - 20 d) die Substratvorbehandlung,
 - e) Abstrahlungseigenschaften einer auf das Substrat Strahlung abgebenden Strahlungsquelle,
 - f) Betriebsparameter einer Niederdruckabscheidungsanlage,
 - g) Unterdruck in einer Reaktionskammer einer Kodepositionsanlage,
 - 25 h) Eigenschaften eines Trärgases zum Transport des ersten und/oder zweiten Materials und ggf. des dritten Materials.

Die Abscheidungsgeschwindigkeit, auch Depositionsrate genannt, kann dabei z.B. nur für ein Material oder für das erste und das zweite Material und ggf. das dritte Material jeweils separat gesteuert werden. Vorteilhaft ist auch eine Steuerung des Verhältnisses der Abscheidungsgeschwindigkeiten zweier unterschiedlicher Materialien zueinander.

30

Der Abscheidungsprozess kann z.B. durch bekannte Arten von Depositionsprozessen wie Aufdampfen, Sputtern, Laserablation oder Gasphasendepositionsverfahren wie OVPD (organic vapor phase deposition - organische Gasphasendeposition) oder CVD (chemical vapor deposition - chemische Gasphasendeposition) realisiert werden. In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt der Abscheidungsprozess im Vakuum. Dies hat den Vorteil, dass die auf dem Substrat abzuscheidenden Materialien sich ungestört von äußeren Einflüssen und ohne Vermischung mit Partikeln aus der Atmosphäre auf dem Substrat anlagern können. Die Erfindung kann insbesondere unter Vakuumbedingungen nach der üblichen Definition ausgeführt werden, d.h. bei einem verbleibenden Restdruck von höchstens 300 mbar. Vorteilhaft ist auch eine Durchführung des Verfahrens im Feinvakuum (HV), im Ultrahochvakuum (UHV) oder im extrem hohen Vakuum (XHV).

Der zuvor genannte Verfahrensparameter „Substratvorbehandlung“, der gesteuert werden kann, bezieht sich auf die Vorbehandlung des Substrats vor dem eigentlichen Abscheidungsprozess. Bei der Substratvorbehandlung können bestimmte Substrateigenschaften gezielt beeinflusst werden, um die Ausbildung der fadenartigen Strukturen zu steuern, wie z.B. die Oberflächenenergie des Substrats oder die Oberflächenrauigkeit. Diese Verfahrensparameter sind z.B. an einer Substratvorbehandlungseinrichtung steuerbar, wie z.B. bei SAMs (SAM - self-assembled monolayer) oder bei einer Plasmaanlage.

Zur Beeinflussung der Ausbildung der fadenartigen Strukturen kann das Substrat auch mit einer Strahlungsquelle bestrahlt werden, z.B. mit Infrarot- oder ultravioletter Strahlung. Hierbei können als Abstrahlungseigenschaften der Strahlungsquelle die Lichtfarbe bzw. Grundfrequenz der elektromagnetischen Strahlung, die Strahlungsintensität oder bestimmte Modulationsparameter der Strahlungsabgabe beeinflusst werden. Als Strahlungsquelle können alle möglichen Arten von Strahlungsquellen eingesetzt werden, z.B. Lichtquellen, Mikrowellenquellen oder Röntgenquellen. Es können auch mehrere Strahlungsquellen gleicher oder unterschiedlicher Art kombiniert eingesetzt werden.

Der Abscheidungsprozess kann insbesondere auch mit einer Niederdruckabscheidungsanlage ausgeführt werden, z.B. unter Nutzung der zuvor bereits erwähnten Gasphasenabscheidung in Form von OVPD oder CVD. In diesem Fall können Betriebsparameter der Niederdruckabscheidungsanlage gezielt gesteuert werden, um die Ausbildung der fadenartigen Strukturen zu beeinflussen. Der Begriff der Niederdruckabscheidungsanlage bzw. des Unterdrucks umfasst dabei alle Arten von Unterdruck, unter anderem auch eine nur leichte Druckreduktion gegenüber dem Atmosphärendruck und noch kein richtiges Vakuum. Bei Anwendung eines OVPD-Abscheidungsverfahrens werden die abzuscheidenden Materialien beispielsweise außerhalb der Reaktionskammer, in der das Substrat angeordnet ist, vorgehalten und über geheizte Rohre durch einen Trägergasstrom (z. B. Stickstoff, Argon) in die Reaktionskammer geleitet und z.B. über einen sogenannten Showerhead auf das Substrat abgegeben. Der Prozess kann bei einem Vakuum von etwa 10^{-2} bar durchgeführt werden. Als Verfahrensparameter kann unter anderem der Vakuum-Unterdruck und/oder die Heiztemperatur der Materialcontainer, des Trägergases, der beheizten Rohre und des beheizten Showerheads gesteuert werden.

Als weitere zu beeinflussende Verfahrensparameter stehen bei Gasphasendepositionsverfahren die Eigenschaften des für den Transport des jeweiligen auf dem Substrat abzuscheidenden Materials verwendeten Trägergases zur Verfügung. So kann die Art des Trägergases unterschiedlich gewählt werden, insbesondere können unterschiedliche Trägergase zum Transport der unterschiedlichen Materialien, d.h. des ersten, zweiten und ggf. dritten Materials, verwendet werden. Es können auch Gasgemische verwendet werden.

Das erste, das zweite und/oder das dritte Material können je nach Art des herzustellenden elektrischen Bauteils entweder ein organisches oder ein anorganisches Material sein. Vorteilhaft ist die Verwendung zumindest eines organischen Materials, z.B. als erstes Material, und zumindest eines anorganischen Materials, z.B. als zweites oder drittes Material. Beispielsweise kann als erstes abgeschiedenes Material CBP (4,4-N,N-dicarbazole-biphenyl) oder TCTA (4,4',4"-Tris(carbazol-9-yl)-triphenylamine) verwendet werden, als zweites Ma-

terial MoO_3 (Molybdän(VI)-oxid) oder WO_3 (Wolfram(VI)-oxid). Als drittes Material kann z.B. WO_3 verwendet werden.

5 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist das zweite und das dritte Material ein anorganisches Material, das erste Material ein organisches Material.

10 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden das erste und das zweite Material in voneinander unterschiedlichen Konzentrationen auf dem Substrat abgeschieden, z.B. mit 90 Vol.-%-Anteil des ersten Materials und 10 Vol.-%-Anteil des zweiten Materials. Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird das zweite Material in einer Konzentration von wenigstens 1 Vol.-%-Anteil des Endprodukts abgeschieden, insbesondere wenigstens 5 Vol.-%. Es wurde herausgefunden, dass niedrigere Konzentrationen des zweiten
15 Materials keine wesentliche Anisotropie der elektrischen Leitfähigkeit im hergestellten elektrischen Bauteil bewirken. Bei einem Volumenanteil des zweiten Materials von wenigstens 1 % bzw. wenigstens 5 % kann eine signifikante Anisotropie beobachtet werden, d.h. die elektrische Leitfähigkeit des hergestellten elektrischen Bauteils in Richtung der fadenartigen Strukturen ist erheblich höher (z.B. Faktor 100) als die Vertikalleitfähigkeit, die in vertikaler Richtung ge-
20 messen wird, z. B. in dem in Figur 2 dargestellten Schnitt zwischen den Schichten 4.

25 Das Substrat kann z.B. ein Glassubstrat sein, ggf. beschichtet mit einer ITO-Schicht (ITO - Indiumzinnoxid).

30 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung verläuft die hauptsächliche Erstreckungsrichtung der fadenartigen Strukturen vom Substrat in Richtung zur dem Substrat gegenüberliegenden Oberfläche der Beschichtung. Die fadenartigen Strukturen können sich dabei durch die gesamte Beschichtung oder nur einen Teil der Beschichtung erstrecken.

Die Temperatur des Substrats kann während des Abscheidungsprozesses z.B. mittels einer Heiz- und/oder Kühleinrichtung auf einen bestimmten Wert gebracht werden, der nach Maßgabe einer gewünschten, durch den Herstellprozess zu erzeugenden Sollform der fadenartigen Strukturen des zweiten Materials bestimmt ist, z.B. durch einen elektrischen Heizwendel oder durch Aufheizen des Substrats an derjenigen Oberfläche, an der die abgeschiedenen Materialien angelagert werden sollen, mittels eines Wärmestrahlers, insbesondere mittels eines Lasers. Die Abscheidungsgeschwindigkeit kann z.B. durch die Heiztemperatur eines jeweiligen Behälters, in dem das erste, zweite bzw. das dritte Material zum Abscheiden angeordnet ist, beeinflusst werden. Es hat sich z. B. gezeigt, dass die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei einer Temperatur im Raumtemperaturbereich, d. h. bei etwa 300 K, zu deutlichen Unterschieden zwischen der Vertikalleitfähigkeit und der Horizontalleitfähigkeit des elektrischen Bauteils führt, z. B. um einen Faktor 100. Bei tieferen Temperaturen nehmen die Unterschiede zwischen der Horizontalleitfähigkeit und der Vertikalleitfähigkeit ab. Es ist vorteilhaft, das erfindungsgemäße Verfahren zumindest bei Temperaturen oberhalb von 120 K durchzuführen.

Allgemein kann gesagt werden, dass jeder der genannten Verfahrensparameter nach Maßgabe einer gewünschten, durch den Herstellprozess zu erzeugenden Sollform der fadenartigen Strukturen des zweiten Materials festgelegt wird.

Für die Steuerung der Verfahrensparameter ist in einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung eine elektronische Steuerungseinrichtung vorgesehen, die automatisch entsprechend der zu erzeugenden Sollform der fadenartigen Strukturen einen oder mehrere der Verfahrensparameter steuert, z.B. indem die Heiz- und/oder Kühleinrichtung des Substrats oder eine Heizeinrichtung eines jeweiligen Behälters, in dem das erste, zweite bzw. das dritte abzuscheidende Material zum Abscheiden angeordnet ist, von der elektronischen Steuerungseinrichtung automatisch gesteuert wird.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird die Temperatur des Substrats desto höher bestimmt, je größer der Abstand der fadenartigen

Strukturen voneinander und/oder die Dicke der fadenartigen Strukturen erzeugt werden soll. Als Dicke der fadenartigen Strukturen sei bei einer völlig homogenen fadenartigen Struktur der Durchmesser verstanden. Da völlig homogene fadenartige Strukturen schwer herstellbar sind, bezeichnet die Dicke den mittleren Durchmesser der fadenartigen Strukturen. Entsprechend bezeichnet der Abstand der fadenartigen Strukturen voneinander den mittleren Abstand. So ist es z.B. für die Herstellung eines elektrischen Bauteils, das als thermoelektrischer Generator eingesetzt werden soll, vorteilhaft, gezielt fadenartige Strukturen mit sehr geringer Dicke zu erzeugen, derart, dass die erzeugten fadenartigen Strukturen so dünn sind, dass keine Phononen darin transportiert werden können. Hierdurch kann erzwungen werden, dass ein Wärmetransport über eine Bewegung von Ladungsträgern erfolgt. Bei anderen Bauteilen, z.B. Solarzellen oder Leuchtdioden, sind andere physikalische Effekte erwünscht, für die die fadenartigen Strukturen eine größere Dicke aufweisen sollen.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird die Abscheidungs-
geschwindigkeit desto geringer bestimmt, je größer der Abstand der fadenartigen
Strukturen voneinander und/oder die Dicke der fadenartigen Strukturen
erzeugt werden soll.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird der gemeinsame
Abscheidungsprozess des ersten und des zweiten Materials zusammen mit
wenigstens einem dritten, auf dem Substrat abgeschiedenen Material durchge-
führt, das sich von dem ersten und zweiten abgeschiedenen Material unter-
scheidet. Mittels des zusätzlichen dritten Materials können weitere verschiede-
ne Eigenschaften des elektrischen Bauteils beeinflusst werden. In einer vorteil-
haften Ausgestaltung der Erfindung ist das zweite abgeschiedene Material ein
Elektronenletermaterial und das dritte abgeschiedene Material ein Löcherlei-
termaterial. Es können z.B. ambipolare Leiter auf diese Weise hergestellt wer-
den. Eine vorteilhafte Anwendung liegt zudem im Bereich der Herstellung von
Feldeffekttransistoren.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung steuert das dritte abgeschiedene Material einen oder mehrere Nukleationsparameter des zweiten abgeschiedenen Materials bei der Ausbildung der fadenartigen Strukturen im ersten Material. Mittels des dritten Materials können als Nukleationsparameter z.B. der Abstand der fadenartigen Strukturen voneinander und/oder die Dicke der fadenartigen Strukturen gesteuert werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ummantelt das dritte abgeschiedene Material die durch das zweite abgeschiedene Material gebildeten fadenartigen Strukturen ganz oder teilweise. Hierdurch können zusätzliche Isolationseffekte der fadenartigen Strukturen gegenüber dem Matrixmaterial, d.h. dem ersten Material, erzeugt oder beeinflusst werden.

Die Erfindung betrifft gemäß Anspruch 10 eine Kodepositionsanlage, die zur Herstellung eines elektrischen Bauteils eingerichtet ist, in dem wenigstens zwei unterschiedliche Materialien in einem gemeinsamen Abscheidungsprozess auf einem Substrat abgeschieden werden, wobei die Kodepositionsanlage Behälter für das erste und das zweite Material und, sofern vorhanden, das dritte Material aufweist, und eine elektronische Steuerungseinrichtung, die zur Ausführung eines Verfahrens der zuvor beschriebenen Art eingerichtet ist.

Die Erfindung betrifft gemäß Anspruch 11 außerdem ein elektrisches Bauteil mit wenigstens einem Substrat und wenigstens einer auf dem Substrat angeordneten Beschichtung aus wenigstens zwei unterschiedlichen Materialien, hergestellt nach einem der zuvor beschriebenen Verfahren. Als elektrisches Bauteil wird im Rahmen dieser Anmeldung jedes Bauteil verstanden, das mit elektrischer Energie betrieben wird, wie z.B. Halbleiterbauteile oder andere elektronische Bauteile.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist das elektrische Bauteil als flexible Folie hergestellt oder auf einer solchen Folie befestigt. Gemäß vorteilhaften Ausgestaltungen betrifft die Erfindung einen Wandler zur thermoelektrischen und/oder elektrothermischen Wandlung, einen Feldeffekttransistor, ein lichtemittierendes

- Bauteil bzw. eine Solarzelle, jeweils aufweisend wenigstens ein elektrisches Bauteil der zuvor erläuterten Art. Der Wandler zur thermoelektrischen und/oder elektrothermischen Wandlung wandelt entweder Wärme in elektrische Energie oder elektrische Energie in Wärme, oder ist für beide Arten der Energiewandlung eingerichtet. Er kann z.B. als thermoelektrischer Generator oder Peltierelement ausgebildet sein. Das lichtemittierende Bauteil kann z.B. als Leuchtdiode ausgebildet sein, insbesondere als organische Leuchtdiode. Die Solarzelle kann insbesondere als organische Solarzelle ausgebildet sein.
- 10 Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und der Verwendung von Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

- | | | |
|-----------------|---|--|
| Figur 1 | - | eine Kodepositionsanlage und |
| Figuren 2 bis 5 | - | mit einem Transmissions-Elektronenmikroskop erzeugte Aufnahmen von fadenartigen Strukturen und |
| Figuren 6 und 7 | - | weitere Ausführungsformen von fadenartigen Strukturen eines zweiten Materials im ersten Material und |
| Figur 8 | - | einen thermoelektrischen und elektrothermischen Wandler und |
| Figur 9 | - | eine Anordnung von elektrischen Bauteilen auf einer flexiblen Folie. |

15

In den Figuren werden gleiche Bezugszeichen für einander entsprechende Elemente verwendet.

- Die Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Kodepositionsanlage 10 in Form einer Koverdampfungsanlage, d.h. einer Anlage zum gemeinsamen Verdampfen von zwei oder mehr unterschiedlichen Materialien. Die Kodepositionsanlage 10 weist ein hermetisch verschließbares Gehäuse 11 auf, in dem ein Vakuum erzeugt werden kann. Innerhalb des Gehäuses 11 sind drei Behälter in Form von Vorratstiegeln 12, 13, 14 angeordnet, in denen zu verdampfende Ma-
- 20

terialien 1, 2, 3 (nicht dargestellt) eingefüllt werden können. Nachfolgend sei angenommen, im Vorratstiegel 12 ist das Material 1 als das erste abzuscheidende Material vorhanden, im Vorratstiegel 13 ist das Material 2 als das zweite abzuscheidende Material vorhanden und im Vorratstiegel 14 ist das Material 3 als das dritte abzuscheidende Material vorhanden. Die Vorratstiegel 12, 13, 14 sind jeweils mit einer eigenen Beheizungseinrichtung 23, 24, 25 versehen, die in Figur 1 in Form eines Heizwendels dargestellt ist. Mittels der Beheizungseinrichtung 23, 24, 25 kann das im Vorratstiegel 12, 13, 14 jeweils befindliche Material soweit aufgeheizt werden, dass es verdampft. Die Vorratstiegel 12, 13, 14 sind außerdem jeweils mit einem drehbaren Shutter 20, 21, 22 versehen, mit dem der jeweilige Vorratstiegel 12, 13, 14 ganz oder teilweise verschlossen werden kann. Die Shutter 20, 21, 22 sind z.B. über Elektromotoren betätigbar. Mittels der Shutter 20, 21, 22 kann die Abgabemenge des im jeweiligen Vorratstiegel 12, 13, 14 befindlichen Materials und damit die Depositionsrate beeinflusst werden.

Innerhalb des Gehäuses 11 ist ein Substrat 6 angeordnet, das an einem Halter 19 befestigt werden kann. Das Substrat 6 weist z.B. eine Glasschicht 7 und eine als elektrische Kontaktfläche darauf angeordnete ITO-Schicht 8 auf. Auf der ITO-Schicht 8 werden in einem gemeinsamen Abscheidungsprozess das erste und das zweite Material 1, 2 und ggf., sofern vorhanden, auch das dritte Material 3 abgeschieden. Der Halter 19 weist eine Heiz- und/oder Kühleinrichtung auf, die zur Beheizung oder Abkühlung des Substrats 6 eingerichtet ist. Innerhalb des Gehäuses 11 sind als weitere Beheizungseinrichtungen Lichtquellen 15, 16, z.B. Laser, Lampen oder IR-Strahler, angeordnet. Das Substrat 6 kann an der zu beschichtenden Seite auch durch die Lichtquellen 15, 16 gezielt erwärmt werden.

Die Shutter 20, 21, 22 und die Beheizungseinrichtungen 23, 24, 25 der Vorratstiegel 12, 13, 14, die Heiz- und/oder Kühleinrichtung des Halters 19 sowie die Lichtquellen 15, 16 sind über elektrische Leitungen 18 mit einer elektronischen Steuerungseinrichtung 17 verbunden. Die elektronische Steuerungseinrichtung 17 steuert nach vorgegebenen Verfahren die genannten Shutter 20, 21, 22, die

- Beheizungseinrichtungen 23, 24, 25, die Heiz- und/oder Kühleinrichtung sowie die Lichtquellen 15, 16 derart, dass z.B. die Temperatur des Substrats 6 sowie die Abscheidungsgeschwindigkeit des ersten, zweiten und/oder dritten Materials 1, 2, 3 nach Maßgabe einer gewünschten, durch den Herstellprozess zu erzeugenden Sollform von fadenartigen Strukturen des zweiten Materials in dem ersten Material vorgegeben ist. Hierfür weist die elektronische Steuerungseinrichtung 17 z.B. eine Steuerungssoftware in Form eines Computerprogramms auf.
- 10 Beispielhaft sei angenommen, dass sich in dem Vorratstiegel 12 CBP und im zweiten Vorratstiegel 13 MoO₃ befindet. Hierbei wird das erste Material im Verhältnis zum zweiten Material z.B. im Verhältnis 90:10 koverdampft. Das erste Material bildet dann das Matrixmaterial für das zweite Material.
- 15 Die Figur 2 zeigt in seitlicher Schnittdarstellung eine auf dem Substrat (nicht dargestellt) erzeugte Schicht 4 aus dem ersten Material 1, in der in einem mittleren Bereich fadenartige Strukturen 5 aus dem zweiten Material 2 erzeugt sind. Wie in der Figur 2 erkennbar ist, sind die fadenartigen Strukturen 5 nur relativ schwach ausgebildet und zum Teil unterbrochen. Für die Ausbildung
- 20 solcher fadenartigen Strukturen 5 wird z.B. die Substrattemperatur auf relativ niedrige Werte gesteuert. Es kann beobachtet werden, dass bei Temperaturen von ca. -200° Celsius nahezu keine fadenartigen Strukturen 5 mehr erzeugt werden.
- 25 Die Figur 4 zeigt einen zweiten Probanden, bei dem der Aufdampfungsprozess des ersten und des zweiten Materials 1, 2 bei einer höheren Substrattemperatur durchgeführt wurde. Erkennbar sind daher deutlicher ausgeprägte fadenartige Strukturen 5. Durch weitere Erhöhung der Substrattemperatur oder Verringerung der Abscheidungsgeschwindigkeit des ersten und/oder des zweiten Materials auf dem Substrat können die fadenartigen Strukturen 5 noch deutlicher
- 30 ausgeprägt hergestellt werden. Die Figur 3 zeigt den gleichen Probanden wie die Figur 4 in einer isometrischen Ansicht.

Die Figur 5 zeigt eine Schicht 4 mit unterbrochenen fadenartigen Strukturen 5. Zunächst wurden die Materialien CBP und MoO₃ koverdampft, dann der MoO₃-Shutter 21 geschlossen und nur das Matrixmaterial CBP aufgedampft, und schließlich wurde der Shutter 21 wieder geöffnet. Hierdurch kann ein Bereich 50 in der Schicht 4 erzeugt werden, in dem die fadenartigen Strukturen 5 unterbrochen sind.

Eine Beschichtung mit deutlich ausgeprägten fadenartigen Strukturen 5 ist in den Figuren 6 und 7 beispielhaft dargestellt. Die Figur 6 zeigt dabei durchgehende fadenartige Strukturen 5 in dem Matrixmaterial 4, d.h. fadenartige Strukturen, die im Wesentlichen keine Unterbrechung aufweisen.

Die Figur 7 zeigt eine Ausbildung von fadenartigen Strukturen 5 aus einem zweiten Material 2, wobei um jede fadenartige Struktur eine Umhüllung 9 aus einem dritten Material 3 im Zuge des Abscheidungsprozesses erzeugt wurde.

Die Figur 8 zeigt als elektrisches Bauteil, das nach dem zuvor beschriebenen Verfahren durch die Kodepositionsanlage 10 gemäß Figur 1 hergestellt wurde, einen thermoelektrischen und elektrothermischen Wandler 70, d.h. ein Bauelement, das eine Wärmedifferenz in einem elektrischen Strom bzw. eine Spannung wandelt, bzw. umgekehrt auch einen angelegten Strom in eine Temperaturdifferenz wandeln kann. Der Wandler 70 weist dabei zwei nach dem zuvor beschriebenen Verfahren durch die Kodepositionsanlage 10 gemäß Figur 1 hergestellte Halbleiterbauteile 73, 74 auf, die elektrisch in Reihe geschaltet sind. Das Halbleiterbauteil 73 ist ein p-leitendes Bauteil, das Halbleiterbauteil 74 ist ein n-leitendes Bauteil. Erkennbar ist bei jedem der Halbleiterbauteile 73, 74 jeweils wiederum das Substrat mit dem Glasträger 7, der ITO-Schicht 8, der aufgetragenen Beschichtung 4 mit den darin gebildeten fadenartigen Strukturen 5 sowie einer als zweiter elektrischer Kontakt an der Oberseite aufgetragenen Aluminiumschicht 71. Die ITO-Schicht 8 dient dabei als erster elektrischer Kontakt. Der elektrische Kontakt 8 des Halbleiterbauteils 73 ist mit dem elektrischen Kontakt 71 des Halbleiterbauteils 74 verbunden. An den elektrischen Kontakt 8 des Halbleiterbauteils 74 und den elektrischen Kontakt 71 des Halb-

5 leiterbauteils 73 ist ein elektrischer Verbraucher, hier beispielhaft als Messinstrument 72 dargestellt, angeschlossen. Der Verbraucher sei dabei nicht als Teil des elektrischen Bauteils 70 verstanden. Zur Erzeugung größerer Ausgangsspannungen kann thermoelektrische und elektrothermische Wandler 70 weitere in Reihe geschaltete Anordnungen aus den beschriebenen Halbleiterbauteilen 73, 74 aufweisen.

10 Die Figur 9 zeigt eine Ausführungsform eines elektrischen Bauteils, bei dem mehrere elektrische Bauelemente 80, 81, 82, 83, z.B. in Form von thermoelektrische Generatoren gemäß Figur 8, Leuchtdioden oder Solarzellen, auf einer flexiblen Folie 87 angeordnet sind. Die Folie 87 kann z.B. eine Kapton-Folie sein. Zur Erzeugung einer Reihenschaltung der elektrischen Bauteile 80, 81, 82, 83 sind diese jeweils über elektrische Kontaktelemente 84, 85, 86 miteinander verbunden. Die elektrischen Bauelemente 80, 81, 82, 83 können abwechselnd als p- und n-leitende Halbleiterbauteil ausgebildet sein. Auf diese
15 Weise können mit dem beschriebenen Herstellverfahren auch großflächige Anordnungen von thermoelektrischen Generatoren, Leuchtdioden oder Solarzellen gebildet werden, die zudem flexibel auf Oberflächen befestigbar sind, insbesondere auf unebenen Oberflächen.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Bauteils (70, 80, 81, 82, 83),
das wenigstens ein Substrat (6) und wenigstens eine auf dem Substrat (6)
5 angeordnete Beschichtung (4) aus wenigstens zwei unterschiedlichen Materialien (1, 2) aufweist, die in einem gemeinsamen Abscheidungsprozess auf dem Substrat (6) abgeschieden werden, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten abgeschiedenen Material (1) im Verlaufe des Abscheidungsprozesses fadenartige Strukturen (5) eines zweiten abgeschiedenen Materials (2) gebildet werden, wobei einer oder mehrere Nukleationsparameter des zweiten Materials (2) bei der Ausbildung der fadenartigen Strukturen (5) im ersten Material (1) durch einen oder mehrere Verfahrensparameter nach Maßgabe einer gewünschten, durch den Herstellprozess zu erzeugenden Sollform der fadenartigen Strukturen (5) des
10 zweiten Materials (2) gesteuert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass einer oder mehrere der folgenden Verfahrensparameter gesteuert werden:
 - a) die Temperatur des Substrats (6),
 - 20 b) die Abscheidungsgeschwindigkeit des ersten und/oder zweiten Materials (1, 2),
 - c) die Zugabe wenigstens eines dritten Materials (3), das sich von dem ersten und zweiten abgeschiedenen Material (1, 2) unterscheidet und das bei dem gemeinsamen Abscheidungsprozess zusammen mit dem ersten und zweiten Material (1, 2) abgeschieden wird,
 - 25 d) die Substratvorbehandlung,
 - e) Abstrahlungseigenschaften einer auf das Substrat Strahlung abgebenden Strahlungsquelle,
 - f) Betriebsparameter einer Niederdruckabscheidungsanlage,
 - 30 g) Unterdruck in einer Reaktionskammer einer Kodepositionsanlage (10),
 - h) Eigenschaften eines Trägergases zum Transport des ersten und/oder zweiten Materials (1, 2) und ggf. des dritten Materials (3).

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass einer oder mehrere der in Anspruch 1 genannten Verfahrensparameter wie folgt gesteuert werden:
- a) die Temperatur des Substrats (6) wird während des Abscheidungsprozesses mittels einer Heiz- und/oder Kühleinrichtung (15, 16) auf einen bestimmten Wert gebracht, der nach Maßgabe einer gewünschten, durch den Herstellprozess zu erzeugenden Sollform der fadenartigen Strukturen (5) des zweiten Materials (2) bestimmt ist,
 - b) die Abscheidungsgeschwindigkeit wird nach Maßgabe einer gewünschten, durch den Herstellprozess zu erzeugenden Sollform der fadenartigen Strukturen (5) des zweiten Materials (2) bestimmt,
 - c) die Zugabe des dritten Materials (3) wird nach Maßgabe einer gewünschten, durch den Herstellprozess zu erzeugenden Sollform der fadenartigen Strukturen (5) des zweiten Materials (2) bestimmt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Substrats (6) desto höher bestimmt wird, je größer der Abstand der fadenartigen Strukturen (5) voneinander und/oder die Dicke der fadenartigen Strukturen (5) erzeugt werden soll.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheidungsgeschwindigkeit desto geringer bestimmt wird, je größer der Abstand der fadenartigen Strukturen (5) voneinander und/oder die Dicke der fadenartigen Strukturen (5) erzeugt werden soll.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der gemeinsame Abscheidungsprozess des ersten und zweiten Materials (1, 2) zusammen mit wenigstens einem dritten, auf dem Substrat (3) abgeschiedenen Material durchgeführt wird, das sich von dem ersten und zweiten abgeschiedenen Material (1, 2) unterscheidet.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite abgeschiedene Material (2) ein Elektronenletermaterial und das dritte abgeschiedene Material (3) ein Löcherletermaterial ist.
- 5 8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das dritte abgeschiedene Material (3) einen oder mehrere Nukleationsparameter des zweiten abgeschiedenen Materials (2) bei der Ausbildung der fadenartigen Strukturen (5) im ersten Material (1) steuert.
- 10 9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das dritte abgeschiedene Material (3) die durch das zweite abgeschiedene Material (2) gebildeten fadenartigen Strukturen (5) ganz oder teilweise ummantelt.
- 15 10. Kodepositionsanlage (10), die zur Herstellung eines elektrischen Bauteils (70, 80, 81, 82, 83) eingerichtet ist, indem wenigstens zwei unterschiedliche Materialien (1, 2) in einem gemeinsamen Abscheidungsprozess auf einem Substrat (6) abgeschieden werden, wobei die Kodepositionsanlage (10) Behälter (12, 13, 14) für das erste und das zweite Material (1, 2) und, sofern vorhanden, das dritte Material (3) und eine elektronische Steuerungseinrichtung (17) aufweist, die zur Ausführung eines Verfahrens nach
20 einem der vorhergehenden Ansprüche eingerichtet ist.
11. Elektrisches Bauteil (70, 80, 81, 82, 83) mit wenigstens einem Substrat (6) und wenigstens einer auf dem Substrat angeordneten Beschichtung (4)
25 aus wenigstens zwei unterschiedlichen Materialien (1, 2), hergestellt nach einem der Ansprüche 1 bis 9.
12. Elektrisches Bauteil nach Anspruch 11, hergestellt als flexible Folie (87) oder befestigt auf einer solchen Folie (87).
- 30 13. Wandler zur thermoelektrischen und/oder elektrothermischen Wandlung, aufweisend wenigstens ein elektrisches Bauteil (70, 80, 81, 82, 83) nach einem der Ansprüche 11 oder 12.

14. Feldeffekttransistor, aufweisend wenigstens ein elektrisches Bauteil (70, 80, 81, 82, 83) nach einem der Ansprüche 11 oder 12.
- 5 15. Lichtemittierendes Bauteil, insbesondere organische Leuchtdiode, aufweisend wenigstens ein elektrisches Bauteil (70, 80, 81, 82, 83) nach einem der Ansprüche 11 oder 12.
- 10 16. Solarzelle, insbesondere organische Solarzelle, aufweisend wenigstens ein elektrisches Bauteil (70, 80, 81, 82, 83) nach einem der Ansprüche 11 oder 12.

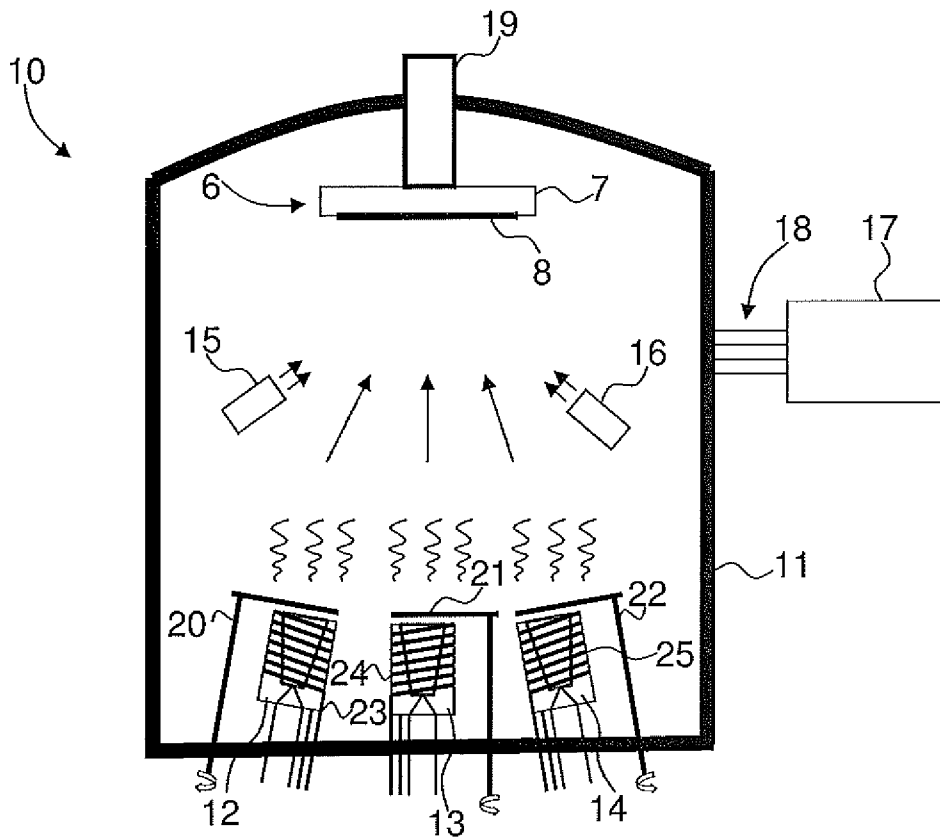


Fig. 1

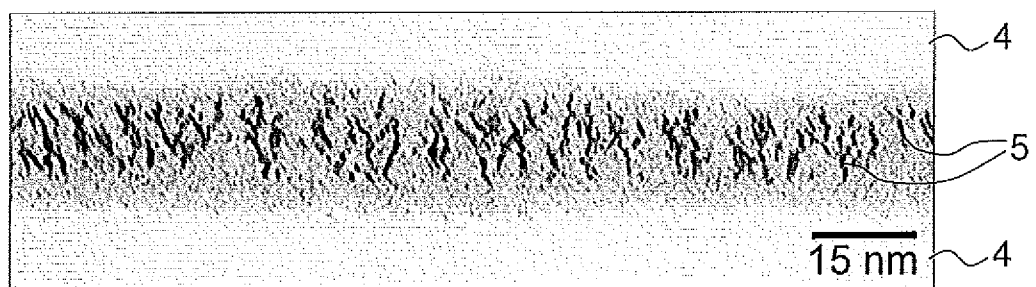


Fig. 2

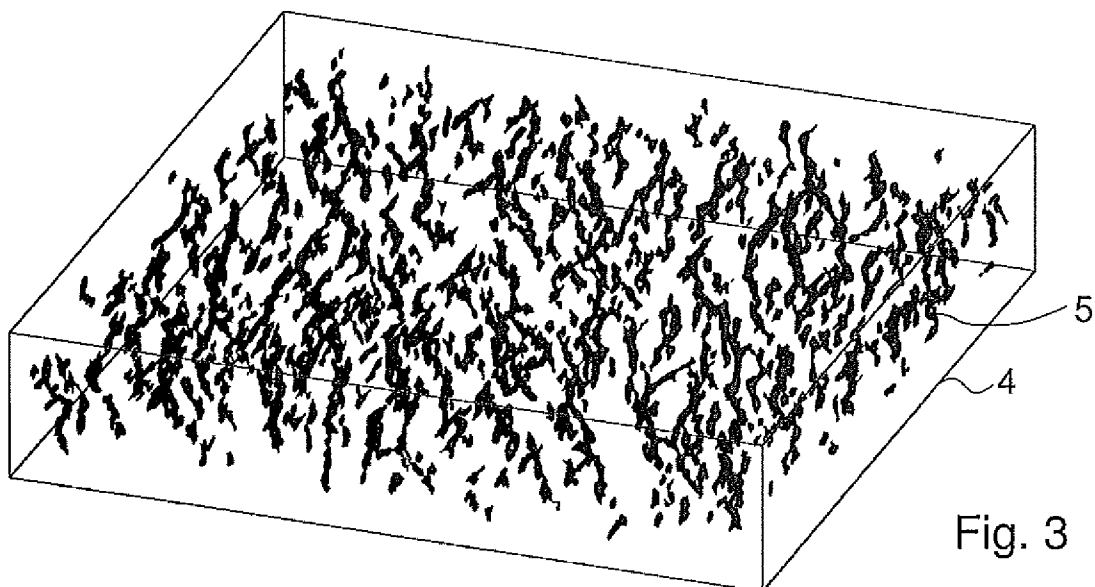


Fig. 3

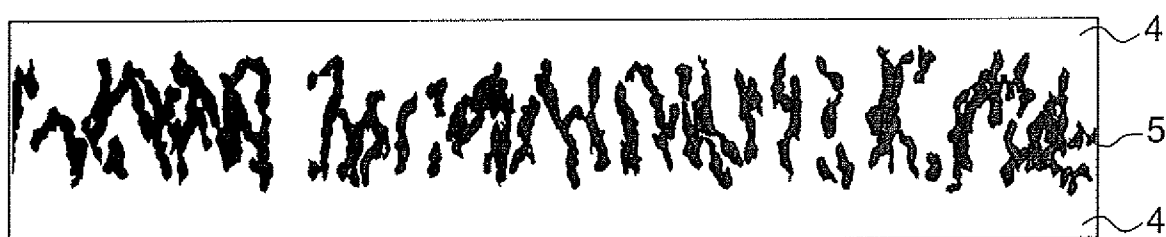


Fig. 4

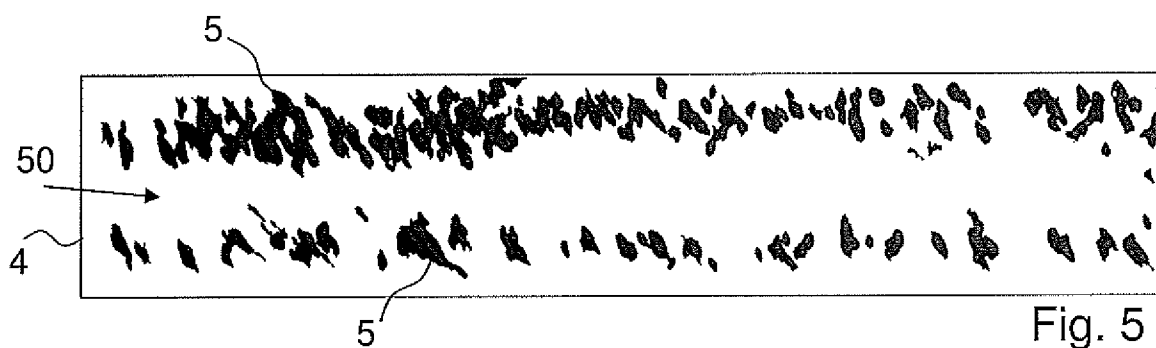


Fig. 5

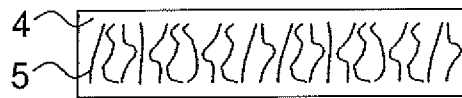


Fig. 6

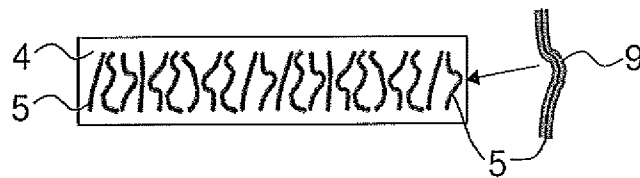


Fig. 7

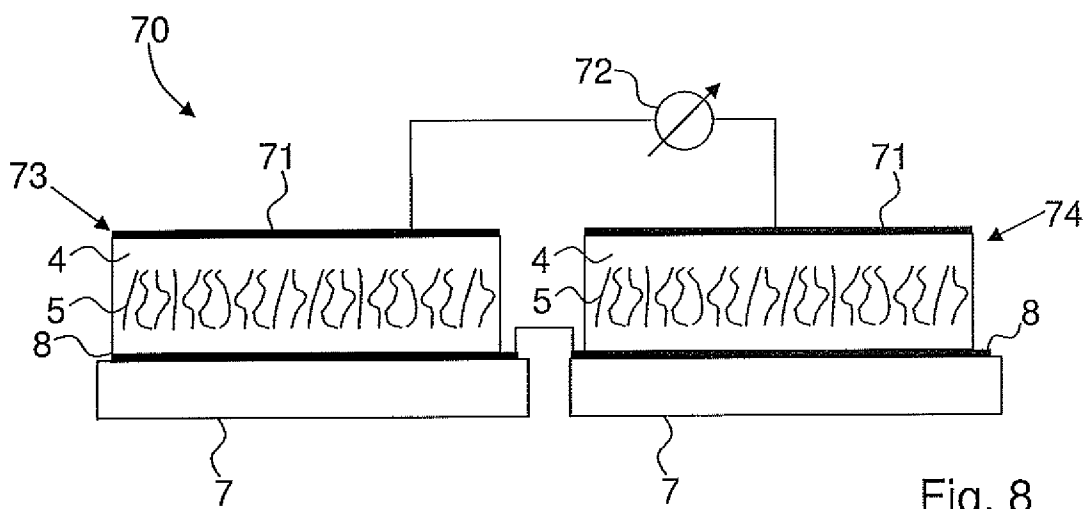


Fig. 8

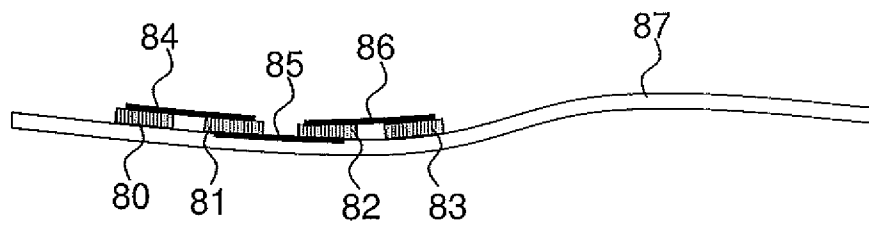


Fig. 9