

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-158448

(P2004-158448A)

(43) 公開日 平成16年6月3日(2004.6.3)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 B 12/06

H 0 1 B 13/00

H 0 1 L 39/24

F I

H 0 1 B 12/06

H 0 1 B 13/00

H 0 1 L 39/24

Z A A

5 6 5 D

B

テーマコード (参考)

4 M 1 1 3

5 G 3 2 1

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L 外国語出願 (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2003-361045 (P2003-361045)

(22) 出願日 平成15年10月21日 (2003.10.21)

(31) 優先権主張番号 10249550.5

(32) 優先日 平成14年10月23日 (2002.10.23)

(33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(71) 出願人 501336756

ネクサン・スーパーコンダクターズ・ゲー
・エム・ペー・ハードイツ国、デー-50351・ヒュールト
、ヒエミーパルク・クナツプザツク

(74) 代理人 100101764

弁理士 川和 高穂

(72) 発明者 シュミット フランク

ドイツ国, 30855 ランゲンハーゲン

Fターム(参考) 4M113 AD35 AD36 AD68 BA23 CA34

5G321 AA02 AA04 BA01 CA04 CA09

CA23 CA27 CB04 DB37

(54) 【発明の名称】 REBCO被覆コンダクタエレメントを備えた超伝導ケーブルコンダクタ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】多芯線が巻きつけられるキャリアエレメントの直径、および、個々のターンのレイ長さに因って、曲げ伸しおよび引っ張り応力の結果、曲げの間および曲げの加わらない状態で、線材に力が加わる。この結果、超伝導層の方向性を損ない、超伝導特性を低下させるのを防止する。

【解決手段】超伝導ケーブルコンダクタに関し、超伝導ケーブルコンダクタは、キャリアエレメントを備えており、キャリアエレメントの上に、2またはそれ以上の超伝導コンダクタエレメントからなる少なくとも1つの層が巻かれ、各層の個々の超伝導コンダクタエレメントは、隣り合わせに配置され、そして、前記超伝導コンダクタエレメントは、希土類バリウム銅塩、好ましくは、イットリウムバイウム銅塩に基づく超伝導材によって被覆

【選択図】なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超伝導ケーブルコンダクタであって、前記超伝導ケーブルコンダクタは、キャリアエレメントを備えており、前記キャリアエレメントの上に、2またはそれ以上の超伝導コンダクタエレメントからなる少なくとも1つの層が巻かれ、各層の個々の超伝導コンダクタエレメントは、隣り合わせに配置され、そして、前記超伝導コンダクタエレメントは希土類バリウム銅塩に基づく超伝導材によって被覆されたテープ状の基材を備えていることを特徴とする超伝導ケーブルコンダクタ。

【請求項 2】

前記希土類バリウム銅塩において、前記希土類成分は、イットリウムであり、または、イットリウムを含有していることを特徴とする請求項 1 に記載の超伝導ケーブルコンダクタ。

【請求項 3】

前記希土類バリウム銅塩は、ベリリウム (Be)、マグネシウム (Mg)、カルシウム (Ca)、ストロンチウム (Sr)、亜鉛 (Zn)、カドミウム (Cd)、スカンジウム (Sc)、ジルコニウム (Zr)、ハフニウム (Hf)、プラチナ (Pt)、パラジウム (Pd)、オスミウム (Os)、イリジウム (Ir)、ルテニウム (Ru)、銀 (Ag)、金 (Au)、水銀 (Hg)、タリウム (Tl)、鉛 (Pb)、ビスマス (Bi)、チタン (Ti)、硫黄 (S)、および、フッ素 (F) からなる群から選ばれた少なくとも1つの元素をさらに含むことを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の超伝導ケーブルコンダクタ。

【請求項 4】

希土類バリウム銅塩からなる層は、2軸延伸を備えていることを特徴とする、請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載の超伝導ケーブルコンダクタ。

【請求項 5】

前記コンダクタエレメントに使用される前記基材は、超伝導材からなる層の構造組織のための格子適合を有していない基材であることを特徴とする、請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の超伝導ケーブルコンダクタ。

【請求項 6】

前記超伝導ケーブルコンダクタは、超伝導コンダクタエレメントからなる 4 から 6 層を有していることを特徴とする、請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の超伝導ケーブルコンダクタ。

【請求項 7】

少なくとも超伝導コンダクタエレメントからなる 2 つの層の間に電気絶縁層が設けられていることを特徴とする、請求項 1 から 6 の何れか 1 項に記載の超伝導ケーブルコンダクタ。

【請求項 8】

絶縁層が、キャリアエレメントと、超伝導コンダクタエレメントからなる第 1 の層との間に設けられていることを特徴とする、請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の超伝導ケーブルコンダクタ。

【請求項 9】

前記キャリアエレメントが中空であることを特徴とする、請求項 1 から 8 の何れか 1 項に記載の超伝導ケーブルコンダクタ。

【請求項 10】

前記キャリアエレメントが固体であることを特徴とする、請求項 1 から 9 の何れか 1 項に記載の超伝導ケーブルコンダクタ。

【請求項 11】

前記キャリアエレメントが導電性材からなっていることを特徴とする、請求項 1 から 10 の何れか 1 項に記載の超伝導ケーブルコンダクタ。

【請求項 12】

10

20

30

40

50

前記キャリアエレメントは環状コルゲーション、または、らせん状コルゲーションを備えていることを特徴とする、請求項 1 から 11 の何れか 1 項に記載の超伝導ケーブルコンダクタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、希土類バリウム銅塩に基づく超伝導材を備えた超伝導ケーブルコンダクタに関する。超伝導材は、テープ状基材の上に層の形で適用される。特に、この発明は、AC適用のためのこの型の超伝導ケーブルコンダクタに関する。

【背景技術】

【0002】

超伝導ケーブルコンダクタは、通常、円筒形状のエレメントに超伝導コンダクタエレメントとしての超伝導線材が螺旋状に巻きつけられて形成されている。キャリアエレメントは、伝導性または非伝導性材料からなっており、通常柔軟な形状をしている。

超伝導コンダクタエレメントは、キャリアエレメント上に、1以上の層を形成するように螺旋状に巻きつけられる。各層のそれぞれは、キャリアエレメントまたはキャリアエレメント上に既に巻かれた層の上に、隣り合わせに並んで、複数の例えばテープ状の超伝導コンダクタエレメントを巻きつけることによって得られる。

【0003】

欧州特許公報EP0650205B2には、多芯線がコンダクタエレメントとして使用される、AC適用のための多層超伝導ケーブルコンダクタが開示されている。多芯線は、常伝導金属、特に、銀からなるマトリックスに埋め込まれた、超伝導材からなる多数のフィラメント状のコアを備えている。渦電流および結合電流によるAC損失を避けるために、絶縁材からなる絶縁層が、超伝導線材からなる個々の層の間に設けられる。

【0004】

超伝導線材は、適切な熱処理によって所望の超伝導材に転換される、例えば粉末状の出発原料を、常伝導金属好ましくは銀からなるケーシング外被に充填することによって得られる。粉末状の出発原料が充填されたケーシング外被を、引き抜き加工および圧延によって塑性変形されて、小さい直径の長いフィラメントを形成し、引き続いて焼結される。得られた個々のフィラメントは、組み合わせられて、多数のフィラメントからなる束が形成され、次いで、次のケーシング外被に送られ、塑性変形され、焼結される。その結果、金属マトリックス中に所望の数のフィラメントを備えた超伝導多芯線が得られる。仕上がり

【0005】

超伝導材は、上述した処理の結果、所望の高い方向性を有する。結晶C軸は、本質的に、電流の流れる方向と直交して延伸し、a-b面は電流の流れる方向と平行に延伸する。

【0006】

【特許文献1】欧州特許公報EP0650205B2

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

多芯線が巻きつけられるキャリアエレメントの直径の大きさ、および、個々のターンのレイ長さに因って、曲げ伸びおよび引っ張り応力の結果、曲げの間および曲げの加わらない状態で、線材に力が加わる。この結果、超伝導相の方向性を損ない、超伝導特性を低下させる。

【課題を解決するための手段】

【0008】

超伝導ケーブルコンダクタは、キャリアエレメントを備えており、前記キャリアエレメントの上に、2またはそれ以上の超伝導コンダクタエレメントからなる少なくとも1つの層が巻かれ、各層の個々の超伝導コンダクタエレメントは、隣り合わせに配置され、そし

10

20

30

40

50

て、前記超伝導コンダクタエレメントは希土類バリウム銅塩に基づく超伝導材によって被覆されたテープ状の基材を備えている超伝導ケーブルコンダクタである。

【発明の効果】

【0009】

キャリアエレメントの直径、および、巻線のレイ長さ (lay length)、従ってケーブルの構造に関する最大の自由度を得るために、例え、相対的に曲げの度合いが高い場合、例えば、キャリアエレメントの直径が小さく、そして/または、短いレイ長さ、および、相対的に高い張力のような場合においても、超伝導ワイヤのデグラデーションが生じないような超伝導ケーブルが得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0010】

この発明によると、上述した目的は、次のような超伝導ケーブルコンダクタによって達成することができる。即ち、超伝導ケーブルコンダクタは、キャリアエレメントを備えており、前記キャリアエレメントの上に、2またはそれ以上の超伝導コンダクタエレメントからなる少なくとも1つの層が巻かれ、各層の個々の超伝導コンダクタエレメントは、隣り合わせに配置され、そして、前記超伝導コンダクタエレメントは希土類バリウム銅塩に基づく超伝導材によって被覆されたテープ状の基材を備えている超伝導ケーブルコンダクタである。

【0011】

以下、この発明に使用される、希土類バリウム銅塩に基づく超伝導材によって被覆されたテープ状の基材を備えている超伝導コンダクタエレメントを、REBCO-被覆コンダクタエレメントとよび、RE = ランタンおよびイットリウムを含む1以上の希土類元素、または、被覆されたコンダクタエレメントである。

20

【0012】

導入部において述べた超伝導多芯線の場合におけるように、超伝導特性の質は、層中における超伝導結晶の方向性の程度によって決まる。従って、高い臨界電流、高い電流密度および通電容量を得るために、被覆されたコンダクタエレメントにおける超伝導材が高い可能性の2軸延伸 (テクスチャリング) を備えていると、個々の超伝導結晶の結晶c軸が、テープ状の基材の表面に垂直または実質的に垂直に配置され、そして、a-b面がテープ状の基材の表面に平行または実質的に平行に配置されていることが有利であり、それによって、a-b面が電流の流れる方向に延びる。

30

【0013】

この発明によって使用される被覆されたコンダクタエレメント、それを製造する方法、超伝導材を形成するために適する前駆物質および適切な基材の製造方法は、当業者に公知であり、多くの文献に記載されている。例示的に、N.McN Alford et al., "Topical review: High-temperature superconducting thick films" in Supercond. Sci. Technol. 10 (1997) 169-185, J.L. MacManus-Driscoll "Recent developments in conductor processing of high irreversibility field superconductors" in Ann. Rev. Mater. Sci. volume 28 (1998) pages 421 to 462 およびW0 98/58415を引用する。

【0014】

40

この場合には、超伝導層の所望のテクスチャリングは、特定の基材、即ち基材の特性、特に、超伝導層において成長する結晶の延伸をもたらすその組織を使用することによって、得られる。

【0015】

この発明によって使用されるような被覆コンダクタエレメントを製造する適切な方法および材料は、即ち基材の上に超伝導材が堆積されることからなる層は、例えば、イオンビームアシストデポジション (IBAD) またはアシスト2軸組織基材 (RABiTS) 方法があり、例えば、Y. Jijima et al., "Inplane aligned YBCO thin films deposited on polycrystalline metal substrates", in Appl. Phys. Lett. 60 (1992) page 769 for IBAD およびA. Goyal et al. "Fabrication of long range, biaxially textured, h

50

igh Tc superconducting tapes " in Appl. Phys. Lett. 69 (1996), page 1795 for RABITSに記載されている。

【 0 0 1 6 】

更に適切なデポジション方法として、パルス・レーザ・デポジション (P L D) があり、例えば、A Usoskin et al., EUCAS 99, page 447およびS.R. Foltyn et al., in IEEE Trans. on Applied Supercon., 9, (1999), page 1519に記載されている。更に適切な方法として所謂 B a F₂ 方法があり、例えば、S.W. Lu et al. in Supercond. Sci. Technol., 14(2001) pages 218 to 223, fluorine in the form of B a F₂ being added to the starting material for the formation of the superconducting materialに記載されている。

10

【 0 0 1 7 】

この発明における被覆されたコンダクタエレメントに使用される基材は、層の超伝導材に悪影響を与えない限り、また、超伝導層を形成するための製造プロセスに悪影響を及ぼさない限り、所望の如何なる基材であってもよい。基材の例として、単結晶性セラミックス、多結晶性セラミックスまたは金属がある。

テープ状の基材の断面形状は、基本的に所望に従って選択してよい。断面は、例えば、矩形、四角形、楕円形、円形、多角形、台形等である。しかし、実質的に矩形が一般的に好ましい。

【 0 0 1 8 】

この発明の超伝導コンダクタエレメントに対して、所望のケーブルに適用するための十分な柔軟性を備えた基材が使用されることは言うまでもない。

20

1 以上の薄い中間層が、バッファ層として、超伝導層と基材との間に設けられる。

バッファ層は、基材の材料が超伝導材と好ましくないかたちで反応するのを防止する。

【 0 0 1 9 】

従って、例えば基材として金属を使用すると、セラミックからなる適切なバッファ層を設けるべきである。

バッファ層としての適切な材料の例として、酸化ジルコニウム、安定化酸化ジルコニウムがあり、例えば、酸化イットリウム (Y S Z)、酸化セリウム (C e O₂) および酸化マグネシウム (M g O)、更に、ストロンチウム酸化チタン (S r T i O₃)、ランタン酸化アルミニウム (L a A l O₃) で安定化した酸化ジルコニウムがある。

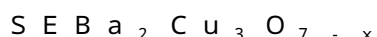
30

【 0 0 2 0 】

希土類バリウム銅塩に基づく酸化物超伝導材が、この発明の超伝導材として使用される。希土類バリウム銅塩は、イットリウム、ランタン、セリウム、プラセオジウム、ネオジウム、ユウロピウム、ガドリニウム、テルビウム、ジスプロシウム、ホルミウム、エルビウム、ツリウム、イッテルビウムおよびルテチウムから選んだ少なくとも1つの希土類元素を含み、好ましくは、イットリウムまたは少なくとも1つの他の希土類元素とイットリウムとの組み合わせである。

【 0 0 2 1 】

特に好ましい化合物は、次の一般式であらわされる：



40

ここに、x は 0 . 5 以下である。

更に、希土類バリウム銅塩は、ベリリウム (B e)、マグネシウム (M g)、カルシウム (C a)、ストロンチウム (S r)、亜鉛 (Z n)、カドミウム (C d)、スカンジウム (S c)、ジルコニウム (Z r)、ハフニウム (H f)、プラチナ (P t)、パラジウム (P d)、オスミウム (O s)、イリジウム (I r)、ルテニウム (R u)、銀 (A g)、金 (A u)、水銀 (H g)、タリウム (T l)、鉛 (P b)、ビスマス (B i)、チタン (T i)、硫黄 (S)、および、フッ素 (F) からなる群から選ばれた少なくとも1つの元素をさらに含んでもよい。

特に好ましいのは、Y B a₂ C u₃ O_{7-x}、ここに、x は 0 . 5 以下であり (Y 1 , 2 , 3 と呼ばれる)、付加的に、少なくとも1つの希土類元素、および / または上述し

50

た群の元素から少なくとも１つの元素を含んでもよい。

【 0 0 2 2 】

製造目的のために、例えば、上述した方法の１つに従う超伝導材のための出発原料が、基材の上に形成され、選択的にバッファ層が設けられ、そして、制御された拡散および冷却を伴う熱処理によって、所望の超伝導 1 2 3 相を形成する。

1 2 3 材料は、化合物 Se_2BaCuO 、所謂 2 1 1 相材料から制御された拡散および冷却によって、得ることができることが知られている。

好ましい方法に従って、異なる希土類元素を使用して 1 2 3 材料の異なる包晶凝固温度を利用することによってテクスチャリング(texturing)を行う。

【 0 0 2 3 】

このために、希土類元素の点で異なる少なくとも２つの 2 1 1 材料をテープ状の基材の上に長軸方向に沿ってストリップに配置し、2 1 1 材料のストリップの相互に隣接する長軸の縁を接触させる。

【 0 0 2 4 】

バリウム銅塩および／または酸化銅からなる対応する層を、２つの異なる 2 1 1 材料からなるストリップに適用して、形成される 1 2 3 材料の化学量論をセットする。上述した層は、少なくとも部分的にストリップを覆う。バリウム銅塩および／または酸化銅は 2 1 1 材料よりも低い融点を有しているので、引き続き熱処理間に先ず溶融する。形成された溶融物は、下に位置する出発原料に浸透し、出発原料が少なくとも部分的に溶融物の中に溶解する。所望の 1 2 3 物質は、バリウム銅塩／酸化銅との部分的な溶融物から、冷却間に、溶解した固体 2 1 1 材料を含む液相として、形成される。

【 0 0 2 5 】

同時に、拡散および溶融プロセスによって、希土類元素は移動して、出発原料のそれぞれの希土類元素に対して、濃度勾配が、ストリップに関して、横軸に反対方向に形成される。

定温の緩慢な冷却間、凝固前面は、最も高い凝固温度を有する 1 2 3 材料の側面から、最も低い凝固温度を有する 1 2 3 材料の側面へと進み、形成する 2 軸延伸に影響を及ぼす。

【 0 0 2 6 】

好ましくは、1 2 3 材料からなるストリップは、イニシエータとして、最も高い凝固温度を有する 1 2 3 材料が形成される側面に配置され、1 2 3 材料の希土類元素は、1 2 3 材料の凝固温度がそれを形成する 1 2 3 材料の凝固温度よりも高くなるように選択される。

【 0 0 2 7 】

この場合には、希土類元素は、更に、逆の側面に配置された 2 1 1 出発原料の方向に濃度勾配を形成する。

適切な材料の組み合わせは、 Nd_{123} 、 Y_{211} および Yb_{211} のこの順での配置からなっており、包晶凝固温度 T_p に関して、次の通りである。

$$T_p(\text{Nd}_{123}) > T_p(\text{Y}_{123}) > T_p(\text{Yb}_{123})$$

【 0 0 2 8 】

この方法によると、1 μm 、特に 5 μm 以上の厚さを有する 2 軸組織層を得ることができ、基材の元の方向に関係なく優れた 2 軸方向性が得られる。従って、形成される 2 軸組織と格子適合を有する基材を使用する必要はない。

特に、基材に関係なく生成される組織である 2 軸組織超伝導層を製造する上述した方法の他の実施態様は、DE 1 0 1 2 8 3 2 0 C 1 に開示されており、その内容全体を引用する。ここでも、濃度勾配、および、従って温度勾配は、更に希土類元素を添加することによって形成される。

【 0 0 2 9 】

温度勾配を利用する上述した方法は、大きな 2 軸方向性の結晶を備えた多結晶層から単結晶層まで得ることができる。層中の方向性のミスは、好ましくは、7°以下である。

10

20

30

40

50

この形式の層は、超伝導への適用に特に好ましい。

【0030】

この発明の超伝導ケーブルコンダクタのコアは、キャリアエレメントによって形成されている。基本的には、超伝導ケーブルコンダクタの製造のために、それ自体知られているキャリアエレメントをこの発明において使用することができる。通常、この発明に使用されるキャリアエレメントは、本質的に円筒である。

【0031】

キャリアエレメントは、チューブまたは固体コアエレメントとして形成される。

チューブとして形成される場合には、チューブ内部の中空部は、冷媒のチャンネルとして使用することができる。冷媒は、中空部を流れ、その間に、超伝導ケーブルの使用間に生じる熱損失を輸送する。 10

キャリアエレメントは、一般的に、通常電気伝導性の低い金属またはプラスチックで形成される。

【0032】

所望の柔軟性が与えられる限り、所望の他の適する材料を使用することができる。

特定の実施態様に従って、キャリアエレメントは、電気導体からなる固体コアエレメントとして形成することができる。この場合、短絡のときに、超伝導層が常伝道状態に移行すると、導電性コアエレメントに電流が流れて、超伝導層への損傷が回避される。

【0033】

キャリアエレメントは柔軟であることが重要である。これは、キャリアエレメントに環状またはらせん状のコルゲーションを備えることによって可能になる。この場合、個々のウェーブは、キャリアエレメントの長軸に沿って、キャリアエレメントの断面に関して、環状コルゲーションの場合は平行に、そして、らせん状コルゲーションの場合は、斜めに配置される。しかし、キャリアエレメントをらせん状に形成してもよい。 20

【0034】

キャリアエレメントは、所望に従って、金属またはプラスチックブレード、例えば、高品質鋼ブレードからなる外装を備えてもよい。

キャリアエレメントは、更に、金属またはプラスチックテープ、例えば、高品質鋼テープからなるテープを備えてもよい。これらは、キャリアエレメント上に互いに並んで螺旋状に巻かれる。これによって、キャリアエレメントの機械的強度を増強する。同時に、外装またはテープは、被覆されたコンダクタエレメントのサポートとしてスムーズな表面を形成する機能を果たす。 30

【0035】

外装が金属導電材からなっているときは、短絡時の電流を流す機能を果たす。

必要により、パッドを備えてもよい。このために、1以上の半導体または絶縁テープの層をキャリアエレメントに適用してもよい。上述した層は、キャリアエレメントの上に、オーバーラップした状態で、または、オーバーラップしないで螺旋状に巻きつける。

【0036】

個々の層を形成するために、複数の被覆されたコンダクタエレメントを、キャリアエレメントの上、または、被覆コンダクタエレメントからなる下に位置する対応する層の上に隣り合わせて、螺旋状に巻きつける。 40

個々の層は、キャリアエレメント上に同一方向または逆方向に巻きつけてもよい。

【0037】

更に、全ての層または個々の層は、巻き付けのための異なるレイ長さまたは角度を有している。巻き方向および/または巻き角度の選択によって、個々の層の全体にわたって均一な電流を得ることができる。これは交流に適用する場合には重要である。即ち、対応手段がないと、各層に異なる電流分布が生じて、個々の層に異なる量の電流が流れる。

【0038】

例えば、1つの層に非常に高い電流が流れると、臨界電流値を超える危険性が存在する。

この発明に使用される希土類バリウム銅塩に基づく超伝導層を備えた被覆コンダクタエレメントは、相対的に高い曲げ伸ばしおよび相対的に大きな張力に、性能低下および超伝導材の方向性の機能的障害を生じることなく耐えることができるので、この発明によると、直径の小さいキャリアエレメントを有する超伝導ケーブルを得ることができる。

【0039】

小さな直径のキャリアエレメントが可能であるので、比較可能な超伝導特性を与えると、より薄いケーブルを得ることができ、また、多芯線に基づく従来のケーブルと比較可能な厚さを与えると、より大きい超伝導断面を有するケーブルが得られる。

レイ長さは、大きな範囲で変化可能に選ぶことができる。ケーブルの形状における自由度の大きさは、それぞれの適用が可能で正確な形状のケーブルが得られることを意味する。特に有利な点は、十分な超伝導特性を有しながらもより薄いケーブルが得られる。

【0040】

更に、巻きつけの角度は広い範囲で可能であるので、個々の層に対する角度を最適に調整することができ、層の全体にわたって均一な電流分布が得られる。

【0041】

以下に、この発明による超伝導ケーブルコンダクタの形状、並びに、通常それに使用されることができる超伝導コンダクタエレメントの具体的例を示す。所要により、本願に基づいて、ここに単に例として述べた詳細から逸脱することは可能であり、それらはこの発明に付随して含まれる。

【0042】

超伝導コンダクタエレメントの構成

基材の厚さ：約 0.025 mm から約 2 mm、

基材の幅：約 10 mm、

超伝導層の厚さ：約 1 μ m から約 5 μ m、

バッファ層：約 1 μ m、

基材がニッケルまたはニッケル合金からなっているとき、例えば、ZSY がバッファ層として使用されるのが好ましい。

【0043】

層当りの超伝導コンダクタエレメントの数は、一般的にキャリアエレメントの外径およびテープ厚さによって決まる。従って、例として、直径 25 mm のキャリアエレメント (carrying element) に対して、上述したように層当り 7 個のコンダクタエレメントを使用することができ、直径 30 mm に対しては、層当り 9 テープを使用することができる。4 から 6 個が層の一般的な数である。

4 層を備えたケーブルコンダクタにおいて、均一な電流分布を得るために、層 1 および層 2 は、同一方向に異なる角度で巻かれ、層 3 および層 4 は、(層 1、層 2 とは) 逆方向に異なる角度で巻かれている。

【0044】

例えば、上述した形状の、この発明のケーブルコンダクタを使用すると、1,000,000 から 3,000,000 A/cm² の電流密度を得ることができる。

被覆されたコンダクタエレメントからなる個々の層間の電氣的相互作用を避けるために、電気絶縁層を各層間または特定の数の層の後に備えてもよい。

上述した電気絶縁層は、絶縁材料からなる薄膜またはテープによって形成することができる。テープは、同様に、被覆されたコンダクタエレメントからなる対応する層の上になんせん状に、それ自体知られている方法によって巻くことができる。

【0045】

電気絶縁層は、所望により、キャリアエレメントと、超伝導コンダクタエレメントからなる第 1 の層との間に設けられてもよい。上述した電気絶縁層に適した材料は、超伝導コンダクタエレメントからなる個々の層間に配置される絶縁層に関して述べたものと同一である。

【0046】

10

20

30

40

50

1つの層の個々のコンダクタエレメント、1つの層の複数のコンダクタエレメントの群、または、1つの層の全てのコンダクタエレメントが、相互に電氣的に絶縁されていてもよい。

この目的のために、絶縁材料が、対応するコンダクタエレメント間に設けられてもよい。

【0047】

例示的に、絶縁材からなるテープを1つの層のコンダクタエレメントに平行に巻いてもよく、それによって、テープは、個々のコンダクタエレメントストランドの間に配置されて、それらを相互に離隔する。

如何なる適切な電気絶縁材料も、それ自体、個々の層間、キャリアエレメントと超伝導巻線との間、および、1つの層のコンダクタエレメント間の材料として使用することができる。

【0048】

例として、プラスチック、紙、またはプラスチック積層紙、および、他の公知の材料がある。上述した超伝導層、層、および、キャリアエレメントの間、および1つの層のコンダクタエレメント間の絶縁は、相互に組み合わせてもよい。

好ましい被覆されたコンダクタエレメントの製造例を以下に示す。この場合、例として、AgPd12.5（重量%でのパラジウム）からなるテープを、基材として使用して説明する。基材は、長さ約5cm、厚さ約100μm、幅約2cmである。勿論、この方法は、説明のために上述したのと、異なる寸法の基材にも適用することができる。

【0049】

その出発原料は、粒の平均直径が1から50μmの範囲内である粉末である。

ブラシまたはエアブラシを使用して、キャリア材料の上に隣り合わせに並んで、Nd123からなる1mm幅の線（1）（長さ5cm、全体で約40mgのNd123）、Y211からなる5mm幅の線（2）（長さ5cm、全体で約200mgのY211）、および、Yb211からなる2mm幅の線（3）（長さ5cm、全体で約90mg）を配置した。その際、隣接する長軸方向の縁部は相互に接触した。このように配置されたストリップを全体で400mgのBa₂Cu₃O₅からなる層によって覆った。

【0050】

このように被覆されたキャリア材料を商業的に入手可能なアルミナブロックからなるチャンバーファーンネス内に配置し、次の熱処理を施した。

【表1】

開始温度	加熱速度	目標温度	保持時間
室温	500°C/h	500°C	2h
500°C	500°C/h	975°C	1h
975°C	0.5 – 1°C/h	950°C	0 min
950°C	100°C/h	室温	

この熱処理の第1のステップ間に、主として溶剤が使用され、2重量%のポリビニルアルコール（PVA）を含む水が蒸発した。

【0051】

熱処理の第2のステップ間、銀、バリウム銅塩および酸化銅からなる混合物（液相）は、溶解し、溶融ドーブバリウム銅塩を形成した。溶融ドーブバリウム銅塩は、並んで配置された下に位置する出発原料に浸透した。出発原料（1）、（2）、（3）は、この液相によって、少なくとも部分的に溶解する。形成されたネオジムの濃度勾配は、出発原料（1）から出発原料（3）の方向に進んで延伸する。逆に、付加的に形成されたイッテルビウムの濃度勾配は、出発原料（3）から出発原料（1）の方向に進んで延伸する。

【0052】

異なる超伝導（RE）BaCuO_{7-x}のための異なる包晶凝固温度 T_p 、ここに T_p （Nd123）> T_p （Y123）> T_p （Yb123）、のために、上述した濃度勾配によって、凝固温度の勾配は、全てのシステムに現れる。ステップ3における、空間的に等温の、緩慢な冷却の間、超伝導結晶は、凝固温度勾配と平行な方向への成長を促進する。

10

【0053】

超伝導性を実現するために、得られたサンプルを、酸素部分圧力1バレル雰囲気中で500の温度に50から100時間加熱した。この方法のステップにおいて、サンプルの酸素含有量は、YBa₂Cu₃O_{7-x}におけるxが、常に0.5以下で最小になるように最適化した。酸素処理の加熱および冷却速度は、約100/hであった。

得られた厚層の厚さは、代表的に、10から15μmの範囲内であった。

【産業上の利用可能性】

【0054】

この発明に使用される希土類バリウム銅塩に基づく超伝導層を備えた被覆コンダクタエレメントは、相対的に高い曲げ伸ばしおよび相対的に大きな張力に、性能低下および超伝導材の方向性の機能的障害を生じることなく耐えることができるので、この発明によると、直径の小さいキャリアエレメントを有する超伝導ケーブルを得ることができる。

20

【外国語明細書】

1. Title of Invention

Superconducting cable conductor with REBCO-coated conductor elements

2. Detailed Description of Invention

The present invention relates to a superconducting cable conductor with a superconducting material based on rare earth barium cuprates, the superconductor material being applied in layer form on a tape-type substrate. In particular, the invention relates to a superconducting cable conductor of this type for AC applications.

Superconducting cable conductors are usually constructed from a generally cylindrical carrying element with superconducting wires wound helically thereon as superconducting conductor elements.

The carrying element may comprise a conductive or nonconductive material and is usually configured in flexible fashion.

The superconducting conductor elements are wound helically on said carrying element in one or more layers. Each individual layer is obtained by a plurality of, for example tape-type, superconducting conductor elements being wound next to one another onto the carrying element or onto a layer that has already been wound onto the carrier element.

Thus, EP 0 650 205 B2 describes a multilayered superconducting cable conductor for AC applications, multifilament wires being used as conductor elements.

The multifilament wires contain a multiplicity of filament-type cores comprising a superconductor material which are embedded in a matrix comprising a normally conducting metal, in particular silver. In order to avoid AC losses on account of eddy currents and coupling currents, insulating layers comprising an

insulating material are provided between the individual layers comprising superconducting wires.

The superconducting wires are obtained by filling for example pulverulent starting material, which can be converted into the desired superconductor material by means of suitable thermal treatment, into a casing comprising a normally conducting metal, preferably silver. The casing filled with the pulverulent starting material is subjected to a plastic deformation with drawing and rolling to form a long filament having a small diameter and is subsequently sintered. The individual filaments obtained are combined to form a bundle comprising a multiplicity of individual filaments and passed together into a further casing, which is in turn subjected to a plastic deformation and sintering. A superconducting multifilament wire with the desired number of filaments in a metal matrix is obtained as a result. The finished multifilament wire preferably has a tape form.

The superconductor material acquires the desired high orientation as a result of the treatment described above, the crystallographic c axis essentially extending perpendicular to the current flow direction and the a - b plane extending parallel to the current flow direction. The orientation should preferably be as homogeneous as possible over the entire extent of the superconducting material.

Depending on the diameter of the carrying element onto which the multifilament wire is wound, and on the lay length of the individual turns, forces as a result of bending elongation and tensile stress are exerted on the wires during the winding process and in the unwound state. This may result in an impairment of the orientation of the superconducting phase and thus in a reduction of the superconducting properties.

In order to be able to obtain the greatest

possible freedom with regard to the diameter of the carrying element and the lay length of the winding and thus with regard to the cable construction, a superconducting cable is desirable, therefore, in which no degradation of the superconducting wires occurs even in the case of a relatively high degree of bending for example in the case of a small diameter of the carrying element and/or a small lay length, and relatively high tension.

According to the invention, this object is achieved by means of a superconducting cable conductor which contains a carrying element, onto which is wound at least one layer comprising two or more superconducting conductor elements, the individual superconducting conductor elements of each layer being arranged next to one another, and the superconducting conductor elements contain a tape-type substrate coated with a semiconducting material based on rare earth barium cuprate.

Hereinafter, the superconducting conductor elements used according to the invention, comprising a tape-type substrate coated with a superconducting material based on rare earth barium cuprate, are also called "REBCO-coated conductor elements", where RE= one or more rare earth elements including lanthanum and yttrium, or "coated conductor elements".

As in the case of the superconducting multifilament wires described in the introduction, here too the quality of the superconducting properties depends on the extent of the orientation of the superconducting crystals in the layer. In order to achieve a high critical current, high current density and current-carrying capacity, it is advantageous, therefore, if the superconducting material in the coated conductor element has the highest possible biaxial orientation (texturing), the crystallographic c

axes of the individual superconducting crystals being arranged perpendicular or essentially perpendicular to the surface of the tape-type substrate and the a-b planes being arranged parallel or essentially parallel to the surface of the tape-type substrate, so that the a-b planes extend in the current flow direction.

Coated conductor elements as are used according to the invention, methods for producing them, precursor materials suitable therefor for forming the superconducting material and suitable substrates are generally known to persons skilled in the art and described in numerous instances in the literature. By way of example, reference is made in this respect to N. McN Alford et al., "Topical review: High-temperature superconducting thick films" in Supercond. Sci. Technol. 10 (1997) 169-185, J.L. MacManus-Driscoll "Recent developments in conductor processing of high irreversibility field superconductors" in Annu. Rev. Mater. Sci. volume 28 (1998) pages 421 to 462 and WO 98/58415.

In this case, the desired texturing of the superconducting layers is achieved by using specific substrates, the properties of the substrate, in particular the texture thereof, bringing about the orientation of the crystals growing in the superconducting layer.

Suitable methods and materials for producing coated conductor elements as may be used according to the invention, a layer comprising superconducting material being deposited on a substrate, are, for example, the ion beam assisted deposition (IBAD) or assisted biaxially textured substrates (RABiTS) methods as are described for example in Y. Jijima et al., "In-plane aligned YBCO thin films deposited on polycrystalline metal substrates", in Appl. Phys. Lett. 60 (1992) page 769 for IBAD and A. Goyal et al.

"Fabrication of long range, biaxially textured, high T_c superconducting tapes" in Appl. Phys. Lett. 69 (1996), page 1795 for RABiTS.

Further suitable deposition methods are pulsed laser deposition (PLD) as described for example in A. Usoskin et al., EUCAS 99, page 447 and by S.R. Foltyn et al., in IEEE Trans. on Applied Supercond., 9, (1999), page 1519, and the solution-assisted (sol-gel) method as described for example by M.P. Siegel et al., in Appl. Phys. Lett., volume 80, No. 15 (2002) pages 2710 to 2712. A further suitable method is the so-called BaF_2 method, as described for example by S.W. Lu et al. in Supercond. Sci. Technol., 14 (2001) pages 218 to 223, fluorine in the form of BaF_2 being added to the starting material for the formation of the superconductor material.

The substrate used for the coated conductor element that is to be used according to the invention may be any desired substrate provided that it neither adversely affects the superconductor material of the layer nor is impaired by the processing processes for forming the superconducting layer. Examples of substrates are monocrystalline ceramics, polycrystalline ceramics or metals.

The cross-sectional form of the tape-type substrate may be selected as desired, in principle. The cross section may be in, for example, rectangular, square, oval, round, polygonal, trapezoidal, etc. form. An essentially rectangular form is generally preferred, however.

It goes without saying that substrates with a sufficient flexibility for the desired cable application are to be used for the superconducting conductor elements that are to be used according to the invention.

One or more thin intermediate layers may be

provided as buffer layer between the superconducting layer and the substrate.

The buffer layer prevents the substrate material from reacting with the superconducting material in an undesirable manner.

Thus, for example when using metals as substrates, a suitable buffer layer comprising a ceramic should be provided.

Examples of suitable materials for the buffer layer are zirconium oxide, stabilized zirconium oxide such as, for example, zirconium oxide stabilized with yttrium oxide (YSZ), CeO_2 and MgO , but also SrTiO_3 , LaAlO_3 .

A superconducting oxidic material based on rare earth barium cuprates is used as superconducting material for the present invention. The rare earth barium cuprates contain at least one rare earth element (RE) selected from among Y, La, Ce, Pr, Nd, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb and Lu, preferably yttrium or yttrium in combination with at least one further rare earth element.

Particularly preferred compounds have the general formula

$\text{SEBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ where $x \leq 0.5$.

In addition, the rare earth barium cuprates may contain at least one further element selected from the group consisting of Be, Mg, Ca, Sr, Zn, Cd, Sc, Zr, Hf, Pt, Pd, Os, Ir, Ru, Ag, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Ti, S and F.

Particular preference is attached to $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ where $x \leq 0.5$ (also called Y1, 2, 3), which may additionally contain at least one further rare earth element and/or at least one further element from the group of elements mentioned above.

For production purposes, the starting materials for the superconducting material, for example according

to one of the methods mentioned above, are deposited on the substrate, which is optionally provided with a buffer layer, and are subjected to a thermal treatment with controlled fusion and cooling to form the desired superconducting 123 phase.

It is known that the 123 material can be obtained from a material of the composition Se_2BaCuO , the so-called 211 material, by controlled fusion and cooling.

In accordance with a preferred method, the texturing is effected by making use of the different peritectic solidification temperature of 123 materials with different rare earth elements.

For this purpose, at least two 211 materials which differ in terms of the RE component are arranged in strip form along the longitudinal direction on a tape-type substrate, the mutually adjoining longitudinal edges of the strips of 211 material being in contact.

A corresponding layer comprising barium cuprate and/or copper oxide is applied on the strips comprising the two different 211 materials for the purpose of setting the stoichiometry of the 123 material to be formed, which layer at least partially covers the strips. Since the barium cuprate and/or copper oxide has a lower melting point than the 211 materials, it is the first to melt during a subsequent thermal treatment. The melt that is formed infiltrates the underlying starting materials, the latter at least partially dissolving in the melt. The desired 123 material forms during cooling from this partial melt with the barium cuprate/copper oxide as liquid phase with dissolved solid 211 material.

At the same time, the rare earth elements migrate on account of diffusion and melting processes, concentration gradients for the respective rare earth

elements of the starting materials forming in the opposite direction transversely with respect to the strip.

During slow isothermal cooling, the solidification front advances from the side with the 123 material having the highest solidification temperature to the side with the 123 material having the lowest solidification temperature, a biaxial orientation of the crystals that form being effected.

Preferably, a strip comprising a 123 material is arranged as initiator on the side on which the 123 material having the higher solidification temperature forms, the rare earth element for said 123 material being chosen such that the solidification temperature of the 123 material is higher than the solidification temperature of the 123 materials that form.

In this case, this rare earth element also forms a concentrating gradient in the direction of the 211 starting material arranged on the opposite side.

A suitable material combination comprises an arrangement of Nd123, Y211 and Yb211 in this order, the following holding true for the peritectic solidification temperatures T_p : $T_p \text{ Nd123} > T_p \text{ Y123} > T_p \text{ Yb123}$.

According to this method, it is possible to obtain biaxially textured layers having a thickness of 1 μm , and in particular 5 μm or more, an excellent biaxial orientation being possible even without corresponding preorientation of the substrates. Therefore, it is not necessary to use substrates which contain a lattice matching to the biaxial texturing to be formed.

A further embodiment for the above-described method for producing in particular biaxially textured superconducting layers, the texturing being effected independently of the substrate, is described in

DE 101 28 320 C1, to the entire contents of which reference is made here. Here, too, a concentration gradient, and thus a temperature gradient, is formed by the addition of further rare earth elements.

Above-described methods making use of temperature gradients make it possible to obtain polycrystalline layers with large biaxially oriented crystals through to monocrystalline layers. The misorientation of the crystals in the layer is preferably not more than 7°.

Layers of this type are particularly preferred for superconducting applications.

The core of the superconducting cable conductor according to the invention is formed by the carrying element. In principle, the carrying elements that are known per se for the production of superconducting cable conductors can be used for the present invention. Usually, the carrying element used according to the invention is essentially cylindrical.

The carrying element may be formed as a tube or as a solid core element.

If it is formed as a tube, the cavity in the interior of the tube may be used as a channel for the cooling medium. The cooling medium flows through the cavity and in the process transports away the heat loss arising during the use of the superconducting cable.

The carrying element may generally be formed from a metal or plastic and usually has a low electrical conductivity.

Provided that the required flexibility is given, it is also possible to use any other suitable material desired.

In accordance with a particular embodiment, however, the carrying element may be formed as a solid core element comprising an electrical conductor. In this case, in the event of a short circuit, when the superconducting layer undergoes transition to the

normally conducting state, the electrically conductive core element can carry the current and damage to the superconducting layer can thus be avoided.

It is essential for the carrying element to be flexible. This can be achieved by the carrying element having an annular or spiral corrugation. In this case, the individual waves are arranged along the longitudinal extent of the carrying element parallel in the case of the annular corrugation, and obliquely in the case of the spiral corrugation, with respect to the cross section of the carrying element. However, the carrying element may also be formed as a helix.

The carrying element may have, as required, an armoring comprising a metal or plastic braiding, for example comprising a high-grade steel braiding.

The carrying element may furthermore have a taping comprising metal or plastic tapes, for example a high-grade steel tape, which are wound helically next to one another onto the carrying element. This may result in a mechanical reinforcement of the carrying element. At the same time, the armoring or the taping serves to form a smooth surface as a support for the coated conductor elements.

If the armoring comprises a metallically conductive material, it may likewise serve to take up short-circuit currents.

A padding may be provided, as required. For this purpose, one or more layers of semiconductive or insulating tape may be applied to the carrying element, said layers being wound helically onto the carrying element with or without an overlap.

In order to form the individual layers, a plurality of coated conductor elements are wound helically next to one another onto the carrying element or onto a corresponding underlying layer comprising coated conductor elements.

The individual layers may be wound onto the carrying element in the same sense or in opposite senses.

In addition, all of the layers or individual layers may have different lay lengths or angles for the winding. It is possible to achieve a uniform current distribution over the individual layers through the selection of the winding direction and/or the angles of the winding. This is of importance for applications with alternating current since here, in the absence of corresponding measures, a nonuniform current distribution may occur over the individual layers, with a different quantity of current flowing in the individual layers.

If a very high current flows in one layer, for example, there is the risk of the critical limit value being exceeded.

Since the coated conductor elements with a superconducting layer based on rare earth barium cuprate that are used according to the invention can withstand even a relatively high bending elongation and a relatively large tension without degradation and thus impairment of the orientation of the superconducting material, superconducting cables which may have a carrying element having a low diameter may be obtained according to the invention.

On account of the possible low diameter of the carrying element, given comparable superconducting properties it is possible to obtain thinner cables or, given a comparable thickness to conventional cables based on multifilament wires, the cables according to the invention have a higher superconducting cross section.

The lay length may also be chosen to be variable to a greater extent.

The greater degrees of freedom that become

possible as a result of this in the configuration of the cable mean that the cable, as required, may be configured as exactly as possible for the respective application. It is particularly advantageous that overall thinner cables can be obtained which nevertheless have sufficient superconducting properties.

Moreover, a greater range of variation for the angles for the winding becomes possible, so that an optimum coordination of the angles for the individual layers is possible for achieving a uniform current distribution over the layers.

The text below specifies concrete examples for the configuration of a superconducting cable conductor according to the invention and for superconducting conductor elements that can be used therefor, of the kind that may usually be used. It goes without saying that, as required and depending on the application, deviations from the details that are mentioned here merely by way of example are possible and concomitantly encompassed by the invention.

Construction of the superconducting conductor elements

Thickness of the substrate: approximately 0.025 mm to approximately 2 mm

Width of the substrate: approximately 10 mm

Thickness of the superconducting layer: approximately 1 μm to 5 μm

Buffer layer: approximately 1 μm

If the substrate comprises nickel or an Ni alloy, for example, ZSY is preferably used as the buffer layer.

The number of superconducting conductor elements per layer generally depends on the external diameter of the carrying element and the tape width. Thus, by way of example, for a carrying element having a diameter of 25 mm, it is possible to use 7 conductor elements as described above per layer, and with 30 mm it is

possible to use 9 tapes per layer. 4 to 6 is a customary number of layers.

In a cable conductor with 4 layers, in order to achieve a uniform current distribution, layers 1 and 2 may be wound in the same sense but at different angles and layers 3 and 4 may be wound in the opposite sense thereto, likewise at different angles.

With a cable conductor according to the invention for example with a configuration as described above, it is possible to obtain current densities of 1 000 000 to 3 000 000 A/cm².

In order to avoid electrical interactions between the individual layers comprising coated conductor elements, an electrically insulating layer may be provided between each layer or after a specific number of layers.

Said electrically insulating layer may be formed from a film or a tape comprising an insulating material. A tape may likewise be wound helically onto the corresponding layer comprising coated conductor elements in a manner known per se.

An electrically insulating layer may be provided, as required, between the carrying element and the first layer comprising superconducting conductor elements. Suitable materials for said electrically insulating layer are the same as those mentioned above for the insulating layers which are arranged between the individual layers comprising superconducting conductor elements.

Individual conductor elements of a layer, groups of a plurality of conductor elements of a layer or all the conductor elements of a layer may also be electrically insulated from one another.

For this purpose, an insulating material may be provided between the corresponding conductor elements.

By way of example, a tape comprising an

insulating material may be wound parallel to the conductor elements of a layer, so that the tape runs between the individual conductor element strands and isolates the latter from one another.

Any suitable electrically insulating material may be used per se as material for the electrical insulation between the individual layers, between carrying element and superconducting winding and between the conductor elements of a layer.

Examples are plastics, paper or plastic-laminated paper and also other materials known therefor. The insulations described above, i.e. between the superconducting layers, layer and carrying element and between the conductor elements of a layer, may also be used in combination with one another.

An example of the production of a preferred coated conductor element is given below. In this case, the production is explained by way of example using a piece of tape comprising AgPd12.5 (palladium in percent by weight) as substrate having a length of approximately 5 cm, a thickness of approximately 100 μm and a width of approximately 2 cm. It goes without saying, however, that the method can also be applied to substrates having different dimensions from those mentioned by way of example above.

The starting materials were present as a powder with an average particle diameter in the range of from 1 to 50 μm .

Brushes or an airbrush were used to arrange on the carrier material next to one another a 1 mm wide line comprising Nd123 (1) (5 cm long, overall about 40 mg Nd123), a 5 mm wide line comprising Y211 (2) (5 cm long, overall about 200 mg Y211) and a two millimeter wide line comprising Yb211 (3) (5 cm long, overall about 90 mg) next to one another such that adjacent longitudinal edges were in contact with one

another. The resulting strip was covered with a layer comprising overall 400 mg of $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_5$.

The carrier material thus coated was placed in air in a commercially available chamber furnace comprising an Al_2O_3 block and subjected to the following thermal treatment.

Start temperature	Heating rate	Target temperature	Hold time
Room temperature	500°C/h	500°C	2h
500°C	500°C/h	975°C	1h
975°C	0.5 - 1°C/h	950°C	0 min
950°C	100°C/h	Room temperature	

During the first step of this thermal treatment, primarily the solvents used, water with 2% by weight of polyvinyl alcohol (PVA), were evaporated.

During the second step of the thermal treatment, the mixture comprising silver, barium cuprate and copper oxide - the liquid phase - fused and formed a doped barium cuprate melt which infiltrated the underlying starting materials arranged next to one another. The starting materials (1), (2) and (3) were at least partially dissolved by this liquid phase. A concentration gradient of neodymium formed, which extended from starting material (1) proceeding in the direction of starting material (3). Conversely, a concentration gradient of ytterbium additionally formed, which extended from starting material (3) proceeding in the direction of starting material (1).

On account of the different peritectic solidification temperatures T_p for different superconductors $(\text{RE})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ where $T_p(\text{Nd123}) > T_p(\text{Y123}) > T_p(\text{Yb123})$, a gradient of the solidification

temperature resulted in the overall system on account of the concentration gradient mentioned above. During the spatially isothermal, slow cooling in step 3, this promoted a directional growth of the superconductor crystals parallel to the gradient of the solidification temperature.

In order to produce the superconductivity, the samples obtained were heated to 500°C for 50 to 100 hours in an atmosphere with an oxygen partial pressure of 1 bar. In this method step, the oxygen content of the samples was optimized to the effect of x in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ becoming minimal but always less than 0.5. The heating and cooling rates of the oxygen treatment were about 100°C/h.

The thicknesses of the thick layers obtained were typically in the range of between 10 and 15 μm .

CLAIMS

1. Superconducting cable conductor,
characterized
in that the superconducting cable conductor contains a carrying element, onto which is wound at least one layer comprising two or more superconducting conductor elements, the individual superconducting conductor elements of each layer being arranged next to one another, and the superconducting conductor elements contain a tape-type substrate coated with a superconducting material based on rare earth barium cuprate.

2. Superconducting cable conductor according to claim 1,
characterized
in that, in the rare earth barium cuprate, the rare earth component is yttrium or contains yttrium.

3. Superconducting cable conductor according to claim 1 or 2,
characterized
in that the rare earth barium cuprate contains at least one further element selected from among Be, Mg, Ca, Sr, Zn, Cd, Sc, Zr, Hf, Pt, Pd, Os, Ir, Ru, Ag, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Ti, S and F.

4. Superconducting cable conductor according to one of the preceding claims,
characterized
in that the layer comprising rare earth barium cuprate has a biaxial orientation.

5. Superconducting cable conductor according to one of the preceding claims,
characterized
in that the substrate used for the conductor element is a substrate which has no lattice matching for the texturing of the layer comprising superconducting

material.

6. Superconducting cable conductor according to one of the preceding claims,

characterized

in that the cable conductor has four to six layers comprising superconducting conductor elements.

7. Superconducting cable conductor according to one of the preceding claims,

characterized

in that an electrically insulating layer is provided at least between two layers comprising superconducting conductor elements.

8. Superconducting cable conductor according to one of the preceding claims,

characterized

in that an insulating layer is provided between carrying element and first layer comprising superconducting conductor elements.

9. Superconducting cable conductor according to one of the preceding claims,

characterized

in that the carrying element is hollow.

10. Superconducting element according to one of claims 1 to 8,

characterized

in that the carrying element is solid.

11. Superconducting cable conductor according to claim 10,

characterized

in that the carrying element comprises an electrically conductive material.

12. Superconducting cable conductor according to one of the preceding claims,

characterized

in that the carrying element has an annular corrugation or spiral corrugation.

1. ABSTRACT

The present invention relates to a superconducting cable conductor which contains a carrying element, on which is wound at least one layer comprising two or more superconducting conductor elements, the individual conductor elements of each layer being arranged next to one another, and the superconducting conducting elements are formed from a tape-type substrate coated with a superconducting material based on rare earth barium cuprate, preferably based on yttrium barium cuprates.