



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
10.01.2001 Patentblatt 2001/02

(51) Int Cl.7: **H01B 17/32, H01B 19/00**

(21) Anmeldenummer: **99810604.1**

(22) Anmeldetag: **07.07.1999**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
 Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

• **Rhyner, Jakob**
8006 Zürich (CH)

(71) Anmelder: **ABB RESEARCH LTD.**
8050 Zürich (CH)

(74) Vertreter: **ABB Patent Attorneys**
c/o ABB Business Services Ltd,
Intellectual Property (SLE-I),
Haselstrasse 16/699
5401 Baden (CH)

(72) Erfinder:
 • **Christen, Thomas**
5300 Vogelsang (CH)

(54) **Elektrisches Bauteil mit Abstreuung von elektrischen Feldüberhöhungen**

(57) In einem erfindungsgemässen elektrischen Bauteil weist ein Isolationselement (3) Komponenten mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten auf, wobei die Verteilung der Komponenten, und damit die Dielektrizitätskonstante des Isolationselementes inhomogen ist. Insbesondere ist eine Konzentration einer Komponente mit höherer Dielektrizitätskonstante an Orten der Isolation, die durchschlagsgefährdet sind, höher als an Orten die weniger durchschlagsgefährdet sind.

Im erfindungsgemässen Herstellungsverfahren wird im Zwischenraum zwischen Leitern (1,2,6,7) mit unterschiedlichem elektrischen Potential ein fluides Gemisch von mindestens zwei Komponenten mit unter-

schiedlichen Dielektrizitätskonstanten eingebracht. Durch die unterschiedlichen Potentiale entsteht ein elektrisches Feld, dessen Inhomogenitäten eine dielektrophoretische Kraft auf die Komponenten und dadurch eine ortsabhängige Dichteverteilung der Komponenten bewirken. Durch diese inhomogene Dichteverteilung wird auch die Dielektrizitätskonstante des Gemisches ortsabhängig, wodurch wiederum Überhöhungen des elektrischen Feldes abgebaut werden.

Um eine Diffusion konzentrierter Komponenten zu verringern, befindet sich der Zustand des Gemisches in der Nähe der Kurve der spinodalen Entmischung des Gemisches, da dort eine effektive Diffusionskonstante einen kleinen Wert aufweist.

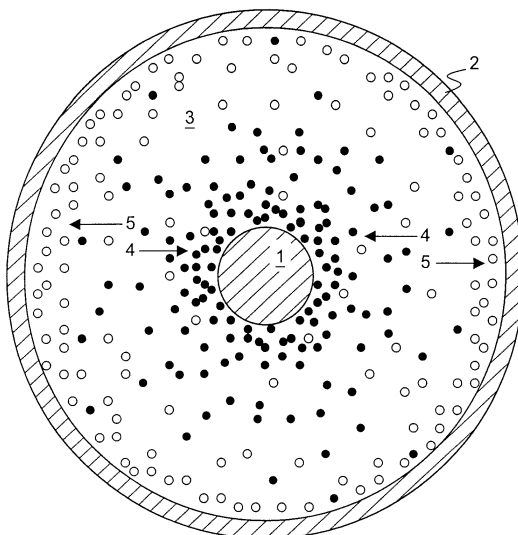


Fig. 8

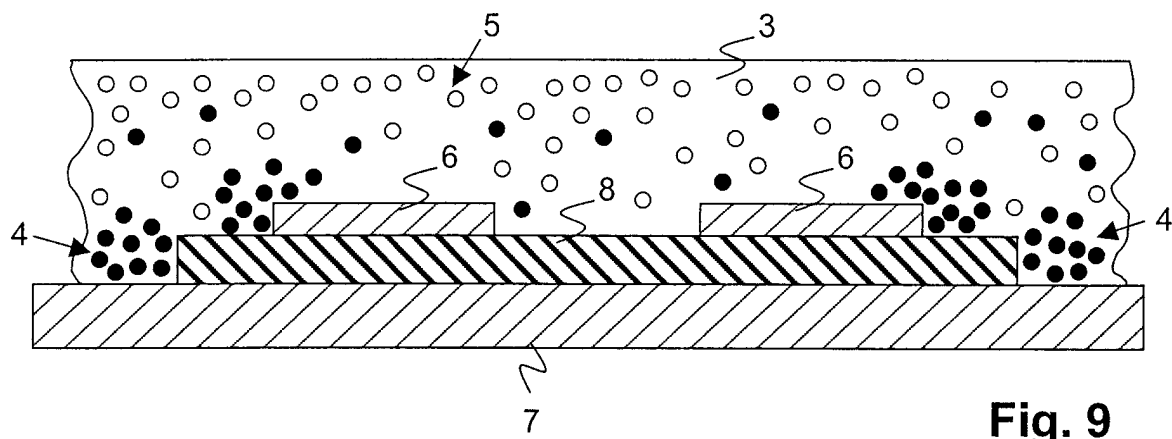


Fig. 9

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der elektrischen Isolationstechnik. Sie bezieht sich auf ein Bauteil mit Abstimmung von elektrischen Feldüberhöhungen sowie auf ein Herstellungsverfahren für ein solches Bauteil gemäss dem Oberbegriff der Patentansprüche 1 und 11.

Stand der Technik

[0002] Bei elektrischen Bauteilen treten elektrische Feldüberhöhungen zwischen spannungsführenden leitenden Materialien mit positiven, kleinen Krümmungsradien auf, zum Beispiel an Elektroden-Spitzen, metallischen Partikeln, am inneren Leiter von Koaxialkabeln, sowie an Kanten und Ecken von Leistungshalbleitern. Solche Feldüberhöhungen können zu elektrischen Durchbrüchen oder zu beschleunigter Alterung eines isolierenden Teils führen und müssen daher in vielen Fällen vermindert oder verhindert werden.

[0003] Die Verringerung von Feldüberhöhungen, auch Abstimmung von elektrischen Feldüberhöhungen oder Feldsteuerung genannt, wird meist mittels einer der folgenden zwei Strategien bewerkstelligt:

[0004] Bei der geometrischen Feldsteuerung wird die Geometrie der spannungsführenden Materialien, also der Leiter oder Elektroden angepasst, beispielsweise durch Abrundung von Ecken und Kanten. Dies erfordert eine im allgemeinen aufwendige Bearbeitung der Elektroden.

[0005] Bei der kapazitiv-resistiven Feldsteuerung befindet sich zwischen den Leitern ein makroskopisch homogenes, elektrisch nichtlineares Dielektrikum. Bei einem nichtlinearen Dielektrikum sind die Dielektrizitätskonstante oder die Leitfähigkeit, oder sowohl die Dielektrizitätskonstante als auch die Leitfähigkeit eine Funktion der elektrischen Feldstärke. Beispielsweise wächst beim Anlegen einer Spannung eine geeignete nichtlineare Leitfähigkeit oder Dielektrizitätskonstante in der Nähe einer spitzen Elektrode an, wodurch das elektrische Feld dort vermindert wird. Somit verläuft im Betriebszustand die Leitfähigkeit oder die Dielektrizitätskonstante des Dielektrikums inhomogen über das Volumen des Dielektrikums. Es ist jedoch schwierig, die optimalen nichtlinearen Materialeigenschaften einzustellen und entsprechende Materialien zu entwickeln.

Darstellung der Erfindung

[0006] Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, ein Bauteil mit Abstimmung von elektrischen Feldüberhöhungen zu schaffen, welches die oben genannten Nachteile behebt. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist, ein Herstellungsverfahren für ein solches erfindungsgemässes Bauteil zu schaffen.

[0007] Diese Aufgabe lösen ein Bauteil mit Abstimmung von elektrischen Feldüberhöhungen und ein Herstellungsverfahren für ein solches Bauteil mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 und 11.

[0008] Ein erfindungsgemässes Bauteil weist mindestens ein Isolationselement zur gegenseitigen Isolation von mindestens zwei Leitern auf, wobei eine Dielektrizitätskonstante des Isolationselements inhomogen über das Volumen des Isolationselements verläuft. Dabei besteht das Isolationselement aus mindestens zwei Komponenten, wobei mindestens zwei dieser Komponenten unterschiedliche Dielektrizitätskonstanten aufweisen.

[0009] Der inhomogene, ortsveränderliche Verlauf der Dielektrizitätskonstante des Isolationselements ist eine Folge einer inhomogenen Verteilung der Komponenten. Mit dem Begriff "inhomogen" ist hier eine kontinuierliche und ortsabhängige Änderung einer Grösse gemeint. Insbesondere ist eine Konzentration einer Komponente mit höherer Dielektrizitätskonstante an Orten der Isolation, die durchschlagsgefährdet sind, höher als an Orten die weniger durchschlagsgefährdet sind. Durchschlagsgefährdet sind diejenigen Orte der Isolation, an denen bei Verwendung eines dielektrisch homogenen Isolationsmaterials im Betriebszustand eine Überhöhung eines elektrischen Feldes auftreten würde.

[0010] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die mindestens zwei Komponenten mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten lineare Dielektrika. Bei diesen sind Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit im Wesentlichen nicht von der Feldstärke abhängig.

[0011] Ein Vorteil dieser Ausführungsform ist, dass die elektrischen Eigenschaften des Isolationselementes einfach einstellbar sind. Dies ist möglich, weil die elektrischen Eigenschaften eines einzelnen linearen Dielektrikums, wie auch die elektrischen Eigenschaften eines Gemisches linearer Dielektrika einfach einstellbar sind. Letzteres geschieht durch Wahl des Mischungsverhältnisses.

[0012] Im erfindungsgemässen Herstellungsverfahren wird einem Zwischenraum zwischen Leitern mit unterschiedlichem elektrischen Potential ein fluides Gemisch aus mindestens zwei Komponenten mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten eingebracht, so dass sich aufgrund eines durch die unterschiedlichen Potentiale entstehenden elektrischen Feldes eine ortsabhängige Dichteverteilung der Komponenten einstellt. Durch diese inhomogene Dichteverteilung wird auch die Dielektrizitätskonstante des Gemisches ortsabhängig, wodurch wiederum Überhöhungen des elektrischen Feldes abgebaut werden.

[0013] Diese ortsabhängige Dichteverteilung ist eine Folge der Tatsache, dass auf einen Dipol in einem inhomogenen Feld eine sogenannte dielektrophoretische Kraft wirkt. Diese Kraft zieht den Dipol in Gebiete grosserer absoluter Feldstärke. Dabei ist

$$F \propto \nabla E^2$$

das heisst, ein auf den Dipol wirkender Kraftvektor F ist proportional zu einem Gradienten eines Quadrats eines ortsabhängigen Absolutbetrags E einer elektrischen Feldstärke. Da eine höhere Dielektrizitätskonstante einer höheren Dipolaritätsdichte entspricht, folgt, dass sich in einem zunächst homogenen fluiden Gemisch zweier isolierender Komponenten $K1$ und $K2$ mit Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 und ϵ_2 , wobei $\epsilon_1 > \epsilon_2$ ist, die Komponente $K1$ in Richtung höherer Feldstärke bewegt. Es entsteht daher ein inhomogenes Gemisch, das heisst die relativen Anteile der Komponenten variieren ortsabhängig. Dadurch ergibt sich auch eine inhomogene, kontinuierlich variierende, von einem Ortsvektor X abhängige Dielektrizitätskonstante $\epsilon(X)$ des Gemisches. An Orten einer lokal erhöhten Dielektrizitätskonstante nimmt eine Feldüberhöhung ab.

[0014] In einer bevorzugten Variante des erfindungsgemässen Herstellungsverfahrens wird das Gemisch, beispielsweise eine Polymerschmelze, im flüssigen Zustand in ein geeignetes elektrisches Feld gebracht und erstarrt im gewünschten inhomogenen Zustand.

[0015] In einer weiteren bevorzugten Variante des erfindungsgemässen Herstellungsverfahrens sind die Komponenten des Gemisches Flüssigkeiten oder eine oder mehrere Flüssigkeiten mit darin verteilten festen Teilchen oder Gasen.

[0016] In einer weiteren bevorzugten Variante des erfindungsgemässen Herstellungsverfahrens werden Dipolmoleküle in einen festen Isolationskörper diffundiert.

[0017] Weitere bevorzugte Ausführungsformen gehen aus den abhängigen Patentansprüchen hervor.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0018] Im folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels, welches in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt ist, näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine koaxiale Elektrodengeometrie;
 Figur 2 einen Verlauf der Feldstärke bei einem homogenen linearen Dielektrikum gemäss dem Stand der Technik;
 Figur 3 einen Verlauf der Dielektrizitätskonstante bei einem erfindungsgemässen Bauteil mit einem inhomogenen Dielektrikum;
 Figur 4 einen Verlauf der Feldstärke bei einem erfindungsgemässen Bauteil mit einem inhomogenen Dielektrikum;
 Figuren 5-7 Verläufe von Dielektrizitätskonstanten von weiteren Ausführungsformen gemäss der Erfindung;
 Figur 8 einen Querschnitt durch ein erfindungsgemässes Koaxialkabel; und

Figur 9 einen Querschnitt durch ein erfindungsgemässes Halbleiterbauelement.

[0019] Die in den Zeichnungen verwendeten Bezugszeichen und deren Bedeutung sind in der Bezugszeichenliste zusammengefasst aufgelistet. Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0020] Ein erfindungsgemässes Herstellungsverfahren, woraus ein erfindungsgemässes elektrisches Bauteil resultiert, wird auf eine beliebige Geometrie von Leitern oder Elektroden, bei denen Feldüberhöhungen vermindert werden sollen, angewandt. Dazu wird ein fluides, homogenes Gemisch von Komponenten mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten in einen feldführenden Zwischenraum zwischen den Leitern eingebracht und die Leiter auf unterschiedliches elektrisches Potential gebracht. Im Falle von mehr als zwei Leitern entsprechen die Potential- und Feldverhältnisse vorzugsweise den im späteren Betrieb zu erwartenden Verhältnissen. Aufgrund einer dielektrophoretischen Kraft werden Dipole des Fluids in Richtung höherer Feldstärke bewegt. Da eine höhere Dielektrizitätskonstante einer höheren Dipolaritätsdichte entspricht, ist die dielektrophoretische Kraft für Komponenten mit grösserer Dielektrizitätskonstante grösser als für Komponenten mit kleinerer Dielektrizitätskonstante. Bei zwei Komponenten $K1$ und $K2$ mit Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 und ϵ_2 , wobei $\epsilon_1 > \epsilon_2$ ist, nimmt dadurch die Konzentration der Komponente $K1$ an Orten höherer Feldstärke zu. An diesen Orten höherer Feldstärke ist bei einem linearen homogenen Dielektrikum auch die Gefahr eines elektrischen Durchschlags erhöht.

[0021] Eine Bewegung von Dipolen in inhomogenen elektrischen Feldern ist in den Artikeln "The Motion and Precipitation of Suspenoids in Divergent Electric Fields", Herbert A. Pohl, Journal of Applied Physics, Vol. 22, Nr. 7, Juli 1951, und "Electric-field-induced pattern formation in colloidal dispersions", M. Trau et al., Nature, Vol. 374, Nr. 30, März 1995, beschrieben.

[0022] Eine Dielektrizitätskonstante ϵ des Gemisches ist eine Funktion der Dielektrizitätskonstante der Komponenten sowie eines Mischungsverhältnisses p . Es sei beispielsweise p gleich dem Volumenanteil der Komponente $K1$. Somit ist $p=1$, wenn die Mischung nur die Komponente $K1$ aufweist, und $p=0$, wenn die Mischung nur die Komponente $K2$ aufweist. Im allgemeinen geht, wenn p von eins nach null geht, die Dielektrizitätskonstante ϵ des Gemisches von ϵ_1 nach ϵ_2 . Als nützliche Näherung dient oft für flüssige Gemische ein linearer Zusammenhang

$$\epsilon = \epsilon_1 p + \epsilon_2 (1-p).$$

[0023] Somit nimmt mit der Konzentration der Komponente mit höherer Dielektrizitätskonstante auch die Dielektrizitätskonstante an Orten höherer Feldstärke zu. Als Folge dieser lokal erhöhten Dielektrizitätskonstante nimmt die Feldüberhöhung und damit auch die Gefahr eines Durchschlags ab. Es stellt sich eine inhomogene Gleichgewichtsverteilung der Komponenten K1 und K2 ein, mit einer von einem Ortsvektor X abhängigen Dielektrizitätskonstante $\epsilon(X)$. Rechnerisch wird diese Verteilung aus einer Minimierung des relevanten thermodynamischen Potentials erhalten. Aus der Diskussion des Resultats ergibt sich eine optimale Wahl des Mischungsverhältnisses der Komponenten sowie der Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 und ϵ_2 .

[0024] Für die oben beschriebene Kraft- und Bewegungswirkung ist der Absolutbetrag der Feldstärke massgebend, so dass für das erfindungsgemässe Verfahren sowohl Gleichspannungen als auch Wechselspannungen zwischen die Leiter gelegt werden können. Verallgemeinerungen auf Komponenten mit nicht vernachlässigbarer Leitfähigkeit geschehen analog zur allgemeinen Theorie der Dielektrophorese, das heisst über die komplexe Dielektrizitätskonstante, welche von einer Frequenz einer wirksamen Wechselspannung abhängig ist.

[0025] Alle beschriebenen Vorgänge gelten selbstverständlich und in analoger Weise auch für Mischungen mit mehr als zwei dielektrischen Komponenten.

[0026] Für flüssige Isolationen und Gasisolationen werden Mischungen von Komponenten mit verschiedenen Dielektrizitätskonstanten, respektive atomaren Polarisierbarkeiten oder permanenten Dipolmomenten gewählt. Bei Flüssigkeiten sind entweder alle Komponenten flüssig, oder aber es liegen eine oder mehrere der Komponenten in fester oder gasförmiger Phase vor, welche dispersiv in der flüssigen Phase verteilt sind. Dabei werden die Parameter so gewählt, dass keine elektro rheologischen Instabilitäten auftreten. Als Dipole einer Komponente wirken, je nach dem Aggregatzustand der Komponente, beispielsweise Partikel, Moleküle oder Ionen mit angelagerten Molekülen.

[0027] Um Festkörper-Isolationen herzustellen, werden die Komponenten im flüssigem Zustand ins geeignete elektrische Feld gebracht und erstarren im gewünschten inhomogenen Zustand. Auch hier sind beispielsweise alle Komponenten vorerst flüssig, oder aber feste oder gasförmige Komponenten sind in einer flüssigen Phase sehr fein verteilt. Die Viskosität von zähflüssigen Gemischen wird beispielsweise über eine Scherkraftabhängigkeit durch Vibration des Gemisches erniedrigt. Die zwischen den Leitern angelegte Spannung wird beispielsweise zu Beginn des Verfahrens nicht allzu gross gewählt und während einer mit der Ausbildung der ortsveränderlichen Dielektrizitätskonstante einhergehenden Erhöhung der Durchschlagsfestigkeit vergrössert. Die Erstarrung ist beispielsweise eine Aushärtung oder eine Gelierung und wird beispielsweise durch eine durch Erhitzen oder Zugabe eines Härtings-

mittels ausgelöste chemische Reaktion bewirkt, oder durch schnelles Abkühlen des Komponentengemisches verursacht, oder durch einen Aushärtungsprozess, der aufgrund der chemischen Eigenschaften des Komponenten mit ihrer Durchmischung beginnt.

[0028] Bei der Wahl der Materialien und Mischungsverhältnisse werden vorzugsweise Sedimentationseffekte, bei homogenen Gemischen vorzugsweise Einflüsse von freien Mischungsenergien und bei heterogenen Gemischen wie auch bei der Elektroden-Benetzung die verschiedenen Grenzflächenenergien respektive das Benetzungsverhalten berücksichtigt und ausgenutzt.

[0029] Dazu werden Materialien und allfällige Additive derart gewählt, dass eine dielektrische Energie relativ zu einem Entropieanteil einer freien Energie möglichst hoch wird. Die dielektrische Energie ist ein Mass für die im Dielektrikum gespeicherte elektrische Feldenergie, während der Entropieanteil der freien Energie ein Mass für die Neigung des Gemisches zur Diffusion, das heisst zur Unterdrückung von Inhomogenitäten ist. Es sei beispielsweise eine zylindrische innere Elektrode gegeben, welche auf einem Potential U gegenüber einer im Unendlichen liegenden konzentrischen zylindrischen äusseren Elektrode liegt. Im Falle eines Gemisches von gleichlangen Polymeren unterschiedlicher Dielektrizitätskonstante beträgt ein Mass Z für ein Verhältnis der dielektrischen Energie zum Entropieanteil der freien Energie

$$Z = \frac{\Delta\epsilon U^2 N}{\rho k T r^2}$$

wobei $\Delta\epsilon$ eine Differenz der Dielektrizitätskonstante der Mischungskomponenten, N eine Anzahl Monomere pro Polymer, ρ eine Dichte von Monomeren pro Volumeneinheit, k die Boltzmannkonstante, T eine absolute Temperatur des Gemisches und r ein Radius der inneren zylindrischen Elektrode ist. Vorteilhafterweise werden Materialien und Zusätze derart gewählt, dass Z möglichst gross, insbesondere grösser als eins ist. Dabei ist U kleiner als eine Durchbruchspannung der Anordnung.

[0030] Um den Einfluss von Diffusionskräften gegenüber der Kraft des elektrischen Feldes weiter zu verkleinern, werden Parameter des Gemisches vorzugsweise in folgender Weise gewählt: Gemäss der Theorie der spinodalen Entmischung lässt sich, wie in Figur 10 gezeigt, eine durch zwei Parameter, beispielsweise der Temperatur T und des Mischungsverhältnisses p von Komponenten aufgespannte Ebene aufteilen in erste Gebiete 11, in denen die Komponenten mischbar ist, zweite Gebiete 12, in denen sie nicht mischbar sind, und eventuell dazwischenliegende dritte Gebiete 13 mit metastabilen Zuständen. Eine Grenze zwischen zweiten und dritten Gebieten 12 und 13 wird Spinodale 14 genannt, eine Grenze zwischen ersten und dritten Gebieten 11 und 13 wird Binodale 15 genannt. Die beiden

Grenzen treffen sich in einem Extremum bezüglich der Temperatur, einem sogenannten kritischen Punkt 16. Im allgemeinen Fall können Extrema Maxima oder Minima sein. Zusätzlich zu den in der Figur 10 gezeigten Gebieten können beispielsweise für höhere Temperaturen weitere Gebiete auftreten, in denen die Komponenten nicht mischbar sind. Es ist bekannt, dass eine effektive Diffusionskonstante bezüglich p auf der Spinodalen 14 ihr Vorzeichen wechselt und in der Nähe der Spinodalen 14 kleine Werte annimmt. Weiter sollen die Komponenten mischbar sein, da der entmischte Zustand isolationsstechnisch nachteilig ist. Aus diesen beiden Gründen wird der Zustand des Gemisches im erfindungsgemässen Herstellungsverfahren vorteilhafterweise im ersten Gebiet 11 und möglichst nahe an der Spinodalen 14 gewählt, also in der Nähe des kritischen Punkts 16. Dadurch wird die effektive Diffusionskonstante positiv und möglichst klein. Die Beeinflussung des Zustandes geschieht beispielsweise durch Temperatur T und Mischungsverhältnis p , oder durch zusätzliche Komponenten oder Additive, oder durch Wahl von Gemischen, welche einen Flory-Huggins Parameter aufweisen, der einem gewünschten Extremum 15 entspricht.

[0031] Im Falle dass grössere Feldstärken möglich sind, das heisst, dass Z nicht klein gegen eins ist, verschiebt sich die optimale Wahl des Gemisches vom kritischen Punkt 16 bei gleichbleibender Temperatur zu einem Mischungsverhältnis mit einem geringeren Anteil der Komponente mit höherer Dielektrizitätskonstante.

[0032] Geeignete Komponentensubstanzen sind beispielsweise isolierende Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten, beispielsweise isolierende Öle. Geeignete heterogene Gemische sind beispielsweise sehr fein pulverisierte Ferrolektrika oder nichtdissoziierende Additive mit grosser Polarisierbarkeit in isolierendem Gel oder Öl. Weitere geeignete Komponenten für homogene oder heterogene flüssige Gemische sind beispielsweise Polymere oder Polymer-schmelzen, sowie Lösungen von flüssigen respektive geschmolzenen Polymeren.

[0033] Die folgenden Gemische sind Beispiele für erfindungsgemäss verwendbare flüssige Gemische, wobei die angegebene Temperatur jene des kritischen Punktes des entsprechenden Gemisches ist:

- Gemisch 1: Annähernd 4 bis annähernd 6 Volumenprozent Polystyrol in Cyclohexan bei ca. 30 °C,
- Gemisch 2: annähernd 36 bis annähernd 38 Volumenprozent Nitrobenzen in n-Hexan bei ca. 20 °C, und
- Gemisch 3: annähernd 17 Gewichtsprozente Poly(p-Chlorstyrol) in Ethylcarbitol bei ca. 35 °C. Carbitol® ist ein Diethylenglykolmonoethylether.

[0034] Um Festkörper-Isolationen herzustellen werden in einer anderen Variante des erfindungsgemässen Herstellungsverfahrens Dipole in einen isolierenden Festkörper oder ein Festkörpergitter eindiffundiert. Da-

zu wird beispielsweise der Festkörper einer hohen Temperatur und einer hohen elektrischen Spannung ausgesetzt. Die Temperatur ist so hoch, dass die Diffusion erleichtert wird, aber nicht so hoch, dass das Material zerstört wird, beispielsweise durch eine temperaturbedingte Erniedrigung einer Durchbruchfeldstärke oder durch chemische Veränderungen.

[0035] Die Figur 1 zeigt als Beispiel für eine Anwendung des erfindungsgemässen Herstellungsverfahrens einen Querschnitt durch eine koaxiale Elektrodengeometrie, beispielsweise ein Koaxialkabel. Diese weist eine innere Elektrode E1 mit einem inneren Radius r_1 und eine äussere Elektrode E2 mit einem äusseren Radius r_2 auf. Bei Anlegen einer Spannung U zwischen den Elektroden ergibt sich für ein homogenes Medium zwischen den Elektroden ein elektrisches Feld, dessen Betrag E nur von einem Radius r abhängig ist, und der für $r_1 < r < r_2$ bei vorgegebener Spannung U durch $E(r) = U/[r \cdot \ln(r_2/r_1)]$ gegeben ist. Der Verlauf von $E(r)$ ist in Figur 2 dargestellt. $E(r)$ ist maximal bei $r=r_1$, minimal bei $r=r_2$, und unabhängig von der Dielektrizitätskonstante des Mediums zwischen den Elektroden.

[0036] Der Raum zwischen den beiden Elektroden wird mit einem Gemisch zweier Flüssigkeiten K1 und K2 mit Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 und ϵ_2 , wobei $\epsilon_1 > \epsilon_2$ ist, gefüllt. Es wird eine elektrische Spannung zwischen den Elektroden angelegt, wonach nach dem oben Gesagten eine inhomogene Dichteverteilung eintritt und daraus eine ortsveränderliche Dielektrizitätskonstante $\epsilon(r)$ des Gemisches resultiert. Vorzugsweise ist die elektrische Spannung möglichst hoch, aber ohne dass ein Durchschlag zwischen den Elektroden auftritt.

[0037] Der radiusabhängige Verlauf von $\epsilon(r)$ ist vom Mischungsverhältnis p der Dielektrika abhängig. Für die trivialen Fälle $p=1$ oder $p=0$ besteht das Fluid zwischen den Elektroden nur aus der Komponente K1 respektive nur aus Komponente K2. Dann ist das Medium homogen und die Feldstärke $E(r_1)$ bei der inneren Elektrode maximal.

[0038] Zwischen den obigen Extrema von p existiert ein Minimum von $E(r_1)$ als Funktion von p . Aus der Abhängigkeit der effektiven Dielektrizitätskonstante ϵ einer Mischung vom Mischungsverhältnis p und den Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 und ϵ_2 der Komponenten wird dieses Minimum beispielsweise theoretisch bestimmt. Im allgemeinen wird sich eine mit r abnehmende Dielektrizitätskonstante einstellen.

[0039] Figuren 5, 6 und 7 zeigen einige Fälle des radiusabhängigen Verlaufes der Dielektrizitätskonstante $\epsilon(r)$. Beim Verlauf gemäss Figur 5 hat sich die Mischung in der Nähe der äusseren Elektrode E2 vollständig entmischt, so dass die Dielektrizitätskonstante dort konstant ϵ_2 beträgt. Beim Verlauf gemäss Figur 6 hat sich die Mischung in der Nähe der inneren Elektrode E1 vollständig entmischt, so dass die Dielektrizitätskonstante dort konstant ϵ_1 beträgt. Beim Verlauf gemäss Figur 7 hat sich die Mischung bei beiden Elektroden entmischt.

Vorzugsweise wird ein Verlauf gemäss Figur 3 erreicht, bei dem die Dielektrizitätskonstante $\epsilon(r)$ zwischen r_1 und r_2 proportional zu $1/r$ verläuft.

[0040] Figur 3 zeigt den theoretisch optimalen Fall, das heisst einen zu $1/r$ proportionalen Verlauf der Dielektrizitätskonstante $\epsilon(r)$. In diesem Fall ergibt sich ein ortsunabhängiges Feld, dessen Betrag konstant gleich $E=U/(r_2-r_1)$ ist. Damit ist die ursprüngliche Feldüberhöhung um einen Faktor r_1/r_2 vermindert worden. In der Realität wird dieser Verlauf, insbesondere wegen der Diffusion, nur annähernd erreicht.

[0041] Figur 4 zeigt den im optimalen Fall resultierenden konstanten Verlauf der Feldstärke E als ausgezogene Gerade. Im Vergleich mit dem von $1/r$ abhängigen Feldstärkeverlauf aus Figur 2 ist ein Maximum der Feldstärke wesentlich niedriger. Da das Integral von E über den Abstand r_2-r_1 immer die gleiche angelegte Spannung U ergeben muss, ist offensichtlich, dass eine minimale Feldüberhöhung durch eine konstante Feldstärke E erreicht wird. Realistischerweise ist eine solcher Verlauf nicht erreichbar, und wird die Feldstärke E von r_1 nach r_2 hin sinken.

[0042] In einer bevorzugten Variante des erfindungsgemässen Herstellungsverfahrens wird es auf die Isolation in Koaxialkabeln angewandt. Die Komponenten, beispielsweise Zweikomponenten-Polymere, werden dabei im flüssigen Zustand verarbeitet. In einer solchen feldsteuernden Kabelisolation wird, wie oben gezeigt, die übliche $1/r$ -Feldverteilung homogenisiert, wodurch dünnere Kabelisolationen möglich werden. Das gleiche gilt selbstverständlich auch für starre Koaxialleiter.

[0043] Figur 8 zeigt einen Querschnitt durch ein erfindungsgemässes Koaxialkabel. Es weist einen Innenleiter 1, einen Mantel 2 und ein Isolationselement 3 auf. Die inhomogene Verteilung von Komponenten des Isolationselements 3 mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten ist durch die Verteilung von schwarz und weiss ausgefüllten Kreisen angedeutet. Eine erhöhte Dichte von schwarz ausgefüllten Kreisen bezeichnet eine erhöhte Dichte oder Konzentration einer Komponente mit höherer Dielektrizitätskonstante, wie in ersten Gebieten 4. Eine erhöhte Dichte von weiss ausgefüllten Kreisen bezeichnet eine erhöhte Dichte oder Konzentration einer Komponente mit tieferer Dielektrizitätskonstante, wie in zweiten Gebieten 5. Die Konzentration der Komponente K1 mit höherer Dielektrizitätskonstante ϵ_1 ist in der Nähe des Innenleiters höher als an anderen Orten des Isolationselements 3, die Konzentration der Komponente K2 mit Dielektrizitätskonstante ϵ_2 , wobei $\epsilon_1 > \epsilon_2$ ist, ist in der Nähe des Mantels höher. Die Komponente K1 ist beispielsweise ein festes oder flexibles Polymer, die Komponente K2 ist beispielsweise ein Polymer oder besteht aus fein verteilten Teilchen.

[0044] In einer anderen bevorzugten Variante des erfindungsgemässen Herstellungsverfahrens werden ein oder mehrere Halbleiterbausteine eines Leistungshalbleitermoduls, beispielsweise von einem Thyristor, IGBT oder IGCT, mit einer Isoliermasse aus einem erfin-

dungsgemässen Materialgemisch umgossen. Da die Anforderungen an herkömmliche feldsteuernde Materialien wegen der kleinen Dimensionen und engen Toleranzen sehr hoch sind, können die gemäss der vorliegenden Erfindung erzeugten Materialien mit räumlich variierender Dielektrizitätskonstante in dieser Situation die Felder sehr effizient absteuern.

[0045] Figur 9 zeigt einen Querschnitt durch ein erfindungsgemässes Halbleiterbauelement. Es weist ein oder mehrere Halbleiter 6, ein oder mehrere Basiselemente 7 und ein oder mehrere Basisisolatoren 8 auf. Diese sind durch ein Isolationselement 3 umgeben. Die inhomogene Verteilung von Komponenten mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten ist in gleicher Weise wie oben angedeutet. Die Konzentration der Komponente K1 mit höherer Dielektrizitätskonstante ϵ_1 ist an Orten, an denen bei Verwendung eines linearen, dielektrisch homogenen Isolationselementes Feldüberhöhungen auftreten würden, also beispielsweise in der Nähe von Aussenkanten der Halbleiter 6, höher als an anderen Orten des Isolationselementes.

[0046] Prinzipiell sind erfindungsgemässe Bauteile und das erfindungsgemässe Verfahren für alle Isolationsanwendungen verwendbar. Weitere Beispiele sind Kabelzubehör, Durchführungen, Kondensatoren, Transformator- und Generator-Isolationen.

Bezugszeichenliste

[0047]

- E1 innere Elektrode
- E2 äussere Elektrode
- r1 innerer Radius
- r2 äusserer Radius
- 1 Innenleiter
- 2 Mantel
- 3 Isolationselement
- 4 Gebiet höherer Dielektrizitätskonstante
- 5 Gebiet niedrigerer Dielektrizitätskonstante
- 6 Halbleiter
- 7 Basiselement
- 8 Basisisolator
- 11 erstes Gebiet, Komponenten mischbar
- 12 zweites Gebiet, Komponenten nicht mischbar
- 13 drittes Gebiet, metastabiles Gemisch
- 14 Spinodale
- 15 Binodale
- 16 kritischer Punkt

Patentansprüche

1. Elektrisches Bauteil, welches mindestens zwei Leiter und mindestens ein Isolationselement (3) aufweist, wobei das mindestens eine Isolationselement (3) die Leiter gegeneinander isoliert und mindestens im Betriebszustand eine über das Volumen

- des Isolationselementes (3) inhomogen verlaufende Dielektrizitätskonstante aufweist, dadurch gekennzeichnet,
- dass sich das mindestens eine Isolationselement (3) aus mindestens zwei Komponenten zusammensetzt, wobei mindestens zwei dieser Komponenten unterschiedliche Dielektrizitätskonstanten aufweisen. 5
- 2.** Elektrisches Bauteil gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, 10
- dass eine Konzentration einer ersten Komponente mit einer Dielektrizitätskonstante ϵ_1 an durchschlagsgefährdeten Orten höher ist als an anderen Orten, und 15
- dass eine Konzentration einer zweiten Komponente mit einer Dielektrizitätskonstante ϵ_2 an durchschlagsgefährdeten Orten niedriger ist als an anderen Orten, 20
- wobei ϵ_1 grösser als ϵ_2 ist.
- 3.** Elektrisches Bauteil gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Komponenten mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten lineare Dielektrika sind. 25
- 4.** Elektrisches Bauteil gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Isolationselement (3) aus einem Festkörper gefertigt ist. 30
- 5.** Elektrisches Bauteil gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Isolationselement (3) aus einem fluiden Gemisch gefertigt ist. 35
- 6.** Elektrisches Bauteil gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Isolationselement (3) aus einem Gemisch aus mindestens zwei Komponenten gefertigt ist, wobei eine erste Komponente eine Flüssigkeit ist, und eine zweite Komponente in der ersten Komponente oder einer weiteren Komponente verteilte feste Teilchen oder Gase sind. 40
- 7.** Elektrisches Bauteil gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Isolationselement (3) aus einem Festkörper mit eindiffundierten Dipolmolekülen besteht. 45
- 8.** Elektrisches Bauteil gemäss einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil ein Koaxialleiter ist. 50
- 9.** Elektrisches Bauteil gemäss Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass 55
- eine Konzentration einer ersten Komponente mit einer Dielektrizitätskonstante ϵ_1 in der Nähe eines Innenleiters (1) des Koaxialleiters höher ist als in der
- Nähe eines Mantels (2) des Koaxialleiters, und dass eine Konzentration einer zweiten Komponente mit einer Dielektrizitätskonstante ϵ_2 in der Nähe des Innenleiters (1) niedriger ist als in der Nähe des Mantels (2), wobei ϵ_1 grösser als ϵ_2 ist.
- 10.** Elektrisches Bauteil gemäss einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil ein Halbleiterbauelement ist.
- 11.** Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Bauteils gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen die Leiter ein fluides Gemisch aus mindestens zwei Komponenten mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten eingebracht wird, dass das Isolationselement (3) einem elektrischen Feld ausgesetzt wird, bis sich eine ortsabhängige Dichteverteilung der Komponenten aufgrund des elektrischen Feldes eingestellt hat.
- 12.** Verfahren gemäss Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass sich ein Zustand des Gemisches mindestens annähernd auf einer Spinodalen (14) des Gemisches befindet, insbesondere mindestens annähernd in einem Extremum (16) der Spinodalen (14) des Gemisches.
- 13.** Verfahren gemäss Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das fluide Gemisch erstarrt, nachdem sich die ortsabhängige Dichteverteilung der Komponenten eingestellt hat.
- 14.** Verwendung eines Materialgemisches mit mindestens zwei, unterschiedliche Dielektrizitätskonstanten aufweisende Komponenten, wobei eine relative Dichteverteilung der Komponenten ortsabhängig ist, zur Steuerung von Überhöhungen eines elektrischen Feldes zwischen Leitern.

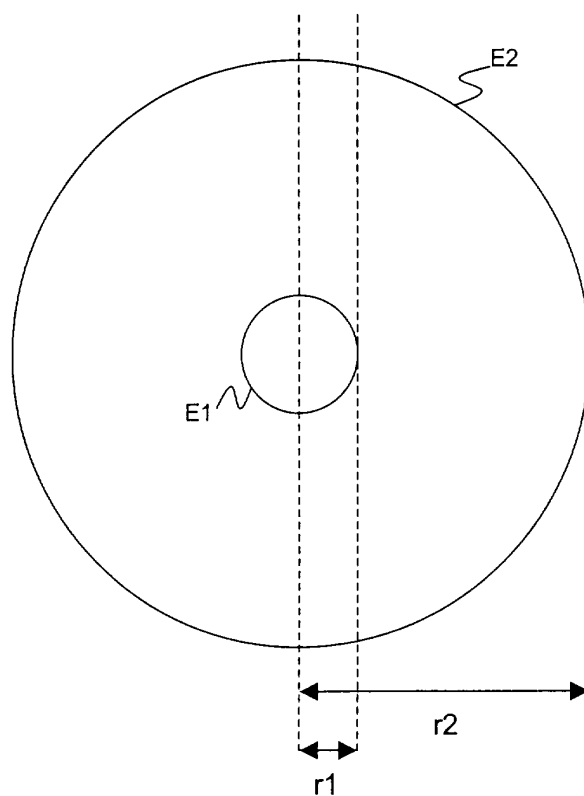


Fig. 1

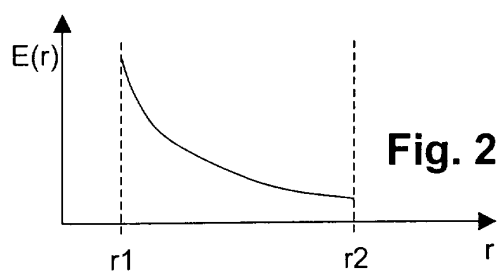


Fig. 2

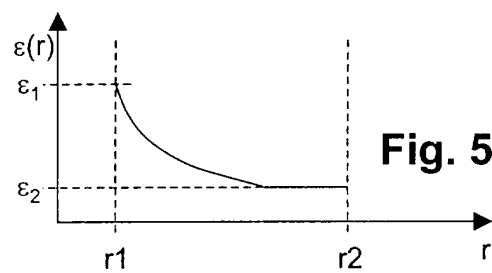


Fig. 5

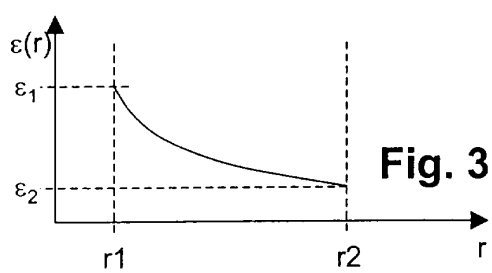


Fig. 3

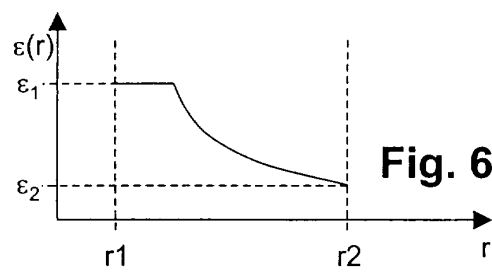


Fig. 6

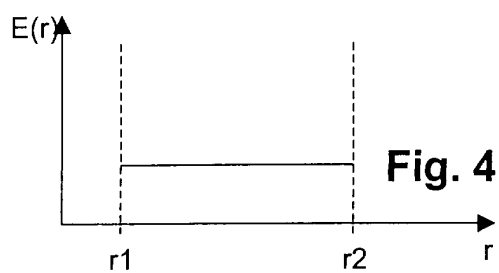


Fig. 4

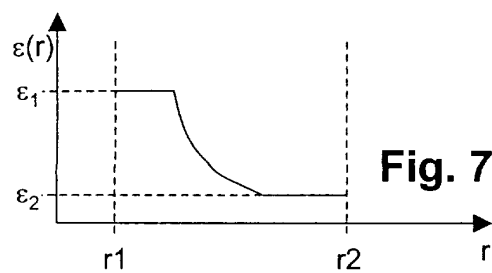


Fig. 7

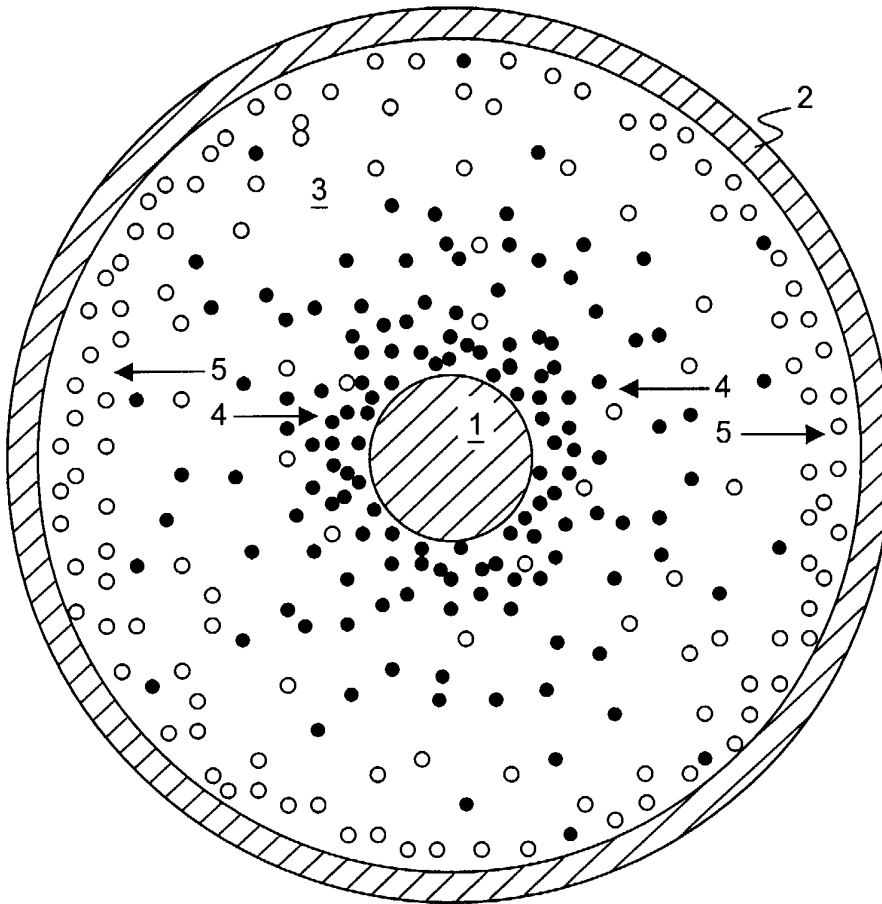


Fig. 8

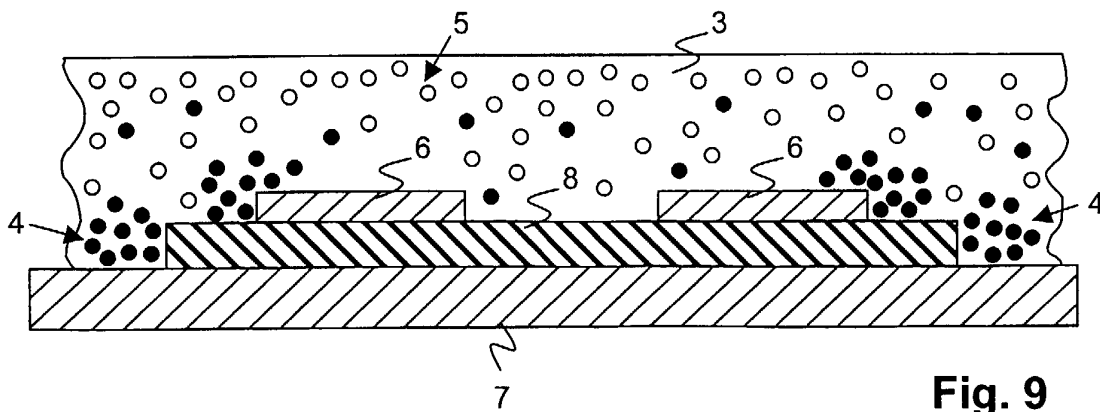


Fig. 9

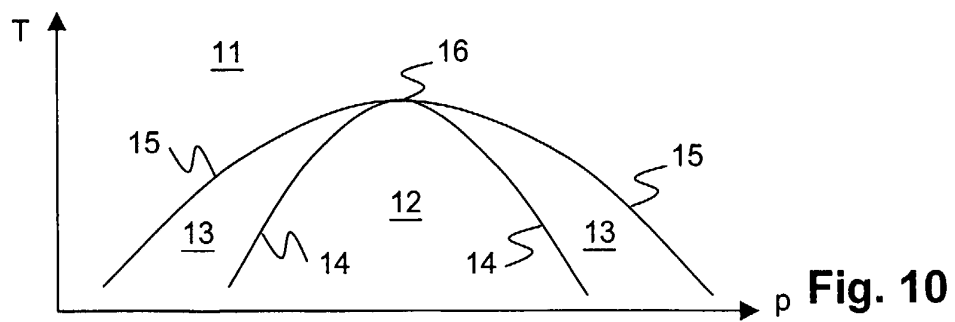


Fig. 10



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 99 81 0604

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	DE 40 07 335 A (ASEA BROWN BOVERI) 12. September 1991 (1991-09-12) * Ansprüche 1-6; Abbildung 2 *	1	H01B17/32 H01B19/00
A	FR 2 182 098 A (BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE) 7. Dezember 1973 (1973-12-07) * Seite 2, Zeile 8 - Seite 8, Zeile 15; Abbildungen 1-4 *	11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			H01B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 19. November 1999	
		Prüfer Demolder, J	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 81 0604

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

19-11-1999

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4007335	A	12-09-1991	KEINE	
FR 2182098	A	07-12-1973	CH 553065 A	30-08-1974
			DE 2321147 A	31-10-1973
			GB 1411012 A	22-10-1975
			JP 49048330 A	10-05-1974
			JP 56010191 B	06-03-1981
			US 3847265 A	12-11-1974

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82