(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5795348号
(P5795348)

(45)発行日　平成27年10月14日(2015.10.14)　(24)登録日　平成27年8月21日(2015.8.21)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 39/22	(2006.01)	H01L	39/22	ZAAD
H01L 39/24	(2006.01)	H01L	39/22	A
A61B 5/05	(2006.01)	H01L	39/24	J
		A61B	5/05	A

請求項の数 4　(全 7 頁)

(21)出願番号　特願2013-22281(P2013-22281)
(22)出願日　平成25年2月7日(2013.2.7)
(65)公開番号　特開2014-154670(P2014-154670A)
(43)公開日　平成26年8月25日(2014.8.25)
審査請求日　平成27年5月15日(2015.5.15)

早期審査対象出願

(73)特許権者　000002107
住友重機械工業株式会社
東京都品川区大崎二丁目１番１号
(74)代理人　100088155
弁理士　長谷川　芳樹
(74)代理人　100113435
弁理士　黒木　義樹
(74)代理人　100162640
弁理士　柳　康樹
(72)発明者　張　延平
東京都西東京市谷戸町二丁目１番１号　住友重機械工業株式会社田無製造所内

審査官　早川　朋一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ジョセフソン接合素子及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１の超伝導膜と、
前記第１の超伝導膜上に設けられた第２の超伝導膜と、
前記第１の超伝導膜と前記第２の超伝導膜との間に設けられた絶縁膜と、を備え、
前記第２の超伝導膜は、前記絶縁膜が設けられている側とは反対側の表面から前記絶縁膜側へ向けて延びる有底穴を有し、
前記絶縁膜は、前記第１の超伝導膜と前記有底穴との間の部分に、弱結合部を有する、ジョセフソン接合素子。
【請求項２】
前記有底穴は、前記第２の超伝導膜の中央部に設けられている、請求項１に記載のジョセフソン接合素子。
【請求項３】
ジョセフソン接合素子の製造方法であって、
第１の超伝導膜と、前記第１の超伝導膜上に設けられた第２の超伝導膜と、前記第１の超伝導膜と前記第２の超伝導膜との間に設けられた絶縁膜と、を備える積層体を用意する工程と、
前記第２の超伝導膜に、前記絶縁膜が設けられている側とは反対側の表面から前記絶縁膜側へ向けて有底穴を設ける工程と、
前記有底穴を通して前記有底穴の底部へ向けてイオンビームを照射することにより、前

記絶縁膜における前記第１の超伝導膜と前記有底穴との間の部分に、弱結合部を形成する工程と、を有する、ジョセフソン接合素子の製造方法。
【請求項４】
前記有底穴を設ける工程では、前記第２の超伝導膜の中央部に前記有底穴を形成する、請求項３に記載のジョセフソン接合素子の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、ジョセフソン接合素子の製造方法、ジョセフソン接合素子及びこれを備える脳磁計に関する。
【背景技術】
【０００２】
ジョセフソン接合素子の製造方法として、例えば特許文献１に開示された製造方法が知られている。この製造方法では、絶縁膜を二つの超伝導膜で挟んで構成された積層体が、二つの超伝導膜の側面が絶縁膜の面に対して斜面とされた重なり部分を有しており、この二つの斜面が重なる部分に対してイオンビームを照射している。これにより、積層体内部の所定の深さの領域にイオンが注入され、このイオンが注入された領域と絶縁膜との交点において、絶縁膜の内部に弱結合部が形成される。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開平７－２３５７０１号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
特許文献１の製造方法では、上記のとおり、二つの超伝導膜に形成された二つの斜面を利用する必要があるが、この斜面の形成工程において傾斜角が積層体ごとにばらつくのは避けられない。この傾斜角のばらつきにより、二つの斜面の重なり部分の位置、及び、イオンが注入される領域と絶縁膜との交点の位置（すなわち弱結合部が形成される位置）が積層体ごとに変化してしまうため、加工精度の再現性が乏しい。また、イオンビームの照射は、弱結合部が形成される位置及び大きさを所定のものとするべく、二つの斜面が重なる部分に対して収束イオンビームにより正確に照準を合わせて行う必要があるため、量産化に課題が残る。
【０００５】
そこで本発明は、加工精度の再現性が良く、量産化にも適したジョセフソン接合素子の製造方法、ジョセフソン接合素子及びこれを備える脳磁計を提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本発明は、第１の超伝導膜、絶縁膜、及び第２の超伝導膜がこの順に積層された積層部分を有するジョセフソン接合素子の製造方法であって、積層部分における第２の超伝導膜に、第２の超伝導膜の表面から第１の超伝導膜の側へ向けて延び絶縁膜まで達しない有底穴を設ける工程と、有底穴を通して有底穴の底部へ向けてイオンビームを照射することにより、絶縁膜の底部に対向する部分に、第１の超伝導膜及び第２の超伝導膜の間の弱結合部を形成する工程と、を有するジョセフソン接合素子の製造方法を提供する。
【０００７】
また本発明は、第１の超伝導膜、絶縁膜、及び第２の超伝導膜がこの順に積層された積層部分を有し、絶縁膜は、積層部分における第２の超伝導膜に設けられ第２の超伝導膜の側から第１の超伝導膜の側へ向けて延び絶縁膜まで達しない有底穴のその底部へ向けて有底穴を通してイオンビームが照射されることにより形成された、第１の超伝導膜及び第２の超伝導膜の間の弱結合部を有するジョセフソン接合素子を提供する。

【０００８】
これら本発明では、弱結合部の形成に際して、斜面を利用する必要がないため、加工精度の再現性が良い。また、積層部分において所定の深さにイオンが注入されるようにイオンビームを照射したとき、第２の超伝導膜のうち有底穴が設けられた領域では、有底穴を通して有底穴の底部からイオンビームが入射し、その底部から所定の深さに位置する絶縁膜の部分、すなわち有底穴の底部に対向する部分にイオンが注入され弱結合部が形成される。一方、第２の超伝導膜のうち有底穴が設けられていない領域では、イオンビームが絶縁膜まで届かずに第２の超伝導膜の内部にイオンが注入されることになる。ここで、従来、イオンビームの照射は、弱結合部が形成される位置及び大きさを所定のものとするべく、照射範囲を絞った収束イオンビームにより正確に照準を合わせて行っていたが、本発明では、少なくとも有底穴を含む範囲にイオンビームを照射すれば、絶縁膜のうち有底穴が設けられた位置に対応する位置にのみ有底穴の径に応じた弱結合部が形成されることになり、素子の量産化に適している。
【０００９】
また本発明は、上記ジョセフソン接合素子を備える、脳磁計を提供する。上記ジョセフソン接合素子は、上記作用に加えて、外部磁場に対する耐性が高いため、外部磁場に曝され得る環境下で用いられる脳磁計に使用することができる。
【発明の効果】
【００１０】
本発明によれば、加工精度の再現性が良く、量産化にも適したジョセフソン接合素子の製造方法、ジョセフソン接合素子及びこれを備える脳磁計を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１１】
【図１】本実施形態のジョセフソン接合素子の製造方法で製造されたジョセフソン接合素子の斜視図である。
【図２】図１の縦断面図である。
【図３】他の実施形態のジョセフソン接合素子の斜視図である。
【図４】図３の縦断面図である。
【発明を実施するための形態】
【００１２】
以下、本発明の好適な実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、各図において同一部分又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明は省略する。
【００１３】
［ジョセフソン接合素子］
ジョセフソン接合素子の製造方法の説明に先立ち、当該製造方法により製造されるジョセフソン接合素子について説明する。
【００１４】
図１及び図２に示されるように、ジョセフソン接合素子１は、矩形膜状の下部電極（第１の超伝導膜）２と、下部電極２の長手方向から下部電極２を直交して跨ぐように重ね合わされた矩形膜状の上部電極（第２の超伝導膜）３と、を備えており、下部電極２と上部電極３とが重なる部分には、両電極２，３を互いに電気的に絶縁するための絶縁膜４が設けられている。上部電極３は、下部電極２を跨ぐことから、下部電極の形状に沿って曲げられ、縦断面ハット型をなしている（図２）。
【００１５】
下部電極２及び上部電極３の材質としては、Ｎｂが挙げられる。また、下部電極２及び上部電極３の寸法としては、幅が４０００ｎｍ程度であり、厚さが１００ｎｍ～２５０ｎｍの薄膜である。また、絶縁膜４の材質としては、Nb_2O_5等のＮｂ酸化物が挙げられる。絶縁膜４の厚さは、１０ｎｍ程度である。
【００１６】
下部電極２、絶縁膜４、及び上部電極３がこの順に積層された積層部分において、その

中央部の上部電極３には断面円形の有底穴５が設けられている。この有底穴５は、上部電極３の面のうち絶縁膜４が設けられている側とは反対側の表面（以下「上面」と呼ぶ）３ａから下部電極２の側へ向けて延びており、絶縁膜４に達する手前の上部電極３の内部で底部５ａを形成している。ここで、有底穴５の径は２０～２００ｎｍであり、有底穴５のアスペクト比（穴の径に対する穴の深さの比の値）は６以下とされている。

【００１７】

絶縁膜４は、上記有底穴５の底部５ａから更に所定の深さに位置する部分、すなわち有底穴５の底部５ａに対向する部分に、後述するイオンビームの照射によるイオン注入により形成された弱結合部４ａを有している。この弱結合部４ａは、下部電極２及び上部電極３の間を、絶縁体から導電化し、電子対が通過するようにしたものである。すなわち、超伝導電子対のトンネル効果を発生できるようになる。注入されているイオンとしては、Ｎｂ、Ａｕ、Ｃｕ、Ａｌ、Ｐ、Ｎ等のイオンが挙げられる。

【００１８】

ここで、有底穴５の底部５ａと絶縁膜４との間の上部電極３の部分（以下「薄肉部」と呼ぶ）の肉厚は、照射するイオンビームのイオンの種類とエネルギーにより選択されて決定されたものである。例えば、２０ｋｅＶのエネルギーでCu^{+}を注入する場合は、薄肉部の肉厚は７０～８０ｎｍ程度とされる。このイオンビームを照射する場合の理想的な寸法としては、例えば、上部電極３の厚さが２００ｎｍ、有底穴５の径が２０ｎｍ、有底穴５の深さが１２０ｎｍ（すなわち有底穴５のアスペクト比が６）、薄肉部の肉厚が８０ｎｍである。なお、薄肉部の肉厚が４０ｎｍ未満であると、超伝導体としての臨界温度が下がり、超伝導性能が低下する虞がある。

【００１９】

［ジョセフソン接合素子の製造方法］

次に、ジョセフソン接合素子１の製造方法について説明する。まず、下部電極２、絶縁膜４、及び上部電極３を、上記のとおりに配置する。これらが積層された積層部分において、上部電極３の上面３ａに対してＲＩＥ（Reactive Ion Etching；反応性イオンエッチング）を施し、当該上面３ａに上述の有底穴５を設ける。

【００２０】

続いて、積層部分のうち有底穴５をほぼ中央に含む領域一帯に対し、上部電極３の側から下部電極２の側へ向けてイオンビームを照射する。このとき、積層部分のうち有底穴５が設けられた部分では有底穴５を通してその底部５ａへ向けてイオンビームが照射され、有底穴５の周辺部分では上部電極３の上面３ａにイオンビームが照射されることになる。その結果、有底穴５が設けられた部分では、底部５ａから更に所定の深さに位置する絶縁膜４の部分、すなわち有底穴５の底部５ａに対向する絶縁膜４の部分にイオンが注入され、弱結合部が形成される。一方、有底穴５の周辺部分でイオンビームが照射された部分では、イオンビームが絶縁膜４まで届かず、上部電極３の内部にイオンが注入され留められる。

【００２１】

ここで、イオンビームのイオンの種類とエネルギーは、前述したとおりである。

【００２２】

以上の手順により、ジョセフソン接合素子１が得られる。

【００２３】

以上説明したジョセフソン接合素子及びその製造方法によれば、弱結合部の形成に際して、特許文献１に開示された製造方法とは異なり、電極の側面に斜面を形成して利用する必要がないため、加工精度の再現性が良い。

【００２４】

また、積層部分において所定の深さにイオンが注入されるようにイオンビームを照射したとき、上述のように、上部電極３のうち有底穴５が設けられた部分では、有底穴５を通して有底穴５の底部５ａからイオンビームが入射し、その底部５ａから所定の深さに位置する絶縁膜４の部分、すなわち有底穴５の底部５ａに対向する部分にイオンが注入され弱

結合部４ａが形成される。一方、上部電極３のうち有底穴５が設けられていない周辺の領域では、イオンビームが絶縁膜４まで届かずに上部電極３の内部にイオンが注入されることになる。

【００２５】

ここで、従来、イオンビームの照射は、弱結合部が形成される位置及び大きさを所定のものとするべく、照射範囲を絞った収束イオンビームにより正確に照準を合わせて行っていたが、本実施形態の製造方法では、前述のように、少なくとも有底穴５を含む範囲にイオンビームを照射することにより、絶縁膜４のうち有底穴が設けられた位置に対応する位置にのみ有底穴５の径に応じた弱結合部４ａを形成できる。すなわち、本実施形態の製造方法では、高価な装置を必要とする収束イオンビームが不要であり、かつ、イオンビームの照射位置の許容度が高いといえるため、素子の量産化に適している。

【００２６】

また、上記のように製造されたジョセフソン接合素子１は、外部磁場に対する耐性が高いため、例えばＭＲＩ等の外部磁場に曝され得る環境下で用いられる脳磁計、具体的にはＳＱＵＩＤ（Superconducting Quantum Interference Device；超伝導量子干渉計）に使用することができる。

【００２７】

以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に何ら限定されるものではない。例えば、図３及び図４に示されるように、下部電極２、絶縁膜４、及び上部電極３がこれらの積層方向から見たときに同一形状となるように単純に積層されジョセフソン接合素子１１であってもよい。

【００２８】

また、上記実施形態では、有底穴５が積層部分の中央部に設けられた態様を示したが、有底穴５は積層部分の中央部からずれた位置に設けられてもよい。例えば、上部電極３の幅が４０００ｎｍ、且つイオンビームの照射範囲が積層部分の中央部を中心として直径２０００ｎｍである場合、有底穴５を設ける際のアライメント精度は１０００ｎｍ（１μｍ）以上の許容幅を有するといえる。すなわち本発明は、製造上の許容度が高いといえる。

【００２９】

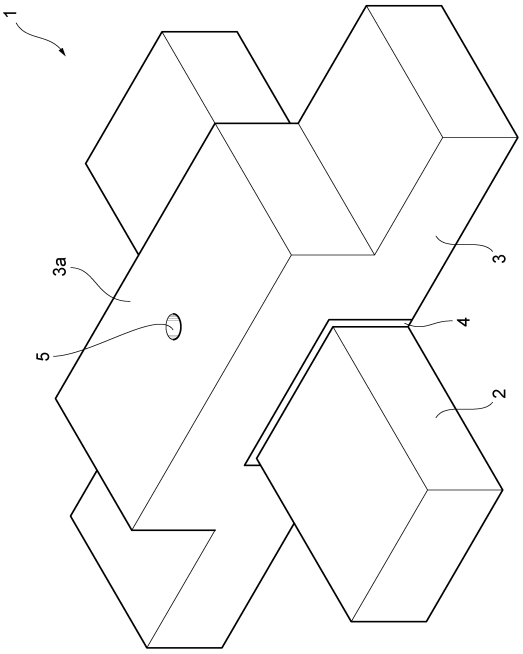
また、有底穴５を形成する方法はＲＩＥに限られず、その他の方法を採用してもよい。また、弱結合部４ａを形成した後、上部電極３を構成する材料又はその他の材料にて、有底穴５を埋めてもよい。

【符号の説明】

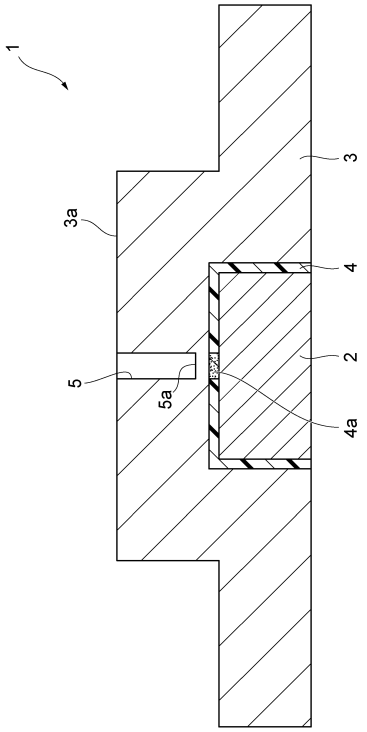
【００３０】

１，１１…ジョセフソン接合素子、２…下部電極（第１の超伝導膜）、３…上部電極（第２の超伝導膜）、３ａ…上部電極の上面（第２の超伝導膜の表面）、４…絶縁膜、４ａ…弱結合部、５…有底穴、５ａ…底部。

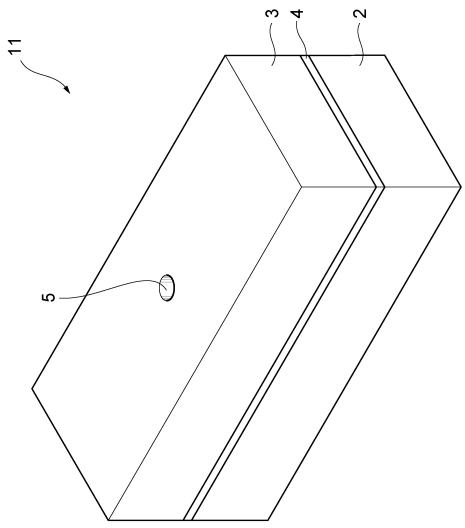
【図１】



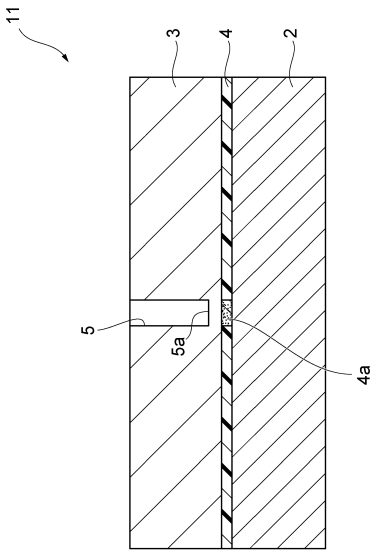
【図２】



【図３】



【図４】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開２００２－０７６４５６（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－２３５７０１（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２８３７７５（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－０７５３１４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ　３９／２２
Ｈ０１Ｌ　３９／２４
Ａ６１Ｂ　５／０５