



(10) **DE 10 2016 214 752 A1** 2018.02.15

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 214 752.8**

(22) Anmeldetag: **09.08.2016**

(43) Offenlegungstag: **15.02.2018**

(51) Int Cl.: **H01B 17/42 (2006.01)**

**H01H 9/48 (2006.01)**

**H01H 33/664 (2006.01)**

**H02B 13/045 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE**

(72) Erfinder:

**Hartmann, Werner, 91085 Weisendorf, DE; Lang,  
Steffen, 91352 Hallerndorf, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 10 2007 022 875 A1**

**DE 699 18 156 T2**

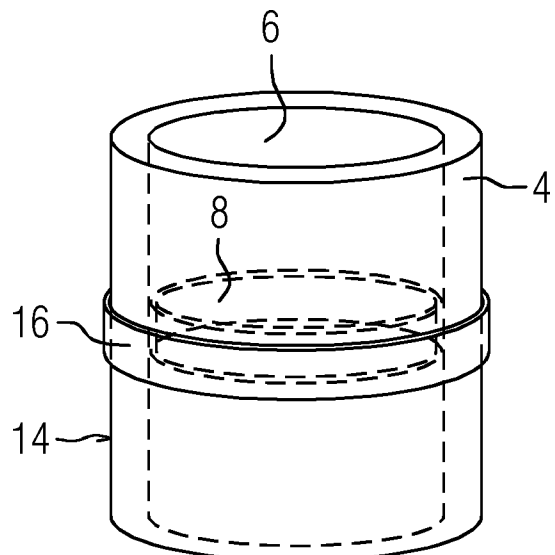
**EP 0 176 665 A2**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines keramischen Isolators**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Isolatoranordnung (2) für eine Hoch- oder Mittelspannungsschaltanlage mit mindestens einem achsensymmetrischen isolierenden Strukturelement (4). Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass das Strukturelement (4) eine, an seiner inneren Oberfläche (6) angeordnete leitfähige Ringstruktur (8) und eine an seiner äußeren Oberfläche angeordnete leitfähige Ringstruktur (14) aufweist, die voneinander durch das isolierende Strukturelement isoliert sind.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines keramischen Isolators nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

**[0002]** Die Isolierfähigkeit von Festkörpern, wie beispielsweise Aluminiumoxidkeramik gegenüber Beanspruchungen mit Hochspannung ist im Allgemeinen sehr hoch, sie findet jedoch ihre Grenzen in der endlichen Durchschlagfestigkeit von Festkörpern. Dies gilt auch für Hochspannungsisolatoren, insbesondere keramische Isolatoren für Mittel- und Hochspannungsvakuumschaltröhren. Ursache ist der Entladungsaufbau innerhalb von Isolatoren, der durch die Defektdichte in Feldrichtung mitbestimmt wird. Dabei skaliert die dielektrische Festigkeit, die Durchbruchfeldstärke im Festkörper nicht direkt mit der Isolatorlänge, sondern sie ist proportional zu der Wurzel der Isolatorlänge. Dies hat zur Folge, dass es insbesondere für hohe Spannungen über etwa 100 kV zunehmend schwieriger wird, die notwendige Spannungsfestigkeit von beispielsweise Vakuumschaltröhren für den Hochspannungsbereich, also in einem Bereich von mehr als 72 kV zu bewerkstelligen. Bisher wurde dieses Problem insbesondere bei Vakuumschaltröhren der Energieübertragungs- und Verteilertechnik dadurch gelöst, dass an Stelle eines einzelnen zylindrischen Isolatorbauteils mit einer größeren Länge mehrere kürzere Bauteile verwendet werden, die durch eine geeignete, vakuumdichte und mechanisch stabile Verbindungstechnik, wie z.B. durch ein Hartlot, in axialer Richtung miteinander verbunden werden. Der Verbund von mehreren solchen kürzeren Isolatoren hat gemäß der oben beschriebenen Gesetzmäßigkeit der internen Spannungsfestigkeit eine höhere Spannungsfestigkeit als ein gleichlanger, einstückiger Isolator. Insgesamt ist dieses Lotverfahren jedoch sehr kostenintensiv, da ein hoher technischer Aufwand erforderlich ist, die entsprechende Vakuumdichtigkeit für die Verbindung zu erzeugen.

**[0003]** Die Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, einen technisch kostengünstig herzustellenden keramischen Isolator für eine Hoch- oder Mittelspannungsschaltanlage bereitzustellen.

**[0004]** Die Lösung der Aufgabe besteht in einer Isolatoranordnung für eine Vakuumröhre einer Hoch- oder Mittelspannungsschaltanlage mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie in einer Vakuumröhre für eine Hoch- oder Mittelspannungsschaltanlage mit den Merkmalen des Patentanspruchs 11.

**[0005]** Die erfindungsgemäße Isolatoranordnung gemäß Patentanspruch 1, weist mindestens ein achsensymmetrisches isolierendes Strukturelement auf, wobei sich die Erfindung dadurch auszeichnet, dass das Strukturelement eine, an seiner inneren Oberfläche (6) angeordnete leitfähige Ringstruktur (8) und

eine an seiner äußeren Oberfläche angeordnete leitfähige Ringstruktur (14) aufweist, die voneinander durch das isolierende Strukturelement isoliert sind.

**[0006]** Die beschriebenen Ringstrukturen bilden im Bereich des Strukturelementes und auch im Bereich der gesamten Isolatoranordnung Äquipotentialflächen, die insgesamt die elektrische Festigkeit der Isolatoranordnung erhöhen.

**[0007]** Unter Äquipotentialflächen werden dabei leitende Schichten an den oder zwischen den Strukturelementen verstanden, die eine höhere elektrische Leitfähigkeit als das keramische Material der Strukturelemente aufweist und die dabei senkrecht bezüglich der Symmetrieachse angeordnet sind und die für axiale elektrische Felder Äquipotentialflächen definieren. Dadurch wird die Isolatoranordnung elektrisch in kurze axiale Stücke unterteilt, wodurch sich die dielektrische Festigkeit der Teilstrecke wie auch des gesamten Isolators erhöht.

**[0008]** In einer weiteren Ausgestaltungsform der Erfindung ist an einer Außenseite des Strukturelementes eine weitere, äußere Ringstruktur angebracht, die mit der Ringstruktur im Inneren des Strukturelementes bezüglich eines Lotes auf die Längsachse des Strukturelementes eine Überdeckung aufweist. Auf diese Art werden die so gebildeten Äquipotentialflächen jedoch nicht durch leitfähige Schichten zwischen aufeinanderfolgenden Strukturelementen gebildet, sondern als ein Bereich stark verminderter axialer elektrischer Feldstärke im Innern des Isolators, wobei die Feldstärkeverringerung in axialer Richtung durch die abschirmende Wirkung der innen und außen aufgetragenen leitfähigen Beschichtungen vermittelt wird. Dabei hat es sich als zweckmäßig herausgestellt, dass die Ringstrukturen im Inneren und im Äußeren im Wesentlichen auf derselben Höhe bezüglich der Achse des Strukturelementes angebracht sind d.h., dass mindestens ein Lot, das auf die Längsachse des Strukturelementes gefällt wird, durch beide Ringstrukturen verläuft. Dadurch sind die beiden Ringstrukturen kapazitiv mit einander verknüpft, so dass sich radial in dem Strukturelement ein Bereich mit geringer axialer Feldstärke ergibt. Dabei kann es zweckmäßig sein, zur Erweiterung und zur besseren geometrischen Gestaltung der Äquipotentialflächen, dass die innere und die äußere Ringstruktur bezüglich des Lotes leicht versetzt angeordnet sind.

**[0009]** In einer weiteren Ausgestaltungsform ist es zweckmäßig, dass mindestens zwei Strukturelemente vorgesehen sind, die entlang ihrer Stirnflächen aneinander gefügt sind, wobei jedes der mindestens zwei Strukturelemente mindestens eine Ringstruktur aufweist. Zwei Ringstrukturen haben den Vorteil, dass grundsätzlich die Höhe der Isolatoranordnung wächst und somit zu einem großen Teil auch ei-

ne höhere elektrische Durchschlagsfestigkeit erreicht wird, wenn jedes dieser Strukturelemente eine weitere Ringstruktur umfasst, wird somit eine weitere Erhöhung der Durchschlagsfeldstärke für die gesamte Isolatoranordnung realisiert.

**[0010]** Es hat sich ferner herausgestellt, dass das Strukturelement (4, 4') eine axiale Ausdehnung aufweist, die zwischen 10 mm und 200 mm, bevorzugt zwischen 20 mm und 80 mm beträgt, besonders bevorzugt zwischen 20 mm und 40 mm beträgt. Bei einer axialen Ausdehnung in diesem Größenbereich liegt ein Optimum bezüglich der elektrischen Durchschlagsfestigkeit einerseits und den technischen Herstellungsmöglichkeiten des Strukturelementes andererseits vor. Strukturelemente sind technisch mit einem verhältnismäßig überschaubaren Aufwand herzustellen, wobei ferner eine hohe Durchschlagsfestigkeit realisiert wird, insbesondere unter Anwendung der beschriebenen Ringstrukturen.

**[0011]** Hierbei ist es ferner zweckmäßig, wenn der Abstand der Ringstrukturen, sowohl der äußeren als auch der inneren Ringstruktur in einer axialen Richtung zwischen 5 mm und 40 mm beträgt. In diesem Abstandsbereich ist je nach ausgestatteter elektrischer Leitfähigkeit der Ringstrukturen die Wirkung der Äquipotentialflächen optimiert, sodass ein technisch gut nutzbares Verhältnis zwischen Isolation und Ladungsabfuhr auftritt.

**[0012]** Ferner ist es zweckmäßig, wenn an dem Strukturelement an seiner Innenseite und/oder an seiner Außenseite eine weitere Beschichtung vorgesehen ist, die einen Flächenwiderstand aufweist, der zwischen  $10^8$  Ohm  $10^{12}$  Ohm, bevorzugt zwischen  $10^8$  Ohm  $10^{10}$  Ohm liegt.

**[0013]** Die Ringstruktur an sich kann in verschiedenen Formen ausgestaltet sein. In einer Ausgestaltungsform besteht die Ringstruktur aus einer metallischen Struktur bzw. aus einer leitfähigen selbsttragenden Struktur, insbesondere in Form eines Ringes oder in Form eines Bandes bzw. in Form einer Folie, die auf die entsprechende Oberfläche des Strukturelementes aufgebracht wird. Andererseits kann es zweckmäßig sein, die Ringstruktur in Form einer Beschichtung aufzutragen, wobei hierbei alle gängigen Beschichtungsmethoden zweckmäßig sind. Insbesondere wird die sogenannte Plasma-Chemical-Vapour-Deposition, PCVD oder CVD, aber auch das Sputtern, das Aufdampfen oder das Aufspritzen sowie das Aufrakeln und Einbrennen in Form von Siebdruck kann hier zweckmäßig sein. Durch die Aufbringung einer beschriebenen Schicht kann die Leitfähigkeit bzw. der Flächenwiderstand an der Ringstruktur besonders gut eingestellt werden.

**[0014]** Ein weiterer Bestandteil der Erfindung besteht in einer Vakuumschaltröhre für Hoch- und Mit-

telspannungsanwendungen, die eine Isolieranordnung nach eigener Ansprüche 1–7 umfasst.

**[0015]** Weitere Ausgestaltungsformen und weitere Merkmale der Erfindung werden an Hand der folgenden Figuren näher erläutert. Merkmale mit derselben Bezeichnung in jedoch unterschiedlichen Ausgestaltungsformen werden dabei mit demselben Bezugszeichen versehen. Es handelt sich dabei um rein exemplarische Ausgestaltungsformen, die keine Einschränkung des Schutzbereichs darstellen.

**[0016]** Dabei zeigen:

**[0017]** Fig. 1 eine Querschnittsdarstellung einer Vakuumschaltröhre mit einer Isolatoranordnung, wobei der linke Teil der Vakuumschaltröhre den Stand der Technik darstellt,

**[0018]** Fig. 2 eine dreidimensionale Darstellung eines Strukturelementes mit jeweils einer Ringstruktur innen und außen,

**[0019]** Fig. 3 eine Querschnittsdarstellung des Strukturelementes aus Fig. 2,

**[0020]** Fig. 4 ebenfalls Querschnittsdarstellung des Strukturelementes aus Fig. 2 mit versetzter Anordnung der Ringstrukturen,

**[0021]** Fig. 5 ebenfalls Querschnittsdarstellungen des Strukturelementes aus Fig. 2 mit zusätzlicher zweiter Ringstruktur außen,

**[0022]** Fig. 6 ein Strukturelement mit Ringstrukturen und einer Oberflächenbeschichtung einer äußeren Oberfläche,

**[0023]** Fig. 7 ein Strukturelement analog der Darstellung in Fig. 2 in Querschnittsdarstellung mit Schirmblechen im inneren Bereich

**[0024]** Fig. 8 ein Querschnitt durch eine Isolatoranordnung mit zwei aneinandergfügten Strukturelementen und

**[0025]** Fig. 9 eine graphische Darstellung des Zusammenhangs der Durchbruchfeldstärke und der Höhe bzw. Dicke des Isolatormaterials des Strukturelementes.

**[0026]** In Fig. 1 ist eine Querschnittsdarstellung einer typischen Vakuumschaltröhre 3 wiedergegeben, wobei die Fig. 1 von links nach rechts betrachtet auf der linken Seite dem Stand der Technik entspricht und auf der rechten Seite ein Beispiel für eine Ausgestaltung der Erfindung wiedergegeben ist. Grundsätzlich umfasst die Vakuumschaltröhre 3 einen Isolierraum 25, in dem entlang einer Längsachse 20 durch die im Wesentlichen rotationssymmetrisch ausgestalte-

te Vakuumschaltröhre **3** zwei Schaltkontakte **26** angeordnet sind. Mindestens einer der Schaltkontakte **26** ist dabei bezüglich der Achse **20** translatorisch bewegbar in der Vakuumschaltröhre **3** angeordnet, sodass der Schaltkontakt geöffnet und geschlossen werden kann. Im Bereich links und rechts der Schaltkontakte (in Einbaulage befinden sich diese Bereiche oben oder unten bezüglich der Köpfe der Schaltkontakte) sind Isolatoranordnungen **2** vorgesehen. Diese Isolatoranordnung **2** besteht insbesondere im Stand der Technik aus der Verbindung von mehreren Strukturelementen **4**, die stirnseitig aneinander gefügt sind, wobei ein entsprechendes, Vakuumdichtigkeit gewährleistendes Fügeverfahren Anwendung findet.

**[0027]** Vom Stand der Technik unterscheidet sich die hier beschriebene Vakuumschaltröhre dadurch, dass an den Strukturelementen **4** Ringstrukturen **8** bzw. **16** vorgesehen sind, die im inneren Bereich angeordnet sind. Ferner ist es zweckmäßig ebenfalls im äußeren Bereich des Strukturelementes **4** Ringstrukturen **16** anzubringen. Die Ringstrukturen **8** und **16** sind so angeordnet, dass sie entlang der Achse **20** gesehen sowohl innen als auch außen im Wesentlichen bezüglich einer Längsachse **20** auf derselben Höhe liegen, sodass zumindest eine teilweise Überdeckung vorliegt. Ferner können an den Strukturelementen **4** bzw. an der Isolatoranordnung **2** Schirmbleche **24** angeordnet sein, die einen Überschlag zwischen dem Kontakt **26** und den relativ leitfähigen Oberflächen im Bereich der Ringstruktur **8** unterbindet.

**[0028]** Hierbei ist anzumerken, dass sowohl die Ringstrukturen **8** und/oder **16** sowie die Verbindungsbereiche **27**, die in der Regel als leitfähige Lotstellen ausgestattet sind, als die bereits beschriebenen Äquipotentialflächen dienen, die als Zone stark verringerter Feldstärke in axialer Richtung wirkt und somit einen Durchschlag der Isolatoranordnung **2** verhindert.

**[0029]** Es wird durch die Einbringung der Ringstruktur die interne Durchschlagsfestigkeit eines hier hohlzylindrischen Hochspannungsisolators erhöht. In dem Fall der beschriebenen Vakuumschaltröhre wird auch gleichzeitig ein Teil der ultra-hochvakuumdichten Hülle der Vakuumschaltröhre dadurch gesteigert, dass entlang der inneren (vakuumseitigen) und äußeren Keramikoberflächen in kürzeren Abständen leitfähige Strukturen also die hier beschriebenen Ringstrukturen **8**, **16** auf die Keramik des Strukturelementes aufgebracht werden. Diese Ringstrukturen **8**, **16** weisen bevorzugt eine metallische oder annähernd metallische Leitfähigkeit auf, die mindestens drei Zehnerpotenzen höher ist als die Leitfähigkeit der angrenzenden Oberfläche **10** des Strukturelementes **4**. Auf diese Weise werden durch die Ringstrukturen **8**, **16** bezüglich der elektrischen Felder Äquipotentialflächen **9** definiert, welche das Strukturelement

**4**, insbesondere einen keramischen Körper, in radialer Richtung durchdringen. Dadurch wird die Keramik im Inneren elektrisch in kurzen axialen Teilbereichen von hohen axialen Feldstärken entlastet und somit in axialer Richtung unterteilt. Auf diese Art und Weise wird die dielektrische Festigkeit nicht nur entlang einer Teilstrecke zwischen zwei Äquipotentialflächen sondern auch entlang des gesamten Strukturelementes **4** stark erhöht. Mit der beschriebenen Anordnung der Ringstrukturen auf dem Strukturelement ergibt sich ein ausgedehnter Bereich verringerter elektrischer Feldstärke, in dem die Durchschlagswahrscheinlichkeit statistisch gesehen minimiert ist.

**[0030]** Grundsätzlich wird in dieser Beschreibung im Wesentlichen von keramischen Strukturelementen **4** ausgegangen, die vorzugsweise in Form einer hohlzylindrischen Isolatorstruktur dargestellt sind, gleichwohl ist eine Ausgestaltung des Strukturelementes **4** durch Isolatoren auf Basis von Polymeren bzw. Verbundwerkstoffen z.B. glaserverstärktes bzw. mit Quarz oder anderen keramischen Pulvern gefülltes Epoxidharz ebenfalls zweckmäßig. Auch von der symmetrischen Kreisform abweichende Querschnitte wie beispielsweise Ellipsen oder Polygone sind mögliche Lösungen.

**[0031]** Eine vorteilhafte Wirkung der Erfindung besteht unter anderem darin, dass die Unterteilung eines herkömmlich langen keramischen Strukturelementes **4** durch das Aufbringen leitfähiger Äquipotentialflächen **9** in Form der beschriebenen Ringstrukturen **8**, **16** im Innen- und bevorzugt Außenbereich des Strukturelementes **4** entweder bereits bei der Herstellung auf dem Keramikkörper zu integrieren oder nachträglich auf dieser Struktur aufzubringen ist. Wie hier zur **Fig. 9** näher erläutert werden wird, weist durch diese Maßnahme ein einzelnes Strukturelement mit einer vorgegebenen Höhe eine höhere elektrische Festigkeit auf als das gleiche Strukturelement ohne die beschriebenen leitfähigen Ringstrukturen **8**, **16**.

**[0032]** Hierdurch werden die Herstellungskosten der gesamten Isolatoranordnung, gegebenenfalls je nach erforderlicher Isolierstärke, deutlich verringert, da weniger Trennstellen bzw. Verbindungen **27** benötigt werden. Es kann je nach Anforderung genügen, anstatt drei Strukturelemente zu einer Isolatoranordnung **2** zusammenzufügen, lediglich zwei Strukturelemente anzuwenden. Dadurch wird eine Verbindung **27** eingespart, die einen besonders hohen Anteil an den Gesamtkosten bei der Herstellung der Isolatoranordnung **2** ausmacht. Außerdem wird somit eine Fehlerquelle bei einer möglichen Leckage der Vakuumschaltröhre **3** eliminiert.

**[0033]** Die Ringstruktur, die in einem Bereich im Inneren der Keramik äquivalent zu einer Äquipotentialfläche **9** wirkt, wird somit nicht als physisch einzubrin-

gende Schicht, wie es beispielsweise die Verbindung **27** ist, ausgestaltet, sondern als funktional gleichwertige, aber wesentlich einfacher aufzubringende Zone mit einer deutlich erhöhten elektrischen Leitfähigkeit bezüglich der angrenzenden Oberfläche **10** des Strukturelementes **4**. Es können dabei entlang eines Strukturelementes in axialer Richtung (entlang der Längsachse) mehrere Bereiche mit den Ringstrukturen ausgebildet sein, um so die mit hohen elektrischen Feldstärken belasteten Isolatorteillängen weiter zu verkürzen ohne die elektrische Festigkeit an der Oberfläche des Isolatorkörpers in axialer Richtung zu beeinträchtigen.

**[0034]** Die Herstellung der beschriebenen Ringstrukturen kann durch unterschiedliche Verfahren und Formen erfolgen. Beispielsweise ist das Aufbringen der Ringstrukturen **8**, **16** durch eine metallisch leitfähige Schicht z.B. in Form eingebrannter metallisch oder metalloxidischer Schichten zweckmäßig. Geeignete Metalloxide bzw. Mischungen sind unter anderem solche, welche auch zur Metallisierung von Keramiken z.B. nach dem sogenannten Mo/MnO-Verfahren angewandt werden, oder die zur reaktiven Lötverbindung von metallischen und keramischen Bauteilen verwendet werden.

**[0035]** Besonders geeignet ist insbesondere bezüglich der äußeren Ringstrukturen **18** das Aufbringen von unterbrochenen Ringstrukturen, sowohl Ringstrukturen **16** als auch Ringstrukturen **8**, die beispielsweise in Form von unterbrochenen Bändern, versetzten Bändern bzw. Ringen oder aneinander angrenzende, aber nicht berührende Punkte aufweisen.

**[0036]** Möglich sind ebenfalls Schichten, die durch Aufspütern, Aufdampfen, Aufspritzen oder CVD- bzw. PCVD-Verfahren als metallische, metalloxidische Schichten oder auch als Metallboride, -karbide oder Metallnitride ausgestaltet sein können. Ebenfalls möglich ist das Aufbringen von organisch gebundenen, leitfähigen Lacken, welche durch thermische Behandlung von der organischen Phase befreit werden. Auch graphitische bzw. graphithaltige Schichten z.B. nach dem Aquadag-Verfahren sind geeignet, die entsprechenden Ringstrukturen darzustellen. Dies gilt ebenfalls für Graphitstrukturen, die durch entsprechenden Abrieb einer Kohlequelle/Graphitquelle erzeugt werden. Bei dem beschriebenen Verfahren handelt es sich um einen beispielhaften Auszug von möglichen Darstellungsformen der beschriebenen Ringstrukturen **8** und **16**.

**[0037]** Dabei können die entsprechenden Ringstrukturen **8**, **16** an den Strukturelementen **4**, in dessen Anordnung in der Isolatoranordnung **2** mit den sogenannten Schirmsystemen bzw. Schirmblechen **24** versehen werden, wie dies beispielsweise in der **Fig. 7** aber auch in der **Fig. 1** dargestellt ist. Hieraus resultiert eine zusätzliche Funktion, die beispiels-

weise darin bestehen kann, dass diese Schirmbleche **27** eine Abschirmung der Keramikoberfläche vor Bedampfen mit Metaldampf, der aus dem Schaltlichtbogen entsteht, darstellt.

**[0038]** Die Ringstrukturen **8**, **16** müssen nicht notwendigerweise durchgehend ausgestaltet, d.h. ununterbrochen ausgeführt werden, sondern können auch als flächige Gebilde bestehend aus rasterförmig aufgebrauchten, eng benachbarten leitfähigen Strukturen, z.B. Punkten oder Strichen ausgeführt werden. Solche Schichten sind besonders vorteilhaft über Siebdruckverfahren wie Rakeln herzustellen.

**[0039]** In **Fig. 2** ist eine dreidimensionale Darstellung eines Strukturelementes **4** gegeben, die im Wesentlichen rotationssymmetrisch, in diesem Fall in Zylinderform dargestellt ist, und die auf einer inneren Oberfläche **6** eine Ringstruktur **8** aufweist, die in **Fig. 2** gestrichelt dargestellt ist und an einer äußeren Seite eine äußere Ringstruktur **16** angeordnet ist. Wie in **Fig. 3**, die eine Querschnittsdarstellung der **Fig. 2** darstellt, zu erkennen ist, verlaufen die Ringstruktur **16** bzw. **8** bezüglich einer axialen Ausdehnung des Strukturelementes **4** auf derselben Höhe. Das bedeutet ein Lot **18**, das auf die Achse **20** gefällt wird, durchläuft sowohl die innere Ringstruktur **8** als auch die äußere Ringstruktur **16** und dies zumindest in einem Überdeckungsbereich.

**[0040]** In den **Fig. 4** und **Fig. 5** sind Ringstrukturen **8** und **16** dargestellt, bei denen es nicht zu einer 100-prozentigen Überdeckung in axialer Richtung kommt, wobei diese Ringstrukturen **8** und **16** axial zueinander leicht verschoben sind, es jedoch weiterhin zu einem Überdeckungsbereich kommt. In der **Fig. 5** sind an der Außenseite des Strukturelementes **4** zwei Ringstrukturen **16** aufgebracht, wobei beide Ringstrukturen **16** vorzugsweise wiederum einen Überlappungsbereich in axialer Richtung mit der Ringstruktur **8** im inneren Bereich **6** des Strukturelementes **4** aufweisen. Das heißt, ein Lot **18**, auf die Achse **20** kann so gelegt werden, dass es durch beide Ringstrukturen **8**, **16** verläuft.

**[0041]** In **Fig. 6** ist ein Strukturelement **4** dargestellt, das eine analoge Ausgestaltungsform zu dem Strukturelement **4** in **Fig. 3** aufweist, das jedoch an seiner äußeren Oberfläche eine zusätzliche Oberflächenbeschichtung **22** aufweist, die bevorzugt einen Flächenwiderstand von typischerweise 100 Megaohm pro Quadrat aufweist, was einen schlechten Leiter oder anders ausgedrückt keinen Isolator darstellt. Auf diese Weise wirkt auf dieser Oberfläche **22** eine sowohl ohmsche als auch nicht lineare Stromspannungskennlinie. Dies dient zur elektrischen Feldsteuerung auf der Oberfläche und zur Verringerung der Aufladung der Oberfläche mit elektrischen Ladungen. Hierdurch können besonders spannungsfeste Strukturelemente **4** erzeugt werden. Al-

ternativ kann die leitfähige Beschichtung mit hohem Flächenwiderstand zwischen  $10^8$  Ohm und  $10^{12}$  Ohm auf der Innenseite bzw. auf beiden Seiten der Keramik aufgebracht sein. Die Widerstandsschicht kann sowohl unterhalb der Ringstrukturen **8**, **16** aufgebracht sein als auch in einer anderen Ausführungsform sich überdeckend über die Ringstrukturen **8**, **16** erstrecken.

**[0042]** In den **Fig. 2** bis **Fig. 7** werden Isolatoranordnungen **2** dargestellt, die aus jeweils nur einem Strukturelement **4** bestehen. Diese Isolatoranordnungen **2** sind in diesem beispielhaften Ausgestaltungsformen der Übersichtlichkeit halber lediglich hier im Mittelbereich mit Ringstrukturen **8**, **16** ausgestaltet. Die Ringstrukturen **8**, **16** weisen allerdings in axialer Richtung einen typischen Abstand auf, der zwischen 10 mm und 40 mm beträgt. Ein typisches Strukturelement **4**, wie es in den **Fig. 2–Fig. 7** dargestellt ist, kann also mehrere Ringstrukturen **8** und **16** an der Innen- und der Außenseite aufweisen, die zu den bereits beschriebenen vorteilhaften, innerelektrischen Effekten führen. Insofern haben die **Fig. 2–Fig. 7** einen rein beispielhaften Charakter und dienen insbesondere zur Darstellung der Anordnung der Ringstrukturen **8** und **16** im Allgemeinen. In der **Fig. 8** ist eine Isolatoranordnung **2** wiedergegeben, die aus zwei Strukturelementen **4** zusammengesetzt ist. Die Strukturelemente **4** in **Fig. 8** sind durch die Verbindung **27** stirnseitig aneinandergesetzt. Dabei besteht die Verbindung **27** ebenfalls aus einer metallisch leitfähigen Schicht und stellt ebenfalls eine Äquipotentialfläche **9** dar.

**[0043]** Durch das Aufbringen der Ringstrukturen **8** und **16** werden in die Isolatorstruktur **2** zusätzliche Äquipotentialflächen **9** eingebracht, die die bereits beschriebenen positiven elektrischen Eigenschaften aufweisen. Betrachtet man **Fig. 9**, so ist zu erkennen, dass bei einem Zusammenhang zwischen der Durchbruchfeldstärke **28**, die auf der Y-Achse aufgetragen ist und der Höhe bzw. der Dicke des keramischen Isolierkörpers, der auf der X-Achse aufgetragen ist und mit dem Bezugszeichen **29** versehen ist, ein wurzelförmiger Verlauf besteht, der durch die Kurve **30** dargestellt ist. Das heißt, bei einer Höhe von beispielsweise **5** Längeneinheiten eines Strukturelementes **4** wird eine Durchschlagsfestigkeit, hier in diesem Beispiel von 60 kV, erzielt. Bei **10** Längeneinheiten desselben Materials und derselben Dicke werden dabei lediglich ca. 90 kV Durchschlagsfestigkeit erzeugt. Das heißt, dass man entweder das Strukturelement **4** sehr lang ausgestalten muss, um eine hohe Durchschlagsfestigkeit zu erzielen, oder das mehrere Strukturelemente **4** aneinandergesetzt werden müssen, die jeweils die entsprechenden Äquipotentialflächen **9** aufweisen. Die Äquipotentialflächen **9** werden dabei bei der herkömmlichen Bauweise von Vakuumschaltröhren **3** bzw. Isolatoranordnungen **2** für Vakuumschaltröhren durch die Lotverbindungen

dargestellt. Durch die zusätzlichen hier beschriebenen Ringstrukturen **8** und **16** wird zum einen eine Verkürzung der Abstände der Äquipotentialflächen **9** bewirkt, so dass beispielsweise bei einem Abstand von **5** Längeneinheiten zwischen den Ringstrukturen die Durchschlagsfestigkeit von 60 kV erreicht werden kann. Zum anderen wird in dem Keramikbereich zwischen den Ringstrukturen **8**, **16** eine virtuelle Äquipotentialfläche **9'** eingeführt, welche ohne Lotverbindung eine virtuelle Verkürzung der Keramik bewirkt. Bei  $2 \times 5$  Längeneinheiten entlang desselben Strukturelementes kann dabei bereits eine Durchschlagsfestigkeit von 120 kV erreicht werden, wobei ein herkömmliches Strukturelement nach dem Stand der Technik nach demselben Beispiel nur 90 kV Durchschlagsfestigkeit erzielen würde. Das bewirkt, dass die gesamte Länge der Isolatoranordnung **2** deutlich reduziert werden kann, was zum einen eine deutliche Reduktion des Herstellungsprozessaufwandes darstellt, was sich wiederum in einer deutlichen Kostenreduktion bei geringerem Bauraum der Vakuumschaltröhre **3** niederschlägt.

### Patentansprüche

1. Isolatoranordnung (**2**) für eine Hoch- oder Mittelspannungsschaltanlage mit mindestens einem achsensymmetrischen isolierenden Strukturelement (**4**), **dadurch gekennzeichnet**, dass das Strukturelement (**4**) eine, an seiner inneren Oberfläche (**6**) angeordnete leitfähige Ringstruktur (**8**) und eine an seiner äußeren Oberfläche angeordnete leitfähige Ringstruktur (**14**) aufweist, die voneinander durch das isolierende Strukturelement isoliert sind.
2. Isolatoranordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ringstruktur (**8**) eine elektrische Leitfähigkeit aufweist, die um mindestens acht Zehnerpotenzen höher ist als die Leitfähigkeit der angrenzenden Oberfläche des Strukturelementes.
3. Isolatoranordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ringstruktur (**8**) eine axiale Ausdehnung (**10**) aufweist, die mindestens der halben Dicke und maximal der vierfachen Dicke des Strukturelementes (**4**) in radialer Richtung beträgt.
4. Isolatoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die äußere und die innere Ringstruktur (**16**) in der Art zueinander angebracht sind, dass sie bezüglich eines Lotes (**18**) auf die Längsachse (**20**) des Strukturelementes (**4**) eine Überdeckung aufweisen.
5. Isolatoranordnung nach Anspruch 1 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens zwei Strukturelemente (**4**, **4'**) vorgesehen sind, die entlang ihrer Stirnflächen aneinander gefügt sind, wobei

jedes der mindestens zwei Strukturelemente (4, 4') mindestens eine Ringstruktur (8, 16) aufweist.

6. Isolatoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Strukturelement (4, 4') eine axiale Ausdehnung aufweist, die zwischen 10 mm und 200 mm, bevorzugt zwischen 20 mm und 80 mm beträgt, besonders bevorzugt zwischen 20 mm und 40 mm beträgt.

7. Isolatoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstand der Ringstrukturen (8, 16) in axialer Richtung zwischen 5 mm und 40 mm liegt.

8. Isolatoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine weitere Beschichtung des Strukturelementes an seiner Innenseite und/oder an seiner Außenseite vorgesehen ist, die einen Flächenwiderstand aufweist, der zwischen  $10^8$  Ohm  $10^{12}$  Ohm, bevorzugt zwischen  $10^8$  Ohm  $10^{10}$  Ohm liegt.

9. Isolatoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ringstruktur (8, 16) in Form einer metallischen Struktur, insbesondere in Form eines Rings oder in Form eines Bandes ausgestaltet ist.

10. Isolatoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ringstruktur (8, 16) in Form einer leitfähigen Beschichtung aufgebracht ist.

11. Vakuumschaltröhre für Hoch- oder Mittelspannungsanwendungen umfassend eine Isolatoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

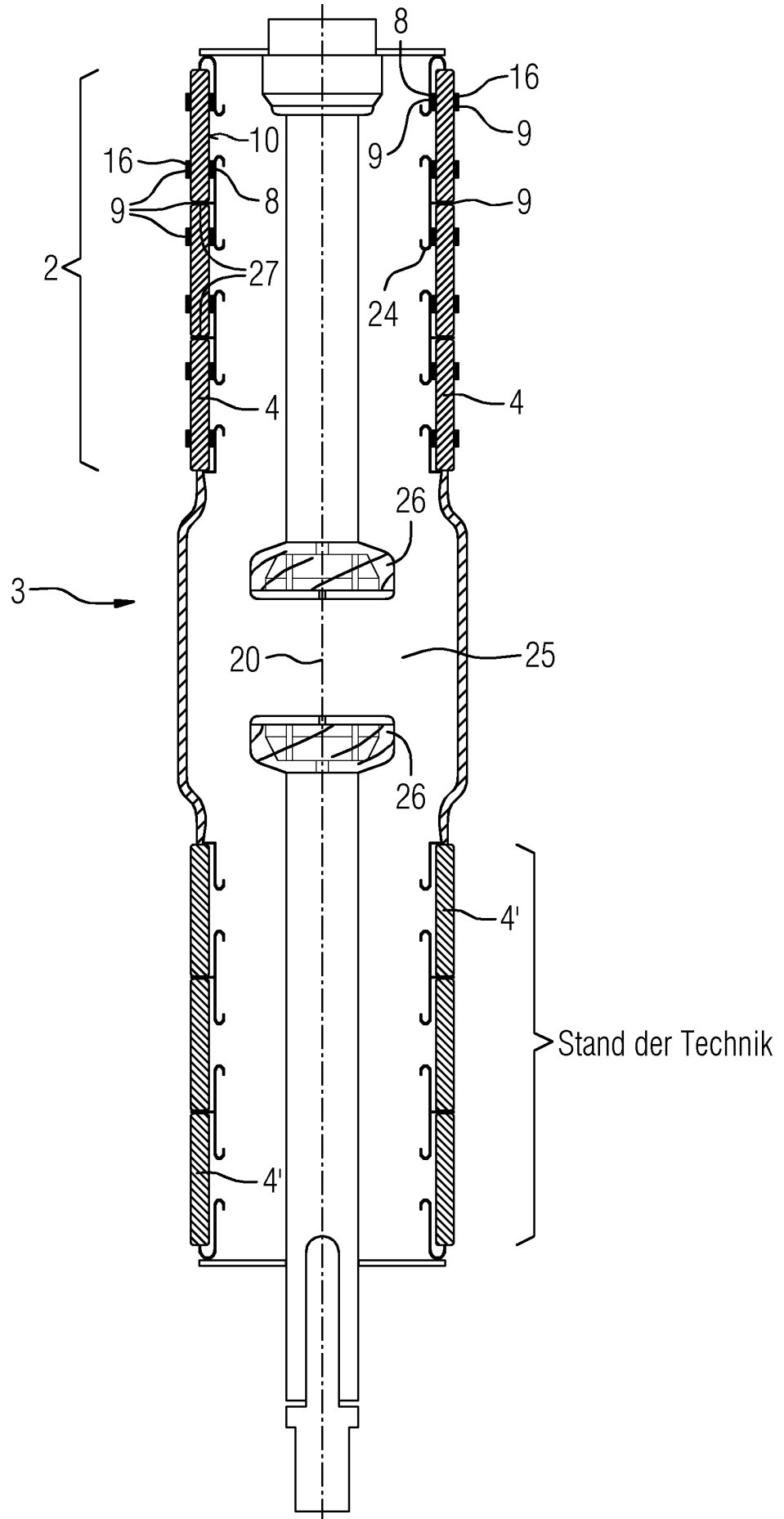




FIG 2

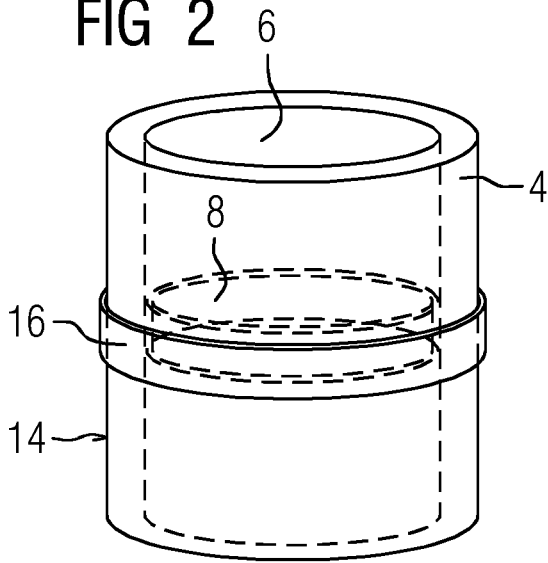


FIG 3

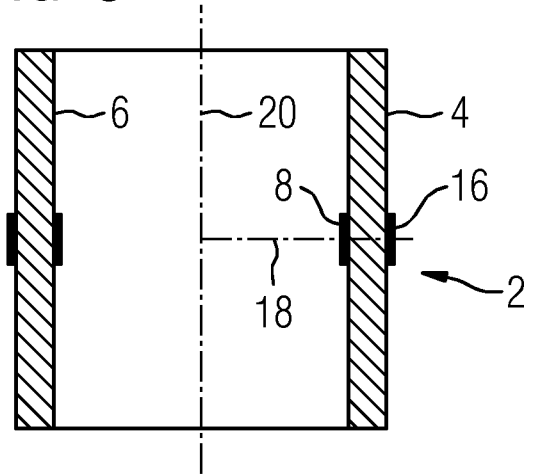


FIG 4

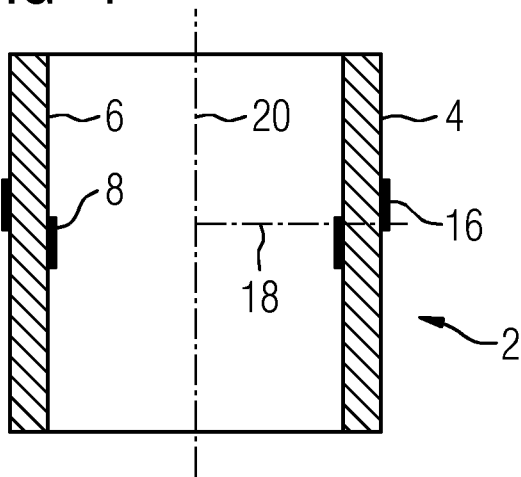


FIG 5

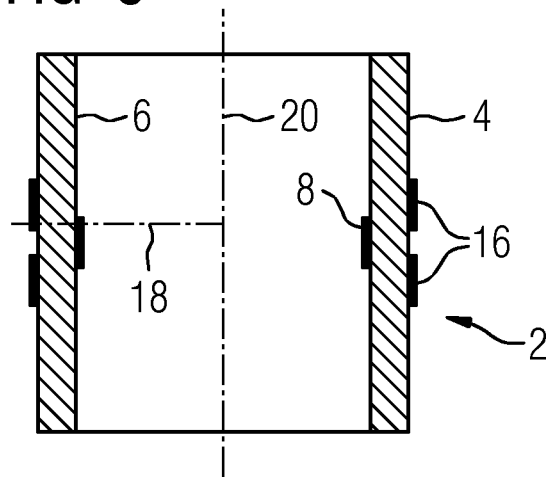


FIG 6

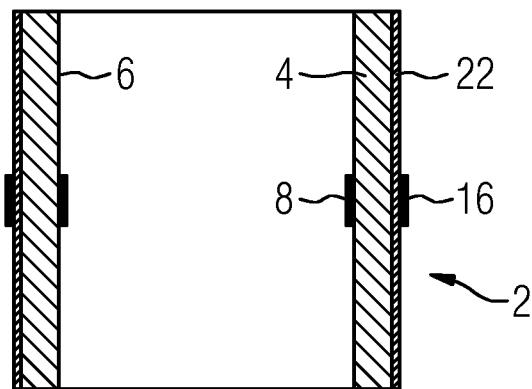


FIG 7

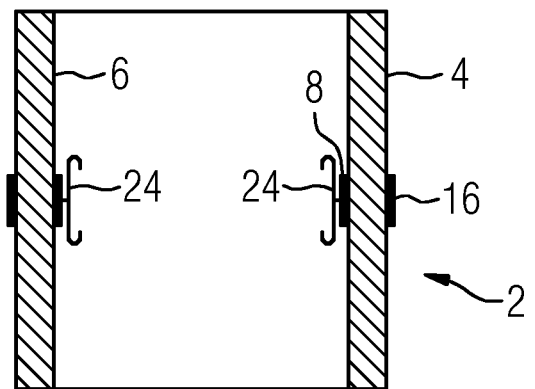


FIG 8

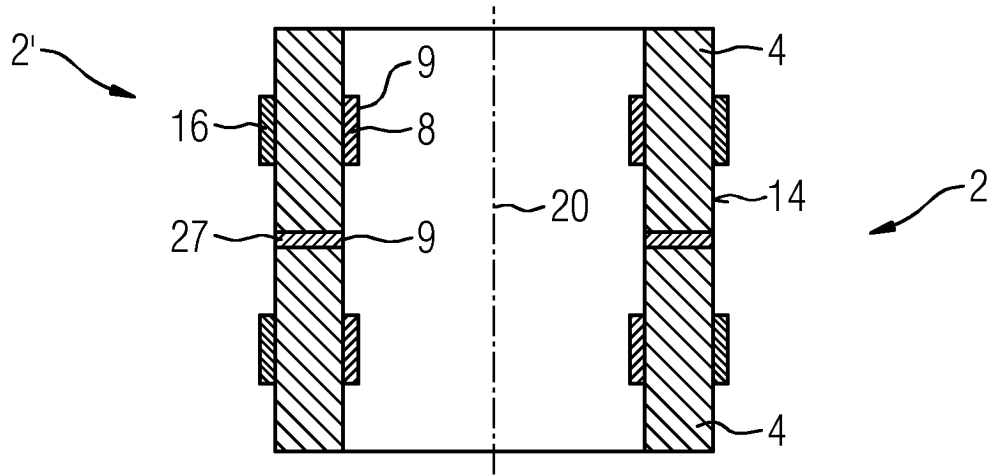


FIG 9

