

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
13. April 2006 (13.04.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/037743 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01L 39/16**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/054856

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. September 2005 (27.09.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 048 647.6 4. Oktober 2004 (04.10.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KRÄMER, Hans-Peter** [DE/DE]; Regnitzweg 4, 91058 Erlangen (DE).
SCHMIDT, Wolfgang [DE/DE]; Möhrendorfer Strasse 6, 91056 Erlangen (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

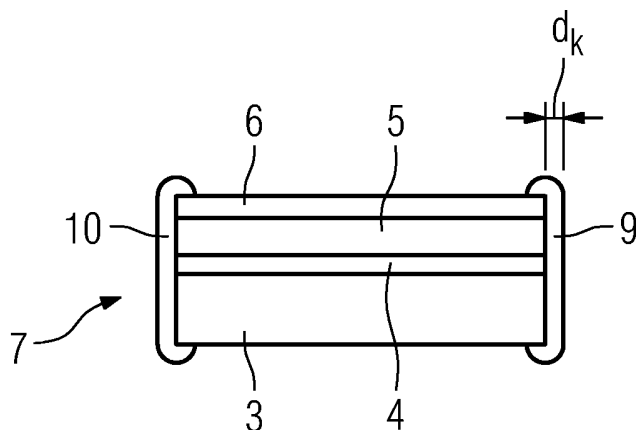
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: RESISTIVE CURRENT-LIMITING DEVICE PROVIDED WITH A STRIP-SHAPED HIGH-T_c-SUPER CONDUCTOR PATH

(54) Bezeichnung: RESISTIVE STROMBEGRENZEREINRICHTUNG MIT BANDFÖRMIGER HOCH-T_c-SUPRALEITERBAHN



(57) Abstract: The current-limiting device contains a conductive path (2), provided with a strip-shaped super conductor, whereby the structure thereof (7) comprises a metallic substrate strip (3), a super-conductive layer (5) made of a AB₂CU₃O_x type high-T_c-super conductive material, at least one insulating buffer layer (4) which is arranged therebetween, and a metallic cover layer (6) which is arranged thereon. According to the invention, at least one contacting element (9, 10) made of a normal conductive contacting material and arranged at least one longitudinal side of the structure (7) between the cover layer (6) and the substrate strip (3) enables a predetermined normal conductive defining limitation of the current-limiting device to be obtained.

(57) Zusammenfassung: Die Strombegrenzeereinrichtung enthält eine Leiterbahn (2) mit einem bandförmigen Supraleiter, dessen Aufbau (7) ein metallisches Substratband (3), eine supraleitende Schicht (5) aus dem Hoch-T_c-Supraleitermaterial vom Typ AB₂CU₃O_x, wenigstens eine dazwischen angeordnete isolierende Pufferschicht (4) sowie eine aufgetragene metallische Deckschicht (6) enthält. Mit wenigstens einem Kontaktierungselement (9, 10) aus einem normalleitenden Kontaktierungsmaterial zumindest an einer Längsseite des Aufbaus (7) zwischen der Deckschicht (6) und dem Substratband (3) soll ein vorbestimmter normalleitender Begrenzungszustand der Strombegrenzeereinrichtung erreicht werden.

WO 2006/037743 A1

Beschreibung

Resistive Strombegrenzereinrichtung mit bandförmiger Hoch- T_c -
Supraleiterbahn

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine resistive supraleitende
Strombegrenzereinrichtung, deren Leiterbahn mit einem band-
förmigen Supraleiter gebildet ist, dessen oxidisches Hoch- T_c -
Supraleitermaterial vom Typ $AB_2Cu_3O_x$ ist, wobei A zumindest
10 ein Seltenes Erdmetall einschließlich Yttrium und B mindes-
tens ein Erdalkalimetall sind. Eine entsprechende Strombe-
grenzereinrichtung geht aus der EP 0 523 374 A1 hervor.

Seit 1986 sind supraleitende Metalloxidverbindungen mit hohen
15 Sprungtemperaturen T_c von über 77 K bekannt, die deshalb auch
als Hoch- T_c -Supraleitermaterialien oder HTS-Materialien be-
zeichnet werden und insbesondere eine Flüssig-Stickstoff
(LN_2)-Kühltechnik erlauben. Unter solche Metalloxidverbindun-
gen fallen insbesondere Cuprate auf Basis spezieller Stoff-
20 systeme wie z.B. vom Typ $AB_2Cu_3O_x$, wobei A zumindest ein Sel-
tenes Erdmetall einschließlich Yttrium und B mindestens ein
Erdalkalimetall sind. Hauptvertreter dieses Stoffsystems vom
sogenannten 1-2-3-HTS-Typ ist das sogenannte YBCO ($Y_1Ba_2Cu_3O_x$
mit $6,5 \leq x \leq 7$).

25

Dieses bekannte HTS-Material versucht man, auf verschiedenen
Substraten für unterschiedliche Anwendungszwecke abzuschei-
den, wobei im Allgemeinen nach möglichst phasenreinem Supra-
leitermaterial getrachtet wird. So werden insbesondere metal-
30 lische Substrate für Leiteranwendungen vorgesehen (vgl. z.B.
EP 0 292 959 A1).

Bei einem entsprechenden Leiteraufbau wird das HTS-Material
im Allgemeinen nicht unmittelbar auf einem als Substrat die-
35 nenden Trägerband abgeschieden; sondern dieses Substratband
wird zunächst mit wenigstens einer dünnen Zwischenschicht,
die auch als Pufferschicht (bzw. „Buffer“-Schicht) bezeichnet

wird, abgedeckt. Diese Pufferschicht mit einer Dicke in der Größenordnung von 1 μm soll einerseits das Eindiffundieren von Metallatomen aus dem Substrat in das HTS-Material verhindern, welche die supraleitenden Eigenschaften verschlechtern könnten. Zum anderen soll die Pufferschicht eine texturierte Ausbildung des HTS-Materials ermöglichen. Entsprechende Pufferschichten bestehen im Allgemeinen aus Oxiden von Metallen wie Zirkon, Cer, Yttrium, Aluminium, Strontium oder Magnesium oder Mischkristallen mit mehreren dieser Metalle und sind somit elektrisch isolierend. In einer entsprechenden stromleitenden Leiterbahn ergibt sich dadurch eine Problematik, sobald das supraleitende Material in den normalleitenden Zustand übergeht (sogenanntes „Quenchen“). Dabei wird der Supraleiter zunächst streckenweise resistiv und nimmt so einen Widerstand R an, z.B. indem er sich über die Sprungtemperatur T_c seines Supraleitermaterial erwärmt (in sogenannten „Hot Spots“ oder Teilquenchenbereichen) und sich meist weiter erhitzt, so dass die Schicht durchbrennen kann.

Auf Grund dieser Problematik ist es bekannt, direkt auf der HTS-Leitungsschicht eine zusätzliche metallische Deckschicht aus einem elektrisch gut leitenden, mit dem HTS-Material verträglichen Material wie Au oder Ag als Shunt gegen ein Durchbrennen aufzubringen. Das HTS-Material steht also in einem elektrisch leitenden, flächenhaften Kontakt mit der metallischen Deckschicht (vgl. DE 44 34 819 C).

Bei der aus der eingangs genannten EP-A1-Schrift zu entnehmenden Strombegrenzereinrichtung wird ein anderer Typ eines bandförmigen Supraleiters verwendet. Hier ist die Leiterbahn aus einer supraleitenden Platte mit definierten Abmessungen gefertigt, indem seitliche Schlitzte so eingearbeitet werden, dass eine Mäanderform entsteht. Da bei diesem Aufbau keine normalleitende Deckschicht vorgesehen ist, ist dort nach wie vor die Gefahr eines Durchbrennens im Bereich von Hot Spots gegeben.

Wegen der auch mit Shunts vorhandenen Hot-Spots oder Teil-
quencherbereiche verteilt sich die Spannung ungleichmäßig längs
der Supraleiterschicht. In dem die supraleitende Schicht tra-
genden Substratband fällt hingegen die an den Enden angelegte
5 Spannung U gleichmäßig über die gesamte Länge ab bzw. es be-
findet sich auf einem undefinierten Zwischenpotential, falls
die Enden von der angelegten Spannung isoliert sind. Die Fol-
ge davon können unter Umständen Spannungsdifferenzen von der
Leiterbahn über die Pufferschicht zum Substrat sein. Dies
10 führt wegen der geringen Dicke dieser Schicht unvermeidlich
zu elektrischen Durchschlägen und so zu punktueller Zerstö-
rung der Pufferschicht und gegebenenfalls der Supraleitungs-
schicht. Für einen Durchschlag reichen typischerweise Span-
nungen in der Größenordnung von 20 bis 100 Volt für Puffer-
15 schichtdicken von 1 μm aus. Eine entsprechende Problematik
ergibt sich insbesondere dann, wenn mit entsprechenden Lei-
terbändern resistive Strombegrenzereinrichtungen erstellt
werden sollen. Bei einer solchen Einrichtung wird nämlich der
Übergang vom supraleitenden in den normaleitenden Zustand
20 zur Strombegrenzung im Kurzschlussfall ausgenutzt. Es ist
hier nicht ohne weiteres möglich, die Pufferschicht ausrei-
chend spannungsfest für die für solche Einrichtungen üblichen
Betriebsspannungen im kV-Bereich zu machen.

25

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, bei einer resisti-
ven supraleitenden Strombegrenzereinrichtung mit den eingangs
genannten Merkmalen sowohl die Gefahr eines Durchbrennens im
Bereich von Hot Spots zu verhindern als auch bei Verwendung
30 von Pufferschichten einen elektrischen Durchschlag bei einem
Quenchen im Strombegrenzungsfall auszuschließen.

Diese Aufgabe wird mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnah-
men gelöst. Demgemäß soll die Strombegrenzereinrichtung mit
35 den eingangs genannten Merkmalen einen Aufbau des bandförmigen
Supraleiters aufweisen, der zumindest ein Substratband
aus einem normaleitenden Substratmetall, eine supraleitende

Schicht aus dem Hoch- T_c -Supraleitermaterial, wenigstens eine dazwischen angeordnete Pufferschicht aus einem isolierenden oxidischen Puffermaterial sowie eine auf der supraleitenden Schicht aufgebrauchte Deckschicht aus einem normalleitenden Deckmetall enthält. Außerdem soll der Leiteraufbau mit wenigstens einem Kontaktierungselement aus einem normalleitenden Kontaktmetall zumindest an einer Längsseite des Aufbaus zwischen der Deckschicht und dem Substratband versehen sein, wobei für den normalleitenden Begrenzungszustand der Strombegrenze-
10 einrichtung die Beziehung gelten soll:

$$R_K > 3 \cdot R_L$$

mit R_L als dem elektrischen Widerstand des Leiteraufbaus ohne Kontaktierungselement über die Gesamtlänge der Leiterbahn und mit R_K als dem Widerstand des wenigstens einem Kontaktierungselementes über die Gesamtlänge der Leiterbahn.
15

Dabei ist als Gesamtlänge die für den Schaltvorgang zwischen Supraleitung und Normalleitung der Strombegrenze-
einrichtung zur Verfügung stehende Länge des bandförmigen Supraleiters zu verstehen. Der Widerstand R_L setzt sich dabei aus einer Parallelschaltung des Widerstandes des Substratbandes, der Deckschicht sowie des maximal möglichen normalleitenden Widerstandes der supraleitenden Schicht zusammen. Werden mehrere Kontaktierungselemente vorgesehen, so bilden diese ebenfalls eine Parallelschaltung mit einem Gesamtwiderstand vom Wert R_K . Dieser Wert lässt sich in bekannter Weise durch die Materialwahl für das wenigstens eine Kontaktierungselement bzw. des elektrischen spezifischen Widerstandes ρ seines Materials sowie durch die Dicke bzw. den zur Verfügung gestellten leitenden Querschnitts einstellen.
20
25
30

Die mit dieser Ausbildung der Strombegrenze-
einrichtung verbundenen Vorteile sind insbesondere darin zu sehen, dass das metallische Substratband und die normalleitende Deckschicht und damit auch die mit ihr galvanisch verbundene supraleitende Schicht in Stromführungsrichtung gesehen zumindest in den Teilbereichen entlang der Länge des Aufbaus im gegenseitigen
35

elektrischen Kontakt gebracht sind und somit auf einem einzigen elektrischen Potential auch im Falle eines Quenches liegen. Auf diese Weise wird ein Durchschlag über die Pufferschicht unterbunden.

5

Bei der vorgeschlagenen Strombegrenzereinrichtung können insbesondere noch folgende Maßnahmen im Einzelnen oder auch in Kombination zusätzlich vorgesehen werden:

- 10 - So kann für das Kontaktierungselement zumindest an einer Längsseite zwischen der Deckschicht und dem Substratband die Beziehung gelten: $\rho_K/d_K > 3 \cdot (d_s/\rho_s + d_6/\rho_6)^{-1}$ mit ρ_K , ρ_6 und ρ_s dem spezifischen Widerstand des Materials des Kontaktierungselementes bzw. der Deckschicht bzw. des
- 15 Substratbandes und d_K , d_6 und d_s der Dicke des Materials des Kontaktierungselementes bzw. der Deckschicht bzw. des Substratbandes. Dabei wird von der Vorstellung ausgegangen, dass das Substratband den wesentlichen Beitrag zu dem Widerstand R_L des Leiteraufbaus (ohne Kontaktierungselement) leistet. Dieser Widerstand muss im Allgemeinen
- 20 hinreichend sein, um eine wirksame Strombegrenzung zu ermöglichen.
- Im Allgemeinen liegt die durchschnittliche Dicke des wenigstens einen Kontaktierungselementes unter $1 \mu\text{m}$, vorzugsweise unter $0,5 \mu\text{m}$. Vorteilhaft reichen nämlich für eine hinreichende galvanische Verbindung entsprechend
- 25 dünne Schichten aus, da mit ihnen nur eine galvanische Verbindung, jedoch keine Führung größerer Ströme erfolgt.
- Als Material für das wenigstens eine Kontaktierungselement kann insbesondere Au oder Ag oder eine Legierung mit dem jeweiligen Element oder wenigstens einem weiteren Legierungspartner vorgesehen sein.
- 30 Entsprechende Kontaktierungselemente können beispielsweise durch Lötverfahren an den Längsseiten des Leiteraufbaus angebracht oder mittels des Lotmaterials erzeugt
- 35 sein. Da nur an den Seiten gelötet zu werden braucht, ist

die Gefahr einer Schädigung des HTS-Materials entsprechend gering.

- Besonders vorteilhaft kann das Kontaktierungselement als ein den Leiteraufbau allseitig umschließendes Umhüllungselement ausgebildet sein.
- Ein solches Umhüllungselement kann als ein Geflecht oder eine Umwicklung oder eine Umspinnung oder ein Vlies ausgeführt sein.
- Stattdessen kann es auch als eine galvanische Beschichtung ausgebildet sein. Solche Beschichtungen sind, da nur eine geringe Dicke erforderlich ist, auf besonders einfache und für das HTS-Material schonende Weise zu erstellen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Strombegrenzereinrichtung nach der Erfindung gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen Unteransprüchen hervor.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird nachfolgend auf die Zeichnung Bezug genommen, an Hand derer bevorzugte Ausführungsbeispiele von Strombegrenzereinrichtungen erläutert sind. Dabei zeigen jeweils in stark schematisierter Form deren Figur 1 den Aufbau eines YBCO-Bandleiters der Strombegrenzereinrichtung in Schrägaufsicht, deren Figur 2 diesen Bandleiter mit einer ersten Ausführungsform von Kontaktierungselementen in Querschnittsansicht sowie deren Figur 3 diesen Bandleiter mit einer anderen Ausführungsform eines Kontaktierungselementes in Querschnittsansicht.

Dabei sind in den Figuren sich entsprechende Teile jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

Bei dem in Figur 1 angedeuteten, allgemein mit 2 bezeichneten Bandleiter wird von an sich bekannten Ausführungsformen von

sogenannten YBCO-Bandleitern oder „YBCO Coated Conductors“ ausgegangen. In der Figur sind bezeichnet mit

3 ein Substratband aus einem normalleitenden Substratmetall der Dicke d_3 oder d_s ,

5 4 wenigstens eine darauf aufgebrachte Pufferschicht aus einem isolierenden, oxidischen Puffermaterial der Dicke d_4 ,

5 eine HTS-Schicht aus YBCO der Dicke d_5 ,

6 eine Deckschicht aus einem normalleitenden Deckmetall der Dicke d_6 als eine Schutz- und/oder Kontaktschicht, die auch

10 aus mehreren Lagen bestehen kann, welche miteinander in innigem Kontakt stehen,

sowie

7 der Leiteraufbau aus diesen vier Teilen.

Selbstverständlich kann der Leiteraufbau auch noch weitere,

15 an sich bekannte Schichten umfassen.

Dabei kann man die Teile des vorerwähnten Leiteraufbaus wie folgt ausbilden:

20 - Ein metallisches Substratband 3 aus Ni, Ni-Legierungen oder Edelstahl mit einer Dicke d_3 von etwa 20 bis 250 μm ,

- wenigstens eine Pufferschicht oder ein Pufferschichtensystem aus einer oder mehreren Lagen von Oxiden wie CeO_2 oder YSZ mit einer Dicke d_4 von etwa 0,1 bis 1,5 μm ,

25 - wenigstens eine HTS-Schicht 5 aus YBCO mit einer Dicke d_5 zwischen etwa 0,3 und 3 μm ,

und

30 - wenigstens eine metallische Deckschicht 6 aus Ag, Au oder Cu mit einer Dicke d_6 zwischen etwa 0,1 μm und 1 mm. Gegebenenfalls kann die Deckschicht auch aus mehreren metallischen Lagen, insbesondere unter Stabilisierungs- und/oder Armierungsgesichtspunkten zusammengesetzt sein.

35 Ein entsprechender Bandleiter ist einige Millimeter bis wenige Zentimeter breit. Seine supraleitende Stromfähigkeit wird von der YBCO-Schicht 5, d.h. von deren kritischer Stromdichte

bestimmt, während die thermischen, mechanischen und normalleitenden Eigenschaften wegen der größeren Dicke $d_3=d_s$ von dem Substratband 3 und der Deckschicht 6 dominiert werden. Dabei bildet das Substratband zusammen mit der Pufferschicht

5 eine Unterlage für ein quasi einkristallines Wachstum des YBCO. Substratbandmaterial und Pufferschichtmaterial dürfen im thermischen Ausdehnungskoeffizienten und in ihren kristallographischen Gitterkonstanten nicht zu weit vom YBCO abweichen. Je besser die Anpassung desto höher ist die rissfreie

10 Schichtdicke und desto besser die Kristallinität des YBCO. Darüber hinaus ist für hohe kritische Stromdichten im MA/cm²-Bereich eine möglichst parallele Ausrichtung der Kristallachsen in benachbarten Kristalliten gewünscht. Dies erfordert eine eben solche Ausrichtung zumindest in der obersten Pufferschicht, damit das YBCO heteroepitaktisch aufwachsen kann. Die Präparation solcher quasi einkristalliner flexibler Substrat-Puffersysteme gelingt bevorzugt mit drei Verfahren:

- Sogenanntes „Ion Beam Assisted Deposition (IBAD)“ von meist YSZ oder MgO auf untexturierten Metallbändern,

20 - sogenannte „Inclined Substrate Deposition (ISD)“ von YSZ oder MgO auf untexturierten Metallbändern,

- sogenannte „Rolling Assisted Biaxially Textured Substrates (RABiTS)“, d.h. durch Walz- und Glühbehandlung in Würfellage gebrachte Substrate mit heteroepitaktischem

25 Puffersystem.

Die auf dem Substratband abzuscheidenden Funktionsschichten 4 bis 6 werden in an sich bekannter Weise mit Vakuumbeschichtungsverfahren (PVD), chemischer Abscheidung aus der Gasphase

30 (CVD) oder aus chemischen Lösungen (CSD) hergestellt.

Selbstverständlich können zwischen den einzelnen Schichten des Aufbaus 7 noch vergleichsweise dünnere, sich bei der Herstellung des Aufbaus bzw. der Abscheidung der einzelnen

35 Schichten insbesondere durch Diffusions- und/oder Reaktionsvorgänge ausbildende Zwischenschichten vorhanden sein.

Im Vergleich zu den für YBCO-Dünnschicht-Strombegrenzer bekannten keramischen Plattenleitern ist bei Bandleitern des vorstehend geschilderten Typs das Substratband 3 elektrisch leitfähig, d.h. es kann den begrenzten Strom tragen und als Shunt wirken. Mit dem in der Figur gezeigten Leiteraufbau 7 wären jedoch die HTS-Schicht 5 und das Substratband 3 voneinander isoliert. Sobald die Strombegrenzungseinrichtung in ihren begrenzenden Zustand übergeht, d.h. normalleitend wird und sich eine Spannung längs der Leiterbahn aufbaut, wird die Durchschlagfeldstärke der bekannten Pufferschichtmaterialien, die in der Größenordnung von $100 \text{ kV/mm} = 10 \text{ V}/0,1 \text{ }\mu\text{m}$ liegen, schnell überschritten. D.h., die Pufferschicht 4 würde dann unkontrolliert durchschlagen. Daher ist erfindungsgemäß ein guter elektrischer Kontakt zwischen der Supraleitungsschicht 5 und dem metallischen Substratband 3 bevorzugt auf der ganzen Leiterlänge für den Einsatz von Bandleitern in Strombegrenzern vorteilhaft.

Eine entsprechende durchgängige Kontaktierung über die ganze Länge lässt sich aus der Ausführungsform nach Figur 2 erkennen. Dort ist der in Figur 1 gezeigte Leiteraufbau 7 an wenigstens einer Längsseite mit einem Kontaktierungselement 9 und/oder 10 versehen. Dieses Kontaktierungselement besteht aus einem elektrisch gut leitenden Material wie aus Au, Ag oder Cu oder einer Legierung mit dem jeweiligen Element. Es hat die Aufgabe, eine galvanische Verbindung zwischen der supraleitenden Schicht 5 und der elektrisch mit ihr verbundenen normalleitenden Deckschicht 6 einerseits und dem unteren normalleitenden Substratband 3 andererseits an der jeweiligen Längsseite bzw. -kante zu gewährleisten. Auf diese Weise liegen diese Teile bei jedem Betriebszustand der Strombegrenzungseinrichtung wegen der gegenseitigen galvanischen Verbindung auf demselben elektrischen Potential.

Vorteilhaft wird der Materialquerschnitt der Kontaktierungselemente so bemessen, dass sie praktisch nicht als elektrischer Shunt für den begrenzten Strom wirken. Dies ist durch

die Materialwahl und/oder die mittlere Dicke der Kontaktierungselemente zu gewährleisten. Für die Bemessungsregel gilt: $R_K > 3 \cdot R_L$, vorzugsweise $R_K > 10 \cdot R_L$.

5 Dabei ist R_L der elektrische Widerstand des gesamten Leiteraufbaus 7 ohne Kontaktierungselement 9, 10, gemessen über die gesamte Länge der Leiterbahn. Der Widerstand R_L setzt sich dabei aus einer Parallelschaltung des Widerstandes des Substratbandes 3, der Deckschicht 6 sowie des maximal möglichen Widerstandes der supraleitenden Schicht 5 im Falle deren
10 Normalleitung zusammen. R_K ist Widerstand aller parallel geschalteten Kontaktierungselemente 9, 10 über die diese Gesamtlänge.

Der Wert R_K lässt sich in bekannter Weise durch die Materialwahl für das wenigstens eine Kontaktierungselement bzw. des
15 elektrischen spezifischen Widerstandes ρ_K seines Materials sowie durch die Dicke d_K bzw. den zur Verfügung gestellten elektrisch leitenden Querschnitts einstellen. Allgemein sollte dabei gelten:

20 $\rho_K/d_K > 3 \cdot (d_s/\rho_s + d_6/\rho_6)^{-1}$.

Dabei sind ρ_K , ρ_6 und ρ_s der spezifische Widerstand des Materials des Kontaktierungselementes 9 und 10 bzw. der Deckschicht 6 bzw. des Substratbandes 3 und d_K , d_6 und d_s die gesamte mittlere Dicke des Materials aller Kontaktierungselemente bzw. der Deckschicht 6 bzw. des Substratbandes. Vor-
25 teilhaft werden noch höhere Werte für ρ_K/d_K gewählt, so dass diese Größe mindestens fünfmal, vorzugsweise mindestens zehnmal so groß wie ρ_s/d_s und ρ_6/d_6 ist.

30 Unter Berücksichtigung der vorerwähnten Beziehungen liegt dann die Dicke d_K im Allgemeinen unter $1 \mu\text{m}$, vorzugsweise unter $0,5 \mu\text{m}$.

Bevorzugt sind entsprechende Kontaktierungselemente 9 und 10
35 mittels Lötverfahren an den Seiten des Leiteraufbaus 7 anzubringen. Dabei kann selbstverständlich das jeweilige Kontaktierungselement 9 oder 10 auch ein Stück weit die obere

Flachseite der Deckschicht 6 und/oder die untere Flachseite des Substratbandes 3 mit abdecken, wie in Figur 2 angedeutet ist.

- 5 Gemäß Figur 3 ist es auch möglich und besonders vorteilhaft, wenn die Kontaktierungselemente als den Leiteraufbau 7 allseitig umschließendes Umhüllungselement 11 ausgebildet sind. Ein entsprechendes Umhüllungselement kann beispielsweise aus einem normalleitenden Drahtgeflecht oder einer Drahtumwicklung
10 lung oder aus einer Drahtumspinnung oder als ein Drahtvlies erstellt sein. Statt Drähten können selbstverständlich für diesen Zweck auch Bänder vorgesehen werden. Besonders vorteilhaft lässt sich ein umhüllendes Kontaktierungselement 11 auch mittels eines galvanischen Beschichtungsvorgangs erstellen.
15 Entsprechende Schichten mit der geringen Dicke d_k in der vorerwähnten Größenordnung sind auf einfache Weise und insbesondere ohne Beeinträchtigung der supraleitenden Eigenschaften der supraleitenden Schicht 5 auszubilden.
- 20 Bei den vorstehenden Ausführungsbeispielen wurde YBCO als HTS-Material für die supraleitende Schicht 5 zugrunde gelegt. Selbstverständlich sind auch andere HTS-Materialien vom sogenannten 1-2-3-Typ mit anderen Seltenen Erdmetallen und/oder anderen Erdalkalimetallen einsetzbar. Die einzelnen Komponenten dieser Materialien können auch in an sich bekannter Weise
25 teilweise durch weitere/andere Komponenten substituiert sein.

Patentansprüche

1. Resistive supraleitende Strombegrenzereinrichtung, deren Leiterbahn (2) mit einem bandförmigen Supraleiter gebildet ist, dessen oxidisches Hoch- T_c -Supraleitermaterial vom Typ $AB_2Cu_3O_x$ ist, wobei A mindestens ein Seltenes Erdmetall einschließlich Yttrium und B mindestens ein Erdalkalimetall sind, dadurch gekennzeichnet, dass der Aufbau (7) des bandförmigen Supraleiters zumindest

- 10 - ein Substratband (3) aus einem normalleitenden Substratmetall,
- eine supraleitende Schicht (5) aus dem Hoch- T_c -Supraleitermaterial,
- wenigstens eine dazwischen angeordnete Pufferschicht (4)
- 15 aus einem isolierenden oxidischen Puffermaterial

sowie

- eine auf der supraleitenden Schicht (5) aufgebrachte Deckschicht (6) aus einem normalleitenden Deckmetall enthält und mit wenigstens einem Kontaktierungselement (9, 10, 11) aus einem normalleitenden Kontaktierungsmaterial zumindest an einer Längsseite des Aufbaus (7) zwischen der Deckschicht (6) und dem Substratband (3) versehen ist, wobei für den normalleitenden Begrenzungszustand der Strombegrenzereinrichtung die Beziehung gilt:

$$25 \quad R_K > 3 \cdot R_L$$

mit R_L als dem elektrischen Widerstand des Aufbaus (7) ohne Kontaktierungselement über die Gesamtlänge der Leiterbahn (2) und mit R_K als dem Widerstand des wenigstens einem Kontaktierungselementes (9, 10, 11) über die Gesamtlänge.

30

2. Strombegrenzereinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für das wenigstens eine Kontaktierungselement (9, 10) zumindest an einer Längsseite zwischen der Deckschicht (6) und dem Substratband (3) die Beziehung gilt:

$$35 \quad \rho_K/d_K > 3 \cdot (d_s/\rho_s + d_6/\rho_6)^{-1}$$

mit ρ_K , ρ_6 und ρ_s dem spezifischen Widerstand des Materials des wenigstens einen Kontaktierungselementes bzw. der Deck-

schicht bzw. des Substratbandes und d_K , d_6 und d_s der Dicke des Materials des wenigstens einen Kontaktierungselementes bzw. der Deckschicht bzw. des Substratbandes.

5 3. Strombegrenzereinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Beziehung gilt:

$$R_K > 10 \cdot R_L .$$

10 4. Strombegrenzereinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Beziehung gilt:

$$\rho_K/d_K > 10 \cdot (d_s/\rho_s + d_6/\rho_6)^{-1} .$$

15 5. Strombegrenzereinrichtung nach einem vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die durchschnittliche Dicke (d_K) des wenigstens einen Kontaktierungselementes (9, 10, 11) unter $1 \mu\text{m}$, vorzugsweise unter $0,5 \mu\text{m}$ liegt.

20 6. Strombegrenzereinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Material des wenigstens einen Kontaktierungselementes (9 bis 11) Au oder Ag oder Cu oder eine Legierung mit dem jeweiligen Element vorgesehen ist.

25 7. Strombegrenzereinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch wenigstens ein mittels Lötverfahrens angebrachtes oder erzeugtes Kontaktierungselement (9, 10, 11).

30 8. Strombegrenzereinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Kontaktierungselement als ein den Leiteraufbau (7) allseitig umschließendes Umhüllungselement (11) ausgebildet ist.

35 9. Strombegrenzereinrichtung nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch ein Geflecht oder eine Umwicklung oder eine Umspinnung oder ein Vlies als Umhüllungselement (11).

10. Strombegrenzereinrichtung nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch eine galvanische Beschichtung als Umhüllungselement (11).
- 5 11. Strombegrenzereinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Deckschicht (6) aus mehreren metallischen Lagen zusammengesetzt ist.

FIG 1

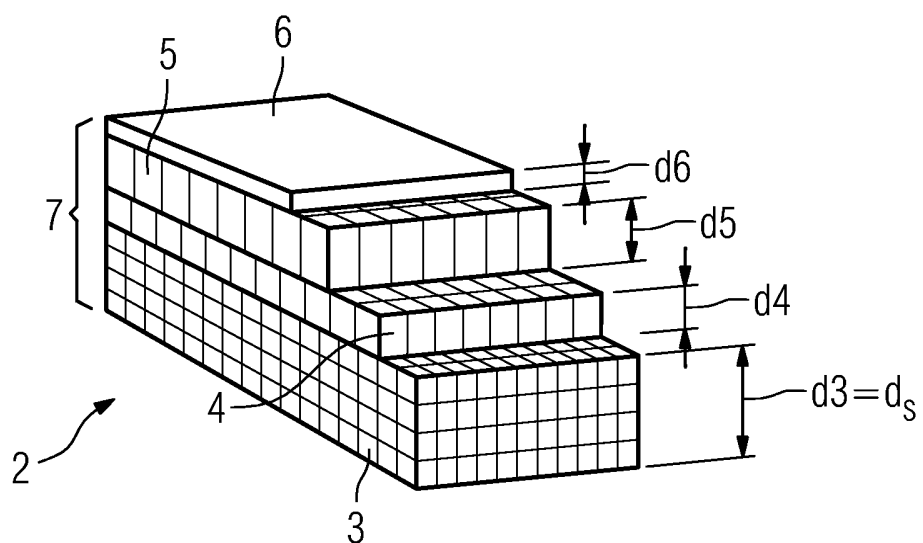


FIG 2

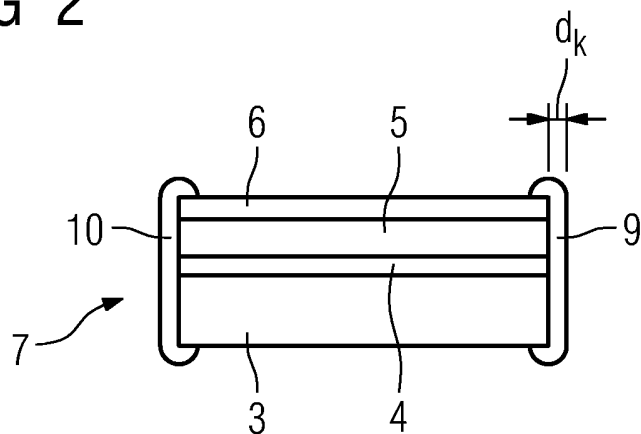
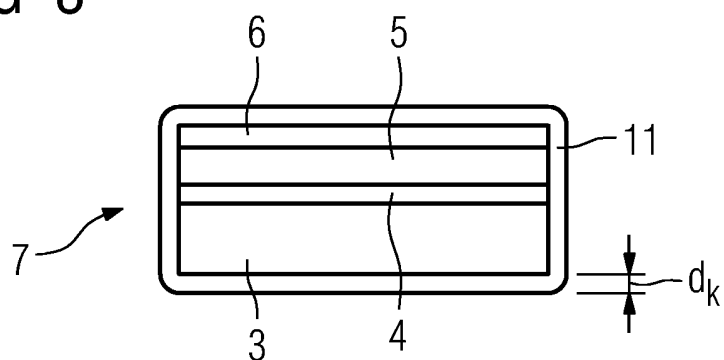


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/054856

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L39/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L H02H

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 99/33122 A (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; RIES, GUENTER) 1 July 1999 (1999-07-01) page 3, line 30 - page 4, line 6 page 6, line 7 - page 7, line 18 page 7, line 34 - page 8, line 6 page 8, lines 13-27 figure 1	1
A	DE 102 26 391 A1 (SIEMENS AG) 8 January 2004 (2004-01-08) paragraphs '0005! - '0007! paragraph '0023! figure 1	1
	----- -/-- -----	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 November 2005

Date of mailing of the international search report

05/12/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Steiner, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/054856

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>DE 44 34 819 C1 (ABB RESEARCH LTD., ZUERICH, CH; ABB RESEARCH LTD., ZUERICH) 4 January 1996 (1996-01-04) cited in the application page 1, line 61 - page 2, line 23 page 2, lines 50-53,59,60 figures 2,5,7</p> <p align="center">-----</p>	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/054856

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
WO 9933122	A	01-07-1999	CA 2315081 A1	01-07-1999
			DK 1042820 T3	14-07-2003
			EP 1042820 A1	11-10-2000
			JP 2001527298 T	25-12-2001
			NO 20003156 A	16-06-2000
			US 6522236 B1	18-02-2003
			DE 10226391	A1
DE 4434819	C1	04-01-1996	AT 163802 T	15-03-1998
			AU 681543 B2	28-08-1997
			AU 3469095 A	19-04-1996
			BR 9506401 A	09-09-1997
			CA 2177169 A1	04-04-1996
			WO 9610269 A1	04-04-1996
			CN 1138389 A	18-12-1996
			EP 0731986 A1	18-09-1996
			JP 9510581 T	21-10-1997
			NO 962152 A	28-05-1996
			PL 314580 A1	16-09-1996
			RU 2126568 C1	20-02-1999
			US 5828291 A	27-10-1998

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/054856

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
H01L39/16

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L H02H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^o	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 99/33122 A (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; RIES, GUENTER) 1. Juli 1999 (1999-07-01) Seite 3, Zeile 30 - Seite 4, Zeile 6 Seite 6, Zeile 7 - Seite 7, Zeile 18 Seite 7, Zeile 34 - Seite 8, Zeile 6 Seite 8, Zeilen 13-27 Abbildung 1	1
A	DE 102 26 391 A1 (SIEMENS AG) 8. Januar 2004 (2004-01-08) Absätze '0005! - '0007! Absatz '0023! Abbildung 1	1

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

^o Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. November 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

05/12/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Steiner, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/054856

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 44 34 819 C1 (ABB RESEARCH LTD., ZUERICH, CH; ABB RESEARCH LTD., ZUERICH) 4. Januar 1996 (1996-01-04) in der Anmeldung erwähnt Seite 1, Zeile 61 - Seite 2, Zeile 23 Seite 2, Zeilen 50-53,59,60 Abbildungen 2,5,7 -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/054856

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9933122	A	01-07-1999	CA	2315081 A1	01-07-1999
			DK	1042820 T3	14-07-2003
			EP	1042820 A1	11-10-2000
			JP	2001527298 T	25-12-2001
			NO	20003156 A	16-06-2000
			US	6522236 B1	18-02-2003
			-----	-----	-----
DE 10226391	A1	08-01-2004	KEINE		
DE 4434819	C1	04-01-1996	AT	163802 T	15-03-1998
			AU	681543 B2	28-08-1997
			AU	3469095 A	19-04-1996
			BR	9506401 A	09-09-1997
			CA	2177169 A1	04-04-1996
			WO	9610269 A1	04-04-1996
			CN	1138389 A	18-12-1996
			EP	0731986 A1	18-09-1996
			JP	9510581 T	21-10-1997
			NO	962152 A	28-05-1996
			PL	314580 A1	16-09-1996
			RU	2126568 C1	20-02-1999
			US	5828291 A	27-10-1998
-----	-----	-----	-----	-----	