

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4552007号
(P4552007)

(45) 発行日 平成22年9月29日(2010.9.29)

(24) 登録日 平成22年7月23日(2010.7.23)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 39/22 (2006.01)

H O 1 L 39/22 Z A A A

請求項の数 3 (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願2002-275873 (P2002-275873)	(73) 特許権者	301023238
(22) 出願日	平成14年9月20日(2002.9.20)		独立行政法人物質・材料研究機構
(65) 公開番号	特開2004-111864 (P2004-111864A)		茨城県つくば市千現一丁目2番地1
(43) 公開日	平成16年4月8日(2004.4.8)	(72) 発明者	高野 義彦
審査請求日	平成15年4月1日(2003.4.1)		茨城県つくば市千現一丁目2番1号
審判番号	不服2007-26902 (P2007-26902/J1)		独立行政法人物質・材料研究機構内
審判請求日	平成19年10月2日(2007.10.2)	(72) 発明者	羽多野 毅
			茨城県つくば市千現一丁目2番1号
			独立行政法人物質・材料研究機構内
		(72) 発明者	金 相宰
			茨城県つくば市千現一丁目2番1号
			独立行政法人物質・材料研究機構内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造における交差角度の設定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

高温超伝導体の2本の単結晶が、基板上に重ねて接合されてなる単一の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造において、当該接合部位における要求されるプラズマ周波数に合わせ、相互に接合された前記単結晶の交差角度を設定することを特徴とする高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造における交差角度の設定方法。

【請求項2】

2本の単結晶は、ウィスカー状、細く加工した単結晶若しくは薄膜のいずれか1種又はこれらの内の2種の組合せである請求項1に記載の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造における交差角度の設定方法。

【請求項3】

高温超伝導体はビスマス系であり、その超伝導相が、2212相、2201相若しくは2223相のいずれか1種又はこれらの相の2種以上の組合せである請求項1又は2に記載の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造における交差角度の設定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この出願の発明は、高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造における交差角度の設定方法に関するものである。さらに詳しくは、この出願の発明は、プラズマ周波数が交差角度に応じて変化する高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造における交差角度の設定方法

関するものである。

【0002】

【従来の技術とその課題】

超伝導体を用いたジョセフソントンネル接合素子（SIS-JJ素子）は超伝導素子の基本素子であり、高周波素子やSFQ素子（磁力線の束を利用してスイッチ動作を行う素子）、SQUID磁気センサー素子などとして応用が進められてきているが、このジョセフソントンネル接合素子が高温超伝導体により作製されれば、性能のさらなる向上が期待される。

【0003】

この出願の発明の発明者らは、先に、高価な微細加工装置を必要とせず、簡便かつ迅速に高い特性を有するジョセフソン接合を形成することを技術課題とし、これを解決するものとして、高温超伝導体のウィスカー結晶を交差させて配置し、熱処理によりウィスカー結晶の結合部又はその付近にジョセフソン接合を形成させることを提案している（特開2002-141566号公報）。この特許文献では、2本のピスマス2212高温超伝導体のウィスカー結晶を十字形に交差させてMgO基板上に配置し、MgO基板ごと炉中に入れ、温度850、酸素分圧70%、焼成時間30分という焼成条件の下で熱処理を行うことによりジョセフソン接合が形成されることを具体的に開示している。

10

【0004】

この出願の発明は、以上の先願で提案した技術をさらに発展させ、特性制御が可能な高温超伝導ジョセフソントンネル接合素子の創出を目指し、その先駆けとして、プラズマ周波数が交差角度に応じて変化する高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造を提供することを解決すべき課題としている。

20

【0005】

【課題を解決するための手段】

この出願の発明は、以上の課題を解決するものとして、高温超伝導体の2本の単結晶が、基板上に重ねて接合されてなる単一の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造において、当該接合部位における要求されるプラズマ周波数に合わせ、相互に接合された前記単結晶の交差角度を設定することを特徴とする高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造における交差角度の設定方法（請求項1）を提供する。

【0006】

またこの出願の発明は、2本の単結晶は、ウィスカー状、細く加工した単結晶若しくは薄膜のいずれか1種又はこれらの内の2種の組合せであること（請求項2）、高温超伝導体はピスマス系であり、その超伝導相が、2212相、2201相若しくは2223相のいずれか1種又はこれらの相の2種以上の組合せであること（請求項3）をそれぞれ一態様として提供する。

30

【0007】

以下、実施例を示しつつ、この出願の発明の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造における交差角度の設定方法についてさらに詳しく説明する。

【0008】

【発明の実施の形態】

この出願の発明の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造は、上記の通り、高温超伝導体の2本の単結晶が、基板上に、交差角度0度-90度の範囲として重ねて接合されてなる単一の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造である。

40

【0009】

ジョセフソントンネル接合では、超伝導体の間に薄い絶縁体層がサンドイッチされる必要があり、その絶縁体層は2つの結晶の界面に形成される。したがって、この出願の発明の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造において2本の単結晶を用いるのは、一つに、界面に適切な絶縁体層を形成させるためである。2本の単結晶の界面に形成された絶縁体層を用いるからこそ単一のジョセフソントンネル接合が形成されるのである。もう一つは、単結晶は、多結晶と異なり、その結晶方位が一方向に向いている。したがって、以下に示すように、2本の単結晶の交差角度により臨界電流密度を変化させ、高温超伝導ジョ

50

セフソントンネル接合構造のプラズマ周波数 f_p を制御可能とするためである。

【0010】

上記の通り、この出願の発明の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造において基板上で結合する2本の高温超伝導体単結晶の交差角度、すなわち、交差する2本のピスマス系高温超伝導体単結晶がなす2種類の大きさの角度の内、大きくない方の角度は、0度 - 90度の範囲にある。この範囲内の交差角度で交差して結合する高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造のプラズマ周波数 f_p は、臨界電流密度 J_c が交差角度に依存して変化することに起因して変化する。つまり、この出願の発明の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造は、プラズマ周波数 f_p が交差角度に応じて変化するものであり、したがって、プラズマ周波数 f_p は、基板上で結合させる2本の高温超伝導体単結晶の交差角度を変化させることにより制御可能となる。

10

【0011】

高温超伝導体に固有のプラズマ周波数は、一般に数百GHzから数THzであり、このため、高温超伝導体を用いた高温超伝導ジョセフソントンネル素子は、それより高い周波数には応答可能であるが、それより低い周波数に応答することはできなかった。しかしながら、上記の通り、この出願の発明の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造により、プラズマ周波数 f_p は、高温超伝導体に一般の固有のプラズマ周波数から数GHzまでの2 - 3桁以上の範囲で変化可能となる。後述する実施例のように、これまでは応答不可能であった、たとえば20GHzにおける高周波応答（シャピロステップ）が観測される。理論的には、さらに低い周波数まで可能であると見込まれる。

20

【0012】

したがって、一般に、高温超伝導ジョセフソントンネル接合素子は、高温超伝導近接効果素子に比べ、 $I_c R_n$ （臨界電流値とシャント抵抗値の積であり、ジョセフソン接合の信号処理能力を示す量）が大きいため、この出願の発明の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造を利用する高温超伝導ジョセフソントンネル接合素子は、たとえば磁気センサーに応用する場合、SQUID出力は $I_c R_n$ に比例することからSQUID出力が増加し、出力/入力比、すなわち、感度が向上すると考えられる。また、高温超伝導ジョセフソントンネル接合素子は、応答可能な最大動作周波数 f_{max} も $I_c R_n$ に比例するため、 $I_c R_n$ が大きくなるほど f_{max} は高くなると考えられる。このことから、この出願の発明の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造を利用する高温超伝導ジョセフソントンネル接合素子は、たとえば高周波受信機へ応用する場合、 f_p から f_{max} に周波数特性の向上した受信機の作製が可能となると考えられる。さらに、SFQ素子へ応用する場合、スイッチング時間 $\tau = 1/f_{max}$ で動作する高速素子となり、SIS（超伝導体/絶縁体/超伝導体）接合を用いた量子コンピューターの作製が可能ともなると期待される。

30

【0013】

なお、この出願の発明の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造を形成させる際には、高温超伝導体の2本の単結晶を基板上に、交差角度0度 - 90度の範囲で配置し、上記先願と同様に、熱処理により2本の単結晶を結合させることができる。熱処理時の条件は、温度を0度から高温超伝導体の融点までの範囲、酸素分圧を0 - 100%の範囲とすることができる。2本の高温超伝導体単結晶の接合面は、a面、b面若しくはc面のいずれか一つの面又はこれらの面の2面の組合せとすることができる。また、2本の細い高温超伝導体単結晶は、ウィスカ状、細く加工した単結晶若しくは薄膜のいずれか1種又はこれらの内の2種の組合せとすることができる。

40

【0014】

この出願の発明の高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造が対象とする高温超伝導体は、特に系を選ばず、高温超伝導体と一般に称する各種のものから適宜選択可能である。後述する実施例では、ピスマス系の高温超伝導体を選択しているが、この場合、超伝導相は、2212相、2201相若しくは2223相のいずれか1種又はこれらの相の2種以上の組合せとすることができる。しかも、高温超伝導体には、その超伝導特性を損なわない範囲において組成の調整、元素付加若しくは元素置換などを適宜行うことができる。

50

【 0 0 1 5 】

【実施例】

(実施例 1)

ビスマス系高温超伝導体である 2 2 1 2 相の 2 本のウィスカー状単結晶を MgO 基板上に 0 度 - 9 0 度の範囲で交差させて配置し、これを電気炉内で 850 度、酸素分圧 7 0 % の条件で熱処理して結合させ、c 面どうしの接合を行った。

【 0 0 1 6 】

得られた高温超伝導ジョセフソントンネル接合について臨界電流密度 J_c を測定し、測定された J_c の変化から高温超伝導ジョセフソントンネル接合のプラズマ周波数 f_p の交差角度 α による変化を見積もった。その結果が図 1 に示したグラフである。

10

【 0 0 1 7 】

この図 1 に示したグラフから理解されるように、2 本のウィスカー状単結晶の交差角度の変化に応じて高温超伝導ジョセフソントンネル接合のプラズマ周波数 f_p が変化している。高温超伝導ジョセフソントンネル接合のプラズマ周波数 f_p は 0 度及び 9 0 度では高温超伝導体に固有の高い値を示し、4 5 度付近で最も低くなり、2 0 GHz 程度となっている。熱処理条件などによっては図 1 に示したグラフ以上に大きなプラズマ周波数 f_p の変化が期待される。

【 0 0 1 8 】

以上の結果に基づき、得られた高温超伝導ジョセフソントンネル接合に 2 0 GHz の高周波を照射した。その結果、図 2 に示したように、電流—電圧特性に高周波応答に特有な階段状のステップ、すなわち、シャピロステップが観察された。

20

高温超伝導ジョセフソントンネル接合が高周波に応答していることが確認され、高周波の受信素子として機能可能であることが確認される。また、約 4 0 μ V 間隔でステップが現れており、この事実は、ただ一つのジョセフソントンネル接合が動作したこと、いいかえるならば、単一のジョセフソントンネル接合が形成されたことを証明している。

【 0 0 1 9 】

さらに、得られた高温超伝導ジョセフソントンネル接合について、磁界印加にともなう臨界電流 I_c の変化を調べた。その結果を示したのが図 3 に示したグラフである。なお、磁場は、試料の面内方向に印加した。図 3 に示したグラフの縦軸及び横軸はともに規格化している。たとえば、縦軸は、磁場がゼロであるときの臨界電流を 1 として規格化している。また、図 3 図中に示した L は磁場と垂直方向の試料の幅、 I_c は臨界電流、 Φ_0 は、長さ L に磁束が 1 本挿入されるための磁場をそれぞれ示している。

30

【 0 0 2 0 】

臨界電流密度は、規格化する前の電流値を面積で割ることにより求められ、図 3 に示したグラフの縦軸に比例する値である。したがって、この図 3 に示したグラフから、磁界を印加することにより臨界電流密度が周期的に変化していることが確認される。この現象はフラウンフォーファーパターンと呼ばれるものであり、高温超伝導ジョセフソントンネル接合が磁界に応答していることを示している。このフラウンフォーファーパターンは、SQUID 磁気センサーの基本特性である。

(実施例 2)

40

ビスマス系高温超伝導体である 2 2 1 2 相の 2 本のウィスカー状単結晶を MgO 基板上に 9 0 度の交差角で交差させて配置し、これを電気炉内で 850 度、酸素分圧 7 0 % の条件で熱処理して結合させ、b 面と c 面の接合を行った。

【 0 0 2 1 】

図 4 は、得られた b 面と c 面の高温超伝導ジョセフソントンネル接合の電流電圧特性を示したグラフである。この図 4 に示したグラフから確認されるように、単一の高温超伝導ジョセフソントンネル接合が得られている。すなわち、電流の弱いところは電圧が発生していない領域があり、これは、接合を超伝導電流が流れていることを意味しているが、一方、臨界電流値を超えて電流を流すと、突然電圧が発生する。この電圧の発生は、図 4 に示したグラフに現れている飛びに相当する。この飛びが一つであるので単一の高温超伝導トン

50

ネル接合が得られていることが確認される。このことから、実施例 1 で確認された各現象が、当然、b 面と c 面の高温超伝導ジョセフソントンネル接合についても同様に起こると合理的に考えられる。

【 0 0 2 2 】

もちろん、この出願の発明は、以上の実施形態及び実施形態によって限定されるものではない。高温超伝導体の種類、単結晶の形態、熱処理条件などの細部については様々な態様が可能であることはいうまでもない。

【 0 0 2 3 】

【発明の効果】

以上詳しく説明した通り、この出願の発明によって、高温超伝導ジョセフソントンネル接合構造における交差角度の設定方法が実現される。

10

【図面の簡単な説明】

【図 1】実施例 1 で得られた高温超伝導ジョセフソントンネル接合について、高温超伝導体単結晶の交差角度とプラズマ周波数の関係を示したグラフである。

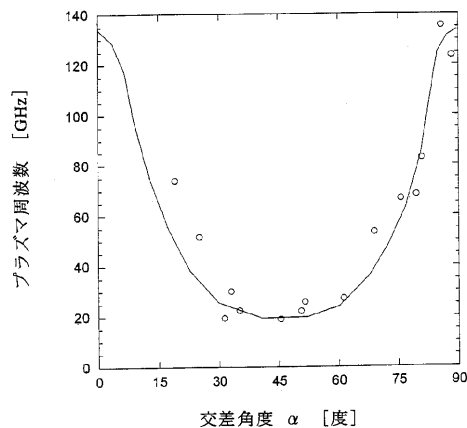
【図 2】実施例 1 で得られた高温超伝導ジョセフソントンネル接合に 20 GHz の高周波を照射した時に観測されたシャピロステップを示したグラフである。

【図 3】実施例 1 で得られた高温超伝導ジョセフソントンネル接合に磁界を印加した時に観測されたフラウンホーファーパターンを示したグラフである。

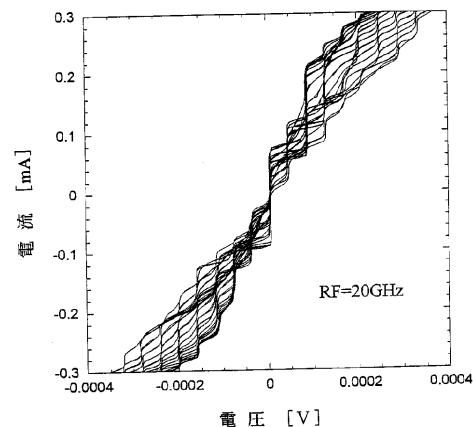
【図 4】実施例 2 で得られた b 面と c 面の高温超伝導ジョセフソントンネル接合の電流電圧特性を示したグラフである。

20

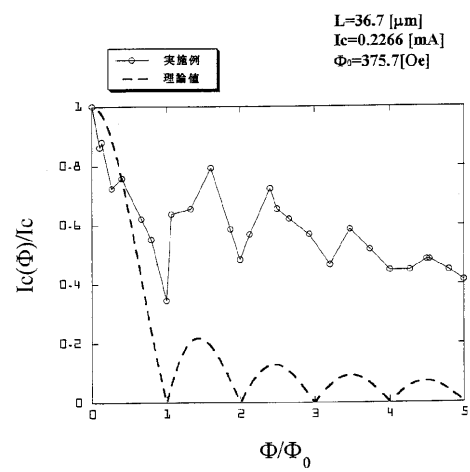
【図 1】



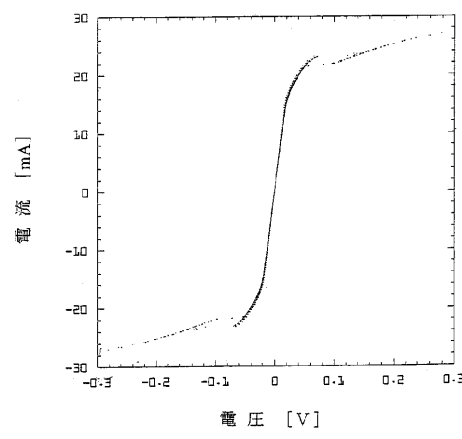
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 石井 明
茨城県つくば市千現一丁目2番1号
法人物質・材料研究機構内
独立行政
- (72)発明者 有沢 俊一
茨城県つくば市千現一丁目2番1号
法人物質・材料研究機構内
独立行政
- (72)発明者 戸叶 一正
茨城県つくば市千現一丁目2番1号
法人物質・材料研究機構内
独立行政
- (72)発明者 立木 昌
茨城県つくば市千現一丁目2番1号
法人物質・材料研究機構内
独立行政
- (72)発明者 山下 努
茨城県つくば市千現一丁目2番1号
法人物質・材料研究機構内
独立行政

合議体

審判長 北島 健次

審判官 小野田 誠

審判官 安田 雅彦

- (56)参考文献 特開2002-141566(JP,A)
柴田浩行, 銅酸化物超伝導体におけるジョセフソン・プラズマ共鳴の透過測定による観測, 固体物理, 日本, 1999年 8月15日, vol.34, no.8, pp.691-698

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L39/22-39/24