

(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2005-257592

(P2005-257592A)

(43) 公開日 平成17年9月22日(2005.9.22)

(51) Int. Cl.⁷

G01N 27/72

F I

G01N 27/72

テーマコード(参考)

2G053

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2004-72223(P2004-72223)

(22) 出願日 平成16年3月15日(2004.3.15)

特許法第30条第1項適用申請有り 2003年12月3日 社団法人低温工学協会発行の「第69回2003年度秋季 低温工学・超電導学会講演概要集」に発表

(出願人による申告)平成15年度、東北経済産業局、地域新生コンソーシアム研究開発事業「高性能高温超伝導薄膜・フィルタ作製技術の開発と製造」による、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの。

(71) 出願人 503360115

独立行政法人科学技術振興機構
埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(74) 代理人 100099265

弁理士 長瀬 成城

(72) 発明者 大嶋 重利

山形県米沢市林泉寺2-7-9

(72) 発明者 齊藤 敦

山形県米沢市東二丁目7-146 山形大学職員宿舍11-303

Fターム(参考) 2G053 AB15 BA16 BB17 CA10 CA18 CB22

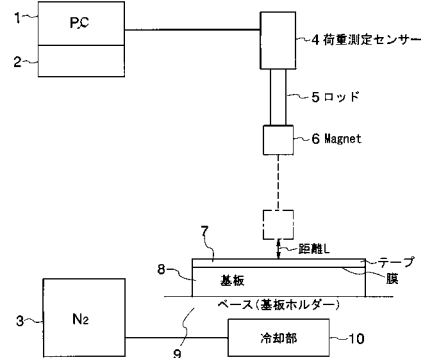
(54) 【発明の名称】 臨界電流密度測定方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】超伝導薄膜と永久磁石の磁場との相互作用で得られる斥力を荷重センサで測定し、予め磁化特性法や四端子法、誘導法などにより求めておいた臨界電流密度(J_c)と斥力/超伝導薄膜の膜厚(a_1/d)のグラフ($J_c - a_1/d$ のグラフ)から、前記測定値を使用して非破壊で臨界電流密度を簡便に測定することができる臨界電流密度測定方法を提供する。

【解決手段】長尺な高品質超伝導線材の非破壊測定のために、永久磁石6を用いた臨界電流密度の評価方法を用いる。測定原理は、冷却した超伝導体8に永久磁石を近づけることによる斥力と、遠ざけていく時に生じる引力を荷重測定センサで測定し、その内の斥力の荷重特性から臨界電流密度の評価を行う。本発明の方法によれば、誘導法では測定不能な厚みの膜も測定でき、永久磁石の磁場を絞り込むことにより面内分布を高い解像度で測定できる等の特長を有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

永久磁石と超電導体間の斥力を荷重測定センサーによって求め、この斥力と超電導体膜厚とを基に、予め求めておいたマップから臨界電流密度を求めることを特徴とする臨界電流密度の測定方法。

【請求項 2】

荷重測定センサーと、この荷重測定センサー先端に装着された永久磁石とを備え、前記永久磁石と超電導体間の斥力を前記荷重測定センサーによって求め、この斥力と超電導体膜厚 d とを基に予め求めておいたマップから臨界電流密度を測定することを特徴とする臨界電流密度の測定装置。

10

【請求項 3】

前記マップは、磁化特性法、四端子法、誘導法の何れかの方法で測定した値を基に作成したことを特徴とする請求項 2 に記載の臨界電流密度の測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は製造した高温超電導体薄膜の臨界電流密度測定方法及びその装置に関するものであり、より詳細には、超電導薄膜と永久磁石の磁場との相互作用で得られる斥力を荷重センサで測定し、予め磁化特性法や四端子法、誘導法などにより求めておいた臨界電流密度 (J_c) と斥力 / 超電導薄膜の膜厚 (a_1 / d) のグラフ ($J_c - a_1 / d$ のグラフ) から、前記測定値を使用して非破壊で臨界電流密度を簡便に測定することができる臨界電流密度測定方法及び装置に関するものである。

20

【背景技術】

【0002】

超電導、特に液体窒素冷却により超電導性 (ゼロ抵抗) を示す高温超電導体が発見されてから、輸送用超電導線材の研究開発が進み種々の高性能な超電導線材が開発されている。超電導線材の性能は主に臨界電流密度によって評価され、近年では $J_c \sim 1 \text{ MA} / \text{cm}^2$ を超える高臨界電流密度線材が開発され、その長さは 100 m に達している。今後、さらなる長尺化と低コスト化が課題となっている。

【0003】

一方、これまで、幾つかの臨界電流密度の評価方法が提案されており、それぞれが、幾つかの利点・欠点を有している。最も一般的である四端子法は測定精度が高く、他の測定方法の校正手段としても用いられているが、サンプル形状を加工しなければならないといういわゆる破壊測定方法である。

30

また、サンプルを加工せずに、準非破壊で J_c を評価する方法として磁化特性法が最近注目されているが、長尺の超電導線材の測定は困難である。

このような背景の中で、現在主流となっている非破壊測定方法は、誘導法 (特許文献 1) であるが、誘導法は、

(1) 高臨界電流密度、厚膜 ($1 \mu\text{m}$) の J_c 測定が困難である。

(2) 液体窒素を大量に必要とする。

(3) 装置が高価である。

40

という問題があった。

【0004】

【特許文献 1】特開 2003 - 207526

【0005】

このため、高速線材作製とほぼ同時に線材の非破壊性能試験が可能な評価ツールが望まれている。また、線材の長尺化に伴うオンライン評価機構の開発例もないことから、長尺な高品質超電導線材の非破壊診断ツールの確立が課題となっている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0006】

本発明は、長尺な高品質超電導線材の非破壊測定のために、永久磁石を用いた臨界電流密度の評価方法を用いることを特徴としており、測定原理は、冷却した超電導体に永久磁石を近づけることによる斥力と、遠ざけていく時に生じる引力を荷重測定センサーで測定し、その内の斥力の荷重特性から臨界電流密度の評価を行うものである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

このため、本発明が採用した技術解決手段は、

永久磁石と超電導体間の斥力を荷重測定センサーによって求め、この斥力と超電導体膜厚とを基に、予め求めておいたマップから臨界電流密度を求めることを特徴とする臨界電流密度の測定方法である。

また、荷重測定センサーと、この荷重測定センサー先端に装着された永久磁石とを備え、前記永久磁石と超電導体間の斥力を前記荷重測定センサーによって求め、この斥力と超電導体膜厚 d とを基に予め求めておいたマップから臨界電流密度を測定することを特徴とする臨界電流密度の測定装置である。

また、前記マップは、磁化特性法、四端子法、誘導法の何れかの方法で測定した値を基に作成したことを特徴とする臨界電流密度の測定装置である。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、これまで非破壊測定不可能であった高臨界電流密度かつ厚膜線材の測定・評価が可能となる。永久磁石を使うので $F e N d B$ 磁石のような数 1000 Gauss の磁場が作れる強力磁石を使うことにより $10\text{ }\mu\text{m}$ 位の厚さまで計測できる。直流磁場でよい（強力な永久磁石が使用可能）。小さな直径の磁石を使う、純鉄のヨークを磁石に近づけ磁場を絞りこむ等して膜の内面分布の測定分解能を高くできる。また、測定装置の構成も簡便なため、実用化における設備投資費の節減と、線材の低コスト化につながる。さらに、一ヶ所の測定時間が短いことから大量生産ライン用装置への応用も容易に可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

長尺な高品質超電導線材の非破壊測定のために、永久磁石を用いた臨界電流密度の評価方法を用いる。測定原理は、冷却した超電導体に永久磁石を近づけることによる斥力と、遠ざけていく時に生じる引力を荷重測定センサーで測定し、その内の斥力の荷重特性から臨界電流密度の評価を行う。本発明の方法によれば、誘導法では測定不能な厚みの膜も測定でき、永久磁石の磁場を絞り込むことにより面内分布を高い解像度で測定できる等の特長を有する。

【実施例】

【0010】

以下、本発明の実施例を説明すると、図1に装置の概略図を示す。

測定装置は制御用パソコン（演算処理手段）と測定装置本体というシンプルな構成になっており、制御用パソコン1は本体制御用インターフェイスボードを内蔵し、ほぼ全ての測定を自動制御可能となっている。本体近傍には、約2リットル容量の液体窒素槽3がおかれ、被検査物として的高温超電導薄膜8を簡易に冷却することができる。本体下部は各電源と制御用モータ、加重センサー値の表示ユニット2が設置されている。制御用パソコン、モータ、表示ユニットは公知のものを使用しており、さらに測定を自動制御するためのソフトウェアは本発明の特徴ではないので、詳細な説明は省略する。

【0011】

パソコンには測定装置本体（ロッド付き加重測定センサー）4が接続されており、加重センサーからの出力をパソコン内に取り込むことができるようになっている。ロッド付き加重測定センサー4のロッド5先端には円柱状の永久磁石6（本例では $5\sim 2.6\text{ mm}$ 、 $h = 3\text{ mm}$ ）が取り付けられている。この構成により永久磁石6と被検査物（超電導材

10

20

30

40

50

） 8 に働く加重を測定することが出来る。加重測定 of 分解能は、0.01 g 重である。また、測定の際は被検査物表面にポリアミド粘着テープ 7 を貼り薄膜の劣化を防止しているが、このテープは無くてもよい。

【0012】

上記装置による加重測定

ロッド 5 の先端に取り付けた永久磁石 6 を被検査体（高温超電導薄膜）8 に近づけていく際、超電導薄膜 8 に流れるシールド電流（マイスナー効果）によりロッド 5 に取り付けられた永久磁石 6 と被検査体 8 の間に斥力が生じる（図 2（a））。さらに磁石 6 を近づけ、薄膜の下部臨界磁界（ H_c1 ）以上の磁界が印加されると磁束が薄膜内を貫通する（図 2（b））。次に被検査体 8 からロッド 5 を離していくと、被検査体 8 に保持されている磁場により先ほどとは逆にロッド 5 に取り付けられた永久磁石 6 と被検査体 8 の間に引力が生じる（図 2（c））。薄膜の臨界電流密度 J_c が大きいほど、これらの力は強くなることから、既知の J_c を持つ高温超電導薄膜の斥力、引力特性を測定し、その相関を見いだすことにより簡便に J_c の評価が可能となる。

10

【0013】

具体的には、予め、誘導法により測定した臨界電流密度 J_c と、高温超電導薄膜と永久磁石との間の距離 L と斥力との関係から a_1/d を求め、これらの関係を図 4 に示すようにマップ化しておく。なお、図 4 は一例として YBCO 薄膜の 77 K における $J_c - a_1/d$ 特性をしめしている。マグネットは 5 mm を用いた。実験で得られた J_c は a_1 に正の相関を示し、

20

$$J_c = 3.6 \times 10^{-5} \times (a_1/d)^{2/3} \quad [\text{MA/cm}^2]$$

の関係で説明できている。したがって、本測定装置により測定した a_1 と既知の膜厚さ d を用いて後述のようにして薄膜の J_c を評価できる。なお、図 4 は薄膜の材料、磁石の大きさ毎の実験を行い簡単に作成することができる。

ところで上記 a_1 は次のように定義される。

図 3 は薄膜と永久磁石間の測定最小距離 L_{min} を変えて引力・斥力特性を測定した結果を示している。図 3 から、 L_{min} が 0.5 から 2.0 mm の範囲では $L = 0$ の外挿値が全て一致していることがわかる。そこで、実験で得られた荷重と距離の関係から斥力、引力値それぞれの接線と $L = 0$ の交点をそれぞれ、 a_1 、 a_2 と定義する。 a_1 の値は、磁石を近づけた際に超電導体内に流れるマイスナー電流に関係し、 a_1 が大きいほど大きなマイスナー電流が流れると考えられる。一方、 a_2 は超電導薄膜内で反転するシールド電流による磁界と、膜中のトラップ磁界によるものである。よって、 a_1 が J_c と相関をもつことがわかる。 d は高温超電導薄膜の膜厚である。

30

【0014】

上記装置による臨界電流密度 J_c の求め方。

まずロッド付き加重測定センサー 4 から被検査体 8 との間の斥力と距離 L を求め、その値をもとにパソコン内で、 a_1 を求め、既知の膜厚とから a_1/d を求め、この値を使用してパソコン内に記憶しているマップ（図 4 参照）から臨界電流密度 J_c を求める。こうすることで膜厚が既知のサンプルの斥力 a_1 を測定することによって容易に J_c を算出することができる。

40

【0015】

以上、本発明に係る高臨界電流密度かつ厚膜線材の測定・評価について説明をしたが、パソコンの代わりに専用の制御回路を使用してもよい。さらに本発明はその精神または主要な特徴から逸脱することなく、他のいかなる形でも実施できる。そのため、前述の実施例はあらゆる点で単なる例示にすぎず限定的に解釈してはならない。

【産業上の利用可能性】

【0016】

本発明により、これまで非破壊測定不可能であった高臨界電流密度かつ厚膜線材の測定・評価が可能となる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 1 7 】

【 図 1 】 本装置の概略構成図である。

【 図 2 】 永久磁石を使用した測定原理の説明図である。

【 図 3 】 斥力・引力特性の L_{min} 依存性を示すグラフである。

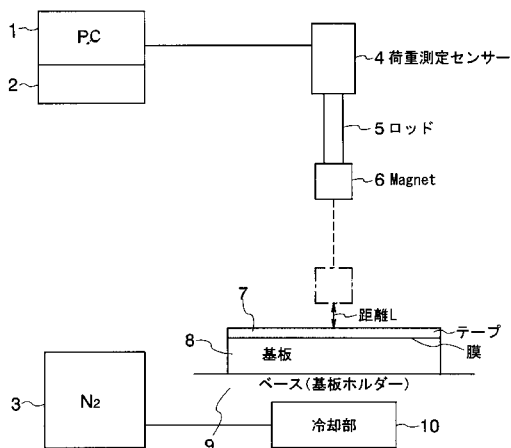
【 図 4 】 臨界電流密度 (J_c) と斥力 / 超電導薄膜の膜厚 (a_1 / d) の関係図 (マップ) である。

【 符号の説明 】

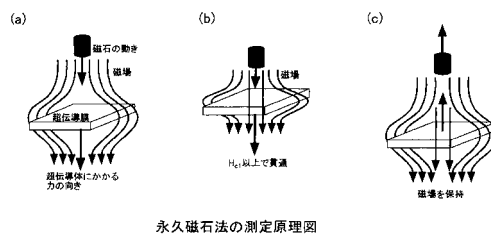
【 0 0 1 8 】

- 1 制御用パソコン
- 2 表示ユニット
- 3 液体窒素槽
- 4 ロッド付き荷重測定センサー
- 5 ロッド
- 6 永久磁石
- 7 ポロアミド粘着テープ
- 8 被検査物
- 9 ベース
- 10 冷却部

【 図 1 】

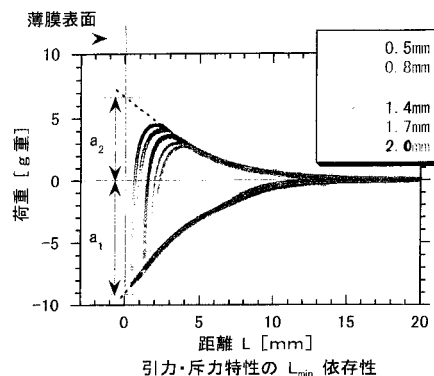


【 図 2 】



永久磁石法の測定原理図

【 図 3 】



引力・斥力特性の L_{min} 依存性

【 図 4 】

