



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 204 706.1**  
(22) Anmeldetag: **18.03.2013**  
(43) Offenlegungstag: **18.09.2014**

(51) Int Cl.: **H01B 1/20** (2006.01)  
**H01B 17/42** (2006.01)  
**H01F 27/34** (2006.01)  
**H01L 23/29** (2006.01)  
**H02K 3/40** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Lang, Steffen, 91052 Erlangen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>38 31 479</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2005 / 0 199 418</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>02/ 065 486</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2012/ 020 099</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2012/ 089 998</b>	<b>A2</b>

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

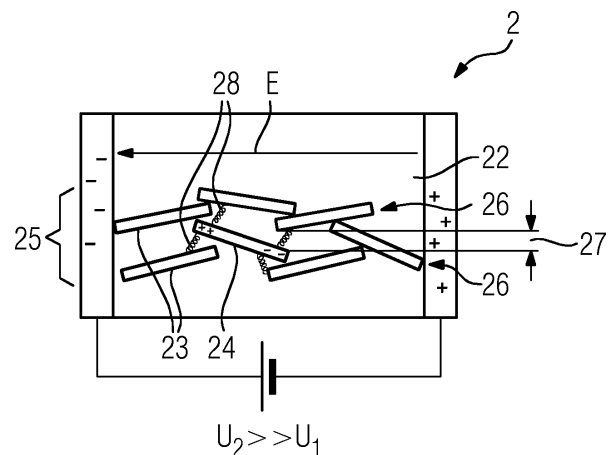
**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Widerstandsbelag für ein Gleichstromisoliersystem**

(57) Zusammenfassung: 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 Durchbruchsspannung des Widerstandsbelags erhöht wird.

Die Erfindung betrifft zudem ein Gleichstromisoliersystem mit dem Widerstandsbelag.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Widerstandsbelag für ein Gleichstromisoliersystem. Die Erfindung betrifft zudem ein Gleichstromisoliersystem mit dem Widerstandsbelag.

**[0002]** 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 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 Dielektrikum. 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. Eine leitfähige Oberfläche des Dielektrikums, beispielsweise in Form eines leitfähigen Widerstandsbelages, kann diese Ladungsträgeranhäufungen ableiten und so eine Feldüberhöhung vermeiden.

**[0003]** 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 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.

**[0004]** 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.

**[0005]** 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.

**[0006]** 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.

**[0007]** 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 den Partikeln.

**[0008]** 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.

**[0009]** 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.

**[0010]** 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 Polarisation 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 Durchbruchsspannung 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 Joulsche 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.

**[0011]** Mit „Widerstandsbelag“ ist vorliegend auch eine Widerstandsschicht gemeint. Diese kann, muss aber nicht stoffschlüssig mit einem Isolator oder einer sonstigen Komponente gebildet sein.

**[0012]** 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.

**[0013]** Für die notwendige Flexibilität des Matrixmaterials, ist das Matrixmaterial in einer Ausführungsform ein Elastomer. Das Elastomer weist eine Glasübergangstemperatur auf, die kleiner einer bestimmungsgemäßen Einsatztemperatur des Widerstandsbelags ist. Ein Einsatztemperaturbereich bezeichnet hier die Temperaturen, die in der mit dem Widerstandsbelag ausgestattete Komponente im Betrieb auftreten können. Der Einsatztemperaturbereich umfasst also die Temperaturen, denen der Widerstandsbelag ausgesetzt sein kann. Beispielsweise kann das Matrixmaterial in einem Einsatztemperaturbereich von  $-200$  bis  $500$  Grad Celsius, bevorzugt von  $-20$  bis  $120$  Grad Celsius und besonders bevorzugt von  $40$  bis  $70$  Grad Celsius elastisch sein. Die Glasübergangstemperatur ist damit vorzugsweise kleiner als die Untergrenze des Einsatztemperaturbereiches. Der Widerstandsbelag kann dementsprechend für einen Einsatztemperaturbereich von  $-200$  bis  $500$  Grad Celsius, bevorzugt von  $-20$  bis  $120$  Grad Celsius und besonders bevorzugt von  $40$  bis  $70$  Grad Celsius ausgelegt sein.

**[0014]** In einer weiteren Ausführungsform ist das Matrixmaterial elastisch ausgebildet. Das Matrixmaterial des Widerstandsbelages ist vorzugsweise so zu wählen, dass es bei den bestimmungsgemäßen Einsatztemperaturen elastisch ist. Die Partikel können sich somit in dem Matrixmaterial bewegen und in Abhängigkeit von der Feldstärke ausrichten. Nach Wegnahme des elektrischen Felds nehmen die Partikel wieder ihre ursprüngliche Orientierung ein.

**[0015]** Als Matrixmaterial eignet sich eine Vielzahl von Elastomeren. Beispielsweise seien hier Kautschuke genannt, wie Naturkautschuk (NR), Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR), Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR), Chloropren-Kautschuk (CR), Butadien-Kautschuk (BR) und Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) oder Poly(organo)siloxanen-Kautschuk (Silikonkautschuk). Weiterhin beispielsweise genannte Elastomere sind Harze, wie Polymethylsiloxan-Harz, Polymethylphenylsiloxan-Harz, Epoxidharz, Alkydharz oder Polyesterimidharz. Das Matrixmaterial kann auch eine Mischung mit verschiedenen Elastomeren enthalten.

**[0016]** 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.

**[0017]** 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 zwi-

schen 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.

**[0018]** 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 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.

**[0019]** In einer weiteren Ausführungsform enthalten die Partikel Glimmerpartikel, Siliziumkarbidpartikel (SiC-Partikel), Metalloxidpartikel, insbesondere Aluminiumoxidpartikel (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel), Kohlenstoffnanoröhren oder Mischungen hieraus. Diese Partikel sind insbesondere in dem vorstehend genannten Aspektverhältnis verfügbar.

**[0020]** 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/cm<sup>3</sup> und plättchenförmigen Partikeln mit einer Dichte von 3,5 g/cm<sup>3</sup> 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.

**[0021]** In einer weiteren Ausführungsform ist ein Volumenanteil 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 Volumenanteil, bei dem die Perkolationsschwelle überschritten wird, vom Aspektverhältnis der Partikel abhängen.

**[0022]** In einer weiteren Ausführungsform enthält das Matrixmaterial erste Partikel, die eine erste elektrische Leitfähigkeit oder einen ersten elektrischen Widerstand aufweisen, und zweite Partikel, die eine zweite elektrische Leitfähigkeit oder einen zweiten elektrischen Widerstand aufweisen, wobei sich die erste elektrische Leitfähigkeit oder der erste elektrische Widerstand von der zweiten elektrischen Leitfähigkeit oder dem zweiten elektrischen Widerstand unterscheidet. So kann insbesondere die elektrische Leitfähigkeit oder der elektrische Widerstand des Widerstandsbelages durch einen Gewichtsanteil der ersten und zweiten Partikel eingestellt sein. Hierbei ist der Gewichtsanteil auf das Gesamtgewicht der ersten und zweiten Partikel bezogen. Mit einer Mischung aus ersten und zweiten Partikeln kann die elektrische Leitfähigkeit und damit die Verlustleistung des Widerstandsbelages eingestellt werden. Durch die Gewichtsanteile der ersten und zweiten Partikel kann der Widerstandsbelag somit optimal an das gewünschte Gleichstromisoliersystem angepasst werden. Hierbei können neben einer Partikelmischung mit ersten und zweiten Partikeln auch Partikelmischungen mit mehreren Partikeln zum Einsatz kommen.

**[0023]** Um die elektrische Leitfähigkeit oder den elektrischen Widerstand 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 1·10e3 bis 1·10e15 Ω aufweisen. Dabei bedeuten Angaben von Quadratwiderständen, dass der Oberflächenwi-

derstand 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 Gleichstromisoliersystemen angepasst werden.

**[0024]** Beispielsweise kann das Halbleitermaterial ein Metalloxid, wie Zinnoxid ( $\text{SnO}_2$ ), Zinkoxid ( $\text{ZnO}$ ), Zinkstannat ( $\text{ZnSnO}_3$ ), Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ), Bleioxid ( $\text{PbO}$ ) oder Siliziumkarbid ( $\text{SiC}$ ) sein. Als Dotierungselemente eignen sich Antimon ( $\text{Sb}$ ), Indium ( $\text{In}$ ) oder Cadmium ( $\text{Cd}$ ). Bevorzugt wird Zinnoxid ( $\text{SnO}_2$ ) dotiert mit Antimon ( $\text{Sb}$ ) 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 ( $\text{TiO}_2$ ), überzogen sein.

**[0025]** 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.

**[0026]** Es wird weiterhin ein Gleichstromisoliersystem mit dem vorstehend beschriebenen Wider-

standsbelag 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.

**[0027]** 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.

**[0028]** Im Folgenden werden anhand der beigefügten schematischen Zeichnung Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert.

**[0029]** Dabei zeigen:

**[0030]** Fig. 1 ein Gleichstromisoliersystem mit zwei Leitern, zwischen denen ein Isolator angeordnet ist;

**[0031]** Fig. 2 das Gleichstromisoliersystem gemäß Fig. 1, in dem der Isolator einen Widerstandsbelag aufweist;

**[0032]** Fig. 3 eine Leiterplatte als Gleichstromisoliersystem mit dem Widerstandsbelag;

**[0033]** Fig. 4 einen Verlauf des Quadratwiderstandes gegen die Feldstärke für Widerstandsbeläge mit steifem Matrixmaterial und unterschiedlichen Partikelanteilen;

**[0034]** Fig. 5 schematisch einen Widerstandsbelag mit einem flexiblen Matrixmaterial und darin eingebetteten Partikeln bei Feldstärken kleiner 30 V/mm;

**[0035]** Fig. 6 schematisch der Widerstandsbelag der Fig. 5 bei Feldstärken größer 30 V/mm;

**[0036]** Fig. 7 den Verlauf des Quadratwiderstandes gegen die Feldstärke für Widerstandsbeläge, die unterschiedliche Elastomere als Matrixmaterial aufweisen; und

**[0037]** Fig. 8 den Verlauf des Quadratwiderstandes gegen die Feldstärke für Widerstandsbeläge mit Elastomeren, die zäher sind als die der Widerstandsbeläge aus Fig. 7.

**[0038]** Gleiche oder funktionsgleiche Elemente sind in den Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen soweit es nicht anders angegeben ist.

**[0039]** Fig. 1 zeigt ein Gleichstromisoliersystem **1** mit einem ersten 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.

**[0040]** 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. 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 Isolators **4** führen können. Um derartige Beschädigungen zu vermeiden, kann der Isolator **4** mit einem Widerstandsbelag **9** beschichtet sein.

**[0041]** Die Konfiguration der Fig. 2 illustriert den Einsatz des Widerstandsbelages **9** in dem Gleichstromisoliersystem **1** der Fig. 1.

**[0042]** 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.

**[0043]** Fig. 3 zeigt eine Leiterplatte **10** mit dem Widerstandsbelag **9** als weiteres Beispiel eines Gleichstromisoliersystems **1** mit Feldstärken von beispiels-

weise größer 30 V/mm, bevorzugt größer 100 V/mm und besonders bevorzugt größer 500 V/mm.

**[0044]** Die Leiterplatte **10** der Fig. 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 Fig. 3 dargestellten Leiterbahnen **12** der Widerstandsbelag **9** vorgesehen.

**[0045]** Fig. 4 zeigt einen Verlauf des Quadratwiderstandes  $R$  gegen die elektrische Feldstärke  $E$  für Widerstandsbeläge **9** mit steifem Matrixmaterial **22** (siehe Fig. 5 und Fig. 6) und unterschiedlichen Mischungsverhältnissen von ersten Partikeln **23** mit einem ersten, hohen Widerstand (vorliegend auch „hochohmiger Füllstoff“) und Partikeln **24** mit einem zweiten, niedrigen 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 Füllstoffes, wobei gleichzeitig der Partikelanteil des niederohmigeren Füllstoffes im gleichen Verhältnis (bspw. in Schritten von 25%) reduziert wird.

**[0046]** Der Verlauf **14** zeigt das Verhalten des Quadratwiderstandes  $R$  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 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.

**[0047]** 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  $R$  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** ersetzt wurden.

**[0048]** Weiterhin gezeigt in **Fig. 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**.

**[0049]** 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.

**[0050]** **Fig. 5** zeigt schematisch einen Widerstandsbelag **9** mit einem flexiblen Matrixmaterial **22** und darin eingebetteten Partikeln **23**, **24** bei Feldstärken  $E$  kleiner  $30 \text{ V/mm}$ . 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.

**[0051]** 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  $350 \text{ nm}$ , und eine Breite oder Länge von einigen Mikrometern, beispielsweise  $6,5 \mu\text{m}$ , 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.

**[0052]** 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.

**[0053]** Die Partikel **23**, **24** sind weiterhin in mehreren Partikellagen **26** angeordnet. Dabei sind die Par-

tikel **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.

**[0054]** In **Fig. 5** ist der Widerstandsbelag **9** geringen Feldstärken  $E$  von beispielsweise weniger als  $30 \text{ V/mm}$  ausgesetzt. **Fig. 6** zeigt schematisch den Widerstandsbelag **9** bei Feldstärken  $E$  beispielsweise größer  $30 \text{ V/mm}$ , bevorzugt größer  $100 \text{ V/mm}$  und besonders bevorzugt größer  $500 \text{ V/mm}$ .

**[0055]** Zu illustrativen Zwecken ist in den **Fig. 5** und **Fig. 6** ein Partikel **24** dargestellt, das sich bei höheren Feldstärken ausrichtet. Im Vergleich zu **Fig. 5** ist das Partikel **24** in **Fig. 6** stärker polarisiert, d. h. die Ladungsverschiebung innerhalb des Partikels **24** ist verstärkt. Bei hohen Feldstärken  $E$  größer  $30 \text{ V/mm}$ , bevorzugt größer  $100 \text{ V/mm}$  und besonders bevorzugt größer  $500 \text{ V/mm}$  und gegebenem Abstand **27** in einem unflexiblen Matrixmaterial **22** könnten die Elektronen die Potentialbarriere überwinden und die Stromdichte des Widerstandsbelags **9** würde überproportional ansteigen.

**[0056]** 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 **Fig. 5** und **Fig. 6** mit den Federn **28** zwischen Partikel **24** und den benachbarten Partikeln **23** angedeutet.

**[0057]** 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 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  $30 \text{ V/mm}$ , bevorzugt größer  $100 \text{ V/mm}$  und besonders bevorzugt größer  $500 \text{ V/mm}$  ein ohmsches Verhalten auf.

**[0058]** **Fig. 7** zeigt den Verlauf des Quadratwiderstandes  $R$  gegen die Feldstärke  $E$  für Widerstands-

beläge **9**, die unterschiedliche Elastomere als Matrixmaterial **22** umfassen.

**[0059]** 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 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 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 dar. Die unterschiedlichen Widerstandswerte  $R$  ergeben sich dabei aus den unterschiedlichen Ausgangsmonomeren, die in dem Matrixmaterial **22** enthalten sind.

**[0060]** Fig. 7 zeigt, dass Widerstandsbeläge **9** mit einem flexiblen Matrixmaterial **22** über einen weiten Feldstärkenbereich  $E$  von 10 bis 500 V/mm ein ohmsches Verhalten aufweisen.

**[0061]** 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. 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 hohen Feldstärken zu erzielen.

**[0062]** Fig. 8 zeigt den Verlauf des Quadratwiderstandes  $R$  gegen die Feldstärke  $E$  für Widerstandsbeläge **9** mit einem Elastomer, das zäher ist als die Elastomere aus Fig. 7.

**[0063]** 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 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. 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.

**[0064]** 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. 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.

**[0065]** Obwohl die Erfindung vorliegend anhand verschiedener Ausführungsbeispiele beschrieben 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 Perkolationsschwelle überschritten ist.
7. Widerstandsbelag nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Volumen-



anteil 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 Widerstand 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 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 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  $1 \cdot 10^{15} \Omega$  aufweist.

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

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 nicht ohmsch verhält.

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

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.

15. Gleichstromisoliersystem nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem ersten und dem zweiten Leiter (**2, 3, 12**) mindestens ein Isolator (**4**) mit dem Widerstandsbelag (**9**) vorgesehen ist, der sich zumindest teilweise zwischen dem ersten und dem zweiten Leiter (**2, 3, 12**) erstreckt.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

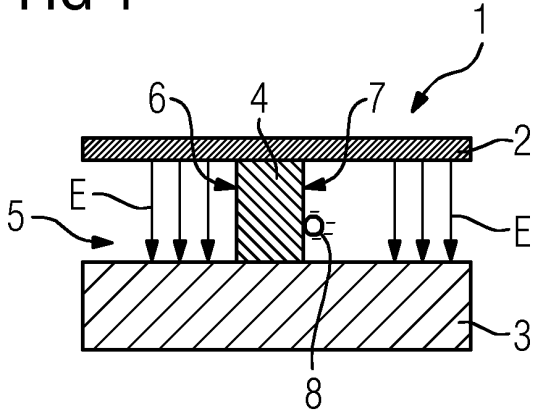


FIG 2

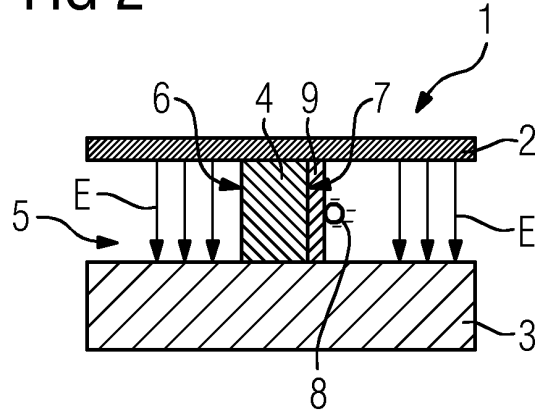


FIG 3

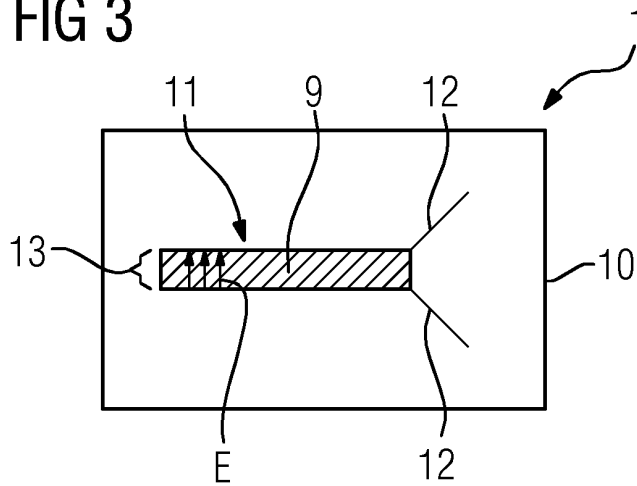


FIG 4

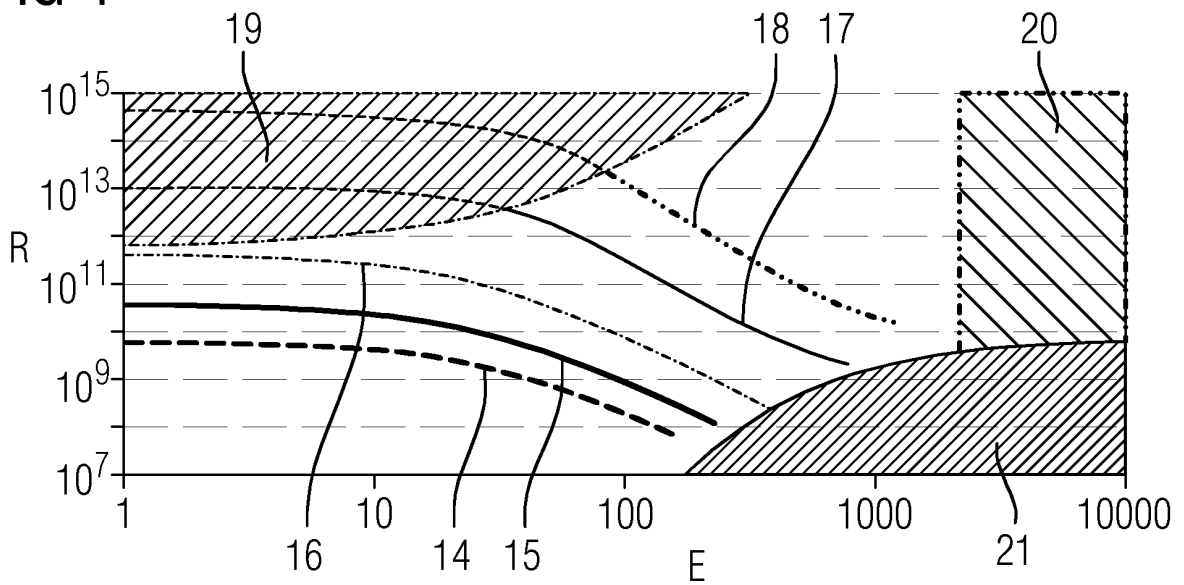


FIG 5

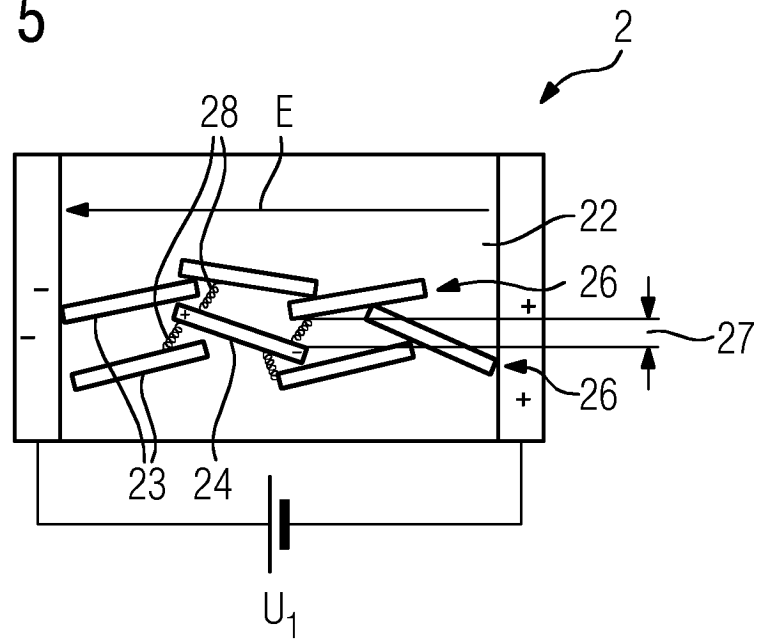


FIG 6

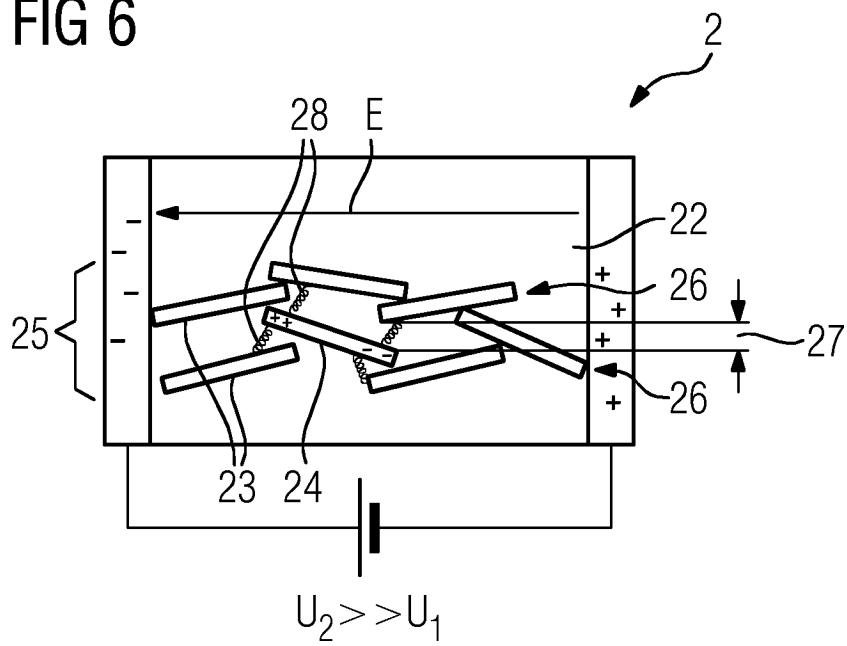


FIG 7

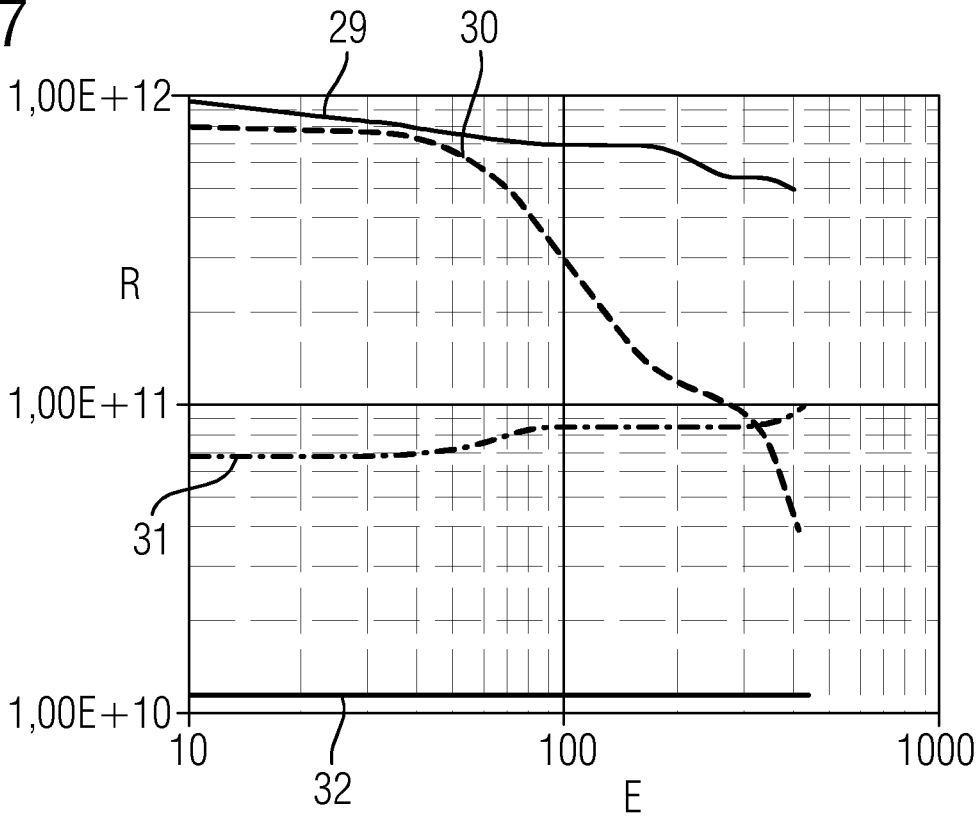


FIG 8

