

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3568744号  
(P3568744)

(45) 発行日 平成16年9月22日(2004.9.22)

(24) 登録日 平成16年6月25日(2004.6.25)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

F I

H O 1 B 12/16

H O 1 B 12/16 Z A A

H O 1 B 12/08

H O 1 B 12/08 Z A A

請求項の数 2 (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-219521  
 (22) 出願日 平成9年8月14日(1997.8.14)  
 (65) 公開番号 特開平11-66980  
 (43) 公開日 平成11年3月9日(1999.3.9)  
 審査請求日 平成13年11月13日(2001.11.13)

(73) 特許権者 000213297  
 中部電力株式会社  
 愛知県名古屋市東区東新町1番地  
 (73) 特許権者 000005186  
 株式会社フジクラ  
 東京都江東区木場1丁目5番1号  
 (74) 代理人 100064908  
 弁理士 志賀 正武  
 (74) 代理人 100108578  
 弁理士 高橋 詔男  
 (74) 代理人 100089037  
 弁理士 渡邊 隆  
 (74) 代理人 100091904  
 弁理士 成瀬 重雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 酸化物超電導ケーブル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

酸化物超電導コアをシースで覆って形成された超電導導体を素線絶縁し、それらがパイプ状のフォーマの周囲に、複数配された酸化物超電導ケーブルであって、前記超電導導体からなる略断面矩形の超電導撚線をフォーマに巻回して超電導撚線層が形成され、各超電導導体が、自己磁場の影響を均等にするために前記超電導撚線層の最外層側と最内層側とに交互に位置するよう撚り合わされ、  
超電導導体の撚りピッチが、該超電導導体の線径の400倍～1000倍に設定されたことを特徴とする酸化物超電導ケーブル。

【請求項2】

超電導撚線の幅方向が、フォーマの径方向に向けられてなることを特徴とする請求項1記載の酸化物超電導ケーブル。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電力輸送用、超電導マグネット、電流リード、発電機、医療機器などとしての応用開発が進められている酸化物超電導体および酸化物超電導ケーブルに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、酸化物超電導ケーブルの一例として、図4に示すように、超電導導体1を銅などが

らなるパイプ 2 の周囲に螺旋状に巻回してなる超電導ケーブル 3 が知られてる。  
 この超電導導体 1 は、酸化物超電導コア 4 が銀などからなるシース 5 により覆われて形成され、該超電導導体 1 をパイプ 2 に対して複数層巻回することにより形成されている。  
 このような超電導ケーブル 3 にあっては、図 4 に示すように、パイプ 2 の表面に巻回される超電導導体 1 の一層目 6 が、いわゆる S より（右より）の方向に巻回され、かつ、該一層目 6 に巻回される超電導導体 1 の二層目 7 が、いわゆる Z より（左より）の方向に巻回されるような、各層毎に逆方向に巻回する S - Z 方向のスパイラル巻きや、また、S よりの方向に重ねて巻回するような S - S 方向のスパイラル巻き等が利用されて、複数の積層状態の超電導導体積層 8 が形成されていた。

【 0 0 0 3 】

10

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上述のように超電導導体が各層毎に巻かれるような層状構造を持つ酸化物超電導ケーブルの場合、該酸化物超電導ケーブルの自己磁場の影響から、ケーブル最外層の超電導導体に多くの電流が流れ、内側層に向かって実際の電流は小さくなる層間電流勾配が発生することがさけられず、臨界電流密度が低下する傾向があるという問題があった。  
 そのため、多くの場合、各層の超電導導体に別々に電流を流し込み、各層間の電流のバランスがとれるように層間に抵抗もしくはコンデンサー、コイル等を介在することにより上記問題の解決を図っていたが、これらの方法では、実質的に抵抗が 0 であるという超電導の特性を十分に生かし切れないという問題があった。

【 0 0 0 4 】

20

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、以下の目的を達成しようとするものである。

▲ 1 ▼ 各超電導導体に流れる電流の値と自己磁場から受ける影響との均等化を図り、超電導導体の層間電流勾配の解消を図ること。

▲ 2 ▼ 臨界電流密度の増大と交流通電時に発生する渦電流損失の低減とを図り、酸化物超電導ケーブルの大容量化を図ること。

▲ 3 ▼ 簡単な構造の酸化物超電導ケーブルを提供すること。

▲ 4 ▼ 製造コストを削減すること。

【 0 0 0 5 】

【課題を解決するための手段】

30

酸化物超電導コアをシースで覆って形成された超電導導体を素線絶縁し、それらがパイプ状のフォーマの周囲に、複数配された酸化物超電導ケーブルであって、前記超電導導体からなる超電導撚線がフォーマに巻回されたことにより超電導撚線層が形成され、各超電導導体が、自己磁場の影響を均等にするために前記超電導撚線層の表層側と内層側とに交互に位置するよう撚り合わされる。

超電導撚線が、略断面矩形の超電導導体を複数撚り合わされて略断面矩形のブロック状に形成され、該超電導撚線の幅方向が、フォーマの径方向に向けられて巻回される。ここで、撚り合わされる超電導導体が奇数本とされることが好ましく、より好ましくは 9 本とされる。

超電導導体のコアが  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_x$  (Bi 2 2 1 2 相),  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  (Bi 2 2 2 3 相),  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ,  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ , などで示される組成を持つものとされ、特に、Bi 系 2 2 2 3 相または Bi 系 2 2 1 2 相の Bi 系酸化物超電導材料が選択されることが好ましい。

シースが Ag, Pt, Au 等の貴金属とされることが好ましい。

超電導導体の撚りピッチが、該超電導導体の線径の 4 0 0 倍 ~ 1 0 0 0 倍が好ましく、より好ましくは、4 0 0 倍に設定される。

超電導撚線がフォーマへ巻回される 2 次ピッチが、該超電導導体の線径の 5 0 0 倍 ~ 5 0 0 0 倍が好ましく、より好ましくは、1 0 0 0 倍に設定される。

フォーマの内部は、液体窒素等の冷却媒体の流路とされ、超電導導体の冷却が行われる。

50

## 【 0 0 0 6 】

## 【 発明の実施の形態 】

以下、本発明に係る酸化物超電導ケーブルの一実施形態を、図面に基づいて説明する。  
図 1 ないし図 3 において、符号 1 0 は酸化物超電導ケーブル、2 0 は超電導導体、3 0 は超電導撚線、4 0 はフォーマである。

## 【 0 0 0 7 】

酸化物超電導ケーブル 1 0 は、図 1 に示すように、パイプ状のフォーマ 4 0 の周囲に、表面を素線絶縁した超電導導体 2 0 が複数配されて例えば円筒状の超電導撚線層 1 1 が形成される。

超電導撚線層 1 1 は、超電導導体 2 0 が撚り合わされた略断面矩形の超電導撚線 3 0 により略断面矩形のブロック状に形成され、該超電導撚線 3 0 がその幅方向をフォーマ 4 0 の径方向に向けてフォーマ 4 0 に巻回されることにより形成される。

酸化物超電導ケーブル 1 0 の外側には、図示しない半導体層、絶縁層およびまたは密閉層が形成される。

## 【 0 0 0 8 】

超電導導体 2 0 は、幅 0 . 5 ~ 2 mm 程度、厚さ 0 . 0 5 ~ 0 . 7 mm 程度の範囲のものとされ、例えば、幅 1 mm、厚さ 0 . 7 mm とされて、図 1 ないし図 3 に示すように、酸化物超電導コア 2 1 をシース 2 2 で覆って形成され、例えば厚さ 1  $\mu$ m ~ 2 0  $\mu$ m 程度のエナメル層からなる絶縁層 2 3 で覆われている。

酸化物超電導コア 2 1 は、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_x$  (Bi 系 2 2 1 2 相),  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  (Bi 系 2 2 2 3 相),  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ,  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ , などで示される組成を持つものとされ、例えば、Bi 系酸化物超電導物質のうち、Bi 系 2 2 2 3 相または Bi 系 2 2 1 2 相により形成される。

シース 2 2 は、Ag, Pt, Au 等の貴金属あるいはそれらの合金とされ、例えば、銀シースとされる。

## 【 0 0 0 9 】

超電導撚線 3 0 は、図 1 ないし図 3 に示すように、超電導撚線層 1 1 の厚さになるように、例えば 9 本の超電導導体 2 0 を撚り合わせて略断面矩形に形成される。このとき、超電導導体 2 0 の撚りピッチが、該超電導導体 2 0 の線径 (幅) の 4 0 0 倍 ~ 1 0 0 0 倍、好ましくは、4 0 0 倍程度に設定され、例えば 0 . 4 m とされる。

超電導撚線 3 0 は、図 1 に示すように、その略矩形とされた横断面における長辺方向 (幅方向) をフォーマ 4 0 の径方向に向け、前記横断面における短辺方向 (厚み方向) をフォーマ 4 0 の周方向に向けてフォーマ 4 0 に巻回される。このとき、例えば 7 0 本の超電導撚線 3 0 がフォーマ 4 0 の周囲にスパイラル巻き状に巻回され、この際、超電導撚線 3 0 がフォーマ 4 0 の周囲に巻回する際の 2 次ピッチが、超電導導体 2 0 の線径 (幅) の 5 0 0 倍 ~ 5 0 0 0 倍、好ましくは、1 0 0 0 倍程度に設定されて例えば 1 m とされる。

## 【 0 0 1 0 】

フォーマ 4 0 は、図 1 に示すようにパイプ状とされ、例えば内径 3 2 mm、外径 3 5 mm の寸法とされる。フォーマ 4 0 の内部は、例えば液体窒素等の冷却媒体の流路とされて、超電導導体 2 0 の冷却が行われる。

## 【 0 0 1 1 】

上記のような構成であると、各超電導導体 2 0 が撚り合わされて超電導撚線 3 0 とされ、かつ、該超電導撚線 3 0 がフォーマ 4 0 に巻回されていることにより、超電導導体 2 0 は、撚りピッチ毎に超電導撚線層 1 1 の半径方向の位置が、最内側位置から最外側位置まで繰り返して経過しながら酸化物超電導ケーブル 1 0 の軸線方向に延在することになる。

したがって、酸化物超電導ケーブル 1 0 に電流を流した場合には、該酸化物超電導ケーブル 1 0 の半径方向に強さが異なる自己磁場が発生するが、1 本の超電導導体 2 0 がこの自己磁場から受ける影響は、各撚りピッチ毎に酸化物超電導ケーブル 1 0 の半径方向の位置変化に対応して変化して、超電導撚線 3 0 ごとに相殺される。

10

20

30

40

50

そのため、それぞれの超電導導体 20 においては、酸化物超電導ケーブル 10 の軸線方向に前記自己磁場から受ける影響が均等化する。その結果、各々の超電導導体 20 には、等しい値の電流を流すことが可能となり、超電導撚線層 11 の半径方向の電流勾配が解消される。

【0012】

また、各超電導撚線 30 の周囲に発生する磁場が、図 3 において B B で示すように、隣接する超電導撚線 30 ごとに打ち消し合うために、その結果、交流通電磁に発生する渦電流損失を低減することができる。

【0013】

〔実施例〕

B i 系 2 2 2 3 相からなる B i 系酸化物超電導物質を酸化物超電導コアとして、該酸化物超電導コア 19 心とし、A g をシース線材とし、厚さ 10  $\mu$  m のエナメルを絶縁層とした、幅 1 mm、厚さ 0.7 mm の超電導導体 9 本により、撚りピッチを 0.4 m として超電導撚線を形成し、該超電導撚線 70 本を、外径 35 mm、内径 32 mm のステンレス鋼製のフォーマに 1 m の 2 次ピッチとして巻回し、酸化物超電導ケーブルを作成した。

この酸化物超電導ケーブルに以下の条件で測定実験を行った。

外部磁場：0 T

温度：77 K

1 本の超電導導体の臨界電流値：5 A

1 本の超電導撚線の臨界電流値：45 A

酸化物超電導ケーブルの臨界電流値：3150 A

1 本の超電導導体の電流値：4.5 A

1 本の超電導撚線の電流値：40.5 A

酸化物超電導ケーブルの電流値：2835 A

この結果、各超電導導体には、臨界電流値の 90 % 程度の電流が流れることが測定された。

【0014】

また、上述の酸化物超電導ケーブルにおいて、超電導導体の撚りピッチを変化させたものを作成し、測定実験を行った。その結果を表 1 に示す。

【0015】

【表 1】

10

20

30

| 燃りピッチ (m) | 超電導導体の歪断 | 臨界電流に対する電流比 (%) |
|-----------|----------|-----------------|
| 1         | ○        | 100             |
| 0.4       | ○        | 100             |
| 0.2       | ×        | 50              |
| 0.1       | ×        | 5               |

10

20

30

【0016】

この結果、超電導導体の燃りピッチLが、超電導導体の線径（幅）の400倍～4000倍、好ましくは、400倍程度に設定されることにより、流れる電流値の向上が図られることが測定された。

【0017】

【発明の効果】

40

本発明の酸化物超電導ケーブルによれば、以下の効果を奏する。

（1）超電導導体により超電導燃線を形成して、超電導燃線の幅方向を酸化物超電導ケーブルの径方向に向けたことにより、超電導導体が超電導燃線層の最内側と最外側とに交互に位置するようにしたので、各超電導導体を流れる電流の値と自己磁場から受ける影響との均等化を図ることができる。

（2）各超電導導体において流れる電流と自己磁場から受ける影響とが等しいため、超電導燃線層における電流勾配を解消して、内側に位置する超電導導体にも電流を流すとともに、臨界電流密度の増大と交流通電時に発生する渦電流損失の低減とを図り、酸化物超電導ケーブルの大容量化を図ることができる。

（3）、超電導導体の層毎に生じる電流勾配をコンデンサ、抵抗等により均一化する必要

50

がないため、各超電導導体を流れる電流の値と自己磁場から受ける影響との均等化を図ること、および、超電導撚線層における電流勾配を解消して酸化物超電導ケーブルの大容量化を図ることを維持したまま、簡単な構造の酸化物超電導ケーブルを提供することができる。

(4) 上記により製造コストを削減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る酸化物超電導ケーブルの一実施形態を示す斜視図である。

【図2】 図1の酸化物超電導ケーブルにおける超電導撚線層を示す拡大斜視図である。

【図3】 図1の超電導撚線層における渦電流損失低減を示す模式断面図である。

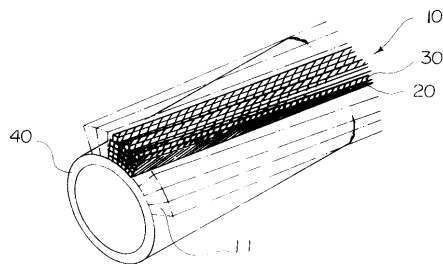
【図4】 従来の酸化物超電導ケーブルを示す斜視図である。

10

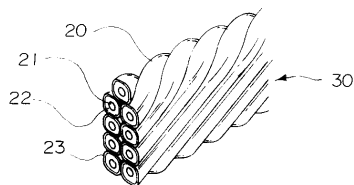
【符号の説明】

10 ... 酸化物超電導ケーブル, 11 ... 超電導撚線層, 20 ... 超電導導体, 21 ... 酸化物超電導コア, 22 ... シース, 23 ... 絶縁層, 30 ... 超電導撚線, 40 ... フォーム

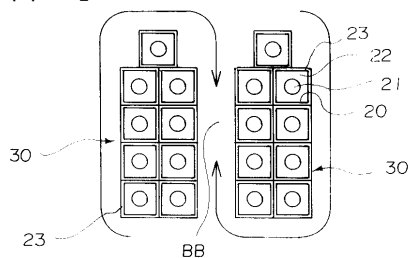
【図1】



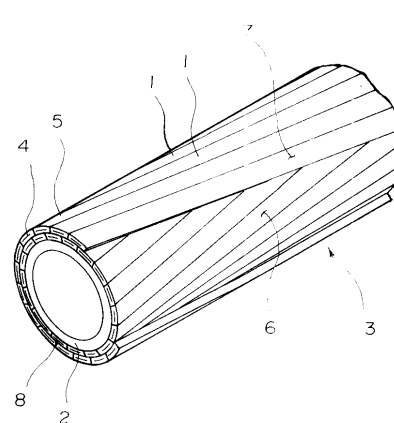
【図2】



【図3】



【図4】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100101465

弁理士 青山 正和

(72)発明者 久米 篤

東京都江東区木場1丁目5番1号 株式会社フジクラ内

(72)発明者 二木 直洋

東京都江東区木場1丁目5番1号 株式会社フジクラ内

(72)発明者 定方 伸行

東京都江東区木場1丁目5番1号 株式会社フジクラ内

(72)発明者 斉藤 隆

東京都江東区木場1丁目5番1号 株式会社フジクラ内

(72)発明者 末松 達也

千葉県富津市新富42-1 株式会社フジクラ 富津工場内

(72)発明者 長屋 重夫

愛知県名古屋市緑区大高町字北関山20番地の1 中部電力株式会社 電力技術研究所内

審査官 青木 千歌子

(56)参考文献 特開平08-335414(JP,A)

特開平10-125150(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H01B 12/00-13/00