(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2003 年1 月30 日 (30.01.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/009403 A1

(51) 国際特許分類[7]: H01L 43/00, G01R 33/02, G11B 5/33

(21) 国際出願番号: PCT/JP02/07188

(22) 国際出願日: 2002 年7 月15 日 (15.07.2002)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2001-220391 2001 年7 月19 日 (19.07.2001) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒571-8501 大阪府 門真市大字門真１００６番地 Osaka (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 黒江 章郎 (KUROE,Akio) [JP/JP]; 〒576-0013 大阪府 交野市南星台４−１０−２ Osaka (JP). 村松 小百合 (MURAMATSU,Sayuri) [JP/JP]; 〒573-0057 大阪府 枚方市堤町 ３−７−４０４ Osaka (JP). 村田 明夫 (MURATA,Akio) [JP/JP]; 〒631-0806 奈良県 奈良市 朱雀５−１−１ 朱雀第２住宅４７−１０３ Nara (JP). 高橋 健 (TAKAHASHI,Ken) [JP/JP]; 〒535-0001 大阪府 大阪市旭区 太子橋３−７−２１ Osaka (JP). 戸崎 善博 (TOSAKI,Yoshihiro) [JP/JP]; 〒567-0834 大阪府 茨木市学園南町 ２０−２−４ Osaka (JP).

(74) 代理人: 東島 隆治 (HIGASHIMA,Takaharu); 〒530-0001 大阪府 大阪市 北区梅田３丁目２−１４大弘ビル 東島特許事務所 Osaka (JP).

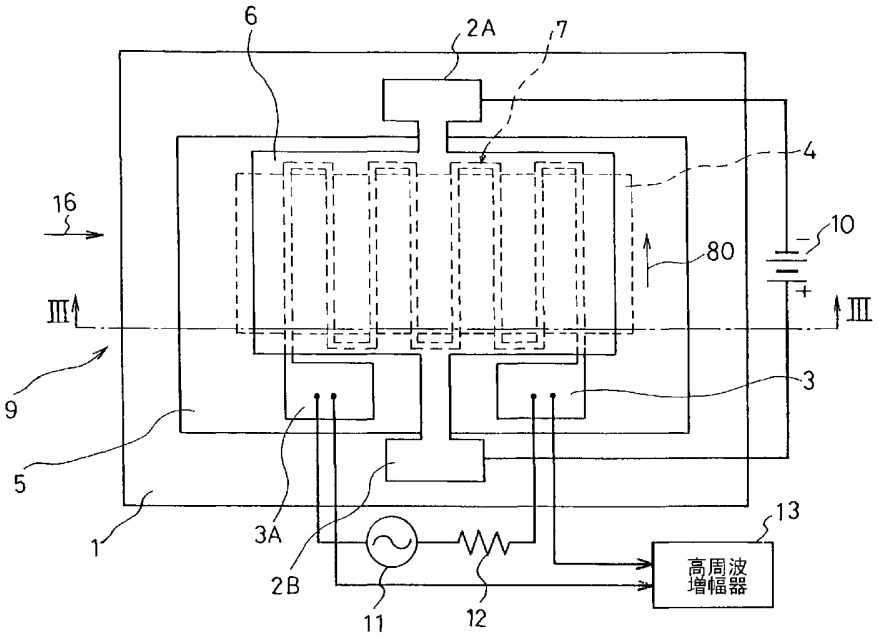
(81) 指定国 (国内): CN, JP, KR, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (DE, FR, GB).

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC SENSOR AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME

(54) 発明の名称: 磁気センサ及びその製造方法



13...HIGH FREQUENCY AMPLIFIER

(57) Abstract: A magnetic impedance type magnetic sensor having a soft magnetic film facing a conductive nonmagnetic film in which a large impedance variation can be attained with a carrier signal of relatively low frequency. The magnetic sensor comprises a zigzag meandering conductive nonmagnetic thin film on

[続葉有]

WO 03/009403 A1

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

which at least a pair of electrode terminals are formed at the opposite ends thereof, and a soft magnetic stripe film facing the meandering conductive nonmagnetic thin film at a plurality of regions and having an axis of easy magnetization in the widthwise direction of the stripe wherein a high frequency carrier signal and a DC bias magnetic field are applied to the electrode terminals. An external magnetic field can be detected by AM detecting an AM modulation signal outputted from the electrode terminals and detecting impedance variation of the conductive nonmagnetic thin film caused by the external magnetic field as a variation of the high frequency carrier signal.

(57) 要約:

導電性非磁性膜に対向する軟磁性膜を有し、比較的低い周波数のキャリア信号で大きなインピーダンス変化が得られる磁気インピーダンス型磁気センサを得るために、両端に少なくとも一対の電極端子を形成したジグザグ形状のメアンダ型導電性非磁性薄膜と複数の領域で対向する帯状でかつ帯状の幅方向に磁化容易軸を有する軟磁性膜とを有し、前記電極端子に高周波キャリア信号を印加するとともに、直流バイアス磁界を印加する。前記電極端子から出力されるＡＭ変調信号をＡＭ検波することにより外部磁界によって変化する導電性非磁性膜のインピーダンス変化を高周波キャリア信号の変化として検出し、外部磁界を検出することができる。

明細書

磁気センサ及びその製造方法

技術分野

本発明は、磁気による導体のインピーダンス変化により外部磁界を検出する高感度磁気センサに関するものである。

背景技術

磁気あるいは磁界を高い感度で検出する磁気センサとして、磁気インピーダンス効果を利用する磁気インピーダンス素子が知られている。磁気インピーダンス素子では、軟磁性体の磁極に近接して設けられた導体に高周波の定電流を流す。この磁気インピーダンス素子を磁界中に置くと、磁界によって導体のインピーダンスが変化する。導体のインピーダンスのこの変化による高周波電圧の変化に基づいて磁気を検出する。

図４２の（ａ）は電子情報学会技報ＭＲ９５－８０に報告されている従来の磁気インピーダンス素子の斜視図である。図において、導電性金属薄膜からなる検出導体膜１０１が軟磁性コア１０５及び１０６によって挟まれている。軟磁性コア１０５及び１０６はそれぞれ、図４２の（ｂ）の断面図に示すように、パーマロイ膜１０３とSiO_2膜１０４の積層体である。ＵＨＦ帯の高周波発

信器１０７から抵抗１０８を経て検出導体膜１０１にＵＨＦキャリア信号の定電流の高周波電流１０９を流す。検出導体膜１０１の両端にそれぞれつながる導線の端子１１０及び１１１間において、矢印１１６で示す外部磁界によるインピーダンスの変化に基づく電圧変化を検出する。端子１１０及び１１１の間には、高周波電流１０９と、検出導体膜１０１の端子１１０及び１１１間のインピーダンスとの積に相当するキャリア信号電圧が発生する。外部磁界１１６が存在する場合には、軟磁性コア１０５、１０６の矢印１０２で示す方向に配向されている磁化容易軸の配向方向が外部磁界１１６によって、配向方向からずれる。その結果検出導体膜１０１のインピーダンスは外部磁界１１６が存在しない場合よりも減少する。このインピーダンスの減少はキャリア信号の外部磁界１１６による振幅変調信号として検出される。この振幅変調信号をＡＭ検波することによって、外部磁界１１６を検出することができる。上記の磁気インピーダンス効果を利用する磁気センサでは、現在開発が進められているジャイアント磁気抵抗素子の約１０倍の検出出力が得られる可能性がある。

図４３は、図４２の（ａ）に示す磁気インピーダンス素子の動作を示す特性曲線であり、磁界強度ＤＣとキャリア信号レベルの関係を示している。キャリア信号の周波数を１．０ＧＨｚとし、磁気インピーダンス素子をヘルムホルツコイルの中央部において直流（ＤＣ）磁界を

加え、磁界強度とキャリア信号レベルを測定している。高い感度で歪みの少ない検出出力を得るためには、図43に示すように、直線112で示す磁界強度の直流バイアス磁界を与える必要がある。

磁気インピーダンス素子のインピーダンスはキャリア信号の周波数と透磁率の積に比例する。従って周波数が上記のように高い場合には十分なインピーダンス変化が得られる。しかし、磁気センサの用途では比較的低い周波数のキャリア信号を用いる必要がある場合がある。例えば地磁気などの低いレベルの外部磁界を検出する場合には、1GHzよりはるかに低い10MHz～20MHzのキャリア信号を使用する必要がある。そこでこのような比較的低い周波数のキャリア信号で十分なインピーダンス変化が得られる磁気インピーダンス素子が求められている。

発明の開示

本発明は、比較的低い周波数のキャリア信号で高いインピーダンス変化が得られる磁気インピーダンス素子を実現して高感度の磁気センサを得ることを目的とする。

本発明の磁気センサは、膜面に沿う所定の方向に磁化容易軸を有する軟磁性膜、前記軟磁性膜から電気絶縁物で隔てられてその上にジグザグに設けられ、前記軟磁性膜の磁化容易軸に並行する部分の長さが、前記磁化容易軸に直交する部分の長さより長くなされた帯状の導電性

非磁性膜を有する。磁気センサはさらに、前記導電性非磁性膜に高周波電流を流すための高周波電源、及び前記高周波電流が流れる前記導電性非磁性膜の外部磁界によるインピーダンス変化に基づき前記外部磁界を検出する検出回路を有する。

この磁気センサは以下の作用及び効果を有する。外部磁界による磁束が、磁化容易軸に垂直な方向（磁化困難軸）で軟磁性膜を通ると、軟磁性膜の導電性非磁性膜に対向する部分の透磁率が減少する。その結果、磁気インピーダンス効果により導電性非磁性膜のインピーダンスが変化する。前記インピーダンスの変化は、外部磁界の強さに対応しているので、インピーダンスの変化に基づいて外部磁界の強さを検出することができる。ジグザグの導電性非磁性膜の、軟磁性膜の磁化容易軸に並行する部分の長さが、直交する部分の長さより長くなされている。これにより、軟磁性膜の透磁率の高い磁化困難軸の方向と、導電性非磁性膜を流れる高周波電流によって生じる磁束の方向とか並行する領域が多い。そのため比較的低い周波数の高周波キャリア信号を用いた場合でも、導電性非磁性膜のインピーダンス値を大きく設定でき、インピーダンス変化が大きく、高い感度で外部磁界を検出できる効果を有する。

本発明の他の観点の磁気センサは、帯状の膜の長手方向に対して垂直でかつ膜面に沿う方向に磁化容易軸を有する帯状の軟磁性膜、前記軟磁性膜の上に電気絶縁物を

間に介してジグザグに設けられ、前記軟磁性膜の面内でその膜の磁化容易軸に並行する部分の長さが前記磁化容易軸に直交する部分の長さより長くなされた帯状の導電性非磁性膜を有する。磁気センサはさらに、前記導電性軟磁性膜に高周波電流を流すための高周波電源、及び前記高周波電流が流れる前記導電性非磁性膜の外部磁界によるインピーダンス変化に基づき前記外部磁界を検出する検出回路を有する。

他の観点の磁気センサによると、軟磁性膜を帯状にすることにより、前記の作用効果に加えて、外部磁界が加えられたとき、軟磁性膜に生じる反磁界を減少させることができる。その結果比較的低い周波数の高周波キャリア信号を用いる場合でも導電性非磁性膜のインピーダンス値とインピーダンス変化が大きく、高い検出感度を有する磁気センサが得られる。

本発明のさらに他の観点の磁気センサは、非磁性基板の主面に形成した、膜面に沿う所定方向に磁化容易軸を有する軟磁性膜、前記軟磁性膜の上に電気絶縁膜を間に介してジグザグに形成され、前記軟磁性膜の面内でその膜の磁化容易軸に並行する部分の長さが、前記磁化容易軸に直交する部分の長さより長くなされた帯状の導電性非磁性膜を有する。磁気センサはさらに、前記導電性非磁性膜の上に絶縁性保護膜を間に介して形成した、直流電流を流して前記軟磁性膜に直流バイアス磁界を与えるための導電性膜を有する。磁気センサはさらに、前記導

電性非磁性膜に高周波電流を流すための高周波電源及び前記高周波電流が流れる前記導電性非磁性膜の外部磁界によるインピーダンス変化に基づき前記外部磁界を検出する検出回路を有する。

上記さらに他の観点の磁気センサによると、前記の各作用効果に加えて、軟磁性膜、導電性非磁性膜及び軟磁性膜に直流バイアス磁界を与えるための導電性膜が非磁性基板によって保持される。導電性膜に直流バイアス磁界を与えるための直流電流を流すことによって、磁気センサは外部磁界を高感度に検出できる効果を有する。

本発明のさらに他の観点の磁気センサは、非磁性基板の主面に形成した、帯状の膜の長手方向に対して垂直でかつ膜面に沿う方向に磁化容易軸を有する帯状の第１の軟磁性膜、前記軟磁性膜の上に第１の絶縁膜を介してジグザグに形成され、前記軟磁性膜の面内でその膜の磁化容易軸に並行する部分の長さが、前記磁化容易軸に直交する部分の長さより長くなされた帯状の導電性非磁性膜を有する。磁気センサはさらに、前記導電性非磁性膜の上に第２の絶縁膜を間に介して形成した、帯状の長手方向に対して垂直かつ膜面に沿う方向に磁化容易軸を有する第２の軟磁性膜、前記第２の軟磁性膜の上に絶縁性保護膜を介して形成した、直流電流を流して前記軟磁性膜に直流バイアス磁界を与えるための導電性膜を有する。磁気センサはさらに、前記導電性非磁性膜に高周波電流を流すための高周波電源、及び前記高周波電流が流れる

前記導電性非磁性膜の外部磁界によるインピーダンス変化に基づき前記外部磁界を検出する検出回路を有する。

上記のさらに他の観点の磁気センサによると、前記の各作用効果に加えて以下の作用効果を有する。帯状の導電性非磁性膜が、第１及び第２の軟磁性膜に挟まれているので、軟磁性膜の総厚が実質的に倍増する。このためこの磁気センサに外部磁界が加えられたときの反磁界は増加するが、導電性非磁性膜のインピーダンスの絶対値は倍増する。検出回路の検出出力レベルはインピーダンスの値に比例するので、検出出力のレベルは高くなり検出出力のＳＮ比が高くなる。

本発明の他の観点の磁気センサは、軟磁性膜によって形成された閉磁路を有する少なくとも１つの軟磁性膜、前記軟磁性膜の閉磁路を貫通して設けられた、直流電流を流すための導電性膜、及び前記軟磁性膜の閉磁路を貫通して、前記導電性膜との間に絶縁を保ちつつ設けられた、高周波電流を流すための導電性非磁性膜、を有することを特徴とする。

本発明によれば、直流電流を流す導電性膜が軟磁性膜の閉磁路を貫通しているので、少ない直流電流で大きな直流バイアス磁界を得ることができる。

本発明の磁気センサの製造方法は、非磁性基板の上面に下部軟磁性膜となる帯状の少なくとも１つの第１の軟磁性膜を形成するステップ、前記第１の軟磁性膜の上に第１の絶縁膜を介して第１の導電性膜及び、導電性の第

１の接続部及び第２の接続部を形成するステップ、前記第１の導電性膜の上に、第２の絶縁膜を介して導電性非磁性膜を形成するステップ、前記導電性非磁性膜の上に第３の絶縁膜を形成するステップ、前記第１の導電性膜及び導電性非磁性膜を含む近傍の前記第１、第２及び第３の絶縁膜を残し、前記第１の軟磁性膜の上の前記第１、第２及び第３の絶縁膜を除去するステップ、前記第１の軟磁性膜及び前記残された第１、第２、第３の絶縁膜の上に第２の軟磁性膜を設け、閉磁路を形成するステップ、前記第２の軟磁性膜を含む全面に第４の絶縁膜を形成するステップ、前記第１及び第２の接続部上の第２、第３及び第４の絶縁膜を除去してスルーホールを形成し、前記第１及び第２の接続部を露出させるステップ、両端部が前記第１及び第２の接続部にそれぞれ電気的に接続される電気導体の接続線を、前記第４の絶縁膜９４の上に形成し、隣接する他の閉磁路を通る第１の導電性膜との接続を行うステップを有する。

図面の簡単な説明

図１は本発明の第１実施例の磁気センサの平面図である。

図２は図１の磁気センサの導電性膜６を除いた状態を示す平面図である。

図３の（ａ）は図１のＩＩＩ－ＩＩＩ断面図である。

図３の（ｂ）は図３の（ａ）の右端部の拡大断面図で

ある。

図４は本発明の第１実施例の磁気センサの外部磁化Ｈｅｘとインピーダンスｚの関係を示すグラフである。

図５は本発明の第１実施例の磁気センサの軟磁性膜の形状を示す平面図である。

図６は本発明の第１実施例の磁気センサの、比Ｌ／Ｗをパラメータとした外部磁化Ｈｅｘと磁束密度Ｂとの関係を示すグラフである。

図７は本発明の第１実施例の磁気センサの、軟磁性膜の厚さｔをパラメータとした外部磁化と磁束密度Ｂとの関係を示すグラフである。

図８は本発明の第２実施例の磁気センサの平面図である。

図９は図８の磁気センサの導電性膜６を除いた状態を示す平面図である。

図１０は本発明の第２実施例の他の例の磁気センサの平面図である。

図１１の（ａ）は図１０のXI－XI断面図である。

図１１の（ｂ）は図１１の（ａ）の右端部の拡大断面図である。

図１２は本発明の第２実施例の磁気センサの外部磁化Ｈｅｘとインピーダンスｚとの関係を示すグラフである。

図１３は本発明の第３実施例の磁気センサの平面図である。

図１４の（ａ）は図１３のXIV－XIV断面図である。

図１４の（ｂ）は図１４の（ａ）の右端部の拡大断面図である。

図１５の（ａ）は本発明の第３実施例の磁気センサの断面図である。

図１５の（ｂ）は図１５の（ａ）の右端部の拡大断面図である。

図１６の（ａ）は本発明の第４実施例の磁気センサの断面図である。

図１６の（ｂ）は図１６の（ａ）の右端部の拡大断面図である。

図１７は本発明の第５実施例の磁気センサの平面図である。

図１８は図１７の磁気センサの導体膜６を除いた状態を示す平面図である。

図１９の（ａ）は図１８のXIX－XIX断面図である。

図１９の（ｂ）は図１９の（ａ）の右端部の拡大断面図である。

図２０の（ａ）は本発明の第５実施例の磁気センサの断面図である。

図２０の（ｂ）は図２０の（ａ）の右端部の拡大断面図である。

図２１は本発明の第６実施例の磁気センサの平面図である。

図２２の（ａ）は図２１のXXII－XXII断面図である。

図２２の（ｂ）は図２２の（ａ）の右端部の拡大断面

図である。

図２３の（ａ）は本発明の第６実施例の他の例の磁気センサの断面図である。

図２３の（ｂ）は図２３の（ａ）の右端部の拡大断面図である。

図２４は本発明の第７実施例の磁気センサの平面図である。

図２５の（ａ）は本発明の第７実施例の磁気センサの断面図である。

図２５の（ｂ）は図２５の（ａ）の右端部の拡大断面図である。

図２６は本発明の第８実施例の磁気センサの平面図である。

図２７は本発明の第８実施例の磁気センサの軟磁性膜の平面図である。

図２８は前記第２から第７実施例の軟磁性膜の問題点を説明するための平面図である。

図２９は図２８の軟磁性膜の外部磁界と磁束密度との関係を示すグラフである。

図３０は図２８の軟磁性膜の外部磁界とインピーダンスとの関係を示すグラフである。

図３１は本実施例の軟磁性膜の磁束を示す平面図である。

図３２は本実施例の軟磁性膜の、寸法Ｓを変えたときの磁束密度の変化を示すグラフである。

図３３は本発明の第９実施例の磁気センサの斜投影図である。

図３４は本発明の第９実施例の磁気センサの平面図である。

図３５の（ａ）から（ｄ）は本発明の第９実施例の磁気センサの製造工程を示す、軟磁性膜の長手方向のXXXV－XXXV断面図である。

図３６の（ａ）から（ｄ）は本発明の第９実施例の磁気センサの製造工程を示す、軟磁性膜の長手方向に垂直な方向のXXXVI－XXXVI断面図である。

図３７は本発明の第１０実施例の磁気センサの部分斜投影図である。

図３８は本発明の第１０実施例の磁気センサの平面図である。

図３９の（ａ）から（ｄ）は本発明の第１０実施例の磁気センサの製造工程を示す、軟磁性膜の長手方向のXXXIX－XXXIX断面図である。

図４０の（ａ）から（ｄ）は本発明の第１０実施例の磁気センサの製造工程を示す、軟磁性膜の長手方向に垂直な方向のXXXX－XXXX断面図である。

図４１の（ａ）及び（ｂ）は軟磁性膜と、直流バイアス磁界を生じる導電性非磁性膜との位置関係による直流バイアス磁界の強さを説明するための断面図である。

図４２の（ａ）は従来の磁気インピーダンス効果を利用した磁気検出素子の斜視図である。

図４２の（ｂ）は従来の磁気検出素子の軟磁性コア１０５、１０６の部分拡大図である。

図４３は従来の磁気検出素子の特性を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の磁気センサの好適な実施例を図１から図４１を参照して説明する。

第１実施例

本発明の第１実施例の磁気センサ９について、図１から図７を参照して説明する。

図１は本発明の第１実施例の磁気センサ９の平面図である。図２は、内部の構成を分かり易くするするため、図１の直流バイアス磁界印加用の銅（Ｃｕ）の導電性膜６を取り除いた場合の平面図を示す。図が煩雑になるのを避けて理解を容易にするために、図１及び図２を含むすべての平面図において表面に存在する凹凸の図示を省略している。図３の（ａ）は図１のIII－III断面図であり、図３の（ｂ）は図３の（ａ）の部分拡大断面図である。断面図において、図が煩雑になるのを避けるため断面を示すハッチングは施していない。

図１、図２及び図３の（ａ）及び図３の（ｂ）において、非磁性基板１の上の中央領域に厚さ１μｍのＦｅ－Ｔａ－Ｎの軟磁性膜４を形成する。非磁性基板１は、例

えば、ニッケルの酸化物のＮｉＯ、チタンの酸化物のＴｉO_2、マグネシウムの酸化物のＭｇＯを含むセラミック（以下、Ｎｉ－Ｔｉ－Ｍｇと記す）が適している。軟磁性膜４は、膜面に沿う矢印８０の方向に磁化容易軸を有するように形成されている。軟磁性膜４の上に厚さ０．１μｍのＳｉO_2の絶縁膜５を形成する。絶縁膜５の上に、図２に示すように両端に電極端子３及び３Ａを有する厚さ１μｍのＣｕのメアンダ形（ｍｅａｎｄｅｒ：ジグザグ状の）導電性非磁性膜７を形成する。メアンダ型の導電性非磁性膜７の、矢印８０の方向に平行な部分である導電性非磁性膜７Ａ、７Ｂの長さは、矢印８０の方向に垂直な部分である導電性非磁性膜７Ｃ、７Ｄの長さより長くなされている。図２において、導電性非磁性膜７Ｃ及び７Ｄが軟磁性膜４の外部へはみ出すように、導電性非磁性膜７Ａ、７Ｂの長さは、軟磁性膜４の矢印８０の方向での長さより長くなされている。図３の（ａ）においては、電流が紙面の手前側から向う側へ向かって流れるときの導電性非磁性膜を７Ａとし、その逆方向に流れる導電性非磁性膜を７Ｂと表示している。

次に導電性非磁性膜７を含む絶縁膜５の上に厚さ１．０μｍのＳｉO_2の保護膜８を図３の（ａ）に示すように形成する。保護膜８の上に、図１に示すように両端部にそれぞれ電極２Ａ及び２Ｂを有する、導電性膜６を形成する。導電性膜６の大きさは軟磁性膜４の大きさとほぼ同じである。導電性膜６の電極２Ａ及び２Ｂ、及び電

極２Ａ、２Ｂと導電性膜６との接続部には、大きな電流容量を有するように、厚さ約４μｍの金（Ａｕ）等の安定な金属の膜を形成している。なお、前記の電極３及び３Ａに関しても同様に厚くしてもよい。

導電性膜６の電極２Ａ及び２Ｂに直流電源１０の負極及び正極をそれぞれ接続し、導電性膜６に直流電流を流す。導電性非磁性膜７の電極端子３及び３Ａには抵抗１２を経て周波数１０ＭＨｚ～２０ＭＨｚの高周波発振器を有する定電流高周波電源１１を接続し、定電流の高周波電流を流す。さらに電極端子３及び３ＡにＡＭ検波器を有する高周波増幅器１３の両入力端をそれぞれ接続する。図３の（ａ）及び図３の（ｂ）に示す様に、導電性膜６を直流電流が紙面に垂直に手前から奥に向かって流れる。図の左右方向において、導電性膜６の幅と軟磁性膜４の幅とをほぼ同じにしているので、導電性膜６の周りに点線の矢印１４で示す直流磁界が発生する。この直流磁界１４により、磁束が、図３の（ｂ）に拡大して示したように、軟磁性膜４を右端から左端に通り、軟磁性膜４に直流バイアス磁界（H_{bias}）として作用する。

高周波電源１１から供給される定電流の高周波キャリア電流はミアンダ形の導電性非磁性膜７を流れる。図３の（ｂ）は、導電性非磁性体膜７の断面７Ａを紙面に垂直に手前から奥に向かって電流が流れ、導電性非磁性膜７の断面７Ｂにはその反対の方向に電流が流れている瞬間を示す。この電流は前述の１０ＭＨｚ～２０ＭＨｚの

高周波の交流電流であるため、それぞれ矢印１５に示す様に時計方向及び反時計方向に交流の半波ごとに交互に反転する交流磁界を発生する。この交流磁界と矢印１４で示す直流バイアス磁界により、導電性非磁性膜７の高周波電流に対するインピーダンスが決まる。

図１及び図２に示す様に、矢印１６で示す方向の測定対象である外部磁界Ｈｅｘ（以下、外部磁界Ｈｅｘ１６とする）が磁気センサ９の軟磁性膜４の長手方向に加えられる。この外部磁界Ｈｅｘ１６の大きさに応じて、直流バイアス磁界が与えられている軟磁性膜４の透磁率が変化する。その結果導電性非磁性膜７のインピーダンスが変化する。これにより、電極端子３及び３Ａ間に高周波電流とインピーダンスの積である高周波電圧が生じる。この高周波電圧は、高周波キャリア信号が外部磁界Ｈｅｘ１６の大きさに応じて振幅変調（ＡＭ）された信号である。この振幅変調信号を高周波増幅器１３によりＡＭ検波し増幅して外部磁界Ｈｅｘ１６の検出信号が得られる。導電性非磁性膜７Ａ及び７Ｂを流れる高周波電流によって発生する磁界は、一部は相互に他方の領域にも広がるものの、その大部分は図３の（ｂ）に矢印１５で示すように、それぞれの下部領域の軟磁性膜４に局所的に集中する。そのため、軟磁性膜４と、導電性非磁性膜７Ａ及び７Ｂとが対向する領域において直流バイアス磁界に重畳する高周波磁界が生じる。軟磁性膜４と導電性非磁性膜７との対向領域は複数個所（図２では８箇所）あ

るので、対向領域の数（ｎ）の増加とともに対向領域相互間の相互インダクタンスによるインピーダンスが増加する。このインピーダンスは、図２において隣接する導電性非磁性膜７Ｂと７Ｅ間の間隔Ｔや膜幅Ｄを変えることで調整することができる。

図２において、軟磁性膜４と導電性非磁性膜７との１つの対向領域７０において導電性非磁性膜７に生じるインピーダンスをＺ０とすれば、図３の（ｂ）のように対向領域の数（ｎ）が２の場合には、図４に示すように、直流バイアス磁界がH_{bias}のときインピーダンス値は２×Ｚ０となる。図５は長さＬ、幅Ｗの矩形状のＦｅ－Ｔａ－Ｎの軟磁性膜４を測定すべき外部磁界Ｈｅｘ１６中に置いた状態を示す平面図である。図５の軟磁性膜４に生じる反磁界を調べたところ、軟磁性膜４の形状によって、反磁界の大きさが大幅に異なることが分かった。図６は図５に示す軟磁性膜４の寸法比Ｌ／Ｗを変えて、軟磁性膜４の中心線（ｃ）－（ｄ）における磁束密度Ｂ（縦軸）と外部磁界Ｈｅｘ１６（横軸）との関係を測定した結果のグラフである。軟磁性膜４は、幅Ｗ方向に磁化容易軸を有する厚さｔが１μｍのＦｅ－Ｔａ－Ｎの膜を用いた。外部磁界Ｈｅｘ１６の方向と軟磁性膜４の磁化容易軸に垂直な磁化困難軸との方向が一致すると磁化の回転がスムーズに行われ高い透磁率が得られる。そのため図６に示すように、寸法比Ｌ／Ｗの値が大きくなるほど、弱い外部磁界Ｈｅｘ１６においても磁束密度Ｂが

高くなる。これは電磁気学でよく知られている、軟磁性膜４の形状によって生じる反磁界の影響と考えられる。図７は、寸法比Ｌ／Ｗを１とし、パラメータである軟磁性膜４の厚さｔを変えて軟磁性膜４の中心線（ｃ）－（ｄ）における磁束密度Ｂと測定対象の外部磁界Ｈｅｘとの関係を測定したグラフである。外部磁界Ｈｅｘとして強度が０．３Ｏｅ（ＳＩ単位系では２４Ａ／ｍ）程度以下の地磁気を測定する場合には、反磁界への影響を考慮して軟磁性膜４の厚みを１μｍ以下、寸法比Ｌ／Ｗを５以上にするのが望ましい。反磁界の強さは軟磁膜４の厚さが薄く、寸法比Ｌ／Ｗが大きいほど小さくなる。

図７に示すように、軟磁性膜４が薄いほど、弱い外部磁界Ｈｅｘにおいても高い磁束密度Ｂが得られる。図７から、寸法比Ｌ／Ｗの値を１にした場合には、軟磁性膜４の厚さは０．２μｍ以下が好ましい。しかし軟磁性膜４の厚さｔがあまり薄いと高周波での導電性非磁性膜７のインピーダンスが小さくなる。そこで、発明者等が種々の実験を行った結果、前記寸法比Ｌ／Ｗを１０以上とし、軟磁性膜４の厚さｔを３μｍ以下にする。このようにすると０．３Ｏｅ（２４Ａ／ｍ）程度の地磁気を感度よく検出できることが分かった。これにより１０ＭＨｚ～２０ＭＨｚ程度の比較的低い周波数の高周波キャリア信号を用いる磁気インピーダンス素子で、軟磁性膜４の膜厚を３μｍ以下にすることにより高い検出感度を有する磁気センサを得ることができる。低い周波数のキャリ

ア信号を用いうるので、センサへの配線の長さや形状変化による誤差も減少する。

第２実施例

本発明の第２実施例の磁気センサを、図８から図１２を参照して説明する。

磁気インピーダンス効果を利用する磁気センサに印加する高周波キャリア信号の周波数が比較的低い１０ＭＨｚ～２０ＭＨｚの場合、前記図１の磁気センサ９の導電性非磁性膜７のインピーダンスは、主として前記の周波数と導電性非磁性膜７のインダクタンスとの積で決まる。そこで本実施例では、前記第１実施例の軟磁性膜４の反磁界を減らして導電性非磁性膜７のインダクタンスが大きくなるようにし、地磁気などの弱い磁界に対してもインピーダンスが大きく変化するようにする。

図８は第２実施例の磁気センサの平面図である。図において、Ｎｉ－Ｔｉ－Ｍｇの非磁性基板１の上に、第１実施例で説明した反磁界を小さくするため、寸法比Ｌ／Ｗを１０以上の大きな値にした細い帯状のＦｅ－Ｔａ－Ｎの軟磁性膜４４を複数個形成する。複数の帯状の軟磁性膜４４を並行配置したものが、第１実施例の軟磁性膜４に相当する。軟磁性膜４４はその膜面に沿う幅方向（矢印８０）に磁化容易軸を有する。図９に示すように、軟磁性膜４４の上に絶縁膜５を介して軟磁性膜４４に直交するメアンダ形の導電性非磁性膜７を形成する。図９

において、軟磁性膜４４は絶縁膜５の下にあり、導電性非磁性膜７は絶縁膜５の上にある。図８に示すように、導電性非磁性膜７及び絶縁膜５の上に図１と同じ材質及び形状の導電性膜６を形成して磁気センサ９Ａを構成する。図９は導電性非磁性膜７の構成を分かり易くするため、図８の導電性膜６を取り除いた状態の平面図を示す。図８のＩＩＩ－ＩＩＩ断面図は、実質的に図３の（ａ）と同じである。

本実施例の磁気センサ９Ａでは、軟磁性膜４４に生じる反磁界が図１の軟磁性膜４に比べて著しく減少する。また各軟磁性膜４４と導電性非磁性膜７との対向部７０Ａの数が、軟磁性膜４４の数を増すことにより増加する。その結果として図１の構成に比べてインピーダンス値が大きくなるとともに大きなインピーダンス変化が得られる特徴がある。

図１０は第２実施例の他の例の構成の磁気センサ９Ｂの平面図である。この構成では図１１の（ａ）、及び図１１の（ａ）の一部分を拡大した断面図の図１１の（ｂ）に示すように、Ｎｉ－Ｔｉ－Ｍｇの非磁性基板１の上にまず直流バイアス磁界印加用の導電性膜６を形成する。導電性膜６の上にSiO_2膜２１を介して軟磁性膜４４を形成する。軟磁性膜４４とSiO_2膜２１の上に絶縁膜５を形成する。絶縁膜５の上にメアンダ型の導電性非磁性膜７を形成する。導電性非磁性膜７を含む絶縁膜５の上に保護膜として厚さ約１μｍのSiO_2の絶

縁膜８を形成する。図１１の（ａ）の構成では、導電性膜６の形成が製造上容易であるとともに、非磁性基板１の平坦な面に導電性膜６を形成するため、導電性膜６の表面も平坦となり、平坦な面の上に形成する絶縁膜２１を相当薄くしても十分絶縁が保たれる。これにより、導電性膜６と軟磁性膜４４との距離が小さくなり、導電性膜６によって発生する点線の矢印１４で示す強いバイアス磁界が軟磁性膜４４に与えられる。その結果導電性膜６に流す直流電流を、図１の構成のものより減らすことができる。すなわち直流バイアス電源１０の消費電力を減らすことができる特徴がある。

図１２は軟磁性膜４４の幅Ｗ１（図１０）をパラメータとした、導電性非磁性膜７のインピーダンスＺと外部磁界Ｈｅｘとの関係を示すグラフである。曲線Ｃ１、Ｃ２、Ｃ３はそれぞれ幅Ｗ１が１０μｍ、１００μｍ、４００μｍのときのグラフである。インピーダンスＺは測定すべき外部磁界Ｈｅｘが零の場合のインピーダンス値でそれぞれ規格化して示している。軟磁性体膜４４の厚さは３μｍ、長さＬは１ｍｍである。この磁気センサ９Ｂを外部磁界中において測定した。その結果、図１２に示す様に軟磁性膜４４の幅Ｗ１が小さいほど弱い被測定外部磁界Ｈｅｘにおいてもインピーダンス変化が大きいことが分かった。磁界の強さが弱い地磁気の測定には、曲線Ｃ１及びＣ２のもの（幅Ｗ１が１０μｍ又は１００μｍ）が適している。曲線Ｃ３のものは感度が悪く地磁

気の検出には不適当であった。以上の結果より軟磁性膜４４の幅Ｗ１は１００μｍ以下が適しており、寸法比Ｌ／Ｗ１は１０以上がよいことが判明した。メアンダ型導電性非磁性膜７の膜厚及び膜幅は、それぞれ、１．０μｍ及び１０μｍとした。第２実施例の磁気センサの具体例として、導電性非磁性膜７の長さＫ及び幅Ｔはそれぞれ１ｍｍ及び１００μｍとし、軟磁性膜４４の幅Ｗ１は４０μｍ、長さＬは１ｍｍにするのが望ましい。

本実施例では、寸法比Ｌ／Ｗ１を１０以上とした、膜厚３μｍ以下の複数の軟磁性膜４４をメアンダ型導電性非磁性膜７と対向させる。これによって、１０ＭＨｚ～２０ＭＨｚの比較的低いキャリア周波数を用いる場合でも、導電性非磁性膜７の外部磁界によるインピーダンス変化を大幅に増加させることができる。このように低い周波数のキャリア信号を用いうるので、センサへの配線の長さや形状変化による誤差も減少できる。

第３実施例

本発明の第３実施例の磁気センサ９Ｃについて図１３から図１５を参照して説明する。

図１３は本発明の第３実施例の磁気センサ９Ｃの平面図であり、図１４の（ａ）及び（ｂ）は図１３のＸＩＶ－ＸＩＶ断面図である。図１４の（ａ）及び部分拡大断面図の図１４の（ｂ）において、Ｎｉ－Ｔｉ－Ｍｇの非磁性基板１の上にコバルト（Ｃｏ）と白金（Ｐｔ）を含む膜

（以下、Ｃｏ－Ｐｔ膜という）１８を形成する。膜１８に図の左右方向でそれぞれＮ及びＳ極が形成されるように着磁する。これによりＣｏ－Ｐｔ膜１８は永久磁石膜１８となる。永久磁石膜１８の上に、永久磁石膜１８とほぼ同じ領域に、前記第２実施例のものと同様の帯状の軟磁性膜４４を形成する。次に軟磁性膜４４と永久磁石膜１８を覆うように、絶縁膜５を形成する。絶縁膜５の上にメアンダ型の導電性非磁性膜７を形成する。導電性非磁性膜７の上に保護用膜として厚さ約１μｍのＳｉＯ$_2$の絶縁膜８を形成して磁気センサ９Ｃを構成する。

本実施例の磁気センサ９Ｃでは、図１４の（ｂ）に示すように、永久磁石膜１８による点線の矢印２２で示す磁束が軟磁性膜４４を通り、軟磁性膜４４に直流バイアス磁界を与える。従って本実施例では直流バイアス磁界を発生するための直流電源を必要としない。導電性非磁性膜７に高周波電流を流すと、図１４の（ｂ）に点線の矢印１５で示す交流磁界が生じる。

図１５の（ａ）及び部分拡大図の図１５の（ｂ）は本実施例の他の例の磁気センサを示す断面図である。図において、Ｎｉ－Ｔｉ－Ｍｇ非磁性基板１の上に帯状の軟磁性膜４４を形成する。次に軟磁性膜４４を含む非磁性基板１の上に絶縁膜５を形成する。絶縁膜５の上にメアンダ型の導電性非磁性膜７を形成するとともに、導電性非磁性膜７の上にＣｏ－Ｐｔ膜１９を形成する。Ｃｏ－Ｐｔ膜１９を軟磁性膜４４の長手方向（図１５の（ｂ）

の左右方向）に着磁して、図１５の（ｂ）の部分拡大断面図に示すように、Ｃｏ－Ｐｔ膜１９の幅方向、すなわち軟磁性膜４４の長手方向にＮ、Ｓの磁極を有する永久磁石膜１９にする。永久磁石膜１９からの磁束２０によって導電性非磁性膜７に対向する軟磁性膜４４に直流バイアス磁界が印加される。一般に、軟磁性体に直流磁界を印加すると透磁率が減少する。本実施例では、軟磁性膜４４には、永久磁石膜１９との対向部にのみ直流バイアス磁界が印加され他の大部分には印加されない。従って軟磁性膜４４において透磁率の低下する部分が限定され、軟磁性膜４４全体の透磁率の低下が避けられる。すなわち、軟磁性膜４４の大部分が元の透磁率を保つ。そのため外部磁界Ｈｅｘ１６により軟磁性膜４４を通過する磁束の密度があまり低下せず、外部磁界による磁束が導電性非磁性膜７のインピーダンス変化に与える作用を最大限に利用することができる。これにより高い感度を有する磁気センサが得られる。

第４実施例

本発明の第４実施例の磁気センサ９Ｄについて図１６を参照して説明する。

図１６の（ａ）及び図１６の（ｂ）は本発明の第４実施例の磁気センサ９Ｄの断面図である。磁気センサ９Ｄの平面図は図８と類似である。図１６は、図８のＩＩＩ－ＩＩＩ断面と同じ断面を示す断面図である。本実施例の磁気

センサ９Ｄでは、図１４の（ａ）に示す磁気センサ９Ｃの保護膜８の上に導電性膜６を形成しており、その他の構成は磁気センサ９Ｃと同じである。磁気センサ９Ｃでは、永久磁石膜１８の磁界で直流バイアス磁界を与えるが、軟磁性膜４４の磁気特性のばらつきや、永久磁石膜１８の磁力のばらつき等によって最適な直流バイアス磁界を与えることはむずかしい。図１６の（ａ）の磁気センサ９Ｄでは導電性膜６に微少な直流電流を流すことによって点線の矢印１４で示す弱い直流バイアス磁界を発生させる。この直流電流による直流バイアス磁界を、図１６の（ｂ）に点線の矢印２２で示す永久磁石膜１８による主たる直流バイアス磁界に重畳させることによって、永久磁石膜１８による直流バイアス磁界の強さを微調整することができる。導電性膜６の電流を加減することによって、直流バイアス磁界を増減できるので、最適な直流バイアス磁界を容易に形成することができる。したがって高い感度を有する磁気センサが得られる。

第５実施例

本発明の第５実施例の磁気センサ９Ｅを図１７から図２０を参照して説明する。図１７は本実施例の磁気センサの平面図であり、図１８は図１７の導電性膜６を取り除いて軟磁性膜４４と導電性非磁性膜７の構成を分かり易くした平面図である。図１９の（ａ）は図１７のＸＩＸ－ＸＩＸ断面図であり、図１９の（ｂ）は図１９の（ａ）の一

部分の拡大断面図である。図１８及び図１９の（ａ）において、Ｎｉ－Ｔｉ－Ｍｇ非磁性基板１の中央領域に複数の帯状の第１の軟磁性膜４４を形成し、その上を覆うように絶縁膜５を形成している。絶縁膜５の上にメアンダ型の導電性非磁性膜７を形成し、導電性非磁性膜７を含む絶縁膜５の全面にSiO_2の絶縁膜２４を形成する。次に絶縁膜２４の上に、軟磁性膜４４と同じ形状でかつ同じ材質の第２の軟磁性膜２３を、各軟磁性膜４４の真上に位置するように形成する。さらに軟磁性膜２３を含む絶縁膜２４の全面に保護膜８を形成し、保護膜８の上に導電性膜６を形成している。

本実施例の構成では、導電性非磁性膜７が２つの軟磁性膜２３と４４によって挟まれているので、軟磁性膜の総厚が実質的に２倍になる。この構成によって、導電性非磁性膜７を流れる高周波電流による磁束は、図１９の（ｂ）に矢印１５で示すように、軟磁性膜２３及び４４を含む閉ループを通るので磁束密度が高くなる。

磁気インピーダンス素子では、軟磁性膜の厚さに比例して磁気インピーダンスの絶対値が増加する。また軟磁性膜の厚さが増加すると、外部磁界による反磁界も増加するため磁気センサとしての感度は低くなる。しかしインピーダンスが大きいと、インピーダンスと高周波キャリア電流との積である検出出力レベルは大きくなり、検出出力のＳＮ比が高くなる。本実施例の磁気センサはたとえ検出感度が低くても、高い検出出力が得られる方が

望ましい用途に適している。

本実施例の磁気センサでできるだけ反磁界を小さくし、感度を高くするためには、軟磁性膜２３及び４４の膜厚をそれぞれ１．５μｍ以下とし、総厚を３μｍ以下にするのが望ましい。

図１９の（ａ）において、導電性膜６に直流電流を流すと、矢印１４で示す直流バイアス磁界の磁束が生じる。直流バイアス磁界の磁束は、図１９の（ｂ）に示すように、軟磁性膜２３、４４をそれぞれ点線の矢印２５、２６で示すように通り、直流バイアス磁界を与える。

図２０の（ａ）及び図２０の（ｂ）は、本実施例の他の例の磁気センサをホトリソグラフィ法を用いて製作した場合の構造を示す断面図である。ホトリソグラフィ法を用いることにより、図１９の（ｂ）における絶縁膜５及び２４を、図２０の（ｂ）の絶縁膜５Ａ及び２４Ａのように、導電性非磁性膜７の周囲のみに形成することが可能となる。この構造により隣り合う導電性非磁性膜７の間では２つの軟磁性膜２３と４４が接触する。これにより、導電性非磁性膜７の周りに生じる点線の矢印１５で示す高周波磁界の磁束が、導電性非磁性膜７の近傍に集まり、隣り合う導電性非磁性膜７のそれぞれの磁界が互いに影響を与え合う相互作用が減少する。この相互作用の減少によりインピーダンス値が大きくなる。またメアンダ型導電性非磁性膜７の間隔Ｔを減らすことができるためインピーダンス値をさらに大きくすることが可能

となる。そのため、外部磁界Ｈｅｘ１６が与えられたときの導電性非磁性膜７のインピーダンス変化はさらに増大し、磁気センサの検出感度が高くなる。

第６実施例

本発明の第６実施例の磁気センサ９Ｆについて図２１から図２３を参照して説明する。

図２１は本発明の第６実施例の磁気センサ９Ｆの平面図であり、図２２の（ａ）は図２１のXXII－XXII断面図である。図２１では最上層の保護膜８を取り除いた状態を示している。図２２の（ｂ）は図２２の（ａ）の部分拡大断面図である。図２１及び図２２の（ａ）において、Ｎｉ－Ｔｉ－Ｍｇ非磁性基板１の上に帯状の複数の第１の軟磁性膜４４を形成する。軟磁性膜４４を含む非磁性基板１の上に、軟磁性膜４４の図において左右方向の幅Ｗ３より少ない幅Ｗ４のＣｏ－Ｐｔ膜１８を形成する。Ｃｏ－Ｐｔ膜１８の上に絶縁膜５Ａを介してメアンダ型の導電性非磁性膜７を形成する。メアンダ型導電性非磁性膜７の周囲に絶縁膜２４Ａを形成した後、導電性非磁性膜７の周囲の絶縁膜２４Ａ及び前記Ｃｏ－Ｐｔ膜１８を含む面に、軟磁性膜４４と同じ形状で同じ材質の他の第２の軟磁性膜２３を、軟磁性膜４４の真上に位置するように形成する。

さらに軟磁性膜２３を含む全面に保護膜８を形成する。Ｃｏ－Ｐｔ膜１８に図の左右方向にＮ及びＳ極が形成さ

れるように着磁して、Ｃｏ－Ｐｔ膜１８を永久磁石にする。Ｃｏ－Ｐｔ膜１８の幅Ｗ４を軟磁性膜２３、４４の幅Ｗ３より少なくしたことにより、軟磁性膜２３と４４は両端部で接触する。これによりＣｏ－Ｐｔ膜１８の永久磁石による磁束が点線の矢印２２で示すように軟磁性膜２３及び４４を通り、両軟磁性膜２３及び４４に直流バイアス磁界が印加される。

図２３の（ａ）は、本実施例の他の構成例を示す図２２と同じ断面を示す断面図であり、図２３の（ｂ）は図２３の（ａ）の部分拡大断面図である。

図２３の（ａ）及び図２３の（ｂ）に示す構成では、導電性非磁性膜７の幅Ｗ５より若干広い幅Ｗ６のＣｏ－Ｐｔ膜１９を絶縁膜５Ａを介して導電性非磁性膜７に対向させている。このような形状のＣｏ－Ｐｔ膜１９はホトリソグラフィ法を用いて形成することができる。Ｃｏ－Ｐｔ膜１９は図の左右方向にＮ及びＳ極が形成されるように着磁されて永久磁石となる。図２３の（ｂ）に示すように、永久磁石のＣｏ－Ｐｔ膜１９による磁束が点線の矢印２０で示すように軟磁性膜２３、４４を通り、両軟磁性膜２３、４４の導電性非磁性膜７の近傍の部分に局部的な直流バイアス磁界を与える。軟磁性膜２３、４４全体に直流バイアス磁界を与えると、軟磁性膜２３、４４全体の透磁率が低下する傾向がある。図２３に示す構成では、直流バイアス磁界が導電性非磁性膜７の近傍の軟磁性膜２３、４４のみに与えられるので軟磁性膜２

３、４４の透磁率の低下が局部に限定され全体的な低下を避けることができる。その結果、外部磁界による導電性非磁性膜７のインピーダンス変化が大きくなり、高い検出感度が得られる。

Ｃｏ－Ｐｔ膜１９による磁界は軟磁性膜２３、４４による閉ループ磁気回路内にとどまり、磁束の外部への漏れが少なくなる。そのためこの磁気センサを組み込む機器内の他の部品等に与える磁気的影響を最少にとどめることができる。

本実施例では、永久磁石のＣｏ－Ｐｔ膜１８又は１９により直流磁気バイアスを与えるので、前記の第１、第２、第５実施例のように導電性膜６に直流電流を流して直流バイアス磁界を与えるための直流電源が不要である。この点から本実施例の磁気センサは消費電力が少ない。

第７実施例

本発明の第７実施例の磁気センサ９Ｇについて図２４及び図２５を参照して説明する。

図２４は本発明の第７実施例の磁気センサ９Ｇの平面図である。図２５の（ａ）は図２４のXXV－XXV断面図であり、図２５の（ｂ）は図２５の（ａ）の部分拡大断面図である。図２５の（ｂ）において、Ｎｉ－Ｔｉ－Ｍｇ非磁性基板１の上に導電性膜６を形成し、導電性膜６の上に前記第６実施例の図２３の（ｂ）に示す各要素と同様の、磁性膜４４及び２３、導電性非磁性膜７、Ｃｏ－

Ｐｔ膜１９及び保護膜８を形成する。本実施例の磁気センサ９Ｇでは、主たる直流バイアス磁界は永久磁石のＣｏ－Ｐｔ膜１９によって与えられる。Ｃｏ－Ｐｔ膜１９による直流バイアス磁界の強さが最適値でない場合には、導電性膜６に直流電流を流して直流バイアス磁界を微調整する。導電性膜６に流す直流電流は微少な電流であるので消費電力は比較的少ない。

導電性膜６に流す直流電流の方向は、Ｃｏ－Ｐｔ膜１９の永久磁石による直流バイアス磁界の強さが最適値より大きいときは、永久磁石による磁界を打消すようにする。また逆に永久磁石による直流バイアス磁界の強さが最適値より小さいときは前記導電性膜６の直流電流の方向を逆にしてその直流バイアス磁界が、永久磁石の磁界に加えられるようにする。このようにして導電性膜６の直流電流の方向及び電流値を選定することにより最適な直流バイアス磁界を生成することができる。導電性膜６は非磁性基板１の平坦な面に形成されるので、導電性膜６の面も平坦となる。従って以後の工程で導電性膜６の上に形成される各要素の平坦性について特に問題になることはない。したがって容易に高感度で安定な測定ができる磁気センサが得られる。

第８実施例

本発明の第８実施例の磁気センサ９Ｈについて図２６から図３２を参照して説明する。

図２６は本発明の第８実施例の磁気センサ９Ｈの平面図であり、図２７は、図２６の軟磁性膜２９のみを示す平面図である。軟磁性膜２９は、並行する細長い多数のスリット３２を有する。平板状の軟磁性膜２９に複数のスリット３２を設けることにより、隣り合う２つのスリット３２で挟まれた帯状の軟磁性膜５３及び上下端の帯状軟磁性膜５４が形成される。帯状軟磁性膜５３及び５４は前記第２から第７実施例の軟磁性膜２３又は４４に相当する。軟磁性膜２９の磁化容易軸は、スリット３２の長手方向に垂直でかつ膜面に沿う矢印８０で示す方向に配向されている。

前記第２から第７実施例の磁気センサに設けられている軟磁性膜２３及び４４の問題点について以下に説明する。

例えば、図２４に示すような多数の帯状の軟磁性膜４４、２３を外部磁界中に置くと、外部磁界の磁束は、矢印４４Ａで示す軟磁性膜４４の外側のもの（以下、軟磁性膜４４Ａという）に集中し、軟磁性膜４４Ａの磁束密度が内側の軟磁性膜４４の磁束密度より高くなることを発明者等は見出した。

図２８は磁束の集中を説明するために、５つの帯状の軟磁性膜３３から３７を並行配置した例を示す。図において、軟磁性膜３３から３７を外部磁界Ｈｅｘ１６中に置くと、軟磁性膜３３から３７の外部磁界Ｈｅｘ１６の方向に垂直な幅Ｇの範囲の磁束３１は、直進して軟磁性

膜３３から３７の左端から進入し、右端から外へ出る。外部磁界Ｈｅｘ１６の、幅Ｇの外側の磁束２８及び３０は、透磁率の高い軟磁性膜３３及び３７に引き寄せられて軟磁性膜３３及び３７の左端から進入し、右端から外へ出る。そのため外部磁界Ｈｅｘ１６による軟磁性膜３３及び３７の磁束密度は、軟磁性膜３４から３６の磁束密度より大きくなる。

図２９は、外部磁界Ｈｅｘ１６と、軟磁性膜３３から３７を通る磁束の密度Ｂとの関係を示すグラフである。磁束密度は各軟磁性膜３３～３７の一点鎖線Ｃで示す中央部での測定値である。図において、曲線４５は軟磁性膜３３及び３７の磁束密度を示している。曲線４７は軟磁性膜３４から３６の磁束密度を示している。曲線４６は軟磁性膜３３から３７の平均の磁束密度を示している。外部磁界Ｈｅｘが零から増加するときの磁束密度の変化において、曲線４５は曲線４７より急峻に立ち上がる。これにより、図２８に示すように、軟磁性膜３３及び３７に磁束２８及び３０が進入していることが裏付けられる。図３０は、図２９の曲線４５、４６、４７で示す磁束密度特性を有する軟磁性膜のインピーダンスの特性を示すグラフである。図３０において、曲線４８は、図２８における外側の軟磁性膜３３及び３７を通る磁束による、導電性非磁性膜７のインピーダンスＺの変化を示す。曲線４９は内側の軟磁性膜３４から３６を通る磁束による、導電性非磁性膜７のインピーダンスＺの変化を示す。

曲線５０は、軟磁性膜３３から３７の磁束密度を平均化した磁束による、導電性非磁性膜７のインピーダンスＺの変化を示す。図３０からわかるように、磁気センサの主要な要素である軟磁性膜において、図２９に示すように、外側の軟磁性膜３３及び３７の磁束密度が高くても、内側の多数の軟磁性膜３４から３６の磁束密度が低ければ磁気センサの特性の向上にはつながらない。磁気センサの特性の向上には、図２９の、平均の磁束密度を示す曲線４６が急峻であるのが望ましい。そのためには、図２８に示すすべての軟磁性膜３３から３７の磁束密度を均一にする必要がある。

図３１は、図２８に示す軟磁性膜３３から３７の左右の端部を軟磁性膜５１Ａで連結した軟磁性膜２９Ａの平面図である。両端部に軟磁性膜５１Ａを設けることにより、幅Ｇの範囲外の磁束２８及び３０は、軟磁性膜５１Ａを経て各軟磁性膜３３～３７に進入する。その結果、各軟磁性膜３３～３７の磁束密度が比較的均一になることを発明者等は見つけた。

本実施例の磁気センサに設けられる図２７に示す軟磁性膜２９について、帯状軟磁性膜５３及び５４を通る、外部磁界Ｈｅｘによる磁束の密度を測定した。軟磁性膜２９の左右方向の長さＬＡは１ｍｍである。スリット３２の幅Ｗ８は１０μｍ、帯状軟磁性膜５３及び５４の幅Ｗ９は４０μｍである。軟磁性膜２９の左右の端と、スリット３２の端との間の距離Ｓを２５μｍ、５０μｍ、

１００μｍ及び２００μｍとした場合について、帯状軟磁性膜５３と５４のそれぞれを通る磁束の密度を、一点鎖線Ｃで示す中央部で測定した結果を図３２に示す。図３２において、縦軸は磁束密度Ｂである。横軸は帯状軟磁性膜５３及び５４の下から上に向かう順序でつけた番号である。数値「１」は最下段の帯状軟磁性膜５４を示す。数値「２」は下から２番目の帯状軟磁性膜５３を示す。数値「１０」は最上段の帯状軟磁性膜５４を示す。以下数値「１」から「１０」の帯状軟磁性膜を、それぞれ１番から１０番の帯状軟磁性膜と呼ぶ。

図３２において、曲線６１は、Ｓが零のとき、すなわち、端部の軟磁性膜５１を設けないときの磁束密度分布を示す。曲線６１によると、１番及び１０番の帯状軟磁性膜５４の磁束密度が４．０と極端に大きく、３番から８番の帯状軟磁性膜５３の磁束密度は約１．０と低い。曲線６２は、Ｓが２５μｍのときの磁束密度分布を示す。この場合は、１番、１０番の帯状軟磁性膜５４の磁束密度は２．５に下がり、３番から８番の帯状軟磁性膜５３の磁束密度は１．４程度に上昇している。曲線６４はＳが１００μｍのときの前記と同様の測定結果であり、１番と１０番の帯状軟磁性膜５４の磁束密度が更に下がり、代わりに３番から８願の帯状軟磁性膜５５の磁束密度がさらに上昇している。上記の測定結果から、Ｓを１００から２００μｍにすると、軟磁性膜５３、５４の磁束密度の分布をかなり均一にすることができることが判った。

本実施例によれば、帯状軟磁性膜５３及び５４を通る外部磁界Ｈｅｘの磁束の密度をほぼ均一にすることができる。その結果として、外部磁界Ｈｅｘに対する導電性非磁性膜７のインピーダンス変化が大きくなり磁気検出の感度が向上する。図２７に示す構造の軟磁性膜２９を、前記の第２から第７の実施例における軟磁性膜２３及び４４の代わりに適用すると、各実施例における磁気センサの感度を更に向上させることが可能である。

前記各実施例において、非磁性基板１の材料としてはＮｉ－Ｔｉ－Ｍｇ系のセラミックが好ましいが、ＮｉＺｎなどの非磁性フエライト系材料、ガラスその他の各種セラミック等非磁性材料を用いてもよい。

軟磁性膜４、４４、２９の材料としてはＦｅＴａＮが好ましいが、ＮｉＦｅ、ＦｅＣｏ、ＦｅＮ等の合金を用いてもよい。軟磁性膜は、アモルファス合金（Ｃｏを主成分とした合金、例えばＣｏＮｂＺｒ、ＣｏＴａＺｒ、ＣｏＳｉＢ、Ｆｅを主成分とした合金ＦｅＳｉＢ等）またはナノ結晶合金（Ｆｅを主成分としたＦｅＴａＮ等）及びＮｉＦｅ系の合金のような高透磁率を有する軟磁性材料が望ましい。絶縁膜５の材料としてはSiO_2が好ましいが、アルミナ、ガラス等の無機材料やポリイミド樹脂等の有機絶縁膜を用いてもよい。第２実施例における絶縁膜２１として、SiO_2の代わりにＮｉＺｎフエライト磁性膜を用いてもよい。永久磁石の材料としてはＣｏ－Ｐｔの膜が適しているが、フエライト系、Ｎｂ系、

Ｃｏ系などの永久磁石材料を用いることができる。導電性非磁性膜の材料として銅が適しているが、Ａｕ、Ａｇ、Ｃｒなどの導電性金属も使用できる。直流バイアス磁界を与えるための永久磁石は、前記の各実施例に挙げた位置に限定されるものではなく、軟磁性膜に直流磁界を与えることができる位置であればどこでもよい。保護層８の材料としてSiO_2が適しているが、アルミナやその他の無機材料又はセラミック等でよい。保護層の厚さは１μｍとしたが直流磁気バイアスを与える直流電源の消費電力を減らすためには厚さ０．１μｍ程度まで薄くするのが望ましい。

第９実施例

本発明の第９実施例の磁気センサ９Ｉを図３３及び図３４を参照して説明する。図３３は第９実施例の磁気センサ９Ｉの斜投影図であり、図３４はその平面図である。図３３、図３４に示すように、好ましくはＮｉ－Ｔｉ－Ｍｇの非磁性基板１の面に帯状の好ましくはＦｅ－Ｔａ－Ｎの膜の第１の軟磁性膜７３が形成されている。図３３では、２つの軟磁性膜７３が所定の離隔距離を保って平行に設けられているが、軟磁性膜７３の数は２つに限定されるものではなく任意の数にしてもよい。

軟磁性膜７３の上の一部分にSiO_2による絶縁層７５が設けられている。図３３では絶縁層７５は１つの軟磁性膜７３に２つ設けられているが、絶縁層７５の数は２

つに限定されるものではなく任意の数にしてもよい。図において手前側の絶縁層７５を貫通して、上下方向で互に離隔する導電性膜７６Ａと導電性非磁性膜７７Ａが設けられている。導電性非磁性膜７６Ａと７７Ａは好ましくは銅（Ｃｕ）である。また奥側の絶縁層７５を貫通して、互に離隔する導電性膜７６Ｂ及び導電性非磁性膜７７Ｂが設けられている。絶縁層７５の上及び絶縁層７５を有しない軟磁性膜７３の上には、好ましくはＦｅ－Ｔａ－Ｎの膜の第２の軟磁性膜７４が設けられている。軟磁性膜７３と７４により閉磁路Ｍが形成されている。軟磁性膜７３及び７４が磁気異方性を有する場合は、それぞれの磁化容易軸が、軟磁性膜７３、７４の長手方向に垂直でかつ膜面に沿う方向にあるのが望ましい。導電性非磁性膜７７Ａ、７７Ｂの図において左端は接続導体７８により互に連結されている。導電性非磁性膜７７Ａの右端は接続導体７９Ａを経て端子８１Ａに接続されている。導電性非磁性膜７７Ｂの右端は接続導体７９Ｂを経て端子８１Ｂに接続されている。この構成により、メアンダ型の導電性非磁性膜７７Ａ、７７Ｂが形成される。

導電性膜７６Ａの右端は接続導体８３Ａを経て端子８４Ａに接続されている。導電性膜７６Ａの左端は接続導体８３Ｂを経て導電性膜７６Ｂの右端に接続されている。導電性膜７６Ｂの左端は接続導体８６を経て端子８４Ｂに接続されている。上記の構成において、導電性膜７６Ａ、７６Ｂ、導電性非磁性膜７７Ａ、７７Ｂは、軟磁性

膜７３と軟磁性膜７４で形成される閉磁路内にあり、接続導体８３Ａ、８３Ｂは、閉磁路外にある。

図３３において、導電性非磁性膜７６Ａ、７６Ｂ、７７Ａ、７７Ｂ及び接続導体８３Ａ、８３Ｂなどは、非磁性基板１上で宙に浮いて見えるが、実際の構成では各導電性非磁性膜や接続導体の間に図示を省略した絶縁層が設けられている。

本実施例の磁気センサ９Ｉの動作について以下に説明する。図３４に示すように、端子８４Ａ、８４Ｂ間に直流電源１０を接続し、導電性非磁性膜７６Ａ、７６Ｂに矢印８８で示す方向の直流電流を流す。この直流電流によって、軟磁性膜７３及び７４に直流バイアス磁界が与えられる。端子８１Ａ、８１Ｂ間に抵抗１２を介して定電流の高周波電源１１を接続し、例えば１０ＭＨｚの高周波電流を流す。端子８１Ａ、８１Ｂには高周波増幅器１３も接続される。

本実施例の磁気センサ９Ｉを地磁気などの外部磁界Ｈｅｘ１６中に置くと、磁気インピーダンス効果により導電性非磁性膜７７Ａ、７７Ｂのインピーダンスが変化する。このインのイーダンス変化により端子８１Ａ、８１Ｂ間に生じる高周波電圧の変化を、高周波増幅器１３で増幅・検波して検出することにより、０．３Ｏｅ（２４Ａ／ｍ）程度のきわめて小さい外部磁界Ｈｅｘ１６を検出できる。

本実施例の磁気センサ９Ｉでは、軟磁性膜７３及び７

４で形成される閉磁路Ｍ内に直流バイアス磁界を与える導電性膜７６Ａ、７６Ｂを設けているので、比較的小さな直流電流を流すことで十分大きな直流バイアス磁界を発生させることができる。前記各実施例の磁気センサ９～９Ｈでは導電性膜６に３０ｍＡ以上の直流電流を流す必要があったが、本実施例の磁気センサ９Ｉでは導電性非磁性膜７６Ａ、７６Ｂに１０～２０ｍＡの電流を流すと十分な直流バイアス磁界を得ることができた。

このことを実証するために、発明者等は図４１を参照して以下に説明する実験を行った。

図４１の（ａ）及び（ｂ）は実験用に作った磁気センサの断面図である。図４１の（ａ）において、軟磁性体９６と９７との間の中央部に絶縁膜を介して導電体９８を形成する。導電体９８に丸の中の点及び丸の中の十字で示すように紙面に垂直な方向に直流電流を流して磁界を発生させ、下部ヨーク９６の位置Ａ１における磁束密度を測定する。図４１の（ｂ）において、図４１の（ａ）の構成と同じ磁気センサの中央部の上下に導電体９９Ａ、９９Ｂを配置する。導電体９９Ａ、９９Ｂに紙面に垂直でかつ方向が互いに逆の直流電流を流す。導電体９８には直流を流さない。図４１の（ａ）と同様に、図４１の（ｂ）の下部ヨーク９６の位置Ａ２の磁束密度を測定する。図４１の（ａ）の導電体９８と、図４１の（ｂ）の導電体９９Ａ、９９Ｂとに同じ値の直流電流を流したとき、図４１の（ａ）の位置Ａ１の磁束密度は、

図４１の（ｂ）の位置Ａ２の磁束密度の約８０倍であった。

上記の実験結果から、直流電流を流す導電体９８が、図４１の（ａ）に示すように、下部ヨーク９６と上部ヨーク９７で形成される閉磁路内にある場合は、図４１の（ｂ）に示すように、導電体９９Ａ、９９Ｂが閉磁路外にある場合よりも、少ない直流電流で大きな直流バイアス磁界を得ることができる。

第９実施例の磁気センサ９Ｉの製造方法について図３５及び図３６を参照して説明する。図３５の（ｄ）は、図３４のXXXV－XXXV線による断面図であり、（ａ）～（ｃ）は同図の（ｄ）までの各工程における断面図である。図３６の（ｄ）は、図３４のXXXVI－XXXVI線による断面図であり、（ａ）から（ｃ）は同図の（ｄ）までの各工程における断面図である。図３６の（ａ）から（ｄ）は、それぞれ図３５の（ａ）から（ｄ）に示す各工程と同じ工程における断面図である。すなわち、図３５の（ａ）と図３６の（ａ）は同一工程における違う場所の断面図であり、図３５の（ｂ）～（ｄ）と図３６の（ｂ）～（ｄ）についてもそれぞれ同様である。図３５、図３６において、図を見易くするため、ハッチングは一部の断面にのみ施している。

図３５の（ａ）において、Ｎｉ－Ｔｉ－Ｍｇ系のセラミックの非磁性の基板１の上面に、厚さ１．０μｍの帯状の第１の軟磁性膜７３をＦｅ－Ｔａ－Ｎのスパッタリ

ングにより成膜した後、所定の形状にパターン形成する。基板１の面に、絶縁物を介して第１の軟磁性膜７３を形成してもよい。次に軟磁性膜７３を含む基板１の全面にSiO_2のスパッタリング（低温のマグネトロンスパッタリングが望ましい）又は蒸着により絶縁膜９１を形成する。

図３５の（ａ）の工程終了後のXXXVI－XXXVI線による断面を図３６の（ａ）に示す。図３６の（ａ）に示すように、基板１の面に２つの軟磁性膜７３が平行に設けられ絶縁膜９１で覆われている。

図３５の（ｂ）において、絶縁膜９１の上に銅（Ｃｕ）のスパッタリングにより、厚さ１．０ミクロンの導電性膜７６Ａ、７６Ｂを成膜の後、所定の形状にパターン形成する。導電性膜７６Ａ、７６Ｂを含む基板１の全面に絶縁膜９２を形成した後、絶縁膜９２の上において、前記の導電性膜７６Ａ、７６Ｂと重なる位置にそれぞれ導電性非磁性膜７７Ａ、７７Ｂを形成する。

この工程において、図３６の（ｂ）に示すように、絶縁膜９１の上に接続部８９Ｂ、８９Ｃを形成し、絶縁膜９２の上に接続導体７８を形成する。ここで、導電性膜７６Ａ、７６Ｂと接続部８９Ｂ、８９Ｃは同一の工程で同一の材料で形成してもよい。又、導電性非磁性膜７７Ａ、７７Ｂと接続導体７８は同一の工程で同一の材料で形成してもよい。

図３５の（ｃ）において、導電性非磁性膜７７Ａ、７

７Ｂの上に絶縁膜９３を形成する。次に導電性非磁性膜７７Ａ、７７Ｂの上及びその近傍の絶縁膜９１、９２を残して、軟磁性膜７３の上にある絶縁膜９１、９２を除去する。そして絶縁膜９３を含む軟磁性膜７３の上に第２の軟磁性膜７４を形成する。

この工程終了後のXXXVI－XXXVI線による断面を図３６の（ｃ）に示す。図３６の（ｃ）に示すように、第１の軟磁性膜７３と第２の軟磁性膜７４は接している。図３５の（ｄ）において、第２の軟磁性膜７４を含む全面に絶縁膜９４を形成する。次に、図３６の（ｄ）に示すように、接続部８９Ｂ及び８９Ｃの上の絶縁膜９２、９３、９４をエッチングにより除去しスルーホールを形成し、接続部８９Ｂ、８９Ｃを露出させる。そして両端がそれぞれ接続部８９Ｂ、８９Ｃに接続された接続導体８３Ｂを絶縁膜９４の上に形成する。接続部８９Ｂと８９Ｃは接続導体８３Ｂによって電気的に接続される。導電性膜７６Ａと接続導体８３Ａとの接続部８９、及び接続導体８３Ａと端子８４Ａとの接続部８９Ａも上記と同様の方法で接続される。

第１０実施例

本発明の第１０実施例の磁気センサ９Ｊを図３７及び図３８を参照して説明する。図３７は第１０実施例の磁気センサ９Ｊの要部の斜投影図である。図３８は本実施例の磁気センサ９Ｊの平面図である。

図３７において、本実施例の磁気センサ９Ｊでは、軟磁性膜７３と７４の間に設けられた絶縁層７５を貫通する導電性膜７６Ａ及び導電性非磁性膜７７Ａがほぼ同一平面上に離隔して設けられている。導電性膜７６Ｂ及び導電性非磁性膜７７Ｂも同様に、絶縁層７５を貫通してほぼ同一平面上に設けられている。その他の構成は、前記第９実施例の磁気センサ９Ｉと同様である。図３６に示すように、磁気センサ９Ｊの使用時に接続する直流電源１０、高周波電源１１及び高周波増幅器１３の接続方法も磁気センサ９Ｉの場合と同様であり動作も同様である。

本実施例によれば、導電性膜７６Ａ、導電性非磁性膜７７Ａを絶縁層７５内のほぼ同一平面上に設けているので、軟磁性膜７４の山部７４Ｂの基板１の面からの高さが前記第９実施例の磁気センサ９Ｉより低くなる。また第９実施例の磁気センサ９Ｉでは導電性膜７６Ａ、導電性非磁性膜７７Ａを別々の工程で積み重ねて形成しなければならないが、第１０実施例の磁気センサ９Ｊでは、導電性膜７６Ａ、導電性非磁性膜７７Ａを同一の工程で同一の材料、例えば導電性非磁性膜形成することができる。従って製膜工程が簡単になり、製造コストも低減される。また、第９実施例の磁気センサ９Ｉのように導電性膜７６Ａ、導電性非磁性膜７７Ａが重なっていると、製造中に両者の間にダストなどが入って短絡するおそれがあるが、第１０実施例の磁気センサ９Ｊでは短絡のお

それが大幅に少なくなる。その結果製造時の歩留りが向上するとともに、使用時における信頼性が向上する。

第１０実施例の磁気センサ９Ｊの製造方法について図３９及び図４０を参照して説明する。図３９の（ｄ）は、図３８のXXXIX－XXXIX線による断面図であり、（ｂ）から（ｄ）は各工程における断面図である。図４０の（ｄ）は図３８のXXXX－XXXX線による断面図であり、（ｂ）から（ｄ）は各工程における断面図である。図４０の（ａ）から（ｄ）は、それぞれ図３９の（ａ）から（ｄ）に示す各工程と同じ工程における断面図である。すなわち、図３９の（ａ）と図４０の（ａ）は同一工程における違う場所の断面図であり、図３９の（ｂ）～（ｄ）と図４０の（ｂ）～（ｄ）についてもそれぞれ同様である。図３９、図４０において、図を見易くするため、ハッチングは一部の断面にのみ施している。

図３９の（ａ）において、Ｎｉ－Ｔｉ－Ｍｇ系のセラミックなどの非磁性の基板１の面に、下部ヨークとなる厚さ１．０μｍの軟磁性膜７３をＦｅ－Ｔａ－Ｎのスパッタリングにより成膜後、所定の形状にパターン形成する。次に軟磁性膜７３を含む基板１の全面にSiO_2のスパッタリングにより絶縁膜９１を形成する。この工程終了後のXXXX－XXXX線による断面を図４０の（ａ）に示す。

図３９の（ｂ）において、絶縁膜９１の上にＣｕのスパッタリングにより、導電性非磁性膜７６Ａ、７７Ａ、

７６Ｂ、７７Ｂを成膜後、所定の形状にパターン形成する。また図４０の（ｂ）に示すように、絶縁膜９１の上に接続導体７８、８９Ｃを形成する。導電性非磁性膜７６Ａ、７７Ａ、７６Ｂ、７７Ｂ及び接続導体７８、８９Ｃは同一の工程で同一の材料で形成してもよく、これらを含む基板１の全面にSiO_2の絶縁膜９２を形成する。この工程終了後のＸＸＸＸ－ＸＸＸＸ線による断面を図４０の（ｂ）に示す。

図３９の（ｃ）において、導電性非磁性膜７６Ａ、７７Ａ、７６Ｂ、７７Ｂの近傍を除いて、軟磁性膜７３上の絶縁膜９１、９２を除去し、軟磁性膜７３を露出する。導電性非磁性膜７６Ａ、７７Ａ、７６Ｂ、７７Ｂの上に残った絶縁膜９２の上及び露出した軟磁性膜７３の上に、Ｆｅ－Ｔａ－Ｎのスパッタリングにより軟磁性膜７４を成膜後、所定の形状にパターン形成する。この工程終了後のＸＸＸＸ－ＸＸＸＸ線による断面を図４０の（ｃ）に示す。

図３９の（ｄ）において、軟磁性膜７４を含む基板１の全面にSiO_2の絶縁膜９３を形成する。次に接続導体８９Ｃの上の絶縁膜９２を除去しスルーホールを形成する。絶縁膜９３の上に接続導体８３Ａ、８３Ｂを形成する。この工程により、図４０の（ｄ）に示すように、導電性非磁性膜７６Ｂと接続導体８３Ｂとが接続部８９Ｃで電気的に接続される。接続部８３Ｃ、８３Ｄ、及び８４Ｄにおける接続も接続部８９Ｃと同様の工程で行われる。以上の各工程によって本実施例の磁気センサ９Ｊ

が製造される。

前記第９及び第１０実施例において、非磁性基板１には、ニッケル酸化物ＮｉＯ、チタン酸化物TiO_2、マグネシウム酸化物ＭｇＯを含むセラミックス（Ｎｉ－Ｔｉ－Ｍｇ）、チタン酸化物、カルシウム酸化物ＣａＯを含むセラミックス（Ｔｉ－Ｃａ）、アルミ酸化物Al_2O_3、チタン炭化物ＴｉＣを含むセラミックス（ＡｌＴｉＣ）及びガラス、シリコン等が使用できる。非磁性基板の表面の粗さは、保磁力Ｈｃを大きく保つためにＲａ５ｎｍ以下が望ましい。

軟磁性膜７３、７４は、アモルファス合金（Ｃｏを主成分とした合金、例えばＣｏＮｂＺｒ、ＣｏＴａＺｒ、ＣｏＳｉＢ、Ｆｅを主成分とした合金ＦｅＳｉＢ等）またはナノ結晶合金（Ｆｅを主成分としたＦｅＴａＮ等）及びＮｉＦｅ系の合金のような高透磁率を有する軟磁性材料が望ましい。

周波数１０～２０ＭＨｚで透磁率が１０００以上得られるものが好ましい。

絶縁膜９１～９４はSiO_2、Al_2O_3等の酸化物が望ましいが、ポリイミド樹脂等の有機絶縁膜でも良い。

導電性非磁性膜及び接続線には、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、銅（Ｃｕ）等が使用できる。Ａｕ、Ａｇ、Ｃｕ等の膜と絶縁膜との間に、密着性を良くするためにＣｒ、Ｔａ又はＴｉなどの厚さ３０ｎｍ～１００ｎｍの薄膜を形成するのが望ましい。

産業上の利用可能性

以上の各実施例で詳細に説明したように、本発明の磁気センサは、所定の方向に磁化容易軸を有する軟磁性膜に絶縁膜を介してジグザグ状のメアンダ型導電性非磁性膜を対向させ、さらに導電性非磁性膜に絶縁膜を介して導電性膜を設けている。メアンダ型導電性非磁性膜に高周波電流を流し、直流バイアス磁界を加える。この磁気センサに外部磁界を与えると、メアンダ型導電性非磁性膜の磁化容易軸に並行する長い経路の導体は軟磁性膜の磁気作用を受け、比較的低い周波数の高周波電流を流した場合でもインピーダンスが大幅に変化する。このインピーダンス変化を検出することにより高い感度で外部磁界を検出することができる。

請求の範囲

1．　膜面に沿う所定の方向に磁化容易軸を有する軟磁性膜、

前記軟磁性膜から電気絶縁物で隔てられてその上にジグザグに設けられ、前記軟磁性膜の磁化容易軸に並行する部分の長さが、前記磁化容易軸に直交する部分の長さより長くなされた帯状の導電性非磁性膜、

前記導電性非磁性膜に高周波電流を流すための高周波電源、及び

前記高周波電流が流れる前記導電性非磁性膜の外部磁界によるインピーダンス変化に基づき前記外部磁界を検出する検出回路

を有する磁気センサ。

2．　帯状の膜の長手方向に対して垂直でかつ膜面に沿う方向に磁化容易軸を有する帯状の軟磁性膜、

前記軟磁性膜の上に電気絶縁物を間に介してジグザグに設けられ、前記軟磁性膜の面内でその膜の磁化容易軸に並行する部分の長さが前記磁化容易軸に直交する部分の長さより長くなされた帯状の導電性非磁性膜、

前記導電性軟磁性膜に高周波電流を流すための高周波電源、及び

前記高周波電流が流れる前記導電性非磁性膜の外部磁界によるインピーダンス変化に基づき前記外部磁界を検

出する検出回路

を有する磁気センサ。

3．　前記軟磁性膜に直流バイアス磁界を与えるために直流電流を流す導電性膜を有する請求項1又は2記載の磁気センサ。

4．　前記軟磁性膜に直流バイアス磁界を与えるための永久磁石を有する請求項1又は2記載の磁気センサ。

5．　前記軟磁性膜に直流バイアス磁界を与えるために直流電流を流す導電性膜及び永久磁石を有する請求項1又は2記載のの磁気センサ。

6．　前記帯状の軟磁性膜を複数個並列して配置したことを特徴とする請求項2記載の磁気センサ。

7．　前記軟磁性膜が、磁化容易軸に垂直な方向に長い少なくとも1つのスリットを有することを特徴とする請求項2記載の磁気センサ。

8．　前記永久磁石が、前記導電性非磁性膜に設けられている薄膜の磁石であることを特徴とする請求項4記載の磁気センサ。

９．　前記直流バイアス磁界の方向が、前記軟磁性膜の磁化容易軸に直交する方向であることを特徴とする請求項３、４、５又は８記載の磁気センサ。

１０．　前記帯状の導電性非磁性膜が、少なくとも２つの軟磁性膜によりそれぞれの絶縁膜を介して挟まれていることを特徴とする請求項１又は２記載の磁気センサ。

１１．　前記導電性非磁性膜を挟む少なくとも２つの軟磁性膜が、前記導電性非磁性膜から離れた位置で互いに接していることを特徴とする請求項１０記載の磁気センサ。

１２．　前記少なくとも２つの軟磁性膜の間に永久磁石が設けられていることを特徴とする請求項１０記載の磁気センサ。

１３．　前記軟磁性膜は鉄、タンタル、窒素を含むことを特徴とする請求項１又は２記載の磁気センサ。

１４．　非磁性基板の主面に形成した、膜面に沿う所定方向に磁化容易軸を有する軟磁性膜、

前記軟磁性膜の上に電気絶縁膜を間に介してジグザグに形成され、前記軟磁性膜の面内でその膜の磁化容易軸に並行する部分の長さが、前記磁化容易軸に直交する部

分の長さより長くなされた帯状の導電性非磁性膜、

前記導電性非磁性膜の上に絶縁性保護膜を間に介して形成した、直流電流を流して前記軟磁性膜に直流バイアス磁界を与えるための導電性膜、

前記導電性非磁性膜に高周波電流を流すための高周波電源及び

前記高周波電流が流れる前記導電性非磁性膜の外部磁界によるインピーダンス変化に基づき前記外部磁界を検出する検出回路

を有する磁気センサ。

１５．　前記軟磁性膜が、帯状の形状の長手方向に対して垂直かつ膜面に沿う方向に磁化容易軸を有する、複数の帯状の軟磁性膜であることを特徴とする請求項１４記載の磁気センサ。

１６．　前記導電性膜が、前記非磁性基板と前記軟磁性膜との間に設けられていることを特徴とする請求項１４記載の磁気センサ。

１７．　前記非磁性基板と軟磁性膜との間に、前記磁化容易軸に垂直な方向に磁極を有する永久磁石を設けたことを特徴とする請求項１４記載の磁気センサ。

１８．　前記永久磁石は、コバルトと白金を含む合金の

膜に、前記磁化容易軸に垂直な方向に着磁して形成した磁石であることを特徴とする請求項１７記載の磁気センサ。

１９．　前記帯状の導電性非磁性膜の上に設けたコバルトと白金の合金の膜に、前記磁化容易軸に垂直かつ膜面に沿う方向に着磁して永久磁石を形成したことを特徴とする請求項１４記載の磁気センサ。

２０．　非磁性基板の主面に形成した、帯状の膜の長手方向に対して垂直でかつ膜面に沿う方向に磁化容易軸を有する帯状の第１の軟磁性膜、

前記軟磁性膜の上に第１の絶縁膜を介してジグザグに形成され、前記軟磁性膜の面内でその膜の磁化容易軸に並行する部分の長さが、前記磁化容易軸に直交する部分の長さより長くなされた帯状の導電性非磁性膜、

前記導電性非磁性膜の上に第２の絶縁膜を間に介して形成した、帯状の長手方向に対して垂直かつ膜面に沿う方向に磁化容易軸を有する第２の軟磁性膜、

前記第２の軟磁性膜の上に絶縁性保護膜を介して形成した、直流電流を流して前記軟磁性膜に直流バイアス磁界を与えるための導電性膜、

前記導電性非磁性膜に高周波電流を流すための高周波電源、及び

前記高周波電流が流れる前記導電性非磁性膜の外部磁

界によるインピーダンス変化に基づき前記外部磁界を検出する検出回路

を有する磁気センサ。

２１．　前記第１の絶縁膜及び第２の絶縁膜が、前記帯状の導電性非磁性膜の周囲にのみ設けられていることを特徴とする請求項２０記載の磁気センサ。

２２．　前記永久磁石が第１の軟磁性膜と導電性非磁性膜との間に設けられていることを特徴とする請求項２０記載の磁気センサ。

２３．　前記非磁性基板が、ニッケル酸化物、チタン酸化物及びマグネシウム酸化物を含むセラミックであることを特徴とする請求項１４又は２０記載の磁気センサ。

２４．　軟磁性膜によって形成された閉磁路を有し、

前記軟磁性膜の閉磁路を貫通して設けられた、直流電流を流すための導電性膜、及び

前記軟磁性膜の閉磁路を貫通して、前記導電性膜との間に絶縁を保ちつつ設けられた、高周波電流を流すための導電性非磁性膜、

を有する磁気センサ。

２５．　前記導電性膜に一定方向の直流電流を流して前

記軟磁性膜に直流バイアス磁界を与えることを特徴とする請求項２４記載の磁気センサ。

２６．　前記軟磁性膜が複数の閉磁路を有し、前記複数の各閉磁路を貫通するそれぞれの導電性膜を、前記各閉磁路内の導電性膜を流れる直流電流の方向が同じになるように接続する接続線を有する請求項２４記載の磁気センサ。

２７．　前記複数の導電性膜を接続する前記接続線が前記閉磁路の外部にあることを特徴とする請求項２６記載の磁気センサ。

２８．　前記導電性非磁性膜が、前記軟磁性膜の複数の閉磁路を各長手パターン方向に対して順次逆方向に貫通するように構成した請求項２６記載の磁気センサ。

２９．　前記軟磁性膜の閉磁路を貫通する導電性膜及び導電性非磁性膜が、前記基板の面に平行な同一面上に形成されていることを特徴とする請求項２４記載の磁気センサ。

３０．　複数の軟磁性膜のパターンが並行して配置されていることを特徴とする請求項２４記載の磁気センサ。

３１．　前記導電性非磁性膜の両端に高周波増幅器の入力端を接続した請求項２４記載の磁気センサ。

３２．　非磁性基板の上面に帯状の少なくとも１つの第１の軟磁性膜を形成するステップ、

前記第１の軟磁性膜の上に第１の絶縁膜を介して導電性膜及び、導電性の第１の接続部及び第２の接続部を形成するステップ、

前記導電性膜の上に、第２の絶縁膜を介して導電性非磁性膜を形成するステップ、

前記導電性非磁性膜の上に第３の絶縁膜を形成するステップ、

前記導電性膜及び導電性非磁性膜を含む近傍の前記第１、第２及び第３の絶縁膜を残し、前記第１の軟磁性膜の上の前記第１、第２及び第３の絶縁膜を除去するステップ、

前記第１の軟磁性膜及び前記残された第１、第２、第３の絶縁膜の上に第２の軟磁性膜を設け、閉磁路を形成するステップ、

前記第２の軟磁性膜を含む全面に第４の絶縁膜を形成するステップ、

前記第１及び第２の接続部上の第２、第３及び第４の絶縁膜を除去してスルーホールを形成し、前記第１及び第２の接続部を露出させるステップ、

両端部が前記第１及び第２の接続部にそれぞれ電気的

に接続される電気導体の接続線を、前記第４の絶縁膜９４の上に形成し、隣接する他の閉磁路を通る第１の導電性非磁性膜との接続を行うステップ、

を有する磁気センサの製造方法。

３３．　前記導電性膜及び導電性非磁性膜を、第１の絶縁膜の上に同一の工程で形成することを特徴とする請求項３２記載の磁気センサの製造方法。

３４．　前記絶縁膜の少なくとも１つに、感光性樹脂のフォトレジスト膜を用いることを特徴とする請求項３２記載の磁気センサの製造方法。

３５．　前記非磁性基板の上に絶縁層を介して前記第１の軟磁性膜を形成する請求項３２記載の磁気センサの製造方法。

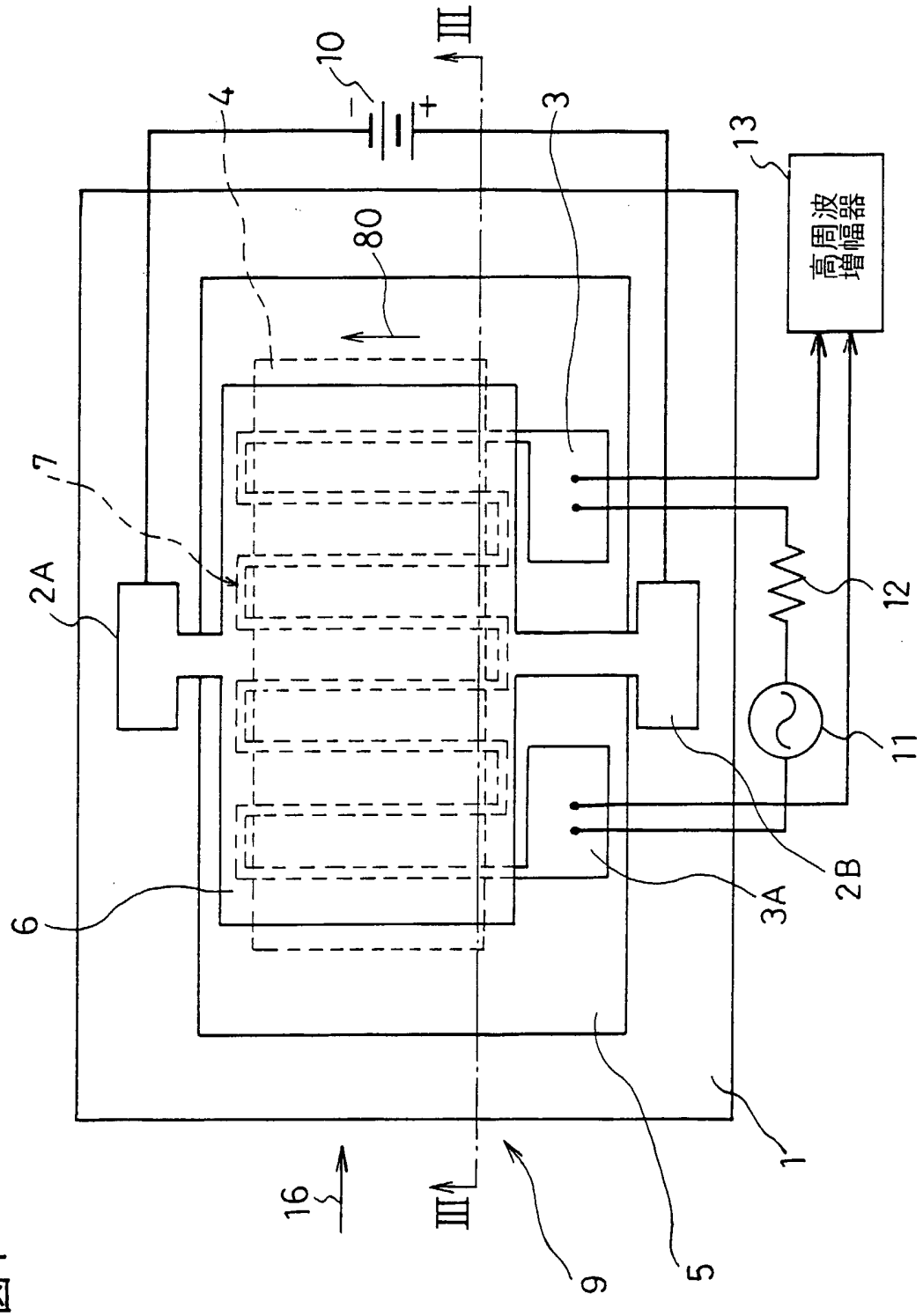


図1

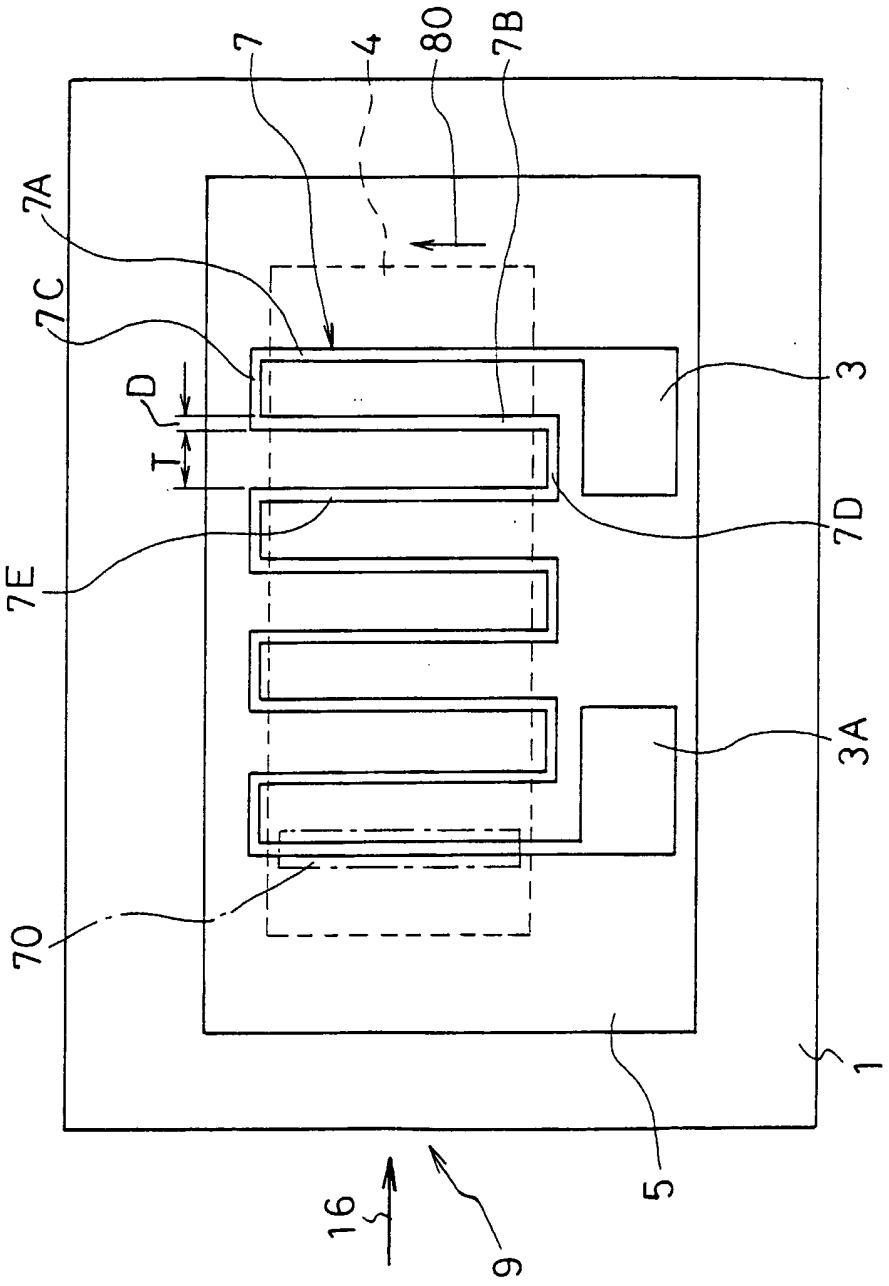


図2

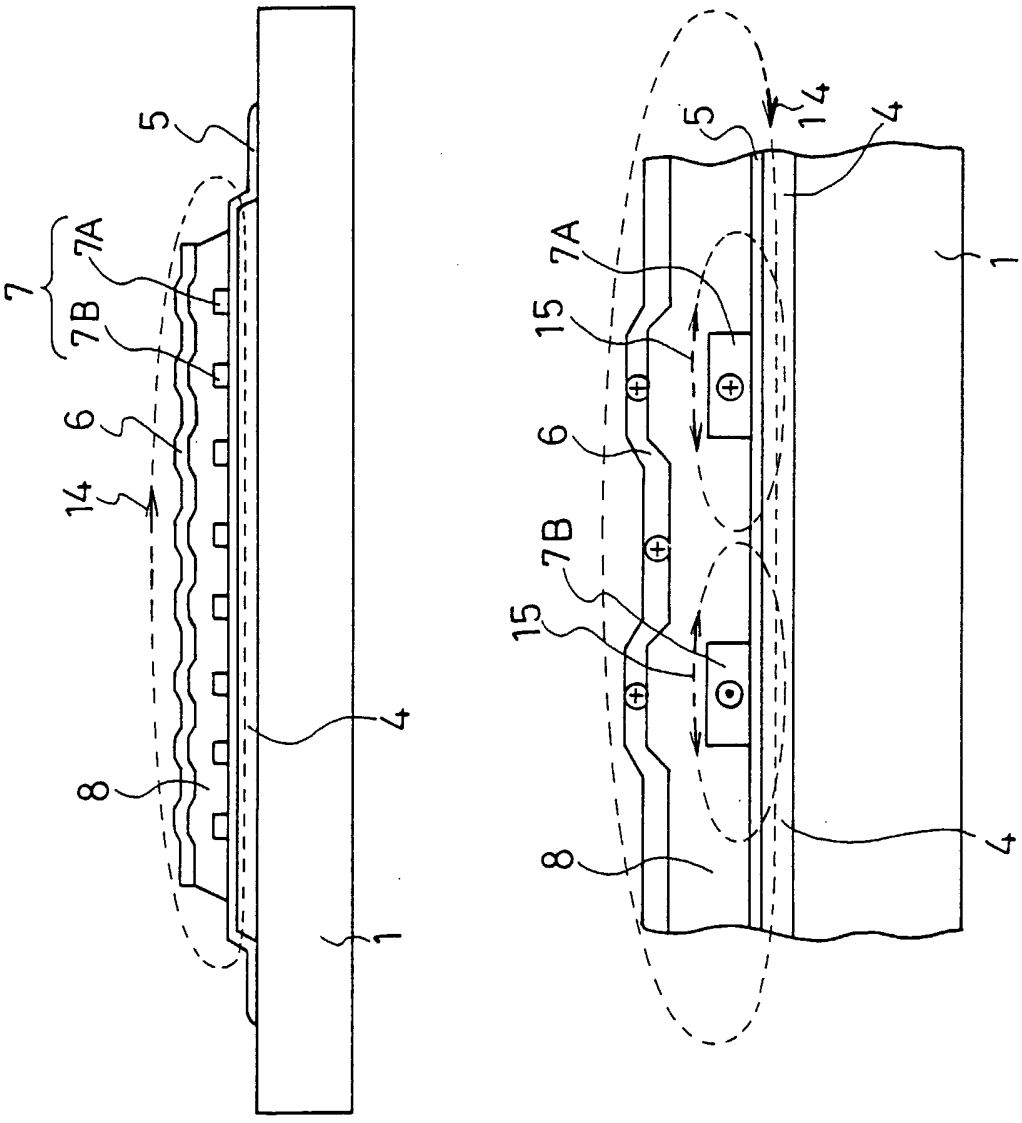
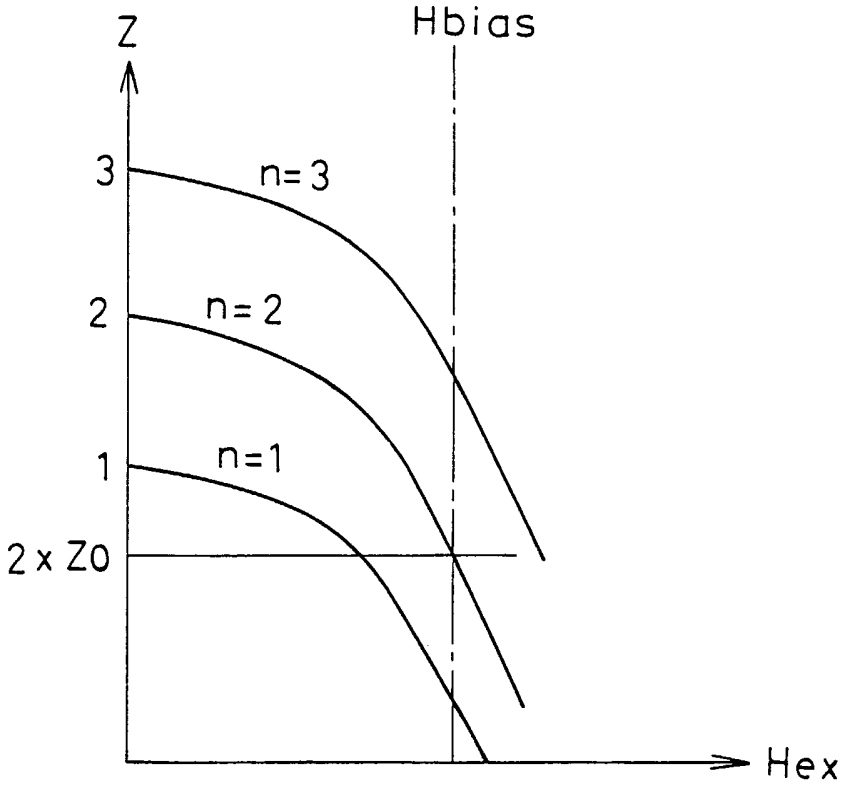


図3

図4



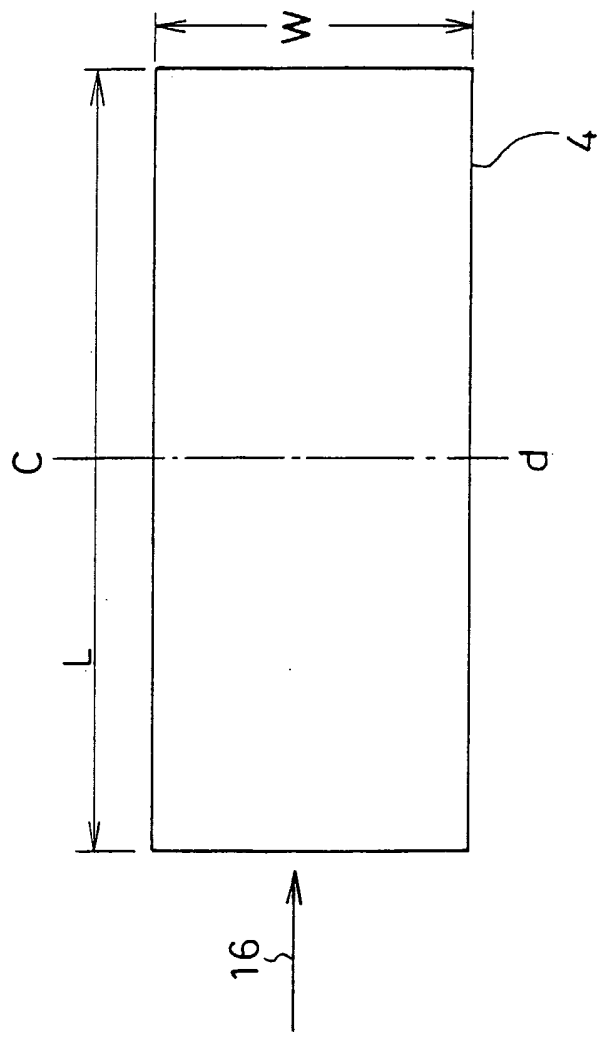


図5

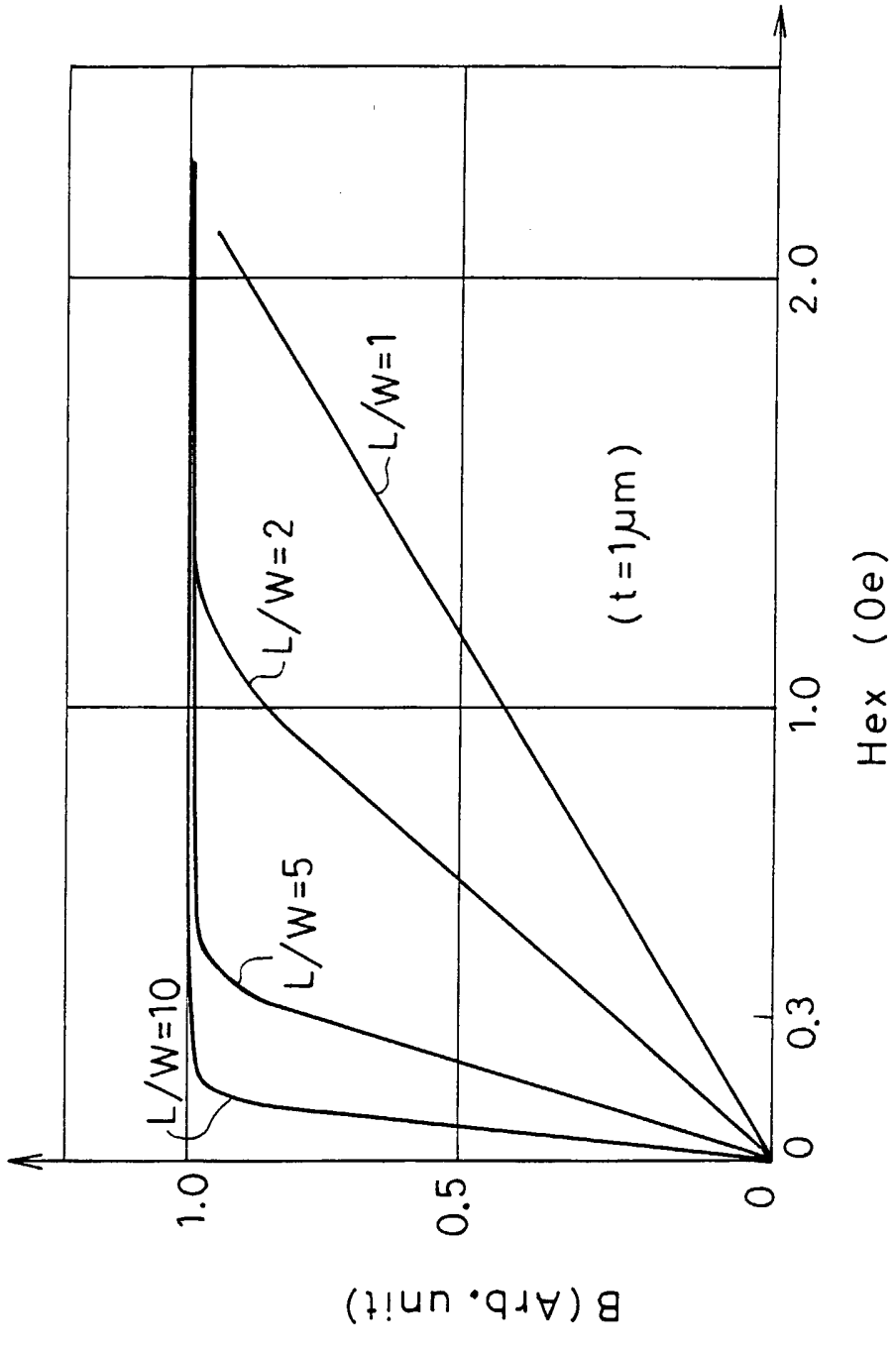


図6

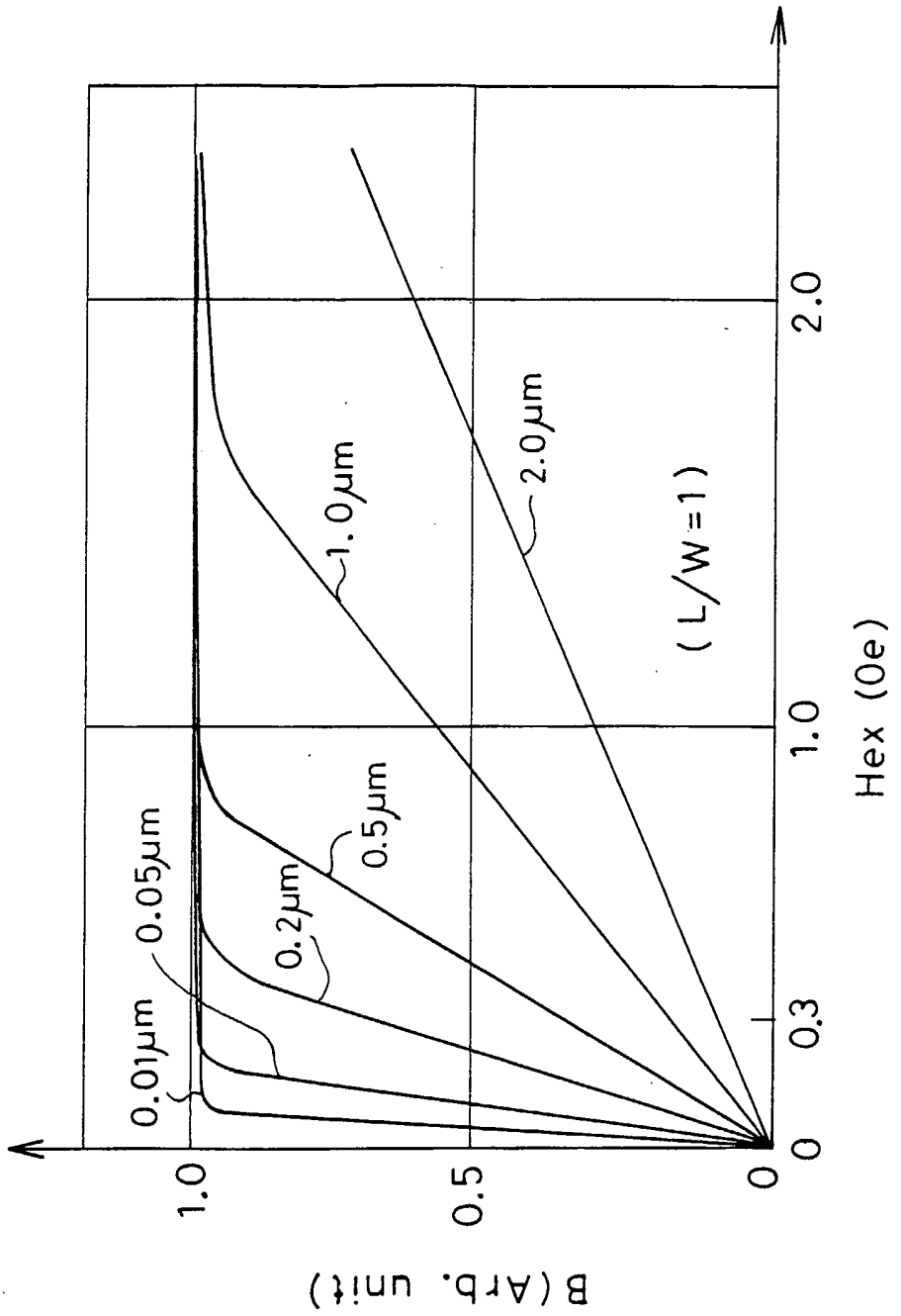

B (Arb. unit)
1.0
0.5
0
0
0.3
1.0
2.0
Hex (Oe)
(L/W=1)
0.01μm
0.05μm
0.2μm
0.5μm
1.0μm
2.0μm

図7

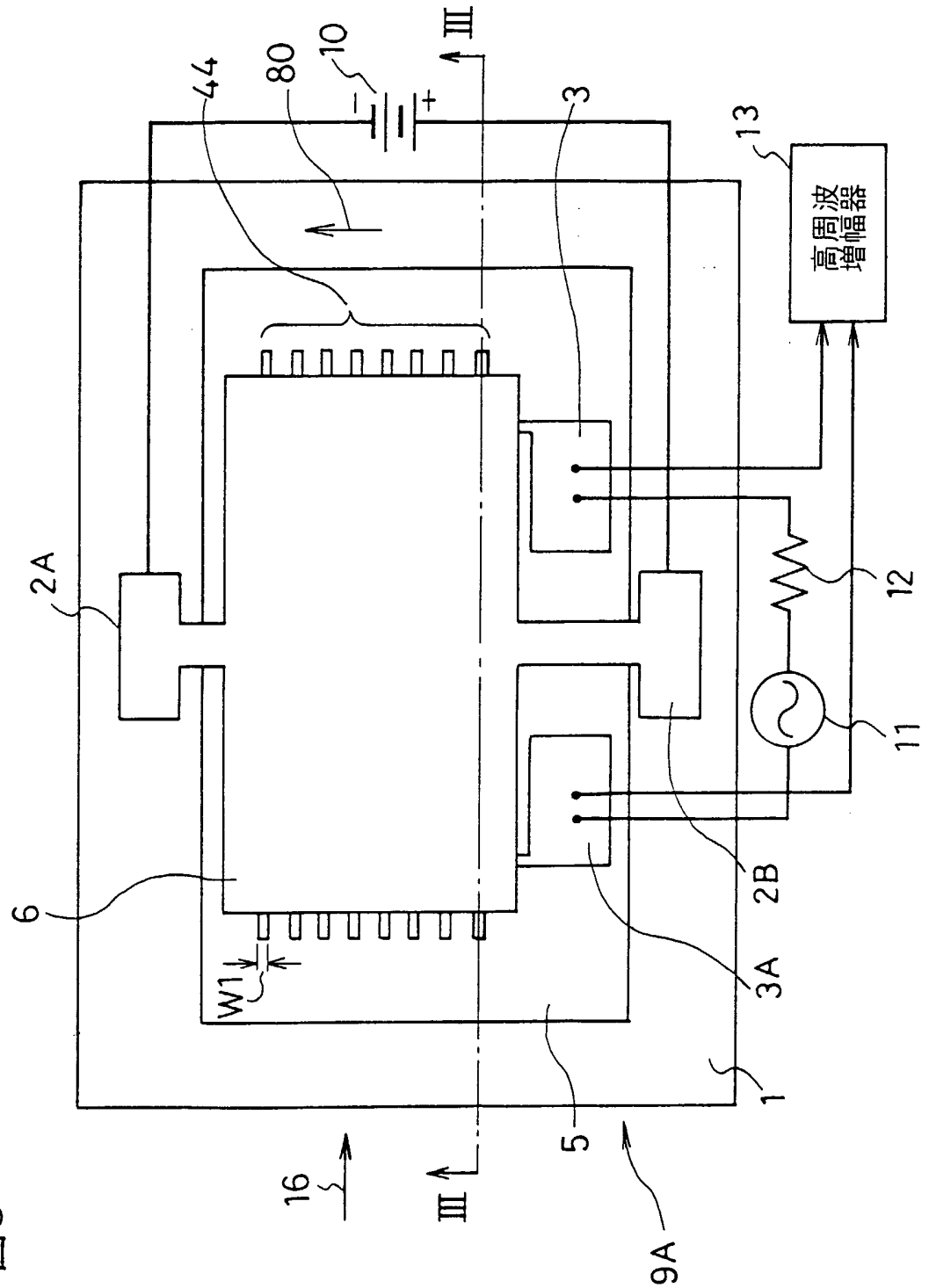


図8

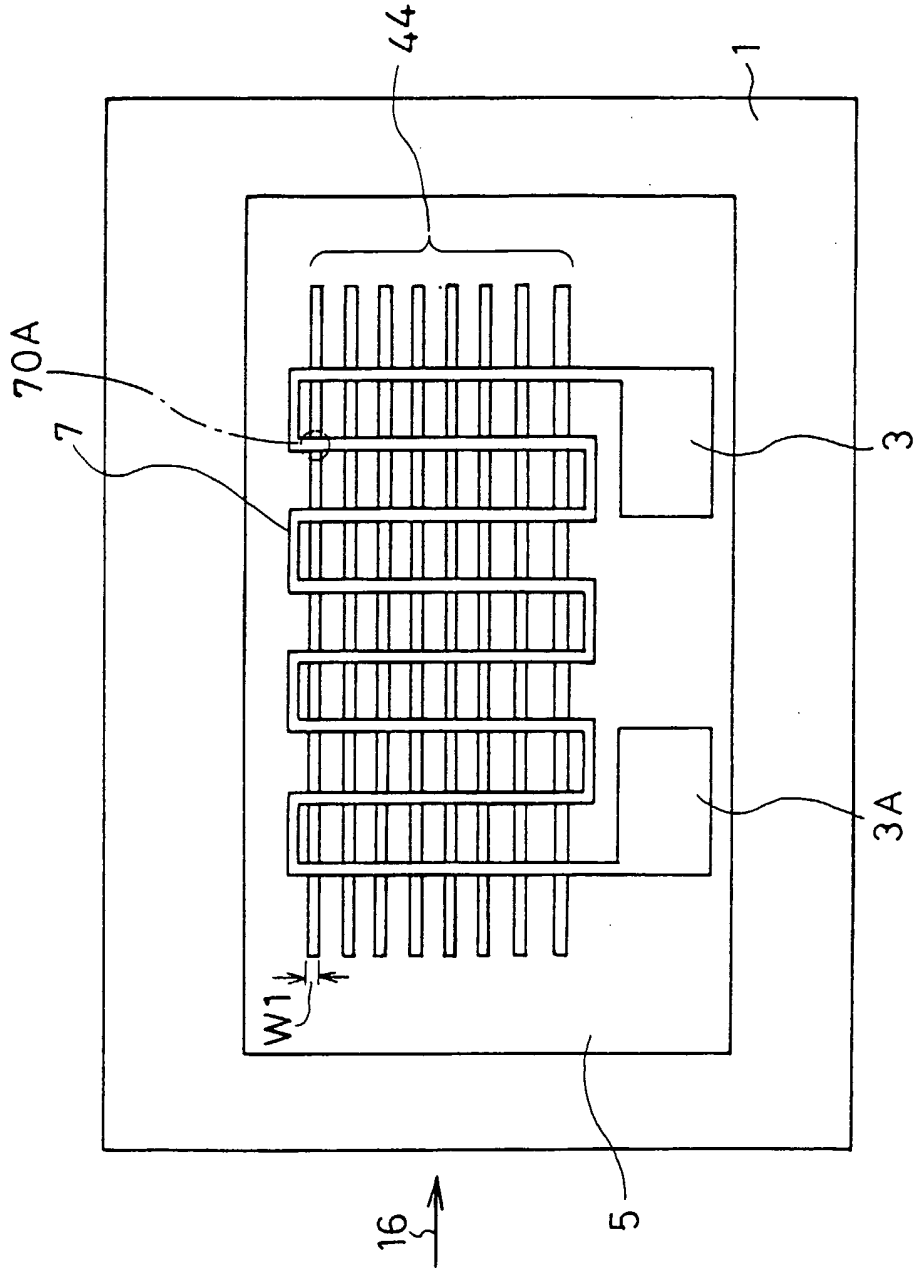


図9

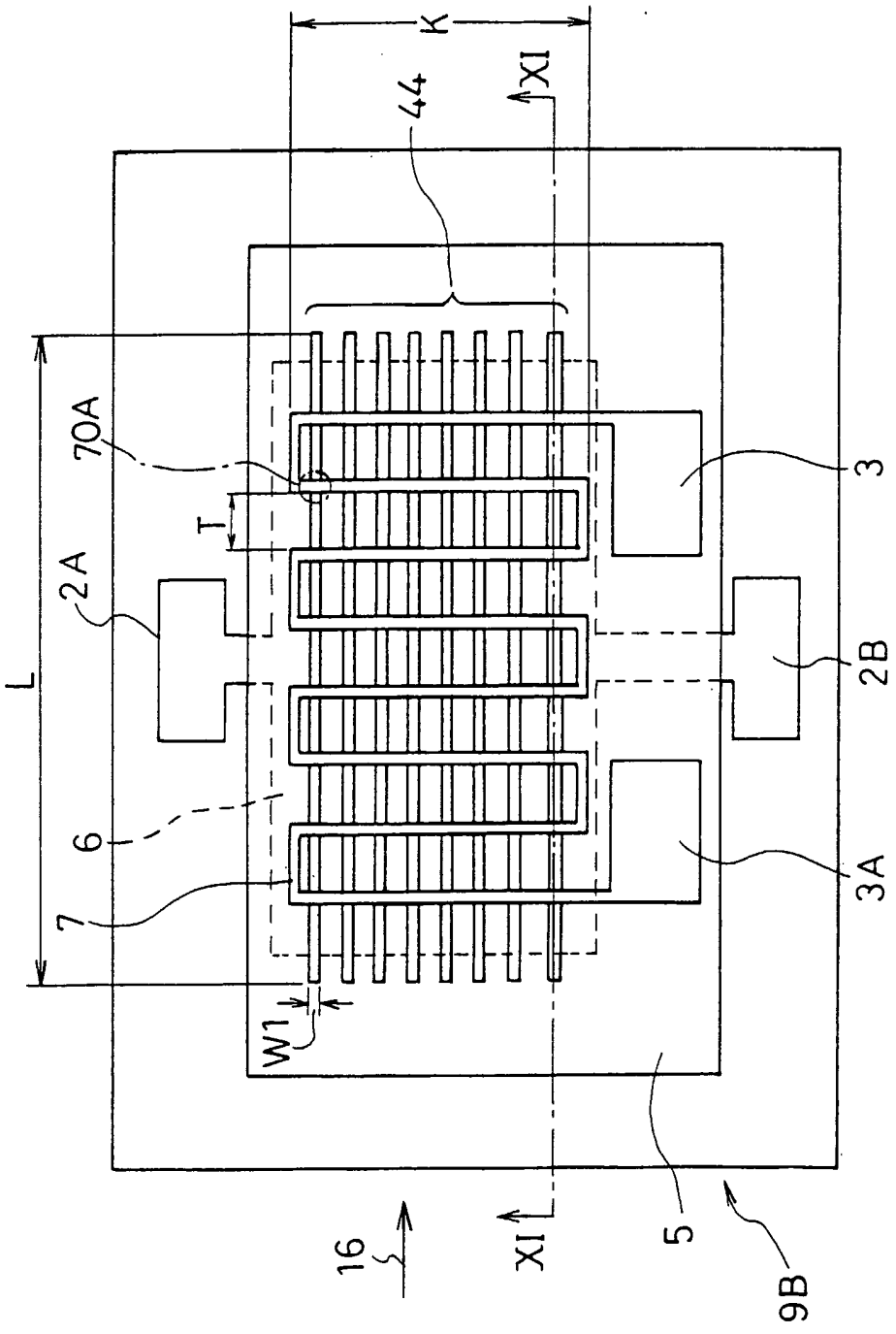


図10

図11

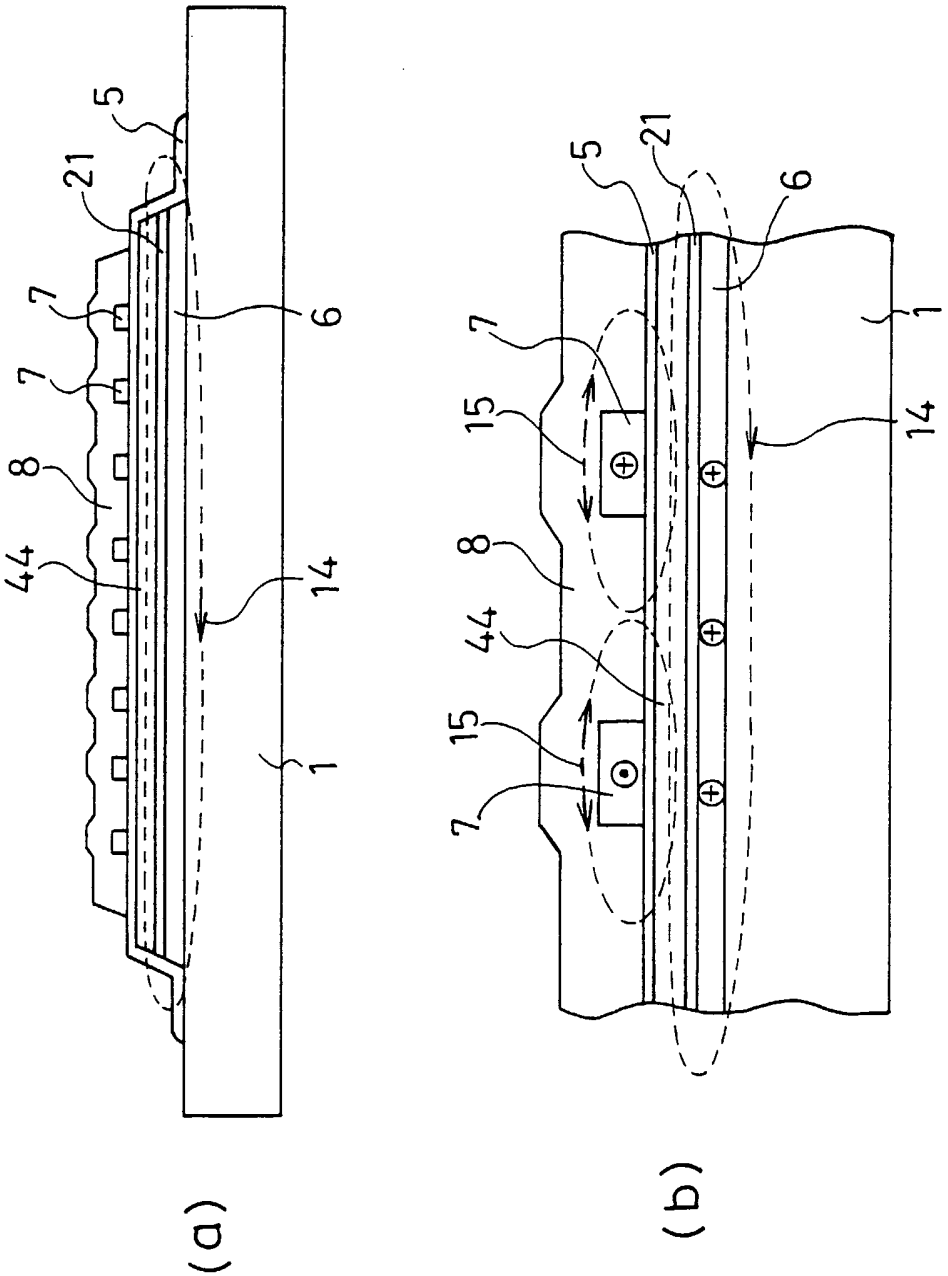
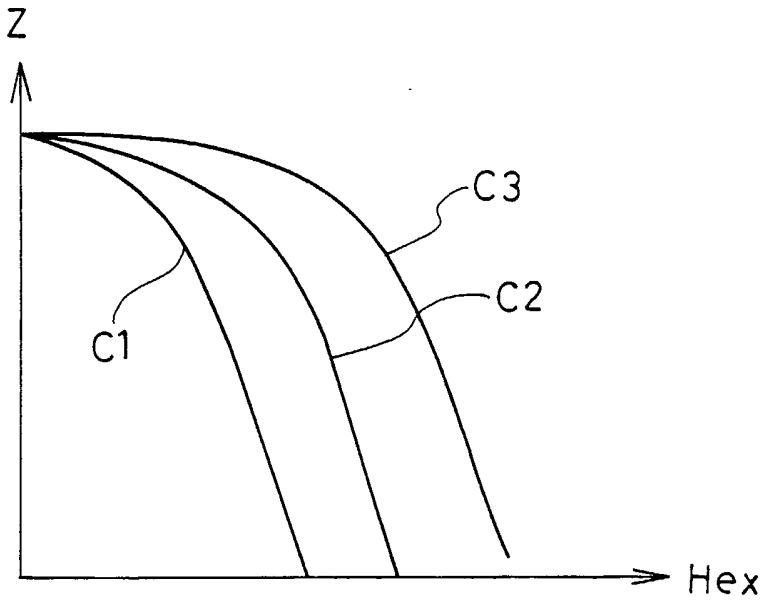


図12



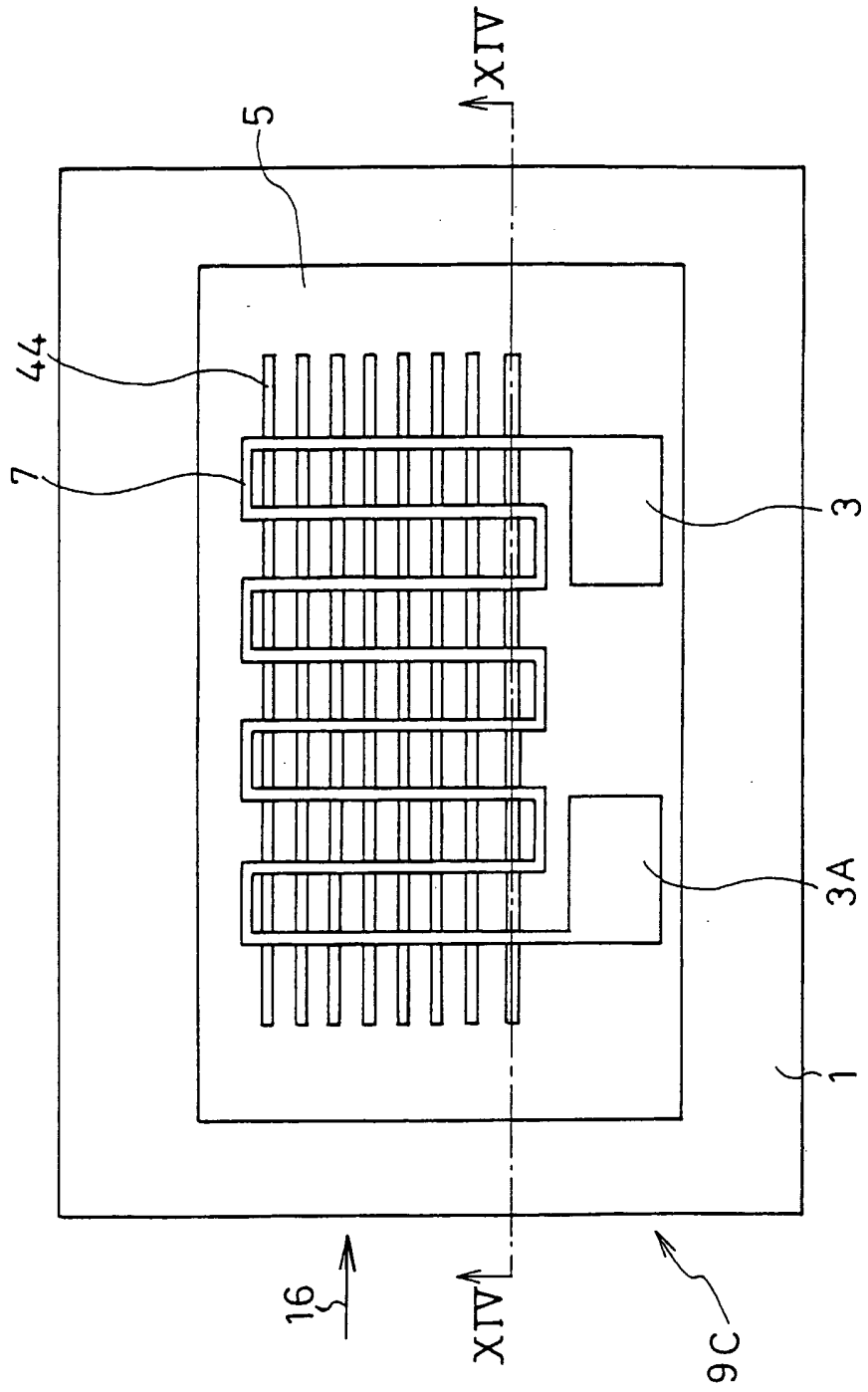
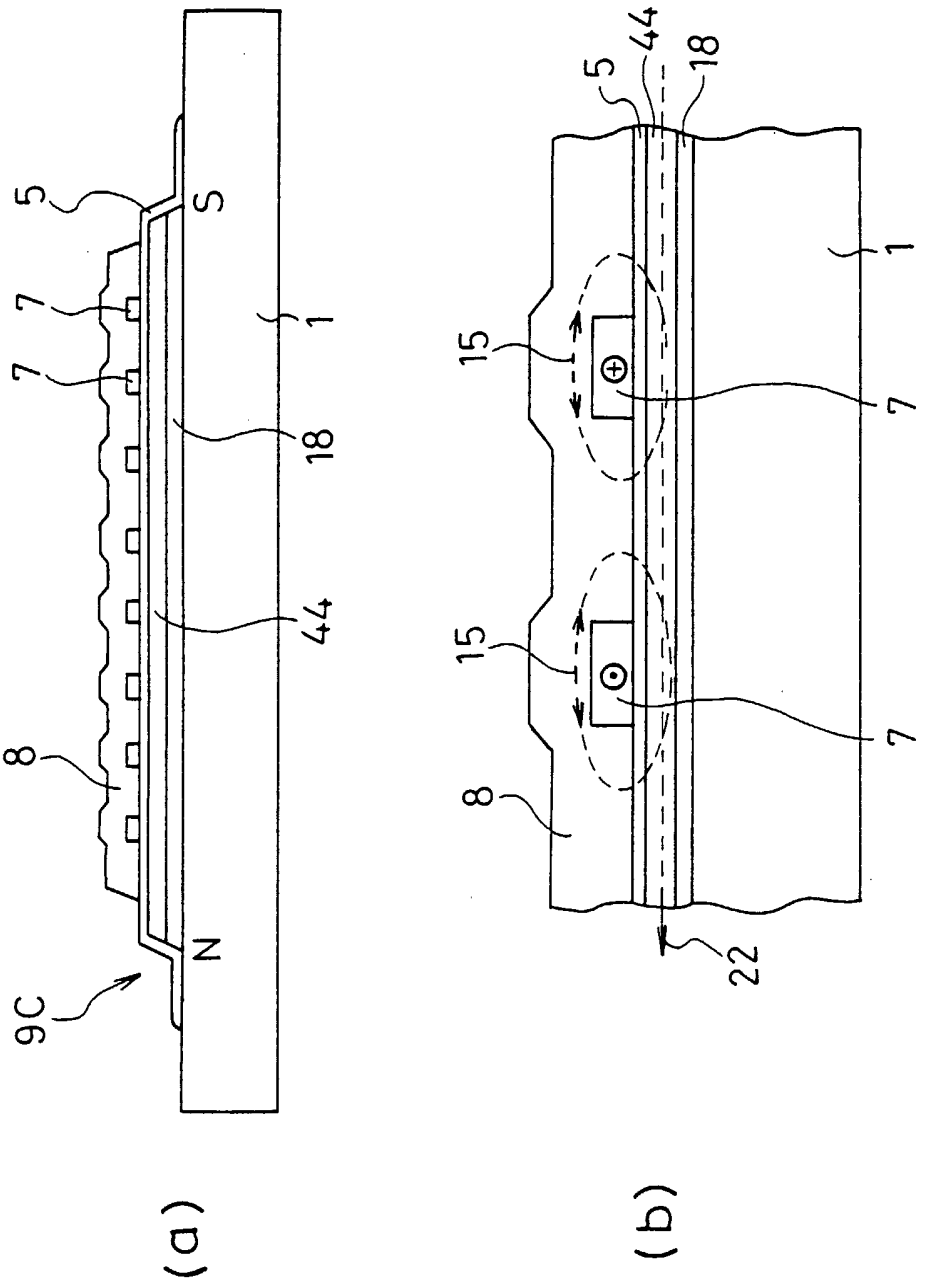


図13

図14



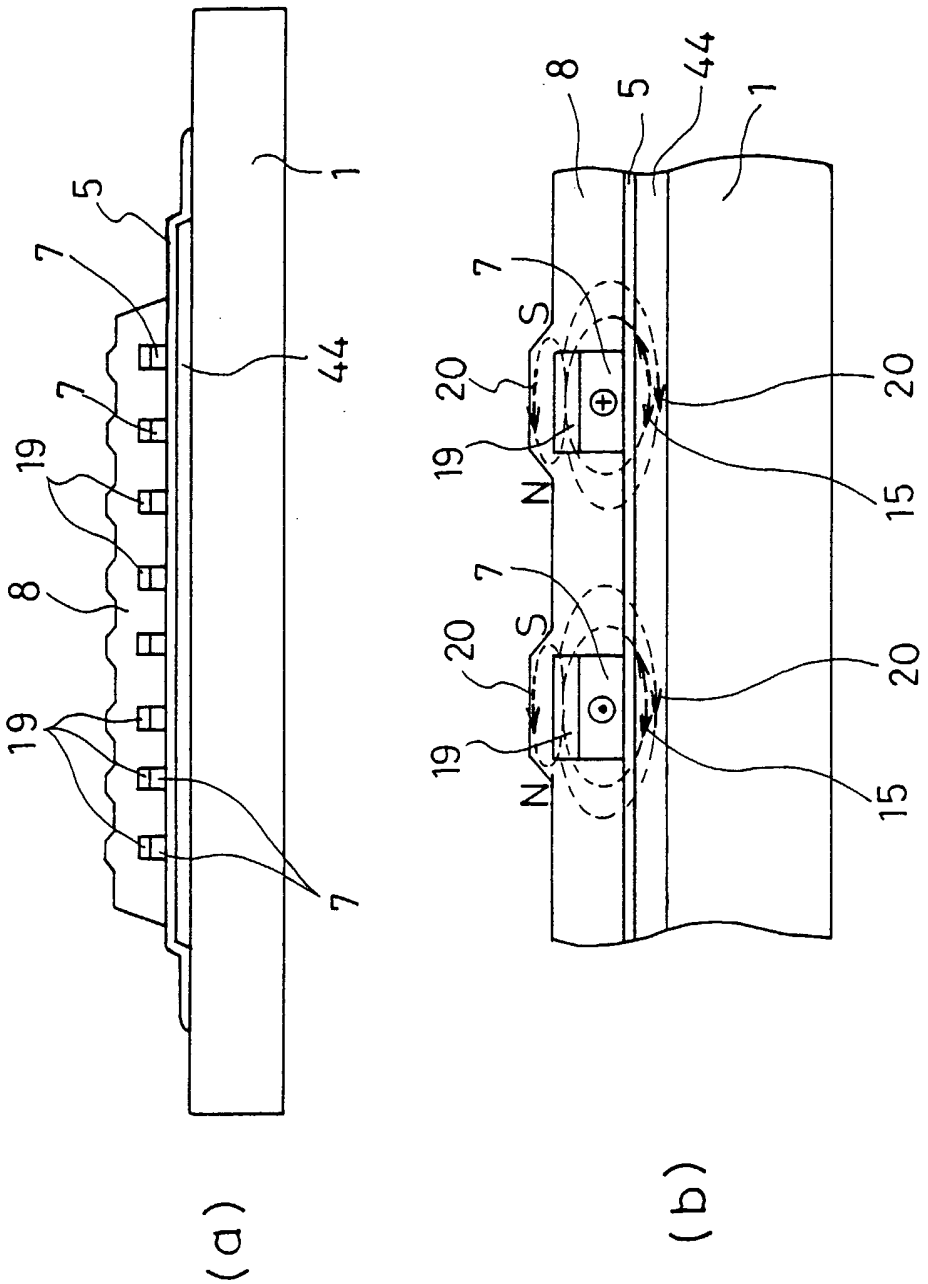
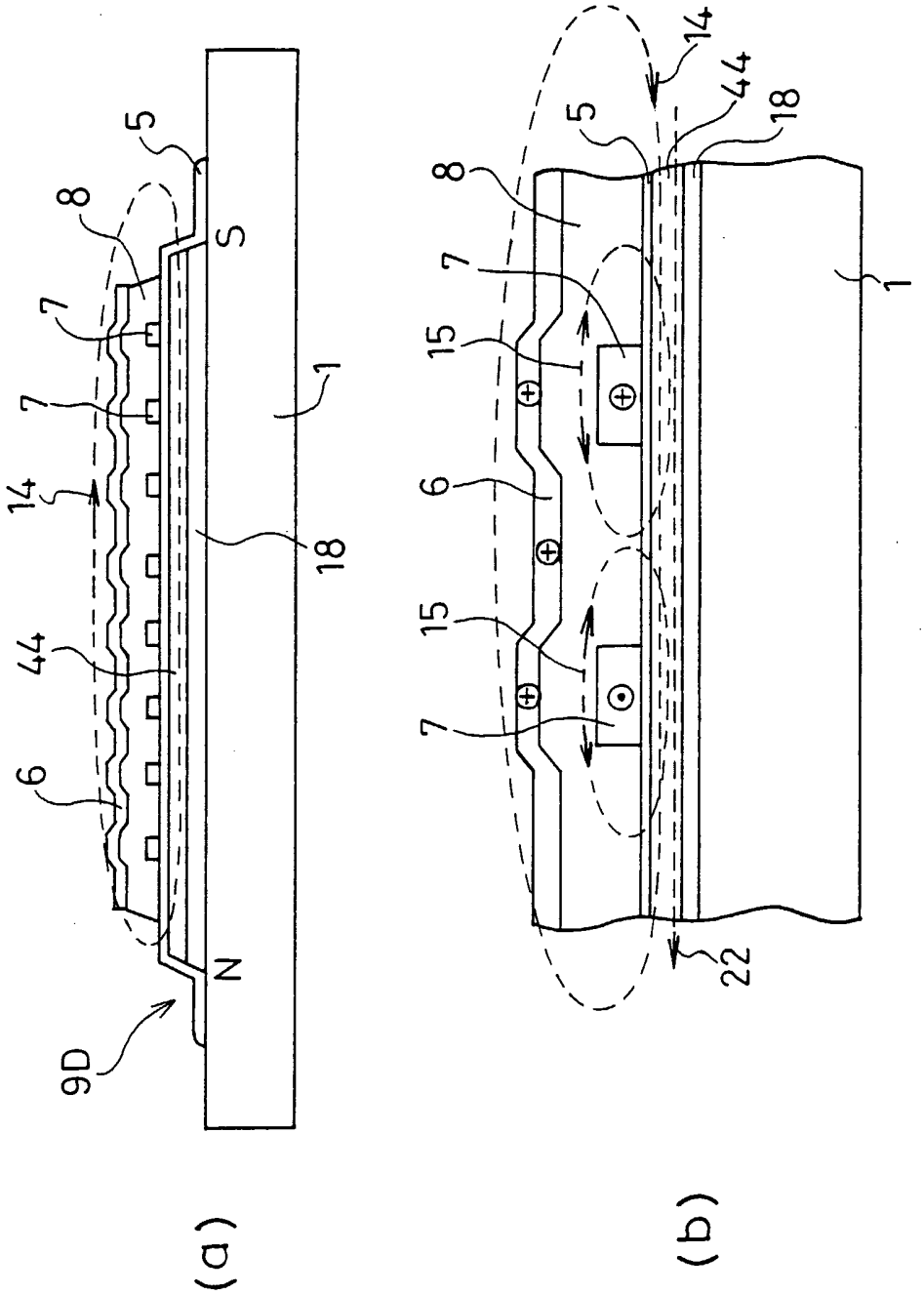


図15

【図16】



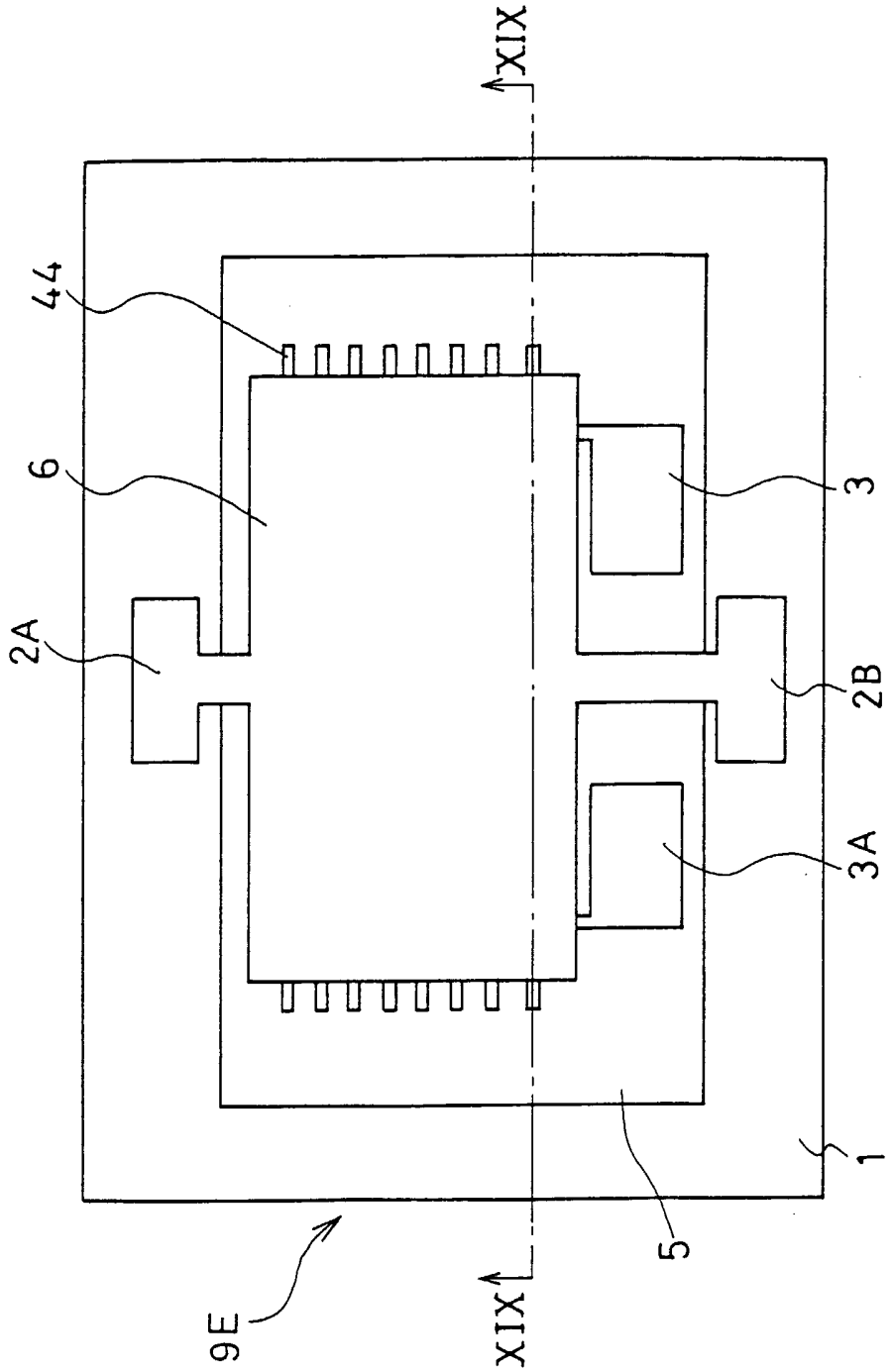


図17

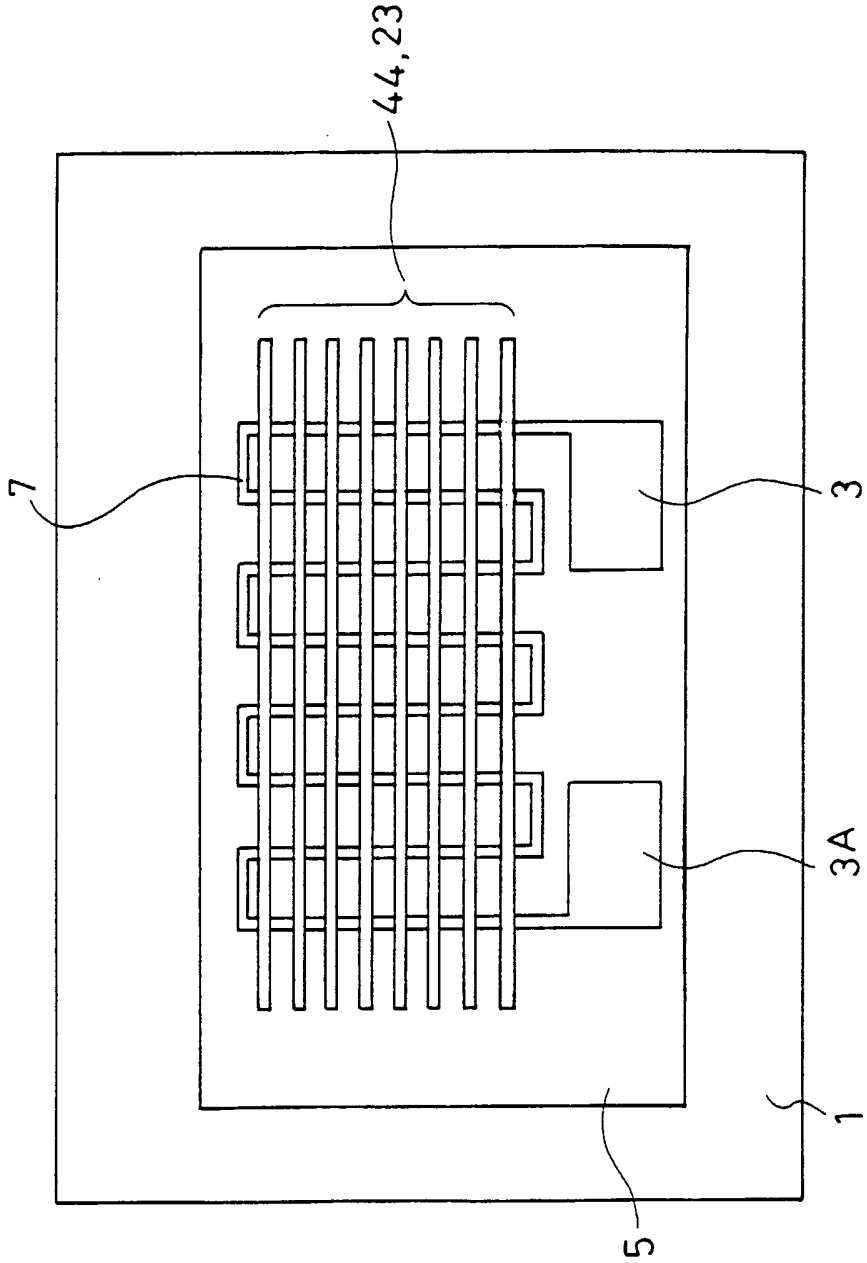


図18

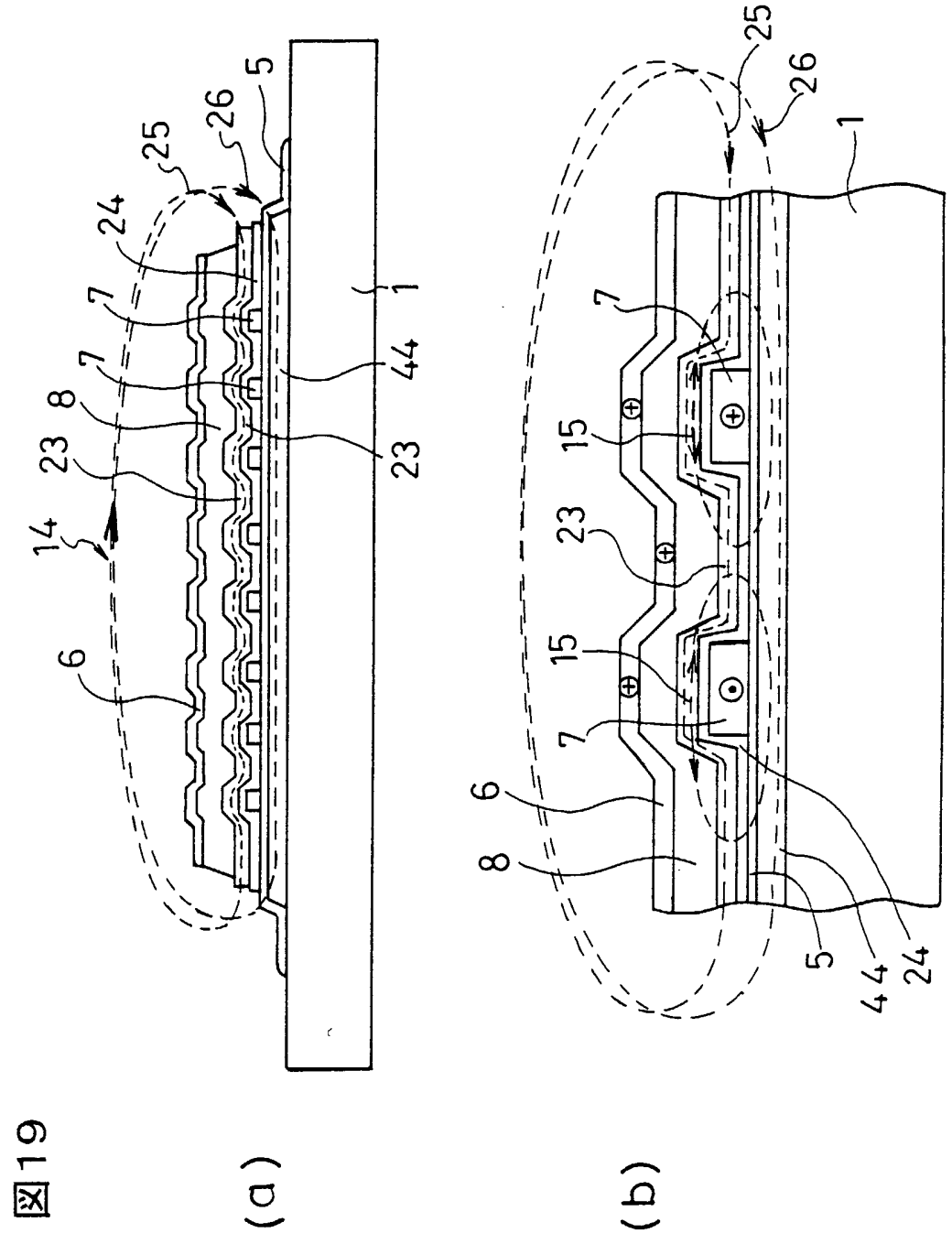


図19

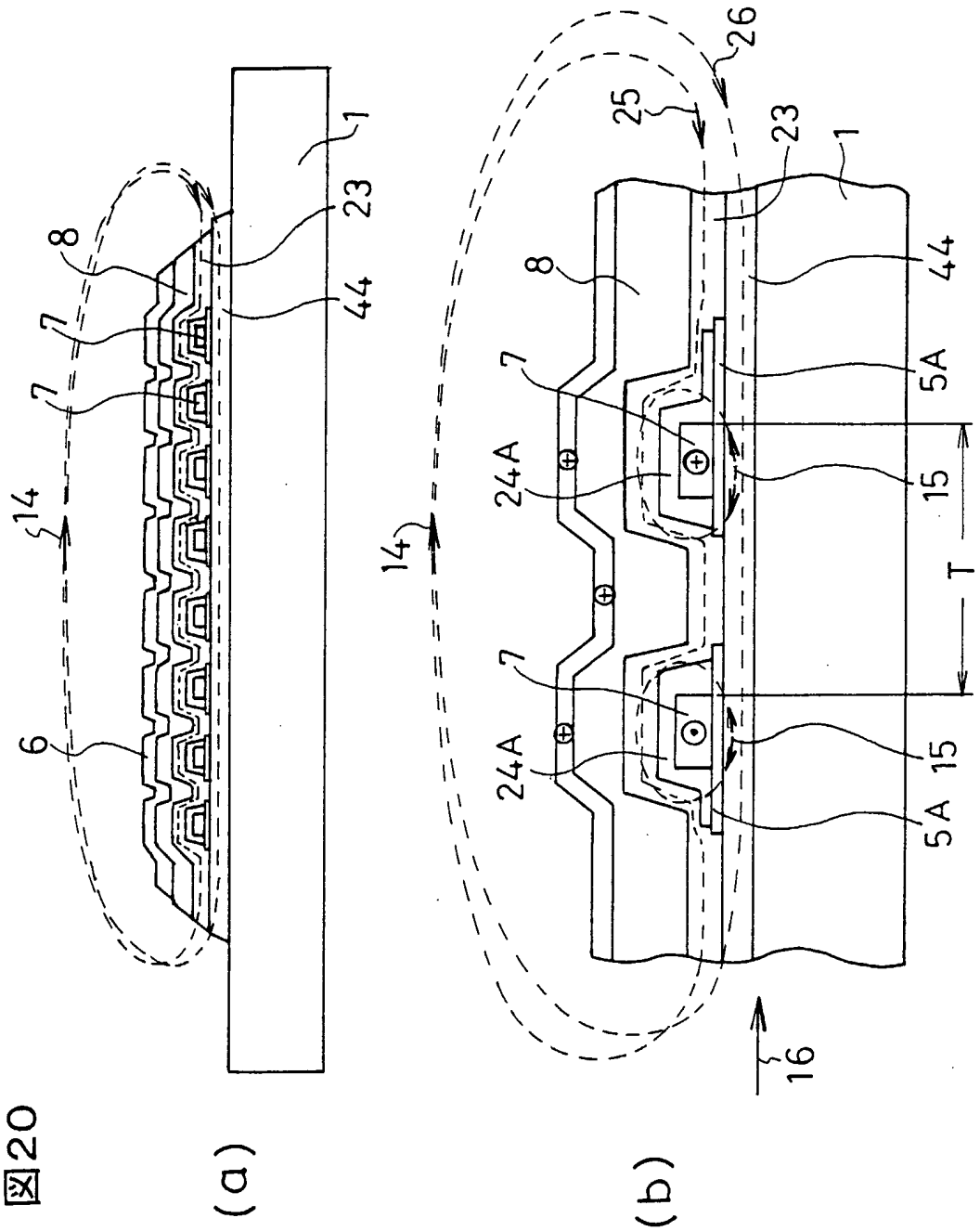


図20

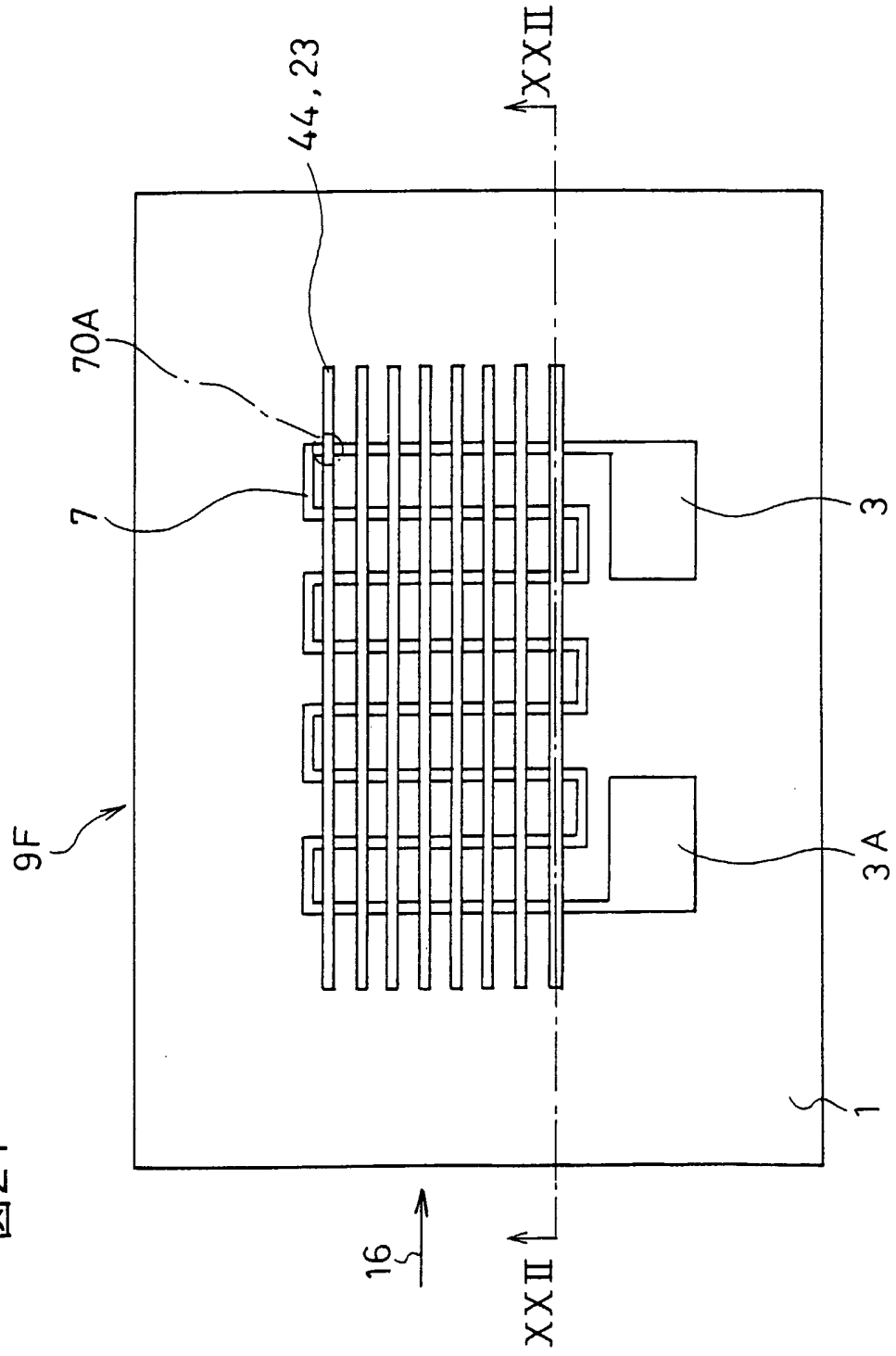


図21

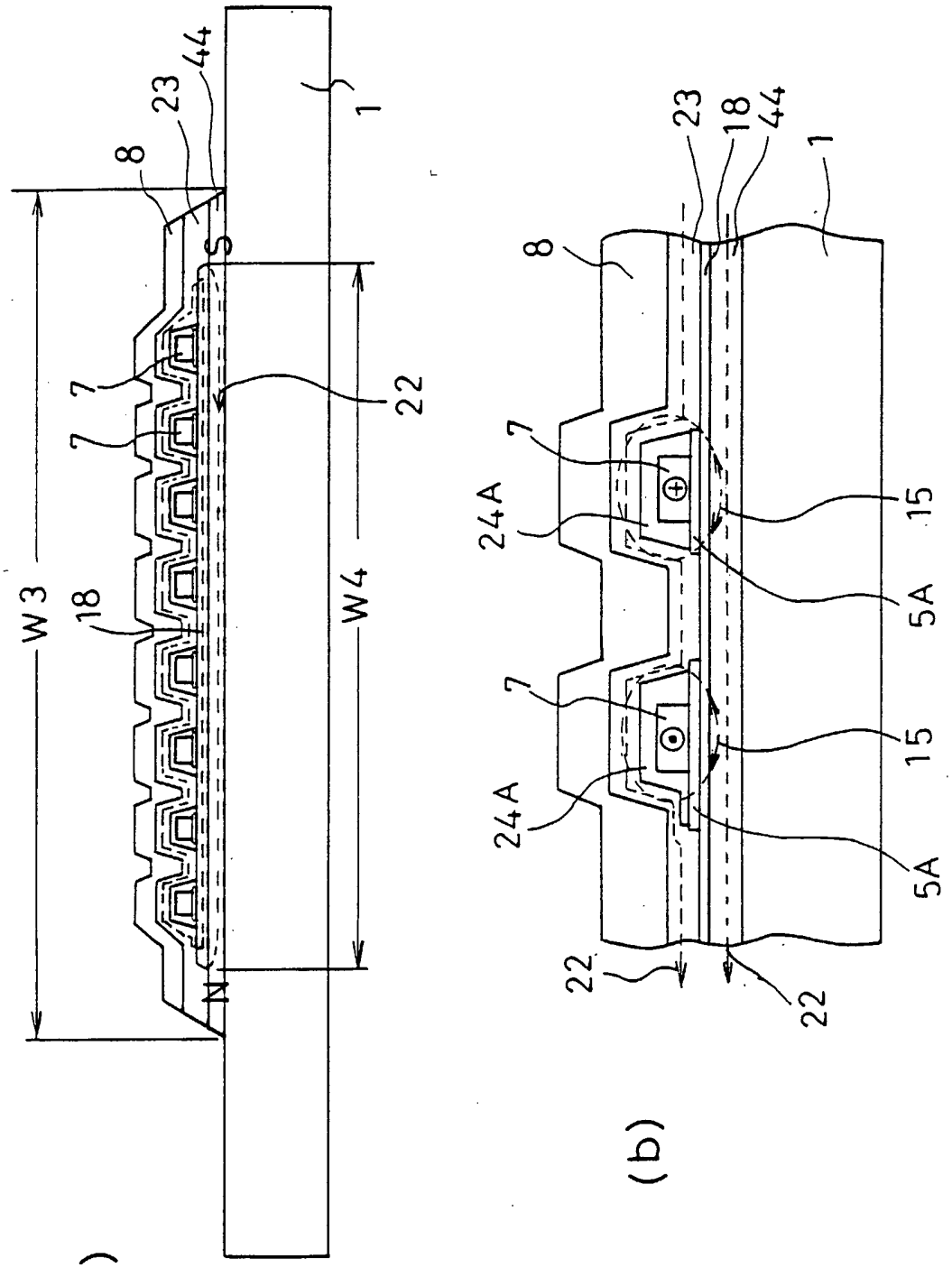
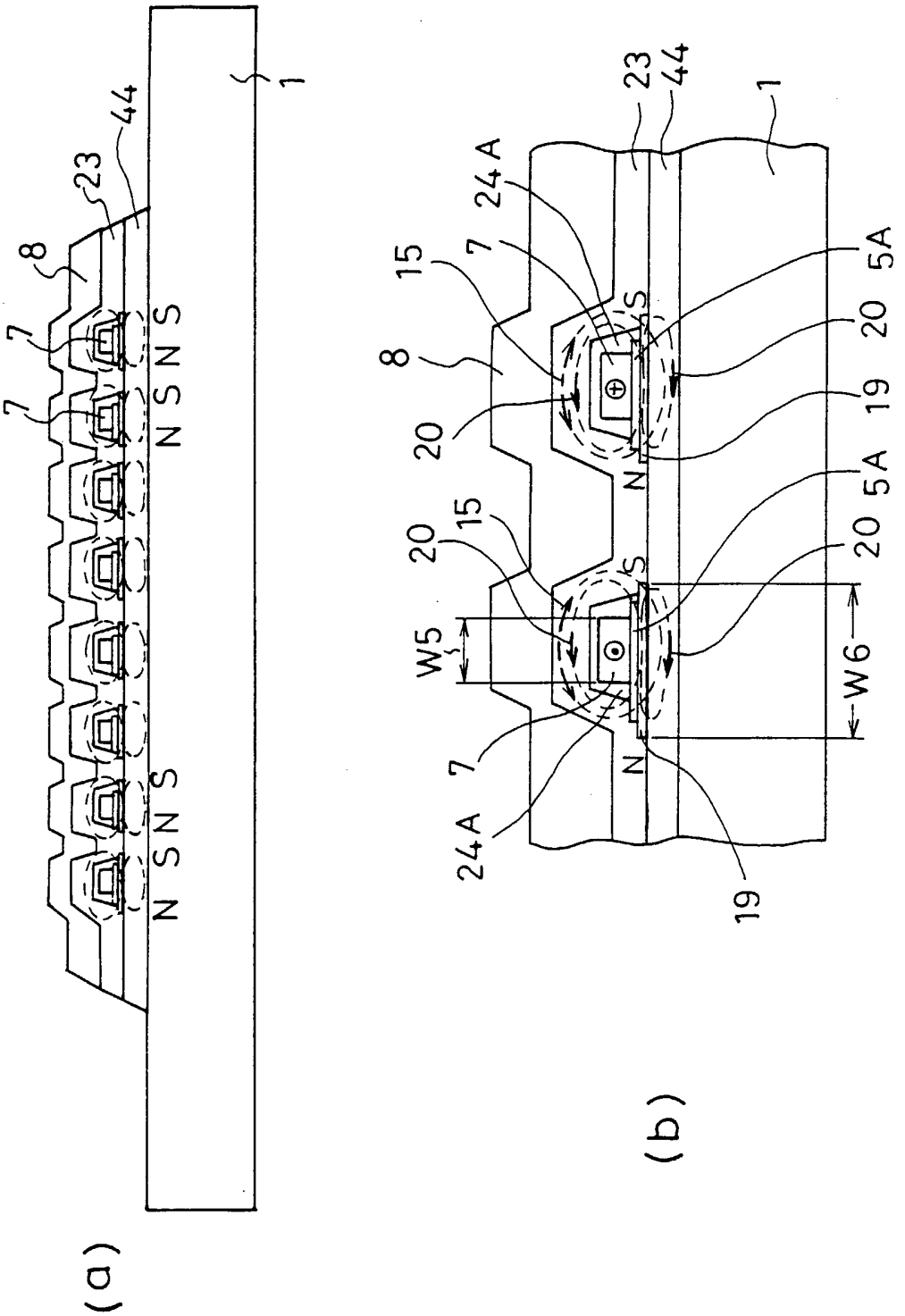


図22

図23


(a)
1
44
23
8
7
7
N S N S
N S N S
(b)
1
23
44
24A
7
15
8
20
20
15
20
W5
7
24A
19
5A
20
19
5A
20
W6

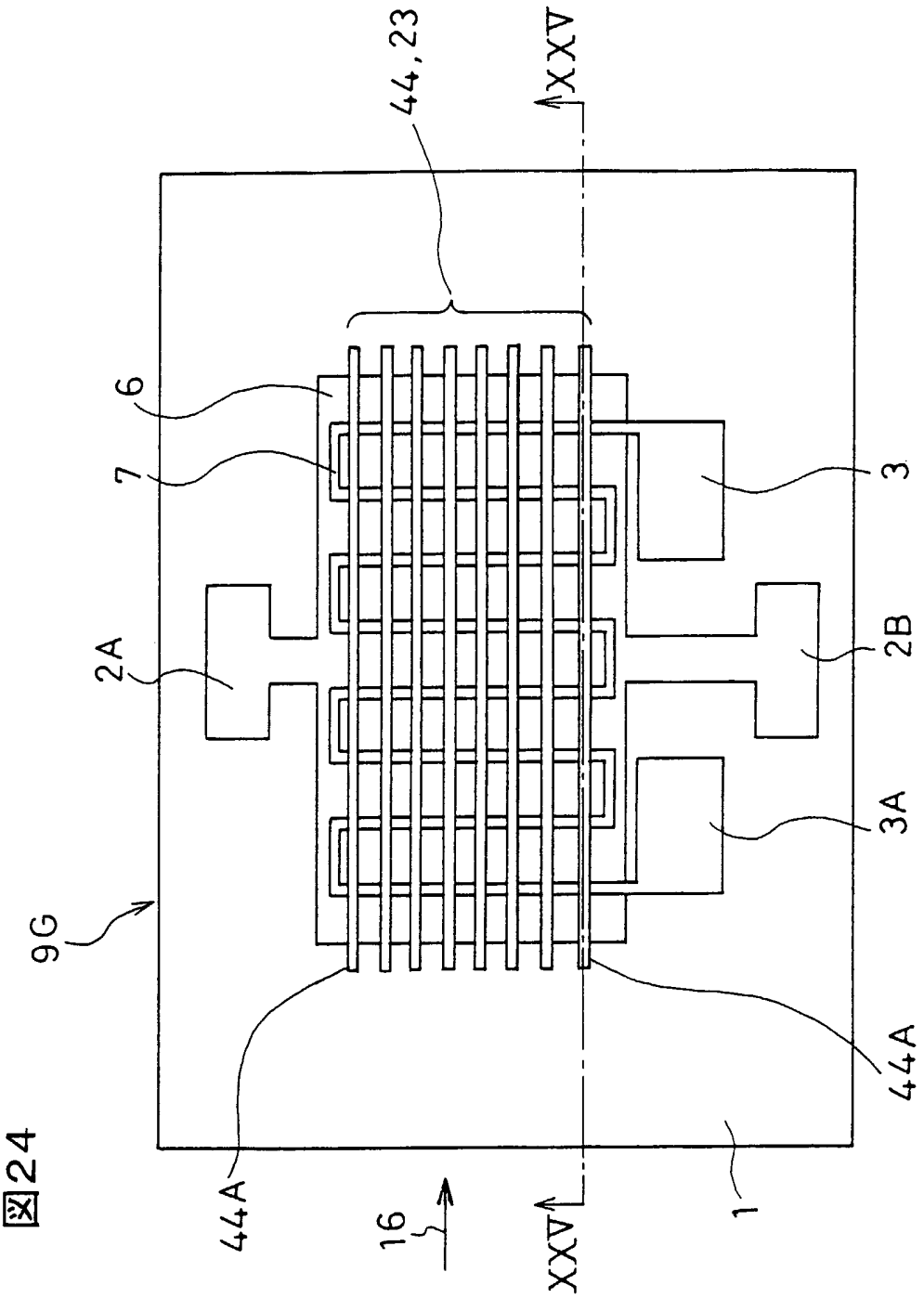


図24

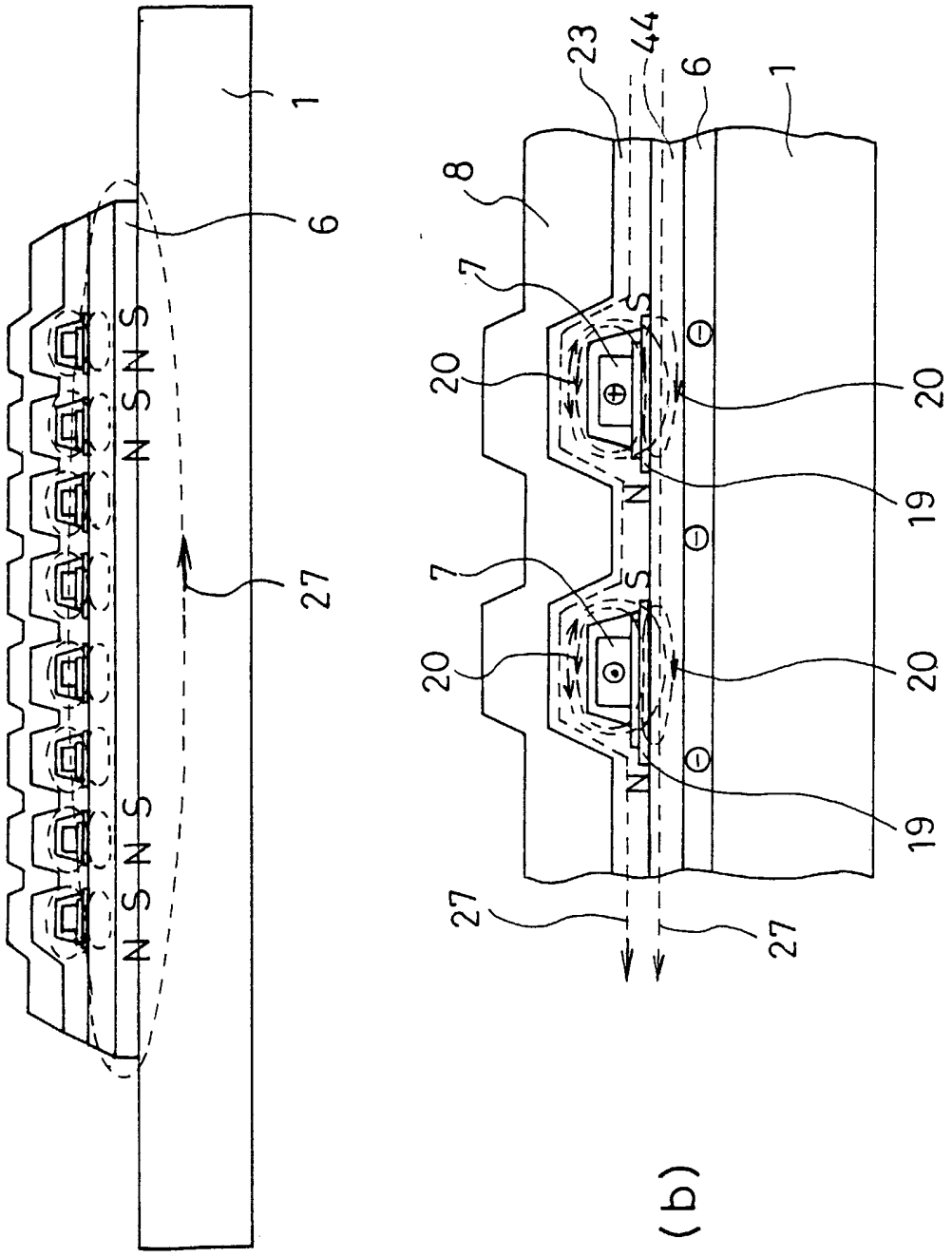


図25

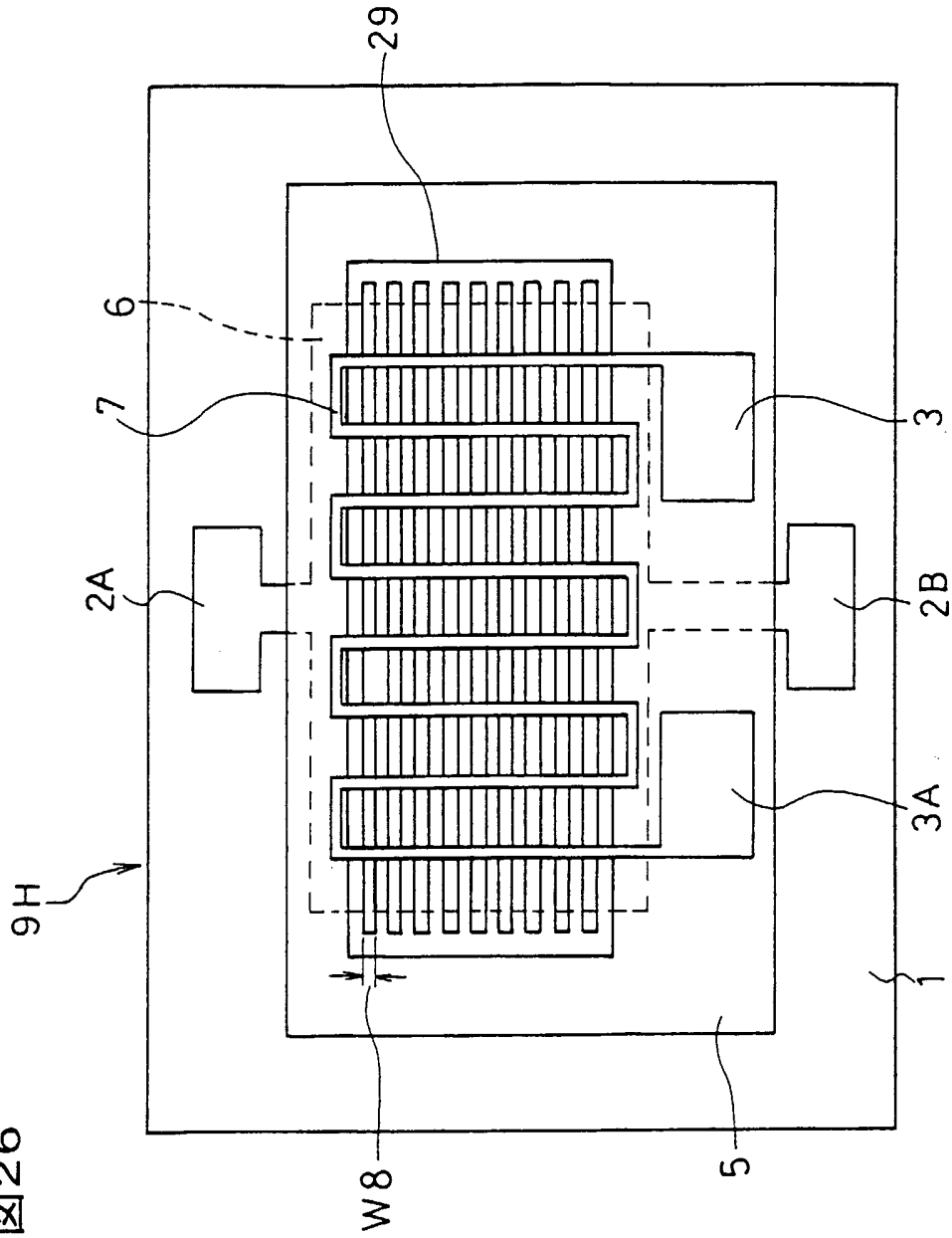
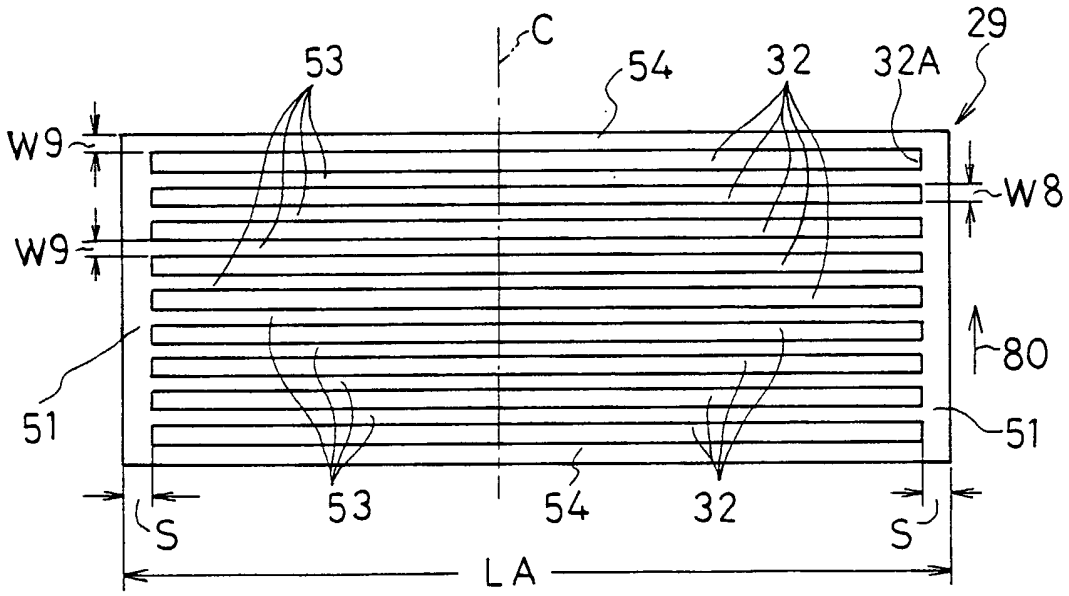


図26

図27



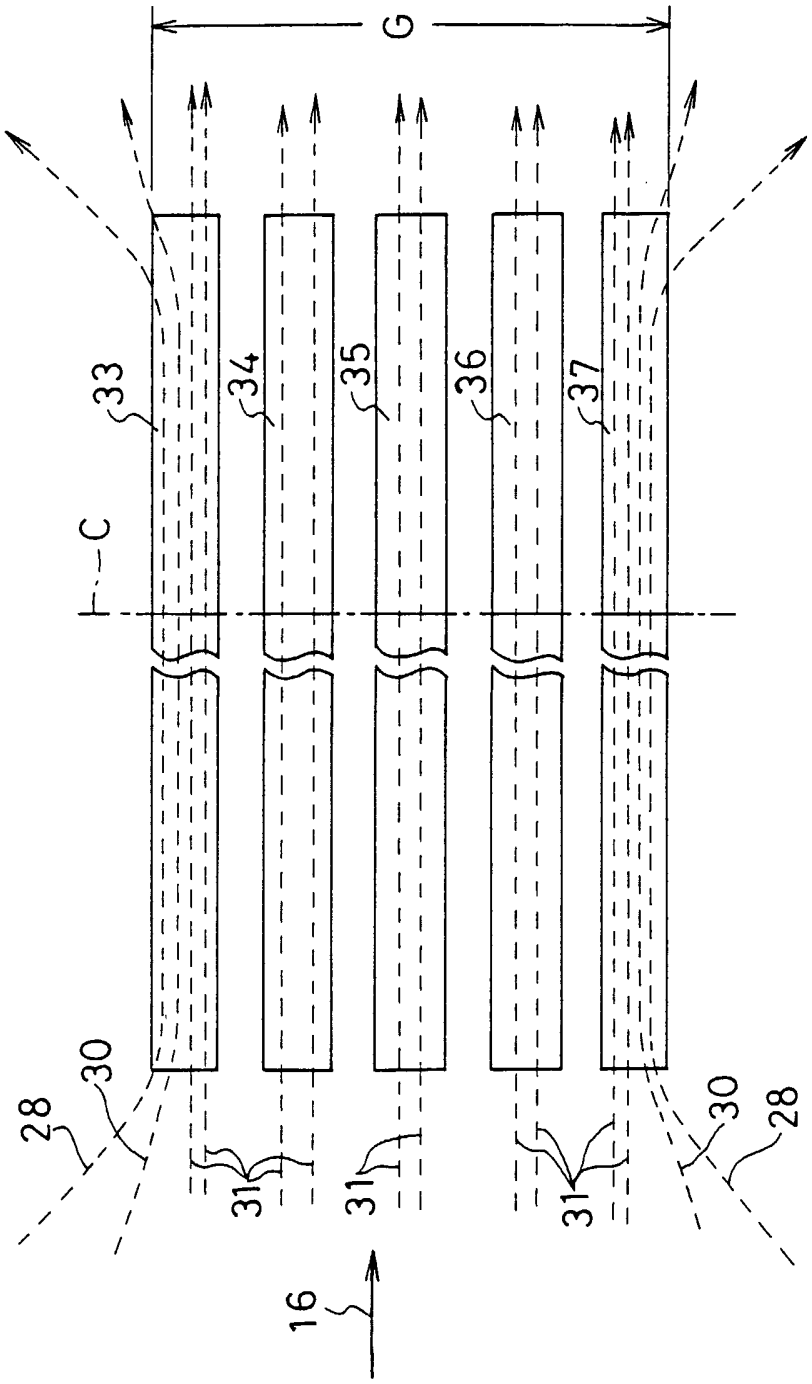


図28

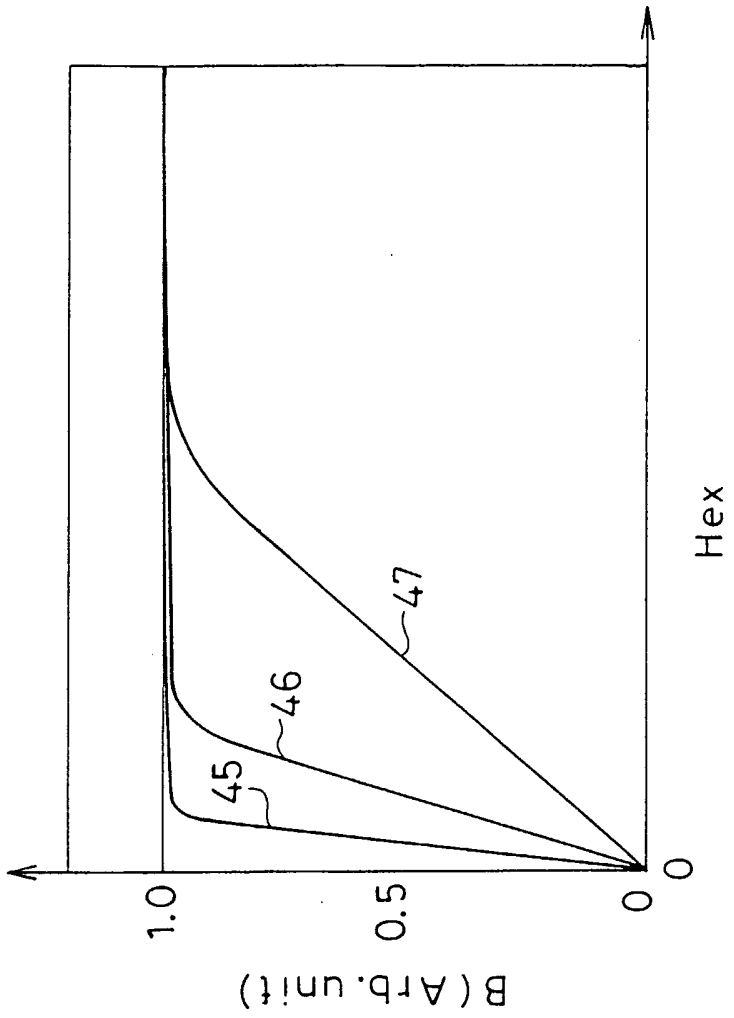


図29

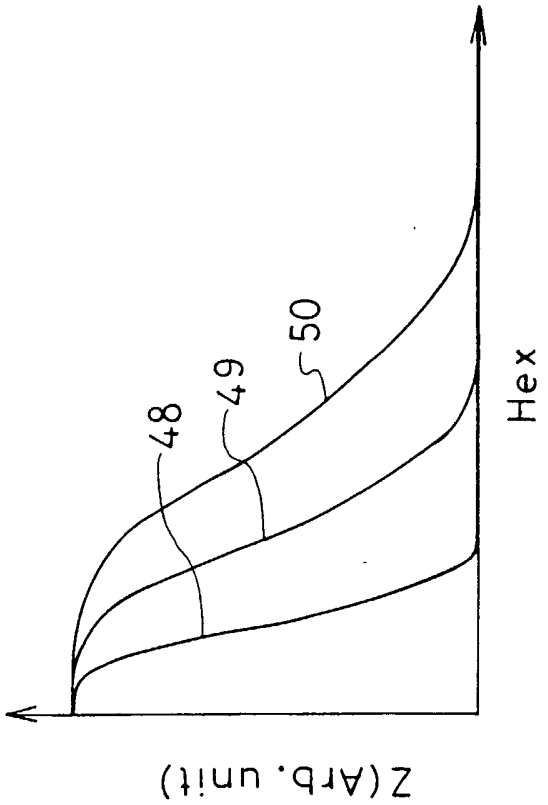


図30

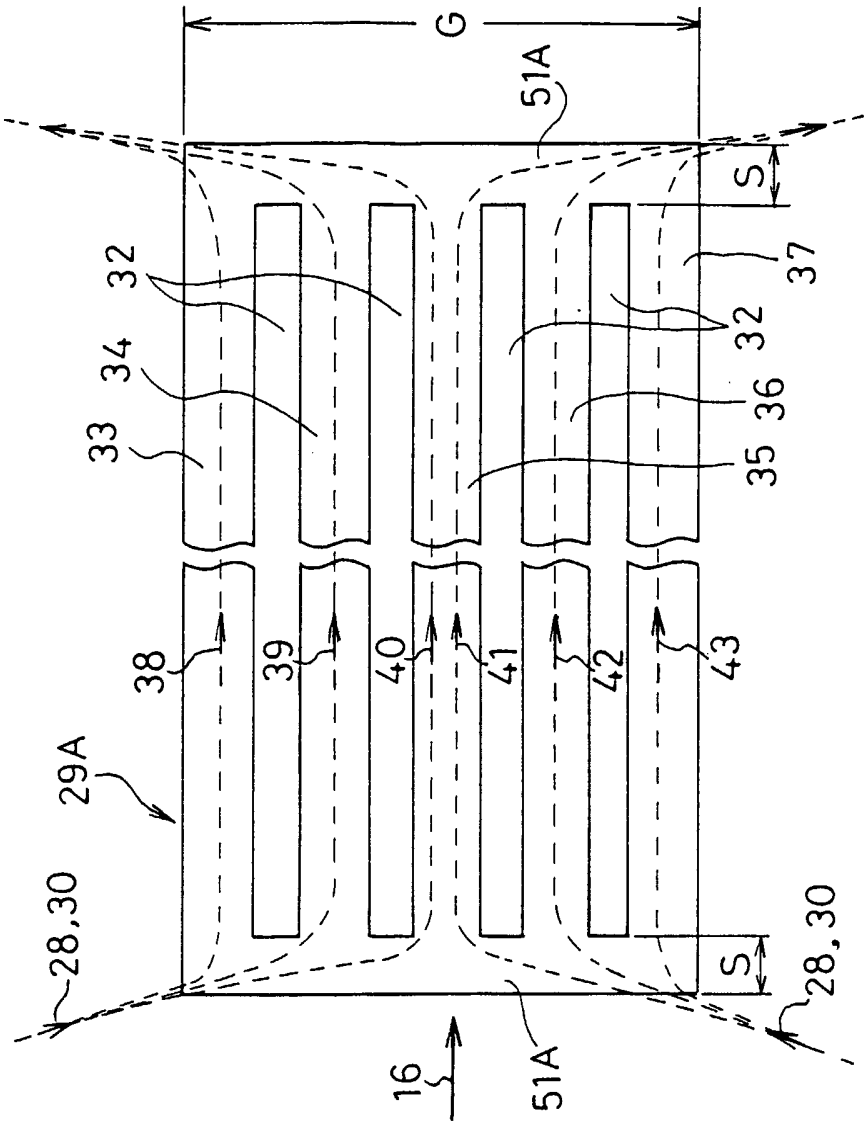


図31

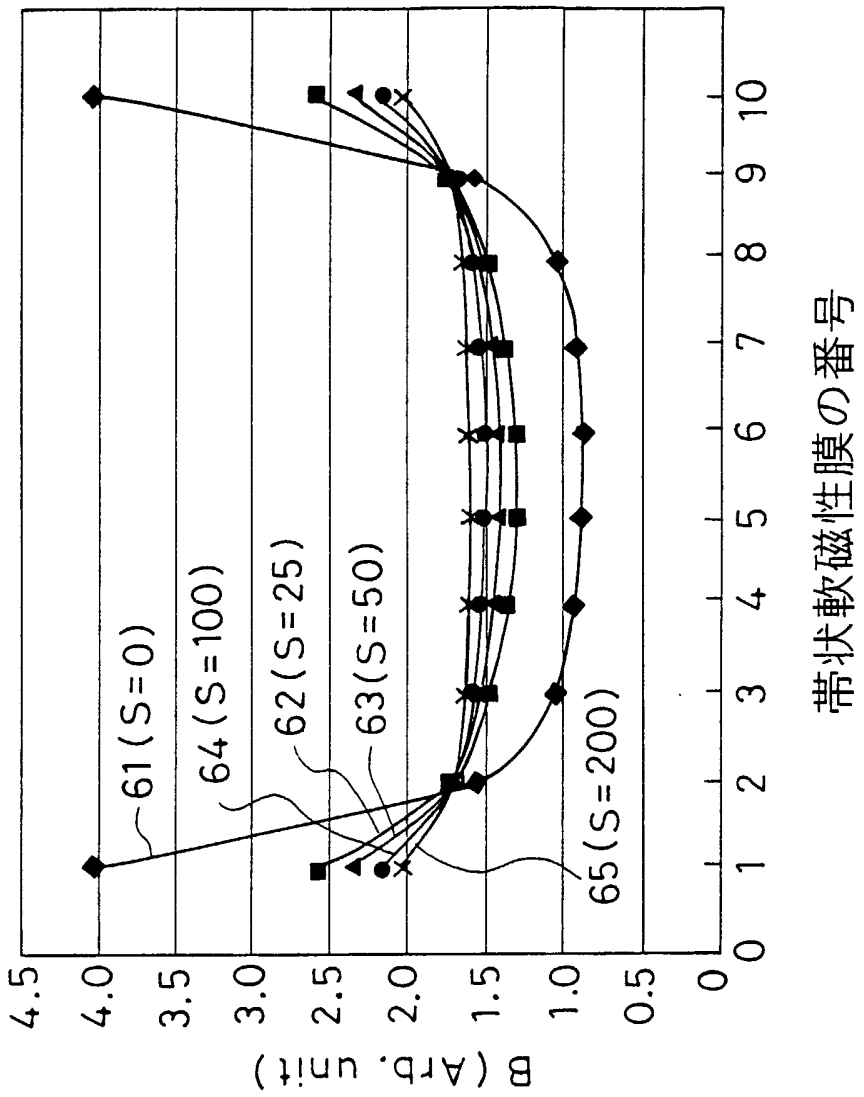

B (Arb. unit)
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
帯状軟磁性膜の番号
61 (S=0)
64 (S=100)
62 (S=25)
63 (S=50)
65 (S=200)

図32

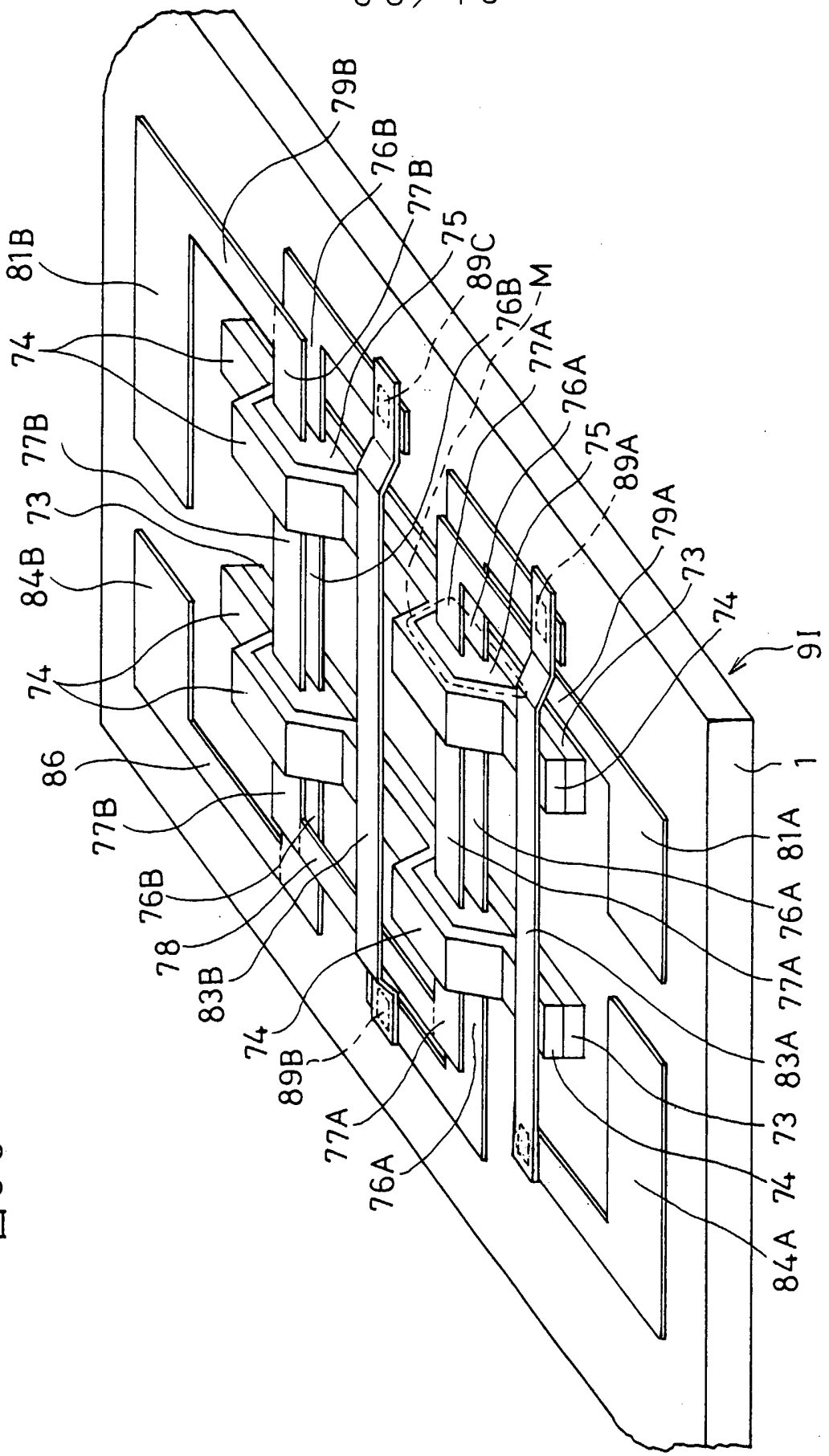

79B
76B
77B
75
89C
76B
77A
M
76A
75
89A
79A
73
74
91
1
81A
76A
77A
83A
73
74
84A
81B
74
77B
73
84B
74
86
77B
76B
78
83B
74
89B
77A
76A

図33

図34

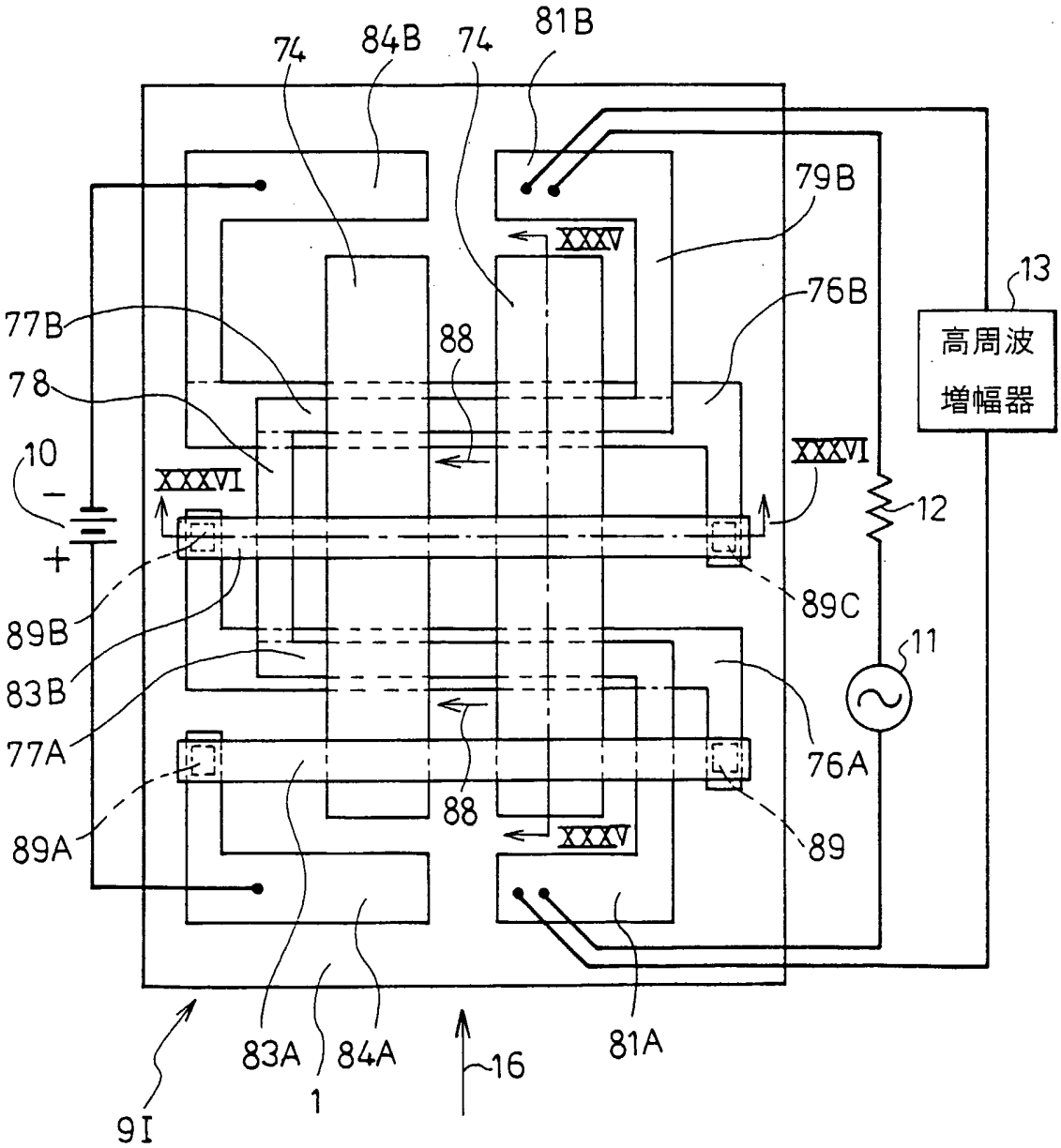

74
84B
74
81B
79B
XXXV
13
76B
77B
88
78
高周波
増幅器
10
XXXVI
XXXVI
12
89C
89B
11
83B
77A
76A
88
89A
XXXV
89
83A
84A
81A
16
1
9I

図35

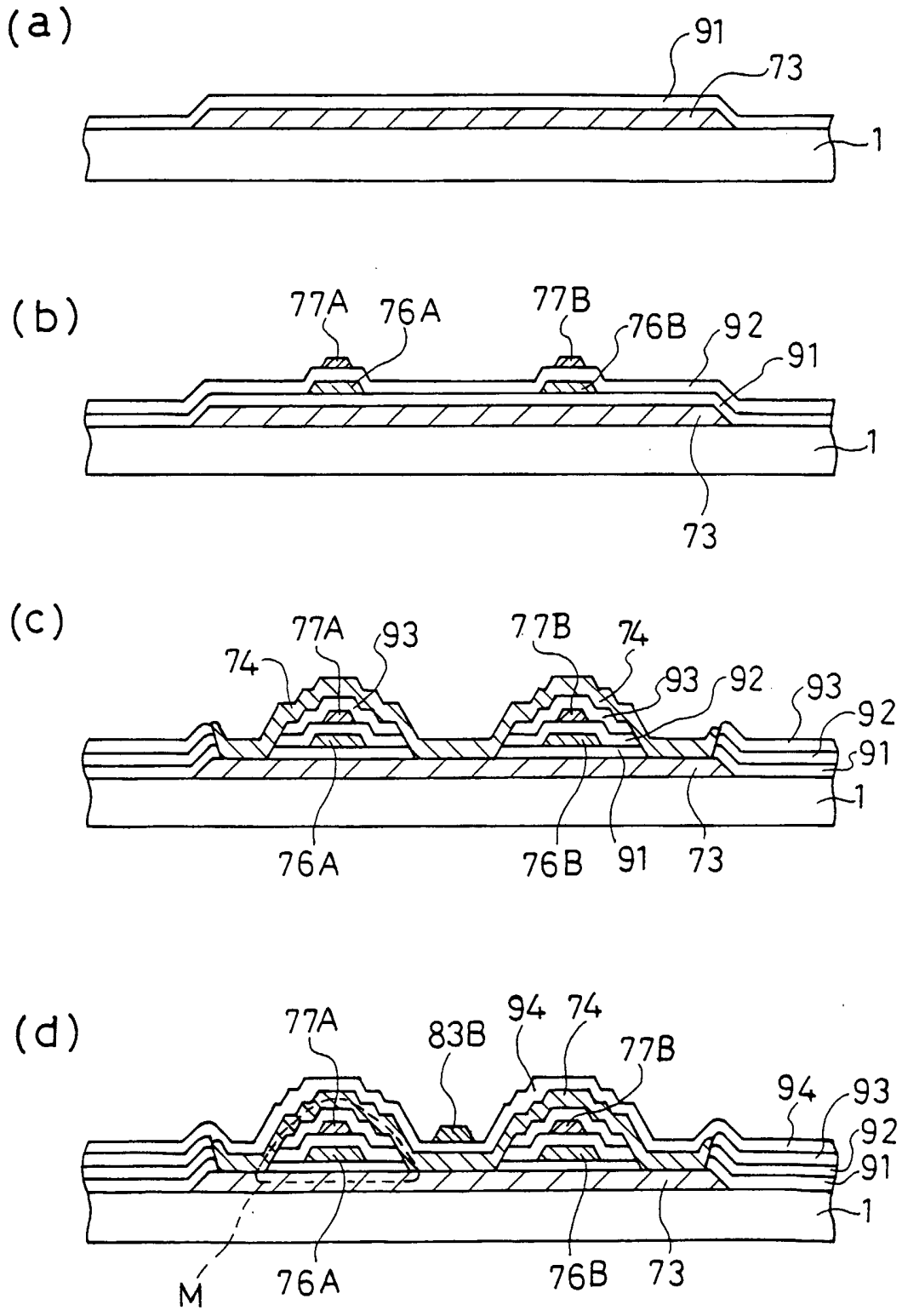
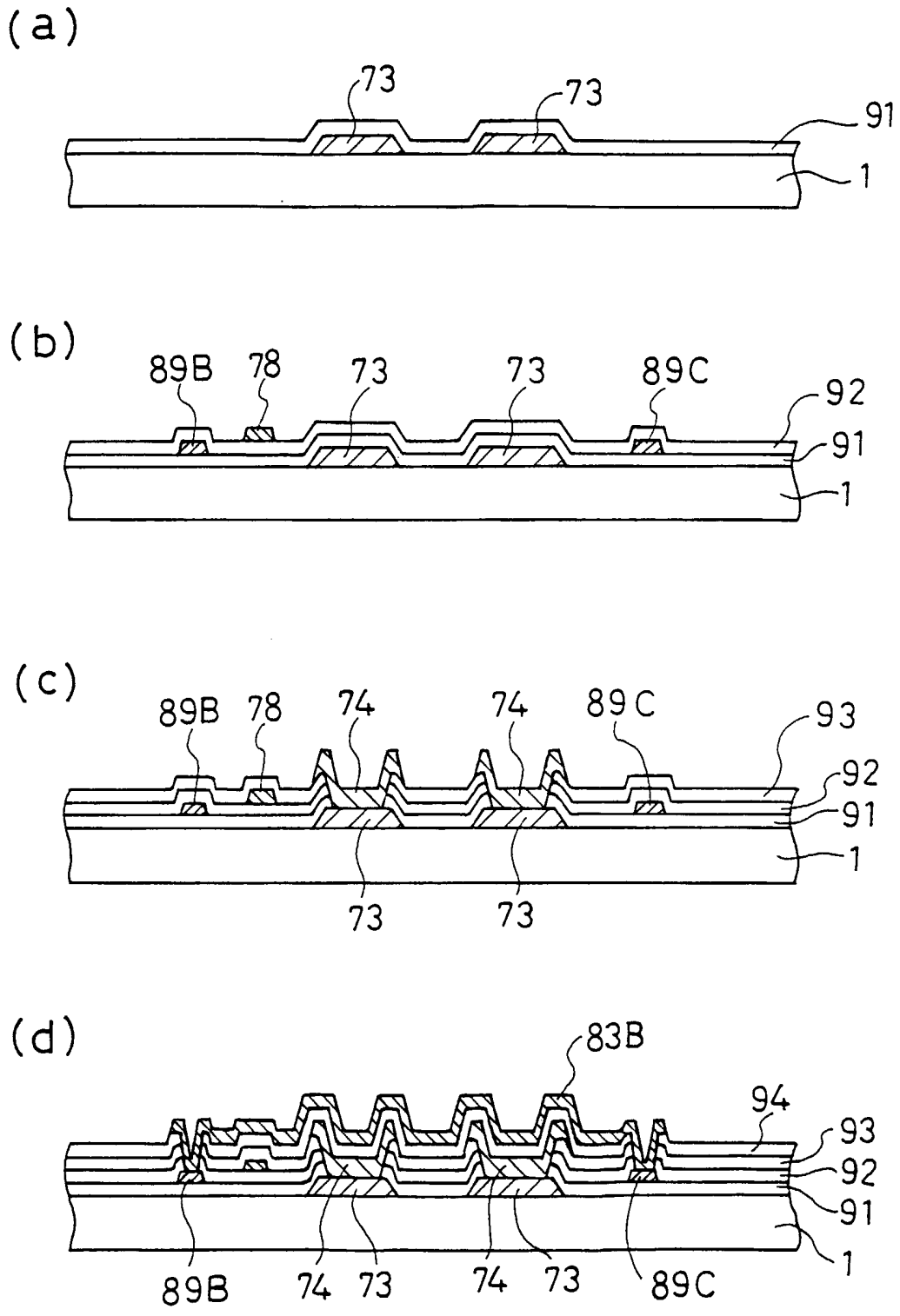

(a)
91
73
1
(b)
77A
76A
77B
76B
92
91
1
73
(c)
77A
93
74
77B
74
93
92
93
92
91
1
76A
76B
91
73
(d)
77A
83B
94
74
77B
94
93
92
91
1
M
76A
76B
73

図36


(a)
73
73
91
1
(b)
89B
78
73
73
89C
92
91
1
(c)
89B
78
74
74
89C
93
92
91
1
73
73
(d)
83B
94
93
92
91
1
89B
74
73
74
73
89C

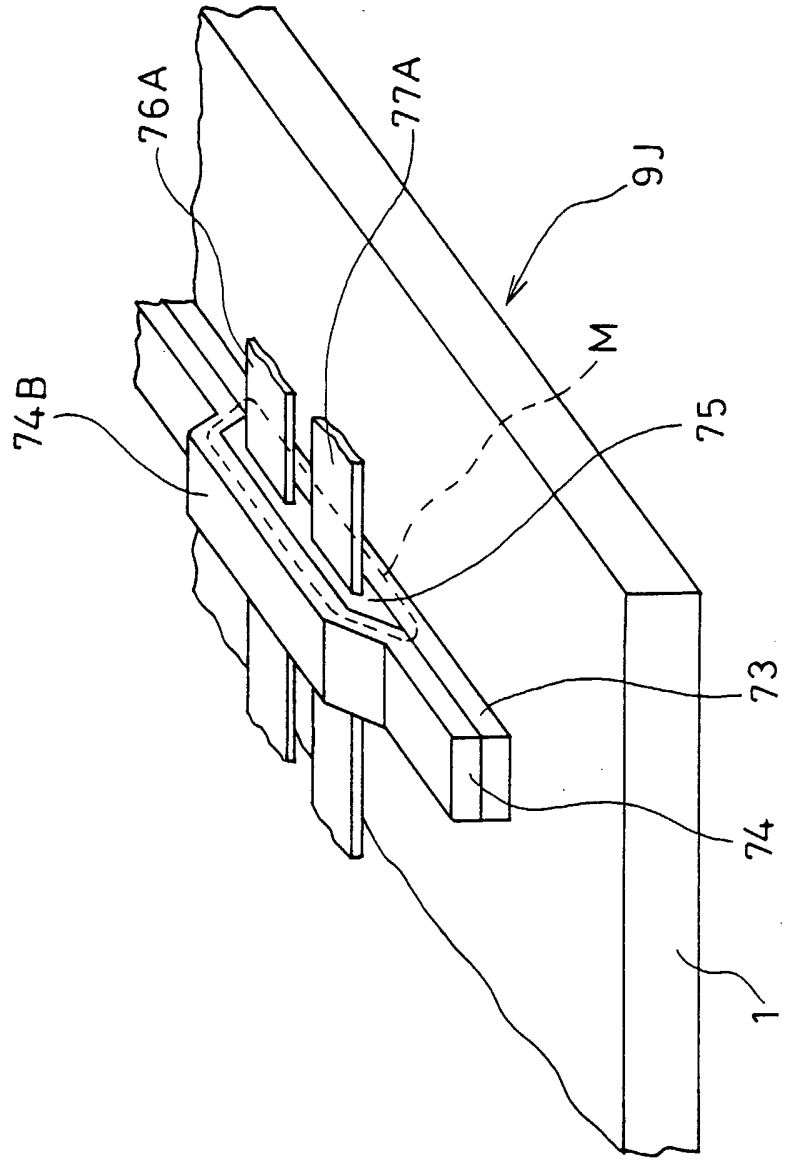


図37

図38

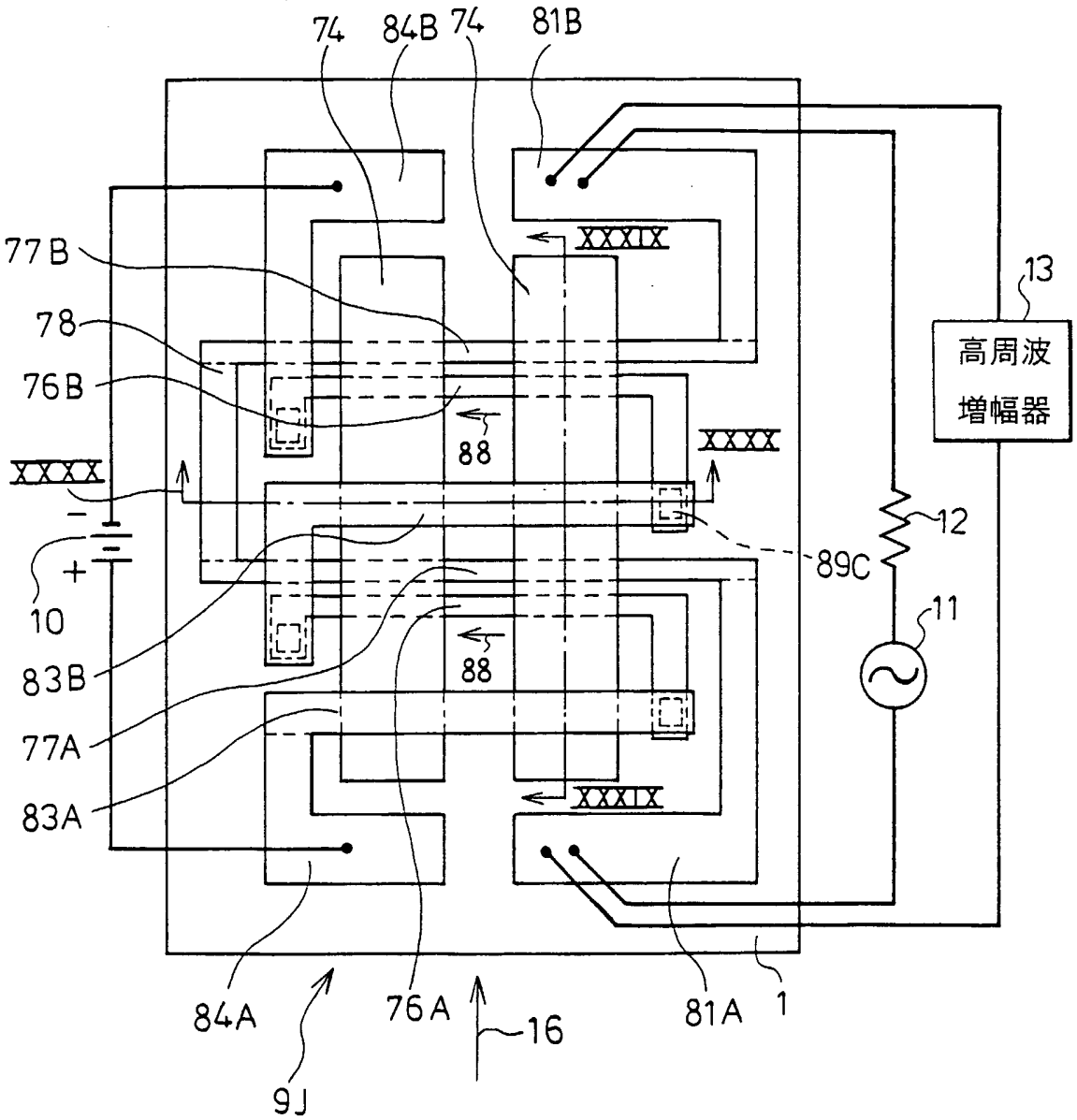

74
84B
74
81B
77B
78
76B
XXXIX
88
XXXX
13
高周波
増幅器
12
89C
11
10
83B
77A
83A
88
XXXIX
84A
9J
76A
16
81A
1

図39

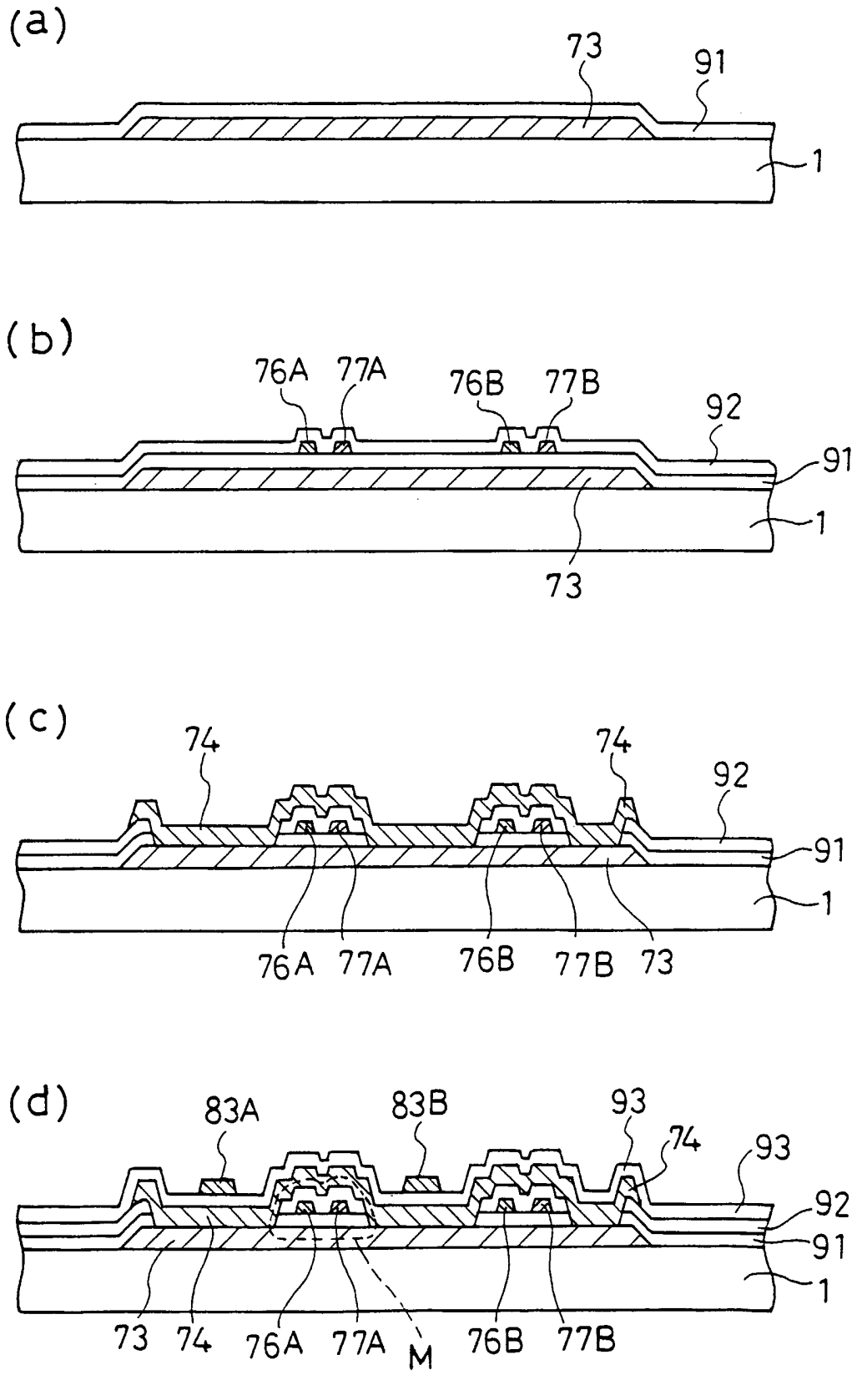

(a)
73
91
1
(b)
76A
77A
76B
77B
92
91
1
73
(c)
74
74
92
91
1
76A
77A
76B
77B
73
(d)
83A
83B
93
74
93
92
91
1
73
74
76A
77A
M
76B
77B

図４０ ４０／４３

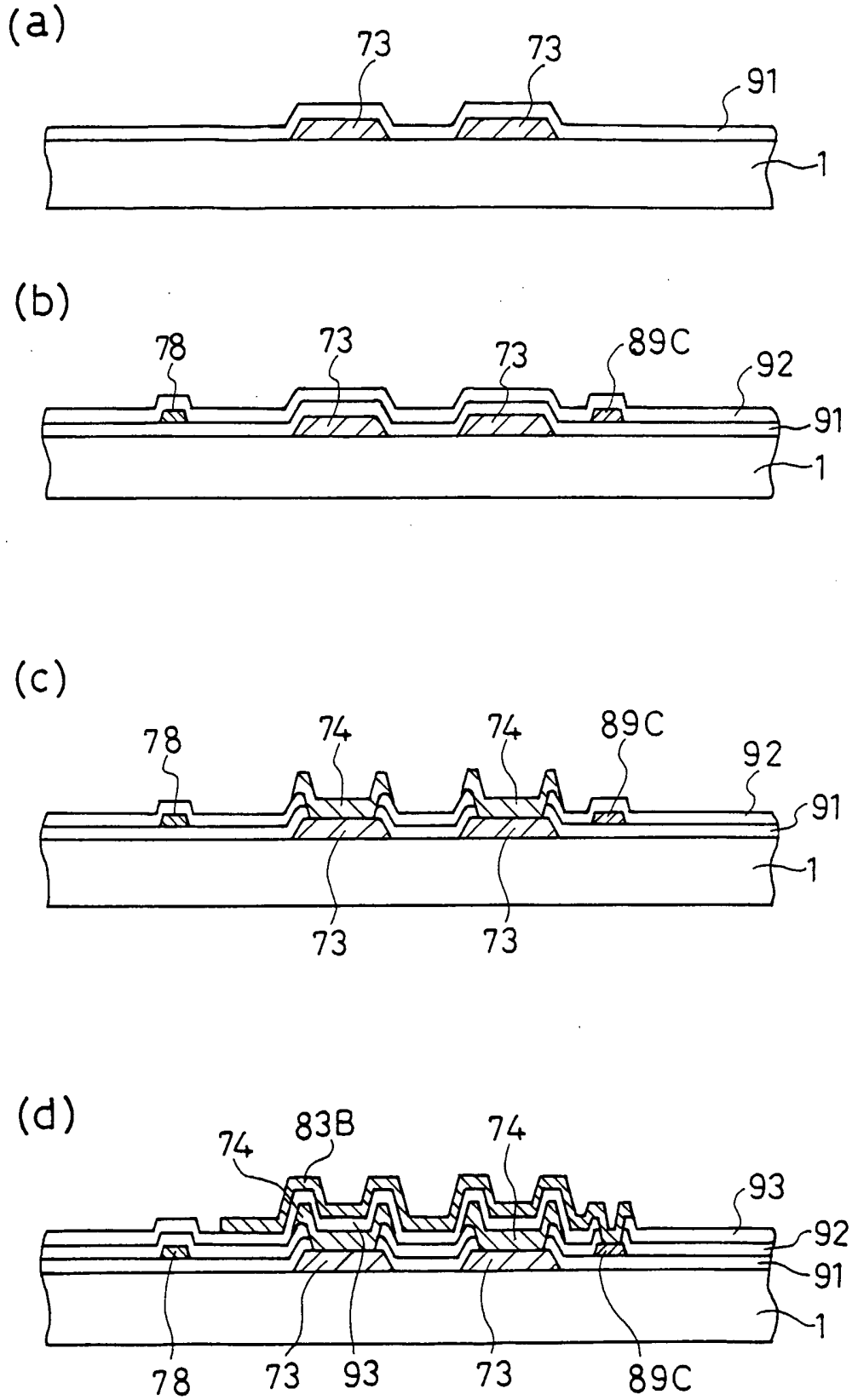
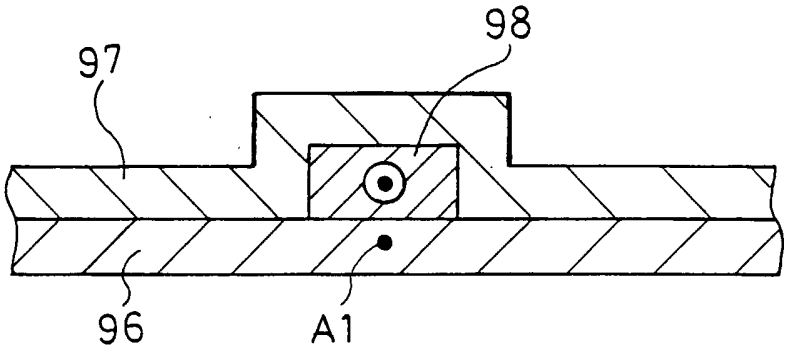

(a)
73
73
91
1
(b)
78
73
73
89C
92
91
1
(c)
78
74
74
89C
92
91
1
73
73
(d)
74
83B
74
93
92
91
1
78
73
93
73
89C

図41

(a)



(b)

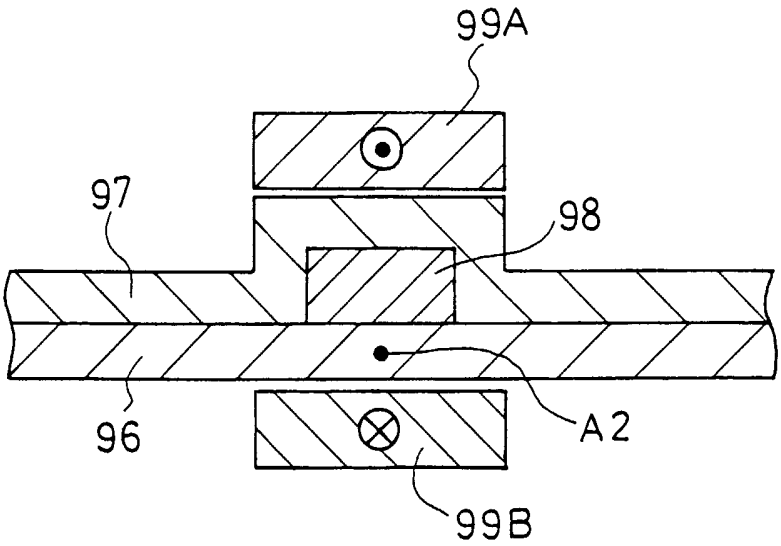
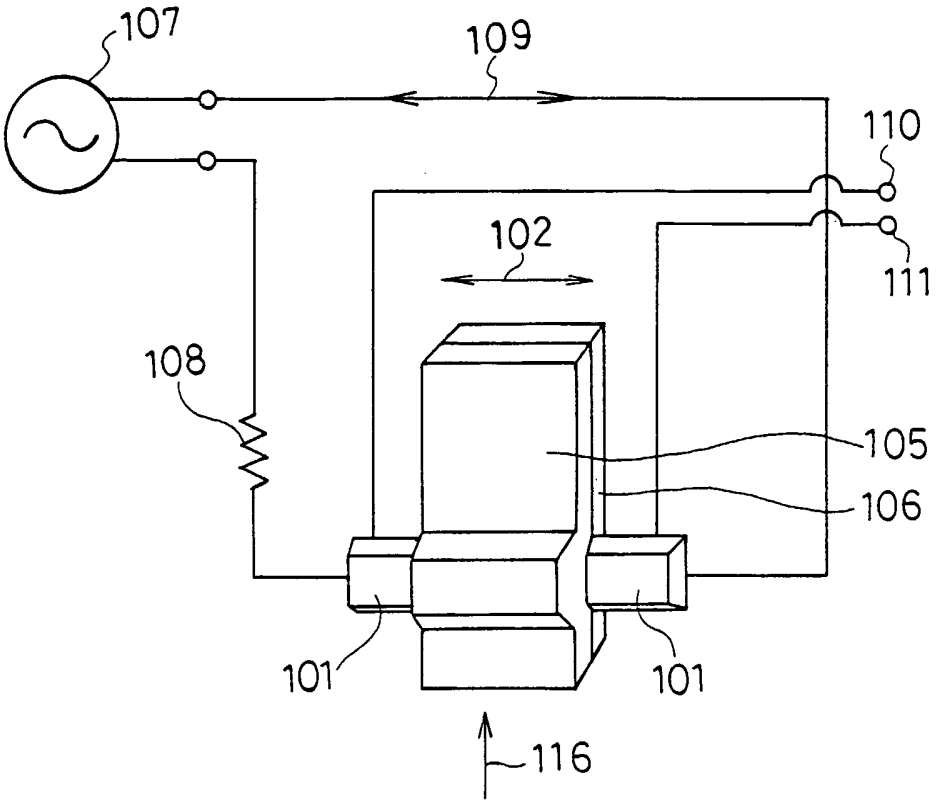


図42

(a)


107
109
110
102
111
108
105
106
101
101
116

(b)

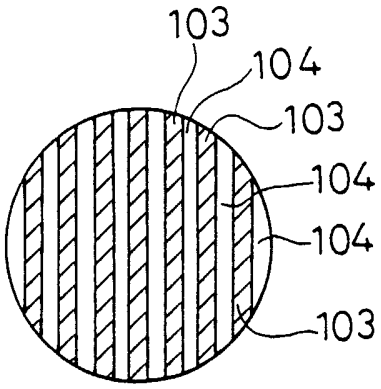
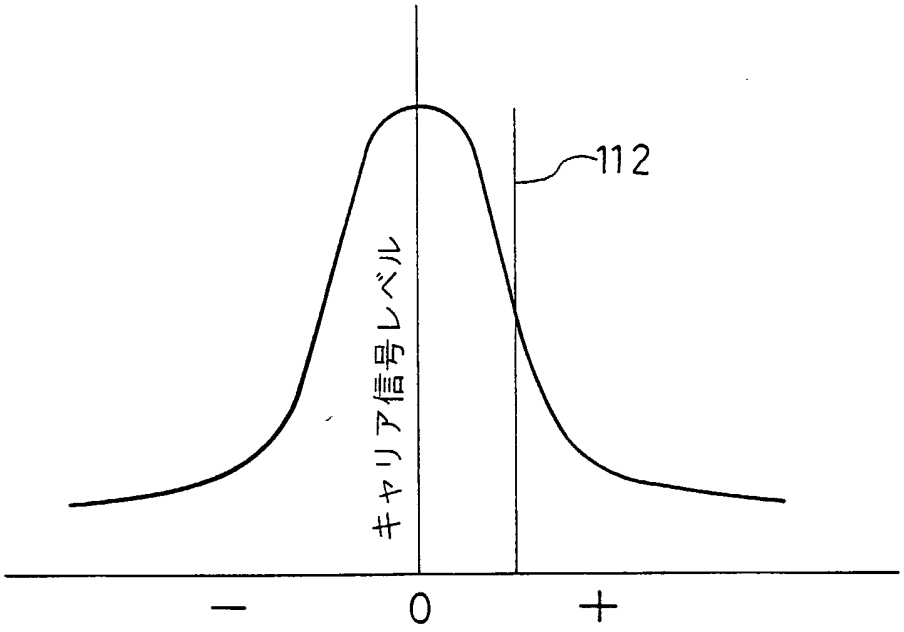

103
104
103
104
104
103

図43



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP02/07188

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[7] H01L43/00, G01R33/02, G11B5/33

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl[7] H01L43/00, G01R33/02, G11B5/33

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JICST FILE

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5889403 A (Canon Denshi Kabushiki Kaisha), 30 March, 1999 (30.03.99), Full text & JP 8-285930 A	1-35
A	JP 9-320020 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 12 December, 1997 (12.12.97), Full text (Family: none)	1-35
A	JP 2000-19034 A (Toyota Central Research And Development Laboratories, Inc.), 21 January, 2000 (21.01.00), Full text (Family: none)	1-35

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C. [ ] See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 21 October, 2002 (21.10.02)	Date of mailing of the international search report 05 November, 2002 (05.11.02)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP02/07188

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-193728 A (Toyota Central Research And Development Laboratories, Inc.), 14 July, 2000 (14.07.00), Full text (Family: none)	1-35
A	JP 2001-155310 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 08 June, 2001 (08.06.01), Full text & GB 2359183 A & KR 2001051513 A	1-35
A	EP 831335 A2 (Tokin Corp.), 25 March, 1998 (25.03.98), & Full text & JP 10-90382 A & TW 334799 A & KR 98024682 A & US 6069475 A & SG 82576 A & SG 89311 A & CN 1186295 A	1-35
A	Takeshi MORIKAWA et al., "Enhancement of Giant Magneto-Impedance in Layered Film by Insulator Separation", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.32, No.5, September 1996, pages 4965 to 4967	1-35
P,A	JP 2001-332779 A (Alps Electric Co., Ltd.), 30 November, 2001 (30.11.01), Full text (Family: none)	1-35
P,A	JP 2002-57379 A (Alps Electric Co., Ltd.), 22 February, 2002 (22.02.02), Full text (Family: none)	1-35

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ０２／０７１８８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））
Int. Cl[7] H01L43/00, G01R33/02, G11B5/33

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））
Int. Cl[7] H01L43/00, G01R33/02, G11B5/33

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
日本国実用新案公報　１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報　１９７１－２００２年
日本国実用新案登録公報　１９９６－２００２年
日本国登録実用新案公報　１９９４－２００２年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）
ＪＩＣＳＴ科学技術文献ファイル

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
A	US 5889403 A(CANON DENSHI KABUSHIKI KAISHA)1999.03.30,全文 &JP 8-285930 A	1-35
A	JP 9-320020 A(松下電器産業株式会社)1997.12.12,全文 (ファミリーなし)	1-35
A	JP 2000-19034 A(株式会社豊田中央研究所)2000.01.21,全文 (ファミリーなし)	1-35

☒ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２１．１０．０２	05.11.02

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官（権限のある職員）		
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	粟野　正明	４Ｍ	９３５３
	電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４６２		

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページ）（１９９８年７月）

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
A	JP 2000-193728 A(株式会社豊田中央研究所)2000.07.14,全文 (ファミリーなし)	1-35
A	JP 2001-155310 A(松下電器産業株式会社)2001.06.08,全文 &GB 2359183 A&KR 2001051513 A	1-35
A	EP 831335 A2(TOKIN CORPORATION)1998.03.25,全文 &JP 10-90382 A&TW 334799 A&KR 98024682 A&US 6069475 A &SG 82576 A&SG 89311 A&CN 1186295 A	1-35
A	Takeshi MORIKAWA et al.'Enhancement of Giant Magneto-Impedance in Layered Film by Insulator Separation',IEEE Transactions on Magnetics, Vol.32, No.5, September 1996, pp.4965-4967	1-35
PA	JP 2001-332779 A(アルプス電気株式会社)2001.11.30,全文 (ファミリーなし)	1-35
PA	JP 2002-57379 A(アルプス電気株式会社)2002.02.22,全文 (ファミリーなし)	1-35