(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3723388号
(P3723388)
(45)発行日　平成17年12月7日(2005.12.7)　(24)登録日　平成17年9月22日(2005.9.22)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G02F　1/09　G02F　1/09　505

請求項の数 5　(全 9 頁)

(21)出願番号　特願平11-268236
(22)出願日　平成11年9月22日(1999.9.22)
(65)公開番号　特開2001-91916(P2001-91916A)
(43)公開日　平成13年4月6日(2001.4.6)
審査請求日　平成14年12月6日(2002.12.6)

(73)特許権者　000001889
三洋電機株式会社
大阪府守口市京阪本通２丁目５番５号
(74)代理人　100098305
弁理士　福島　祥人
(72)発明者　堤　誠
大阪府枚方市岡南町１４丁目５番
(72)発明者　梅本　卓史
大阪府守口市京阪本通２丁目５番５号　三洋電機株式会社内
(72)発明者　山野　耕治
大阪府守口市京阪本通２丁目５番５号　三洋電機株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光－マイクロ波変調器

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
マイクロ波信号および光信号のうち一方を他方により変調するための光－マイクロ波変調器であって、
ＹＩＧ（イットリウム－鉄－ガーネット）単結晶と、前記ＹＩＧ単結晶の主面に周期的に配列された複数の強磁性細線とを備え、光信号が前記複数の強磁性細線と交わる方向に沿って前記ＹＩＧ単結晶の側面から入力されることを特徴とする光－マイクロ波変調器。
【請求項２】
前記複数の強磁性細線は、前記ＹＩＧ単結晶上に形成されることを特徴とする請求項１記載の光－マイクロ波変調器。
【請求項３】
前記ＹＩＧ単結晶は、ＧＧＧ（ガドリニウム－ガリウム－ガーネット）基板上に形成されることを特徴とする請求項１または２記載の光－マイクロ波変調器。
【請求項４】
一端からマイクロ波信号を入力し、他端からマイクロ波信号を出力するための入出力用線路をさらに備え、前記入出力用線路は、前記複数の強磁性細線と並列に配置されることを特徴とする請求項１～３のいずれかに記載の光－マイクロ波変調器。
【請求項５】
マイクロ波に対応する静磁波を前記ＹＩＧ単結晶に発生させるための入力用線路と、前記ＹＩＧ単結晶を伝搬する静磁波を検出するための出力用線路とをさらに備え、前記入力用

線路および出力用線路は、前記複数の強磁性細線と交わる方向に配置されることを特徴とする請求項１～３のいずれかに記載の光－マイクロ波変調器。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、マイクロ波信号および光信号のうち一方を他方により変調するための光－マイクロ波変調器に関するものである。

【０００２】

【従来の技術】

ＹＩＧ（イットリウム－鉄－ガーネット）に見られる磁気光学効果は古くから知られており、近年では、静磁波と光との相互作用に関する種々の研究がなされている。例えば、信学技報, MW98-41,OPE98-33(1998-06),pp.45-50には、ＹＩＧ単結晶における光とマイクロ波との相互作用について報告されている。

【０００３】

図５は、上記の文献に開示される従来の光－マイクロ波変調器の構成を示す概略斜視図である。図５に示す光－マイクロ波変調器では、接地基板１０５の上にＹＩＧ単結晶１０１を配置し、ＹＩＧ単結晶１０１の上にマイクロストリップ線路１０４を形成している。マイクロストリップ線路１０４の一端には高周波信号ＲＩが入力され、他端から出力信号ＲＯとして出力される。また、入力光ＯＩがＹＩＧ単結晶１０１の側面から入力され、反対側の側面から出力光ＯＯとして出力される。また、直流磁界ＨがＹＩＧ単結晶１０１の主面に垂直に印加されている。

【０００４】

図６は、図５に示す光－マイクロ波変調器におけるＹＩＧ単結晶の磁区と入力光との関係を説明するための概略図である。図６の（ａ）はＹＩＧ単結晶１０１の側面を示し、図６の（ｂ）はＹＩＧ単結晶１０１の上面を示している。図６に示すように、ＹＩＧ単結晶１０１には、複数の磁区が分布しており、各磁区の磁壁ＭＷの磁壁振動を介してＹＩＧ単結晶１０１内で光とマイクロ波とが相互作用するものと考えられる。この結果、ＹＩＧ単結晶１０１内を伝搬する入力光ＯＩが、マイクロストリップ線路１０４から入力される高周波信号ＲＩにより変調される。

【０００５】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の従来の光－マイクロ波変調器では、ＹＩＧ単結晶１０１の磁区は、図６に示すように、ランダムに分布しており、そのサイズも一定ではない。このため、入力光ＯＩの波長と磁区サイズが偶然一致した場合には光とマイクロ波とが相互作用するが、その他の大部分の場合は入力光ＯＩの波長と磁区サイズが一致せず、磁壁振動を効率よく利用することができなかった。この結果、光とマイクロ波との相互作用が小さくなり、高周波信号による光信号の変調率が小さくなるとともに、その出力信号の安定度に大きな問題があった。

【０００６】

本発明の目的は、光とマイクロ波との相互作用を増大させて変調率を増大させることができるとともに出力信号の安定度を向上させることができる光－マイクロ波変調器を提供することである。

【０００７】

【課題を解決するための手段および発明の効果】

本発明に係る光－マイクロ波変調器は、マイクロ波信号および光信号のうち一方を他方により変調する光－マイクロ波変調器であって、ＹＩＧ（イットリウム－鉄－ガーネット）単結晶と、ＹＩＧ単結晶の主面に周期的に配列された複数の強磁性細線とを備え、光信号が複数の強磁性細線と交わる方向に沿ってＹＩＧ単結晶の側面から入力されるものである。

【０００８】

本発明に係る光－マイクロ波変調器では、ＹＩＧ単結晶の主面に複数の強磁性細線が周期的に配列されているので、強磁性細線のパターンがＹＩＧ単結晶の磁区のパターンとして転写され、ＹＩＧ単結晶内の磁区が規則配列する。したがって、強磁性細線の周期と入力される光信号の波長とが一致する場合、磁壁振動を効率よく利用することができる。この結果、光とマイクロ波との相互作用を増大させて変調率を増大させることができるとともに出力信号の安定度を向上させることができる。

【０００９】

複数の強磁性細線は、ＹＩＧ単結晶上に形成されることが好ましい。この場合、強磁性細線をＹＩＧ単結晶に密着させることができるので、ＹＩＧ単結晶内の磁区をより規則正しく配列させることができる。

【００１０】

ＹＩＧ単結晶は、ＧＧＧ（ガドリニウム－ガリウム－ガーネット）基板上に形成されることが好ましい。この場合、静磁波用媒質として良好な特性を有するＹＩＧ単結晶薄膜を容易に製造することができる。

【００１１】

一端からマイクロ波信号を入力し、他端からマイクロ波信号を出力するための入出力用線路をさらに備え、入出力用線路は、複数の強磁性細線と並列に配置されることが好ましい。この場合、入出力用線路から入力されたマイクロ波信号により光信号を十分に変調することができる。

【００１２】

マイクロ波信号に対応する静磁波をＹＩＧ単結晶に発生させるための入力用線路と、ＹＩＧ単結晶を伝搬する静磁波を検出するための出力用線路とをさらに備え、入力用線路および出力用線路は、複数の強磁性細線と交わる方向に配置されることが好ましい。この場合、入力用線路および出力用線路間のＹＩＧ単結晶に静磁波を伝搬させ、入力用線路から入力されるマイクロ波信号により光信号を十分に変調することができる。

【００１３】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の第１の実施の形態による光－マイクロ波変調器について図面を参照しながら説明する。図１は、本発明の第１の実施の形態による光－マイクロ波変調器の構成を示す概略斜視図である。なお、以下の説明では、マイクロ波信号により光信号を変調する光－マイクロ波変調器について説明するが、本発明は、光信号によりマイクロ波信号を変調する光－マイクロ波変調器にも同様に適用することができ、同様の効果を得ることができる。

【００１４】

図１に示す光－マイクロ波変調器は、ＹＩＧ（イットリウム－鉄－ガーネット）膜１、ＧＧＧ（ガドリニウム－ガリウム－ガーネット）基板２、強磁性細線３、マイクロストリップ線路４を備える。

【００１５】

ＹＩＧ膜１は、ＹＩＧ単結晶からなり、例えば、ＧＧＧ基板２の表面に液相エピタキシャル成長させたＹＩＧ単結晶膜（$Y_3Fe_5O_{12}$単結晶膜）を用いることができる。ＹＩＧ膜１上には、複数の強磁性細線３が等間隔に形成され、このＹＩＧ膜１を有するＧＧＧ基板２が接地基板５の上に配置される。また、マイクロストリップ線路４が強磁性細線３の上に強磁性細線３と平行に配置される。但し、これに限られるものでなく、マイクロストリップ線路４が強磁性細線３と直行するように配置してもよい。光信号である入力光ＯＩは、ＹＩＧ膜１の長手方向の側面の中心部から入力され、反対側の側面から出力光ＯＯとして出力される。マイクロ波帯域の高周波信号ＲＩは、マイクロストリップ線路４の一端から入力され、他端から出力信号ＲＯとして出力される。

【００１６】

強磁性細線３は、強磁性体、例えば、Ｆｅ、Ｃｏ、Ｎｉ等の中から選ばれる単体またはこれらの２種以上の合金からなり、本実施の形態では、例えば、厚さ５０ｎｍのＮｉ８０Ｆ

ｅ２０を用いている。なお、強磁性細線の材質および厚さ等は、上記の例に特に限定されず、強磁性細線のパターンをＹＩＧ膜１の磁区のパターンとして転写可能なものであれば他のものを用いてもよい。

【００１７】

マイクロストリップ線路４は、導電性金属からなり、例えば、Ａｌ、Ｃｕ、Ａｕ、Ａｇ等を用いることができ、本実施の形態では、例えば、幅１００μｍ（～１ｍｍ）、厚さ５０μｍ（～１００μｍ）の銅薄を用いている。接地基板５は、導電性金属からなり、例えば、Ｃｕ等を用いることができ、電気的に接地されている。

【００１８】

また、永久磁石または電磁石等からなる磁界発生器（図示省略）によりＹＩＧ膜１に垂直な方向に直流磁界Ｈが印加されている。直流磁界Ｈを印加する磁界発生器としては、一般に静磁波素子に用いられる種々の磁界発生器を用いることができる。なお、直流磁界Ｈを印加する方向は、上記の例に特に限定されず、他の方向に印加して表面静磁波または体積後退静磁波を用いてもよく、また、直流磁界の印加は必ずしも必要ではなく、印加しなくてもよい。

【００１９】

図２は、図１に示す光－マイクロ波変調器における強磁性細線の形成によるＹＩＧ膜の磁区パターンの変化を説明するための図であり、図２の（ａ）はＹＩＧ膜１の側面を示し、図２の（ｂ）はＹＩＧ膜１の上面を示している。なお、図２の（ｂ）では、磁区を見やすくするため、ＹＩＧ膜１上に形成された強磁性細線３の図示を省略している。

【００２０】

図２の（ａ）に示すように、各強磁性細線３の幅（本実施の形態の場合ピッチｐの２分の１）および厚さは同一であり、同一形状の強磁性細線３が一定ピッチｐで等間隔に形成されている。強磁性細線３のピッチｐは、光信号である入力光ＯＩの波長と一致するように設定されている。例えば、本実施の形態では、強磁性細線３のピッチｐは２μｍ、幅は１μｍ、ＹＩＧ膜１の形状は、１７ｍｍ×５ｍｍ×０．０２５ｍｍである。

【００２１】

上記のように、ＹＩＧ膜１の上には複数の強磁性細線３が形成されているため、図２の（ａ）および（ｂ）に示すように、ＹＩＧ膜１には強磁性細線３の長辺に沿った磁壁ＭＷが形成され、強磁性細線３のパターンに一致する磁区パターンが転写される。したがって、ＹＩＧ膜１内の磁区サイズは、入力光ＯＩの波長に一致し、各磁区が規則配列している。このとき、ＹＩＧ膜１の側面から入力光ＯＩが入力されると、図２の（ａ）に示すように入力光ＯＩがＹＩＧ膜１内を伝搬するとともに、マイクロ波により磁壁ＭＨが振動し、光のブラッグ反射特性に影響を与える。この結果、入力光ＯＩがその波長で規則配列した磁壁ＭＨの磁壁振動を効率よく感じ取り、光とマイクロ波との相互作用が増大される。

【００２２】

次に、上記の強磁性細線の製造方法について説明する。図３は、図１に示す強磁性細線の製造方法を説明するための概略図である。

【００２３】

まず、図３の（ａ）に示すように、通常のパターン形成方法によりＹＩＧ膜１上に所定のパターンを有するレジスト層１０を形成する。次に、図３の（ｂ）に示すように、通常のイオンビームスパッタ法によりＮｉ８０Ｆｅ２０からなる強磁性細線３を形成する。最後に、図３の（ｃ）に示すように、通常のリフトオフ法によりレジスト層１０上の強磁性細線３をレジスト層１０とともに除去し、図１に示すようなパターンを有する強磁性細線３を形成する。

【００２４】

次に、上記のように構成された光－マイクロ波変調器の動作について説明する。なお、光－マイクロ波変調器の動作原理は、必ずしも確定しておらず、以下のように動作していることが予想される。

【００２５】

外部からマイクロ波帯域の高周波信号ＲＩがマイクロストリップ線路４の一端から入力されると、高周波信号ＲＩに対応した高周波磁界がマイクロストリップ線路４から発生される。このとき、ＹＩＧ膜１の主面に垂直に直流磁界Ｈが印加されており、この高周波磁界によりＹＩＧ膜１内に体積前進静磁波が誘起され、この体積前進静磁波がＹＩＧ膜１内を伝搬する。

【００２６】

ここで、ＹＩＧ膜１上に複数の強磁性細線３が周期的に配列されているので、ＹＩＧ膜１には強磁性細線３の長辺に沿った磁壁ＭＷが形成され、強磁性細線３のパターンに一致する磁区パターンが転写され、規則配列している。このとき、ＹＩＧ膜１の側面に入力光ＯＩが入力されると、入力光ＯＩがＹＩＧ膜１内を伝搬するが、強磁性細線３のピッチｐは、入力光ＯＩの波長と一致しているため、規則配列された磁区の幅が入力光ＯＩの波長と一致し、磁壁振動を効率よく利用することができる。

【００２７】

この結果、入力光ＯＩの波長と一致する磁区サイズを形成する磁壁ＭＷの磁壁振動により光とマイクロ波との相互作用が増大され、高周波信号ＲＩにより光信号が十分に変調され、変調された出力信号ＲＯがマイクロストリップ線路４の他端から出力される。このように、磁壁振動を効率よく利用することができ、光とマイクロ波との相互作用を増大させてマイクロ波帯域の高周波信号ＲＩによる入力光ＯＩの変調率を増大させることができるとともに出力信号の安定度を向上させることができる。

【００２８】

上記のように、本実施の形態では、強磁性細線３をＹＩＧ膜１上に形成することにより強磁性細線３のパターンをＹＩＧ膜１の磁区パターンとしてＹＩＧ膜１に転写し、入力光ＯＩの波長に一致する磁区サイズを有する磁区を規則配列させることができるので、磁壁振動を効率よく利用することができ、光とマイクロ波との相互作用を増大させてマイクロ波帯域の高周波信号による光信号の変調率を増大させることができるとともに出力信号の安定度を向上させることができる。

【００２９】

次に、本発明の第２の実施の形態による光－マイクロ波変調器について説明する。図４は、本発明第２の実施の形態による光－マイクロ波変調器の構成を示す概略斜視図である。

【００３０】

図４に示す光－マイクロ波変調器と図１に示す光－マイクロ波変調器とで異なる点は、接地基板５およびマイクロストリップ線路４に代えて一端が接地される入力トランスデューサ６および出力トランスデューサ７を強磁性細線３に直交する方向に配置し、直流磁界Ｈを入力光ＯＩと同方向に印加している点であり、その他の点は図１に示す光－マイクロ波変調器と同様であるので、同一部分には同一符号をし、詳細な説明を省略し、以下異なる点のみについて説明する。

【００３１】

図４に示す光－マイクロ波変調器では、一端からマイクロ波帯域の高周波信号ＲＩが入力され、他端が接地されている入力トランスデューサ６を変換器の一方側に強磁性細線３と直交する方向に配置し、一端が接地され、他端から高周波信号ＲＯを出力する出力トランスデューサ７を変換器の他方側に入力トランスデューサ６と平行に配置し、入力光ＯＩと平行に直流磁界ＨをＹＩＧ膜１に印加している。なお、直流磁界Ｈを印加する方向は、上記の例に特に限定されず、他の方向に印加して体積前進静磁波または体積後退静磁波を用いてもよく、また、直流磁界の印加は必ずしも必要ではなく、印加しなくてもよい。

【００３２】

入力トランスデューサ６および出力トランスデューサ７は、導電性金属からなり、例えば、Ａｌ、Ｃｕ、Ａｕ、Ａｇ等を用いることができ、その形状および配置等は上記の例に特に限定されず、一般に静磁波素子に用いられるものを用いることができる。

【００３３】

次に、上記のように構成された光－マイクロ波変調器の動作について説明する。なお、上

記のように、光－マイクロ波変調器の動作原理は、必ずしも確定しておらず、本実施の形態では、以下のように動作していることが予想される。

【００３４】

外部からマイクロ波帯域の高周波信号ＲＩが入力トランスデューサ６に入力されると、この高周波信号ＲＩに対応した高周波磁界が入力トランスデューサ６から発生される。このとき、入力光ＯＩの方向に直流磁界Ｈが印加されており、この高周波磁界によりＹＩＧ膜１内に表面静磁波が誘起され、この表面静磁波が入力トランスデューサ６と出力トランスデューサ７との間を伝搬する。

【００３５】

ここで、第１の実施の形態と同様に、ＹＩＧ膜１上に複数の強磁性細線３が周期的に配列されているので、ＹＩＧ膜１には強磁性細線３のパターンに一致する磁区パターンが転写され、規則配列している。このとき、ＹＩＧ膜１の側面に入力光ＯＩが入力されると、入力光ＯＩがＹＩＧ膜１内を伝搬するが、強磁性細線３のピッチｐは、入力光ＯＩの波長と一致しているため、第１の実施の形態と同様に、磁壁振動を効率よく利用することができる。

【００３６】

この結果、入力光ＯＩの波長と一致する磁区サイズを形成する磁壁の磁壁振動により光とマイクロ波との相互作用が増大され、高周波信号ＲＩにより光信号が十分に変調され、変調された出力信号ＲＯが出力トランスデューサ７から出力される。このように、磁壁振動を効率よく利用することができ、光とマイクロ波との相互作用を増大させてマイクロ波帯域の高周波信号ＲＩによる入力光ＯＩの変調率を増大させることができるとともに出力信号の安定度を向上させることができる。

【００３７】

上記のように、本実施の形態でも、強磁性細線３をＹＩＧ膜１上に形成することにより強磁性細線３のパターンをＹＩＧ膜１の磁区パターンとしてＹＩＧ膜１に転写し、入力光ＯＩの波長に一致する磁区サイズを有する磁区を規則配列させることができるので、磁壁振動を効率よく利用することができ、光とマイクロ波との相互作用を増大させてマイクロ波帯域の高周波信号による光信号の変調率を増大させることができる。

【００３８】

なお、本発明に使用されるＹＩＧ単結晶は、上記の膜形態に特に限定されず、バルク状のものを用いることもでき、その製造方法も上記の液相エピタキシャル成長法に特に限定されず、他の製造方法を用いてもよい。

【００３９】

また、光－マイクロ波変調器の形状は、上記の各例に特に限定されず、用途および使用する光信号およびマイクロ波信号の波長等により適宜変更することができる。また、強磁性細線の形状およびピッチ等も上記の例に特に限定されず、適宜変更することができる。

【００４０】

また、上記の説明では、マイクロストリップ線路４または入力トランスデューサ６および出力トランスデューサ７を強磁性細線３の上に配置したが、この例に特に限定されない。例えば、強磁性細線を形成したＹＩＧ膜の強磁性細線側を接地基板の表面に重ねてＹＩＧ膜の上にマイクロストリップ線路等を配置してもよく、また、ＹＩＧ膜上に形成された強磁性細線を所定の保護層により覆って平坦化しこの上にマイクロストリップ線路等を直接形成してもよく、また、ＹＩＧ膜の上にマイクロストリップ線路等を直接形成し、マイクロストリップ線路等が形成されていないＹＩＧ膜の表面に強磁性細線を形成するようにしてもよい。

【００４１】

また、ＧＧＧ基板を用いずにＹＩＧ膜を形成できる場合、または、ＧＧＧ基板上にＹＩＧ膜を形成した後ＧＧＧ基板を除去できる場合は、ＧＧＧ基板を省略することも可能である。

【００４２】

また、本発明による光－マイクロ波変調器は、マイクロ波信号により光信号を変調または光信号によりマイクロ波信号を変調する種々の用途に用いることができ、光通信システム等に好適に用いることができる。

【００４３】

たとえば、次世代情報ハイウェイ構想における光通信システムにおいて、マイクロ波帯域の高周波信号により光ファイバー等を介して伝送される光信号を直接変調して変調された高周波信号を出力する光－マイクロ波変調器として用いることができる。この場合、マイクロ波アイソレータ、光アイソレータおよび変調器の３つのデバイスが必要になると考えられるが、本発明による光－マイクロ波変調器を用いれば、１つのデバイスにより構成することができ、構成を簡略化することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の第１の実施の形態による光－マイクロ波変調器の構成を示す概略斜視図である。

【図２】図１に示す光－マイクロ波変調器における強磁性細線の形成によるＹＩＧ膜の磁区パターンの変化を説明するための概略図である。

【図３】図１に示す強磁性細線の製造方法を説明するための概略図である。

【図４】本発明の第２の実施の形態による光－マイクロ波変調器の構成を示す概略斜視図である。

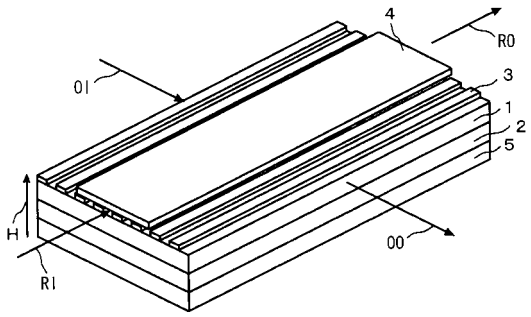
【図５】従来の光－マイクロ波変調器の構成を示す概略斜視図である。

【図６】図５に示す光－マイクロ波変調器におけるＹＩＧ単結晶の磁区と入力光との関係を説明するための概略図である。

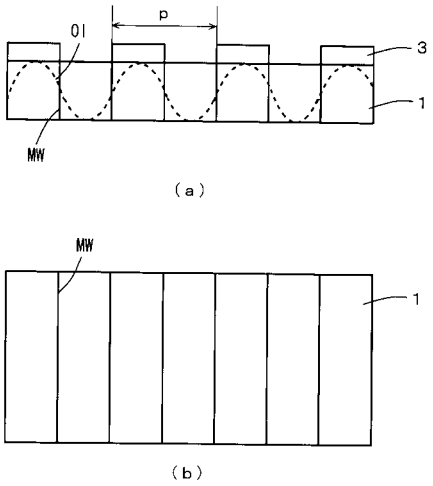
【符号の説明】

１　ＹＩＧ膜
２　ＧＧＧ基板
３　強磁性細線
４　マイクロストリップ線路
５　接地基板
６　入力トランスデューサ
７　出力トランスデューサ

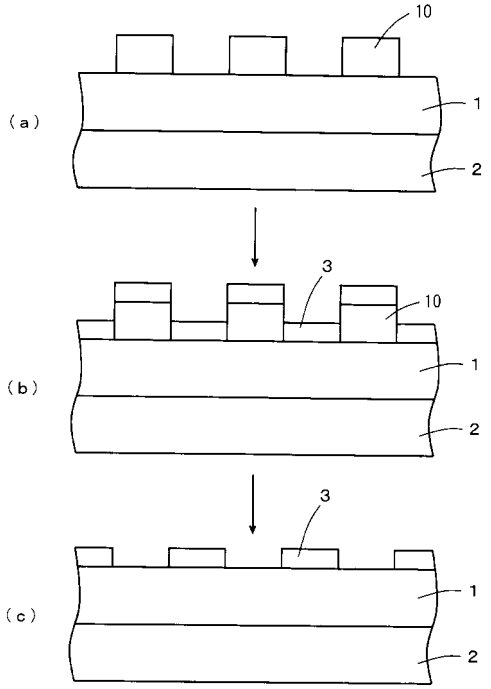
【図１】



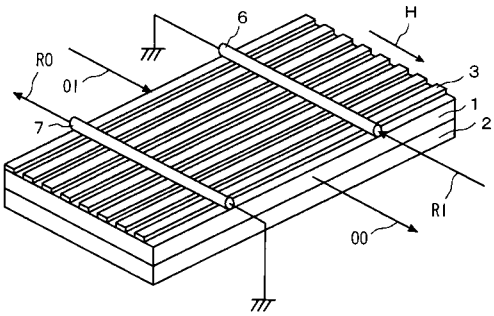
【図２】



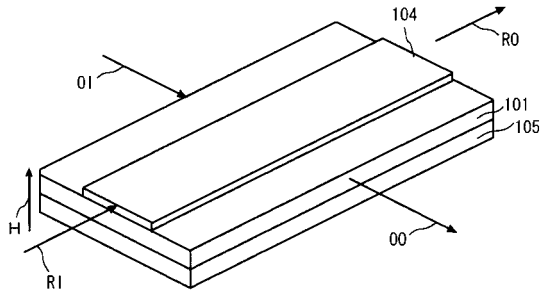
【図３】



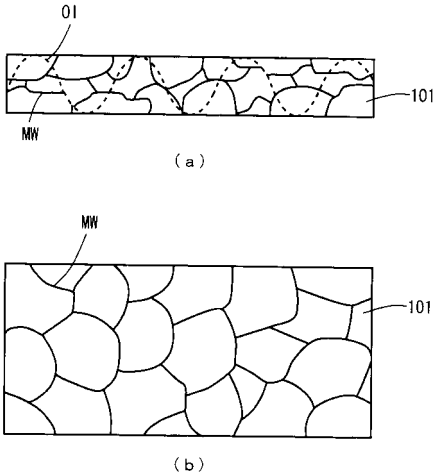
【図４】



【図５】



【図６】



フロントページの続き

(72)発明者　前田　篤志
大阪府守口市京阪本通２丁目５番５号　三洋電機株式会社内

審査官　右田　昌士

(56)参考文献　欧州特許出願公開第００９４２３１７（ＥＰ，Ａ１）
特開平１１－２５８５６１（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－２６２３０１（ＪＰ，Ａ）
特開昭６４－０８８４０２（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－２６０１２１（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－２４６６１１（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２６５８３７（ＪＰ，Ａ）
特開平０２－１２４５４０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
G02F 1/09
G02B 6/12