

(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2006-66274
(P2006-66274A)

(43) 公開日 平成18年3月9日(2006.3.9)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 B 12/10 (2006.01)	HO 1 B 12/10	5 G 3 2 1
HO 1 B 13/00 (2006.01)	HO 1 B 13/00 5 6 5 F	

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2004-248614 (P2004-248614)	(71) 出願人	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(22) 出願日	平成16年8月27日(2004.8.27)	(74) 代理人	100113077 弁理士 高橋 省吾
		(74) 代理人	100112210 弁理士 稲葉 忠彦
		(74) 代理人	100108431 弁理士 村上 加奈子
		(74) 代理人	100128060 弁理士 中鶴 一隆
		(72) 発明者	江川 邦彦 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

最終頁に続く

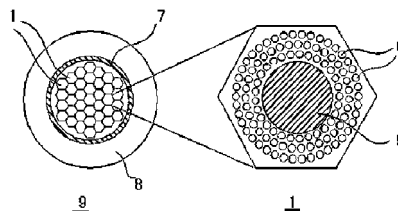
(54) 【発明の名称】 Nb-Sn化合物系超電導線の前駆線材

(57) 【要約】

【課題】 高いJc特性を有し、Qh特性の増大を抑制し得る熱処理を施すことによりNb₃Sn超電導線材となるNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材を提供する。

【解決手段】 Cu基金属マトリックス中にSn基金属コアおよびその周囲にNb基金属フィラメントを同心状に配置したモジュールを複数個備えた構造を有し、上記モジュールが熱処理によりSn基金属コアのSnとCu基金属マトリックスとが反応することで生成する相ブロンズ層の境界をNb基金属フィラメントをすべて含むか、あるいは略0.05以上略0.35以下の割合を含むようにSn基金属コアの量を調整することでNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材とした。

【選択図】 図1



1: モジュール
5: Sn基金属コア
6: Nb基金属フィラメント
7: Sn拡散バリア
8: 安定化銅
9: Nb-Sn化合物系超伝導線の前駆線材

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

Cu 基金属マトリックス中に Nb 基金属フィラメントと Sn 基金属コアを埋設したモジュールを複数個備え、熱処理を施すことにより Nb₃Sn 超電導線材となる Nb-Sn 化合物系超電導線の前駆線材において、

上記モジュールは、その中心部に上記 Sn 基金属コアを配置し、その周囲に同心状に上記 Nb 基金属フィラメントを等間隔に分離して配置し、さらにその周囲に上記 Nb 基金属フィラメントを同心状に順次外周に向かって配置した構造をとり、

上記熱処理によって上記 Sn 基金属コアと上記 Cu 基金属マトリックスとが反応することにより上記モジュール中に生成する相ブロンズ層の境界が、上記 Nb 基金属フィラメントをすべて含むような範囲になるように、上記 Sn 基金属コアの量が調整されたことを特徴とする Nb-Sn 化合物系超電導線の前駆線材。 10

【請求項 2】

Cu 基金属マトリックス中に Nb 基金属フィラメントと Sn 基金属コアを埋設したモジュールが、

上記モジュール中の上記 Nb 基金属フィラメントが占める体積比率が略 0.28 以上略 0.34 以下であり、

上記モジュール中の上記 Cu 基金属マトリックスに対する上記相ブロンズ層が占める割合が略 0.6 以上略 0.8 以下であり、

上記 Nb 基金属フィラメントの直径が略 1 μm 以上略 5 μm 以下であり、 20

上記 Nb 基金属フィラメント同士の間隔が略 0.7 μm 以上略 1.5 μm 以下であることを特徴とする、請求項 1 に記載の Nb-Sn 化合物系超電導線の前駆線材。

【請求項 3】

Cu 基金属マトリックス中に Nb 基金属フィラメントと Sn 基金属コアを埋設したモジュールを複数個備え、熱処理を施すことにより Nb₃Sn 超電導線材となる Nb-Sn 化合物系超電導線の前駆線材において、

上記モジュールは、その中心部に上記 Sn 基金属コアを配置し、その周囲に同心状に上記 Nb 基金属フィラメントを等間隔に分離して配置し、さらにその周囲に上記 Nb 基金属フィラメントを同心状に順次外周に向かって配置した構造をとり、

上記熱処理によって上記 Sn 基金属コアと上記 Cu 基金属マトリックスとが反応することにより上記モジュール中に生成する相ブロンズ層の境界が、上記 Nb 基金属フィラメントの存在領域の略 0.08 以上略 0.32 以下の割合を含むような範囲になるように、上記 Sn 基金属コアの量が調整されたことを特徴とする Nb-Sn 化合物系超電導線の前駆線材。 30

【請求項 4】

Cu 基金属マトリックス中に Nb 基金属フィラメントと Sn 基金属コアを埋設したモジュールが、

上記モジュール中の上記 Nb 基金属フィラメントが占める体積比率が略 0.23 以上略 0.27 以下であり、

上記モジュール中の上記 Cu 基金属マトリックスに対する上記相ブロンズ層が占める割合が略 0.4 以上略 0.55 以下であり、 40

上記 Nb 基金属フィラメントの直径が略 1 μm 以上略 5 μm 以下であり、

上記 Nb 基金属フィラメント同士の間隔が略 0.7 μm 以上略 1.5 μm 以下であることを特徴とする、請求項 3 に記載の Nb-Sn 化合物系超電導線の前駆線材。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、高い臨界電流密度 (J_c) 特性を有しながら、ヒステリシス損失 (Q_h) 50

特性の増大を抑制し、熱処理を施すことにより Nb₃Sn 超電導線材となる Nb-Sn 化合物系超電導線の前駆線材に関するものである。

【背景技術】

【0002】

核融合用大型超電導コイルの実現のためには高い臨界電流密度 (J_c) 特性と低いヒステリシス損失 (Q_h) 特性を有する超電導線材の開発が必要不可欠であり、特にトロイダル磁場用コイルには Nb₃Sn 系化合物超電導線材が使用される。超電導線材はその安定化のために、Cu 等の抵抗率の小さな金属マトリックス中に数 10 μm 以下の直径の超電導フィラメントが多数埋設された構造が必要で、極細多芯線と呼ばれている。Nb₃Sn 超電導線の前駆線材は、Cu 基金属マトリックス中に Sn 基金属コアと Nb 基金属フィラメントが多数埋設された構造をしており、伸線加工後、熱処理することによって、線材中の Sn 基金属コアが Cu 基金属マトリックス中に拡散し、さらに Nb 基金属フィラメント中に拡散することで、Nb 基金属フィラメントのまわりあるいは全体に Nb₃Sn が生成され、Nb₃Sn 超電導線となる。

10

【0003】

従来の Nb₃Sn 超電導線の前駆線材では、上記の熱処理工程において、Sn 基金属コアが周囲の Cu 基金属マトリックス中に拡散することで相ブロンズ層 (Cu₃Sn) を形成するが、相ブロンズ層の境界 (外縁) 領域において Nb₃Sn フィラメントが接触し、Q_h が増大するという課題があった。

【0004】

この改良として、相ブロンズ層の境界領域で、Nb₃Sn フィラメントの間隔を他の部分の Nb₃Sn フィラメントの間隔よりも大となるように前駆線材における Nb 基金属フィラメントを配置することで、Q_h の増大を抑制しているものが開示されている。(例えば、特許文献 1 参照)。

20

【0005】

【特許文献 1】特許第 3012436 号公報 (第 3 頁、第 2 図)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

超電導線材での Q_h 特性の増大原因は、熱処理によって発生する Nb₃Sn フィラメント相互の接触であり、Nb₃Sn フィラメント相互の接触は、前駆線材の中央部に配置される Sn 基金属コアと Cu 基金属マトリックスとが熱処理によって合金化し、相ブロンズ層を生成する領域の境界近傍で生じることが分かっている。特許文献 1 に示された従来の Nb₃Sn 超電導線の前駆線材では、超電導線材とした時に Q_h 特性の増大原因となる熱処理によって生成される Nb₃Sn フィラメント相互の接触を防ぐため、相ブロンズ層を生成する領域の境界近傍の Cu 基金属マトリックス中に埋設される Nb 基金属フィラメントの間隔を広く取らなければならなかった。より具体的には、相ブロンズ層の境界は中心から第 3 層目と第 4 層目の Nb 基金属フィラメントの間に形成されるので、第 3 層 ~ 第 5 層の Nb 基金属フィラメントの直径を前記のようにやや細くして伸線加工後のフィラメント間隔をやや広げていた。その結果、Cu 基金属マトリックス中に埋設される Nb 基金属フィラメントの量は制限され、前駆線材を熱処理した超電導線材の J_c は温度 4.2 K、磁場 12 T で 800 A/mm² 程度に留まり、より高い J_c 特性を有する線材を得ることが不可能であるという問題点があった。

30

40

【0007】

この発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、熱処理を施すことにより、高い J_c 特性を有し、且つ、Q_h 特性の増大が抑制された Nb₃Sn 超電導線材となる Nb-Sn 化合物系超電導線の前駆線材を得ることを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

この発明に係る Nb-Sn 化合物系超電導線の前駆線材においては、Cu 基金属マトリ

50

ックス中にNb基金属フィラメントとSn基金属コアを埋設したモジュールを複数個備え、上記モジュールの中心部に上記Sn基金属コアを配置し、その周囲に同心状に上記Nb基金属フィラメントを等間隔に分離して配置し、さらにその周囲に上記Nb基金属フィラメントを同心状に順次外周に向かって配置した構造をとり、上記熱処理によって上記Sn基金属コアと上記Cu基金属マトリックスとが反応することにより上記モジュール中に生成する相ブロンズ層の境界が、上記Nb基金属フィラメントをすべて含むような範囲になるようにSn基金属コアの量が調整されたことを特徴とするものである。

【0009】

さらに、上記モジュール中の上記Nb基金属フィラメントが占める体積比率が略0.28以上略0.34以下であり、上記モジュール中の上記Cu基金属マトリックスに対する上記相ブロンズ層が占める割合が略0.6以上略0.8以下であり、上記Nb基金属フィラメントの直径が略1μm以上略5μm以下であり、上記Nb基金属フィラメント同士の間隔が略0.7μm以上略1.5μm以下であることを特徴とするものである。

10

【0010】

また、この発明の別の前駆線材は、上記熱処理によって上記Sn基金属コアと上記Cu基金属マトリックスとが反応することにより上記モジュール中に生成する相ブロンズ層の境界が、上記Nb基金属フィラメントの存在領域の略0.05以上略0.35以下の割合を含むような範囲になるようにSn基金属コアの量が調整されたことを特徴とするものである。

【0011】

さらに、上記モジュール中の上記Nb基金属フィラメントが占める体積比率が略0.23以上略0.27以下であり、上記モジュール中の上記Cu基金属マトリックスに対する上記相ブロンズ層が占める割合が略0.4以上略0.55以下であり、上記Nb基金属フィラメントの直径が略1μm以上略5μm以下であり、上記Nb基金属フィラメント同士の間隔が略0.7μm以上略1.5μm以下であることを特徴とするものである。

20

【発明の効果】**【0012】**

この発明によれば、Cu基金属マトリックス中にNb基金属フィラメントとSn基金属コアを埋設したモジュールを複数個備え、上記モジュールの中心部に上記Sn基金属コアを配置し、その周囲に同心状に上記Nb基金属フィラメントを等間隔に分離して配置し、さらにその周囲に上記Nb基金属フィラメントを同心状に順次外周に向かって配置した構造をとり、熱処理によって上記Sn基金属コアと上記Cu基金属マトリックスとが反応することにより上記モジュール中に生成する相ブロンズ層の境界が、上記Nb基金属フィラメントをすべて含むような範囲になるように上記Sn基金属コアの量が調整されたので、上記相ブロンズ層領域の境界は上記Nb基金属フィラメントの存在領域の外側となり、 Q_n 特性の増大原因である Nb_3Sn フィラメント相互の接触を防ぐことができ、 Q_n 特性の増大を抑制したNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材を得ることができる。また、この発明によれば、同じ理由から、 Q_n 特性の増大を抑制するために上記Nb基金属フィラメントの間隔を広く取る必要が無くなること、すなわち、上記Nb基金属フィラメントの量は制限されることがなくなり、前駆線材を熱処理した超電導線材において Nb_3Sn フィラメントの量が確保されることになり、高いJc特性を有するNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材を得ることができる。

30

40

【0013】

上記の発明においては、上記モジュール中の上記Nb基金属フィラメントが占める体積比率を略0.28以上略0.34以下、上記モジュール中の上記Cu基金属マトリックスに対する上記相ブロンズ層が占める割合が略0.6以上0.8以下、上記Nb基金属フィラメントの直径が略1μm以上略5μm以下、上記Nb基金属フィラメント同士の間隔が略0.7μm以上略1.5μm以下とすることにより、上記相ブロンズ層の境界が上記Nb基金属フィラメントの存在領域の外側となり、 Nb_3Sn フィラメント同士の結合がなく、 Nb_3Sn フィラメントとなるNbの量が高い割合で確保されるため、高いJc

50

特性と低い Q_h 特性を有するNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材を得ることができる。

【0014】

また、この発明の別の発明によれば、上記熱処理によって上記Sn基金属コアと上記Cu基金属マトリックスとが反応することにより上記モジュール中に生成する上記相ブロンズ層の境界が、上記Nb基金属フィラメントの存在領域の略0.05以上略0.35以下の割合を含むような範囲になるように上記Sn基金属コアの量が調整されたので、前駆線材を熱処理した超電導線材において、Nb₃Snフィラメント相互の接触領域を小さく制限することができ、 Q_h 特性の増大を抑制したNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材を得ることができる。また同じ理由から、 Q_h 特性の増大を抑制するために上記Nb基金属フィラメントの間隔を広く取る必要が無くなること、すなわち、上記Nb基金属フィラメントの量は制限されることがなくなり、前駆線材を熱処理した超電導線材においてNb₃Snフィラメントの量が確保されることになり、高いJc特性を有するNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材を得ることができる。

10

【0015】

上記の発明においては、上記モジュール中の上記Nb基金属フィラメントが占める体積比率を略0.23以上略0.27以下、上記モジュール中の上記Cu基金属マトリックスに対する上記相ブロンズ層が占める割合が略0.4以上0.55以下、上記Nb基金属フィラメントの直径が略1μm以上略5μm以下、上記Nb基金属フィラメント同士の間隔が略0.7μm以上略1.5μm以下とすることにより、上記相ブロンズ層の境界が上記Nb基金属フィラメントのうち0.05から0.35の割合を含むことになり、Nb₃Snフィラメント同士の結合が最小限に抑えられ、かつNb₃SnフィラメントとなるNbの量が高い割合で確保されるため、高いJc特性と低い Q_h 特性を有するNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材を得ることができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

実施の形態1.

図1は、実施の形態1によるNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材の断面図を示しており、図2は実施の形態1による上記前駆線材のモジュール1を製造するための複合ピレットの断面図を示したものである。

30

【0017】

実施の形態1の複合ピレット4の製造においては、まず直径140mmの無酸素銅の円柱2に、円柱の中心から半径35mmから51mmにかけて、同心円状に3列の孔を合計106個穿孔する。穿孔した孔には直径6mmのNb基金属棒3を充填し複合ピレット4とした。上記Nb基金属棒は最終的に得られるNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材においてNb基金属フィラメント6となる。得られた複合ピレット4を50mmの径に押し出し加工し、外周の不要な銅材を切削加工する。さらに中央部の銅の部分に孔を明けて、Sn基金属コア5となるSn基金属棒を挿入する。

【0018】

Sn基金属棒の直径は最終的に得られる前駆線材を熱処理した際に生成される相ブロンズ層の境界位置を決めるものであるが、Cu基金属マトリックス中に生成される上記ブロンズ層領域の体積割合xは、下記の(1)式から求められる。

40

$$\begin{aligned}
 x &= (\text{相ブロンズ層領域の体積}) \div (\text{Cu基金属マトリックスの体積}) \\
 &= (\text{Snのモル数}) \times 3 \div (\text{Cuのモル数}) \\
 &= 3 \times (\text{Snの密度}) \times (\text{モジュール中のSn占有体積比率}) \div (\text{Snの原子量}) \div \\
 &\quad \{ (\text{Cuの密度}) \times (\text{モジュール中のCu占有体積比率}) \div (\text{Cuの原子量}) \} \quad (1)
 \end{aligned}$$

実施の形態1では、Sn基金属棒の直径をそれぞれ、(ア)16.9mm、(イ)19.1mm、(ウ)19.8mm、(エ)20.5mm、(オ)20.9mm、(カ)21

50

．2 mm、(キ) 21.9 mm、(ク) 23.4 mmとした。これにより 相ブロンズ層のCu基金属マトリックスに対する割合は、それぞれ(ア) 0.34、(イ) 0.47、(ウ) 0.51、(エ) 0.58、(オ) 0.62、(カ) 0.67、(キ) 0.71、(ク) 0.80となる。

【0019】

Sn基金属棒が挿入された押出し加工後の複合ピレット4は、引抜き加工により縮径加工し、さらに対辺4 mmの六角棒に加工することで、モジュール用Cu/Nb/Sn複合棒とした。このCu/Nb/Sn複合棒を切断して37本に束ね、束ねた複合棒はSn拡散バリア7となるTaチューブで囲い、上記Taチューブ7の外側を超電導電流の安定化のための安定化銅8となる厚さ7.5 mmの無酸素銅チューブで囲う。組み合わせられたTaチューブと無酸素銅チューブおよびCu/Nb/Sn複合棒は、0.5 mmの径まで引抜き加工を行ってNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材9とした。

10

【0020】

得られた前駆線材から測定用サンプルを切り出し、不活性ガス雰囲気中、650 で10日間の熱処理を行うことでNb₃Sn超電導線材とした。得られた超電導線材の臨界電流密度を液体ヘリウム中、12 Tの磁場中で、またヒステリシス損失を液体ヘリウム中、±3 Tの変動磁場中で測定すると、上記Sn基金属棒のサイズに依存して、図3に示すような値となった。ここで、相ブロンズ層領域の割合xが0.6以上においては、相ブロンズ層の境界領域がNb基金属フィラメント6の存在する領域よりも外側となる。換言すれば、Cu基金属マトリックス中にNb基金属フィラメント6とSn基金属コア5が埋設されたモジュール1において、Nb基金属フィラメント6が相ブロンズ層領域内のみ存在することとなる。図3から明らかなどおり、相ブロンズ層領域の割合xが略0.6以上略0.8以下、好ましくは、略0.62以上略0.78以下とすれば、高いJc特性と低いQ_n特性を有するNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材を得ることができる。

20

【0021】

一方、相ブロンズ層領域の割合xが0.6より小さい場合、すなわち、前駆線材を300~600 で熱処理している際にCu基金属マトリックス中に生成される相ブロンズ層の境界領域がNb基金属フィラメント6が存在する領域内に入ってしまう場合は、Q_nの増大原因であるNb₃Snフィラメント相互の接触が生じ、上記実施の形態1のようにQ_n特性の増大を抑制することはできない。また、相ブロンズ層領域の割合xが0.3程度、すなわち、相ブロンズ層の境界領域がNb基金属フィラメント6が存在する領域より内側になると、Q_n特性は減少してくるが、Sn基金属コア5の占める体積比率が低くなりすぎて最終的に熱処理によって生成されるNb₃Sn量が減るため高Jc特性は得られない。逆に、相ブロンズ層領域の割合xが0.8より大きい場合は複合ピレット4におけるSn基金属棒のサイズがNb基金属フィラメント6が存在する領域に重なるため前駆線材は成り立たない。

30

【0022】

実施の形態1における複合ピレット4のNb基金属棒3の直径を6 mm、孔の数を106個としたが、最終的な前駆線材でのNb基金属フィラメント6の直径は3 μm、Nb基金属フィラメント6同士の間隔は0.9 μm、モジュール1内のNb基金属フィラメント6の占める体積比率は0.32となる。上記Nb基金属棒3のサイズや本数については、要求されるJc特性やQ_n特性によってその設計の範囲内で変更することが可能であるが、本発明における核融合用大型超電導コイルに要求される高Jc/低Q_n特性の超電導線材では、モジュール1内のNb基金属フィラメント6の占める体積比率が略0.28以上略0.34以下、好ましくは、略0.30以上略0.33以下であり、Nb基金属フィラメント6の直径が略1 μm以上略5 μm以下、好ましくは、略2.0 μm以上略3.5 μm以下であり、Nb基金属フィラメント6同士の間隔が略0.7 μm以上略1.5 μm以下、好ましくは、略0.8 μm以上略1.2 μm以下であることが望ましい。

40

【0023】

モジュール1内のNb基金属フィラメント6の占める体積率が0.28より少ない場合

50

は、最終的に熱処理によってNb基金属フィラメント6とSn基金属コア5が反応することで生成されるNb₃Sn量が減り、高Jc特性が得られないばかりでなく、前駆線材を300~600で熱処理している際にマトリックスに生成される相ブロンズ層の境界領域がNb基金属フィラメント6が存在する領域内に入ってしまい、Q_hの増大原因であるNb₃Snフィラメント相互の接触が生じ、上記実施の形態1のようにQ_h特性の増大を抑制することはできない。逆に、モジュール1内のNb基金属フィラメント6の占める体積率が0.34より多い場合は、Nb基金属フィラメント6同士の間隔を十分確保することができなくなるため、Q_hの増大原因であるNb₃Snフィラメント相互の接触が生じ、上記実施の形態1のようにQ_h特性の増大を抑制することはできない。

【0024】

10

また、モジュール1内のNb基金属フィラメント6の直径が1μmより細かい場合は、フィラメントの一部に断線を生じる可能性が高くなり、上記実施の形態1のような高Jc特性は得られない。逆に、モジュール1内のNb基金属フィラメント6の直径が5μmより大きい場合は、最終的に熱処理によってフィラメント全体が反応することができず生成されるNb₃Sn量が減り、上記実施の形態1のような高Jc特性は得られない。

【0025】

また、モジュール1内のNb基金属フィラメント6同士の間隔が0.7μmより狭い場合は、Q_hの増大原因であるNb₃Snフィラメント相互の接触が生じ、Q_h特性の増大を抑制することはできない。逆に、Nb基金属フィラメント6同士の間隔が1.5μmより広い場合は、Nb基金属フィラメント6の量が減り、最終的に熱処理によって生成されるNb₃Sn量が減り、高Jc特性は得られない。

20

【0026】

実施の形態1では、Snの拡散バリア材としてTaチューブを用いたが、バリア材として例えばTa板を管状に加工したものでも実施の形態1と同様の効果を実現することができる。また、Snの拡散バリア材の材質としてTaを用いたが、Nb基金属等、Snの拡散を防ぐ効果のある金属であれば、実施の形態1と同様の効果を実現することができる。

【0027】

実施の形態2 .

図4は実施の形態2による前駆線材のモジュール1を製造するための複合ビレット4の断面図を示したものである。図4において、図2と同一の符号を付したものは、同一またはこれに相当するものである。

30

【0028】

実施の形態2の複合ビレット4の製造においては、まず直径140mmの無酸素銅の円柱2に、円柱の中心から半径37mmから52mmにかけて、同心円状に4列の孔を合計224個穿孔する。穿孔した孔に直径3.7mmのNb基金属棒3を充填し複合ビレット4とした。得られた複合ビレット4を実施の形態1と同様に50mmの径に押出し加工し、外周の不要な銅材を切削加工する。さらに中央部の銅の部分に、孔を明けて、Sn基金属コア5となるSn基金属棒を挿入する。

【0029】

Sn基金属棒の直径は最終的に得られる前駆線材を熱処理した際に生成される相ブロンズ層の境界位置を決めるものであるが、Cu基金属マトリックス中に生成される上記ブロンズ層領域の体積割合xは実施の形態1と同様に決められる。実施の形態2では、Sn基金属棒の直径をそれぞれ、(ア)16.4mm、(イ)18.4mm、(ウ)19.4mm、(エ)20.0mm、(オ)20.5mm、(カ)21.2mm、(キ)21.9mm、(ク)22.6mmとした。これにより相ブロンズ層のCu基金属マトリックスに対する割合は、それぞれ(ア)0.28、(イ)0.37、(ウ)0.42、(エ)0.47、(オ)0.51、(カ)0.52、(キ)0.56、(ク)0.60となる。

40

【0030】

Sn基金属棒が挿入された押出し加工後の複合ビレット4は、実施の形態1と同様に引抜き加工により縮径加工し、さらに対辺5.4mmの六角棒に加工することで、モジュール

50

ル用Cu/Nb/Sn複合棒とした。このCu/Nb/Sn複合棒を切断して19本に束ね、束ねた複合棒は実施の形態1と同様にSn拡散バリヤ7となるTaチューブで囲い、上記Taチューブ7の外側を超電導電流の安定化のための安定化銅8となる厚さ7.5mmの無酸素銅チューブで囲う。組み合わせられたTaチューブと無酸素銅チューブおよびCu/Nb/Sn複合棒は、0.5mmの径まで引抜き加工を行ってNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材9とした。

【0031】

得られた前駆線材から測定用サンプルを切り出し、実施の形態1と同様に不活性ガス雰囲気中、650で10日間の熱処理を行うことでNb₃Sn超電導線材とした。得られた超電導線材の臨界電流密度を液体ヘリウム中、12Tの磁場中で、またヒステリシス損失を液体ヘリウム中、±3Tの変動磁場中で測定すると、上記Sn基金属棒のサイズに依存して、図5に示すような値となった。ここで、相ブロンズ層領域の割合xが0.4の場合、相ブロンズ層の境界領域にあるNb基金属フィラメント6の割合が0.08となる。また、相ブロンズ層領域の割合xが0.55の場合、相ブロンズ層の境界領域内にあるNb基金属フィラメント6の存在割合が0.32となる。図5から明らかとなり、相ブロンズ層領域の割合xが略0.4以上略0.55以下、好ましくは、略0.45以上略0.52以下とすれば、低いQ_h特性を有し、かつJ_cの低減が抑えられたNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材を得ることができる。

10

【0032】

一方、相ブロンズ層領域の割合xが0.4より小さい場合、すなわち、前駆線材を300~600で熱処理している際にCu基金属マトリックス中に生成される相ブロンズ層の境界領域が、Nb基金属フィラメント6が存在する領域よりも内側に入ってしまう場合は、Q_h特性は小さくなるが、Sn基金属コア5の占める体積比率が低くなりすぎてしまい、熱処理によって生成するNb₃Snの量が小さく、高J_c特性は得られない。また、相ブロンズ層領域の割合xが0.55より大きい場合は、Q_hの増大原因であるNb₃Snフィラメント相互の接触が広範囲に生じ、Q_h特性の増大を防ぐことはできない。

20

【0033】

実施の形態2における複合ビレット4のNb基金属棒3の直径を3.7mm、孔の数を224個としたが、最終的な前駆線材でのNb基金属フィラメント6の直径は2.6μm、Nb基金属フィラメント6同士の間隔は0.9μm、モジュール内のNb基金属フィラメント6の占める体積比率は0.25となる。上記Nb基金属棒3のサイズや本数については、要求されるJ_c特性やQ_h特性によってその設計の範囲内で変更することが可能であるが、本発明における核融合用大型超電導コイルに要求される高J_c/低Q_h特性の超電導線材では、モジュール内のNb基金属フィラメント6の占める体積比率が略0.23以上略0.27以下、好ましくは、略0.24以上略0.26以下であり、Nb基金属フィラメント6の直径が略1μm以上略5μm以下、好ましくは、略2.0μm以上略3.5μm以下であり、Nb基金属フィラメント6同士の間隔が略0.7μm以上略1.5μm以下、好ましくは、略0.8μm以上略1.2μm以下であることが望ましい。

30

【0034】

モジュール1内のNb基金属フィラメント6の占める体積比率が0.23より少ない場合は、最終的に熱処理によってNb基金属フィラメント6とSn基金属コア5が反応することで生成されるNb₃Sn量が減り、高J_c特性が得られない。逆に、モジュール1内のNb基金属フィラメント6の占める体積比率が0.27より多い場合は、熱処理により生成される相ブロンズ層の境界領域がNb基金属フィラメント6の存在領域内に入る割合の増大を抑えられず、またNb基金属フィラメント6同士の間隔を十分に確保することができなくなるため、Q_hの増大原因であるNb₃Snフィラメント相互の接触が生じ、上記実施の形態2のようにQ_h特性の増大を抑制することはできない。

40

【0035】

また、モジュール1内のNb基金属フィラメント6の直径が1μmより細かい場合は、フ

50

ィラメントの一部に断線を生じる可能性が高くなり、上記実施の形態2のような高Jc特性は得られない。逆に、モジュール内のNb基金属フィラメント6の直径が5 μ mより太い場合は、最終的に熱処理によってフィラメント全体が反応することができず生成されるNb₃Sn量が減り、上記実施の形態2のような高Jc特性は得られない。

【0036】

また、モジュール1内のNb基金属フィラメント6同士の間隔が0.7 μ mより狭い場合は、Q_nの増大原因であるNb₃Snフィラメント相互の接触が生じ、Q_n特性の増大を抑制することはできない。逆に、Nb基金属フィラメント6同士の間隔が1.5 μ mより広い場合は、Nb基金属フィラメント6の量が減り、最終的に熱処理によって生成されるNb₃Sn量が減り、高Jc特性は得られない。

10

【0037】

実施の形態2では、Snの拡散バリア材としてTaチューブを用いたが、バリア材として例えばTa板を管状に加工したものでも上記実施の形態2と同様の効果を実現することができる。また、Snの拡散バリア材の材質としてTaを用いたが、Nb基金属等、Snの拡散を防ぐ効果のある金属であれば、実施の形態2と同様の効果を実現することができる。

【0038】

なお、本発明において、Cu基金属とは、純Cu、または約2重量%以下のSnを含むCuをいう。

【0039】

また、Nb基金属とは、純Nb、または約10重量%以下のTa、約5重量%以下のTiのうち少なくとも何れか一種を含むNbをいう。

20

【0040】

さらにまた、Sn基金属とは、純Sn、または約5重量%以下のTi、約2重量%以下のCu、約2重量%以下のInのうち少なくとも何れか一種を含むSnをいう。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】本発明の実施の形態1によるNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材の断面図である。

【図2】本発明の実施の形態1による複合ビレットの断面図を示したものである。

30

【図3】本発明の実施の形態1によるNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材を熱処理しNb₃Sn超電導線材とした際の相ブロンズ層の境界領域の割合に対する液体ヘリウム中、12Tの磁場中で測定したJc特性と液体ヘリウム中、 ± 3 Tの変動磁場中で測定したQ_n特性を説明するための図である。

【図4】本発明の実施の形態2による複合ビレットの断面図を示したものである。

【図5】本発明の実施の形態2によるNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材を熱処理しNb₃Sn超電導線材とした際の相ブロンズ層の境界領域の割合に対する液体ヘリウム中、12Tの磁場中で測定したJc特性と液体ヘリウム中、 ± 3 Tの変動磁場中で測定したQ_n特性を説明するための図である。

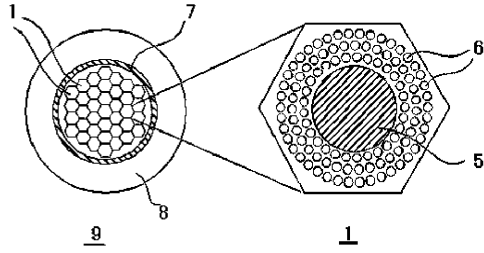
【符号の説明】

40

【0042】

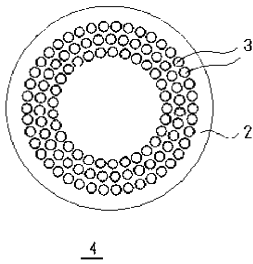
1 モジュール、2 無酸素銅の円柱、3 Nb基金属棒、4 複合ビレット、5 Sn基金属コア、6 Nb基金属フィラメント、7 Sn拡散バリア、8 安定化銅、9 Nb-Sn化合物系超電導線の前駆線材。

【図1】



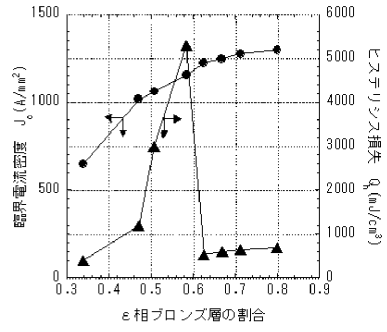
- 1: モジュール
- 5: Sn基金属コア
- 6: Nb基金属フィラメント
- 7: Sn拡散バリア
- 8: 安定化鋼
- 9: Nb-Sn化合物系超伝導線の前駆線材

【図2】

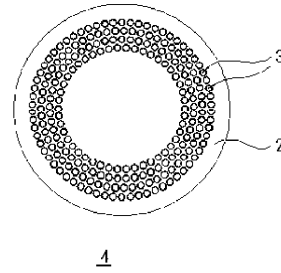


- 2: 無酸素鋼の円柱
- 3: Nb基金属棒
- 4: 複合ビレット

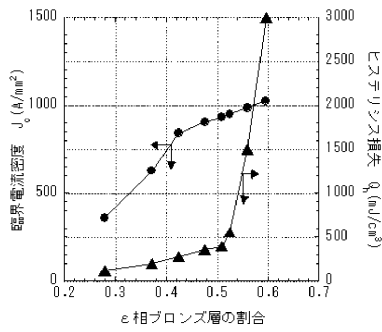
【図3】



【図4】



【図5】



【手続補正書】

【提出日】平成17年12月12日(2005.12.12)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

Cu基金属マトリックス中にNb基金属フィラメントとSn基金属コアを埋設したモジュールを複数個備え、熱処理を施すことによりNb₃Sn超電導線材となるNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材において、

上記モジュールは、その中心部に上記Sn基金属コアを配置し、その周囲に同心状に上記Nb基金属フィラメントを等間隔に分離して配置し、さらにその周囲に上記Nb基金属フィラメントを同心状に順次外周に向かって配置した構造をとり、

上記熱処理によって上記Sn基金属コアと上記Cu基金属マトリックスとが反応することにより上記モジュール中に生成する相ブロンズ層の境界が、上記Nb基金属フィラメントの存在領域の略0.05以上略0.35以下の割合を含むような範囲になるように、上記Sn基金属コアの量が調整されたことを特徴とするNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材。

【請求項2】

Cu基金属マトリックス中にNb基金属フィラメントとSn基金属コアを埋設したモジュールが、

上記モジュール中の上記Nb基金属フィラメントが占める体積比率が略0.23以上略0.27以下であり、

上記モジュール中の上記Cu基金属マトリックスに対する上記相ブロンズ層が占める割合が略0.4以上略0.55以下であり、

上記Nb基金属フィラメントの直径が略1μm以上略5μm以下であり、

上記Nb基金属フィラメント同士の間隔が略0.7μm以上略1.5μm以下であることを特徴とする、請求項3に記載のNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】削除

【補正の内容】

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0009

【補正方法】削除

【補正の内容】

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0010】

この発明に係るNb-Sn化合物系超電導線の前駆線材においては、Cu基金属マトリックス中にNb基金属フィラメントとSn基金属コアを埋設したモジュールを複数個備え、上記モジュールの中心部に上記Sn基金属コアを配置し、その周囲に同心状に上記Nb基金属フィラメントを等間隔に分離して配置し、さらにその周囲に上記Nb基金属フィラ

メントを同心状に順次外周に向かって配置した構造をとり、熱処理によって上記 S n 基金属コアと上記 C u 基金属マトリックスとが反応することにより上記モジュール中に生成する相ブロンズ層の境界が、上記 N b 基金属フィラメントの存在領域の略 0 . 0 5 以上略 0 . 3 5 以下の割合を含むような範囲になるように S n 基金属コアの量が調整されたことを特徴とするものである。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 1 2

【補正方法】削除

【補正の内容】

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 1 3

【補正方法】削除

【補正の内容】

【手続補正 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 1 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 1 4】

この発明によれば、C u 基金属マトリックス中に N b 基金属フィラメントと S n 基金属コアを埋設したモジュールを複数個備え、上記モジュールの中心部に上記 S n 基金属コアを配置し、その周囲に同心状に上記 N b 基金属フィラメントを等間隔に分離して配置し、さらにその周囲に上記 N b 基金属フィラメントを同心状に順次外周に向かって配置した構造をとり、熱処理によって上記 S n 基金属コアと上記 C u 基金属マトリックスとが反応することにより、上記モジュール中に生成する上記相ブロンズ層の境界が、上記 N b 基金属フィラメントの存在領域の略 0 . 0 5 以上略 0 . 3 5 以下の割合を含むような範囲になるように上記 S n 基金属コアの量が調整されたので、前駆線材を熱処理した超電導線材において、 Nb_3Sn フィラメント相互の接触領域を小さく制限することができ、 Q_n 特性の増大を抑制した N b - S n 化合物系超電導線の前駆線材を得ることができる。また同じ理由から、 Q_n 特性の増大を抑制するために上記 N b 基金属フィラメントの間隔を広く取る必要が無くなること、すなわち、上記 N b 基金属フィラメントの量は制限されることがなくなり、前駆線材を熱処理した超電導線材において Nb_3Sn フィラメントの量が確保されることになり、高い J c 特性を有する N b - S n 化合物系超電導線の前駆線材を得ることができる。

フロントページの続き

- (72)発明者 久保 芳生
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 永井 貴之
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 曾根 孝典
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
- Fターム(参考) 5G321 AA11 BA03 CA09 CA35 CA39 CA41 DC09 DC11 DC32