

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2621623号

(45)発行日 平成9年(1997)6月18日

(24)登録日 平成9年(1997)4月4日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 39/22	Z A A		H 0 1 L 39/22	Z A A D
G 0 1 R 33/035	Z A A		G 0 1 R 33/035	Z A A

請求項の数4(全7頁)

(21)出願番号	特願平2-262019	(73)特許権者	999999999 ダイキン工業株式会社 大阪府大阪市北区中崎西2丁目4番12号 梅田センタービル
(22)出願日	平成2年(1990)9月30日	(72)発明者	上田 智章 滋賀県草津市岡本町字大谷1000番地の2 ダイキン工業株式会社滋賀製作所内
(65)公開番号	特開平4-214684	(72)発明者	木戸 照雄 滋賀県草津市岡本町字大谷1000番地の2 ダイキン工業株式会社滋賀製作所内
(43)公開日	平成4年(1992)8月5日	(74)代理人	弁理士 津川 友士
		審査官	西脇 博志
		(56)参考文献	特開 昭61-182282 (J P , A) 特開 平2-150786 (J P , A) 実開 昭54-54281 (J P , U)

(54)【発明の名称】 スクイド

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】基板(1)上に、軸心が基板(1)と平行になるようにSQUIDループ(2)、モジュレーション・コイル(3)およびインプット・コイル(4)を配置しており、SQUIDループ(1)に対する配線(2a)がSQUIDループ(2)の軸心と平行かつ基板(1)と平行に設けられてあることを特徴とするスクイド。

【請求項2】インプット・コイル(4)の所定位置にタップ(4b)が設けられてある上記特許請求の範囲第1項に記載のスクイド。

【請求項3】基板(1)上に、軸心が基板(1)と平行になるようにSQUIDループ(2)、モジュレーション・コイル(3)およびインプット・コイル(4)を配置しており、インプット・コイル(4)の所定位置にタップ(4b)が設けられてあることを特徴とするスクイド。

2

【請求項4】SQUIDループ(2)、モジュレーション・コイル(3)およびインプット・コイル(4)を包囲する超伝導シールド(5)が基板(1)上に一体的に設けられてある上記特許請求の範囲第1項から第3項の何れかに記載のスクイド。

【発明の詳細な説明】

<産業上の利用分野>

この発明は超伝導ループの所定箇所にジョセフソン接合部(以下、JJと略称する)が形成されているとともに、

10 JJが形成された超伝導ループ(以下、SQUIDループと称する)に効率よく磁束を導くインプット・コイルおよび外部磁束の変動を補償する磁束を超伝導ループに与えるモジュレーション・コイルが配置されてなる基本的構成を有し、かつ全体が基板上に集積化されたSQUID(超伝導量子干渉素子、Superconducting Quantum Inte

reference Device) に関する。

< 従来の技術、および発明が解決しようとする課題 >

従来から非常に高感度の磁束検出を行なうことができるという特質に着目して、種々の分野でSQUIDが応用されている。また、SQUIDには、ジョセフソン接合（以下、JJと略称する）を1つだけ有するrf - SQUIDと、JJを2つ有するdc - SQUIDとがあり、従来はrf - SQUIDが一般的に用いられていたが、最近では半導体製造技術が進歩して特性が揃った2つのJJが得られるようになってきたので、磁束検出感度が高いdc - SQUIDが広く用いられるようになってきた。

第7図はdc - SQUID磁束計の原理を説明する電気回路図であり、超伝導ループ（51）の所定箇所（52）に2つのJJ（52）が形成されているとともに、2つのJJ（52）を挟んで超伝導ループ（51）にバイアス電流を供給している。そして、測定対象の磁束を検出するためのピックアップ・コイルと接続されたインプット・コイル（53）を超伝導ループ（51）に近接させて設けている。尚、（54）は磁束ロック・ループ動作を行なわせるためのモジュレーション・コイルである。

第8図（A）は従来のSQUIDの構成を示す平面図、同図（B）は縦断面図であり、インプット・コイル（53）と超伝導ループ（51）とJJ（52）とが積層形成されている。尚、（55）は配線、（56）は層間絶縁である。

上記の構成のSQUIDであれば、インプット・コイル（53）と超伝導ループ（51）とを接近させることができるので、インプット・コイル（53）から超伝導ループ（51）への磁束伝達効率が高くなるという利点を有することになる。

この構成のSQUIDは、チップの外径寸法を小さくするために最小線幅でインプット・コイルを設計しているとともに、SQUIDループの下にインプット・コイルが積層されている関係上、タップの取り出しが殆ど不可能であり、しかも、伝送効率を最大にするためには、外部環境条件を考慮する必要がある外付けのピックアップ・コイルの設計に応じて渦巻き型のインプット・コイル（53）のインダクタンスLを最適値にする必要があるので、ピックアップ・コイルに合せてターン数が異なるSQUIDを作成するようにしている。この結果、インプット・コイルのターン数に応じたマスク・パターンを準備する必要があるため、設計工数および製造工数が増大する。また、インプット・コイルのターン数に応じてチップの大きさが異なり、各大きさのチップに対応してパッケージを準備しておかなければならず、コスト・アップ、製造効率の低下、信頼性の低下等を招いてしまう。

また、SQUIDは電磁ノイズに弱いのであるから、生体磁場のような微弱磁場の測定を行なう場合には、磁場計測精度を高めるためにニオブ管を用いた超伝導シールドに収容されるのであるが、ニオブ管を用いた超伝導シールドは熱容量が大きいので、液体ヘリウムを用いた冷却

システムにおいては液体ヘリウムの消費量が著しく多くなり、冷凍機を用いた冷却システムにおいてはクール・ダウンに長時間を要することになる。この点を考慮して、SQUIDの構造を眼鏡型とすることにより外部磁場の影響をキャンセルし、超伝導シールドを不要とすることが提案されているが、クール・ダウン時に外部磁場にさらされるため磁束トラップを引き起し易いという不都合がある。

さらに、SQUIDの各層を形成するに当たって層間絶縁が必須であるが、層間絶縁を形成するに当たってSQUIDの特性劣化を防止しなければならない関係上、高温の膜形成プロセスを採用できず、良好な層間絶縁膜を得ることができないのみならず、層数が増加すると良好な平坦化を達成できなくなるので微細加工が困難になり、あえて微細加工を行なおうとすれば断線等が生じる結果、SQUIDを製造する場合の歩留りが低下してしまう。

< 発明の目的 >

この発明は上記の問題点を鑑みてなされたものであり、歩留りを向上させることができる新規な構成のSQUIDを提供することを第1の目的とし、チップ・サイズを変更することなくインダクタンスの変更を簡単に達成できるSQUIDを提供することを第2の目的とし、超伝導状態にするために必要な冷凍能力を小さくできるSQUIDを提供することを第3の目的としている。

< 課題を解決するための手段 >

上記の目的を達成するための、特許請求の範囲第1項に係るSQUIDは、基板上に、軸心が基板と平行になるようにSQUIDループ、モジュレーション・コイルおよびインプット・コイルを配置してあり、SQUIDループに対する配線がSQUIDループの軸心と平行かつ基板と平行に設けられてある。

但し、インプット・コイルの所定位置にタップが設けられてあることが好ましい。

特許請求の範囲第3項に係るSQUIDは、基板上に、軸心が基板と平行になるようにSQUIDループ、モジュレーション・コイルおよびインプット・コイルを配置してあり、インプット・コイルの所定位置にタップが設けられてある。

但し、SQUIDループ、モジュレーション・コイルおよびインプット・コイルを包囲する超伝導シールドが基板上に一体的に設けられてあることが好ましい。

< 作用 >

以上の構成のSQUIDであれば、基板上に、軸心が基板と平行になるようにSQUIDループ、モジュレーション・コイルおよびインプット・コイルを配置してあるので、SQUIDループ、モジュレーション・コイル、インプット・コイルを積層する必要がなく、これらの間の絶縁が、積層する場合の層間絶縁と比較して簡単に形成できるとともに、平坦化処理が不要になるので、SQUIDを製造する場合の歩留りを向上させることができる。また、これ

らの間隔についても、半導体プロセスにおけるパターンニング技術を適用することにより積層構造の場合と同程度の間隔にでき、良好なSQUID特性を達成できる。

さらに、インプット・コイルが必要ターン数だけ基板と平行に形成されているのであるから、基板上に渦巻き上に巻回されたインプットコイルと異なり、必要に応じて予め簡単にタップを形成しておくことができる。

さらにまた、比較的大きい基板上に複数個のSQUIDを所定間隔で製造することができる。

そして、SQUIDループに対する配線がSQUIDループの軸心と平行かつ基板と平行に設けられてある場合には、配線を流れる電流により作られる磁場が基板上に形成されたSQUIDに干渉するという不都合を確実に防止でき、SQUID特性を一層良好にできる。

また、インプット・コイルの所定位置にタップが設けられてある場合には、タップを選択することにより簡単にインプット・コイルのターン数を変更することができ、外付けのピックアップ・コイルのインダクタンスに応じて最適のターン数を選択できるので、ピックアップ・コイルに応じて異なるSQUIDを使用しなければならないという不都合を解消できる。

さらに、SQUIDループ、モジュレーション・コイルおよびインプット・コイルを包囲する超伝導シールドが基板上に一体的に設けられてある場合には、特別にニオブ管を用いた超伝導シールドにSQUIDを収容する必要がなく、クール・ダウンに必要な冷凍能力を小さくできる。そして、基板上に複数個のSQUIDを形成した場合におけるSQUID相互の干渉を確実に排除できる。

<実施例>

以下、実施例を示す添付図面によって詳細に説明する。

第1図はこの発明のSQUIDの一実施例を示す概略斜視図であり、基板(1)上に、基板(1)と直角な面内に位置するSQUIDループ(2)が形成されているとともに、SQUIDループ(2)と平行にモジュレーション・コイル(3)が形成されており、さらに、SQUIDループ(2)およびモジュレーション・コイル(3)と実質的に平行な複数個のループを直列接続してなるインプット・コイル(4)が形成されている。そして、これらSQUIDループ(2)、モジュレーション・コイル(3)およびインプット・コイル(4)同志の間隔は、モジュレーション・コイル(3)、インプット・コイル(4)によりそれぞれ発生される磁束を効率よくSQUIDループ(2)に導き得る値に設定されている。また、SQUIDループ(2)に対する配線(2a)は、SQUIDループ(2)により形成される平面と直角、かつ基板(1)と平行な方向に引き出され、モジュレーション・コイル(3)、インプット・コイル(4)に対する配線(3a)(4a)は、各コイルの軸線と直角、かつ基板(1)と平行な方向に引き出され、配線を流れる電流により発生される磁

場がSQUIDに影響を及ぼさないようにしている。

第2図は第1図の構成のSQUIDの製造工程を説明する図であり、SQUIDループを製造する部分のみに示している。

まず、同図(A)に示すように、Si基板(1)上に電子ビーム蒸着等により20~30nmの膜厚のMgO膜(11)をエッチング・ストップとして形成し、その上に、スパッタリング等により0.2~0.3μmの膜厚のNb膜(12)、30μmの膜厚のAl膜(13)および0.3μmの膜厚のNb膜(14)をこの順に形成する。そして、上側のNb膜(14)の端部所定位置にフォトリソ膜(15)を形成した状態で、まず200mTorrのCF₄ガスを用いて、電力100Wのマイクロ波のよりプラズマを発生させ反応性イオン・エッチング(以下、RIEと略称する)を行なってNb膜(14)の中央部を除去し(同図(B)参照)、電子ビーム蒸着等により上記除去部分に0.5μmの膜厚のSiO膜(16)を形成した後、フォトリソ膜(15)を除去する(同図(C)参照)。その後、残ったNb膜(14)および除去部分に形成されたSiO膜(16)を覆うように1μmの膜厚のPb/In膜(17)を形成し、最後にPb/In膜(17)を覆うように1μmの膜厚のSiO膜(18)を形成する(同図(D)参照)。

以上の工程によりSi基板(1)上に、Nb膜(12)、Al膜(13)、Nb膜(14)およびPb/In膜(17)からなるSQUIDループ(2)を形成できる。尚、SQUIDループ(2)に対する配線(2a)は、例えば、Nb膜(12)およびPb/In膜(17)をSQUIDループ(2)と直角、かつ基板(1)と平行に、モジュレーション・コイル(3)と反対側に延長形成することにより簡単に一体形成できる(第3図参照)。

尚、モジュレーション・コイル(3)およびインプット・コイル(4)については、Nb膜(12)(14)でAl膜(13)を挟み込んだ構成のJが不要であるから、例えば全体をPb/In膜により形成すればよい。

上記構成のSQUIDであれば、SQUIDループ(2)とインプット・コイル(4)とを積層していないのであるから平坦化处理が不要となり、歩留りを向上できる。また、配線(3a)(4a)がそれぞれモジュレーション・コイル(3)、インプット・コイル(4)と直角に形成されているのであるから、これら配線(3a)(4a)を流れる電流により生じる磁場がSQUIDに悪影響を及ぼすという不都合を解消できる。

<実施例2>

第4図はこの発明SQUIDの他の実施例を示す概略斜視図であり、第1図に示すSQUIDと異なる点は、インプット・コイル(4)の所定位置にタップ(4b)が形成されている点のみである。

この実施例におけるインプット・コイル(4)は第1図の実施例と同様に軸心がSi基板(1)と平行になるように形成されているのであるから、基板上に渦巻き状に

インプット・コイルが形成されている従来例と異なり、所望位置に簡単にタップ(4b)を形成することができる。尚、第4図には1つのタップ(4b)しか示していないが、必要に応じて複数個のタップ(4b)を形成しておくことが可能である。

したがって、外部環境等を考慮して設計されるピックアップ・コイルのインダクタンスとマッチングするインダクタンスとなるようにタップ(4b)を選択してピックアップ・コイルとインプット・コイルとの間に伝送効率を最大にできる。この結果、インプット・コイル(4)のターン数が異なる多数種類のSQUIDを予め製造しておく必要がなくなり、チップ・サイズを統一することが可能となる。

<実施例3>

第5図はこの発明SQUIDのさらに他の実施例を示す概略縦断面図であり、第4図に示すSQUIDと異なる点は、SQUIDループ(2)、モジュレーション・コイル(3)およびインプット・コイル(4)を包囲する超伝導シールド(5)を一体的に形成した点のみである。

第6図は第5図の構成のSQUIDの製造工程を説明する図であり、SQUIDループを製造する部分のみを示している。

まず、Si基板(1)上に20~30nmの膜厚のMgO膜(19)を形成した後、0.2~0.3 μ mの膜厚のNb膜(20)および0.5 μ mの膜厚のSiO膜(21)をこの順に形成する(第6図(A)参照)。

その後、同図(B)から同図(E)に示すようにSQUIDループ(2)を形成する。尚、同図(B)から同図(E)の工程は第2図(A)から第2図(D)の工程と同様であるから説明を省略する。

その後は、SiO膜(18)の表面にフォトリソグラフィ膜(23)を形成しておいて、20mTorrのCF₄ガスを用いて、電力100Wのマイクロ波によりプラズマを発生させてRIEを行なってSiO膜(16)(18)を除去し、さらにMgO膜(11)をりん酸水溶液で化学的に除去し、その後、再度SiO膜(21)を前述のRIEにより除去することによりNb膜(20)を露呈させ(同図(F)参照)、フォトリソグラフィ膜(23)を除去した後に、SiO膜除去部分およびSiO膜(18)の表面にPb/In膜(24)を形成する(同図(G)参照)。

この結果、SQUIDループ(2)は、Nb膜(20)およびPb/In膜(24)からなる超伝導シールド(5)により包囲された状態になる。そして、得られた超伝導シールドは膜厚が著しく薄い関係上、熱容量が小さく、短時間でクール・ダウンを達成できるとともに、必要な冷凍能力が小さくてすむ。

さらに、Si基板(1)上に形成されたSQUID毎に超伝導シールドで包囲されているのであるから、単一の基板上に複数個のSQUIDを形成することができ、この場合におけるSQUID相互間の干渉を確実に防止できる。

尚、この発明は上記の実施例に限定されるものではなく、例えば、超伝導材料として酸化物超伝導材料等を用いることが可能であるほか、ボンディング・オプションを採用することによるターン数の設定を行なうことが可能であり、その他、この発明の要旨を変更しない範囲内において種々の設計変更を施すことが可能である。

<発明の効果>

第1の発明は、SQUIDループとモジュレーション・コイルとインプット・コイルとを積層することなく基板上に並べているので、平坦化処理を不要にでき、SQUID製造に当たっての歩留りを向上させることができるとともに、配線を通る電流により生じる磁場がSQUIDに影響を及ぼすという不都合を確実に解消できるという特有の効果奏する。

第2の発明は、第1の発明の効果に加え、インプット・コイルのターン数を簡単に変更することができ、SQUIDの汎用性を高めることができるとともに、チップ・サイズ、パッケージを統一することができるという特有の効果奏する。

第3の発明は、SQUIDループとモジュレーション・コイルとインプット・コイルとを積層することなく基板上に並べているので、平坦化処理を不要にでき、SQUID製造に当たっての歩留りを向上させることができるとともに、インプット・コイルのターン数を簡単に変更することができ、SQUIDの汎用性を高めることができるとともに、チップ・サイズ、パッケージを統一できるという特有の効果奏する。

第4の発明は、第1の発明からは第3の発明の何れかの効果に加え、超伝導シールドの熱容量を著しく小さくでき、クール・ダウンの所要時間を短縮できるとともに冷凍能力を小さくでき、さらにSQUID相互の干渉を防止できるので、同一チップ上に複数のSQUIDを製造することができるという特有の効果奏する。

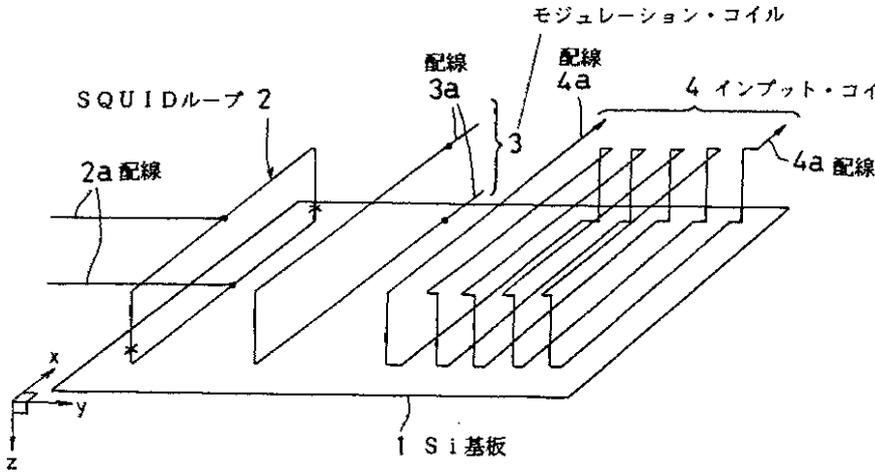
【図面の簡単な説明】

第1図はこの発明のSQUIDの一実施例を示す概略斜視図、
第2図は第1図の構成のSQUIDの製造工程を説明する図、
第3図はSQUIDループに対する配線を示す平面図、
第4図はこの発明のSQUIDの他の実施例を示す概略斜視図、
第5図はこの発明のSQUIDのさらに他の実施例を示す概略縦断面図、
第6図は第5図の構成のSQUIDの製造工程を説明する図、
第7図はdc-SQUID磁束計の原理を説明する電気回路図、
第8図(A)は従来のSQUIDの構成を示す平面図、同図(B)は縦断面図。

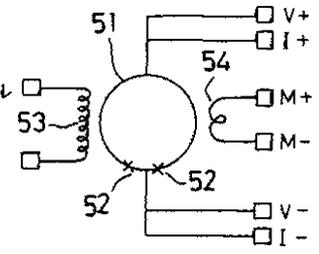
(1).....Si基板、(2).....SQUIDループ、(2a)(3

a) (4a)配線、(3)モジュレーション・コイル、(5)超伝導シールド
イル、(4)インプット・コイル、(4b)タツ*

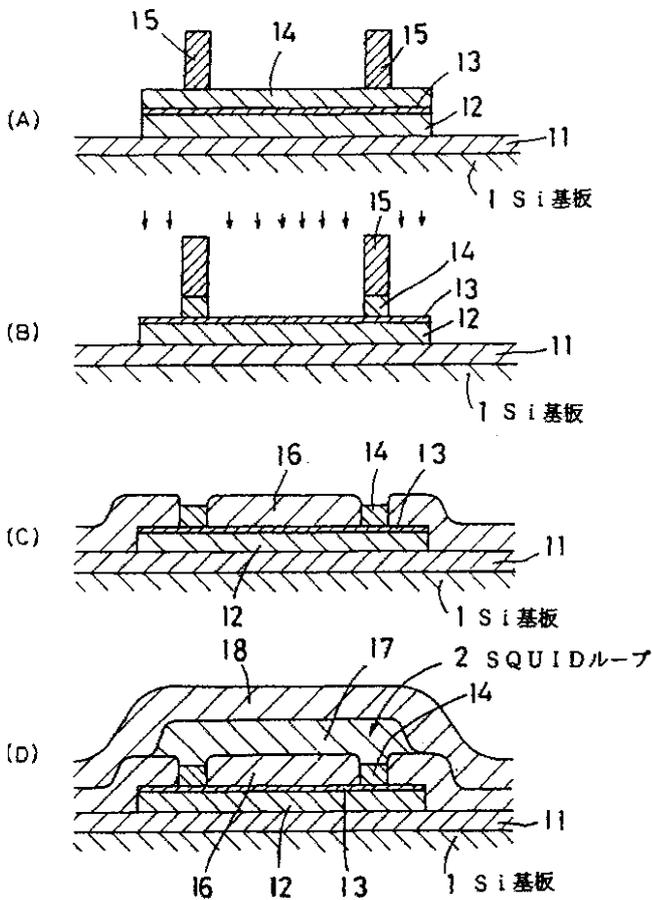
【第1図】



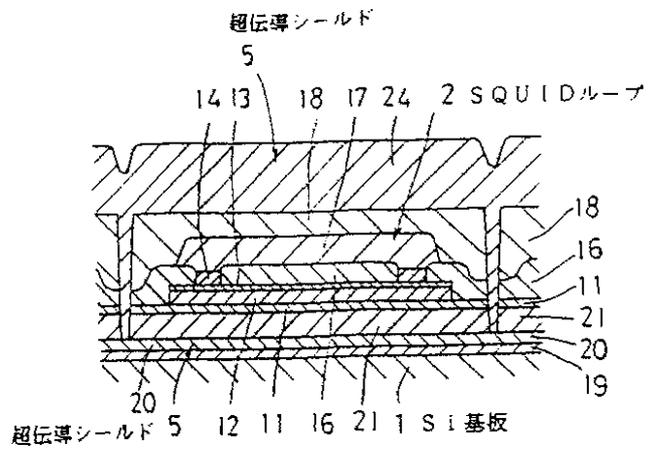
【第7図】



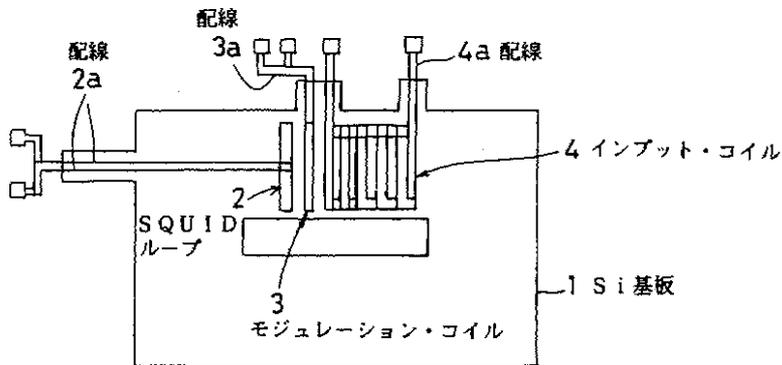
【第2図】



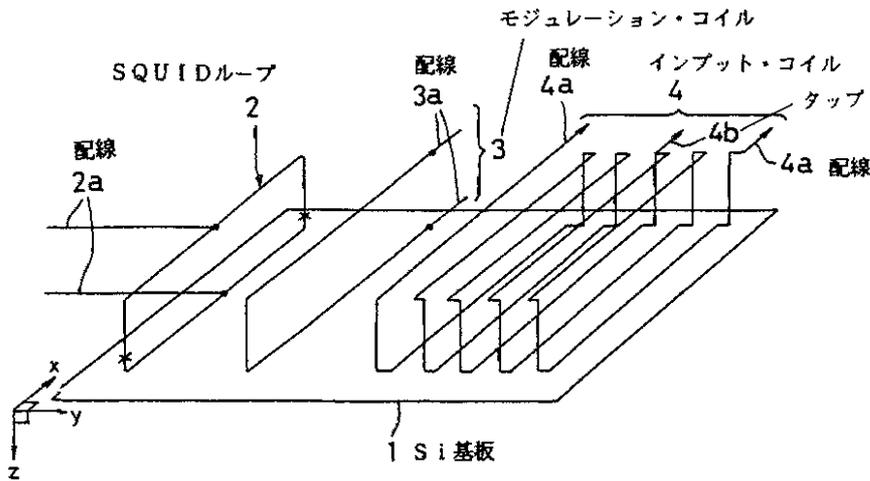
【第5図】



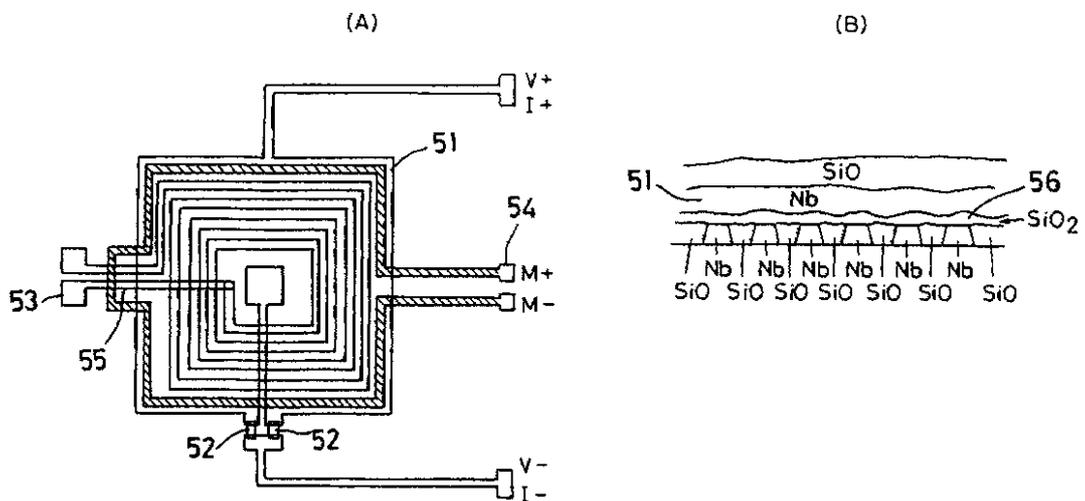
【第3図】



【第4図】



【第8図】



【第 6 図】

