

(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
25. September 2014 (25.09.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/146802 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01B 3/28 (2006.01) *H01B 3/10* (2006.01)
C08K 3/04 (2006.01) *H01B 3/46* (2006.01)
C08K 3/22 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/050713

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Januar 2014 (15.01.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2013 204 706.1 18. März 2013 (18.03.2013) DE

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: LANG, Steffen; Schnaid 48, 91352 Hallerndorf (DE).

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

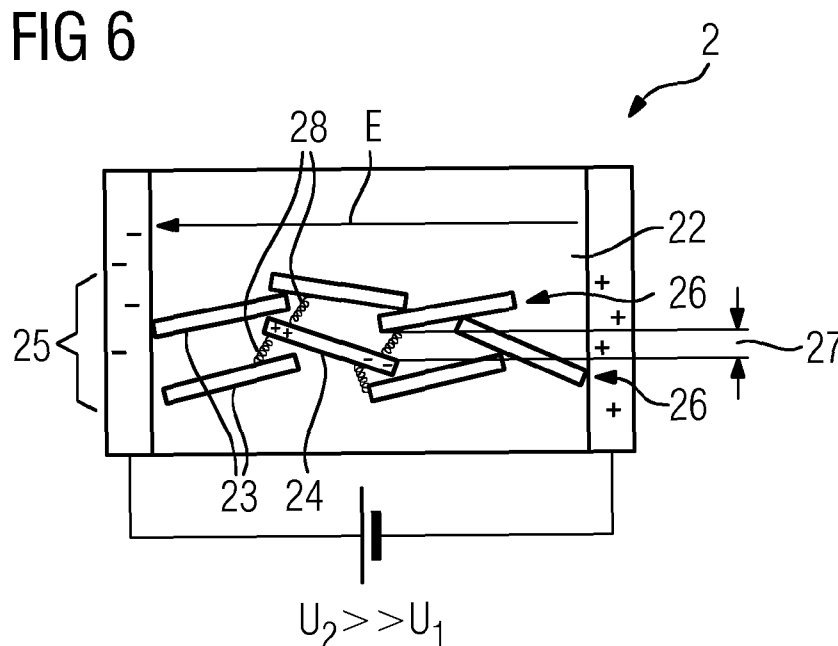
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(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,

(54) Title: RESISTANCE COVERING FOR A D.C. INSULATION SYSTEM

(54) Bezeichnung : WIDERSTANDSBELAG FÜR EIN GLEICHSTROMISOLIERSYSTEM



(57) Abstract: The invention relates to a resistance covering for a d.c. insulation system, comprising a matrix material with particles embedded therein, said particles having an aspect ratio greater than 1. The matrix material is flexible to such an extent that the particles align depending on an electric field strength. The particles can align in the electric field and thus a breakdown voltage of the resistance covering is increased. The invention also relates to a d.c. insulation system comprising said resistance covering.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/146802 A1

Die Erfindung betrifft einen Widerstandsbelag für ein Gleichstromisoliersystem mit einem Matrixmaterial mit darin eingebetteten Partikeln, die ein Aspektverhältnis größer 1 aufweisen, wobei das Matrixmaterial derart flexibel beschaffen ist, dass sich die Partikel in Abhängigkeit von einer elektrischen Feldstärke ausrichten. Die Partikel können sich somit im elektrischen Feld ausrichten, wodurch sich eine Durchbruchspannung des Widerstandsbelags erhöht wird. Die Erfindung betrifft zudem ein Gleichstromisoliersystem mit dem Widerstandsbelag.

Beschreibung

Widerstandsbelag für ein Gleichstromisoliersystem

5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Widerstandsbelag für ein Gleichstromisoliersystem. Die Erfindung betrifft zudem ein Gleichstromisoliersystem mit dem Widerstandsbelag.

10 Isoliersysteme für Gleichstromanwendungen basieren meist auf einem gasförmigen bzw. einem festen Dielektrikum. Werden diese Isoliersysteme mit Gleichspannung beaufschlagt und einem stationären elektrischen Feld ausgesetzt, wird die elektrische Feldverteilung lediglich durch die resistiven Eigenschaften des Isoliersystems bestimmt. Entscheidend für die
15 resistiven Eigenschaften ist vornehmlich der Oberflächenwiderstand des Dielektrikums. Befindet sich das Isoliersystem unter dem Einfluss eines gleichgerichteten elektrischen Feldes, bildet sich eine Ladungsträgeranhäufung an der Grenzfläche zwischen festem Dielektrikum und gasförmigen Dielektri-
20 kum. Hierbei kann die Ladungsträgeranhäufung auch durch Schmutzpartikel auf der Oberfläche des Dielektrikums hervorgerufen werden. Dadurch wird die Feldverteilung an der Oberfläche des Dielektrikums negativ beeinflusst, so dass lokale Feldüberhöhungen auftreten, die zu Überschlägen führen können.
25 Eine leitfähige Oberfläche des Dielektrikums, beispielsweise in Form eines leitfähigen Widerstandsbelages, kann diese Ladungsträgeranhäufungen ableiten und so eine Feldüberhöhung vermeiden.

30 Neuere Entwicklungen erfordern es, in der Nieder-, Mittel- und Hochspannungstechnik die elektrischen Anlagen immer kompakter zu konstruieren. Hierbei kommt es durch die immer kleiner werdenden Abstände zwischen den Leitern zu immer höheren Feldstärken. Ab einer Feldstärke von 30 V/mm kann es
35 jedoch zu nichtlinearen Effekten im leitfähigen Widerstandsbelag kommen, und die Stromdichte nimmt nicht mehr linear mit der Feldstärke zu. Der Widerstandsbelag verhält sich dann nicht mehr ohmsch. Die überhöhte Stromdichte führt dabei zur

Erwärmung und schlimmsten Falles zur Überhitzung des Widerstandsbelages, der dadurch beschädigt werden kann.

5 Daher ist es Aufgabe der Erfindung einen verbesserten Widerstandsbelag bereitzustellen, der sich auch bei hohen Feldstärken von mehr als 30 V/mm ohmsch verhält und für unterschiedliche Anwendungen einsetzbar ist.

10 Es wird ein Widerstandsbelag für ein Gleichstromisoliersystem vorgeschlagen, welcher ein Matrixmaterial mit darin eingebetteten Partikeln umfasst, die ein Aspektverhältnis größer 1 aufweisen. Dabei ist das Matrixmaterial derart flexibel beschaffen, dass sich die Partikel in Abhängigkeit von einer elektrischen Feldstärke ausrichten.

15

Das Aspektverhältnis kann bevorzugt größer 2 und besonders bevorzugt größer 15 betragen. Das Aspektverhältnis meint hier das Verhältnis einer Ausdehnung eines Partikels in einer ersten Raumrichtung zu einer Ausdehnung des Partikels in einer zweiten Raumrichtung. Insbesondere weisen Partikel mit einem Aspektverhältnis größer 1, bevorzugt größer 2 und besonders bevorzugt größer 15 eine Vorzugsrichtung auf, entlang derer sie sich ausrichten.

25

Können sich die Partikel in dem Matrixmaterial des Widerstandsbelages in Abhängigkeit von der elektrischen Feldstärke ausrichten, kann ein ohmsches Verhalten des Widerstandsbelages bei hohen Feldstärken von beispielsweise mehr als 30 V/mm, bevorzugt von mehr als 100 V/mm und besonders bevorzugt von mehr als 500 V/mm gewährleistet bzw. aufrechterhalten werden. „Ohmsches Verhalten“ meint, dass die Stromdichte des Widerstandsbelags linear mit der elektrischen Feldstärke zunimmt. Für das ohmsche Verhalten des vorgeschlagenen Widerstandsbelages verantwortlich sind Leitungseffekte zwischen
35 den Partikeln.

So bilden die Korngrenzen in den einzelnen Partikeln sowie die Partikelübergänge Potentialbarrieren, die unterhalb der

Durchbruchsspannung nicht durchtunnelt werden können. Der Leitungsmechanismus in diesem Bereich resultiert aus einem Leckstrom zwischen den Partikeln, der zum Beispiel mit Hilfe des Pool-Frenkel-Effekts oder dem Richardson-Schottky-Mechanismus beschrieben werden kann.

Bei hohen Spannungen größer der Durchbruchsspannung können die Elektronen die Potentialbarriere überwinden und die Stromdichte innerhalb des Widerstandsbelags steigt überproportional zur Feldstärke an. Dieses nicht-lineare, insbesondere exponentielle, Verhalten der Stromdichte kann mit Hilfe des Nichtlinearitätsexponenten „alpha“ und der Durchbruchsspannung charakterisiert werden. Die Durchbruchsspannung bezeichnet dabei die Spannung, ab der die Elektronen die Potentialbarrieren an den Korngrenzen und Partikelübergängen überwinden können, und eine Leitung zwischen den Partikeln einsetzt. Die Durchbruchsspannung ist damit proportional zur Anzahl der Partikel, und somit den Potentialbarrieren der Korngrenzen und Partikelübergängen. Steigt die Feldstärke also soweit an, dass die Durchbruchsspannung überschritten wird, können die Elektronen zwischen den einzelnen Partikeln tunneln und die Stromdichte des Widerstandsbelags steigt nicht mehr linear und insbesondere exponentiell an. Der Nichtlinearitätsexponent ist dabei durch die Steigung der jeweils logarithmisch aufgetragenen Stromdichte-Feldstärke-Kennlinie definiert. Im Falle einer linearen, ohmschen Kennlinie besitzt „alpha“ den Wert 1. Bei einem nichtlinearen Widerstandsverhalten ist „alpha“ größer 1.

Bei ansteigender Feldstärke können zusätzlich Ladungen innerhalb der Partikel verschoben werden, und die Partikel werden polarisiert. Ist das Matrixmaterial so flexibel, dass sich die Partikel bewegen können, richten sich diese entsprechend ihrer Polarisierung gegeneinander aus. Dabei werden der Abstand und infolge dessen auch die Potentialbarriere zwischen einzelnen Partikeln erhöht. Die Durchbruchsspannung verschiebt sich zu höheren Feldstärken, und der Widerstandsbelag weist auch bei Spannungen größer der ursprünglichen Durch-

bruchsspannung ein ohmsches Verhalten auf. Mit dem Widerstandsbelag kann somit auch bei hohen Spannungen bzw. Feldstärken ein ohmsches Widerstandsverhalten gewährleistet werden und sichergestellt werden, dass auch bei hohen Feldstärken die resultierende Stromdichte nicht überproportional ansteigt, sondern nur linear. Dadurch wiederum kann sichergestellt werden, dass die aus der Stromdichte resultierende Verlustleistung ebenfalls nur linear mit steigender Feldstärke ansteigt, wodurch die sich ergebende Joulesche Erwärmung, die proportional zur Verlustleistung ist, ebenfalls nicht überproportional ansteigt. Dadurch wird der Widerstandsbelag nicht einer unzulässig hohen Temperatur ausgesetzt und als Folge dessen nicht thermisch zerstört. Somit kann also durch den Widerstandsbelag vorteilhaft eine elektrische Aufladung an Grenzflächen beispielsweise zwischen einem festen und einem gasförmigen Dielektrikum abgeleitet werden, ohne konstruktive Maßnahmen ergreifen zu müssen, die viel Platz in Anspruch nehmen und gleichzeitig sichergestellt werden, dass der Widerstandsbelag nicht unzulässig heiß wird.

Mit „Widerstandsbelag“ ist vorliegend auch eine Widerstandsschicht gemeint. Diese kann, muss aber nicht stoffschlüssig mit einem Isolator oder einer sonstigen Komponente gebildet sein.

Der Widerstandsbelag kann in unterschiedlichen Gleichstromisoliersystemen mit Feldstärken größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500 V/mm eingesetzt werden. Beispielsweise kann der Widerstandsbelag in der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) oder in Hochspannungsgleichstromisoliersystemen, wie Transformatoren und deren Durchführungen, zum Einsatz kommen. Auch die Verwendung in elektronischen Bauteilen, bei denen hohe Feldstärken auftreten, etwa in Leiterplatten, ist möglich. So können insbesondere bei Leiterplatten der Halbleitertechnik, beispielsweise in Prozessoren oder Chips, Feldstärken größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500

V/mm auftreten, wenn Leiter durch die Miniaturisierung in geringem Abstand zueinander angeordnet sind.

Für die notwendige Flexibilität des Matrixmaterials, ist das
5 Matrixmaterial in einer Ausführungsform ein Elastomer. Das
Elastomer weist eine Glasübergangstemperatur auf, die kleiner
einer bestimmungsgemäßen Einsatztemperatur des Widerstandsbe-
lags ist. Ein Einsatztemperaturbereich bezeichnet hier die
10 Temperaturen, die in der mit dem Widerstandsbelag ausgestat-
tete Komponente im Betrieb auftreten können. Der Einsatztem-
peraturbereich umfasst also die Temperaturen, denen der Wi-
derstandsbelag ausgesetzt sein kann. Beispielsweise kann das
Matrixmaterial in einem Einsatztemperaturbereich von -200 bis
500 Grad Celsius, bevorzugt von -20 bis 120 Grad Celsius und
15 besonders bevorzugt von 40 bis 70 Grad Celsius elastisch
sein. Die Glasübergangstemperatur ist damit vorzugsweise klei-
ner als die Untergrenze des Einsatztemperaturbereiches. Der
Widerstandsbelag kann dementsprechend für einen Einsatztempe-
raturbereich von -200 bis 500 Grad Celsius, bevorzugt von -20
20 bis 120 Grad Celsius und besonders bevorzugt von 40 bis 70
Grad Celsius ausgelegt sein.

In einer weiteren Ausführungsform ist das Matrixmaterial
elastisch ausgebildet. Das Matrixmaterial des Widerstandsbe-
25 lages ist vorzugsweise so zu wählen, dass es bei den bestim-
mungsgemäßen Einsatztemperaturen elastisch ist. Die Partikel
können sich somit in dem Matrixmaterial bewegen und in Abhän-
gigkeit von der Feldstärke ausrichten. Nach Wegnahme des
elektrischen Felds nehmen die Partikel wieder ihre ursprüng-
30 liche Orientierung ein.

Als Matrixmaterial eignet sich eine Vielzahl von Elastomeren.
Beispielhaft seien hier Kautschuke genannt, wie Naturkaut-
schuk (NR), Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR), Styrol-
35 Butadien-Kautschuk (SBR), Chloropren-Kautschuk (CR), Buta-
dien-Kautschuk (BR) und Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
(EPDM) oder Poly(organo)siloxanen-Kautschuk (Silikonkaut-
schuk). Weiterhin beispielhaft genannte Elastomere sind Har-

ze, wie Polymethylsiloxan-Harz, Polymethylphenylsiloxan-Harz, Epoxidharz, Alkydharz oder Polyesterimidharz. Das Matrixmaterial kann auch eine Mischung mit verschiedenen Elastomeren enthalten.

5

In einer weiteren Ausführungsform weist das Matrixmaterial eine Shore-Härte A von 10 bis 90, bevorzugt von 20 bis 80 und besonders bevorzugt von 30 bis 50 auf. Hierbei ist die Shore-Härte auf das Matrixmaterial ohne eingebettete Partikel bezogen. Das Matrixmaterial kann weiter einen Verlustmodul G'' aufweisen, der kleiner einem Speichermodul G' ist.

10

Kautschuke, wie Silikonkautschuk, sind elastischer als Harze, wie Polyesterimidharz. So liegen die Shore-Härten A von Silikonkautschuken im Bereich von 35 bis 50. Elastische Polyesterimidharze weisen dagegen eine Shore-Härte A größer 45, insbesondere zwischen 50 und 80, beispielsweise zwischen 60 und 80, auf. Die Elastizität des Matrixmaterials beeinflusst dabei, wie schnell sich die Partikel bei sich ändernder Feldstärke ausrichten oder wie schnell die Partikel relaxieren, d.h. in ihre Ausgangsposition zurückkehren. So können sich die Partikel beispielsweise in einem Silikonkautschuk unmittelbar mit der ansteigenden Feldstärke ausrichten, während sich Partikel beispielsweise in einem Polyesterimidharz zeitverzögert mit der ansteigenden Feldstärke ausrichten, bzw. wenn die Matrix steif genug ist sich gar nicht ausrichten. Analog dazu relaxieren Partikel in zum Beispiel dem Silikonkautschuk schneller als in zum Beispiel dem Polyesterimidharz.

20

25

30

In einer weiteren Ausführungsform sind die Partikel plättchenförmig oder stäbchenförmig. Auch Partikelmischungen mit einer Mischung aus plättchenförmigen Partikeln und stäbchenförmigen Partikeln sind möglich. Dabei können die Partikel ein Aspektverhältnis von 10 bis 1000, bevorzugt 10 bis 100 und besonders bevorzugt von 15 bis 50 aufweisen. Das Aspektverhältnis bezieht sich für plättchenförmige Partikel auf das Verhältnis jeweils von Länge und Breite zu Dicke. Bei

35

stäbchenförmigen Partikeln bezieht sich das Aspektverhältnis auf das Verhältnis jeweils von Breite und Dicke zu Länge. Dabei beeinflusst das Aspektverhältnis und die sich daraus ergebende Asymmetrie in den Partikeldimensionen die Tendenz der Partikel sich auszurichten. So weisen Partikel mit einem großen Aspektverhältnis eine größere Tendenz auf, sich auszurichten als Partikel mit einem kleineren Aspektverhältnis. Bei plättchenförmigen Partikeln beispielsweise richten sich die Partikel im Widerstandsbelag entlang der größten Fläche aus, d.h. die größte Fläche ist parallel zu einer Grenzfläche zwischen zum Beispiel einem festen und einem gasförmigen Dielektrikum orientiert. Analog können sich stäbchenförmige Partikel entlang der Länge ausrichten, d.h. die größte Achse ist parallel zu einer Grenzfläche zwischen zum Beispiel einem festen und einem gasförmigen Dielektrikum orientiert.

In einer weiteren Ausführungsform enthalten die Partikel Glimmerpartikel, Siliziumkarbidpartikel (SiC-Partikel), Metalloxidpartikel, insbesondere Aluminiumoxidpartikel (Al₂O₃-Partikel), Kohlenstoffnanoröhren oder Mischungen hieraus. Diese Partikel sind insbesondere in dem vorstehend genannten Aspektverhältnis verfügbar.

In einer weiteren Ausführungsform liegt ein Volumenanteil der Partikel zwischen 5 und 55 Vol.%, bevorzugt zwischen 6,5 und 40 Vol.-% und besonders bevorzugt zwischen 15 und 30 Vol.-%. Hierbei beziehen sich der Volumenanteil und Angaben in Vol.-% auf das Gesamtvolumen des Matrixmaterials und der Partikel. Diese Volumenanteile an Partikeln entsprechen bei einem Matrixmaterial mit einer Dichte von 1 g/cm³ und plättchenförmigen Partikeln mit einer Dichte von 3,5 g/cm³ einem Aspektverhältnis von 20. Ist der Partikelanteil zu hoch, sind die Bewegungsfreiräume der einzelnen Partikel eingeschränkt und sie können sich nicht mehr in dem Matrixmaterial ausrichten. Daher wird der Partikelanteil so gewählt, dass sich die Partikel in dem Matrixmaterial ausrichten können. Ist der Partikelanteil zu gering, können sich die Partikel untereinander nicht kontaktieren, wodurch keine Leitpfade

ausgebildet werden und der Widerstandsbelag besitzt den spezifischen Widerstand der Matrix.

In einer weiteren Ausführungsform ist ein Volumenanteil
5 und/oder Aspektverhältnis der Partikel so gewählt, dass die
Perkolationsschwelle überschritten ist. Dabei bezeichnet die
Perkolationsschwelle den Volumenanteil von Partikeln, bei
dessen Überschreiten sich die Partikel kontaktieren und im
Matrixmaterial Leitpfade ausbilden können. Dabei kann der Vo-
10 lumenanteil, bei dem die Perkolationsschwelle überschritten
wird, vom Aspektverhältnis der Partikel abhängen.

In einer weiteren Ausführungsform enthält das Matrixmaterial
erste Partikel, die eine erste elektrische Leitfähigkeit oder
15 einen ersten elektrischen Widerstand aufweisen, und zweite
Partikel, die eine zweite elektrische Leitfähigkeit oder ei-
nen zweiten elektrischen Widerstand aufweisen, wobei sich die
erste elektrische Leitfähigkeit oder der erste elektrische
Widerstand von der zweiten elektrischen Leitfähigkeit oder
20 dem zweiten elektrischen Widerstand unterscheidet. So kann
insbesondere die elektrische Leitfähigkeit oder der elektri-
sche Widerstand des Widerstandsbelages durch einen Gewichts-
anteil der ersten und zweiten Partikel eingestellt sein.
Hierbei ist der Gewichtsanteil auf das Gesamtgewicht der ers-
25 ten und zweiten Partikel bezogen. Mit einer Mischung aus ers-
ten und zweiten Partikeln kann die elektrische Leitfähigkeit
und damit die Verlustleistung des Widerstandsbelages einge-
stellt werden. Durch die Gewichtsanteile der ersten und zwei-
ten Partikel kann der Widerstandsbelag somit optimal an das
30 gewünschte Gleichstromisoliersystem angepasst werden. Hierbei
können neben einer Partikelmischung mit ersten und zweiten
Partikeln auch Partikelmischungen mit mehreren Partikeln zum
Einsatz kommen.

35 Um die elektrische Leitfähigkeit oder den elektrischen Wider-
stand des Widerstandsbelages einfach anzupassen, enthalten
die Partikel zumindest ein dotierbares Halbleitermaterial,
dessen Dotierung die elektrische Leitfähigkeit oder den

elektrischen Widerstand der Partikel bestimmt. Dabei können die Partikel mit dem dotierbaren Halbleitermaterial beschichtet sein. Weiterhin kann das dotierbare Halbleitermaterial je nach Dotierung einen elektrischen Quadratwiderstand im Bereich von $1 \cdot 10^3$ bis $1 \cdot 10^{15} \Omega$ aufweisen. Dabei bedeuten Angaben von Quadratwiderständen, dass der Oberflächenwiderstand bei einer Feldstärke von 100 V/mm gemessen wurden. Durch die Dotierung des Halbleitermaterials können Partikel mit unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeiten oder Widerständen bereitgestellt werden. Die elektrische Leitfähigkeit oder der Widerstand des Widerstandsbelags ist entsprechend einfach über die darin enthaltenen Partikel einstellbar und kann einfach an die Anforderungen in unterschiedlichen Gleichstrom-isoliersystemen angepasst werden.

Beispielsweise kann das Halbleitermaterial ein Metalloxid, wie Zinnoxid (SnO_2), Zinkoxid (ZnO), Zinkstannat (ZnSnO_3), Titandioxid (TiO_2), Bleioxid (PbO) oder Siliziumkarbid (SiC) sein. Als Dotierungselemente eignen sich Antimon (Sb), Indium (In) oder Cadmium (Cd). Bevorzugt wird Zinnoxid (SnO_2) dotiert mit Antimon (Sb) eingesetzt. Durch die Verwendung des dotierbaren Halbleitermaterials können je nach Dotierung unterschiedliche elektrische Quadratwiderstände im Bereich von $1 \cdot 10^3$ bis $1 \cdot 10^{15} \Omega$, bevorzugt im Bereich von $1 \cdot 10^{11}$ bis $1 \cdot 10^{15} \Omega$, realisiert werden. Um einen Partikel mit einem hohen Quadratwiderstand im Bereich von $1 \cdot 10^{11}$ bis $1 \cdot 10^{15} \Omega$ bereitzustellen, können die Partikel zusätzlich mit einer elektrisch isolierenden Schicht, wie Titandioxid (TiO_2), überzogen sein.

In einer weiteren Ausführungsform ist der Widerstandsbelag so eingestellt, dass er sich bei Feldstärken insbesondere größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500 V/mm ohmsch verhält. D.h. die Stromdichte des Widerstandsbelages nimmt linear mit der ansteigenden Feldstärke zu. Weiterhin kann der Widerstandsbelag so eingestellt sein, dass dieser sich in einem ersten Feldstärkenbereich insbesondere größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders

bevorzugt größer 500 V/mm ohmsch verhält und in einem zweiten Feldstärkenbereich insbesondere größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500 V/mm nicht ohmsch verhält. So kann ein Widerstandsbelag bereitgestellt werden, der zum Beispiel nur im für das jeweilige Gleichstromisoliersystem relevanten Feldstärkenbereich ein ohmsches Verhalten aufweist. Zum Einstellen des Widerstandsbelages können, wie vorstehend beschrieben, das Matrixmaterial und/oder die Partikel entsprechend gewählt werden. Beispielsweise kann die Feldstärke, ab der sich der Widerstandsbelag ohmsch verhält, durch die Flexibilität des Matrixmaterials bei unterschiedlichen Temperaturen eingestellt werden. Zusätzlich kann durch Einstellen des spezifischen Widerstandes des Widerstandsbelages, etwa über die Wahl des Mischungsverhältnisses der Partikel, eine vorgegebene Verlustleistung in einem vorgegebenen Feldstärkenbereich eingestellt werden.

Es wird weiterhin ein Gleichstromisoliersystem mit dem vorstehend beschriebenen Widerstandsbelag vorgeschlagen. Dabei können im Bereich des Widerstandsbelages Feldstärken größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500 V/mm auftreten. In einer Ausführungsform umfasst das Gleichstromisoliersystem einen ersten Leiter und einen zweiten Leiter, zwischen denen im Betrieb des Gleichstromisoliersystems beispielsweise elektrische Feldstärken größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500 V/mm erzeugbar sind.

In einer weiteren Ausführungsform umfasst das Gleichstromisoliersystem einen ersten Leiter und einen zweiten Leiter, wobei der Widerstandsbelag zwischen den beiden Leitern angeordnet ist. Insbesondere kann zwischen dem ersten und dem zweiten Leiter mindestens ein Isolator mit dem Widerstandsbelag vorgesehen sein, der sich zumindest teilweise zwischen dem ersten und dem zweiten Leiter erstreckt. Der Widerstandsbelag erstreckt sich vorzugsweise von dem ersten zum zweiten Leiter. Der weitere Raum zwischen dem ersten und zweiten Leiter kann mit einem gasförmigen Dielektrikum, wie Luft, gefüllt

sein. Der Isolator kann somit ein festes Dielektrikum mit Grenzflächen zu einem gasförmigen Dielektrikum bilden. Bevorzugt ist der Widerstandsbelag an solchen Grenzflächen des Isolators angeordnet, die an ein gasförmiges Dielektrikum, wie Luft, angrenzen. Das Beschichten des Isolators mit dem Widerstandsbelag kann zum Beispiel durch Sprühen, Rakeln, Pinseln, Tauchen oder dergleichen erfolgen. So kann der Widerstandsbelag als Lack auf die Grenzflächen des Isolators aufgetragen werden, der das Matrixmaterial, die Partikel und gegebenenfalls ein Lösungsmittel enthält.

Im Folgenden werden anhand der beigefügten schematischen Zeichnung Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert.

15 Dabei zeigen:

Figur 1 ein Gleichstromisoliersystem mit zwei Leitern, zwischen denen ein Isolator angeordnet ist;

20 Figur 2 das Gleichstromisoliersystem gemäß Figur 1, in dem der Isolator einen Widerstandsbelag aufweist;

Figur 3 eine Leiterplatte als Gleichstromisoliersystem mit dem Widerstandsbelag;

25

Figur 4 einen Verlauf des Quadratwiderstandes gegen die Feldstärke für Widerstandsbeläge mit steifem Matrixmaterial und unterschiedlichen Partikelanteilen;

30 Figur 5 schematisch einen Widerstandsbelag mit einem flexiblen Matrixmaterial und darin eingebetteten Partikeln bei Feldstärken kleiner 30 V/mm;

Figur 6 schematisch der Widerstandsbelag der Figur 5 bei
35 Feldstärken größer 30 V/mm;

- Figur 7 den Verlauf des Quadratwiderstandes gegen die Feldstärke für Widerstandsbeläge, die unterschiedliche Elastomere als Matrixmaterial aufweisen; und
- 5 Figur 8 den Verlauf des Quadratwiderstandes gegen die Feldstärke für Widerstandsbeläge mit Elastomeren, die zäher sind als die der Widerstandsbeläge aus Figur 7.
- 10 Gleiche oder funktionsgleiche Elemente sind in den Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen soweit es nicht anders angegeben ist.

Figur 1 zeigt ein Gleichstromisoliersystem 1 mit einem ersten
15 Leiter 2, der einen Gleichstrom führt, und einem zweiten Leiter 3, der als Nullleiter auf Erdpotential liegt. Zwischen den beiden Leitern 2, 3 liegt ein elektrisches Feld E an, das größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500 V/mm ist.

20

Ein Isolator 4 beabstandet die beiden Leiter 2, 3 voneinander. Dabei erstreckt sich der Isolator 4 teilweise in einem Raum 5 zwischen den beiden Leitern 2, 3. Der weitere Raum 5 ist mit einem gasförmigen Dielektrikum, wie Luft, gefüllt.
25 Damit bilden sich an dem Isolator 4 Grenzflächen 6, 7 aus, die einen Übergang zwischen dem Isolator 4 als festes Dielektrikum und dem gasförmigen Dielektrikum bilden. An diesen Grenzflächen 6, 7 können sich Schmutzpartikel 8 ansammeln, die zu Feldüberhöhungen und zum thermischen Zerstören des
30 Isolators 4 führen können. Um derartige Beschädigungen zu vermeiden, kann der Isolator 4 mit einem Widerstandsbelag 9 beschichtet sein.

Die Konfiguration der Figur 2 illustriert den Einsatz des Widerstandsbelages 9 in dem Gleichstromisoliersystem 1 der Figur 1.
35

Hierbei ist der Isolator 4 mit dem Widerstandsbelag 9 beschichtet. Dieser ist an den Grenzflächen 6, 7 (nur für die Grenzfläche 7 beispielhaft gezeigt) des Isolators 4 angeordnet, die an das gasförmige Dielektrikum, wie Luft, angrenzen. Durch den Widerstandsbelag 9 können Feldüberhöhungen verursacht durch Schmutzpartikel 8 vermieden werden. So kann der Isolator insbesondere bei Feldstärken größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500 V/mm vor elektrischen Beschädigungen durch (Teil-)Entladungen geschützt werden.

Figur 3 zeigt eine Leiterplatte 10 mit dem Widerstandsbelag 9 als weiteres Beispiel eines Gleichstromisoliersystems 1 mit Feldstärken von beispielsweise größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500 V/mm.

Die Leiterplatte 10 der Figur 3 umfasst ein Substrat, auf das eine Leiterbahnstruktur 11 mit Leiterbahnen 12 beispielsweise aufgedruckt ist. Um solche Leiterplatten 10 möglichst miniaturisiert bauen zu können, sind die Leiterbahnen 12 in einer hohen Dichte auf dem Substrat vorzusehen, ohne die Funktionalität zu beeinflussen. Je näher jedoch die Leiterbahnen 12 zueinander angeordnet sind, desto höher werden die elektrischen Feldstärken E zwischen den Leiterbahnen 12. So kann die elektrische Feldstärke E zwischen Leiterbahnen 12 auf über 30 V/mm, bevorzugt über 100 V/mm und besonders bevorzugt über 500 V/mm ansteigen. Um derartige Feldstärken E über den gesamten Abstand der beiden Leiter zu homogenisieren, ist auf dem isolierenden Substrat im Bereich 13 zwischen den beispielhaft in Figur 3 dargestellten Leiterbahnen 12 der Widerstandsbelag 9 vorgesehen.

Figur 4 zeigt einen Verlauf des Quadratwiderstandes R gegen die elektrische Feldstärke E für Widerstandsbeläge 9 mit steifem Matrixmaterial 22 (siehe Figuren 5 und 6) und unterschiedlichen Mischungsverhältnissen von ersten Partikeln 23 mit einem ersten, hohen Widerstand (vorliegend auch „hochhohmiger Füllstoff“) und Partikeln 24 mit einem zweiten, niedri-

gen Widerstand (vorliegen auch „niederohmiger Füllstoff“).
Hierbei ist der Quadratwiderstand R in Ohm und die Feldstärke E in V/mm gegeben. Bei den dargestellten Verläufen 14 bis 18 erhöht sich weiterhin der Partikelanteil des hochohmigen
5 Füllstoffes, wobei gleichzeitig der Partikelanteil des niederohmigeren Füllstoffes im gleichen Verhältnis (bspw. in Schritten von 25%) reduziert wird.

Der Verlauf 14 zeigt das Verhalten des Quadratwiderstandes R
10 gegen die Feldstärke E bei einem Widerstandsbelag 9, der ein Matrixmaterial 22 (bspw. 78 Vol.%) und einen niederohmigeren Partikelanteil (bspw. 22 Vol.%) aufweist. Dieser zeigt bei niedrigen Feldstärken E unter 10 V/mm einen konstanten Quadratwiderstand R von etwa $1 \cdot 10^{10} \Omega$. Ab einer Feldstärke E von
15 etwa 10 V/mm nimmt der Quadratwiderstand R ab. Der Widerstandsbelag 9 zeigt somit ab etwa 10 V/mm ein nicht ohmsches Verhalten, wobei der Quadratwiderstand R mit steigender Feldstärke E abnimmt und dementsprechend die Stromdichte zunimmt.

20 Der Verlauf 15 zeigt das Verhalten des Quadratwiderstandes R gegen die Feldstärke E bei einem Widerstandsbelag 9, bei dem ein Partikelanteil des niederohmigeren Füllstoffes von 25 Gew.-% durch einen hochohmigen Füllstoff ersetzt wurde. Durch den erhöhten Partikelanteil erhöht sich der Quadratwiderstand
25 R bis zu einer elektrischen Feldstärke E , ab der das Verhalten vom ohmschen Verhalten abweicht. Ein analoges Verhalten zeigen die Verläufe 16, 17, 18, wobei bei den untersuchten Widerstandsbelägen 9 die niederohmigen Partikel 24 schrittweise (bspw. in 25 %- Schritten) durch hochohmige Partikel 23
30 ersetzt wurden.

Weiterhin gezeigt in Figur 4 ist der Arbeitsbereich der untersuchten Widerstandsbeläge 9. So ist der Strom, der im Widerstandsbelag 9 gemessen werden kann, im Bereich 19 mit geringen Feldstärken E und hohen Quadratwiderstandswerten R zu gering zur Messung. In einem Bereich 21 mit geringen Quadratwiderstandswerten R und hohen Feldstärken E kommt es zur Erwärmung und thermischen Zerstörung des Widerstandsbelages 9.

In einem Bereich 20 mit hohen Quadratwiderstandswerten R und hohen Feldstärken E dagegen treten Entladungen oder Teilentladungen in Luft auf, die ebenfalls zur Schädigung des Widerstandsbelages 9 führen können.

5

Figur 5 zeigt schematisch einen Widerstandsbelag 9 mit einem flexiblen Matrixmaterial 22 und darin eingebetteten Partikeln 23, 24 bei Feldstärken E kleiner 30 V/mm. Das Matrixmaterial 22 ist dabei insbesondere ein elastisches Material, das eine Shore-Härte A von beispielsweise 10 bis 80 aufweist. Hierzu eignen sich Elastomere, wie Silikonkautschuke oder Polyesterimidharze.

In das Matrixmaterial 22 sind plättchenförmige Partikel 23, 24 eingebettet. Die Partikel 23, 24 sind dabei als beschichtete Partikel 23, 24 mit einem Aspektverhältnis von 10 bis 100 ausgeführt. Beispielsweise eignen sich plättchenförmige Partikel 23, 24, wie Glimmerpartikel, die eine Dicke von einigen hundert Nanometern, zum Beispiel 350 nm, und eine Breite oder Länge von einigen Mikrometern, beispielsweise 6,5 μm , aufweisen. Auch geeignet sind stäbchenförmige Partikel 23, 24, wie Kohlenstoffnanoröhren, die zum Beispiel eine Breite und Dicke von einigen Nanometern und eine Länge von einigen hundert Nanometern aufweisen.

25

Weiterhin sind die Partikel 23, 24 bevorzugt mit einem dotierten Halbleitermaterial, wie Zinnoxid, beschichtet. Als Dotierungselement eignet sich dabei zum Beispiel Antimon. Je nach Dotierung des Halbleitermaterials, mit dem die Partikel 23, 24 beschichtet sind, ergeben sich andere elektrische Leitfähigkeiten oder Widerstände für die Partikel 23, 24. So kann der Widerstandsbelag 9 unterschiedliche Partikel 23, 24 oder eine Partikelmischung aufweisen, über die einfach der Widerstand oder die Leitfähigkeit des Widerstandsbelags 9 an die jeweilige Anwendung angepasst werden kann.

35

Die Partikel 23, 24 sind weiterhin in mehreren Partikellagen 26 angeordnet. Dabei sind die Partikel 23, 24 entlang ihrer

größeren Dimension, d.h. bei plättchenförmigen Partikeln 23, 24 entlang der größeren Fläche und bei stabförmigen Partikeln 23, 24 entlang der größeren Achse, ausgerichtet. Zusätzlich überlappen die Partikel 23, 24 benachbarter Lagen 26 zumindest teilweise.

In Figur 5 ist der Widerstandsbelag 9 geringen Feldstärken E von beispielsweise weniger als 30 V/mm ausgesetzt. Figur 6 zeigt schematisch den Widerstandsbelag 9 bei Feldstärken E beispielsweise größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500 V/mm.

Zu illustrativen Zwecken ist in den Figuren 5 und 6 ein Partikel 24 dargestellt, das sich bei höheren Feldstärken ausrichtet. Im Vergleich zu Figur 5 ist das Partikel 24 in Figur 6 stärker polarisiert, d. h. die Ladungsverschiebung innerhalb des Partikels 24 ist verstärkt. Bei hohen Feldstärken E größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500 V/mm und gegebenem Abstand 27 in einem unflexiblen Matrixmaterial 22 könnten die Elektronen die Potentialbarriere überwinden und die Stromdichte des Widerstandsbelags 9 würde überproportional ansteigen.

Ist das Matrixmaterial 22 jedoch so flexibel, dass sich das Partikel 24 bewegen kann, richtet sich dieses entsprechend seiner Polarisation gegenüber den benachbarten Partikeln 23 aus. Denn durch das Anlegen einer konstanten Spannung $U_2 \gg U_1$ an den Widerstandsbelag 9 werden die Partikel 23, 24 polarisiert. Abhängig von dem Aspektverhältnis der Partikel 23, 24, der Leitfähigkeit der Partikel 23, 24 und der anliegenden Feldstärke wirkt ein Drehmoment auf die Partikel 23, 24. Bei einem flexiblen Matrixmaterial 22 wirkt dem Drehmoment der Partikel 23, 24 kaum eine Kraft entgegen und die Partikel 23, 24 können sich im Feld ausrichten. Diese Flexibilität des Matrixmaterials 22 und die sich daraus ergebende Beweglichkeit der Partikel 23, 24 ist in den Figuren 5 und 6 mit den Federn 28 zwischen Partikel 24 und den benachbarten Partikeln 23 angedeutet.

Durch die Ausrichtung des Partikels 24 werden der Abstand 27 zu benachbarten Partikeln 23 und die sich daraus ergebende Potentialbarriere erhöht. Die Elektronen können nicht mehr
5 tunneln, und es wird ein Leckstrom fließen, was sich in einem ohmschen Widerstandsverhalten ausprägt. Die Durchbruchsspannung des Widerstandsbelages 9 verschiebt sich somit hin zu höheren Feldstärken E, und der Widerstandsbelag 9 weist auch bei Feldstärken E größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm
10 und besonders bevorzugt größer 500 V/mm ein ohmsches Verhalten auf.

Figur 7 zeigt den Verlauf des Quadratwiderstandes R gegen die Feldstärke E für Widerstandsbeläge 9, die unterschiedliche
15 Elastomere als Matrixmaterial 22 umfassen.

Die untersuchten Widerstandsbeläge 9 enthalten bezogen auf das Gesamtvolumen einen Volumenanteil von 22 Vol.-% an Partikeln 23, 24 mit einem Quadratwiderstand R von $1 \cdot 10^{12} \Omega$. Die
20 Zusammensetzung der Elastomere 22, in denen die Partikel 23, 24 eingebettet sind, beruht auf Silikonkautschuk, der eine Shore-Härte A zwischen 37 und 45 aufweist. Der Verlauf 29 stellt das Verhalten des Widerstandsbelags 2, der einen Silikonkautschuk mit Shore-Härte A 45 enthält, bei Raumtemperatur
25 dar. Der Verlauf 31 stellt das Verhalten des Widerstandsbelags 2, der einen weiteren Silikonkautschuk mit Shore-Härte A 37 enthält, bei Raumtemperatur dar. Der Verlauf 32 stellt das Verhalten des Widerstandsbelags 2, der einen weiteren Silikonkautschuk mit Shore-Härte A 45 enthält, bei Raumtemperatur
30 dar. Die unterschiedlichen Widerstandswerte R ergeben sich dabei aus den unterschiedlichen Ausgangsmonomeren, die in dem Matrixmaterial 22 enthalten sind.

Figur 7 zeigt, dass Widerstandsbeläge 9 mit einem flexiblen
35 Matrixmaterial 22 über einen weiten Feldstärkenbereich E von 10 bis 500 V/mm ein ohmsches Verhalten aufweisen.

Zusätzlich zeigt der Verlauf 30 das Verhalten des Quadratwiderstandes R gegen die Feldstärke E , wobei neben den Partikeln 23, 24 auch nicht leitfähige Kügelchen in das Matrixmaterial 22 mit einer Shore-Härte A von 45 eingebettet sind.

5 Dadurch wird die Ausrichtung der Partikel 23, 24 in dem Matrixmaterial 22 unterdrückt. Der Verlauf 30 zeigt daher schon bei einigen 10 V/mm ein nicht-ohmsches Verhalten. Die Fähigkeit der Partikel 23, 24, sich ausrichten zu können, ist also entscheidend, um das gewünschte ohmsche Verhalten auch bei
10 hohen Feldstärken zu erzielen.

Figur 8 zeigt den Verlauf des Quadratwiderstandes R gegen die Feldstärke E für Widerstandsbeläge 9 mit einem Elastomer, das zäher ist als die Elastomere aus Figur 7.

15

Die untersuchten Widerstandsbeläge 9 enthalten bezogen auf das Gesamtvolumen einen Volumenanteil von 22 Vol.-% an Partikeln 23, 24 mit einem Quadratwiderstand R von $1 \cdot 10^{12} \Omega$. Die Zusammensetzung des Elastomers beruht auf einem

20 Polyesterimidharz, das eine Shore-Härte zwischen 45 und 80 aufweist. In dieser Messung wurden die Verläufe zu unterschiedlichen Zeiten für denselben Widerstandsbelag 9 aufgenommen. So wurde mit Anlegen des elektrischen Feldes die Messung des Verlaufes 33 des Quadratwiderstandes R gestartet.

25 Hier ist zu erkennen, dass sich das ohmsche Verhalten erst bei höheren Feldstärken E im Bereich von 500 V/mm einstellt. Die Partikel 23, 24 richten sich also nur langsam aus, weil das Elastomer auf Basis von Polyesterimidharz zäher ist als Elastomere auf Basis von Silikonkautschuk.

30

Nach einer Zeit von 24 h wurde die gleiche Probe nochmals gemessen (Verlauf 34). Dabei zeigt sich, dass die Ausrichtung der Partikel 23, 24 noch teilweise vorhanden war. Die Relaxation in dem Polyesterimidharz findet somit langsamer statt.

35 Eine erneute Messung nach 5 min mit der gleichen Probe ergab Verlauf 35, der zeigt, dass die Partikel 23, 25 in so kurzer Zeit nicht relaxiert sind und ihre Ausrichtung beibehalten haben. Die Verläufe 36 und 37 wurden mit einem erhöhten

Partikelgehalt aufgenommen und zeigen, dass der Widerstandsbelag 9 sich ab 500 V/mm nicht ohmsch verhält, wenn die Partikel 23, 24 sich nicht ausrichten können.

- 5 Obwohl die Erfindung vorliegend anhand verschiedener Ausführungsbeispiel beschreiben wurde, ist sie hierauf nicht beschränkt, sondern vielfältig modifizierbar.

Patentansprüche

1. Widerstandsbelag (9) für ein Gleichstromisoliersystem (1), mit einem Matrixmaterial (22) mit darin eingebetteten Partikeln (23, 24), die ein Aspektverhältnis größer 1 aufweisen, wobei das Matrixmaterial (22) derart flexibel beschaffen ist, dass sich die Partikel (23, 24) in Abhängigkeit von einer elektrischen Feldstärke (E) ausrichten.
2. Widerstandsbelag nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Matrixmaterial (22) ein Elastomer ist.
3. Widerstandsbelag nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Matrixmaterial (22) eine Shore-Härte A von 10 bis 90 aufweist.
4. Widerstandsbelag nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikel (23, 24) plättchenförmig oder stäbchenförmig sind.
5. Widerstandsbelag nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikel (23, 24) Glimmerpartikel, Siliziumkarbidpartikel, Metalloxidpartikel, Kohlenstoffnanoröhren oder Mischungen hieraus enthalten.
6. Widerstandsbelag nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Volumenanteil und/oder Aspektverhältnis der Partikeln (23, 24) so gewählt ist, dass eine Perkolationschwelle überschritten ist.
7. Widerstandsbelag nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Volumenanteil der Partikel (23, 24) zwischen 5 und 55 Vol.% liegt.
8. Widerstandsbelag nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Matrixmaterial (22) erste Partikel (23), die einen ersten elektrischen Widerstand aufweisen, und zweite Partikel (24), die einen zweiten elektrischen Wider-

stand aufweisen, enthält, wobei sich der erste elektrische Widerstand von dem zweiten elektrischen Widerstand unterscheidet, und wobei der elektrische Widerstand des Widerstandsbelages (9) durch einen Gewichtsanteil der ersten und
5 zweiten Partikel (23, 24) eingestellt ist.

9. Widerstandsbelag nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikel (23, 24) zumindest ein dotierbares Halbleitermaterial enthalten, dessen Dotierung
10 den elektrischen Widerstand der Partikel (23, 24) bestimmt.

10. Widerstandsbelag nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das dotierbare Halbleitermaterial je nach Dotierung einen elektrischen Quadratwiderstand im Bereich von $1 \cdot 10^3$ bis
15 $1 \cdot 10^{15} \Omega$ aufweist.

11. Widerstandsbelag nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass das dotierbare Halbleitermaterial ein Metalloxid ist.
20

12. Widerstandsbelag nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Widerstandsbelag (9) so beschaffen ist, dass dieser sich in einem ersten Feldstärkenbereich ohmsch verhält und in einem zweiten Feldstärkenbereich
25 nicht ohmsch verhält.

13. Gleichstromisoliersystem (1) mit einem Widerstandsbelag (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

30 14. Gleichstromisoliersystem nach Anspruch 13, zusätzlich umfassend einen ersten Leiter (2, 12) und einen zweiten Leiter (3, 12), wobei der Widerstandsbelag (9) zwischen dem ersten und dem zweiten Leiter (2, 3, 12) angeordnet ist.

35 15. Gleichstromisoliersystem nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem ersten und dem zweiten Leiter (2, 3, 12) mindestens ein Isolator (4) mit dem Widerstandsbe-

lag (9) vorgesehen ist, der sich zumindest teilweise zwischen dem ersten und dem zweiten Leiter (2, 3, 12) erstreckt.

FIG 1

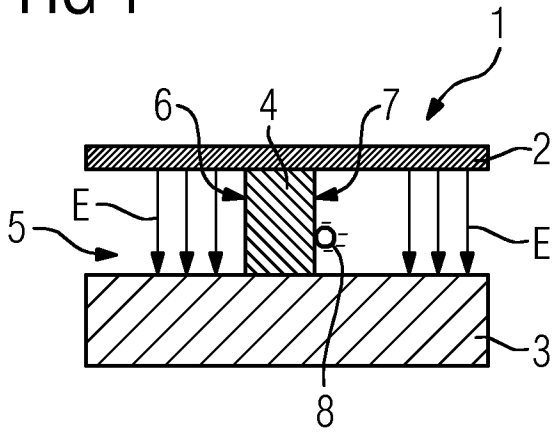


FIG 2

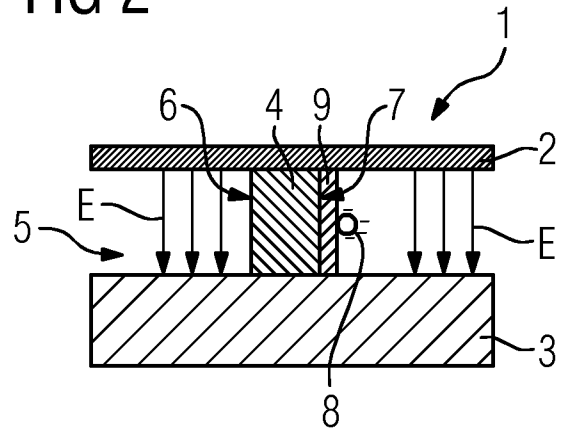


FIG 3

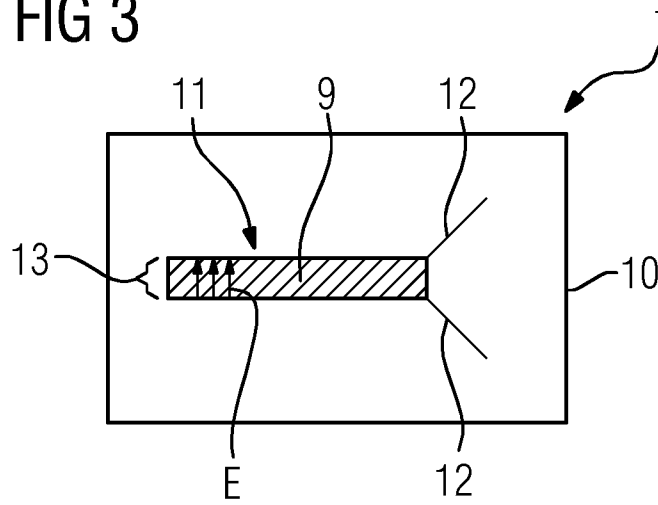


FIG 4

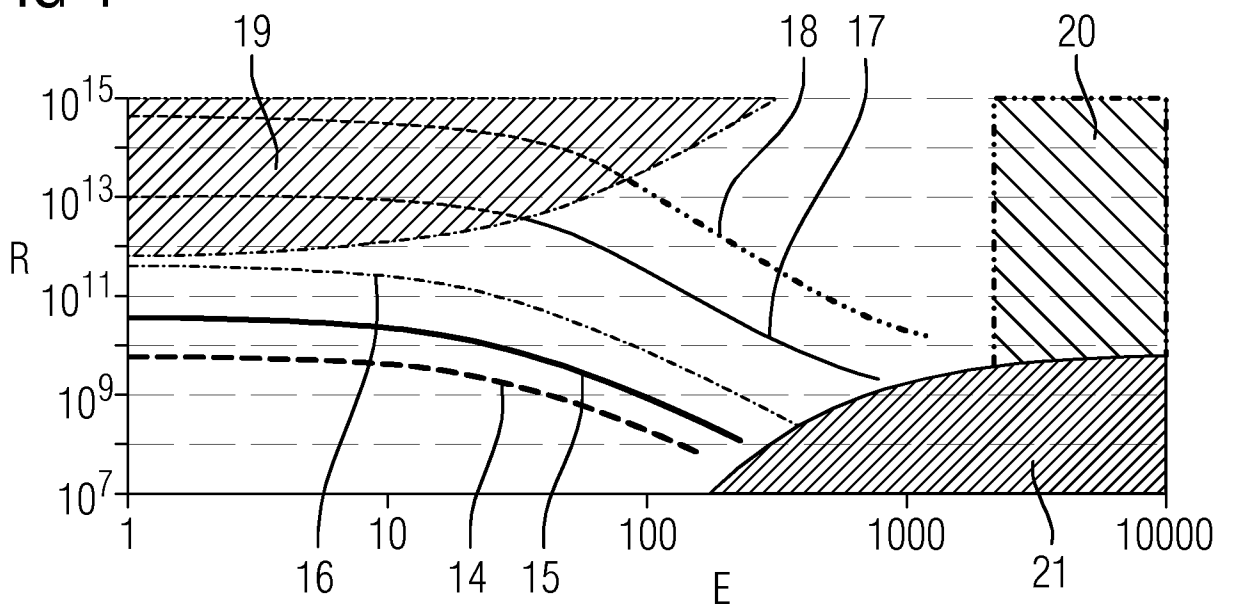


FIG 5

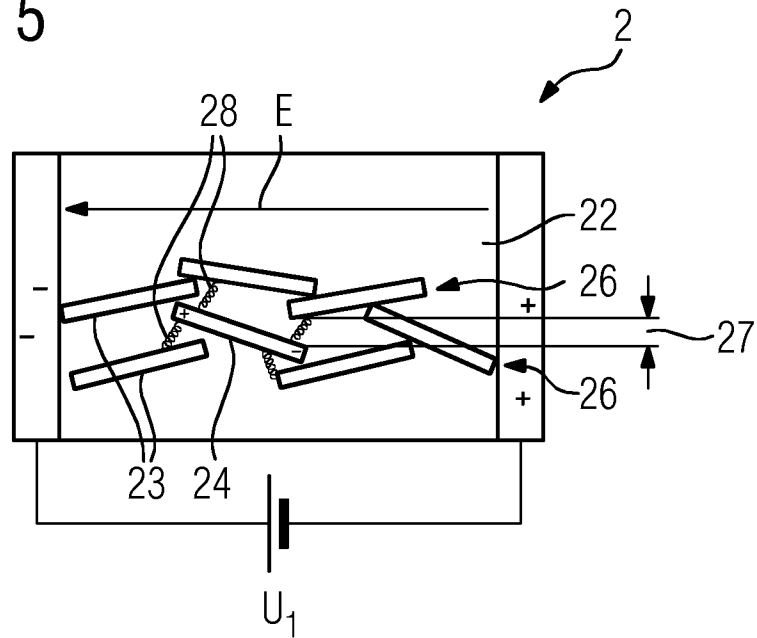


FIG 6

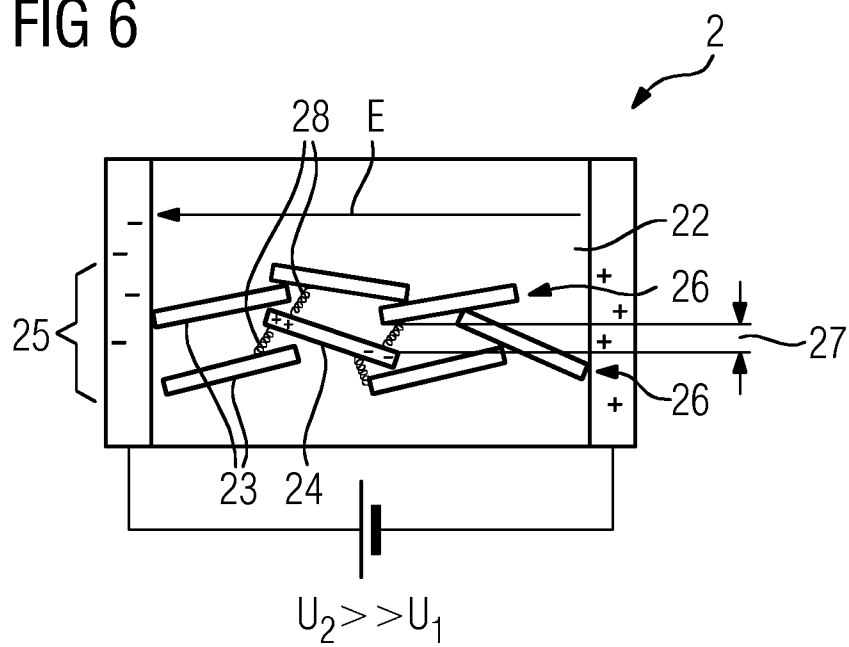


FIG 7

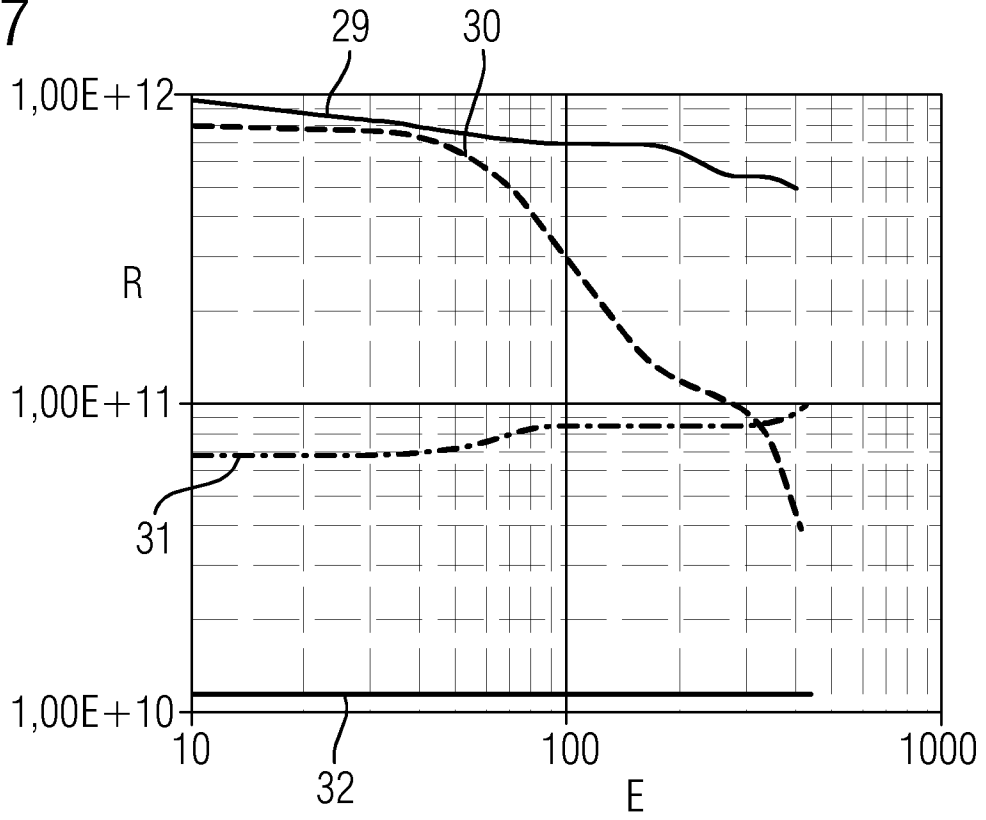
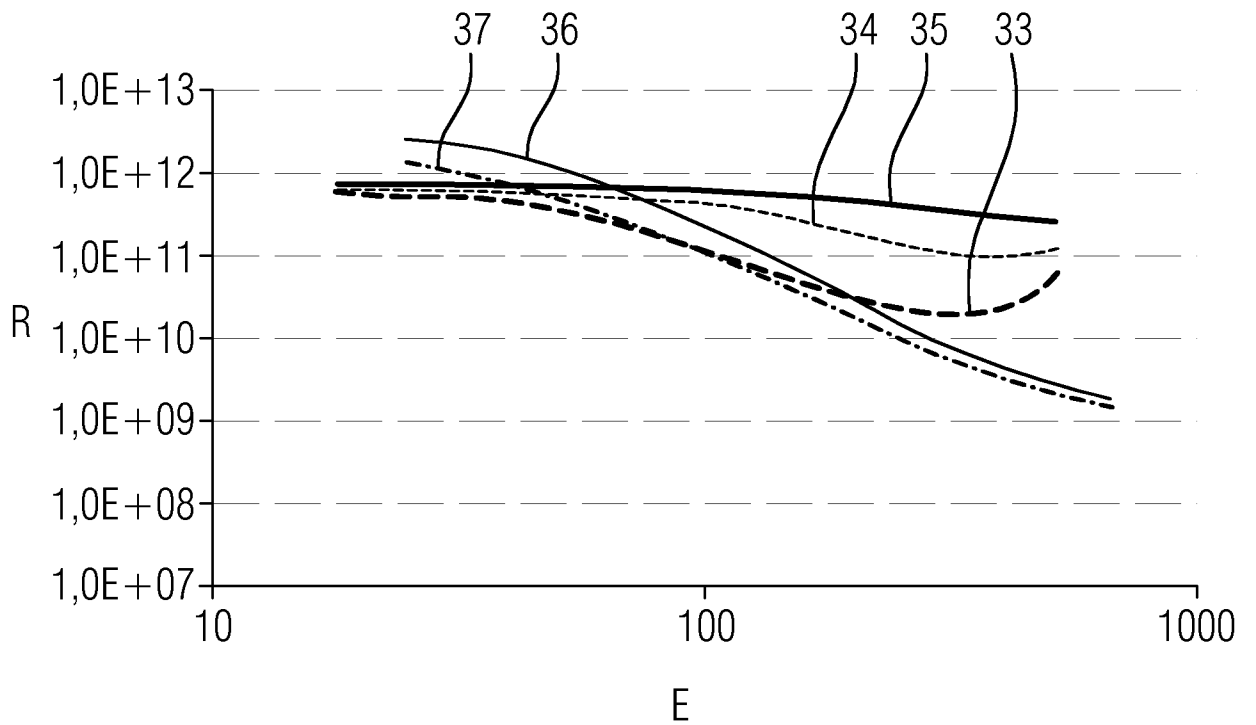


FIG 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/050713

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H01B3/28 C08K3/04 C08K3/22 H01B3/10 H01B3/46
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 H01B C08K

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CUI W ET AL: "Improving thermal conductivity while retaining high electrical resistivity of epoxy composites by incorporating silica-coated multi-walled carbon nanotubes", CARBON, ELSEVIER, OXFORD, GB, vol. 49, no. 2, 1 February 2011 (2011-02-01), pages 495-500, XP027515344, ISSN: 0008-6223, DOI: 10.1016/J.CARBON.2010.09.047 [retrieved on 2010-09-29] Experimental Part; page 495 - page 500	1-6,13
X	EP 1 052 655 A1 (SHINETSU CHEMICAL CO [JP]) 15 November 2000 (2000-11-15) claims 1-8; examples 1-3; table 1	1-4,6,7,9,13
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search 24 April 2014	Date of mailing of the international search report 30/04/2014
---	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Marsitzky, Dirk
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/050713

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 708 455 A1 (DAETWYLER AG [CH]) 24 April 1996 (1996-04-24) page 4, line 3 - page 5, line 3; figure 2; examples 1-6 -----	1-7, 13-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/050713

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1052655	A1	15-11-2000	
		DE 60007481 D1	05-02-2004
		DE 60007481 T2	25-11-2004
		EP 1052655 A1	15-11-2000

EP 0708455	A1	24-04-1996	
		AT 163239 T	15-02-1998
		DE 4437596 A1	25-04-1996
		EP 0708455 A1	24-04-1996
		ES 2112594 T3	01-04-1998
		GR 3026646 T3	31-07-1998

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01B3/28 C08K3/04 C08K3/22 H01B3/10 H01B3/46 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01B C08K		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	CUI W ET AL: "Improving thermal conductivity while retaining high electrical resistivity of epoxy composites by incorporating silica-coated multi-walled carbon nanotubes", CARBON, ELSEVIER, OXFORD, GB, Bd. 49, Nr. 2, 1. Februar 2011 (2011-02-01), Seiten 495-500, XP027515344, ISSN: 0008-6223, DOI: 10.1016/J.CARBON.2010.09.047 [gefunden am 2010-09-29] Experimental Part; Seite 495 - Seite 500 -----	1-6,13
X	EP 1 052 655 A1 (SHINETSU CHEMICAL CO [JP]) 15. November 2000 (2000-11-15) Ansprüche 1-8; Beispiele 1-3; Tabelle 1 ----- -/--	1-4,6,7,9,13
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
24. April 2014		30/04/2014
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Marsitzky, Dirk

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 708 455 A1 (DAETWYLER AG [CH]) 24. April 1996 (1996-04-24) Seite 4, Zeile 3 - Seite 5, Zeile 3; Abbildung 2; Beispiele 1-6 -----	1-7, 13-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/050713

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1052655	A1	15-11-2000	DE 60007481 D1 05-02-2004
			DE 60007481 T2 25-11-2004
			EP 1052655 A1 15-11-2000

EP 0708455	A1	24-04-1996	AT 163239 T 15-02-1998
			DE 4437596 A1 25-04-1996
			EP 0708455 A1 24-04-1996
			ES 2112594 T3 01-04-1998
			GR 3026646 T3 31-07-1998
