

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 89108240.6

51 Int. Cl.4: **H01F 27/40** , **H01F 5/00**

22 Anmeldetag: 08.05.89

30 Priorität: 20.05.88 DE 3817280

71 Anmelder: **ASEA BROWN BOVERI AG**  
**Haselstrasse**  
**CH-5401 Baden(CH)**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
 23.11.89 Patentblatt 89/47

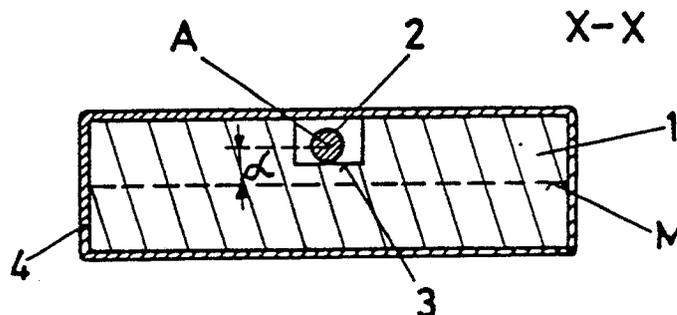
72 Erfinder: **Boss, Pierre**  
**188 route de Bernex**  
**CH-1233 Bernex(CH)**  
 Erfinder: **Peter, Andreas**  
**Im Brühl 304**  
**CH-5235 Rüfenach(CH)**  
 Erfinder: **Schad, Hanspeter, Dr.**  
**Boldistrasse 6**  
**CH-5415 Nussbaumen(CH)**

84 Benannte Vertragsstaaten:  
**AT CH DE ES FR GB LI NL**

54 **Spulenwicklung.**

57 Eine Spulenwicklung aus einem mit einer Isolation versehenen elektrischen Leiter (1) wird mit einem Lichtwellenleiter (2) zum Zweck einer verteilten Temperaturmessung überwacht. Der elektrische Leiter (1) weist an einer Innenseite unter der Isolation eine Längsnut (3) auf. Der Lichtwellenleiter (2) liegt lose in der Längsnut (3). Ferner hat der Lichtwellenleiter (2) gegenüber dem elektrischen Leiter (1) eine Ueberlänge, welche ausreicht, um ihn bei starker thermischer Ausdehnung des elektrischen Leiters (1) vor übermässiger Dehnung zu bewahren.

Bei einem Verfahren zum Herstellen der Spulenwicklung wird die Leiterkombination aus elektrischem Leiter (1) und Lichtwellenleiter (2) zuerst auf eine Hilfstrommel (5) gewickelt. Dann wird mit invertiertem Windungssinn die Spulenwicklung gewickelt.



**FIG.1b**

**EP 0 342 468 A1**

## Spulenwicklung

### Technisches Gebiet

5 Die Erfindung betrifft eine Spulenwicklung aus einem mit einer Isolation versehenen elektrischen Leiter, welche mit einem Lichtwellenleiter zum Zweck einer verteilten Temperaturmessung überwacht wird.

### Stand der Technik

10

Es ist heute allgemein anerkannt (siehe z.B. A.J. Wakeling, Colloquium on Power Transformers, CIGRE SC 12, 1985), dass die Lebensdauer eines Leistungstransformators durch die sogenannte Hotspottemperatur bestimmt ist. Seit einiger Zeit werden Transformatoren mit Temperatursensoren überwacht, welche an den vermuteten Hotspots im Transformator angebracht sind (W. Lampe et al, In. Conf. Large high voltage electric systems 12-02, 1984). Eine Glasfaser mit einem optischen Sensor an ihrem Ende wird in möglichst guten thermischen Kontakt mit dem vermuteten (und durch Computersimulation ermittelten) Hotspots gebracht. Es ist nun so, dass der vermutete Hotspot nicht zwingend ein tatsächlicher ist. Diese Diskrepanz lässt sich durch ein als solches bekanntes DTS-System (Distributed Temperature Sensor) überwinden. Wenn nämlich die Sensorfaser, entlang welcher die Temperatur gemessen wird, in die Windungen des Transformators gebracht wird, dann lässt sich der tatsächliche Hotspot ermitteln.

Zur Messung von Temperaturprofilen von Transformator- oder Drosselspulen ist nicht nur ein geeignetes Messsystem nötig (DTS), sondern man muss auch den Temperatursensor geeignet in die Spule einbringen. Es genügt hierbei nicht, den Lichtwellenleiter nachträglich um die Spule zu wickeln, sondern man muss ihn direkt in den elektrischen Leiter integrieren in Form einer Leiterkombination von Lichtwellenleiter und elektrischem Leiter und aus dieser dann die Spule herstellen. Der Lichtwellenleiter muss jedoch wegen seiner Druck- und Biegeempfindlichkeit vor mechanischen Belastungen gut geschützt untergebracht und ausserdem so integriert sein, dass er die unvermeidlichen, thermischen Ausdehnungen des elektrischen Leiters im Betrieb aushält.

30

### Darstellung der Erfindung

35 Aufgabe der Erfindung ist es eine Spulenwicklung aus einem mit einer Isolation versehenen elektrischen Leiter anzugeben, welche mit einem Lichtwellenleiter zum Zweck einer verteilten Temperaturmessung überwacht wird, bei welcher Spulenwicklung ein guter thermischer Kontakt zwischen den beiden Leitern gegeben ist, sich die Temperaturverteilung in der Spulenwicklung genau messen lässt und der Lichtwellenleiter gegen mechanische Ueberbeanspruchung geschützt ist.

40 Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen einer solchen Spulenwicklung anzugeben.

Gemäss der Erfindung besteht die Lösung darin, dass der elektrische Leiter an einer Innenseite unter der Isolation eine Längsnut aufweist, dass der Lichtwellenleiter lose in der Längsnut liegt und dass der Lichtwellenleiter gegenüber dem elektrischen Leiter eine Ueberlänge hat, welche ausreicht, um ihn bei starker thermischer Ausdehnung des elektrischen Leiters vor übermässiger Dehnung zu bewahren.

Bei einem erfindungsgemässen Verfahren zum Herstellen einer solchen Spulenwicklung wird zuerst der Lichtwellenleiter in die Längsnut des elektrischen Leiters lose eingelegt, dann der elektrische Leiter auf eine Hilfstrommel mit einem Trommelradius  $r_T$  so aufgewickelt, dass die Längsnut mit den eingelegten Lichtwellenleiter nach aussen zu liegen kommt und schliesslich der elektrische Leiter von der Hilfstrommel so zur Spulenwicklung aufgewickelt, dass die Längsnut auf die Innenseite des elektrischen Leiters zu liegen kommt.

50 Der Kern der Erfindung ist darin zu sehen, dass der Lichtwellenleiter mit dem elektrischen Leiter zu einer Leiterkombination verbunden wird, bei welcher der Lichtwellenleiter gegenüber dem elektrischen Leiter bei Zimmertemperatur eine Ueberlänge hat, mit welcher er die grosse thermische Ausdehnung des elektrischen Leiters bei der Arbeitstemperatur kompensieren kann.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

5

Nachfolgend soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1a, b, c einen Ausschnitt aus einer erfindungsgemässen Spulenwicklung und

10 Fig. 2a, b eine schematische Darstellung von Verfahrensschritten zum Herstellen einer erfindungsgemässen Spulenwicklung.

15

### Wege zur Ausführung der Erfindung

Fig. 1a zeigt eine Draufsicht, Fig. 1b einen Querschnitt und Fig. 1c einen Längsschnitt eines Ausschnitts einer erfindungsgemässen Spulenwicklung. In den drei Figuren sind gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

20 Man geht aus von einem bandförmigen elektrischen Leiter 1, z.B. einem Kupferband einer Dicke von ca. 2,5 mm und einer Breite von ca. 12 mm. Der elektrische Leiter 1 weist eine Längsnut 3 auf, in welcher ein Lichtwellenleiter 2, z.B. eine Allsilica-fiber, liegt. Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform ist der elektrische Leiter 1 und der in der Längsnut 3 liegende Lichtwellenleiter 2 mit einer Papierisolation 4 umwickelt.

Aus Fig. 1c erkennt man, dass der elektrische Leiter 1, welcher ja einen Teil einer Spulenwicklung darstellt, gekrümmt ist. Er liegt auf einem Kreis mit einem Radius  $r_s$  (Spulenradius). Der Spulenradius  $r_s$  wird von einem Zentrum der Spulenwicklung bis zu einer Mittelebene M des bandförmigen elektrischen Leiters 1 gemessen. Die Längsnut 3 liegt auf einer Innenseite des elektrischen Leiters 1 respektive der Spulenwicklung.

Der Lichtwellenleiter 2 liegt lose in der Längsnut 3. Zudem besitzt er eine Ueberlänge gegenüber dem elektrischen Leiter 1, d.h. er liegt nicht auf einer geraden Linie in der Längsnut 3, sondern auf einer Schlangenlinie. Oder anders gesagt, wenn man eine volle Windung der Spulenwicklung heraus schneiden würde, den elektrischen Leiter 1 und den Lichtwellenleiter 2 strecken würde, dann wäre der Lichtwellenleiter 2 um eine Ueberlänge L länger als der elektrische Leiter 1.

Die Abmessungen der Längsnut 3 sind von zentraler Bedeutung.

Ein erster wichtiger Punkt ist, dass sie asymmetrisch angeordnet ist und zwar bezüglich der Mittelebene M des elektrischen Leiters 1. D.h., dass sie im wesentlichen nicht tiefer als bis zur Mittelebene M eindringt. Die genannte Bedingung hat zum Ziel, dass eine Achse A eines in der Längsnut 3 liegenden Lichtwellenleiters 2 eine minimale Distanz d zur Mittelebene M hat.

Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform dringt die Längsnut 3 gerade bis zur Mittelebene M ein, so dass die Distanz d gerade einem halben Durchmesser des Lichtwellenleiters 2 entspricht.

Ein zweiter wichtiger Punkt ist der, dass die an sich geradlinig verlaufende Längsnut 3 Querabmessungen hat, welche es erlauben, die Ueberlänge des Lichtwellenleiters 2 in der Form einer Schlangenlinie aufzunehmen. Deshalb soll sie vorzugsweise zwei- bis fünfmal so breit wie der Durchmesser des Lichtwellenleiters 2 sein. Im gleichen Sinne sollte sie etwa ein- bis zweimal so tief wie der Durchmesser des Lichtwellenleiters 2 sein. Auf jeden Fall muss gewährleistet sein, dass sich der Lichtwellenleiter 2 in der Längsnut 3 frei verschieben lässt und dass er nicht irgendwie festgeklemmt wird (z.B. durch die Isolation).

Im Ausführungsbeispiel von Fig. 1a bis c sorgt die Papierisolation 4 dafür, dass der Lichtwellenleiter 2 nicht aus der Längsnut 3 herauskommen kann. Auch wenn der Lichtwellenleiter 2 nicht flächenmässig in Kontakt mit dem elektrischen Leiter 1 steht, ist der thermische Kontakt zwischen den beiden Leitern gegeben, sei es nun, weil der Lichtwellenleiter 2 von drei Seiten vom elektrischen Leiter 1 umgeben ist, sei es, weil die Spulenwicklung insgesamt in ein Ölbad getaucht ist.

Die relative Ueberlänge, die nötig ist, um den Lichtwellenleiter gegen mechanische Belastung bei der grossen thermischen Ausdehnung des elektrischen Leiters zu bewahren, lässt sich wie folgt ermitteln.

Tabelle I zeigt typische Materialien und deren Ausdehnung bei einem Temperaturanstieg von 0 auf 300 °C:

Tabelle I

5

10

Thermische Ausdehnung von Quarzglas, Kupfer und Aluminium zwischen 0 - 300 °C.	
Quarzglas	0.19 10 <sup>-3</sup>
Kupfer	5.2 10 <sup>-3</sup>
Aluminium	7.7 10 <sup>-3</sup>

Daraus ergibt sich, dass eine relative Ueberlänge  $\frac{\Delta L}{L}$  mindestens ca. 0.001, vorzugsweise ca. 0.005 betragen sollte.

15

Da die Ueberlänge zu einer Mäandrierung des Lichtwellenleiters 2 führt, kann es bei zu grosser Ueberlänge zu einer so starken lokalen Krümmung (Micro-Macrobending) des Lichtwellenleiters 2 kommen, dass eine biegebedingte Dämpfung auftritt, d.h. dass Licht ausgekoppelt wird.

20

In einem Versuch war eine erfindungsgemässe Spulenwicklung aus einem Kupferband einer Dicke von 2.5 mm und einer Breite von 12 mm hergestellt worden. Die Längsnut 3, welche an der Innenseite des Kupferbandes angebracht war, war 1.2 mm breit und ebenso tief. Die Längsnut 3 drang also gerade etwa bis zur Mittelebene M ein. Die lose in der Längsnut liegende Glasfaser hatte einen Durchmesser von etwa 0.6 mm. Das Kupferband war mit einer Papierisolation umwickelt. Die ganze Spulenwicklung wurde in ein Oelbad getaucht.

25

Mit einer DTS-Messung wurde die effektive Temperatur entlang des Kupferbandes gemessen. Dabei war erstmals deutlich zu sehen, wie periodisch mit den Windungen das Temperaturprofil ansteigt und abfällt. Ebenso war zu sehen, wie der Mittelwert des Temperaturprofils von den unten im Oelbad liegenden Windungen zu den oben liegenden leicht ansteigt.

Im folgenden wird ein erfindungsgemässes Verfahren zum Herstellen der Spulenwicklung beschrieben.

30

Es umfasst im wesentlichen zwei Schritte: Erstens das Aufwickeln der Leiterkombination (elektrischer Leiter + Lichtwellenleiter) auf eine Hilfstrommel und zweitens das Umwickeln der Leiterkombination von der Hilfstrommel auf die Spulenwicklung.

35

Fig. 2a zeigt den ersten Verfahrensschritt. Der elektrische Leiter 1 sei bereits mit einer erfindungsgemässen Längsnut versehen. In dieser wird zuerst lose, d.h. ohne Zugspannung, der Lichtwellenleiter 2 eingelegt. Danach wird der elektrische Leiter 1 und der Lichtwellenleiter 2 mit einer Papierisolation 4 umwickelt. Diese Leiterkombination wird nun auf eine Hilfstrommel so aufgewickelt, dass die Längsnut 3 nach aussen zu liegen kommt.

Da die Achse A des Lichtwellenleiters 2 um eine Distanz d gegenüber der Mittelebene M weiter aussen liegt, liegt der Lichtwellenleiter auf einem etwas grösseren Kreis als der elektrische Leiter.

40

Fig. 2b zeigt den zweiten Verfahrensschritt. Die Leiterkombination wird von der Hilfstrommel 5 abgewickelt und zur Spulenwicklung 6 gewickelt. Dabei muss der Windungssinn invertiert werden, d.h. die Spulenwicklung 6 wird so gewickelt, dass die Längsnut 3 des elektrischen Leiters 1, welche auf der Hilfstrommel 5 nach aussen lag, auf der Spulenwicklung 6 auf die Innenseite zu liegen kommt.

45

Auf der Hilfstrommel 5 liegt der Lichtwellenleiter 2 auf einer geraden Linie in der Längsnut 3. Beim Abwickeln der Hilfstrommel 5 entsteht erstmals eine Ueberlänge und beim Wickeln der Spulenwicklung entsteht zum zweiten Mal eine Ueberlänge. Die Ueberlänge wird allein durch die asymmetrische Längsnut 3, d.h. die Distanz d geschaffen.

Immer unter der Voraussetzung, dass die Mittelebene M des elektrischen Leiters 1 die neutrale Ebene bei der Biegung desselben ist, ergibt sich durch das erfindungsgemässe Verfahren eine relative Ueberlänge  $\frac{\Delta L}{L}$  von

50

$$\frac{\Delta L}{L} = d \left( \frac{1}{r_S} + \frac{1}{r_T} \right) \quad (1)$$

55

Die relative Ueberlänge  $\frac{\Delta L}{L}$  ist definiert durch eine Längendifferenz L zwischen Lichtwellenleiter und elektrischem Leiter 1 bezogen auf eine Länge L des elektrischen Leiters 1. Die Distanz d wurde im Zusammenhang mit Fig. 1b definiert.  $r_T$  bezeichnet den Trommelradius und  $r_S$  den Spulenradius.

Beim oben beschriebenen Versuch war  $r_T = 0.3$  m und  $r_S = 0.2$  m. Mit der Distanz  $d = 0.6$  mm ergibt sich die relative Ueberlänge von  $\frac{\Delta L}{L} \approx 0.005$ . Die Breite von 1.2 mm der Längsnut 3 reicht aus, um eine relative Ueberlänge von bis zu 0.02 aufzunehmen, ohne eine merkliche zusätzliche Dämpfung durch Micro- resp. Macrobending zu verursachen.

5 Es versteht sich, dass beim erfindungsgemässen Verfahren der elektrische Leiter 1 nicht zuerst vollständig auf die Hilfstrommel 5 aufgewickelt werden muss, bevor zu einer Spule gewickelt werden kann. Es genügt grundsätzlich, ihn über Umlenkrollen zu führen, welche einen geeigneten Krümmungsradius haben. Es ist aber jedenfalls darauf zu achten, dass nach den Umlenkrollen die gewünschte erste Ueberlänge entsteht und auch erhalten bleibt.

10 Eine zusätzliche Ueberlänge kann auch durch eine verstärkte Mäandrierung des Lichtwellenleiters 2 in der Längsnut erzielt werden. Dies lässt sich durch Hilfsnoppen erzwingen, welche vor dem Einlegen des Lichtwellenleiters 1 in der Längsnut angebracht werden und sich beim Betrieb der Spulenwicklung auflösen.

Beispielsweise können in der Längsnut 3 Noppen aus Wachs angebracht werden, zwischen welchen sich der Lichtwellenleiter 2 durchschlängelt. Nach dem Wickeln der Spule werden sie thermisch zerstört oder im Imprägnieröl des Oelbades aufgelöst.

15 Abschliessend kann gesagt werden, dass mit der Erfindung die Voraussetzungen geschaffen werden, um DTS bei Spulenwicklungen wie z.B. Drosselspulen und Transformatoren anwenden zu können.

## 20 Ansprüche

1. Spulenwicklung aus einem mit einer Isolation versehenen elektrischen Leiter, welche mit einem Lichtwellenleiter zum Zweck einer verteilten Temperaturmessung überwacht wird, dadurch gekennzeichnet, dass

- 25 a) der elektrische Leiter (1) an einer Innenseite unter der Isolation eine Längsnut (3) aufweist,  
 b) dass der Lichtwellenleiter (2) lose in der Längsnut (3) liegt und  
 c) dass der Lichtwellenleiter (2) gegenüber dem elektrischen Leiter (1) eine Ueberlänge hat, welche ausreicht, um ihn bei starker thermischer Ausdehnung des elektrischen Leiters (1) vor übermässiger Dehnung zu bewahren.

30 2. Spulenwicklung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsnut (3) nicht tiefer als bis zu einer biegeneutralen Mittelebene (M) des elektrischen Leiters (1) eindringt, so dass eine Achse (A) des Lichtwellenleiters (2) um eine Distanz  $d$  bezüglich der Mittelebene (M) gegen ein Zentrum der Spulenwicklung hin verschoben ist.

35 3. Spulenwicklung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsnut 1 - 2 Mal so tief und 2 - 5 Mal so breit ist wie ein Durchmesser des Lichtwellenleiters (2).

4. Spulenwicklung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die relative Ueberlänge ( $\frac{\Delta L}{L}$ ) des Lichtwellenleiters grösser als 0.001 ist.

40 5. Spulenwicklung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die relative Ueberlänge ( $\frac{\Delta L}{L}$ ) grösser als 0.005 ist.

6. Spulenwicklung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolation eine Papierisolation (4) ist, welche den Lichtwellenleiter (2) in der Längsnut seitlich verschiebbar festhält.

7. Verfahren zum Herstellen einer Spulenwicklung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass  
 45 a) der Lichtwellenleiter (2) in die Längsnut (3) des elektrischen Leiters (1) lose eingelegt wird,  
 b) dass der elektrische Leiter (1) auf eine Hilfstrommel (5) mit einem Trommelradius  $r_T$  so aufgewickelt wird, dass die Längsnut (3) mit dem eingelegten Lichtwellenleiter (2) nach aussen zu liegen kommt,

c) dass der elektrische Leiter (1) danach von der Hilfstrommel (5) so zur Spulenwicklung (6) aufgewickelt wird, dass die Längsnut (3) auf die Innenseite des elektrischen Leiters (1) zu liegen kommt.

50 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass zum Fixieren des Lichtwellenleiters (2) in der Längsnut (3), der elektrische Leiter (1) nach dem Einlegen des Lichtwellenleiters (2) mit einer Papierisolation (4) umwickelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass Distanz  $d$ , Trommelradius  $r_T$  und  
 55 Spulenradius  $r_S$  so gewählt sind, dass die relative Ueberlänge  $\frac{\Delta L}{L}$  aufgrund der Formel

$$\frac{\Delta L}{L} = d \left( \frac{1}{r_s} + \frac{1}{r_s} \right)$$

5 gegeben ist.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

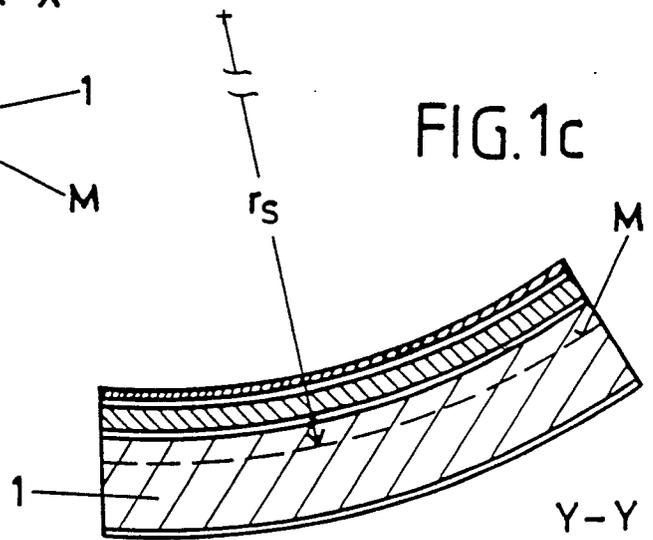
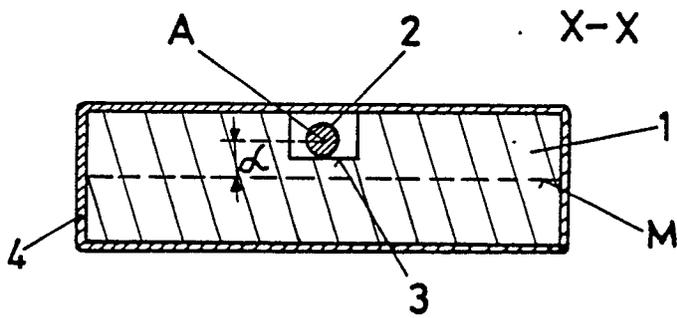
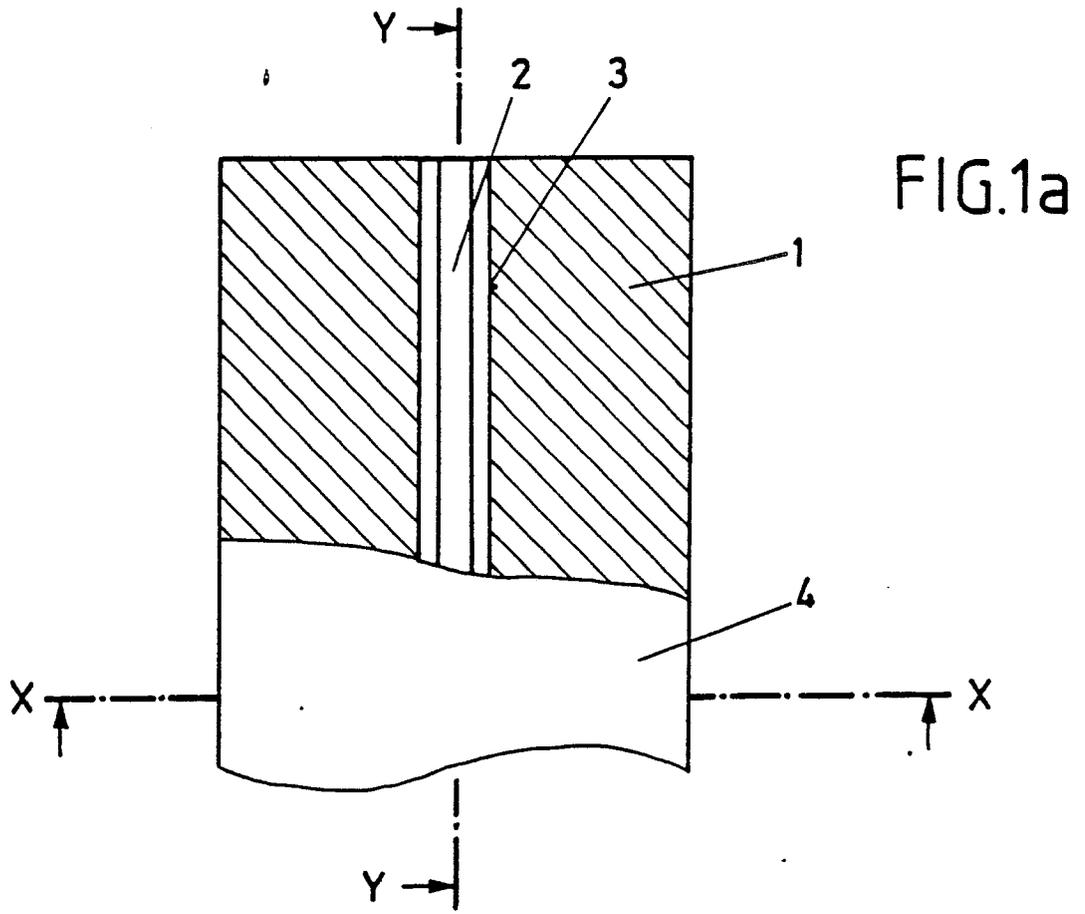


FIG. 2a

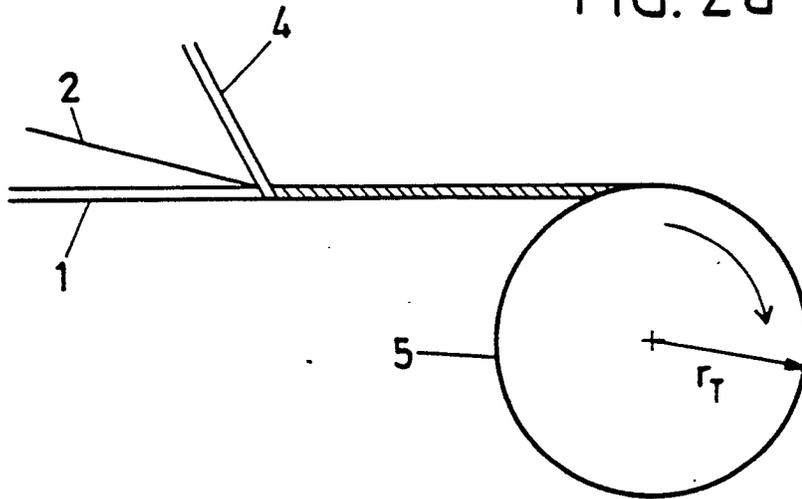
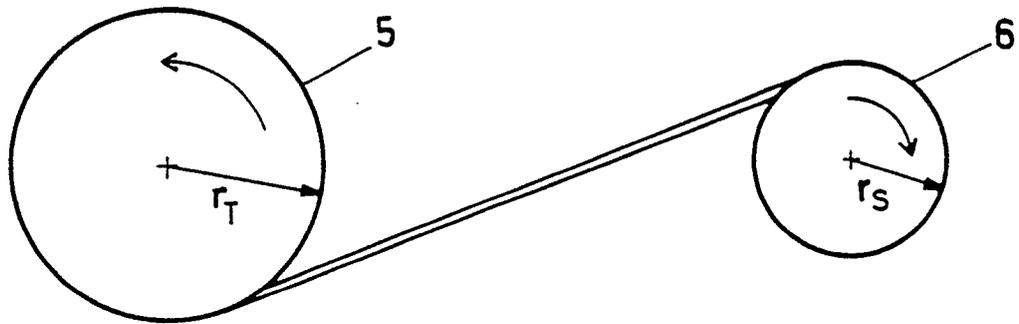


FIG. 2b





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 5, no. 137 (E-72)(809) 29 August 1981, & JP-A-56 73415 (TOKYO SHIBAURA DENKI K.K.) 18 Juni 1981, * siehe das ganze Dokument *	1	H01F27/40 H01F5/00
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 6, no. 121 (P-126)(999) 06 Juli 1982, & JP-A-57 49803 (HITACHI SEISAKUSHO K.K.) 24 März 1982, * siehe das ganze Dokument *	1	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 8, no. 169 (P-292)(1606) 04 August 1984, & JP-A-59 65733 (NIPPON KOKAN K.K.) 14 April 1984, * siehe das ganze Dokument *	1	
A	IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN. vol. 24, no. 6, November 1981, NEW YORK US Seite 3021 E. MENDEL: "METHOD FOR DETERMINING WAFER TEMPERATURE DURING POLISHING" * Seite 3021; Figuren 1, 2 *	1	
A	FR-A-2513432 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION)	-	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.4)
Recherchenort DEN HAAG			Prüfer VANHULLE R.
Abschlußdatum der Recherche 21 AUGUST 1989			
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		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 andern Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			