

(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2008-294167

(P2008-294167A)

(43) 公開日 平成20年12月4日(2008.12.4)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
 HO 1 L 39/22 (2006.01) HO 1 L 39/22 Z A A K 4 M 1 1 3
 HO 1 L 39/22 C

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2007-137282 (P2007-137282)
 (22) 出願日 平成19年5月23日 (2007. 5. 23)

(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 100082876
 弁理士 平山 一幸
 (72) 発明者 島津 佳弘
 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
 国立大学法人横浜国立大学 工学研究院
 内
 Fターム(参考) 4M113 AA04 AA05 AA14 AA15 AA25
 AC08 AC45 AD23 BA04 BA11
 BA14 BA15 BB09 CA12 CA13
 CA14

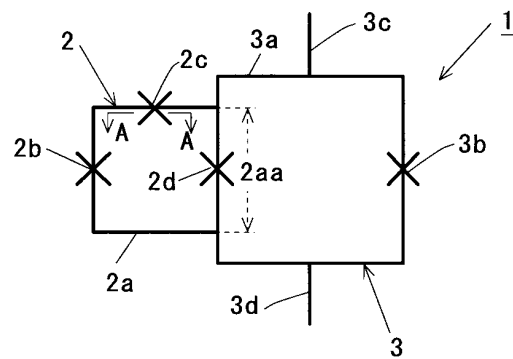
(54) 【発明の名称】 超伝導量子ビット素子及びそれを用いた集積回路

(57) 【要約】

【課題】量子ビット素子から大きな信号を得ることができる、超伝導量子ビット素子及びそれを用いた集積回路を提供する。

【解決手段】超伝導量子ビット素子1は、超伝導量子ビット部2と超伝導量子ビット部に接続された量子ビット読出部3とを備え、超伝導量子ビット部2は3つのジョセフソン接合を有する超伝導量子干渉素子からなり、量子ビット読出部3は、2つのジョセフソン接合を有する超伝導量子干渉素子からなり、量子ビット読出部3のジョセフソン接合の1つ2dを、超伝導量子ビット部3のジョセフソン接合の1つと共用できる。量子ビット読出部3は、量子ビットからの十分に大きな磁束信号を得ることができるため、ノイズが大きい環境でも量子ビットの信号を正確に読み出し得る。従来と比較して、必要なジョセフソン接合の個数を1個減らすことができるので、製作が容易となる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

超伝導量子ビット部と該超伝導量子ビット部に接続された量子ビット読出部とを備え、上記超伝導量子ビット部は 3 つのジョセフソン接合を有する超伝導量子干渉素子からなり、

上記量子ビット読出部は、2 つのジョセフソン接合を有する超伝導量子干渉素子からなり、

上記量子ビット読出部のジョセフソン接合の 1 つが、上記超伝導量子ビット部のジョセフソン接合の 1 つと共用するように構成されていることを特徴とする、超伝導量子ビット素子。

10

【請求項 2】

前記超伝導量子ビット部及び量子ビット読出部はループ状の細線からなり、上記細線の内、前記共用されるジョセフソン接合が形成される細線部が共用部として構成されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の超伝導量子ビット素子。

【請求項 3】

前記量子ビット読出部のループ内の磁束が、読み出し時に磁束量子の半整数又は整数倍以外の値に制御されることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の超伝導量子ビット素子。

【請求項 4】

複数の超伝導量子ビット素子を用いた集積回路であって、

20

上記超伝導量子ビット素子のそれぞれが超伝導量子ビット部と超伝導量子ビット部に接続される量子ビット読出部とを備え、

上記超伝導量子ビット部は、3 つのジョセフソン接合を有する超伝導量子干渉素子からなり、

上記量子ビット読出部は、2 つのジョセフソン接合を有する超伝導量子干渉素子からなり、

上記量子ビット読出部のジョセフソン接合の 1 つが上記超伝導量子ビット部のジョセフソン接合の 1 つと共用するように構成されていることを特徴とする、集積回路。

【請求項 5】

前記超伝導量子ビット部及び量子ビット読出部はループ状の細線からなり、該細線の内、前記共用されるジョセフソン接合が形成される細線部が共用部として構成されていることを特徴とする、請求項 4 に記載の集積回路。

30

【請求項 6】

前記量子ビット読出部のループ内の磁束が、読み出し時に磁束量子の半整数又は整数倍以外の値に制御されることを特徴とする、請求項 4 または 5 に記載の集積回路。

【請求項 7】

磁束転送器が、隣り合う前記超伝導量子ビット素子の間に配置されていることを特徴とする、請求項 4 に記載の集積回路。

【請求項 8】

制御線が、前記超伝導量子ビット部に隣接して配置されることを特徴とする、請求項 4 に記載の集積回路。

40

【請求項 9】

制御線が、前記磁束転送器に隣接して配置されることを特徴とする、請求項 7 に記載の集積回路。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、量子計算機に用いることができる超伝導量子ビット素子に係り、特に大きな信号が得られるような量子ビット読出部を備えた超伝導量子ビット素子及びそれを用いた集積回路に関する。

50

【背景技術】

【0002】

量子コンピュータでは、状態の重ね合わせが可能であるため古典的コンピュータで行うことのできない演算が可能である。理論的には複数の入力を備えた計算を行うことができ、この種の演算のために、量子コンピュータには、重ね合わせ状態の生成の機能が不可欠な機能である。

【0003】

量子ビット素子とは、量子コンピュータの構成要素である。これにはいろいろな種類のものがある。例えば、特許文献1及び2に開示されている量子ビット素子は、磁束量子ビットと呼ばれる素子であり、3個のジョセフソン接合をもつ超伝導ループである。量子ビット素子で生成される磁束信号は、超伝導量子干渉素子(DC-SQUID)によって読み出される。従来は、DC-SQUIDを量子ビット素子に接近させて作り、磁束信号を読み出す方法が採用されていた。

【0004】

非特許文献1には、DC-SQUIDを量子ビット素子に接近させて作り、量子ビットの信号を観測したことが報告されている。図5は、非特許文献1で報告されたDC-SQUIDの臨界電流を示す図である。図5において、縦軸はDC-SQUIDの臨界電流であり、横軸は量子ビットに与えられた外部磁束であり、外部から印加した磁場に比例している。挿入図は外部磁束を広い範囲で示したもので、この一部を拡大すると、量子ビットの信号が小さなステップとして観測されている。

【0005】

【特許文献1】特開2005-260025号公報

【特許文献2】特開2005-302847号公報

【非特許文献1】Caspar H. van der Wal, A. C. J. ter Haar, F. K. Wilhelm, R. N. Schouten, C. J. P. M. Harmans, T. P. Orlando, Seth Lloyd and J.E. Mooij: Science, Vol.290, pp.773-777, 2000

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、従来の量子ビット素子に接近させて形成したDC-SQUIDから磁束信号を読み出す方法は、量子ビットとDC-SQUIDの間の相互インダクタンスが小さいため、得られる磁束信号は微弱であるという課題があった。

【0007】

本発明は上記課題に鑑み、量子ビット素子から大きな信号を得ることができる、超伝導量子ビット素子及びそれを用いた集積回路を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するため、本発明の超伝導量子ビット素子は、超伝導量子ビット部と超伝導量子ビット部に接続された量子ビット読出部とを備え、超伝導量子ビット部は3つのジョセフソン接合を有する超伝導量子干渉素子からなり、量子ビット読出部は、2つのジョセフソン接合を有する超伝導量子干渉素子からなり、量子ビット読出部のジョセフソン接合の1つが、超伝導量子ビット部のジョセフソン接合の1つと共用するように構成されていることを特徴とする。

上記構成によれば、量子ビット読出部が超伝導量子ビット部のジョセフソン接合の1つを共通としたDC-SQUIDから構成されるので、超伝導量子ビット部で生成される磁束信号を高感度で検出することができる。

【0009】

上記構成において、超伝導量子ビット部及び量子ビット読出部は、好ましくは、ループ状の細線からなり、細線の内、共用されるジョセフソン接合が形成される細線部が共用部として構成されている。

10

20

30

40

50

量子ビット読出部のループ内の磁束は、好ましくは、読み出し時に磁束量子の半整数又は整数倍以外の値に制御される。

上記構成によれば、超伝導量子ビット部と量子ビット読出部との相互インダクタンスを大きくすることができ、超伝導量子ビット部で生成される磁束信号を高感度で検出することができる。

【0010】

本発明の集積回路は、複数の超伝導量子ビット素子から構成され、超伝導量子ビット素子のそれぞれが超伝導量子ビット部と超伝導量子ビット部に接続される量子ビット読出部とを備え、超伝導量子ビット部は、3つのジョセフソン接合を有する超伝導量子干渉素子からなり、量子ビット読出部は、2つのジョセフソン接合を有する超伝導量子干渉素子からなり、量子ビット読出部のジョセフソン接合の1つが超伝導量子ビット部のジョセフソン接合の1つと共用するように構成されていることを特徴とする。

10

上記構成において、超伝導量子ビット部及び量子ビット読出部は、好ましくは、ループ状の細線からなり、細線の内、共用されるジョセフソン接合が形成される細線部が共用部として構成されている。

量子ビット読出部のループ内の磁束は、好ましくは、読み出し時に磁束量子の半整数又は整数倍以外の値に制御される。

上記構成によれば、集積回路を構成する超伝導量子ビット素子において、超伝導量子ビット部と量子ビット読出部との相互インダクタンスを大きくすることができ、超伝導量子ビット部で生成される磁束信号を高感度で検出することができる。

20

【0011】

上記構成において、磁束転送器は、好ましくは、隣り合う超伝導量子ビット素子の間に配置されている。

制御線は、好ましくは、超伝導量子ビット部に隣接して配置されるか又は磁束転送器に隣接して配置される。

上記構成によれば、隣り合う2つの超伝導量子ビット素子間の結合の強さを任意に制御することができると共に、各超伝導量子ビット素子の超伝導量子ビット部と量子ビット読出部との相互インダクタンスを大きくすることができ、超伝導量子ビット部で生成される磁束信号を高感度で検出することができる。

30

【発明の効果】

【0012】

本発明の超伝導量子ビット素子及びそれを用いた集積回路によれば、超伝導量子ビット素子から十分に大きな磁束信号を得ることができるため、ノイズが大きい環境でも量子ビットの信号を正確に読み出すことができる。量子ビットの面積や流れる巡回電流が小さくても十分な信号を得ることができるので、量子ビットの面積や流れる巡回電流を小さくすることにより量子力学的重ね合わせ状態を保持する時間である量子コヒーレンス時間を、従来よりも延ばすことができる可能性がある。さらに、必要なジョセフソン接合の個数を1個減らすことができるので、製作が容易となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

40

以下、この発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。各図において同一又は対応する部材には同一符号を用いる。

図1は、本発明の超伝導量子ビット素子1の構成を模式的に示す平面図である。超伝導量子ビット素子1は、超伝導量子干渉素子からなる超伝導量子ビット部2と、超伝導量子ビット部2に接続され、超伝導量子干渉素子からなる量子ビット読出部3と、から構成されている。本発明の超伝導量子ビット素子1は、基板上に形成することができる。

【0014】

超伝導量子ビット部2は、超伝導体からなるリング又は矩形などに形成された細線部2aと、3つのジョセフソン接合2b, 2c, 2dと、から形成されている超伝導量子干渉素子である。各ジョセフソン接合2b, 2c, 2dは、トンネル接合となるような薄い絶

50

縁膜が細線部 2 a に挟まれた構造を有している。

【0015】

ここで、超伝導体の材料としては、Nb（ニオブ）、Pb（鉛）、Al（アルミニウム）、Sn（スズ）、In（インジウム）などを、絶縁膜としては、アルミ酸化物（ AlO_x ）、 PbO などを用いることができる。

【0016】

図 2 は、図 1 に示すジョセフソン接合 2 c の A - A 方向に沿う部分断面図である。図 2 に示すように、ジョセフソン接合 2 c は、絶縁基板 10 上に形成される超伝導体層 11 と、この超伝導体層 11 上に形成されるトンネル層となる絶縁膜 12 と、絶縁膜 12 上に形成される超伝導体層 13 と、から形成することができる。トンネル層となる絶縁膜 12 の厚さは例えば約 1 nm である。他のジョセフソン接合 2 b, 2 d も同様の構造を有している。

10

【0017】

超伝導量子ビット部 2 に接続される量子ビット読出部 3 は、超伝導体からなるリング又は矩形などに形成された細線部 3 a と、超伝導量子ビット部 2 のジョセフソン接合 2 d とジョセフソン接合 3 b と、これらのジョセフソン接合 2 d, 3 b から約 90° 離れた位置に設けられた電流端子 3 c, 3 d と、から形成されている。細線部 3 a の左辺の一部は、超伝導量子ビット部 2 の細線部 2 a a と共用されるように構成されている。つまり、細線部 2 a a は、細線部 3 a の共通部分となっている。したがって、量子ビット読出部 3 のジョセフソン接合 2 d 及び超伝導量子ビット部のジョセフソン接合 2 d は、共用つまり兼用されている。細線部 3 a のリングの大きさは、超伝導量子ビット部の細線部 2 a よりも大きくしても小さくしてもよい。本発明では、リングや矩形の形状を有する細線 2 a, 3 a を総称してループ状の細線と呼び、リングや矩形などの形状で決まる面積をループ面積と呼ぶことにする。

20

【0018】

ジョセフソン接合 3 a は、トンネル接合となるような薄い絶縁膜が超伝導体の材料からなる細線部 3 a に挟まれた構造を有している。つまり、量子ビット読出部 3 は、所謂 DC - SQUID（直流 - 超伝導量子干渉素子）である。細線部 3 a の寸法は、幅が約 200 nm、厚さを 50 nm 程度とすることができる。

【0019】

量子ビット読出部 3 に用いる超伝導体の材料及び絶縁膜は、超伝導量子ビット部 2 と同様の材料を用いることができる。

30

【0020】

図 1 に示すように、超伝導量子ビット部 2 及び量子ビット読出部 3 が、例えば共に正方形からなる細線部 2 a, 3 a である場合には、量子ビット読出部 3 の一辺の寸法を量子ビット部の正方形の一辺よりも長くしているが、短くしてもよい。超伝導量子ビット部 2 及び量子ビット読出部 3 は、細線部 2 a a が共通部分となり、相互インダクタンスが大きくなる。

【0021】

超伝導量子ビット部 2 のループとなる細線部 2 a を巡回する電流は、ループ内の磁束が磁束量子の半整数倍（ $1/2, 3/2, 5/2$ など）のときに反転する。したがって、ループ内の磁束が磁束量子の半整数倍付近のときに量子ビットとして振る舞う。

40

一方、量子ビット読出部 3 の DC - SQUID によって量子ビットの信号を読み出すときには、量子ビット読出部 3 の細線部 3 a からなるループ内の磁束が磁束量子の半整数または整数倍であってはならない。なぜならば、この場合の DC - SQUID の臨界電流は磁束変化に対して感度が非常に低いためである。したがって、超伝導量子ビット素子 1 に一様な磁場を加えて操作する場合は、量子ビット読出部 3 のループ面積が超伝導量子ビット部 2 のループ面積の整数倍であってはならない。ただし、超伝導量子ビット部 2 内の磁束または量子ビット読出部 3 内の磁束を制御するための制御線を設ければ、以上の面積に関する条件が必ずしも満たされなくてもよい。

50

【0022】

非特許文献1で代表されるような従来の超伝導量子ビット素子では、超伝導量子ビット部が量子ビット読出部であるDC-SQUIDの中に作られるため、超伝導量子ビット部は量子ビット読出部より小さな面積にするという制約条件がある。本発明の超伝導量子ビット部2は量子ビット読出部3の外側にあるので、超伝導量子ビット部2の面積は、量子ビット読出部3より小さくても大きくてもよい。

【0023】

本発明の超伝導量子ビット素子1では、量子ビット読出部3のDC-SQUIDにおいて、1個のジョセフソン接合2dを、超伝導量子ビット部2を構成する3個のジョセフソン接合2b, 2c, 2dのうち1個と共用、つまり、兼用した構成を有している。

10

これにより、超伝導量子ビット部2のジョセフソン接合2b, 2c, 2dのもつジョセフソンインダクタンスが、量子ビット読出部3との間の相互インダクタンスに寄与するため、相互インダクタンス及び量子ビット読出部3で得られる磁束信号の大きさを著しく増強することができる。

【0024】

超伝導量子ビット素子1は、量子ビットの面積や流れる巡回電流が小さくても十分な信号を得ることができるので、量子ビットの面積や巡回電流を小さくすることにより量子コヒーレンス時間を従来より延ばすことができる可能性がある。

【0025】

従来の量子ビットの読出装置では、量子ビットから離れた位置にDC-SQUIDを形成しているため、合計で5個のジョセフソン接合が必要であったのに対して、本発明の超伝導量子ビット素子1では従来のものよりジョセフソン接合が1個減るので、製作も容易となる。

20

【0026】

次に、本発明の超伝導量子ビット素子1を用いた集積回路について説明する。

図3は、本発明の超伝導量子ビット素子からなる集積回路20を示す模式的な平面図である。集積回路20は、第1の超伝導量子ビット素子1と第2の超伝導量子ビット素子15と、これらの超伝導量子ビット素子1, 15との間に配置されている磁束転送器22と、第1及び第2の超伝導量子ビット素子1, 15及び磁束転送部22とにそれぞれ近接して配置される制御線23, 24, 25と、から構成されている。超伝導量子ビット素子15は、超伝導量子ビット素子1と同じ素子であり、対応する部位には同じ符号を付している。集積回路20は、超伝導量子ビット素子1, 15及び磁束転送器22などからなる上記構成を1組として、複数の組が配置されてもよい。

30

【0027】

磁束転送器22は、磁束転送部22aと超伝導量子干渉素子部22bとから構成されている。磁束転送部22aは、略長方形の超伝導体の細線から形成されている。超伝導量子干渉素子部22bは、矩形の超伝導体からなる細線により形成されている。超伝導量子干渉素子部22bの下側の辺は、磁束転送部22aにおける上側の辺の一部とで共通部分となり兼用されている。

【0028】

40

磁束転送部22a及び超伝導量子干渉素子部22bの細線の寸法は、幅を約200nm、厚さを50nm程度とすることができる。磁束転送部22aの大きさは、一例として4 μm ×10 μm 程度とすることができる。矩形の超伝導量子干渉素子部22bは、一例として3 μm ×3 μm 程度とすることができる。超伝導量子干渉素子部22bにおける上下の長辺の中央部にジョセフソン接合22c及び22dが形成されている。超伝導量子干渉素子部22bは所謂DC-SQUIDである。このDC-SQUIDのトンネル絶縁膜の厚さは約1nmとすればよい。

【0029】

図3の場合には、磁束転送部22aの左右の短辺は、第1及び第2の超伝導量子干渉素子1, 15における超伝導量子ビット部2のジョセフソン接合2bに対向するように配置

50

されている一例を示している。超伝導量子ビット部 2 のジョセフソン接合 2 b は、磁束転送部 2 2 a の左右の短辺側に配置しなくてもよい。例えば、ジョセフソン接合 2 b は、ジョセフソン接合 2 c と対向するように配置されることができる。

【0030】

第 1 の超伝導量子ビット素子 1 に隣接して配置されている制御線 2 3 は、超伝導量子ビット部 2 の下側の辺に平行する直線部 2 3 a と、この直線部 2 3 a の両端で垂直に折れ曲がるように延出した垂直部 2 3 b , 2 3 c とから構成されている。垂直部 2 3 b , 2 3 c の下端側は、図示しない電流源に接続されている。直線部 2 3 a は超伝導量子ビット部 2 と電磁結合している。つまり、相互インダクタンスが、制御線 2 3 と超伝導量子ビット部 2 との間に生じるようにされている。これにより、制御線 2 3 に電流を印加することで磁場が発生し、この磁場により第 1 の超伝導量子ビット素子 1 における超伝導量子ビット部 2 の状態を制御することができる。

10

【0031】

第 2 の超伝導量子ビット素子 1 5 に隣接して配置されている制御線 2 4 は、超伝導量子ビット部 2 の下側の辺に平行する直線部 2 4 a を有し、この直線部 2 4 a の両端で垂直に折れ曲がるように延出した垂直部 2 4 b , 2 4 c とから構成されている。垂直部 2 4 b , 2 4 c の下端側は、図示しない電流源に接続されている。直線部 2 4 a は超伝導量子ビット部 2 と電磁結合している。つまり、相互インダクタンスが、制御線 2 4 と超伝導量子ビット部 2 との間に生じるようにされている。これにより、制御線 2 4 に電流を印加することで、磁場が発生し、この磁場により第 2 の超伝導量子ビット素子 1 5 における超伝導量子ビット部 2 の状態を制御することができる。

20

【0032】

磁束転送部 2 2 に隣接して配置される制御線 2 5 は、超伝導量子干渉素子部 2 2 b における上辺に隣接し、この上辺と平行に配置されている直線部 2 5 a と、この直線部 2 5 a の両端で垂直に折れ曲がるように延出した垂直部 2 5 b , 2 5 c とから構成されている。垂直部 2 5 b , 2 5 c の上端側は、図示しない電流源に接続されている。直線部 2 5 a は超伝導量子干渉素子部 2 2 b と電磁結合している。つまり、相互インダクタンスが、制御線 2 5 と超伝導量子干渉素子部 2 2 b との間に生じるようにされている。これにより、制御線 2 5 に電流を印加することで、磁場が発生し、この磁場により磁束転送器 2 2 における超伝導量子干渉素子部 2 2 b の状態を制御することができる。

30

【0033】

制御線 2 3 , 2 4 , 2 5 はアルミニウムなどの材料を用い、その寸法は、幅が約 200 nm、厚さを 50 nm 程度とすることができる。

【0034】

磁束転送器 2 2 において、超伝導量子干渉素子部 2 2 b を貫く磁束を、磁束量子 Φ_0 の整数倍の値にすると、第 1 の超伝導量子干渉素子 1 と第 2 の超伝導量子干渉素子 1 5 との間の結合を形成することができる。つまり、第 1 及び第 2 の超伝導量子干渉素子 1 , 1 5 間の結合状態がオン (ON) の状態となる。磁束量子 Φ_0 は下記 (1) 式で表わされる。

$$\Phi_0 = h / (2e) \quad (1)$$

ここで、 h はプランク定数 (6.626×10^{-34} J · s) であり、 e は電子の単位電荷 (1.602×10^{-19} C) である。

40

【0035】

一方、磁束転送器 2 2 において、超伝導量子干渉素子部 2 2 b を貫く磁束を磁束量子 Φ_0 の半奇数倍の値にすると、第 1 の超伝導量子干渉素子 1 と第 2 の超伝導量子干渉素子 1 5 との間の結合を無くすことができる。つまり、第 1 及び第 2 の超伝導量子干渉素子 1 , 1 5 間の結合状態がオフ (OFF) の状態となる。

【0036】

本発明の超伝導量子ビット素子 1 , 1 5 からなる集積回路 2 0 によれば、磁束転送器 2 2 において、制御線 2 5 に流す電流を調整し、超伝導量子干渉素子部 2 2 b を貫く磁束を磁束量子 Φ_0 の半奇数倍から整数倍の間の任意の値にすることにより、第 1 の超伝導量子

50

干渉素子 1 と第 2 の超伝導量子干渉素子 1 5 との間の結合の強さを任意に制御することができる。

【0037】

同様な方式により、3 個以上の超伝導量子ビット素子からなる集積回路をつくることができ、この集積回路内の任意の 2 個の超伝導量子ビット素子間における結合の強さを任意に制御することができる。このような特徴をもつ集積回路を用いることで、任意の量子計算を実行させることができることがわかっているので、原理的には量子計算機を実現することが可能である。

【0038】

本発明の超伝導量子ビット素子 1, 1 5 からなる集積回路 2 0 によれば、超伝導量子ビット素子 1, 1 5 の各量子ビット読出部 3 の 1 個のジョセフソン接合 2 d を、超伝導量子ビット部 2 を構成する 3 個のジョセフソン接合 2 b, 2 c, 2 d のうちの 1 個とで共用にした構成を有している。

これにより、超伝導量子ビット部 2 のジョセフソン接合 2 b, 2 c, 2 d のもつジョセフソンインダクタンスが、量子ビット読出部 3 との間の相互インダクタンスに寄与するため、相互インダクタンス及び得られる磁束信号の大きさを著しく増強することができる。

【0039】

超伝導量子ビット素子 1, 1 5 においては、量子ビットの面積や流れる巡回電流が小さくても十分な信号を得ることができるので、量子ビットの面積や流れる巡回電流を小さくすることにより量子コヒーレンス時間を従来よりも延ばすことができる可能性がある。

【0040】

従来の量子ビットの読出装置では、量子ビットから離れた位置に隣接して DC - SQUID を形成しているので、合計で 5 個のジョセフソン接合が必要であったのに対して、本発明の超伝導量子ビット素子 1 では従来のものよりジョセフソン接合が 1 個減るので、製作も容易となる。

【0041】

上記構成の超伝導量子ビット素子 1 として、図 2 に示すジョセフソン接合 2 c を用いる場合について説明する。

図 2 に示すように、絶縁性基板や熱酸化膜を有する Si (シリコン) 基板 1 0 上に、所定の厚さの超伝導体層 1 1 を、スパッタ法等を用いて堆積し、図 1 に示す超伝導量子ビット部 2 及び量子ビット読出部 3 の細線部 2 a, 3 a の一部を、マスクを用いた選択エッチングにより形成する。

【0042】

次に、超伝導体層 1 1 上に所定の厚さの絶縁膜となるアルミナ酸化膜などの絶縁体材料を、スパッタ法や CVD 法により堆積し、余分な絶縁体を選択エッチングにより除去して、トンネル絶縁膜 1 2 を形成する。

【0043】

最後に、トンネル絶縁膜 1 2 上に所定の厚さの超伝導体層をスパッタ法や CVD 法などにより堆積し、余分な超伝導体層を選択エッチングにより除去して、超伝導体層 1 3 を形成することで、ジョセフソン接合 2 c を製作することができる。同様にして、超伝導量子ビット素子 1 及び集積回路 2 0 を製作することができる。

【0044】

ここで、各材料の堆積には、スパッタ法や CVD 法以外には、蒸着法、レーザアブレーション法、MBE 法などの通常の薄膜成膜法を用いることができる。また、所定の形状の接合や電流端子を形成するためのマスク工程には、光露光や電子ビーム (EB) 露光などを用いることができる。

【実施例】

【0045】

次に、実施例に基づいて本発明をさらに詳細に説明する。

実施例として、図 1 に示す超伝導量子ビット素子 1 を、電子ビーム露光装置などを用い

10

20

30

40

50

て製作した。超伝導量子ビット部 2 の細線部 2 a を一辺が 4 μm の正方形とし、量子ビット読出部 3 の細線部 3 a を一辺が 5 μm の正方形とした。細線部 2 a , 3 a の線幅は約 200 nm、厚さは約 50 nm とした。細線部 2 a , 3 a となる超伝導体の材料としては、アルミニウムを使用した。各ジョセフソン接合 2 b , 2 c , 2 d , 3 b に用いた絶縁膜は酸化アルミニウムであり、その厚さは約 1 nm とした。各ジョセフソン接合 2 b , 2 c , 2 d , 3 b の形状は凡そ 400 nm \times 100 nm の長方形とした。

【0046】

実施例で製作した超伝導量子ビット素子 1 の量子ビット読出部 3 の臨界電流を測定した。

図 4 は、実施例の量子ビット読出部 3 における DC - SQUID の臨界電流を示す図である。図において、縦軸は臨界電流の統計平均値 (nA) を示し、横軸は磁場を加えるための電磁石に流した電流 (mA) であり、外部から印加されている磁場に比例している。

図 4 から明らかなように、実施例において、量子ビット読出部 3 の DC - SQUID により測定された臨界電流は中心付近で曲線が 2 度折れ曲がっているが (図 4 の矢印 A , B 参照)、この部分の変化が量子ビットの磁束信号によるものである。この部分以外の振動波形は、図 5 (非特許文献 1 参照) で示されているものと同じく、DC - SQUID の臨界電流が磁場によって振動するという通常の DC - SQUID の特性を表す。

【0047】

実施例の超伝導量子ビット素子 1 による磁束信号の大きさは、図 5 に示した非特許文献 1 の場合と比較して、約 60 倍であり、非常にバラツキの少ないスムーズな波形が得られることが分かる。

【0048】

本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した発明の範囲内で種々の変形が可能であり、それらも本発明の範囲内に含まれることはいうまでもない。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図 1】本発明の超伝導量子ビット素子の構成を模式的に示す平面図である。

【図 2】図 1 に示すジョセフソン接合の A - A 方向に沿う部分断面図である。

【図 3】本発明の超伝導量子ビット素子からなる集積回路を示す模式的な平面図である。

【図 4】実施例の量子ビット読出部における DC - SQUID の臨界電流を示す図である。

【図 5】非特許文献 1 で報告された DC - SQUID の臨界電流を示す図である。

【符号の説明】

【0050】

- 1 : 超伝導量子ビット素子 (第 1 の超伝導量子ビット素子)
- 2 : 超伝導量子ビット部
- 2 a : 超伝導体からなる細線部
- 2 a a : 細線部 3 a との共通部分
- 2 b , 2 c , 2 d : ジョセフソン接合
- 3 : 量子ビット読出部
- 3 a : 超伝導体からなる細線部
- 3 b : ジョセフソン接合
- 3 c , 3 d : 電流端子
- 10 : 絶縁基板
- 11 , 13 : 超伝導体層
- 12 : 絶縁膜
- 15 : 超伝導量子ビット素子 (第 2 の超伝導量子ビット素子)
- 20 : 超伝導量子ビット素子を用いた集積回路
- 22 : 磁束転送器

10

20

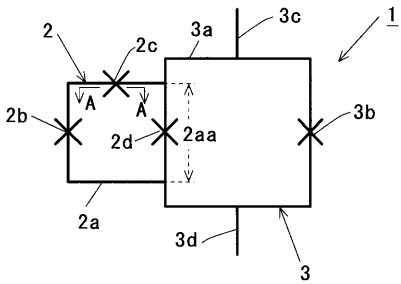
30

40

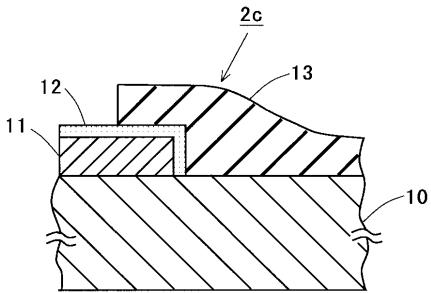
50

- 2 2 a : 磁束転送部
- 2 2 b : 超伝導量子干渉素子部
- 2 2 c , 2 2 d : ジョセフソン接合
- 2 3 , 2 4 , 2 5 : 制御線

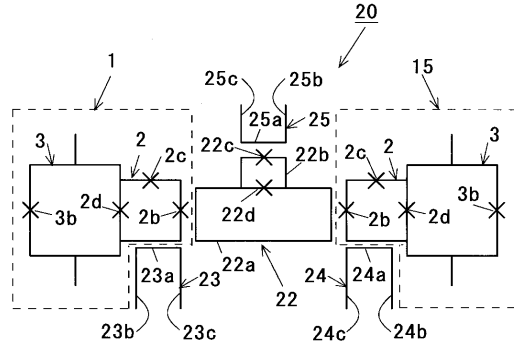
【 図 1 】



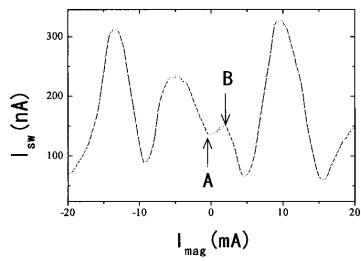
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】

