

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2002年7月18日 (18.07.2002)

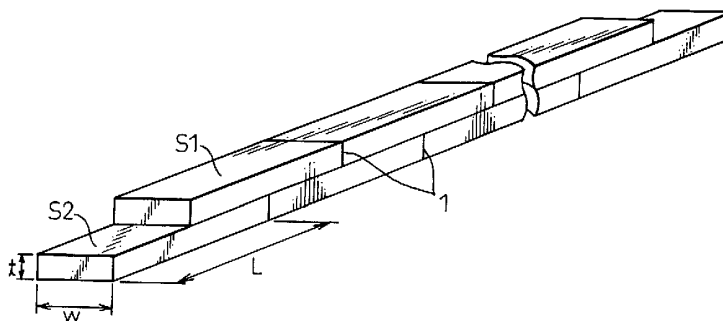
PCT

(10) 国際公開番号  
WO 02/056318 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01B 12/04, 13/00, 13/561, H01F 5/08
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/00254
- (22) 国際出願日: 2002年1月16日 (16.01.2002)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
 特願2001-7372 2001年1月16日 (16.01.2001) JP  
 特願2001-277050 2001年9月12日 (12.09.2001) JP  
 特願2001-293044 2001年9月26日 (26.09.2001) JP  
 特願2001-293045 2001年9月26日 (26.09.2001) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 新日本製鐵株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8071 東京都千代田区大手町二丁目6番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および  
 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 森田 充 (MORITA, Mitsuru) [JP/JP]; 〒293-8511 千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 石田 敬, 外 (ISHIDA, Takashi et al.); 〒105-8423 東京都港区虎ノ門三丁目5番1号 虎ノ門37森ビル 青和特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): CN, US.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- 添付公開書類:  
 — 国際調査報告書
- 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: LOW RESISTANCE CONDUCTOR, METHOD OF PRODUCING THE SAME, AND ELECTRIC COMPONENT USING THE SAME

(54) 発明の名称: 低抵抗導体およびその製造方法並びにこれを用いた電気部材



(57) Abstract: A low resistance conductor using superconductors, which is a conductor in the form of a plurality of super conductors held in usual transmission connection or a conductor consisting of a superconductor and a usual transmission conductor, characterized in that the apparent specific resistance of the conductor at the superconduction transition temperature or below is lower than the specific resistance of copper at the superconduction transition temperature.

[続葉有]

WO 02/056318 A1



---

(57) 要約:

複数の超伝導体を常伝導接続してなる導体、または、超伝導体と常伝導体とからなる導体であって、該超伝導体の超伝導転移温度以下における該導体の見かけ上の比抵抗が、該超伝導転移温度における銅の比抵抗より低いことを特徴とする超伝導体を用いた低抵抗導体である。

## 明 細 書

低抵抗導体およびその製造方法並びにこれを用いた電気部材

## 〔技術分野〕

本発明は、実質的に低抵抗の電気伝導体およびその製造方法並びにこれを用いた応用機器に関する。

## 〔背景技術〕

電気を通す導体として、現在、銅が最も多く使用されている。これは、室温での比抵抗が銀とほぼ同程度で他の物質に比べ最も低く、かつ比較的安価であることによる。導体の比抵抗を下げる方法には、導体を冷却する方法がある。銅の場合、液体窒素温度（77K）に冷却すると、比抵抗は約1/7の約  $2.5 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$  となる。

超伝導線材は、超伝導転移温度以下に冷却する必要はあるものの、電気抵抗がほぼゼロであり、理想の導体である。金属系超伝導線材は、線材としての完成度も高く、MRI等のマグネットとして実用化されているが、極低温への冷却の必要性から広く普及するにいたっていない。

一方、液体窒素温度で超伝導になる酸化物系の超伝導材料には、大別してBi系とY系の2種類がある。Bi系は主に銀シース付きのテープ線材として、また、Y系は金属テープ表面にバッファ層を形成しその上に超伝導薄膜を形成したテープ線材として開発が進められている。

これらの線材は、高特性が得られた場合、取り扱いの容易な液体窒素で冷却できるため期待が高まっている。そして、これらの線材を用いた電気機器の開発および普及が期待されている。また、板状

の超伝導体としては、NbTiとCuの多層板が開発されており、磁気シールド等の応用に供されている。

液体窒素温度で十分な臨界電流密度を有する酸化物超伝導バルク材料として、単結晶状の $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ （REは、Yを含む希土類元素）中に $\text{RE}_2\text{BaCuO}_5$ が微細分散した材料が知られている。このような材料は、単結晶状であるため、大型の材料の製造には、技術的な限界があり、現在、直径100mm程度のものが知られているに過ぎず、これより大型の材料は得られていない。

しかしながら、Bi系線材は、77Kにおいては、十分な臨界電流密度が得られておらず、特に磁場中で特性劣化が著しいことや、銀をシース材として使用しているために高価である等の問題がある。Y系線材は、真空中で成膜速度や特性の均質化等の問題があり、開発途上にある。

#### [発明の開示]

比抵抗が十分低く、かつ安価で取り扱いの容易な導体が製造可能であれば、必ずしも電気抵抗がゼロである超伝導線材である必要はない。そこで、本発明は、このような比抵抗が十分に小さい導体を提供することを目的とする。また、このような導体を用いた電力損失が少なく取り扱いが容易な電気機器の提供も目的とする。

また、複数のバルク超伝導体を超伝導接続する技術は、特開平5-279028号公報、特開平6-40775号公報及び特開平7-17774号公報で開示されているが、本発明は、有限の電気抵抗を有する常伝導体を介して比較的簡便に接合された導体およびその製法、さらにはこのような導体を用いた電気機器を提供するものである。

一例として、主にY系の酸化物超伝導バルク材料では、すでに77

Kにおいて高い臨界電流密度が得られている。このような材料に代表される超伝導体と常伝導体とを電氣的に接続することによって、実質的に低抵抗の導体およびその応用電気機器が得られることを見出した。

本発明は、この知見に基づいてなされたものであってその要旨とするところは、次のとおりである。

(1) 複数の超伝導体を常伝導接続してなる導体であって、該超伝導体の超伝導転移温度以下における該導体の見かけ上の比抵抗が、該超伝導転移温度における銅の比抵抗より低いことを特徴とする超伝導体を用いた低抵抗導体。

(2) 前記導体が、複数の超伝導体を2次元的に常伝導接続してなる線状および／又は棒状の導体である前記(1)記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(3) 前記導体が、複数の超伝導体を3次元的に常伝導接続してなる板状および／又はブロック状の導体である前記(1)記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(4) 複数の超伝導体を常伝導接続してなる導体であって、77Kにおける該導体の見かけ上の比抵抗が、77Kにおける銅の比抵抗より低いことを特徴とする超伝導体を用いた低抵抗導体。

(5) 前記導体が、複数の超伝導体を2次元的に常伝導接続してなる線状および／又は棒状の導体である前記(4)記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(6) 前記導体が、複数の超伝導体を3次元的に常伝導接続してなる板状および／又はブロック状の導体である前記(4)記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(7) 前記複数の超伝導体の一部又は全部がバルク超伝導体である前記(1)～(6)のいずれかに記載の超伝導体を用いた低抵抗導

体。

(8) 前記複数のバルク超伝導体の一部又は全部が、棒状又は板状の形状を有する前記(7)記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(9) 前記複数のバルク超伝導体の一部が、湾曲及び／又は屈曲した棒状又は板状の形状を有する前記(7)又は(8)に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(10) 前記バルク超伝導体の一部又は全部が、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 系超伝導体(ここで、REはYを含む希土類元素の1種類又はその組合せ)である前記(7)～(9)のいずれかに記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(11) 前記バルク超伝導体の長手方向が、該超伝導体の結晶学的方位においてc軸と垂直方向である前記(10)記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(12) 前記複数の超伝導体の常伝導接続の一部又は全部が、隣接する超伝導体の長手方向に略垂直な面同士及び／又は略平行な面同士を接合したものである前記(1)～(6)のいずれかに記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(13) 前記超伝導体の長手方向における常伝導接続部を覆うように、複数層の超伝導体が配置されている前記(12)記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(14) 前記常伝導接続の一部又は全部が、金属を介して隣接する超伝導体を接合したものである前記(12)又は(13)に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(15) 前記金属が、銅、銅合金、銀、銀合金、金、金合金、アルミニウム、又は、アルミニウム合金の1種又は2種以上である前記(14)記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(16) 前記金属の厚みが  $100\ \mu\text{m}$  以下である前記(14)又は(15)

に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(17) 前記超伝導体の長手方向の一部又は全部が、通電方向である前記(1)～(16)のいずれかに記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(18) 前記超伝導体間の距離が10mm以下である前記(1)～(17)のいずれかに記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

(19) 複数の超伝導体を常伝導体を介して配置し、必要に応じて加圧して、接続処理することを特徴とする低抵抗導体の製造方法。

(20) 前記超伝導体を半田を用いて接続する前記(19)記載の低抵抗導体の製造方法。

(21) 複数の超伝導体を常伝導体を介して配置し、必要に応じて加圧した後、減圧雰囲気又は真空中で熱処理することを特徴とする低抵抗導体の製造方法。

(22) 前記超伝導体を、銅、銅合金、銀、銀合金、金、金合金、アルミニウム、又は、アルミニウム合金のペースト又は箔を用いて接続し、しかる後に加熱処理する前記(19)又は(21)に記載の低抵抗導体の製造方法。

(23) 前記超伝導体の表面に、銅、銅合金、銀、銀合金、金、金合金、アルミニウム、又は、アルミニウム合金の1種又は2種以上の被覆を形成する前記(19)～(22)のいずれかに記載の低抵抗導体の製造方法。

(24) 前記(1)～(18)のいずれかに記載の超伝導体を用いた低抵抗導体を、少なくとも一部に配設したことを特徴とする通電用部材又は電流リード。

(25) 前記低抵抗導体の両端部に、銅、アルミニウム、金、銀、又は、これらの合金からなる電極を接続した前記(24)記載の通電用部材又は電流リード。

(26) 前記 (24) 又は (25) に記載の通電用部材又は電流リードを、少なくとも一部に配設したことを特徴とする電力供給用ケーブル。

(27) 二重管以上の多重管のひとつの空間中心に、前記 (24) 又は (25) に記載の通電部材又は電流リードを配設し、その周りに、冷媒が流れる空間を設けると共に、その外周に断熱層を設けたことを特徴とする電力供給用ケーブル。

(28) 前記通電用部材又は電流リードに接続した電極同士を電氣的に接続すると共に、該接続電極部分を真空断熱層で被覆した前記 (26) 記載の電力供給用ケーブル。

(29) 前記 (1) ~ (18) のいずれかに記載の超伝導体を用いた低抵抗導体を巻き回して形成したことを特徴とするコイル。

(30) 前記巻き回した低抵抗導体の通電方向に垂直な面の断面積が、外周部より内周部の方が大きい前記 (29) 記載のコイル。

(31) 前記巻き回した低抵抗導体の超電位体が、異なる希土類組成を有する超伝導体を組み合わせたものである前記 (29) 記載のコイル。

(32) 前記巻き回した低抵抗導体の間隙を冷媒流路とする前記 (29) ~ (31) のいずれかに記載のコイル。

(33) 前記巻き回した低抵抗導体を、樹脂及び／又は繊維強化プラスチックで補強した前記 (29) ~ (32) のいずれかに記載のコイル。

(34) 前記 (29) ~ (33) のいずれかに記載のコイルを用いたことを特徴とする磁場発生装置。

(35) 前記 (29) ~ (33) のいずれかに記載のコイルを、少なくとも二次側に用いたことを特徴とする変圧器。

(36) 前記 (29) ~ (33) のいずれかに記載のコイルを、少なくとも



も二次側に用いたことを特徴とする交流電源。

(37) 常伝導導体表面の一部又は全体に少なくとも1個の超伝導体を接続してなる複合導体であって、該超伝導体の超伝導転移温度以下における該複合導体の見かけ上の比抵抗が、該超伝導転移温度における銅の比抵抗より低いことを特徴とする超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(38) 常伝導導体表面の一部又は全体に少なくとも1個の超伝導体を接続してなる複合導体であって、77Kにおける該複合導体の見かけ上の比抵抗が、77Kにおける銅の比抵抗より低いことを特徴とする超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(39) 前記常伝導導体が金属である前記(37)又は(38)に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(40) 前記金属が、銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金、銀、銀合金、金、又は、金合金の1種又は2種以上である前記(39)に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(41) 前記超伝導体の一部又は全部が、バルク超伝導体である前記(37)又は(38)に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(42) 前記バルク超伝導体の一部又は全部が、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 系超伝導体(ここで、REはYを含む希土類元素の1種類又はその組合せ)である前記(41)に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(43) 前記バルク超伝導体の一部又は全部の長手方向が、該超伝導体の結晶学的方位においてc軸と垂直方向である前記(42)に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(44) 前記常伝導導体又は超伝導体の少なくとも一方が、棒状又は板状の形状を有する前記(37)～(43)のいずれかに記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(45) 前記接続の一部又は全部が常伝導接続である前記(37)又は

(38) に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(46) 前記超伝導体又は前記常伝導導体の少なくとも一方の一部又は全部が平面を有し、該平面内において該超伝導体と該常伝導導体が常伝導接続されている前記(45)記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(47) 前記常伝導接続の一部又は全部が、前記常伝導導体と同種又は異種の常伝導体を用いるものである前記(45)又は(46)に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(48) 前記常伝導接続の一部又は全部が、金属を介するものである前記(45)～(47)のいずれかに記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(49) 前記金属が銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金、銀、銀合金、金、又は、金合金の1種又は2種以上である前記(48)記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(50) 前記接続部の厚みが $100\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする前記(45)～(49)のいずれかに記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

(51) 前記超伝導体の長手方向の一部又は全部が、通電方向である前記(37)～(50)のいずれかに記載の低抵抗複合導体。

(52) 常伝導導体表面の一部又は全部に、常伝導体を介して超伝導体を配置し、必要に応じて加圧して、接続処理することを特徴とする低抵抗複合導体の製造方法。

(53) 前記常伝導導体が半田である前記(52)記載の低抵抗複合導体の製造方法。

(54) 常伝導導体表面の一部又は全部に、常伝導体を介して超伝導体を配置し、必要に応じて加圧した後、減圧雰囲気又は真空中で熱処理することを特徴とする低抵抗複合導体の製造方法。

(55) 前記常伝導導体が、銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金、銀、銀合金、金、又は、金合金のペースト又は箔である前記 (52) 又は (54) に記載の低抵抗複合導体の製造方法。

(56) 前記超伝導体の表面に、銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金、銀、銀合金、金、又は、金合金の 1 種又は 2 種以上の被覆を形成する前記 (52) ~ (55) のいずれかに記載の低抵抗複合導体の製造方法。

(57) 前記 (37) ~ (50) のいずれかに記載の低抵抗複合導体を、少なくとも一部に配したことを特徴とする通電用部材又は電流リード。

(58) 前記 (57) に記載の通電用部材又は電流リードを有することを特徴とする超伝導トランス又は磁場発生装置。

[図面の簡単な説明]

図 1 は、2 並列に超伝導体を交互に接続した低抵抗導体の一例を示す図である。

図 2 は、3 並列に超伝導体を交互に接続した低抵抗導体の一例を示す図である。

図 3 は、超伝導体を交互に  $L_1$  の間隔を置いて接続した低抵抗導体の一例を示す図である。(a) は、上下に配置した一例を示す。

(b) は、上方に配置した一例を示す。

図 4 は、複数の超伝導体を接続した低抵抗導体の断面を模式的に示す図である。

図 5 は、2 層に矩形の板状超伝導体を交互に接続した板状低抵抗導体の一例を示す図である。

図 6 は、2 層に矩形の板状超伝導体を交互に接続した板状低抵抗導体の抵抗値の等価回路を示す図である。

図7は、板状超伝導体の一例とそれを接続した板状低抵抗導体を示す図である。(a)は、六角形状の板状超伝導体の一例を示す。

(b)は、2層に六角形状の板状超伝導体を交互に接続した板状低抵抗導体の一例で、板の厚み方向から見た配列を示す(点線は上層、実線はこれに隣接する下層の配列を示す)。

図8は、板状超伝導体の他の例と、それを接続した板状低抵抗導体を示す図である。(a)は、長方形の板状超伝導体の一例を示す。(b)は、2層に長方形の超伝導体を接続した板状低抵抗導体の例で、板の法線方向から見た配列を示す(点線は上層、実線はこれに隣接する下層の配列を示す)。

図9は、板状超伝導体の他の例とそれを接続した低抵抗体を示す図である。(a)は、円弧状の板状超伝導体の一例を示す。(b)は、円弧状の板状超伝導体を接続した円弧状低抵抗導体の例(点線は上層、実線はこれに隣接する下層の配列を示す)を示す。(c)は、円弧状の板状超伝導体を交互に積層した円筒状低抵抗導体の例を示す。

図10は、他の形状の低抵抗導体の一例を示す図である。(a)は、多層に矩形の板状超伝導体を交互に接続したブロック状低抵抗導体の例を示す。(b)は、ブロック状低抵抗導体から切り出して中線りした中空半球状低抵抗導体を示す。

図11は、折れ曲がり部材と棒状部材を組み合わせて接続したコイルの一例を示す図である。(a)は、表面から見た様子(黒い部分が2種類(長、短)の棒状超伝導部材)を示す。(b)は、裏面から見た様子(黒い部分が折れ曲がり部材。斜線の部材を除いて1種類からできている)を示す。

図12は、導体に通電したときの電流分布を示す図である。(a)は、均質な良導体に通電したときの電流分布を示す。(b)は、均

質な常伝導体に超伝導体を接続したときの電流分布を示す。

図13は、複合導体の一例を示す図である。(a)は、常伝導体に複数の超伝導体を接続した複合導体を示す。(b)は、常伝導体に千鳥状に超伝導体を接続した複合導体を示す。

図14は、実施例1で作製した棒状超伝導体と結晶方位との関係を示す図である。

図15は、複数の超伝導体を接続した低抵抗導体の断面形状を模式的に示す図である。(a)は、2本並列に超伝導体を交互に接続した低抵抗導体の断面形状を示す。(b)は、3本並列に超伝導体を交互に接続した低抵抗導体の断面形状を示す。(c)は、3本並列に超伝導体を交互に接続した低抵抗導体の断面形状を示す。

図16は、部材の一例を示す図である。(a)は、折れ曲がり部材の一例を示す。(b)は、湾曲した部材の一例を示す。

図17は、三重管に低抵抗導体を配置する態様を示す図である。(a)は、三重管、及び、三重管中に配置した低抵抗導体の断面を示す。(b)は、接続可能な三重管端部の構造を示す。

図18は、送電実験回路を示す図である。

図19は、トランスに用いた2次側低抵抗コイルの一例を示す図である。(a)は、表面から見たトランスに用いた2次側低抵抗コイル(折れ曲がり部材が見える)を示す。(b)は、裏面から見たトランスに用いた2次側低抵抗コイル(棒状部材が見える)を示す。

図20は、低抵抗導体を用いたトランスの構造を示す図である。

図21は、超伝導体と接続した複合導体の態様を示す図である。(a)は、常伝導体に3本の棒状超伝導体を直列に接続した複合導体を示す。(b)は、常伝導体に千鳥状に複数の棒状超伝導体を接続した複合導体を示す。(c)は、常伝導体に3枚の板状超伝導体を接続した複合導体を示す。

図22は、常伝導導体（Ag）に超伝導体を対称的に接続した複合導体を示す図である。

図23は、ステンレスで補強した常伝導導体（Cu）に超伝導体を接続した複合導体を示す図である。

〔発明を実施するための最良の形態〕

本発明は、有限の電気抵抗を有する常伝導体を介して比較的簡便に接合した導体およびその製造方法である。複数のバルク超伝導体を超伝導接続する技術は、特開平5-279028号公報、特開平6-40775号公報及び特開平7-17774号公報に開示されているが、上記超伝導接続は、結晶そのものを粒界又は弱結合なしに接続するものであり、結晶方位を3次元的に揃えることが必要である。

これに対し、本発明は、超伝導相である結晶の方位を3次元的に揃える必要はない。このため、導体の製造が極めて容易であり、工業上の効用は、極めて大きい。

なお、本発明における低抵抗導体は、超伝導転移温度より上の温度では良導体の性質を示さないが、その場合も含めて、本発明では低抵抗導体と呼ぶこととする。

以下に、（1）複数の超伝導体を2次元的に常伝導接続してなる線状および／又は棒状導体の低抵抗導体、（2）複数の超伝導体を3次元的に常伝導接続してなる板状および／又はブロック状導体の低抵抗導体、さらに、（3）常伝導導体表面の一部又は全体に少なくとも1個の超伝導体を接続してなる複合導体、の3種類の低抵抗導体に大別して説明する。

（1）複数の超伝導体を2次元的に常伝導接続してなる線状および／又は棒状導体の低抵抗導体

図 1 に示すような長さ  $L$  (m)、厚さ  $t$  (m)、幅  $w$  (m) の板状の超伝導素線を、 $t$  に比べ十分に薄い厚さ  $d$  (m) の常伝導物質を介して接続した十分に長い導体を考える。超伝導体 1 (S 1) と超伝導体 2 (S 2) の接続抵抗  $R_j$  ( $\Omega$ ) は、S 1 と常伝導体との接触抵抗  $R_{c1}$  と、S 2 と常伝導体との接触抵抗  $R_{c2}$  と、常伝導体の電気抵抗  $R_n$  の和であるから、

$$R_j = R_{c1} + R_{c2} + R_n$$

で示される。

各超伝導体と常伝導体との接触抵抗率を  $\rho_c$  ( $\Omega m^2$ ) とすると、

$$R_{c1} + R_{c2} = 4 \rho_c / L w$$

で示される。

また、 $R_n$  は、常伝導体の比抵抗を  $\rho_n$  ( $\Omega m$ ) とすると、

$$R_n = \rho_n 2d / L w$$

で示される。

通電電流が超伝導体の臨界電流に比べて十分に小さい、すなわち超伝導体中の電圧降下をゼロとすると仮定した場合、長さ  $nL$  の導体の抵抗  $R$  は、

$$R = 2nR_j$$

であり、したがって、超伝導体の超伝導転移温度以下におけるこのような導体の長手方向の見かけ上の比抵抗  $\rho^*$  ( $\Omega m$ ) は、

$$\rho^* = 2nR_j S / nL$$

で、見かけ上の断面積 ( $S$ ) が、 $2tw$  であるから、

$$\begin{aligned} \rho^* &= 4R_j tw / L \\ &= 8t (2\rho_c + \rho_n d) / L^2 \end{aligned}$$

となる。ただし、ここで、図 1 中に示す長さ方向の突合せ部分 1 は電氣的に接続されていないものとしている。

次に、図 2 に示すように、板状の超伝導体を 3 本並列に接続した

導体を同様に考える。2本並列の場合と同様の条件において、このような導体の  $\rho^*$  ( $\Omega m$ ) は、

$$\rho^* = 27 (2\rho_c + \rho_n d) t / 4L^2$$

となる。

これらの計算から、見かけ上の  $\rho^*$  は、 $t$  に比例し、かつ、 $L$  の二乗に反比例すること、また、 $d$  が小さいほど  $\rho^*$  が小さくなることがわかる。

さらに、図3 (a) に示すように、 $L_1$  の隙間を空けながら導体を構成した場合を同様に考える。この場合の  $\rho^*$  は、

$$\rho^* = 8 (2\rho_c + \rho_n d) t / (L^2 - L_1^2)$$

となり、同じ本数の導体で長さを稼ぐことはできるものの、比抵抗は大きくなってしまふことがわかる。また、図3 (b) に示すような導体においても、同様の傾向があることが分かる。

實際上、機械的強度を保つために、 $L_1$  は  $L$  の50%以下が望ましく、さらに、10%以下が望ましい。最も望ましい形態は、実質的に  $L_1$  がゼロであり、かつ、電氣的に低抵抗で接合されている状態である。

超伝導導体の長手方向における常伝導接続部を覆うように複数層の超伝導導体が配置されているとのことは、このように、 $L_1$  が  $L$  に対して十分に小さい導体が配置されていることを意味する。図1～図3では、矩形の断面を有する棒状の超伝導導体を例に挙げたが、断面形状が矩形である必要はない。

また、 $L_1$  の隙間に、さらに超伝導導体を配置し、電氣的な接続をすることは、機械的強度の向上および臨界電流近傍での通電特性の向上になるので望ましい。

このような導体の断面形状も種々の組み合わせが考えられる。具体例を図4に示す。



また、並列本数が多い場合、一本の超伝導体に臨界電流密度 ( $J_c$ ) の低い部分等の欠陥があった時の導体全体に及ぼす特性劣化の度合いは小さくなる。さらに、付き合わせ部にも導通を持たせることにより、見かけ上の比抵抗をより低下させ得ることは言うに及ばない。

(2) 複数の超伝導体を 3 次元的に常伝導接続してなる板状および／又はブロック状導体の低抵抗導体

3 次元的に接続した板状の低抵抗導体の場合、例えば、図 5 に示すように、一辺が  $L$  (m)、厚さ  $t$  (m) の板状の超伝導体を互いに接続箇所を覆うように、厚さ  $d$  (m) の常伝導相を介して 2 層に接続した十分に広い導体を考える。ただし、 $L \times L$  の面で接続し、厚み方向の面 ( $L \times t$ ) では電氣的に接続されないものとする。ここで、 $d$  は、 $t$  に対し十分に小さいとする。

このとき、 $m$  列  $n$  行目の超伝導導体は、周囲の超伝導導体と、図 6 で示すような等価回路で接続されていることになる。

また、 $m$  列  $n$  行目の超伝導導体と  $m+1$  列  $n+1$  行目の超伝導導体とは、接続面積  $S$  ( $m^2$ ) で接続されており、接続抵抗  $R_j$  ( $\Omega$ ) は、

$$R_j = 2 R_c + R_n$$

で示される。ここで、 $R_c$  は、超伝導体と常伝導体との接触抵抗であり、 $R_n$  は、常伝導体の抵抗である。

そして、 $R_c$ 、 $R_n$  は、それぞれ

$$R_c = 2 \rho_c / S$$

$$R_n = \rho_n d / S$$

で示される。ここで、 $\rho_c$  は、各超伝導体と常伝導体との接触抵抗率、 $\rho_n$  は常伝導体の比抵抗、 $S$  は接触面積である。

また、 $S$  は、一辺が  $L/2$  の四角形の面で重なっていると

、

$$S = L^2 / 4$$

となる。

したがって、このような約  $2 (m \times n)$  枚からなる板状導体の面内方向における超伝導転移温度以下での見かけ上の比抵抗  $\rho^*$  ( $\Omega m$ ) は、

$$\begin{aligned} \rho^* &= (R_j m / 4 n) \cdot 2 t n L / m L \\ &= R_j t / 2 \\ &= (2 \rho_c + \rho_n d) 2 t / L^2 \end{aligned}$$

となる。

これらの計算から、見かけ上の比抵抗は超伝導体の厚さに比例し、かつ、超伝導体の一辺の長さの二乗に反比例すること、また、 $d$  が小さいほど見かけ上の比抵抗が小さくなることがわかる。また、積層する層の数および束ね方により係数が幾分変化するものの同様な傾向があることが推測できる。

また、図5に示す低抵抗導体では、一辺  $L$  の超伝導体を密に敷き詰めたが、隙間  $L_1$  を設けて同様に接続し、板状の低抵抗導体を製造することができる。この場合、同じ超伝導体を用い、より広い面積の低抵抗導体を得られる利点があるが、見かけの比抵抗が増加する。

このように  $L_1$  の隙間を有して接続する場合、實際上、機械的強度を保つために、 $L_1$  は  $L$  の50%以下が望ましく、さらに10%以下が望ましい。最も望ましい形態は、実質的に  $L_1$  がゼロであり、かつ、電氣的に低抵抗で接合されている状態である。

図5では、一辺  $L$  の四角形状を有する板状の超伝導導体を例に挙げたが、任意の形状で構わない。また、 $L_1$  の隙間に、さらに超伝導体を配置し、電氣的な接続をすることは、機械的強度の向上およ

び臨界電流近傍での通電特性の向上になるので望ましい。

このような低抵抗導体の積層状態については、種々の場合が考えられる。具体例を図7～10に示す。

図7に、正六角形の超伝導体を密に敷き詰めた配置した低抵抗導体を示す。この低抵抗導体の配置においては、下層の3つの超伝導体の接点を上層の超伝導体が覆う配置になっている。

図8に、長方形の板状超伝導体を、上層と下層で長手方向が垂直になるように配置した低抵抗導体を示す。

図9に、リング形状を3分割した形状を有する超伝導体（図9（a））を、お互いに継ぎ目を覆うようにした円弧状低抵抗導体（図9（b））と、それと積層配置した円筒状の低抵抗導体（図9（c））を示す。このような低抵抗導体は、円筒内部が、磁気シールドされるので磁気シールド材として適している。

図10（a）に、長方形の板状超伝導体を多数積層したブロック状をなした3次元的に十分な拡がりを持つ低抵抗導体を示す。

このように積層数が多い場合、一枚の超伝導体に臨界電流密度（ $J_c$ ）の低い部分等の欠陥があった時の導体全体に及ぼす特性劣化の度合いは小さくなる。また、板の面積に対し厚さが大きくなるとブロック状導体となり、これを加工することにより種々の3次元形状を有する低抵抗導体を作製することが可能となる。具体例として、図10（b）に、図10（a）から切り出した中空の半球状の導体を示す。

さらに、突き合わせ部に導通を持たせることにより見かけ上の比抵抗をより低下させることは言うに及ばない。

上述のように、複数の超伝導体を2次元のおよび3次元的に常伝導接続してなる線状、棒状導体、板状および／又はブロック状導体の低抵抗導体において、見かけの比抵抗をより小さくするためには

、原理的に超伝導体の厚さ（ $t$ ）をより小さくすればよい。

実際の超伝導体の厚さとしては、薄片状のY系単結晶超伝導試料の厚さレベルの $20\mu\text{m}$ 以上、好ましくは、研削加工により製造可能な $100\mu\text{m}$ 以上、さらに好ましくは、容易にスライス切断が可能な $200\mu\text{m}$ 以上である。また、厚さの上限は特に限定するものではないが、見かけの比抵抗との兼ね合いから、 $10\text{mm}$ 以下が好ましい。

このように超伝導体を常伝導接続し、超伝導転移温度以下の冷却温度において、導体の見かけ上の比抵抗が冷却温度における銅の比抵抗より小さくなった場合、このような導体は、低抵抗導体として、種々の利点を持つことになる。特に、冷却の利便性から液体窒素を冷媒として得られる $77\text{K}$ 近傍での $\rho^*$ は、その導体の有用性を示す重要なパラメータとなる。

前述のように、本発明は、有限の電気抵抗を有する常伝導体を介して比較的簡便に接合された導体およびその製法に関するものである。一方、複数のバルク超伝導体を超伝導接続する技術は、溶剤を介し複数の超伝導体を結晶方位を揃え配置し、熱処理することにより溶剤部分を超伝導体から結晶成長させ、単結晶状の組織を作ることにより接続するものであり、超伝導体の結晶方位を3次元的に揃えることが基本的に必要である。

これに対し、本発明は、超伝導相である結晶の方位を3次元的に揃える必要はない。また、 $\rho^*$ を十分に小さくすることによって、実質的に完全超伝導体と同様の効用を得ようとするものである。

このような低抵抗体の $\rho^*$ を小さくするためには、各超伝導体間の実質的な接触面積を大きくする必要がある。そのためには、超伝導体の形状を棒状または板状とし、隣接する超伝導体の長手方向に略垂直な面同士および／または略平行な面同士が接触することが望ましい。また、通電方向を変えるためには、湾曲および屈曲した棒

状または板状とすることが必要になる。

低抵抗導体を構成する超伝導材料は、基板を有する薄膜超伝導体や、金属シースを有する線状又はテープ状の超伝導体であってもよい。望ましくは、臨界電流を低下させる粒界等を含まない単結晶状の材料がよい。

特に、 $\text{RE}_2\text{BaCuO}_5$ 相が微細分散した高い臨界電流密度を有する $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 系超伝導体が望ましい。このような超伝導体には、 $c$ 軸と垂直にマイクロクラックが発生しやすいことから、通電方向となる長手方向は、 $c$ 軸に垂直であることが望ましい。また、長手方向を通電方向とすることにより $\rho^*$ が低下することは、前記の $\rho^*$ に関する式から明らかである。

超伝導体と直接接触する金属としては、銅、銅合金、銀、銀合金、金、金合金、アルミニウム、又は、アルミニウム合金の1種又は2種以上を用いることができ、特に、高温での酸化性が低く、超伝導体との電氣的なじみがよく、かつ接触抵抗の低い、銀、銀合金、金又は金合金の1種又は2種以上が望ましい。

また、上記の接触抵抗の比較的小さな金属の被覆を超伝導体に被覆し、しかる後にしかるべき方法により接続することは、製造工程上有利である。この場合、金属被覆された超伝導体を接合する材料としては、錫及び鉛等を主成分とする半田と銀ペースト等の金属ペーストがある。

半田は、室温での局所的な加熱により容易に接合処理できるなど、簡便な作業で処理できる点が優れている。半田接続の場合、接続部の金属層の厚さは、通常 $100\sim 50\mu\text{m}$ 程度となる。

また、銀ペースト等の接着剤も次の点で優れている。銀ペーストを接着剤として用い、加熱処理により焼結させた場合は、銀そのものの比抵抗が小さいことや、焼結による接合部の金属層が収縮する

ことにより、 $25\ \mu\text{m}$ 以下の薄い金属層が得られるため、接続抵抗を半田接続に比べ低減できる。この焼結工程においては、ボイド除去の観点から、減圧雰囲気中又は真空中での加熱処理が望ましい。

超伝導体間の常伝導接続部の厚さは、より薄いことが望ましいが、超伝導体同士が直接接触する場合は、逆に、接触抵抗が大きくなる。10mm以下が好ましく、1mm以下がさらに好ましい。実質的には、超伝導体の表面粗度にも関連するが、平均値で $100\sim 2\ \mu\text{m}$ が望ましい。さらに望ましくは $50\sim 2\ \mu\text{m}$ である。より好ましくは $25\sim 2\ \mu\text{m}$ である。

低抵抗導体は、電極等を両端に取り付けることで電流リードとして機能する。電極材料としては、比抵抗が小さい銅、アルミ、銀等が望ましい。

断熱層中に冷却された低抵抗導体を配置することにより、電力供給用ケーブルを構成することができる。ここで、ケーブルとは、低抵抗導体を断熱層が取り囲んでいる導体を意味し、また、少なくとも低抵抗導体の両端に電極を有する導体を電流リードと呼ぶことにする。

また、低抵抗導体を用いコイルを作製する場合、円弧状の超伝導体を繋ぎ合わせてゆくことにより、従来の線材と同様の円筒状のコイルを作ることができるが、直線状の超伝導体と $360$ 度を $n$ 等分した角度の折れ曲がり部材（最低2種類の部材）を用いてコイルを作製することは、製造工程上極めて効率がよい。

図11に、折れ曲がり角度 $45$ 度（ $n=8$ ）の折れ曲がり部材を用いたコイルの一例を示す。この場合、1つの折れ曲がり部材を除いて3種類の超伝導体（短い棒状部材2、長い棒状部材3、折れ曲がり部材4）からなる部材で構成されている。

一般に強磁場中では、 $J_c$ が低下することから、コイルの内側では

比較的太い導体を用い、外周部では比較的細い導体を用いることが効率的である。また、希土類元素の組成によって磁場中での $J_c$ 特性が異なることから、外周部では低磁界中で高い臨界電流密度を有する材料を用い、内周部では高磁界中で高い臨界電流密度を有する材料を用いるなど、超伝導体の特性に合わせて希土類元素の組成を選択することが望ましい。

コイルに通電した場合、低抵抗導体には電磁気力が働くので、樹脂または繊維強化プラスチック等で補強する必要がある。また、抜熱を効率よく行うために、冷媒等が流れる冷却路を設けることが望ましい。

巻き線比の小さい二次側に、上記の低抵抗導体からなるコイルを用いることで、二次側に大電流が通電可能な変圧器を製作できる。このような変圧器は、大電流通電が可能な交流電源として機能する。

(3) 常伝導導体表面の一部又は全体に少なくとも1個の超伝導体を接続してなる複合導体

図12(a)に示すように、銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金、銀、銀合金、金、又は、金合金の良導体に代表される常伝導導体に通電した場合、通電流は、抵抗値が最小になるように、導体内をほぼ均一に流れる。

図12(b)に示すように、常伝導導体の表面に超伝導体の一部又は全部を電氣的に接続し、超伝導体の超伝導転移温度以下に冷却した場合、通電電流は、導体全体を均一に流れるのではなく、導体全体の抵抗値が最小になるように、抵抗がゼロの超伝導体により高い電流密度で流れようとする。

超伝導体への分流の割合は、超伝導体と常伝導導体との接触抵抗、超伝導体の臨界電流や常伝導導体の比抵抗等によって変化し、超

伝導体の臨界電流以下の通電においては、接触抵抗が小さいほど、また、常伝導導体の比抵抗が大きいほど、超伝導体への分流割合は大きくなる。電気抵抗がゼロである超伝導体への分流が大きいほど、複合導体全体としての抵抗は減少し、それに応じて複合導体内での発熱も減少する。

超伝導体と常伝導導体との接触抵抗を減らすには、接触面積を大きく取るようにすればよく、超伝導体および常伝導導体の少なくとも一方が、平面を有し、この平面内において接続されていることが望ましい。さらに、体積当たりの表面積を大きくするために、超伝導体および常伝導導体の少なくとも一方が、棒状又は板状の形状を有し、かつ、超伝導体の少なくとも片面の全面が常伝導導体と接合していることが望ましい。

超伝導体の材質は、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 系超伝導体（ここで、REはYを含む希土類元素の1種類又はその組合せ）が望ましく、単結晶状の $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 系に $\text{RE}_2\text{BaCuO}_5$ が微細分散した組織を有するバルク材料が望ましい。また、 $a-b$ 面内にマイクロクラックが入りやすいことから、単結晶状の $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 超伝導相の $c$ 軸がバルク超伝導体の長手方向に対し垂直であることが望ましい。

複数の超伝導体を常伝導導体表面に配置する場合、図13(a)に示すように、直列に配置することが望ましい。さらに、望ましくは、図13(b)に示すように複数の超伝導体の列を千鳥状に配置し、超伝導体同士の隙間（図中の $d$ および $g$ ）を小さくし、極力超伝導体に電流が多く流れるようにすることが望ましい。

常伝導導体の材質は、安価で抵抗率の低い銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金、銀、銀合金、金、又は、金合金が特に望ましい。さらに、耐酸化性の観点では銀が、また、軽量化の観点ではアルミニウムが優れている。



常伝導導体の熱膨張率と超伝導体の熱膨張率は一般に異なり、また、超伝導体と常伝導導体とを接続した時点での温度と接続された導体を冷却した時点での温度が一般に異なるため、超伝導体および常伝導導体中には応力が働く。この応力が大きい場合、導体が反ったり、超伝導体が破損する可能性がある。したがって、常伝導導体の表面に超伝導体を接続する等の応力が対称的にバランスするような対称的な配置が望ましい。また、高剛性の材料により低抵抗複合導体そのものを補強することは、さらに望ましい。

超伝導体と銀または銀合金との接触抵抗は、比較的容易に小さくすることができる。そのため、予め超伝導体の表面上に銀被膜を設けておき、被膜を有する面を常伝導体表面に接続することが望ましい。

このような超伝導体を常伝導導体に半田等を用いて接続する場合、半田は一般に銅、銀、アルミニウム等の良導体に比べ比抵抗が大きいいため、極力半田等の超伝導体と常伝導導体の間に存在する金属層の厚さは、薄いことが望ましい。具体的には、加圧状態での接続によって得られる  $100\ \mu\text{m}$  以下である。

超伝導体と常伝導導体との接続方法には、大別して、錫および鉛等を主成分とする半田による方法と銀ペースト等の金属ペーストによる方法とがある。半田は、室温での局所的な加熱により容易に接合処理できるなど、簡便な作業で処理できる点が優れている。

半田接続の場合、接続部の金属層の厚さは、通常  $100\sim 50\ \mu\text{m}$  程度となる。また、銀ペースト等の接着剤も次の点で優れている。銀ペーストを接着剤として用い、加熱処理により焼結させた場合は、銀そのものの比抵抗が小さいことや、焼結による接合部の金属層が収縮することにより、 $25\ \mu\text{m}$  以下の薄い金属層が得られるため接続抵抗を半田接続に比べ低減できる。この焼結工程においては、ボイ

ド除去の観点から、減圧雰囲気中又は真空中での加熱処理が望ましい。

前述の低抵抗複合導体は、抵抗が小さく、発熱が小さいため、超伝導体又は超伝導コイルに通電するための通電用部材又は電流リードとして応用が可能である。

また、このような電流リードは、超伝導転移温度以下での冷却を必要とする超伝導トランスや直冷式または伝導冷却式の超伝導マグネット等の磁場発生装置のリードとして優れている。

(実施例 1)

$Y_2O_3$ 、 $BaO_2$ 、 $CuO$ の各原料粉末を各金属元素のモル比 (Y : Ba : Cu) が (13 : 17 : 24) になるように混合し、さらに、この混合粉に 0.5質量%のPtを添加し、混合した原料粉末を作製した。この原料粉末を 900°C、酸素気流中で仮焼した。この仮焼粉をラバープレス機を用いて、2 ton/cm<sup>2</sup> の圧力で直径55mm、厚さ20mmの円盤状成形体に成形した。

これを大気中で1150°Cまで8時間で昇温し、1時間保持した。その後、Sm系の種結晶を用い、1040°Cで、盤面の法線がc軸にほぼ一致するように種結晶を配置した。しかる後、1005°Cに30分で降温し、さらに、970°Cまで220時間かけて徐冷し、結晶成長を行った。続いて、室温まで20時間で冷却した。

得られた直径約46mmの円柱状のY系バルク材を、厚さ0.6mmにスライス加工し、さらに、幅2.0mm、長さ40mmに加工し、棒状試料 (棒状超伝導体) を作製した。

このようにして得られた材料は、単結晶状の  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  相中に 1 μm 程度の  $Y_2BaCuO_5$  相が微細分散した組織を有していた。棒状試料 (棒状超伝導体) と、 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  相の結晶方位との関係を図14に示す。

これらの棒状試料表面に、銀をスパッタにより約  $2 \mu\text{m}$  成膜した後、酸素気流中でアニール処理した。アニール処理は、室温から  $600^\circ\text{C}$  まで6時間で昇温し、1時間保持した後、 $450^\circ\text{C}$  まで2時間で降温し、さらに、 $380^\circ\text{C}$  まで60時間で降温し、次いで室温まで12時間かけて冷却して行った。

これらの棒状試料を、図1に示した配置で、銀を含有する半田を用いて電氣的に接続し、図15(a)～(c)に示す断面を有する、約1mの低抵抗導体を作製した。このとき、通常の半田付けでは金属層の厚さが  $100 \mu\text{m}$  程度になったが、加圧しながら半田を固化させることにより、金属層の厚さを約  $50 \mu\text{m}$  まで低減することができた。そして、それぞれの接続方法により作製した低抵抗導体に電流導入端子及び電圧端子を取り付け、その後、液体窒素中に浸し、超伝導体を超伝導状態にした。

上記3種類の低抵抗導体に  $500\text{A}$  通電して抵抗を測定したところ、それぞれ、 $1.25 \times 10^{-5} \Omega$ 、 $0.69 \times 10^{-5} \Omega$ 、 $0.75 \times 10^{-5} \Omega$  であり、見かけの抵抗率は、それぞれ、 $3.0 \times 10^{-11} \Omega\text{m}$ 、 $2.5 \times 10^{-11} \Omega\text{m}$ 、 $2.7 \times 10^{-11} \Omega\text{m}$  であり、銅の液体窒素温度 ( $77\text{K}$ ) での抵抗率 ( $2.5 \times 10^{-9} \Omega\text{m}$ ) に比べ、約2桁低い抵抗率を示すことがわかった。

#### (実施例2)

原料粉末を  $\text{Y}_2\text{O}_3$  から  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  に変えただけで、実施例1と同様の方法により、Dy系のバルク材料を作製した。これを厚さ  $0.6\text{mm}$  にスライス切断した後、図14に示すような棒状材料と共に、図16(a)及び図16(b)に示すような湾曲及び折れ曲がり形状を有する棒状材料に加工した。

これらを、実施例1と同様に表面に銀を成膜した後、各部材を組み合わせて、全長約1mのL字型の低抵抗導体を作製した。このと

き、超伝導体間の接続は、図1に示す要領で半田を用い、実施例1と同様に行った。このときの接続部において、銀のコーティング層は $5\mu\text{m}$ で、半田層は約 $50\mu\text{m}$ であった。

上記2種類の低抵抗導体に $500\text{A}$ 通電して抵抗を測定したところ、それぞれ、約 $1.3\times 10^{-5}\Omega$ であり、見かけの抵抗率は約 $3.0\times 10^{-11}\Omega\text{m}$ であり、銅の液体窒素温度( $77\text{K}$ )での抵抗率に比べ、約2桁低い抵抗率を示すことがわかった。

このようなケーブルまたは導体は、電流リードとして機能していることになる。

#### (実施例3)

実施例1で作製した低抵抗導体8の端部に銅電極を接続してから絶縁被覆5を施した後、図17(a)に示すように三重管の中心に挿入した。三重管を直列接続する端部(フランジ9とリング10からなる)は、図17(b)に示す構造を有し、これは、周囲とは絶縁された銅電極11と液体窒素流路6、12を真空断熱層7が覆う構造になっている。

このようなケーブル13を5本直列接続し、さらに、負荷15および直流電源14を接続することで、図18に示す送電実験回路を作製した。この負荷15に $500\text{A}$ 通電したところ、1本のケーブル内で発生した送電損失は約 $3.2\text{W}$ であり、ケーブルの太さ(三重管の外径)を有する銅線の室温での損失(約 $120\text{W}$ )と比較して、約 $1/40$ 程度に低減することができた。

#### (実施例4)

実施例1及び実施例2に記載の方法により、Y系及びDy系の直径約 $46\text{mm}$ の円柱状のバルク材を作製した。これらを $1.0\text{mm}$ にスライス切断した後、Y系材料から幅 $1.9\text{mm}$ を、Dy系材料から $2.2\text{mm}$ の直線状の棒状材料及び $45$ 度の折れ曲がり角度を有する棒状材料を作製し

、これらに銀被覆を施した後、実施例 1 記載のアニール方法により酸素付加処理を行った。

それらを半田により電氣的に接続した。このとき、半田層の厚さは、約 $60\mu\text{m}$ であり、また銀コーティングの厚さは $5\mu\text{m}$ であった。

内側が幅 $2.2\text{mm}$ の導体を5回巻いたコイルで、外側が幅 $1.9\text{mm}$ の導体を用いた8回巻きのパンケーキコイル（最内径 $62\text{mm}$ 、最外径 $138\text{mm}$ ）を、厚さ $0.4\text{mm}$ のガラス繊維強化プラスチック（FRP）上に、図19（a）及び図19（b）に示す要領で折れ曲がり部材16または棒状部材17を接続して作製した。

このFRPには、直径 $2\text{mm}$ の穴が格子状に明けられており、この穴が液体窒素流路となる。FRPと導体との接着には、数 $\mu\text{m}$ のフィラーを20体積%程度含む樹脂を用いた。このようなパンケーキコイルを31枚積層し、各パンケーキコイルが発生する磁場が強め合う方向に電氣的に接続し、高さ約 $80\text{mm}$ の積層コイルを作製した。このとき、各パンケーキコイルの内側及び外側の端子同士を接続するように、一層毎に渦巻きの方向が逆になるように接続した。

積層コイルに電流導入端子を接続した後、液体窒素に浸し冷却した。500A通電したときに、コイル内の発生電圧は $1.5\text{V}$ であり、中心部で約 $2.0\text{T}$ の磁場を発生した。この時、発熱による電圧上昇は無く、長時間通電してもコイルが焼損することは起きなかった。

このように、低抵抗導体を用いることにより、簡便に強力な磁場を発生できることが分かった。

#### （実施例 5）

実施例 1 に記載の方法により、Y系の直径約 $46\text{mm}$ の円柱状のバルク材を作製した。これを $1.5\text{mm}$ にスライス切断した後、幅 $3.0\text{mm}$ の直線状棒状材料及び $45$ 度の折れ曲がり角度を有する棒状材料を作製

し、これらに銀被覆を施した後、実施例 1 に記載のアニール方法により、酸素付加処理を行った。

それらを図 19 (a) 及び図 19 (b) に示すように、半田により電氣的に接続し、1 層 5 回巻きのソレノイドコイル (最内径 20mm、最外径 26mm) を作製した。このとき、半田層の厚さは約  $45 \mu\text{m}$  であり、また、銀コーティングの厚さは  $3 \mu\text{m}$  であった。

これを、図 20 に示すように、正八角形の断面を有する鉄芯 19 と鎖交させて低抵抗体 21 を介して接続してトランスの 2 次巻き線 20 とし、1 次巻き線 18 として被覆銅線を 500 回巻いた。このトランスを液体窒素中に浸し、1 次側にピーク値で 15 A の正弦波電流を通電し、2 次側で約 1500 A の正弦波が流れていることを確認した。これにより、このようなトランスが大電流通電可能な電源として機能することが明らかになった。

#### (実施例 6)

実施例 1 で作製した単結晶状の  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  相中に  $1 \mu\text{m}$  程度の  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  相が微細分散した組織を有する棒状材料の表面に、銀をスパッタにより約  $2 \mu\text{m}$  成膜した後、これらの棒状試料を図 1 に示した配置で銀ペーストを用いて接続し、図 15 (a) ~ (c) に示す断面を有する約 1 m の低抵抗導体を作製した。

この低抵抗導体を約  $1.3 \times 10^2 \text{ Pa}$  の減圧下において約  $900^\circ\text{C}$  で約 1 時間加熱し、銀ペーストの銀粒子と棒状材料表面の銀の膜とを焼結させた。このときの銀層の厚さは、合計で約  $25 \mu\text{m}$  であった。

その後、室温から  $600^\circ\text{C}$  まで 6 時間で昇温し、1 時間保持した後、 $450^\circ\text{C}$  まで 2 時間で降温し、さらに  $380^\circ\text{C}$  まで 60 時間で降温し、室温まで 12 時間で冷却し、酸素アニール処理を行った。

それぞれの接続方法により作製された導体に、電流導入端子および電圧端子を取り付けた後、液体窒素中に浸し、超伝導体を超伝導

状態にした。

上記3種類の低抵抗導体に500A通電し、抵抗を測定したところ、それぞれ、 $1.25 \times 10^{-6} \Omega$ 、 $0.76 \times 10^{-6} \Omega$ 、 $0.72 \times 10^{-6} \Omega$ であり、見かけの抵抗率は、それぞれ、 $3.0 \times 10^{-12} \Omega \text{ m}$ 、 $2.8 \times 10^{-12} \Omega \text{ m}$ 、 $2.7 \times 10^{-12} \Omega \text{ m}$ であり、銅の液体窒素温度(77K)での抵抗率( $2.5 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$ )に比べ、約3桁低い抵抗率を示すことがわかった。

(実施例7)

厚さ0.5mmのMgO基板に厚さ1 $\mu\text{m}$ の $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ を成膜し、さらに保護膜として、銀(Ag)をスパッタにより約5 $\mu\text{m}$ 成膜した。このとき、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ のc軸は、基板の法線と平行であった。この薄膜材料を、幅2.0mm、長さ40mmに加工し、棒状試料を作製した。これらの棒状試料を、図1に示したように基板が外側になるようにAg膜面同士を銀ペーストを用いて接続し、図15(a)に示す断面を有する約1mの低抵抗導体を作製した。

この低抵抗導体を約 $1.3 \times 10^2 \text{ Pa}$ の減圧下において約900°Cで約1時間加熱し、銀ペーストの銀粒子と棒状材料表面の銀膜とを焼結させた。このときの銀層の厚さは、合計で約20 $\mu\text{m}$ であった。

その後、室温から600°Cまで6時間で昇温し、1時間保持した後、450°Cまで2時間で降温し、さらに380°Cまで、60時間で降温、室温まで12時間で冷却し、酸素アニール処理を行った。

このようにして作製された導体に、電流導入端子及び電圧端子を取り付けた後、液体窒素中に浸し、超伝導体を超伝導状態にした。

上記の低抵抗導体に10A通電し、抵抗を測定したところ、 $1.25 \times 10^{-6} \Omega$ であり、見かけの抵抗率は $3.0 \times 10^{-12} \Omega \text{ m}$ で、銅の液体窒素温度(77K)での抵抗率( $2.5 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$ )に比べ、約3桁低い抵抗率を示すことがわかった。

## (実施例 8)

$Y_2O_3$ ,  $BaO_2$ ,  $CuO$ の各原料粉末を各金属元素のモル比 (Y : Ba : Cu) が (13 : 17 : 24) になるように混合し、さらに、この混合粉に 0.5質量%のPtを添加し、混合した原料粉末を作製した。この原料粉末を  $900^{\circ}C$ 、酸素気流中で仮焼した。この仮焼粉をラバープレス機を用いて、 $2 \text{ ton/cm}^2$  の圧力で直径55mm、厚さ20mmの円盤状成形体に成形した。

これを大気中で $1150^{\circ}C$ まで8時間で昇温し、1時間保持した。その後、Sm系の種結晶を用い、 $1040^{\circ}C$ で、盤面の法線がc軸にほぼ一致するように種結晶を配置した。しかる後、 $1005^{\circ}C$ に30分で降温し、さらに  $970^{\circ}C$ まで 220時間かけて徐冷し結晶成長を行った。続いて、室温まで20時間で室温まで冷却した。得られた材料を厚さ 1.0 mmにスライス加工し、 $30\text{mm} \times 30\text{mm} \times 1 \text{ mm}$ の板状試料を作製した。

このようにして得られた材料は、単結晶状の  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  相中に  $1 \mu\text{m}$ 程度の $Y_2BaCuO_5$ 相が微細分散した組織を有していた。また、 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 相のc軸は板の法線 ( $30\text{mm} \times 30\text{mm}$ の面に垂直) 方向に対応していた。

これらの板状試料表面に、銀をスパッタにより約  $2 \mu\text{m}$ 成膜した後、酸素気流中でアニール処理した。アニール処理は、室温から  $600^{\circ}C$ まで6時間で昇温し、1時間保持した後、 $450^{\circ}C$ まで2時間で降温し、さらに  $380^{\circ}C$ まで60時間で降温し、室温まで12時間かけて冷却して行った。

これらの板状試料を図5に示した配置で銀を含有する半田を用いて電氣的に接続し、約  $500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 2 \text{ mm}$ の板状の導体を作製した。このとき、通常の半田付けでは金属層の厚さが  $100 \mu\text{m}$ 程度になったが、加圧しながら半田を固化させることにより、金属層の厚さを約  $50 \mu\text{m}$ まで低減することができた。そして、それぞれの接続



方法により作製された導体の向い合う辺の表裏に電流導入端子および電圧端子を取り付けた後、液体窒素中に浸し、超伝導体を超伝導状態にした。

完成した板状低抵抗導体に通電して抵抗を測定したところ、見かけの比抵抗は  $3.2 \times 10^{-11} \Omega \text{ m}$ 、銅の液体窒素温度 (77K) での比抵抗 ( $2.5 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$ ) に比べ約 2 桁低い比抵抗を示すことがわかった。

(実施例 9)

原料粉末を  $\text{Y}_2\text{O}_3$  から  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  に変えただけで、実施例 7 で述べた同様の方法により、Dy系のバルク材料を作製した。これを厚さ 0.6mm にスライス切断した後、図 7 (a) に示すような一辺の長さが 25mm の六角形の板状材料に加工した。これらの板状試料表面に銀を約  $2 \mu \text{ m}$  スパッタにより成膜した。これらを図 7 (b) に示す配置で、約  $500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 1.3\text{mm}$  の板状導体を作製した。このとき、接続は、銀ペーストを塗布した後、この板状導体を約  $1.3 \times 10^2 \text{ Pa}$  の減圧下において約  $900^\circ\text{C}$  で約 1 時間加熱し、銀ペーストの銀粒子と棒状材料表面の銀の膜とを焼結させた。このときの銀の層の厚さは約  $25 \mu \text{ m}$  であった。

その後、室温から  $600^\circ\text{C}$  まで 6 時間で昇温し、1 時間保持した後、 $450^\circ\text{C}$  まで 2 時間で降温し、さらに  $380^\circ\text{C}$  まで 60 時間で降温、室温まで 12 時間で冷却し、酸素アニール処理を行った。

完成した板状低抵抗導体に通電し抵抗を測定したところ、見かけの比抵抗は  $2.8 \times 10^{-11} \Omega \text{ m}$ 、銅の液体窒素温度 (77K) での比抵抗 ( $2.5 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$ ) に比べ約 2 桁低い比抵抗を示すことがわかった。

(実施例 10)

実施例 7 の原料粉に約 15 質量% の銀粉をさらに混合し、実施例 1

で述べた同様の方法により、銀添加されたY系のバルク材料を作製した。これを厚さ 3.0mmにスライス切断した後、図9(a)に示すような外径50mm、内径40mmのリングを3分割した形状に加工した。

これらの板状試料表面に銀をスパッタにより約2  $\mu$ m成膜した。これらを図9(b)に示す配置で、高さ約60mmのリング状導体(図9(c))を作製した。このとき、接続は、銀ペーストを塗布した後、この板状導体を約 $1.3 \times 10^2$  Paの減圧下において約900°Cで約1時間加熱し、銀ペーストの銀粒子と棒状材料表面の銀の膜とを焼結させた。このときの銀の層の厚さは約25  $\mu$ mであった。

その後、室温から600°Cまで6時間で昇温し、1時間保持した後、450°Cまで2時間で降温し、さらに380°Cまで60時間で降温、室温まで12時間で冷却し、酸素アニール処理を行った。

得られたリング状導体内の中央部にホール素子を配置し、液体窒素温度(77K)に冷却した後、外部からピーク値0.4T、0.1Hzの交流磁場を印加した。磁場の印加方向は、リングの軸方向に対応させた。このときリング中央の磁場は、0.001T以下であり、リング内の磁場が極めて良くシールドされていることが分かった。

#### (実施例11)

実施例7の原料粉において、 $Y_2O_3$ を $Gd_2O_3$ に変えて、さらに銀を15質量%添加し、実施例1で作製したように円盤状成型体を作製した。

これを0.1原子%酸素の窒素雰囲気中で1150°Cまで8時間で昇温し、1時間保持した。その後、Sm系の種結晶を用い、1040°Cで、盤面の法線がc軸にほぼ一致するように種結晶を配置した。しかる後1005°Cに30分で降温し、さらに970°Cまで220時間かけて徐冷し結晶成長を行った。続いて室温まで20時間で室温まで冷却した。得られた銀添加されたGd系バルク材を、厚さ1.0mmにスライス加工し、

30mm×20mm×2mmの板状試料を作製した。

このようにして得られた材料は、単結晶状の $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 相中に1 $\mu\text{m}$ 程度の $\text{Gd}_2\text{BaCuO}_5$ 相が微細分散した組織を有していた。 $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 相のc軸は板の法線(30mm×30mmの面に垂直)方向に対応していた。

板状材料表面に銀を約2 $\mu\text{m}$ スパッタにより成膜した後、これらの板状試料を図10(a)に示す配置で銀ペーストを用いて接続し、約200mm×150mm×100mmのブロック状の低抵抗導体を作製した。

この導体を約 $1.3\times 10^2\text{Pa}$ の減圧下において約900℃で約1時間加熱し、銀ペーストの銀粒子と棒状材料表面の銀の膜とを焼結させた。このときの銀の層の厚さは約25 $\mu\text{m}$ であった。

その後、室温から600℃まで6時間で昇温し、1時間保持した後、450℃まで2時間で降温し、さらに380℃まで60時間で降温、室温まで12時間で冷却し、酸素アニール処理を行った。

完成したブロック状低抵抗導体を液体窒素中に浸し、長手方向(ブロック状導体の200mmの方向)の抵抗を測定したところ、見かけの比抵抗は $3.8\times 10^{-11}\Omega\text{m}$ であり、銅の液体窒素温度(77K)での比抵抗( $2.5\times 10^{-9}\Omega\text{m}$ )に比べ十分に低い比抵抗を示すことがわかった。

#### (実施例12)

$\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{BaO}_2$ と $\text{CuO}$ の各原料粉末を各金属元素のモル比(Y:Ba:Cu)が(13:17:24)になるように混合し、さらに、この混合粉に0.5質量%のPtを添加し、混合した原料粉末を作製した。この原料粉末を900℃、酸素気流中で仮焼した。この仮焼粉をラバープレス機を用いて、2ton/cm<sup>2</sup>の圧力で直径55mm、厚さ20mmの円盤状成形体に成形した。

これを大気中で1150℃まで8時間で昇温し、1時間保持した。そ

の後、Sm系の種結晶を用い、1040℃で盤面の法線がc軸にほぼ一致するように種結晶を配置した。しかる後、1005℃に30分で降温し、さらに970℃まで220時間かけて徐冷し、結晶成長を行った。続いて20時間で室温まで冷却した。得られた材料を厚さ1.0mmにスライス加工し、さらに30mm×2mm×1mmの棒状バルク超伝導材料および25mm×8mm×1mmの板状バルク超伝導材料を作製した。

このようにして得られた材料は、単結晶状の $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 相中に1μm程度の $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$ 相が微細分散した組織を有していた。また、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 相のc軸は棒表面の平面法線および板面の法線方向に対応していた。

これらの板状試料表面に銀をスパッタにより約2μm成膜した後、酸素気流中でアニール処理した。アニール処理は、室温から600℃まで6時間で昇温し、1時間保持した後、450℃まで2時間で降温し、さらに380℃まで60時間で降温し、室温まで12時間かけて冷却して行った。

これらの板状試料および棒状試料を図21(a)、(b)及び(c)に示した配置で150mm×8mm×5mmサイズの銅の常伝導導体に銀を含有する半田を用いて電氣的に接続し、低抵抗複合導体を作製した。このとき、通常の半田付けでは金属層の厚さが100μm程度になったが、加圧しながら半田を固化させることにより銅と超伝導体間の金属層の厚さを、約50μmまで低減することができた。

そして、それぞれの接続方法により作製された低抵抗複合導体に電流導入端子および電圧端子を取り付けた後、液体窒素中に浸し、超伝導体を超伝導状態にした。

完成した各低抵抗複合導体に通電し、液体窒素温度(77K)での抵抗を測定し、見かけ状の比抵抗を計算したところ、それぞれ、 $1.2 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$ 、 $1.0 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$ 、 $0.56 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$ であった。銅の常

伝導導体のみの場合の比抵抗は、 $2.5 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$ であり、この比抵抗に比べ、十分に低い値を示すことがわかった。

(実施例13)

原料粉末を $\text{Y}_2\text{O}_3$ から $\text{Dy}_2\text{O}_3$ に変えることで、実施例11で述べた同様の方法により、Dy系のバルク材料を作製した。これを厚さ0.6mmにスライス切断した後、 $30\text{mm} \times 2.5\text{mm} \times 0.6\text{mm}$ の棒状試料を作製した。このようにして得られた材料は、単結晶状の $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 相中に $1 \mu\text{m}$ 程度の $\text{Dy}_2\text{BaCuO}_5$ 相が微細分散した組織を有していた。また、 $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 相のc軸は棒表面の平面法線および板面の法線方向に対応していた。

これらの棒状試料表面にスパッタ法により厚さ $2 \mu\text{m}$ の銀を成膜し、その後、図22に示すように $150\text{mm} \times 7\text{mm} \times 5\text{mm}$ の銀の常伝導導体の対向する2面に銀ペーストを用いて電氣的に接続し、さらに、約 $1.3 \times 10^2 \text{ Pa}$ の減圧下において約 $900^\circ\text{C}$ で約1時間加熱し、銀ペーストの銀粒子と棒状材料表面の銀の膜及び銀の常伝導導体とを焼結させた。その後、室温から $600^\circ\text{C}$ まで6時間で昇温し、1時間保持した後、 $450^\circ\text{C}$ まで2時間で降温し、さらに $380^\circ\text{C}$ まで60時間で降温、室温まで12時間で冷却し、酸素アニール処理を行い低抵抗複合導体を作製した。

完成した各低抵抗複合導体を液体窒素で冷却し、 $77\text{K}$ での電気抵抗を測定し、見かけの比抵抗を計算したところ、 $0.6 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$ であった。銀の常伝導導体のみの場合の比抵抗は、 $2.6 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$ であり、この比抵抗に比べ十分に低い値を示すことがわかった。

(実施例14)

銀を15質量%添加し、さらに $\text{Y}_2\text{O}_3$ を $\text{Gd}_2\text{O}_3$ に変えて、実施例11で作製したように円盤状成型体を作製した。

これを0.1原子%酸素の窒素雰囲気中で $1150^\circ\text{C}$ まで8時間で昇温

し、1時間保持した。その後、Sm系の種結晶を用い、1040°Cで盤面の法線がc軸にほぼ一致するように種結晶を配置した。しかる後、1005°Cに30分で降温し、さらに970°Cまで220時間かけて徐冷し結晶成長を行った。続いて室温まで20時間で室温まで冷却した。

得られた銀添加されたGd系バルク材を、厚さ1.5mmにスライス加工し、30mm×2.5mm×1.5mmの棒状試料を作製した。

このようにして得られた材料は、単結晶状の $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 相中に1 $\mu\text{m}$ 程度の $\text{Gd}_2\text{BaCuO}_5$ 相が微細分散した組織を有していた。また、 $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 相のc軸は棒表面の最も広い平面の法線方向に対応していた。

板状材料表面に銀を約2 $\mu\text{m}$ スパッタにより成膜した後、室温から600°Cまで6時間で昇温し、1時間保持した後、450°Cまで2時間で降温し、さらに380°Cまで60時間で降温、室温まで12時間で冷却し、酸素アニール処理を行った。

次に、図23に示すように、2枚の厚さ2mmのステンレス板22で補強された銅の常伝導導体に超伝導体を半田を用いて接続し、低抵抗複合導体を作製した。

完成した低抵抗複合導体を液体窒素で冷却し、77Kでの電気抵抗を測定し、見かけの比抵抗を計算したところ、 $0.59 \times 10^{-9} \Omega\text{m}$ であった。銅の常伝導導体のみの場合の比抵抗は、 $2.5 \times 10^{-9} \Omega\text{m}$ であり、この比抵抗に比べ、十分に低い値を示すことがわかった。

#### (実施例15)

実施例12で作製した低抵抗複合導体を2本電流リードとして、既存の直冷式超伝導マグネットの電流リードに取り付けた。取り付け箇所は、既存のBi系電流リードの低温端側であり、既存の銅製のリードの一部を切り取った後、取り付けた。

10Tの磁場を発生するために70Aを連続通電し、低抵抗導体の有

無による超伝導マグネットの到達冷却温度を比較した。低抵抗複合導体を挿入しない状態では、到達温度は 4.5K であったのに対し、低抵抗導体を挿入した場合は 4.1K にまで到達した。

この結果から、前記の低抵抗複合導体は、電流リードとして機能し、直冷式マグネットの性能を高めることが分かった。

〔産業上の利用可能性〕

以上述べたように、本発明は、実質的に銅の比抵抗より小さい低抵抗の導体およびその製造方法並びにこれを用いた種々の電気機器を提供するものであり、その工業的効果は甚大である。

## 請 求 の 範 囲

1. 複数の超伝導体を常伝導接続してなる導体であって、該超伝導体の超伝導転移温度以下における該導体の見かけ上の比抵抗が、該超伝導転移温度における銅の比抵抗より低いことを特徴とする超伝導体を用いた低抵抗導体。

2. 前記導体が、複数の超伝導体を2次元的に常伝導接続してなる線状および／又は棒状の導体である請求の範囲1記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

3. 前記導体が、複数の超伝導体を3次元的に常伝導接続してなる板状および／又はブロック状の導体である請求の範囲1記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

4. 複数の超伝導体を常伝導接続してなる導体であって、77Kにおける該導体の見かけ上の比抵抗が、77Kにおける銅の比抵抗より低いことを特徴とする超伝導体を用いた低抵抗導体。

5. 前記導体が、複数の超伝導体を2次元的に常伝導接続してなる線状および／又は棒状の導体である請求の範囲4記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

6. 前記導体が、複数の超伝導体を3次元的に常伝導接続してなる板状および／又はブロック状の導体である請求の範囲4記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

7. 前記複数の超伝導体の一部又は全部がバルク超伝導体である請求の範囲1～6のいずれか1項に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

8. 前記複数のバルク超伝導体の一部又は全部が、棒状又は板状の形状を有する請求の範囲7記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

9. 前記複数のバルク超伝導体の一部が、湾曲及び／又は屈曲し



た棒状又は板状の形状を有する請求の範囲7又は8に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

10. 前記バルク超伝導体の一部又は全部が、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 系超伝導体（ここで、REはYを含む希土類元素の1種類又はその組合せ）である請求の範囲7～9のいずれか1項に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

11. 前記バルク超伝導体の長手方向が、該超伝導体の結晶学的方位においてc軸と垂直方向である請求の範囲10記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

12. 前記複数の超伝導体の常伝導接続の一部又は全部が、隣接する超伝導体の長手方向に略垂直な面同士及び／又は略平行な面同士を接合したものである請求の範囲1～6のいずれか1項に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

13. 前記超伝導体の長手方向における常伝導接続部を覆うように、複数層の超伝導体が配置されている請求の範囲12記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

14. 前記常伝導接続の一部又は全部が、金属を介して隣接する超伝導体を接合したものである請求の範囲12又は13に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

15. 前記金属が、銅、銅合金、銀、銀合金、金、金合金、アルミニウム、又は、アルミニウム合金の1種又は2種以上である請求の範囲14記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

16. 前記金属の厚みが  $100\ \mu\text{m}$ 以下である請求の範囲14又は15に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

17. 前記超伝導体の長手方向の一部又は全部が、通電方向である請求の範囲1～16のいずれか1項に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

18. 前記超伝導体間の距離が10mm以下である請求の範囲1～17のいずれか1項に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体。

19. 複数の超伝導体を常伝導体を介して配置し、必要に応じて加圧して、接続処理することを特徴とする低抵抗導体の製造方法。

20. 前記超伝導体を半田を用いて接続する請求の範囲19記載の低抵抗導体の製造方法。

21. 複数の超伝導体を常伝導体を介して配置し、必要に応じて加圧した後、減圧雰囲気又は真空中で熱処理することを特徴とする低抵抗導体の製造方法。

22. 前記超伝導体を、銅、銅合金、銀、銀合金、金、金合金、アルミニウム、又は、アルミニウム合金のペースト又は箔を用いて接続し、しかる後に加熱処理する請求の範囲19又は21に記載の低抵抗導体の製造方法。

23. 前記超伝導体の表面に、銅、銅合金、銀、銀合金、金、金合金、アルミニウム、又は、アルミニウム合金の1種又は2種以上の被覆を形成する請求の範囲19～22のいずれか1項に記載の低抵抗導体の製造方法。

24. 請求の範囲1～18のいずれか1項に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体を、少なくとも一部に配設したことを特徴とする通電用部材又は電流リード。

25. 前記低抵抗導体の両端部に、銅、アルミニウム、金、銀、又は、これらの合金からなる電極を接続した請求の範囲24記載の通電用部材又は電流リード。

26. 請求の範囲24又は25に記載の通電用部材又は電流リードを、少なくとも一部に配設したことを特徴とする電力供給用ケーブル。

27. 二重管以上の多重管のひとつの空間中心に、請求の範囲24又は25に記載の通電部材又は電流リードを配設し、その周りに、冷媒

が流れる空間を設けると共に、その外周に断熱層を設けたことを特徴とする電力供給用ケーブル。

28. 前記通電用部材又は電流リードに接続した電極同士を電氣的に接続すると共に、該接続電極部分を真空断熱層で被覆した請求の範囲26記載の電力供給用ケーブル。

29. 請求の範囲1～18のいずれか1項に記載の超伝導体を用いた低抵抗導体を巻き回して形成したことを特徴とするコイル。

30. 前記巻き回した低抵抗導体の通電方向に垂直な面の断面積が、外周部より内周部の方が大きい請求の範囲29記載のコイル。

31. 前記巻き回した低抵抗導体の超電位体が、異なる希土類組成を有する超伝導体を組み合わせたものである請求の範囲29記載のコイル。

32. 前記巻き回した低抵抗導体の間隙を冷媒流路とする請求の範囲29～31のいずれか1項に記載のコイル。

33. 前記巻き回した低抵抗導体を、樹脂及び／又は繊維強化プラスチックで補強した請求の範囲29～32のいずれか1項に記載のコイル。

34. 請求の範囲29～33のいずれか1項に記載のコイルを用いたことを特徴とする磁場発生装置。

35. 請求の範囲29～33のいずれか1項に記載のコイルを、少なくとも二次側に用いたことを特徴とする変圧器。

36. 請求の範囲29～33のいずれか1項に記載のコイルを、少なくとも二次側に用いたことを特徴とする交流電源。

37. 常伝導体表面の一部又は全体に少なくとも1個の超伝導体を接続してなる複合導体であって、該超伝導体の超伝導転移温度以下における該複合導体の見かけ上の比抵抗が、該超伝導転移温度における銅の比抵抗より低いことを特徴とする超伝導体を用いた低抵

抗複合導体。

38. 常伝導導体表面の一部又は全体に少なくとも1個の超伝導体を接続してなる複合導体であって、77Kにおける該複合導体の見かけ上の比抵抗が、77Kにおける銅の比抵抗より低いことを特徴とする超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

39. 前記常伝導導体が金属である請求の範囲37又は38に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

40. 前記金属が、銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金、銀、銀合金、金、又は、金合金の1種又は2種以上である請求の範囲39に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

41. 前記超伝導体の一部又は全部が、バルク超伝導体である請求の範囲37又は38に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

42. 前記バルク超伝導体の一部又は全部が、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 系超伝導体（ここで、REはYを含む希土類元素の1種類又はその組合せ）である請求の範囲41に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

43. 前記バルク超伝導体の一部又は全部の長手方向が、該超伝導体の結晶学的方位においてc軸と垂直方向である請求の範囲42に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

44. 前記常伝導導体又は超伝導体の少なくとも一方が、棒状又は板状の形状を有する請求の範囲37～43のいずれか1項に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

45. 前記接続の一部又は全部が常伝導接続である請求の範囲37又は38に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

46. 前記超伝導体又は前記常伝導導体の少なくとも一方の一部又は全部が平面を有し、該平面内において該超伝導体と該常伝導導体が常伝導接続されている請求の範囲45に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

47. 前記常伝導接続の一部又は全部が、前記常伝導導体と同種又は異種の常伝導体を用いるものである請求の範囲45又は46に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

48. 前記常伝導接続の一部又は全部が、金属を介するものである請求の範囲45～47のいずれか1項に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

49. 前記金属が銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金、銀、銀合金、金、又は、金合金の1種又は2種以上である請求の範囲48に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

50. 前記接続部の厚みが  $100 \mu\text{m}$  以下であることを特徴とする請求の範囲45～49のいずれか1項に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

51. 前記超伝導体の長手方向の一部又は全部が、通電方向である請求の範囲37～50のいずれか1項に記載の超伝導体を用いた低抵抗複合導体。

52. 常伝導導体表面の一部又は全部に、常伝導体を介して超伝導体を配置し、必要に応じて加圧して、接続処理することを特徴とする低抵抗複合導体の製造方法。

53. 前記常伝導導体が半田である請求の範囲52に記載の低抵抗複合導体の製造方法。

54. 常伝導導体表面の一部又は全部に、常伝導体を介して超伝導体を配置し、必要に応じて加圧した後、減圧雰囲気又は真空中で熱処理することを特徴とする低抵抗複合導体の製造方法。

55. 前記常伝導導体が、銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金、銀、銀合金、金、又は、金合金のペースト又は箔である請求の範囲52又は54に記載の低抵抗複合導体の製造方法。

56. 前記超伝導体の表面に、銅、銅合金、アルミニウム、アルミ

ニウム合金、銀、銀合金、金、又は、金合金の1種又は2種以上の被覆を形成する請求の範囲52～55のいずれか1項に記載の低抵抗複合導体の製造方法。

57. 請求の範囲37～50のいずれか1項に記載の低抵抗複合導体を、少なくとも一部に配したことを特徴とする通電用部材又は電流リード。

58. 請求の範囲57に記載の通電用部材又は電流リードを有することを特徴とする超伝導トランス又は磁場発生装置。

Fig.1

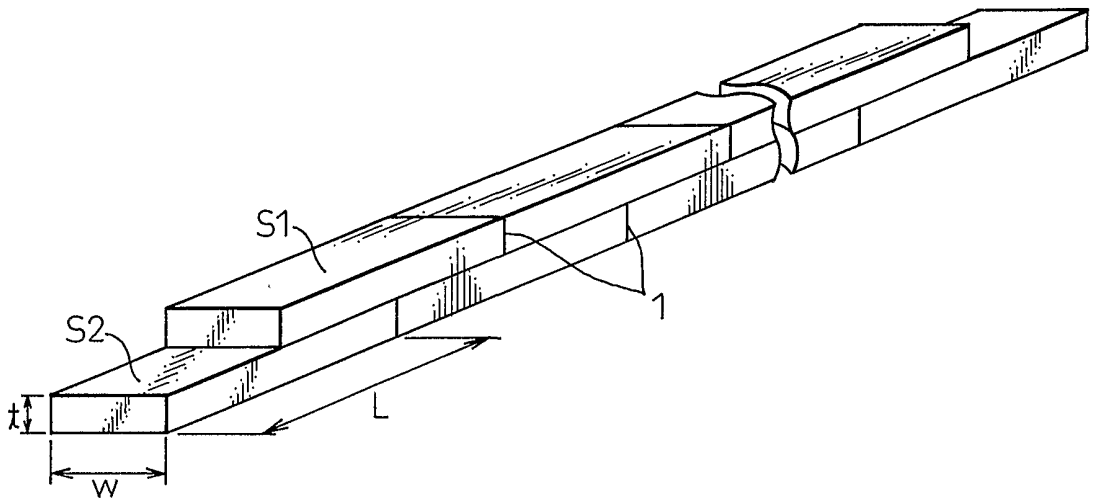


Fig.2

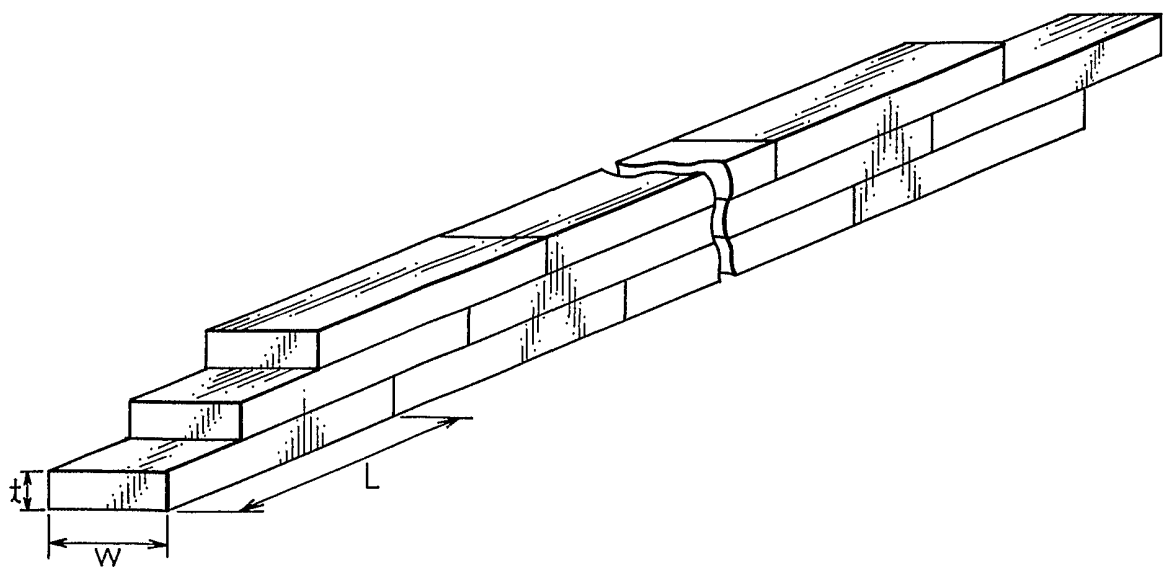


Fig.3

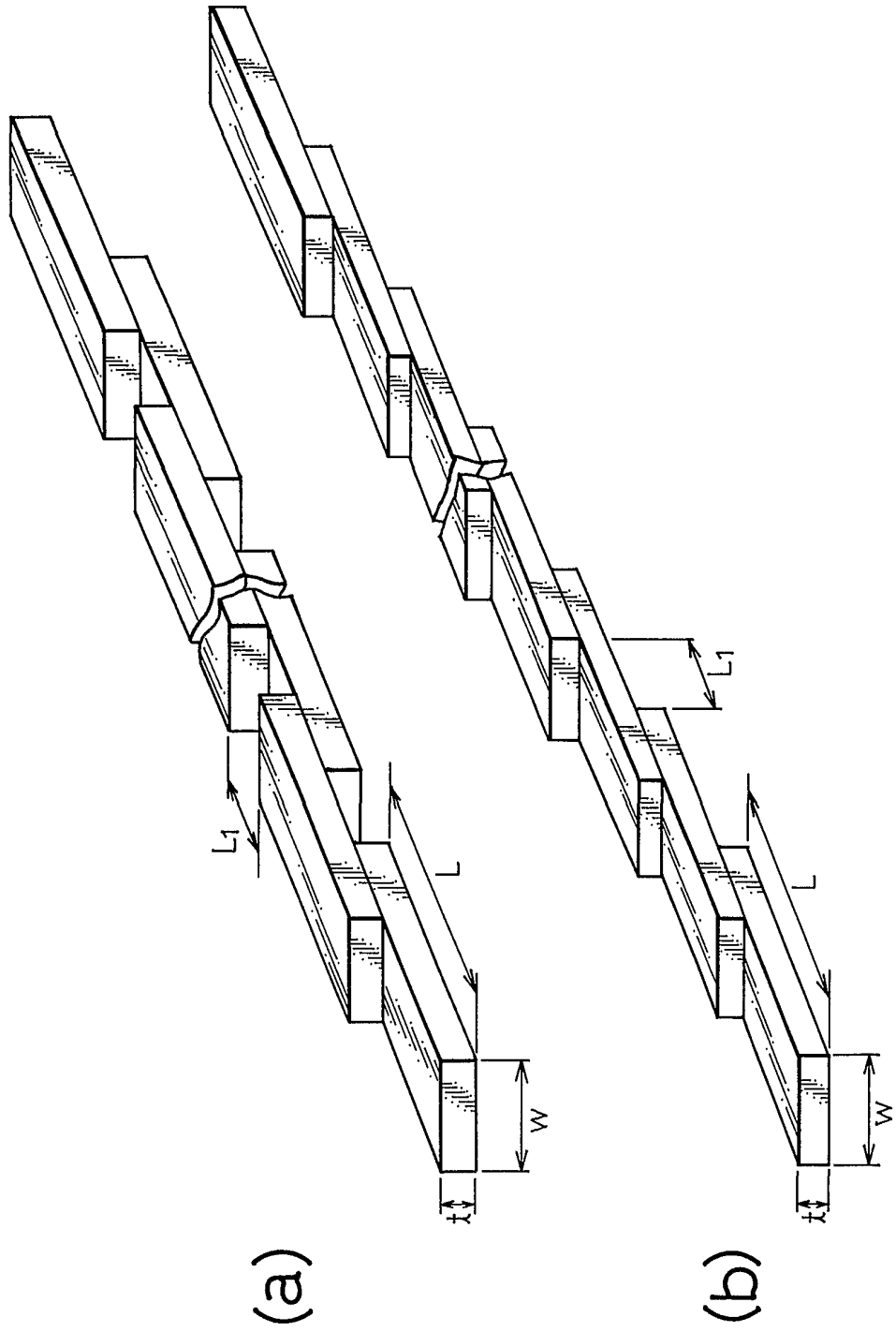




Fig.4

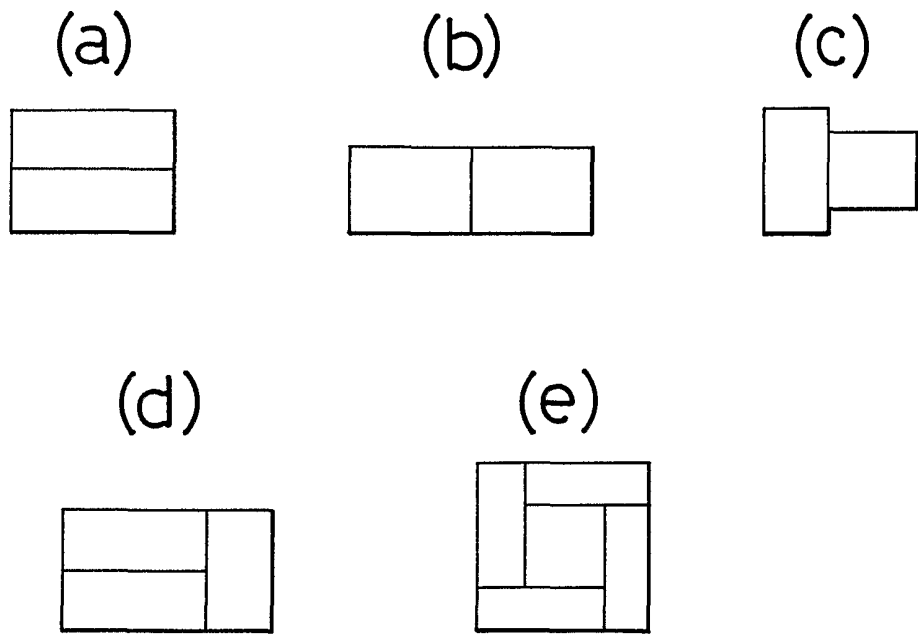


Fig.5

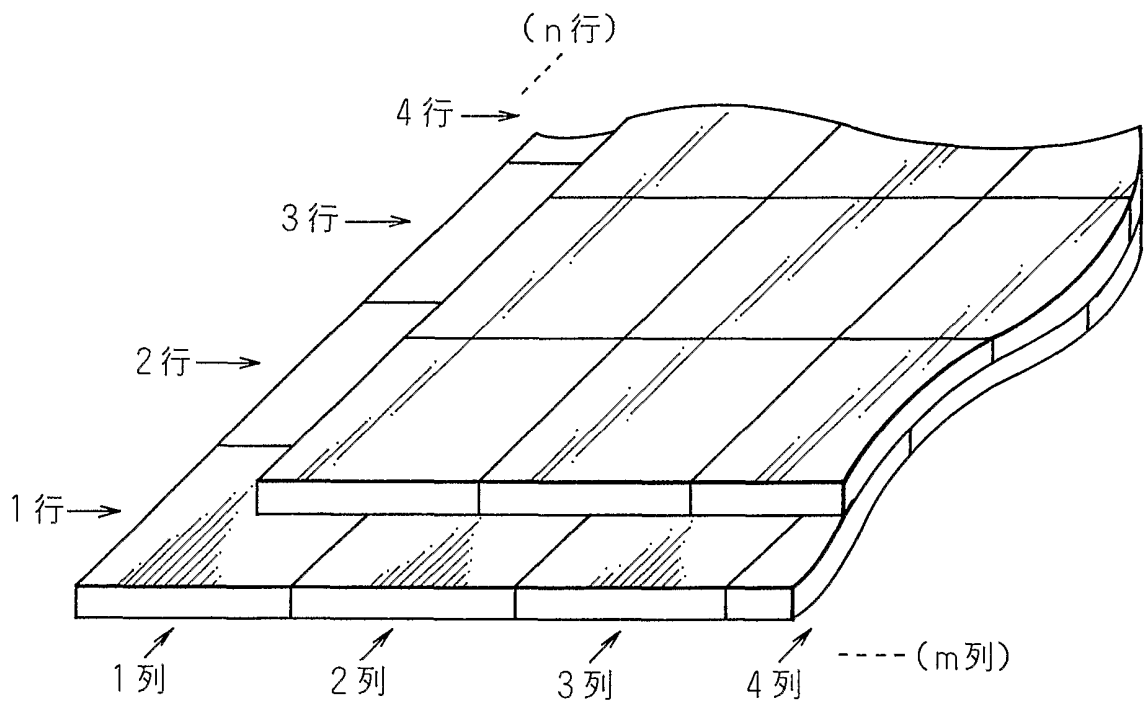


Fig.6

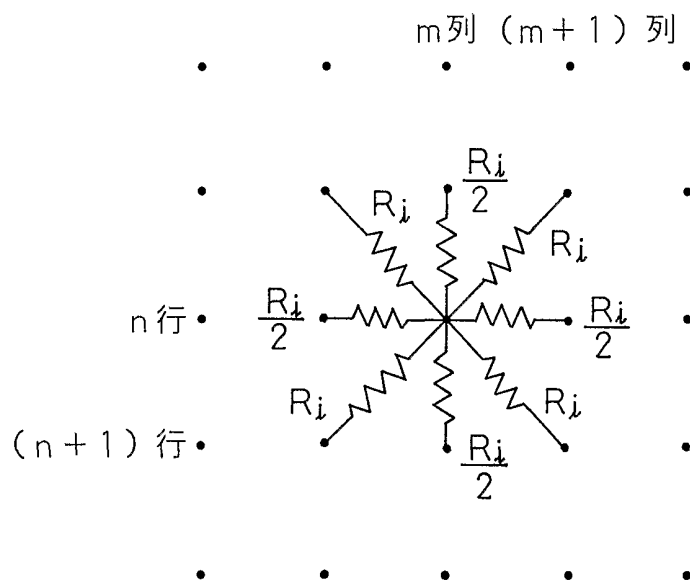
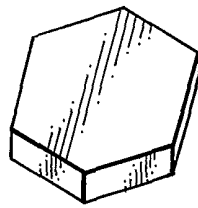


Fig.7

(a)



(b)

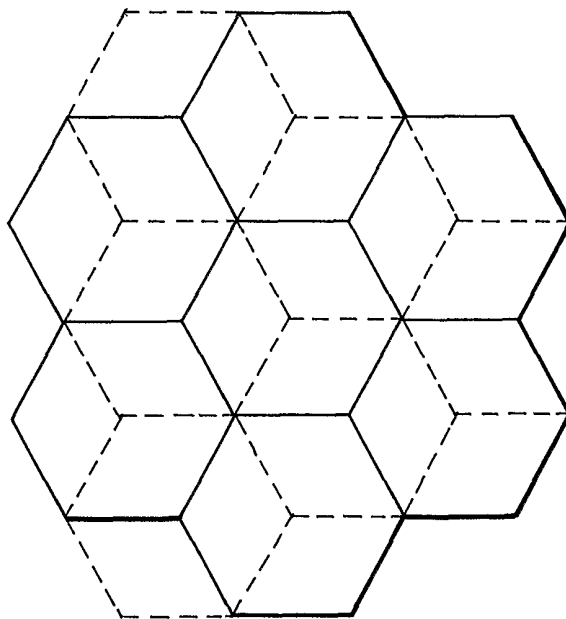
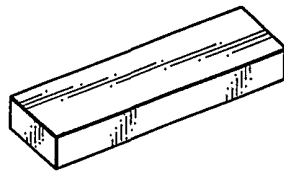


Fig.8

(a)



(b)

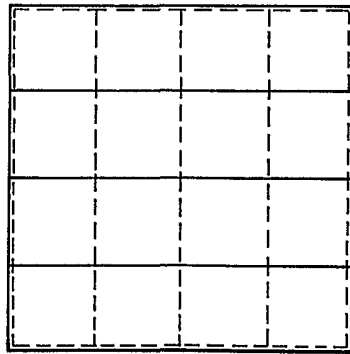


Fig.9

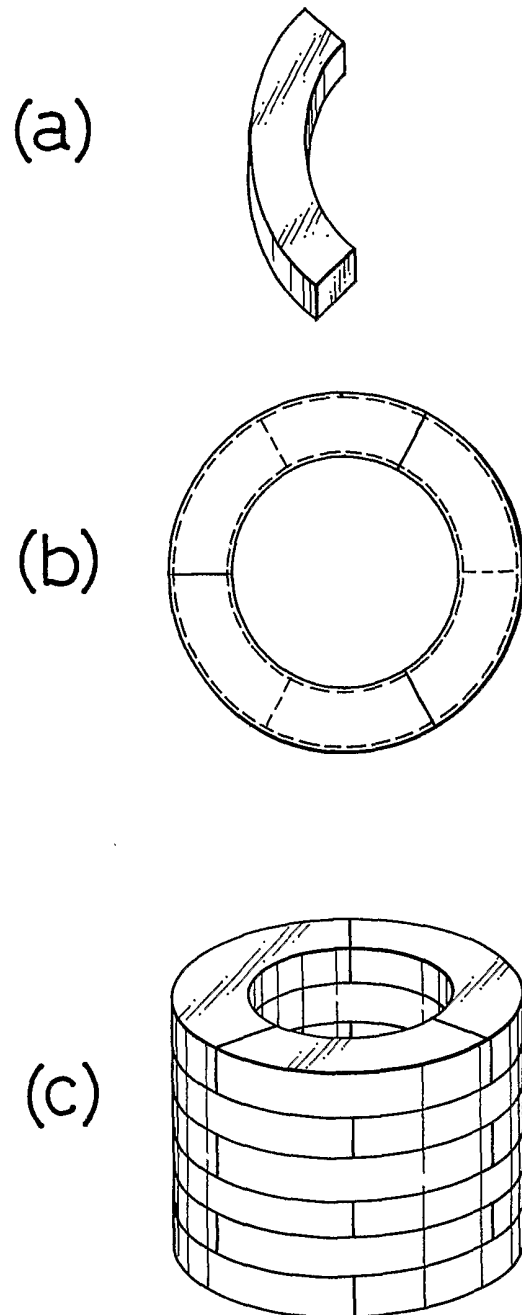
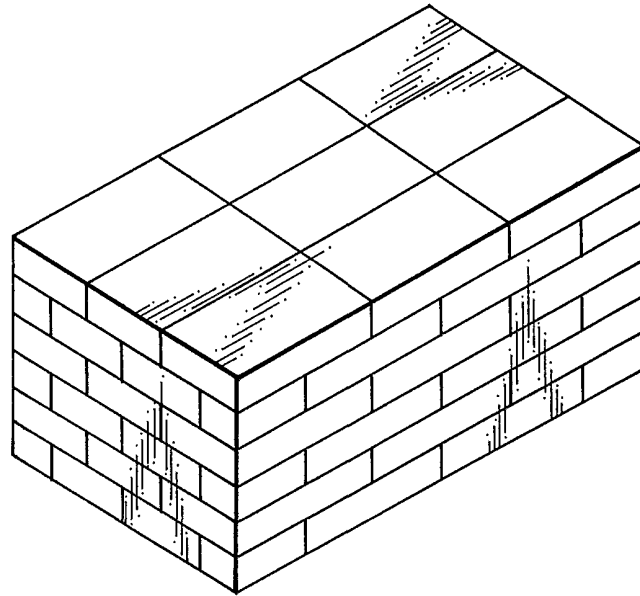


Fig.10

(a)



(b)

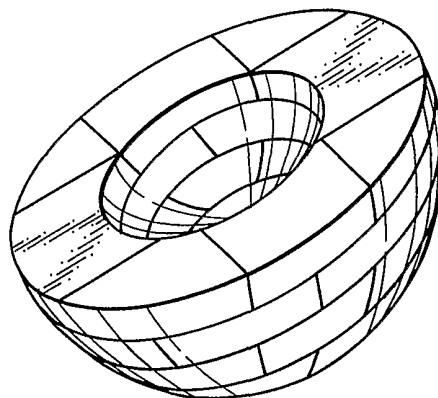


Fig.11

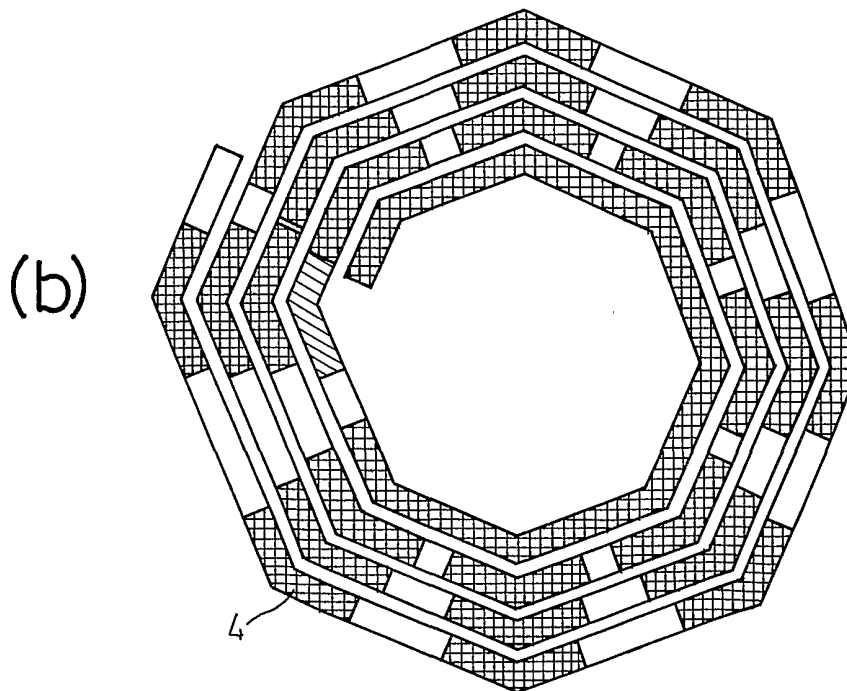
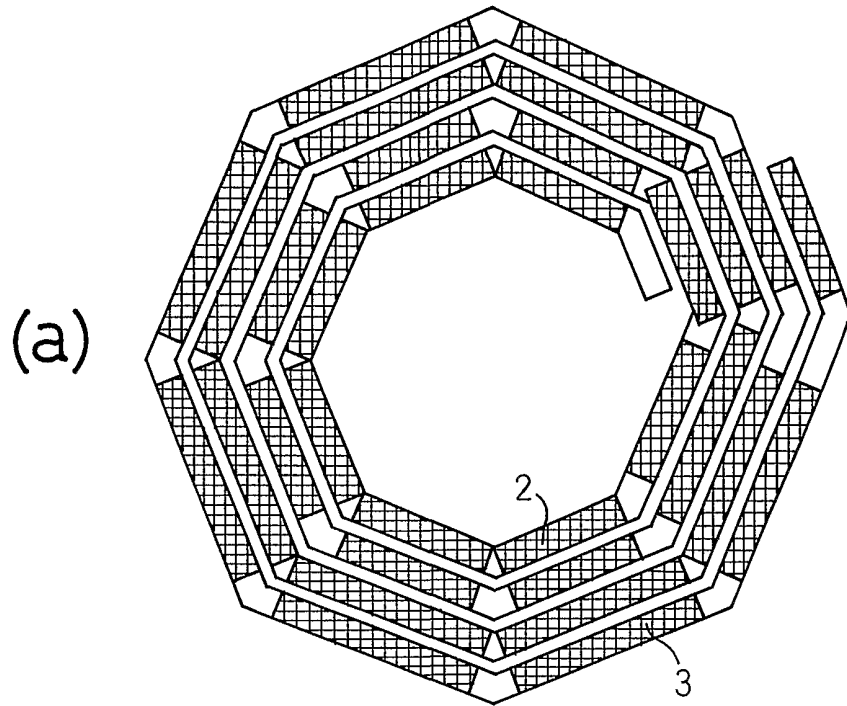
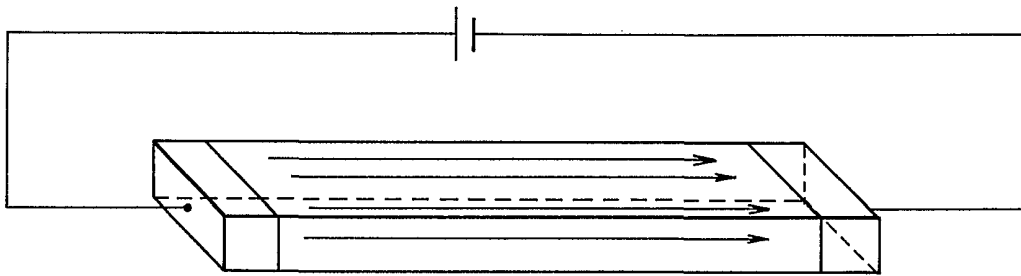




Fig. 12

(a)



(b)

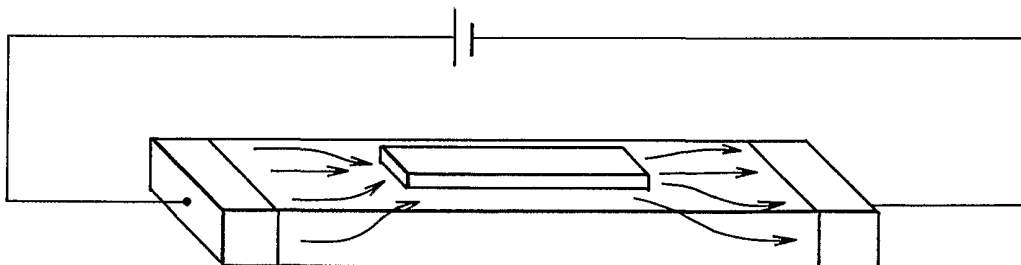
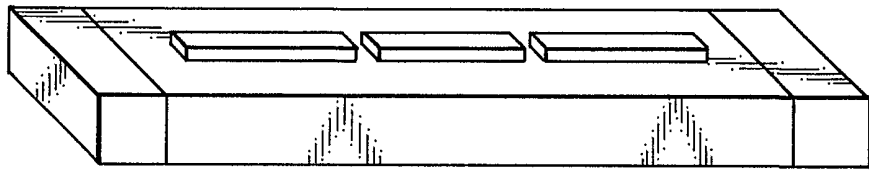


Fig.13

(a)



(b)

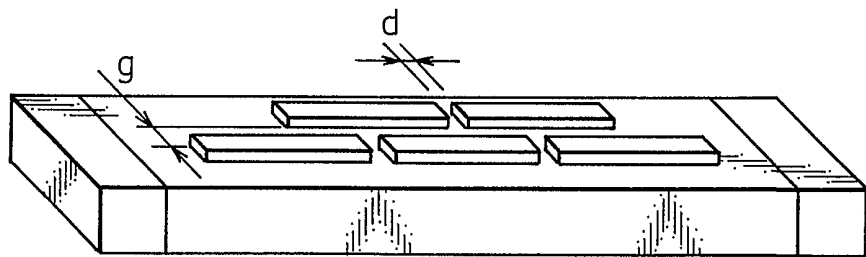


Fig.14

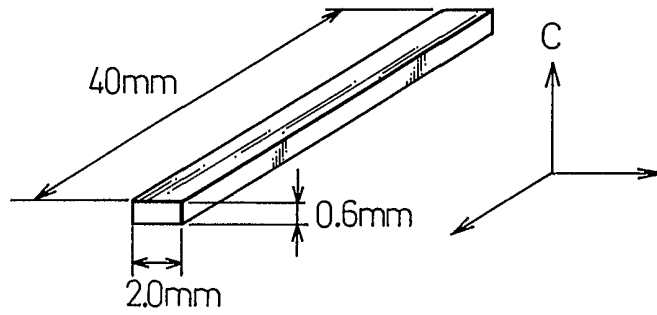


Fig.15

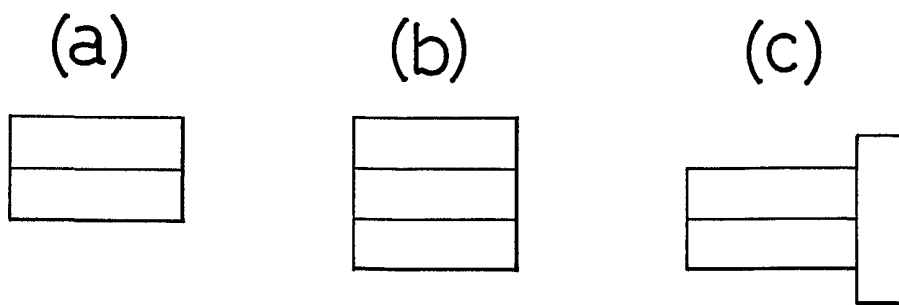
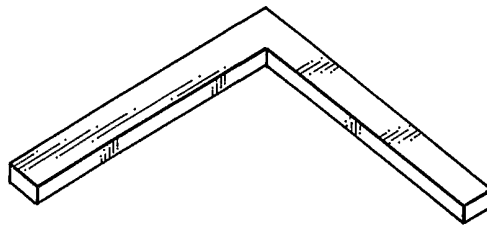


Fig.16

(a)



(b)

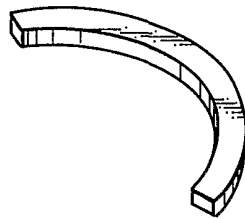
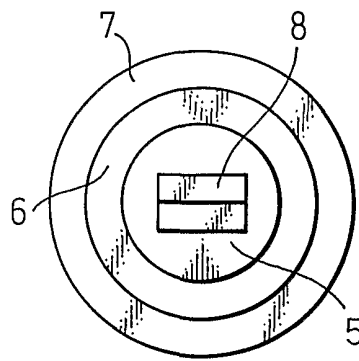


Fig.17

(a)



(b)

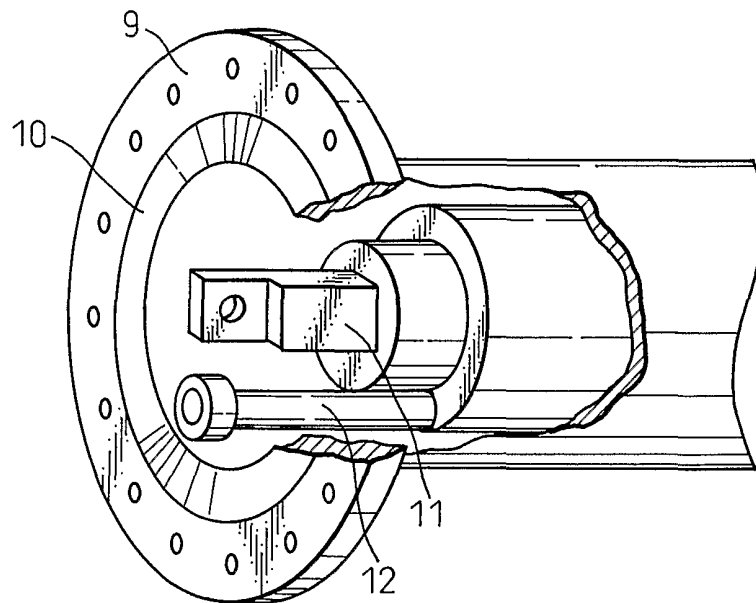


Fig.18

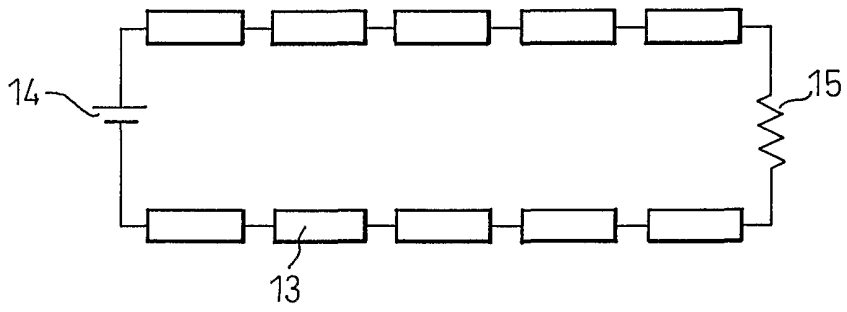


Fig.19

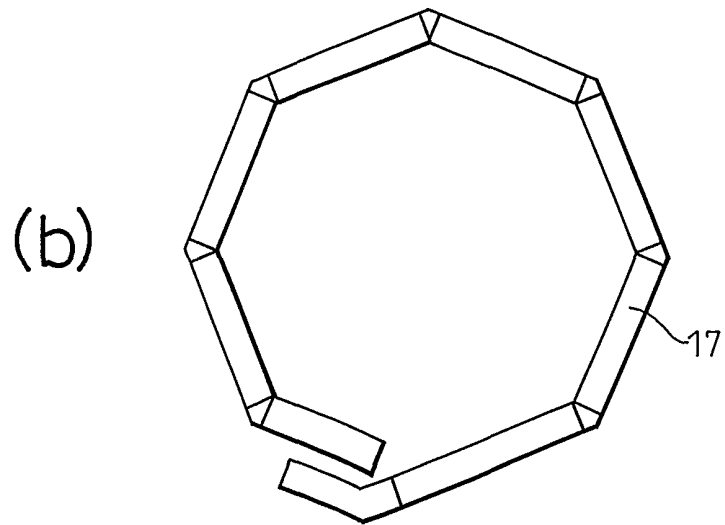
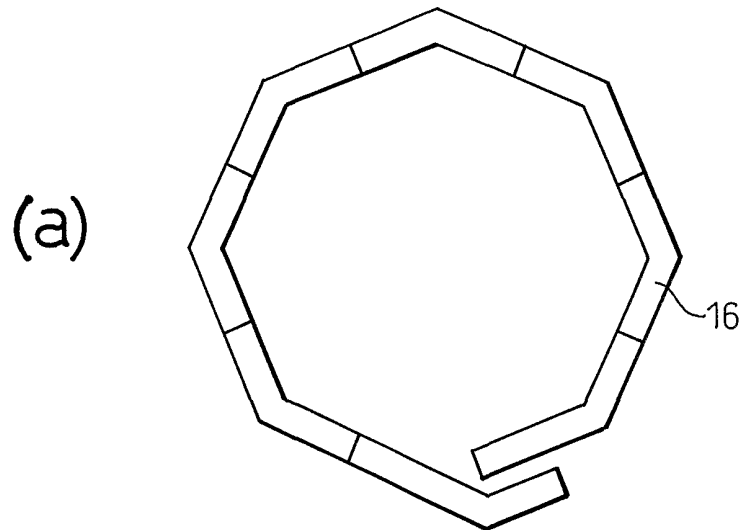


Fig.20

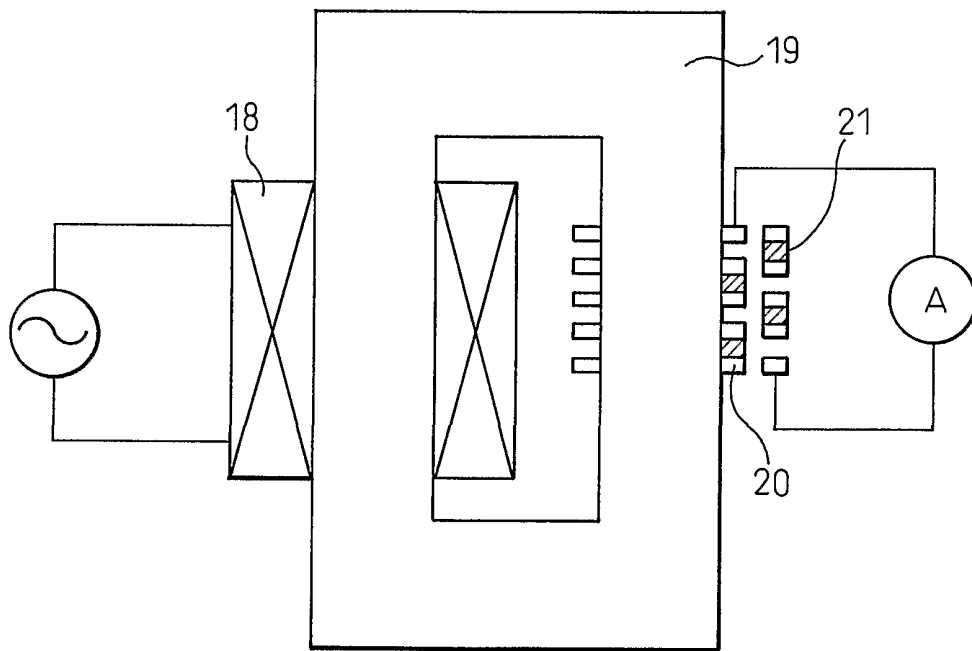
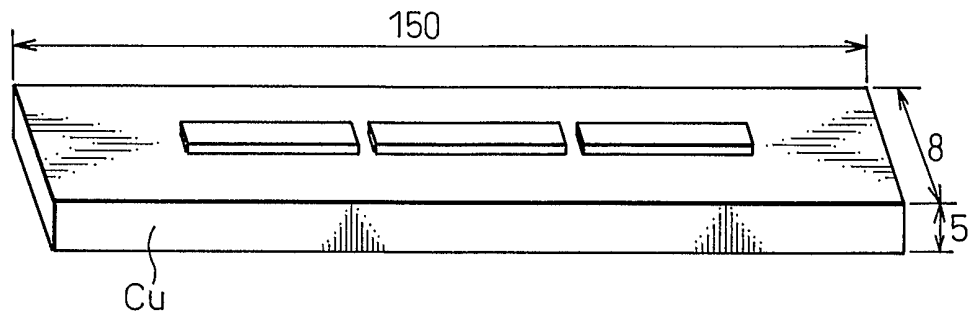
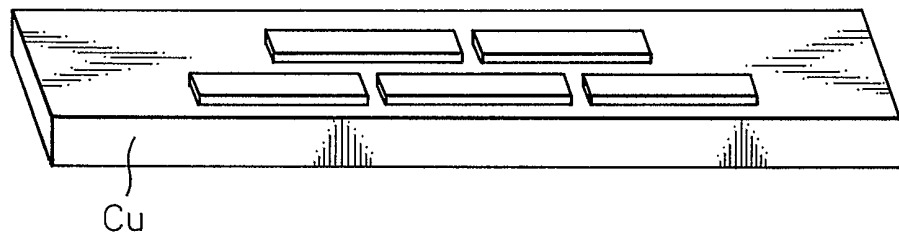


Fig.21

(a)



(b)



(c)

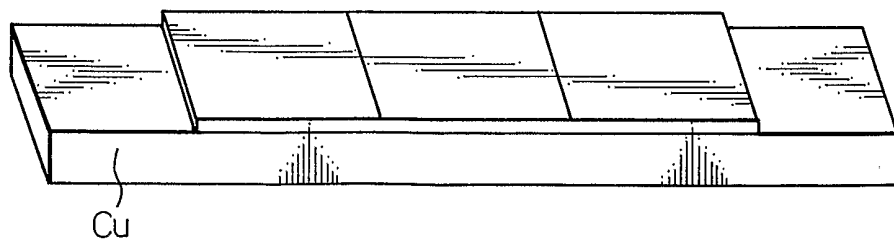




Fig.22

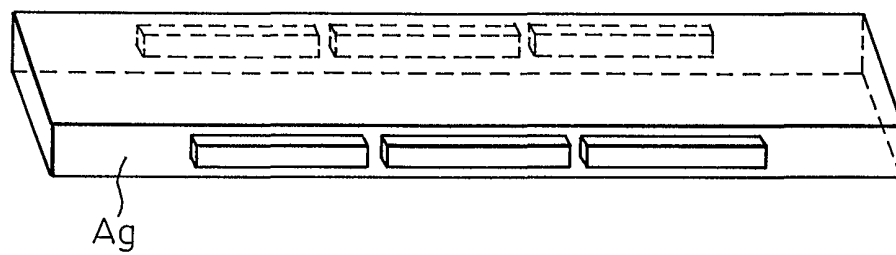
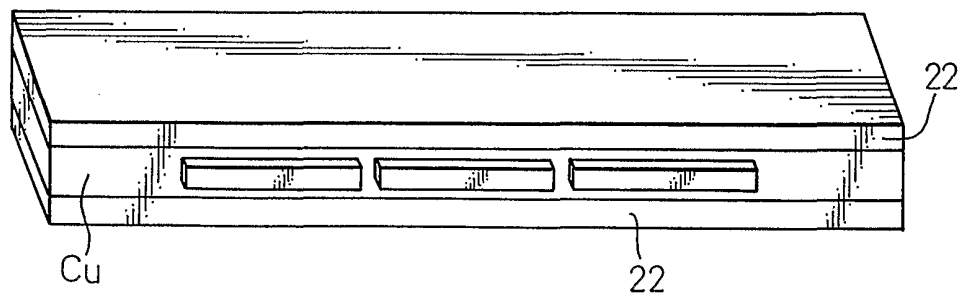


Fig. 23



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP02/00254

<p><b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>                  Int.Cl<sup>7</sup> H01B12/04, H01B13/00, 561, H01F5/08</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>																									
<p><b>B. FIELDS SEARCHED</b></p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)                  Int.Cl<sup>7</sup> H01B12/04, H01B13/00, 561, H01F5/08</p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched</p> <table border="0"> <tr> <td>Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1926-1996</td> <td>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1994-2002</td> </tr> <tr> <td>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1971-2002</td> <td>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</td> <td>1996-2002</td> </tr> </table> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>			Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002	Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002															
Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002																						
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002																						
<p><b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X A</td> <td>JP, 2000-133067, A (Fujikura Ltd.), 12 May, 2000 (12.05.00), Claims; Par. No. [0029]; Table 1; Fig. 1 (Family: none)</td> <td>1, 3, 4, 6, 12, 14-20, 23-24 2, 5, 7-11, 13, 21-22, 25-36</td> </tr> <tr> <td>X A</td> <td>JP, 7-192837, A (Toshiba Corp.), 28 July, 1995 (28.07.95), Par. Nos. [0006], [0017], [0020] to [0024]; Fig. 11 (Family: none)</td> <td>1, 3, 4, 6, 12, 14-19, 23-24 2, 5, 7-11, 13, 20-22, 25-36</td> </tr> <tr> <td>X A</td> <td>JP, 11-16618, A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 22 January, 1999 (22.01.99), Claims (Family: none)</td> <td>21 22</td> </tr> <tr> <td>X A</td> <td>JP, 11-191511, A (Toshiba Corp.), 13 July, 1999 (13.07.99), Par. No. [0034]; Fig. 7 (Family: none)</td> <td>37-40, 44-49, 51-53, 55, 57-58 41-43, 50, 54, 56</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.    <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p> <table border="0"> <tr> <td>* 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</td> <td>"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 "&amp;" document member of the same patent family</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>Date of the actual completion of the international search 08 April, 2002 (08.04.02)</td> <td>Date of mailing of the international search report 16 April, 2002 (16.04.02)</td> </tr> <tr> <td>Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office</td> <td>Authorized officer</td> </tr> <tr> <td>Facsimile No.</td> <td>Telephone No.</td> </tr> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X A	JP, 2000-133067, A (Fujikura Ltd.), 12 May, 2000 (12.05.00), Claims; Par. No. [0029]; Table 1; Fig. 1 (Family: none)	1, 3, 4, 6, 12, 14-20, 23-24 2, 5, 7-11, 13, 21-22, 25-36	X A	JP, 7-192837, A (Toshiba Corp.), 28 July, 1995 (28.07.95), Par. Nos. [0006], [0017], [0020] to [0024]; Fig. 11 (Family: none)	1, 3, 4, 6, 12, 14-19, 23-24 2, 5, 7-11, 13, 20-22, 25-36	X A	JP, 11-16618, A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 22 January, 1999 (22.01.99), Claims (Family: none)	21 22	X A	JP, 11-191511, A (Toshiba Corp.), 13 July, 1999 (13.07.99), Par. No. [0034]; Fig. 7 (Family: none)	37-40, 44-49, 51-53, 55, 57-58 41-43, 50, 54, 56	* 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 08 April, 2002 (08.04.02)	Date of mailing of the international search report 16 April, 2002 (16.04.02)	Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer	Facsimile No.	Telephone No.
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																							
X A	JP, 2000-133067, A (Fujikura Ltd.), 12 May, 2000 (12.05.00), Claims; Par. No. [0029]; Table 1; Fig. 1 (Family: none)	1, 3, 4, 6, 12, 14-20, 23-24 2, 5, 7-11, 13, 21-22, 25-36																							
X A	JP, 7-192837, A (Toshiba Corp.), 28 July, 1995 (28.07.95), Par. Nos. [0006], [0017], [0020] to [0024]; Fig. 11 (Family: none)	1, 3, 4, 6, 12, 14-19, 23-24 2, 5, 7-11, 13, 20-22, 25-36																							
X A	JP, 11-16618, A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 22 January, 1999 (22.01.99), Claims (Family: none)	21 22																							
X A	JP, 11-191511, A (Toshiba Corp.), 13 July, 1999 (13.07.99), Par. No. [0034]; Fig. 7 (Family: none)	37-40, 44-49, 51-53, 55, 57-58 41-43, 50, 54, 56																							
* 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 08 April, 2002 (08.04.02)	Date of mailing of the international search report 16 April, 2002 (16.04.02)																								
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer																								
Facsimile No.	Telephone No.																								

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP02/00254

**Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:  
(See extra sheet)

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

- Remark on Protest**  The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
 No protest accompanied the payment of additional search fees.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP02/00254

Continuation of Box No.II of continuation of first sheet (1)

In order for a group of inventions described in Claims to meet the requirement of unit of invention, the presence of a "special technical feature" to so link the group of inventions as to form a single general inventive concept is necessary.

The "low resistance conductor using a superconductor and a superconductor connecting a usual transmission conductor" of the invention described in Claim 1 has been described in the prior technical documents, JP 2000-133067 A (Kabusiki Kaisha Fujikura) 2000. 05. 12, JP 7-192837 A (Toshiba Corp.), 1995. 07. 28, JP 10-275641 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 1998. 10. 13, JP 11-191511 A (Toshiba Corp.), 1999. 07. 13, etc.; therefore, it cannot constitute a "special technical feature."

Then, it follows that a "special technical feature" necessary for so linking as to form a single general inventive concept does not exist between the group of inventions described in Claims 1-58; thus, it is not deemed that the requirement of unit is met.

Next, the number of groups of inventions of this application described in Claims so linked as to form a general inventive concept, i.e., the number of inventions will now be examined; it is deemed that in Claims of this international application, there are 8 inventions classified as 1-18 and 24-36, 19, 20, 21-23, 37-51, 52, 53, 54-58. Of these inventions, the inventions described in Claims 19 and 20 are interlinked by the matter that reads "a method of producing low resistance conductors, characterized by the steps of arranging a plurality of superconductors through usual transmission conductors, pressing them if necessary, and processing them for connection"; this matter has already been pointed out.

Since they have been described in the prior technical documents, JP 2000-133067 A (Kabusiki Kaisha Fujikura) 2000. 05. 12, JP 7-192837 A (Toshiba Corp.), 1995. 07. 28, etc., they cannot constitute a "special technical feature." Further, the inventions described in Claims 53, 54 are interlinked by the matter that reads "a method of producing low resistance composite conductors, characterized by the steps of arranging superconductors on part or the whole of the usual transmission conductor surface through usual transmission conductors, pressing them if necessary, and processing them for connection"; this matter has also been described in the previously cited prior technical documents, JP 10-275641 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 1998. 10. 13, JP 11-191511 A (Toshiba Corp.), 1999. 07. 13, etc.; therefore, it cannot constitute a "special technical feature." And there is no matter that interlinks the plurality of inventions.

It is deemed, therefore, that in Claims of this international application, 8 inventions are described that are classified as 1-18 and 24-36, 19, 20, 21-23, 37-51, 52, 53, 54-58.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01B12/04 H01B13/00, 561 H01F5/08

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01B12/04 H01B13/00, 561 H01F5/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2002年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2002年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2000-133067 A (株式会社フジクラ) 2000.05.12	1, 3, 4, 6, 12, 14-20, 23-24
A	【特許請求の範囲】、【0029】、【表1】、【図1】 (ファミリーなし)	2, 5, 7-11, 13, 21-22, 25-36
X	JP 7-192837 A (株式会社東芝) 1995.07.28	1, 3, 4, 6, 12, 14-19, 23-24
A	【0006】、【0017】、【0020】～【0024】、【図 11】 (ファミリーなし)	2, 5, 7-11, 13, 20-22, 25-36


C欄の続きにも文献が列挙されている。  パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー  
 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献  
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 08.04.02

国際調査報告の発送日 16.04.02

国際調査機関の名称及びあて先  
 日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
 青木 千歌   
 4X 9351  
 電話番号 03-3581-1101 内線 3477

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 11-16618 A (三菱重工業株式会社) 1999.01.22	21
A	【特許請求の範囲】 (ファミリーなし)	22
X	JP 11-191511 A (株式会社東芝) 1999.07.13 【0034】、【図7】	37-40, 44-49, 51-53, 55, 57-58
A	(ファミリーなし)	41-43, 50, 54, 56

## 第I欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項(PCT17条(2)(a))の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第II欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

特別ページに続く。

1.  出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2.  追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3.  出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4.  出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。  
 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

請求の範囲に記載されている一群の発明が単一性の要件を満たすには、その一群の発明を単一の一般的発明概念を形成するように連関させるための「特別な技術的特徴」の存在が必要である。

請求の範囲1に記載された発明の「超伝導体と常伝導体を接続した超伝導体を用いた低抵抗導体」は、先行技術文献であるJP 2000-133067 A (株式会社フジクラ), 2000.05.12やJP 7-192837 A (株式会社東芝), 1995.07.28やJP 10-275641 A (住友電気工業株式会社), 1998.10.13やJP 11-191511 A (株式会社東芝), 1999.07.13等に記載されているため「特別な技術的特徴」とはなり得ない。

そうすると、請求の範囲1-58に記載された一群の発明の間には、単一の一般的発明概念を形成するように連関させるための「特別な技術的特徴」が存在しないことになり、単一性の要件を満足していないものと認められる。

次に、この出願の請求の範囲に記載されている一般的発明概念を形成するように連関している発明群の数、すなわち発明の数を検討すると、この国際出願の請求の範囲には、1-18及び24-36, 19, 20, 21-23, 37-51, 52, 53, 54-58に区分される8個の発明が記載されているものと認められる。これら発明のうち請求の範囲19, 20に記載された発明は、「複数の超伝導体を常伝導体を介して配置し、必要に応じて加圧して、接続処理することを特徴とする低抵抗導体の製造方法」という事項で連関しているが、この事項は先に挙げた

先行技術文献であるJP 2000-133067 A (株式会社フジクラ), 2000.05.12やJP 7-192837 A (株式会社東芝), 1995.07.28等に記載されているため「特別な技術的特徴」とはなり得ない。また、請求の範囲53, 54に記載された発明も、「常伝導体表面の一部又は全部に、常伝導体を介して超伝導体を配置し、必要に応じて加圧して、接続処理することを特徴とする低抵抗複合導体の製造方法」という事項で連関しているが、この事項も先に挙げた先行技術文献であるJP 10-275641 A (住友電気工業株式会社), 1998.10.13やJP 11-191511 A (株式会社東芝), 1999.07.13等に記載されているため「特別な技術的特徴」とはなり得ない。そして、他に複数の発明を連関させている事項もない。

したがって、この国際出願の請求の範囲には、1-18及び24-36, 19, 20, 21-23, 37-51, 52, 53, 54-58に区分される8個の発明が記載されているものと認められる。