



JKW

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application No. : 11/633,617
Applicant : Jurgen Kellers, et al.
Confirmation No. : 1622
Filed : December 5, 2006
TC/A.U. : 2115
Examiner : Unknown
Customer No. : 27896
Docket No. : 1633.0168C
Title : Power Supply Line for Cryogenic Electrical Systems

TRANSMITTAL LETTER

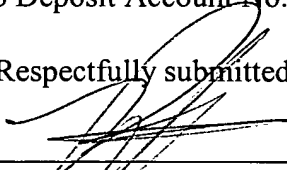
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Transmitted herewith is a Certified Copy of the Priority Document (DE Patent Application No. 102005058029.7 filed December 5, 2005).

The Commissioner is hereby authorized to charge payment of any additional fees required for the above-identified application or credit any overpayment to Deposit Account No. 05-0460.

Respectfully submitted,



Patrick J. Finn
Registration No. 39,189

EDELL, SHAPIRO & FINNAN, LLC.
1901 Research Boulevard, Suite 400
Rockville, Maryland 20850-3164
(301) 424-3640

Hand-delivered: 3/5/07



**Prioritätsbescheinigung
DE 10 2005 058 029.7
über die Einreichung einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 10 2005 058 029.7

Anmeldetag: 05. Dezember 2005

Anmelder/Inhaber: Trithor GmbH, 53359 Rheinbach/DE

Bezeichnung: Stromzuleitung für kryogene elektrische Systeme

IPC: H 01 B 12/06, H 01 B 12/10, H 01 R 4/68

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der Teile am 05. Dezember 2005 eingereichten Unterlagen dieser Patentanmeldung unabhängig von gegebenenfalls durch das Kopierverfahren bedingten Farbabweichungen.

München, den 5. Dezember 2006
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Schäfer

5

Stromzuleitung für kryogene elektrische Systeme

Die Erfindung betrifft eine Stromzuleitung zur Verbindung eines supraleitenden Verbrauchersystems mit einem Strom-
10 einspeisepunkt, der sich auf einer höheren Temperatur als das Verbrauchersystem befindet und einen Träger und mehrere bandförmige, mechanisch und elektrisch parallele Hochtemperatursupraleiter (HTSL) umfasst.

15 Supraleitende Verbrauchersysteme können z.B. Kernspintomografen mit supraleitenden Magnetspulen sein. Bei der Versorgung solcher Verbrauchersysteme mit elektrischer Energie muss die Stromzuleitung möglichst verlustfrei elektrischen Strom leiten und gleichzeitig ein guter Wärmeisolator sein.

20

Aus der US 6 034 324 ist eine supraleitende Stromzuleitung der eingangs genannten Gattung bekannt, bei der die bandförmigen Hochtemperatursupraleiter zu einem Stapel zusammengesetzt und diese Stapel auf der Mantelfläche eines etwa
25 zylindrischen Trägers parallel zur Achse des Trägers angebracht sind. Diese Stromzuleitung hat den Nachteil, dass die kritische Stromdichte eines einzelnen bandförmigen Supraleiters in dem Verbund nicht erreicht wird, da die Magnetfelder der stromdurchflossenen Supraleiter, insbesondere
30 aufgrund der dichten Packung, additiv superponieren. Zudem ist die Herstellung der Stapel aufgrund der notwendigen Löt- oder Sinterschritte kostenintensiv.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Stromzulei-
35 tung zur Verbindung eines supraleitenden Verbrauchersystems mit einem Stromeinspeisepunkt zu schaffen, die eine hohe

kritische Stromdichte mit einer guten thermischen Isolation zwischen dem Verbrauchersystem und den Einspeisepunkt verbindet und kostengünstig herstellbar ist.

- 5 Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass bei einer Stromzuleitung der eingangs genannten Gattung der Träger aus mindestens einer langgestreckten Platte aus einem schlecht wärmeleitenden Werkstoff und mit einem Verhältnis von Breite zu Dicke von mindestens 3:1 besteht, auf der die bandförmigen HTSL parallel nebeneinander angeordnet sind und
10 dass jeder bandförmige HTSL einen normalleitenden Strompfad umfasst.

Weil der Träger aus einer langgestreckten, vorzugsweise im
15 wesentlichen planen Platte aus einem schlecht wärmeleitenden Werkstoff ist, ist eine gute thermische Isolation gewährleistet. Weil die bandförmigen HTSL auf der Platte in Längsrichtung parallel nebeneinander angeordnet sind, wird eine hohe kritische Stromdichte erreicht, da die Magnetfelder weiter entfernter HTSL nicht ins Gewicht fallen,
20 weil die Magnetfeldstärke mit $1/r^2$ abnimmt. Durch den zusätzlichen, normalleitenden Strompfad wird die Ausfallsicherheit der Stromzuleitung erhöht.

- 25 Zur Inbetriebnahme des Verbrauchersystems wird es zunächst abgekühlt. Dabei wird auch zumindest das dem Verbrauchersystem zugewandte Ende der Stromzuleitung auf etwa die Temperatur des Verbrauchersystems heruntergekühlt. Hat der Werkstoff des Trägers etwa den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie die bandförmigen HTSL, so werden Scherspannungen zwischen HTSL und Träger vermieden. Solche Scherspannungen würden zu einem unerwünschten Durchbiegen oder einer Streckung der Stromzuleitung und im Extremfall sogar zum Ablösen der bandförmigen HTSL von dem Träger
30 führen (Anspruch 2).
35

Ein besonders geeigneter Werkstoff für die Trägerplatte ist glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), da GFK sowohl ein guter elektrischer als auch thermischer Isolator ist (Anspruch 3).

Die bandförmigen HTSL können zwischen der ersten Platte und einer zweiten, gleichartigen Platte angeordnet sein. Die sich so ergebende Sandwichstruktur ist mechanisch stabil und im Falle elektrisch isolierender Platten sind die parallelen bandförmigen HTSL gegen Kurzschlüsse durch Kontakt, z.B. mit einem Gehäuseteil, geschützt (Anspruch 4).

Ist die Platte oder sind die Platten an jedem ihrer Enden mit je einem normalleitenden Anschlußstück mechanisch verbunden, und sind die bandförmigen HTSL mit den Anschlußstücken elektrisch kontaktiert, so kann über das jeweilige Anschlußstück eine sowohl mechanisch als auch elektrisch zuverlässige Verbindung mit dem Verbrauchersystem und dem jeweiligen Stromeinspeisepunkt hergestellt werden. Die Anschlußstücke verbinden die bandförmigen HTSL parallel miteinander und bieten durch ihre Plattenform ausreichend Platz für den Anschluß auch mehrerer querschnittsstärker, normalleitender Kupferkabel oder -litzen (Anspruch 5).

Werden die bandförmigen HTSL direkt mit dem supraleitenden Verbrauchersystem verbunden, so entsteht keine abzuführende Wärme durch den Ohm'schen Widerstand in Normalleitern. Die direkte Verbindung kann aus einem HTSL- oder BCS-Anschlußstück bestehen (Anspruch 6).

Die elektrischen Kontaktierungen können als Lötverbindung ausgeführt sein. Dies gewährleistet auch bei tiefen Temperaturen eine zuverlässige Kontaktierung. Zudem sind Lötverbindungen kostengünstig herstellbar (Anspruch 7).

Bevorzugt wird die Stromzuleitung an ihren beiden Enden mittels je einer Kühlvorrichtung gekühlt. Die Kühlvorrichtung am wärmeren Ende hält dieses auf einer Temperatur zwischen etwa 50 und etwa 100 K. Dieser Temperaturbereich ist zum sicheren Betrieb vieler HTSL ausreichend. Das kältere Ende der Stromzuleitung wird auf eine Temperatur < 35 K, vorzugsweise < 12 K, gekühlt. Bei diesen Temperaturen werden bereits einige Tieftemperatur-Supraleiter wie NbTi oder Nb₃Sn supraleitend (Anspruch 8).

10

Die bandförmigen HTSL können nach dem Pulver-im-Rohr-Verfahren (PIT) hergestellte Multifilamentleiter oder Dünnschicht-HTSL, sog. Coated Conductors, sein (Ansprüche 9 und 10). Besonders vorteilhaft besteht im letzteren Fall jeder bandförmige HTSL aus zwei spiegelsymmetrisch zur neutralen Faser angeordneten Dünnschicht-HTSL.

Die Stromzuleitung kann zum Schutz und zur elektrischen Isolation zumindest teilweise mit einem polymerisierenden Kunststoff, z.B. Polyethylen (PE), Polyurethan (PU) oder Polypropylen (PP), beschichtet sein (Anspruch 11).

Der normalleitende Strompfad der bandförmigen HTSL kann z.B. ein auf einen Dünnschicht-HTSL aufgebracht metallischer Shunt oder der metallische Anteil eines nach dem PIT-Verfahren hergestellten Multifilamentleiters sein.

Der metallische Strompfad besteht vorzugsweise aus Metallen oder einer Metalllegierung deren Wärmeleitfähigkeit mit sinkender Temperatur abnimmt (Anspruch 12).

Für das PIT-Verfahren kann beispielsweise Silber oder eine Silberlegierung verwendet werden. Der metallische Strompfad von Dünnschichtleitern ist bevorzugt aus Kupfer oder Gold. Besonders geeignet ist eine Silberlegierung mit einer Gold-dotierung von etwa 3 bis etwa 10 %, insbesondere etwa 4,6

Gew.%. Bei einer Temperatur unterhalb etwa 20 K sinkt durch die Golddotierung die thermische Leitfähigkeit um etwa zwei Größenordnungen, ohne dass sich die elektrische Stromtragfähigkeit wesentlich verändert (Anspruch 13).

5

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen beschrieben. Es zeigt:

- 10 Fig. 1 eine schematische, vereinfachte Darstellung einer Stromzuleitung,
- Fig. 2a eine Seitenansicht der Stromzuleitung gem. Fig.1,
- Fig. 2b eine Aufsicht auf die gleiche Stromzuleitung,
- 15 Fig. 3 einen Dünnschicht-HTSL,
- Fig. 4 einen Verbund aus zwei Dünnschicht-HTSL und
- 20 Fig. 5 eine Einzelheit der Stromzuführung im Schnitt.

Figur 1 zeigt eine Stromzuleitung 1 zum Verbinden eines supraleitende Verbrauchersystems, auf einer Temperatur z.B. zwischen 1 K und 30 K, mit einem Stromeinspeisepunkt auf Raumtemperatur. Ein metallischer Leiter 4 überbrückt die Temperaturdifferenz zwischen dem nicht dargestellten Stromspeisepunkt und einem ersten Anschlußstück 2, das durch eine erste Kältemaschine 6 auf einer Temperatur von etwa 60 K bis etwa 70 K gehalten wird. Die Stromzuleitung 1 überbrückt die Temperaturdifferenz bis zu einem zweiten Anschlußstück 3, das durch eine zweite Kältemaschine 7 auf einer Temperatur von etwa 1 K bis etwa 30 K gehalten wird. Von dem zweiten Anschlußstück 3 geht ein metallischer Leiter oder ein Supraleiter 5 (HTSL- oder auch Tieftemperatur-Supraleiter) ab, der die Verbindung zu dem supraleitenden Verbrauchersystem herstellt. Die Kältemaschinen 6, 7 können

z.B. Verdampfungskühler sein. Ebenso geeignet sind Brücken zu kalten Strahlungsschilden. Ist die Temperatur des supraleitenden Verbrauchersystems in etwa gleich der Temperatur des zweiten Anschlußstückes 3, so kann auf die Kältemaschine 7 verzichtet werden.

Figur 2a zeigt die Stromzuleitung 1 gemäß Fig. 1 in der Seitenansicht, Fig. 2b in der Aufsicht, jedoch ohne obere Trägerplatte. Die Stromzuleitung 1 besteht aus einem langgestreckten planen GFK-Träger 10, der mit seinen beiden Enden jeweils in eine Ausnehmung eines ansonsten quaderförmigen Anschlußstückes 2 oder 3 eingelegt ist. Die Anschlußstücke 2, 3 sind an ihrer Unterseite plan, um eine gute Wärmeabführung durch Kältemaschinen zu ermöglichen. Die Oberseite des GFK-Trägers 10 bildet mit den Oberseiten der Anschlußstücke 2, 3 eine ebene Fläche 9. Auf dieser ebenen Fläche 9 liegen jeweils parallel zueinander bandförmige HTSL 12. Die bandförmigen HTSL sind an ihren beiden Enden jeweils mit einem der Anschlußstücke 2, 3 elektrisch leitend verbunden. Auf dem bandförmigen HTSL 12 liegt ein oberer GFK-Träger 11 (nur in Fig. 2a dargestellt), der gemeinsam mit dem Träger 10 mit den Anschlußstücken 2, 3 verbolzt ist. Der obere Träger 11 schützt die bandförmigen HTSL 12 vor mechanischer Beschädigung und verbessert zugleich die mechanische Belastbarkeit der Stromzuführung 1. Zur Befestigung der Stromzuleitung 1, z.B. an den Kältemaschinen 6, 7 (s. Fig. 1) und dem metallischen Leiter 4 bzw. dem Supraleiter 5, sind Bohrungen 8a, 8b, 8c und 8d vorgesehen.

Fig. 3 zeigt einen der bandförmigen Dünnschicht-HTSL 12 im Längsschnitt. Der Dünnschicht-HTSL besteht aus einem Substrat 31, auf das eine Pufferschicht 33 aufgebracht ist. Auf der Pufferschicht 33 ist eine HTSL-Schicht 34 aus ReBCuO , wobei Re für ein Seltenerdmetall, beispielsweise Yttrium, steht. Auf der HTSL-Schicht 34 ist eine normalleitende (Shunt-) Metallschicht 32. Zur Erhöhung der elektri-

schen Leitfähigkeit bei gleichzeitiger Reduzierung der thermischen Leitfähigkeit ist die Metallschicht 32 mit rund 4 % Gold dotiert.

- 5 Fig. 4 zeigt einen Verbund 40 aus zwei Dünnschicht-HTSL 30 gemäß Fig. 3, die gestapelt sind und deren innenliegende Metallschichten 32 durch eine Lotschicht 35 leitend verbunden sind. Die neutrale Faser liegt in der Lotschicht 35.
- 10 Die Verwendung solcher "Neutralfaserleiter" ist dann vorteilhaft, wenn die Stromzuführung gebogen wird, weil dann nur geringe Zug- und Druckkräfte an den HTSL-Schichten angreifen. Insbesondere Zugkräfte könnten andernfalls zu die Stromleitfähigkeit beeinträchtigenden Mikrorissen in
- 15 den HTSL-Schichten führen. Weil die beiden Substratschichten 31 unten bzw oben liegen, d.h. Außenschichten sind, sind die Metallschichten 32 und die HTSL-Schichten 34 weitgehend vor mechanischer Beschädigung geschützt. Die Pufferschichten 33 sind nichtleitend, wodurch die Substratschichten 31 von den elektrisch leitenden Schichten 32, 34
- 20 isoliert sind.

- Figur 5 zeigt einen vergrößerten Schnitt durch einen der Anschlußbereiche der Stromleitung in Fig. 2a, 2b. Auf einem
- 25 Träger 50, der mit einer Kältemaschine (nicht dargestellt) in Verbindung steht, liegt das Anschlußstück 2 der Stromzuführung. Zwischen dem Anschlußstück 2 und dem Träger 50 ist eine Isolierschicht 51, beispielsweise aus Kapton, die den Träger 50 und das Anschlußstück 2 elektrisch voneinander
- 30 isoliert, aber gleichzeitig eine gute thermische Verbindung herstellt. Die Stromzuführung ist mit dem Stromeinspeisepunkt über zwei Kupferkabel (nicht dargestellt) verbunden, die in jeweils einem Kabelschuh 53a und 53b enden. Die Kabelschuhe 53a und 53b liegen bündig auf dem Anschlußstück
- 35 2 auf und sind mit je einer Schraube 56a und 56b gesichert. Die Schrauben 56a und 56b durchsetzen jeweils einen Kabel-

schuh 53a und 53b, die Bohrungen 8d und 8c des Anschluß-
stückes 2 sowie die Isolierschicht 51. Die Gewinde der
Schrauben 56a und 56 b greifen in je eine Gewindebohrung
57a und 57b im Träger 50 ein. Die Schrauben 56a und 56b
5 sind durch je eine Isolierhülse 54a und 54b sowie je eine
Isolierscheibe 55a und 55b vom Anschlußstück 2 und den
Kabelschuhen 53a, 53b elektrisch isoliert.

10



15

20

25



30

35

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Stromzuleitung zur Verbindung eines supraleitenden Verbrauchersystems mit einem Stromeinspeisepunkt, der sich auf einer höheren Temperatur als das Verbrauchersystem befindet, aus einem Träger und mehreren bandförmigen, mechanisch und elektrisch parallelen Hochtemperatursupraleitern (HTSL) (12), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Träger aus mindestens einer langgestreckten Platte (10) aus einem schlecht wärmeleitenden Werkstoff und mit einem Verhältnis von Breite zu Dicke von mindestens 3:1 besteht, auf der die bandförmigen HTSL (12) parallel nebeneinander angeordnet sind und dass jeder bandförmige HTSL einen normalleitenden Strompfad umfasst.
2. Stromzuleitung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Werkstoff der Platte (10) etwa den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie die bandförmigen HTSL (12) hat.
3. Stromzuleitung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Werkstoff der Platte (10) GFK ist.
4. Stromzuleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die bandförmigen HTSL (40) zwischen der ersten Platte (10) und einer zweiten, gleichartigen Platte (20) angeordnet sind.
5. Stromzuleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Platte(n) (10, 11) an jedem ihrer Enden mit je einem elektrisch leitenden Anschlußstück (2, 3) mechanisch verbunden ist (sind), mit dem die bandförmigen HTSL (12) elektrisch kontaktiert sind.

6. Stromzuleitung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Anschlußstück (3) aus einem BCS- oder HTSL-Material besteht.
- 5 7. Stromzuleitung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der elektrischen Kontaktierungen eine Lötverbindung ist.
- 10 8. Stromzuleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass sie an ihrem wärmeren Ende mit einer ersten Kühlvorrichtung (6), die dieses Ende auf einer Temperatur von 50 bis 100 K hält und an ihrem kälteren Ende mit einer zweiten Kühlvorrichtung (7), die dieses Ende auf einer Temperatur < 35 K, vorzugsweise < 12 K, hält, verbunden ist..
- 15
9. Stromzuleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die bandförmigen HTSL (12) aus je einem nach dem PIT-Verfahren hergestellten Multifilamentleiter bestehen.
- 20
10. Stromzuleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die bandförmigen HTSL (12) Coated Conductors (Dünnschicht-HTSL) (30, 40) sind.
- 25
11. Stromzuleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass sie mindestens einseitig mit einem polymerisierenden Kunststoff, z.B. PE, PU, PP, beschichtet ist.
- 30
12. Stromzuleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der normalleitende Strompfad jedes bandförmigen HTSL (30, 40) aus einem Metall oder einer Metalllegierung mit einer mit sinkender Temperatur abnehmenden Wärmeleitfähigkeit ist.
- 35

13. Stromzuleitung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der normalleitende Strompfad jedes bandförmigen HTSL (30, 40) aus einem Metall oder einer Metallegierung, bevorzugt mit einer Edelmetalldotierung, insbesondere bevorzugt aus einer Silberlegierung mit etwa 1 bis etwa 10 Gew-% Gold, besteht.

5

10

15

20

25

30

35

Z u s a m m e n f a s s u n g

5

"Stromzuleitung für kryogene elektrische Systeme"

- 10 Stromzuleitung zur Verbindung eines supraleitenden Verbrauchersystems mit einem Stromeinspeisepunkt, der sich auf einer höheren Temperatur als das Verbrauchersystem befindet, aus einem Träger und mehreren bandförmigen, mechanisch und elektrisch parallelen Hochtemperatursupraleitern
- 15 (HTSL). Um eine hohe kritische Stromdichte bei gleichzeitig geringem Wärmeleitvermögen der Stromzuleitung zu erreichen, besteht der Träger aus mindestens einer langgestreckten Platte (10) aus einem schlecht wärmeleitenden Werkstoff, mit einem Verhältnis von Breite zu Dicke von mindestens 3:1
- 20 und auf dem Träger parallel nebeneinander angeordneten bandförmigen HTSL (12). Jeder bandförmige HTSL (12) hat auch einen normalleitenden Strompfad.

25

(Fig. 2b)

Fig. 2b

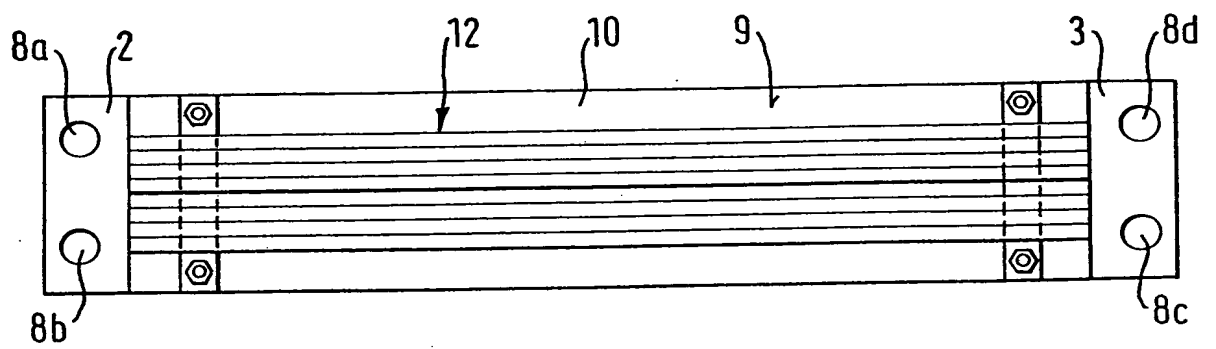


Fig. 1

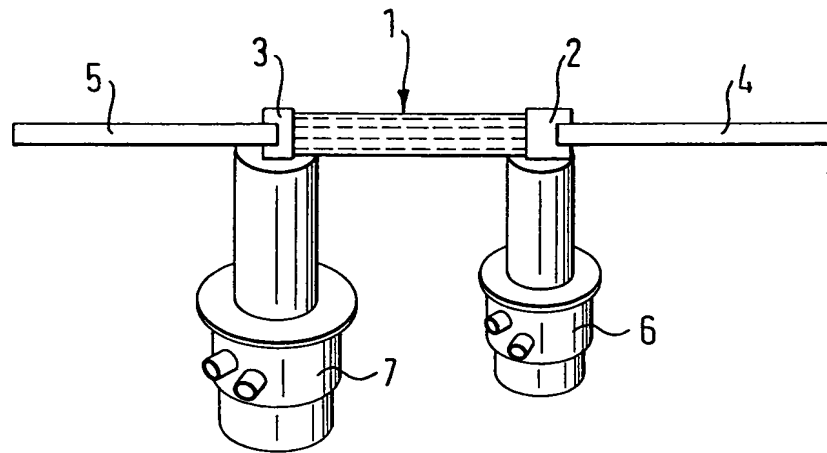


Fig. 2a

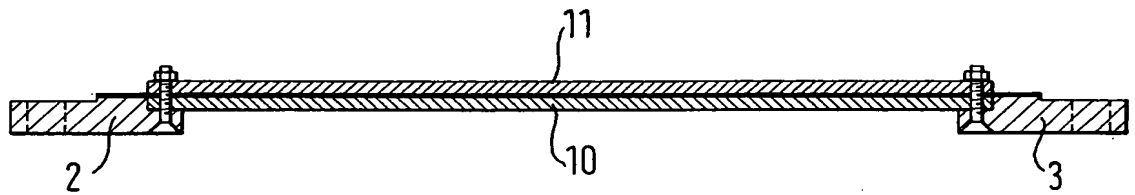


Fig. 2b

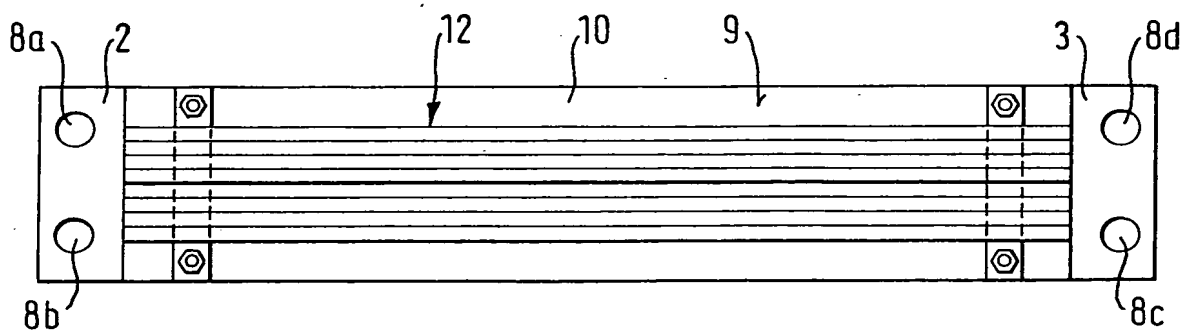


Fig. 3

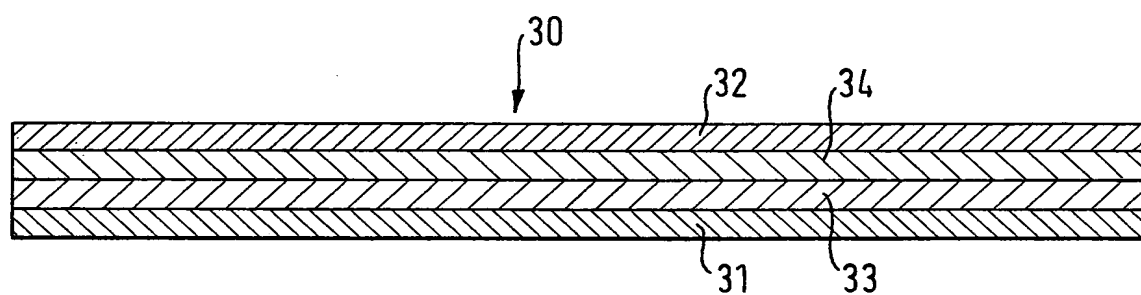


Fig. 4

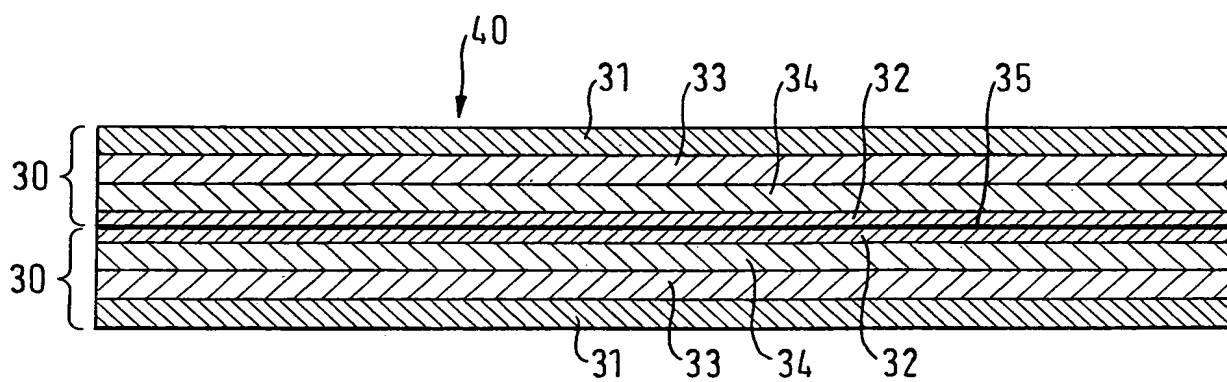


Fig. 5

