

(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2015-125186
(P2015-125186A)

(43) 公開日 平成27年7月6日(2015.7.6)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G 0 2 B 27/28 (2006.01)	G 0 2 B 27/28	2 H 1 9 9
G 0 2 F 1/095 (2006.01)	G 0 2 F 1/095	2 K 1 0 2

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2013-267840 (P2013-267840)
(22) 出願日 平成25年12月25日 (2013.12.25)

(71) 出願人 504132881
国立大学法人東京農工大学
東京都府中市晴見町3-8-1
(74) 代理人 110000877
龍華国際特許業務法人
(72) 発明者 清水 大雅
東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学
法人東京農工大学内
Fターム(参考) 2H199 AA05 AA11 AA41
2K102 AA40 BA00 BB01 BC01 BC09
CA00 DA05 DD03 DD08 DD10
EB20 EB29

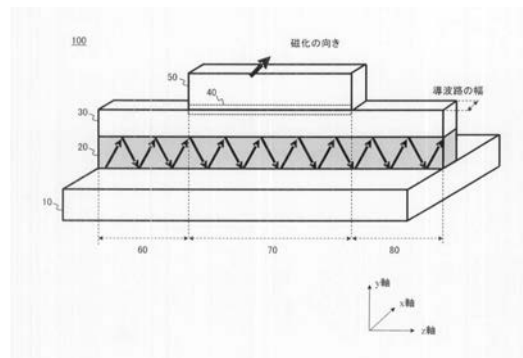
(54) 【発明の名称】 光アイソレータ

(57) 【要約】

【課題】 光の伝搬損失を考慮して光アイソレータを設計する。

【解決手段】 下部クラッド層と、下部クラッド層上に配置された光導波路層と、光導波路層上に配置されたバッファ層と、バッファ層上の一部に配置され、バッファ層との界面においてプラズモン導波路を形成する強磁性金属層とを備え、バッファ層は、進み光の伝搬損失および戻り光の伝搬損失により定まる性能指数が極大値となる膜厚を有する光アイソレータを提供する。また、性能指数は、戻り光の伝搬損失が進み光の伝搬損失より大きいほど高くなり、且つ、進み光および戻り光の伝搬損失の和が小さいほど高くなる光アイソレータを提供する。

【選択図】 図1



- 【特許請求の範囲】
- 【請求項 1】
- 下部クラッド層と、
前記下部クラッド層上に配置された光導波路層と、
前記光導波路層上に配置されたバッファ層と、
前記バッファ層上の一部に配置され、前記バッファ層との界面においてプラズモン導波路を形成する強磁性金属層と
を備え、
前記バッファ層は、進み光の伝搬損失および戻り光の伝搬損失により定まる性能指数が極大値となる膜厚を有する光アイソレータ。
- 10
- 【請求項 2】
- 前記性能指数は、前記戻り光の伝搬損失が前記進み光の伝搬損失より大きいほど高くなり、且つ、前記進み光および前記戻り光の伝搬損失の和が小さいほど高くなる
請求項 1 に記載の光アイソレータ。
- 【請求項 3】
- 前記光導波路層は、前記進み光において、前記プラズモン導波路に結合されずに前記光導波路層を伝搬する光の強度に対する、前記プラズモン導波路に結合される光の強度の比が 1 より小さく、前記戻り光において、前記プラズモン導波路に結合されずに前記光導波路層を伝搬する光の強度に対する、前記プラズモン導波路に結合される光の強度の比が 1 より大きくなる膜厚を有する請求項 1 または 2 に記載の光アイソレータ。
- 20
- 【請求項 4】
- 前記光導波路層の材料はシリコンである請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。
- 【請求項 5】
- 前記バッファ層の材料は、酸化シリコンである請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。
- 【請求項 6】
- 前記光導波路層は、前記進み光を出力するレーザーの活性層と一体に形成される請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。
- 30
- 【請求項 7】
- 前記強磁性金属層の材料は、コバルト、鉄およびニッケルのいずれか、または、コバルト、鉄およびニッケルから選択される 2 種類以上の材料の合金を含む請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。
- 【請求項 8】
- 前記下部クラッド層は、半導体基板である請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。
- 【請求項 9】
- 前記バッファ層の厚みが、 $0.1 \mu\text{m}$ から $50 \mu\text{m}$ である
請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。
- 40
- 【請求項 10】
- 前記光導波路層の厚みが、 $0.01 \mu\text{m}$ から $20 \mu\text{m}$ である
請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。
- 【請求項 11】
- 前記強磁性金属層の厚みが、 $0.001 \mu\text{m}$ から $0.2 \mu\text{m}$ である
請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。
- 【発明の詳細な説明】
- 【技術分野】
- 【0001】
- 本発明は、半導体レーザーの戻り光を遮断する光アイソレータに関する。
- 【背景技術】
- 50

【 0 0 0 2 】

従来、半導体レーザーと一体に形成して、半導体レーザーを安定動作させることを目的として、プラズモン導波路を備えた光アイソレータが用いられてきた。（例えば、特許文献 1 参照）。

特許文献 1 米国特許出願公開第 2 0 1 0 / 0 3 1 6 3 2 7 号明細書

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 3 】

しかしながら、従来の光アイソレータは、光の伝搬損失を考慮して設計されておらず、光アイソレータのバッファ層等の膜厚を最適に設計できない。

10

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 4 】

本発明の第 1 の態様においては、下部クラッド層と、下部クラッド層上に配置された光導波路層と、光導波路層上に配置されたバッファ層と、バッファ層上の一部に配置され、バッファ層との界面においてプラズモン導波路を形成する強磁性金属層とを備え、バッファ層、光導波路層、強磁性金属層は、プラズモン導波路における進み光の伝搬損失および戻り光の伝搬損失により定まる性能指数が極大値となる膜厚を有する光アイソレータを提供する。

【 0 0 0 5 】

なお、上記の発明の概要は、本発明の必要な特徴の全てを列挙したものではない。また、これらの特徴群のサブコンビネーションもまた、発明となりうる。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 6 】

【 図 1 】 本発明の光アイソレータ 1 0 0 の一例を示す。

【 図 2 A 】 プラズモンアイソレータ部 7 0 を伝搬する進み光の光強度分布を示す。

【 図 2 B 】 プラズモンアイソレータ部 7 0 を伝搬する戻り光の光強度分布を示す。

【 図 3 】 バッファ層 3 0 の膜厚に対する光アイソレーションの依存性を示す。

【 図 4 】 バッファ層 3 0 の膜厚に対する性能指数 F O M の依存性を示す。

【 図 5 】 光導波路層 2 0 を伝搬する光の伝搬角度 θ を入射角として、バッファ層 3 0、強磁性金属層 5 0 へ光が入射するときの伝搬角度 θ と強度反射率 R との関係を示す。

30

【 図 6 】 光アイソレータ 1 0 0 の設計の一例を示すフローチャートである。

【 図 7 A 】 強度反射率 R の入射角度 θ に対する依存性を示す。

【 図 7 B 】 進み光と戻り光の強度反射率 R の入射角度 θ 依存性を示す。

【 図 8 】 進み光と戻り光の減衰入射角度 θ_f 、 θ_b のバッファ層 3 0 の膜厚 d_{SiO_2} 依存性を示す。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 0 7 】

以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は特許請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

40

【 0 0 0 8 】

図 1 は、本発明の光アイソレータ 1 0 0 の一例を示す。光アイソレータ 1 0 0 は、入力導波路部 6 0、プラズモンアイソレータ部 7 0、および出力導波路部 8 0 を備える。入力導波路部 6 0、プラズモンアイソレータ部 7 0、および出力導波路部 8 0 は、それぞれ下部クラッド層 1 0、光導波路層 2 0、バッファ層 3 0 を備える。プラズモンアイソレータ部 7 0 は、さらに、プラズモン導波路 4 0、x 軸に平行に磁化された強磁性金属層 5 0 を備える。本明細書では、光の伝搬方向を z 軸、基板に垂直な方向を y 軸、基板に平行で光の伝搬方向と垂直な方向を x 軸とする。

【 0 0 0 9 】

図 1 では、光導波路層 2 0 を伝搬する前進波（進み光）を矢印で示している。進み光は

50

、レーザー光源等から光導波路層 20 に入力される。光導波路層 20 には、後段の導波路や光部品による反射等により、前進波とは逆方向に光導波路層 20 を伝搬する後退波（戻り光）が入力される場合がある。本例の光アイソレータ 100 は、プラズモン導波路層 40 を用いて、レーザー光源等に伝搬する戻り光を低減する。

【0010】

より具体的には、プラズモンアイソレータ部 70 における進み光については、プラズモン導波路 40 に結合されずに光導波路層 20 を伝搬する光の強度が、プラズモン導波路 40 に結合される光の強度より大きい。また、戻り光については、プラズモン導波路 40 に結合されずに光導波路層 20 を伝搬する光の強度が、プラズモン導波路 40 に結合される光の強度より小さい。強磁性金属層 50 の界面に形成されるプラズモン導波路 40 を伝搬する光は徐々に減衰するので、このような伝搬光強度の分布特性を有することで、レーザー光源等に伝搬する戻り光が低減される。

10

【0011】

また、プラズモン導波路 40 における進み光の伝搬損失は、プラズモン導波路 40 における戻り光の伝搬損失よりも小さい。伝搬損失とは、プラズモン導波路 40 を単位長さ伝搬した場合の、伝搬前後の光強度の比によって与えられる。このような構成により、レーザー光源等に伝搬する戻り光が更に低減される。本例の光アイソレータ 100 においては、光導波路層 20 およびバッファ層 30 の膜厚を調整することで、上記の特性を実現する。

20

【0012】

下部クラッド層 10 は、光導波路層 20 のクラッド層として機能する。本例では、下部クラッド層 10 は、酸化シリコン SiO_2 で形成され、半導体基板上に形成される。下部クラッド層 10 の材料は、伝搬する光の波長によって、適宜選択されてよい。また、下部クラッド層 10 は、半導体基板であってよい。

【0013】

光導波路層 20 は、下部クラッド層 10 上に配置される。光導波路層 20 は、半導体レーザー光源等から光アイソレータ 100 に入射された光を導波する。光導波路層 20 は、下部クラッド層 10 およびバッファ層 30 よりも屈折率の高い材料で形成され、光導波路層 20 よりも屈折率の低い材料で形成された下部クラッド層 10 およびバッファ層 30 で挟まれることによって光を伝搬する。一例では、光導波路層 20 の材料はシリコン Si である。光導波路層 20 の材料は、伝搬する光の波長によって、適宜選択されてよい。例えば、光導波路層 20 の膜厚は、 $0.01 \mu m$ から $20 \mu m$ である。

30

【0014】

バッファ層 30 は、光導波路層 20 上に配置される。バッファ層 30 は、下部クラッド層 10 と同一の材料で形成されてよい。例えば、バッファ層 30 の材料は、酸化シリコン SiO_2 である。下部クラッド層 10 およびバッファ層 30 は、光導波路層 20 の上部と下部にそれぞれ配置されるので、伝搬する光を光導波路層 20 の内部に閉じ込められる。一例では、バッファ層 30 の厚みは、 $0.1 \mu m$ から $50 \mu m$ である。

【0015】

強磁性金属層 50 は、バッファ層 30 上の一部（すなわち、プラズモンアイソレータ部 70 に対応する領域）に配置される。一例では、強磁性金属層 50 の材料は、コバルト、鉄、ニッケル等の強磁性材料、または、これらから選択される 2 種類以上の材料の合金を含む。強磁性金属層 50 は、予め定められた方向に磁化される。本例の強磁性金属層 50 は x 軸方向に磁化される。これにより、プラズモン導波路 40 を z 軸プラス方向に進む光（進み光）に対するプラズモンアイソレータ部 70 の実効屈折率 $n_{eff, c, f}$ と、z 軸マイナス方向に進む光（戻り光）に対するプラズモンアイソレータ部 70 の実効屈折率 $n_{eff, c, b}$ を異ならせる。例えば、強磁性金属層 50 の膜厚は、 $0.001 \mu m$ から $0.2 \mu m$ である。なお、磁化の向きは、強磁性金属層 50 の材料等によって、x 軸プラス方向と x 軸マイナス方向のうち、戻り光の伝搬損失が進み光の伝搬損失を上回るように選択されてよい。

40

50

【 0 0 1 6 】

プラズモン導波路 4 0 は、バッファ層 3 0 および強磁性金属層 5 0 の界面に形成される。なお、プラズモンとは、自由電子の集団振動のことであり、強磁性金属層 5 0 中の自由電子が集団で振動することにより、光の電界と強く結合して金属と誘電体の界面を光が伝搬する状態を指す。

【 0 0 1 7 】

光導波路層 2 0 を伝搬する光のうち、特定の条件を満たす伝搬光がプラズモン導波路 4 0 に結合される。具体的には、光導波路層 2 0 を伝搬する光に対するプラズモンアイソレータ部 7 0 の実効屈折率 $n_{eff, si}$ と、プラズモン導波路 4 0 を伝搬する光に対する実効屈折率 $n_{eff, co}$ の実部とが等しい場合に、光導波路層 2 0 を伝搬する光がプラズモン導波路 4 0 に結合する。なお、光導波路層 2 0 においては、進み光および戻り光で屈折率に差異がなく、且つ、伝搬損失も無視できるほど小さいので、光導波路層 2 0 を伝搬する光に対する実効屈折率 $n_{eff, si}$ は、進み光および戻り光で共通であり、且つ、伝搬損失に対応する虚部を有さない。

【 0 0 1 8 】

光導波路層 2 0 を伝搬する光に対する実効屈折率 $n_{eff, si}$ は、光導波路層 2 0、バッファ層 3 0 の膜厚により変化する。このため、光導波路層 2 0 を伝搬する光に対する実効屈折率 $n_{eff, si}$ が、プラズモン導波路 4 0 を伝搬する戻り光の実効屈折率 $n_{eff, co, b}$ の実部とほぼ等しくなるように、光導波路層 2 0 とバッファ層 3 0 の膜厚を設定することで、光導波路層 2 0 を伝搬する戻り光を、プラズモン導波路 4 0 に結合することができる。

【 0 0 1 9 】

本例の光導波路層 2 0 は、光導波路層 2 0 を伝搬する戻り光を、プラズモン導波路 4 0 に結合させるように最適化された膜厚を有する。上述したように、プラズモン導波路 4 0 を伝搬する進み光および戻り光の実効屈折率 $n_{eff, co}$ は異なる。このため、光導波路層 2 0 を伝搬する戻り光がプラズモン導波路 4 0 に結合されても、光導波路層 2 0 を伝搬する進み光がプラズモン導波路 4 0 に結合される度合は、戻り光よりも小さくなる。

【 0 0 2 0 】

また、プラズモン導波路 4 0 における進み光の伝搬損失は、プラズモン導波路 4 0 における戻り光の伝搬損失よりも小さい。プラズモン導波路 4 0 における伝搬損失は、プラズモン導波路 4 0 における伝搬光に対する実効屈折率 $n_{eff, co}$ の虚部により定まる。上述したように、プラズモン導波路 4 0 における伝搬光に対する実効屈折率 $n_{eff, co}$ は、進み光と戻り光とで異なる。本例の強磁性金属層 5 0 は、戻り光の実効屈折率 $n_{eff, co, b}$ の虚部が大きくなり、進み光に対する実効屈折率 $n_{eff, co, f}$ の虚部が小さくなる方向に磁化される。例えば、+ x 方向の磁化および - x 方向の磁化のうち、上記の条件を満たす方向に強磁性金属層 5 0 を磁化する。

【 0 0 2 1 】

バッファ層 3 0 は、進み光の伝搬損失、および、戻り光の伝搬損失により定まる性能指数 FOM (Figure of merit) が極大値となる膜厚を有する。本例の性能指数 FOM は、プラズモンアイソレータ部 7 0 全体において、戻り光の伝搬損失が、進み光の伝搬損失より大きいほど高くなり、且つ、進み光および戻り光の伝搬損失の和が小さいほど高くなる。

一例として、性能指数 FOM は下式で定義される。

$$FOM = \frac{\text{戻り光の伝搬損失 } \alpha [dB / \mu m] - \text{進み光の伝搬損失 } \alpha [dB / \mu m]}{(\text{戻り光の伝搬損失 } \alpha [dB / \mu m] + \text{進み光の伝搬損失 } \alpha [dB / \mu m]) / 2}$$

【 0 0 2 2 】

進み光および戻り光の伝搬損失は、プラズモンアイソレータ部 7 0 における下部クラッド層 1 0、光導波路層 2 0、バッファ層 3 0、強磁性金属層 5 0 および強磁性金属層 5

10

20

30

40

50

0 の上部層を一つの光導波路とした場合の、進み光および戻り光のそれぞれに対する実効屈折率 n_{eff} から算出できる。それぞれの実効屈折率 n_{eff} は、光の波長、各層の膜厚、各層の複素屈折率、および、強磁性金属層 50 における磁化の方向から算出することができる。

【0023】

本例の光アイソレータ 100 によれば、プラズモン導波路 40 における損失を考慮してバッファ層 30 の膜厚を最適化することで、性能指数 FOM を極大化することができる。また、進み光については、光導波路層 20 を伝搬する光の強度に対するプラズモン導波路 40 に結合される光の強度の比が 1 より小さく、かつ、戻り光については光導波路層 20 を伝搬する光の強度に対するプラズモン導波路 40 に結合される光の強度の比が 1 より大きくなる。また、プラズモン導波路 40 における進み光の伝搬損失を、プラズモン導波路 40 における戻り光の伝搬損失よりも小さくできる。

10

【0024】

なお、強磁性金属層 50 の上部層は、例えば空気等の空間層であってよく、酸化シリコン SiO_2 等の層であってもよい。入力導波路部 60 および出力導波路部 80 におけるバッファ層 30 上にも、空気等の空間層が設けられてよく、酸化シリコン SiO_2 等の層が設けられてもよい。また、図 1 に示すように、下部クラッド層 10 の x 軸方向における幅は、光導波路層 20 の幅よりも大きくてよい。下部クラッド層 10 において、光導波路層 20 に覆われていない領域上には、空気等の空間層が形成されてよい。

20

【0025】

光導波路層 20 は、進み光を出力するレーザーの活性層と一体に形成されてよい。この場合、レーザーが出力した光と光導波路層 20 を伝搬する光の光軸を、人手で合わせる必要がなくなる。また、光導波路層 20 は、進み光を出力するレーザーの活性層と一体に形成されずに、光アイソレータ 100 の外部に進み光を出力する光源を備えてよい。この場合、光アイソレータ 100 がレーザーと一体に形成されないので、要求される消光比が得られる範囲で、レーザーの波長を自由に選択できる。

【0026】

図 2 A は、プラズモンアイソレータ部 70 を伝搬する進み光の光強度分布の一例を示す。本例のプラズモンアイソレータ部 70 は、酸化シリコン SiO_2 で形成された下部クラッド層 10 およびバッファ層 30 と、シリコン Si で形成された光導波路層 20 と、コバルト Co で形成された強磁性金属層 50 を備える。また、光導波路層 20 およびバッファ層 30 は、図 1 において説明した最適化された厚みを有する。図 2 A の例では、伝搬光の波長を $1.55 \mu m$ 、下部クラッド層 10 の厚みを無限大、光導波路層 20 の膜厚を $57 nm$ 、バッファ層 30 の厚みを $2 \mu m$ 、強磁性金属層 50 の厚みを $100 nm$ として光強度分布を計算した。本例では、プラズモンアイソレータ部 70 を一つの導波路として、上記の各層の複素屈折率および厚みから定まる導波路の実効屈折率 n_{eff} から光強度分布を算出した。

30

【0027】

図 2 A の横軸は、下部クラッド層 10 および光導波路層 20 の境界位置を原点とした y 軸方向の位置 (μm) を示している。図 2 A では、破線により各層の境界位置を示している。また、図 2 A の縦軸は、下部クラッド層 10 および光導波路層 20 の境界位置における光強度を 1 とした場合の、光強度の相対値を示している。

40

【0028】

図 2 A に示すように、本例のプラズモンアイソレータ部 70 においては、光導波路層 20 における進み光の強度は、プラズモン導波路 40 における進み光の強度の 2 倍程度大きい。また、プラズモンアイソレータ部 70 における進み光の実効屈折率 n_{eff} の実部の大きさは 1.54233 であり、虚部の大きさは -0.00436813 であった。当該虚部に対応する伝搬損失は、 $0.153801 dB / \mu m$ であった。

【0029】

図 2 B は、プラズモンアイソレータ部 70 を伝搬する戻り光の光強度分布の一例を示す

50

。本例のプラズモンアイソレータ部 70 の構成は、図 2 A の例と同一である。図 2 B に示すように、本例のプラズモンアイソレータ部 70 においては、プラズモン導波路 40 における戻り光の強度は、光導波路層 20 における戻り光の強度の 10 倍以上大きい。つまり、膜厚が最適化されたプラズモンアイソレータ部 70 は、進み光については、光導波路層 20 を伝搬する光の強度が、プラズモン導波路 40 に結合される光の強度より大きくなり、戻り光については、光導波路層 20 を伝搬する光の強度が、プラズモン導波路 40 に結合される光の強度より小さくなる。

【0030】

また、プラズモンアイソレータ部 70 における戻り光の実効屈折率 $n_{eff,b}$ の実部の大きさは 1.54049 であり、虚部の大きさは -0.0226692 であった。当該虚部に対応する伝搬損失は、0.798175 dB/μm であった。つまり、膜厚が最適化されたプラズモンアイソレータ部 70 は、進み光の伝搬損失を、戻り光の伝搬損失よりも小さくできる。

10

【0031】

本例のプラズモンアイソレータ部 70 における光アイソレーションは、0.644374 dB/μm であった。光アイソレーションは下式で与えられる。

$$\Delta\alpha[dB/mm] = 2 \times 0.01 \log_e \frac{2\pi}{\lambda} (\text{Im}[n_{eff,b}] - \text{Im}[n_{eff,f}])$$

20

なお、 λ は伝搬光の波長、 $n_{eff,b}$ は戻り光の実効屈折率、 $n_{eff,f}$ は進み光の実効屈折率を示す。本例のプラズモンアイソレータ部 70 における性能指数 FOM は、1.35 であった。

【0032】

図 3 は、バッファ層 30 の膜厚に対する光アイソレーションの依存性を示す。横軸は、バッファ層 30 の膜厚 [μm] を示し、縦軸は、光アイソレータ 100 の光アイソレーション [dB/μm] を示す。バッファ層 30 の膜厚は 1.0 から 2.3 μm まで変化する。光アイソレーションは、プラズモン導波路 40 の導波路長における単位長さ当たりの消光比を示す。本例の光アイソレータ 100 は、光導波路層 20 が 57 nm、強磁性金属層 50 が 100 nm の膜厚を有する。

30

【0033】

光アイソレータ 100 は、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} に応じて、光アイソレーションの極大値を有する。領域 I、III は光アイソレーションの極小値を示しているが、光の伝搬方向または強磁性金属層 50 の磁化の方向を反転させれば、極大値として扱うことができる。領域 II は、光アイソレーションの極大値を示す。例えば、光アイソレーションの極大値は、光アイソレーションの波形の傾きが 0 となるときの光アイソレーションを示す。また、極大値は、必ずしも光アイソレーションの波形の傾きが 0 となる時に限られず、光アイソレーションの絶対値が予め定められた値以上となった場合でよい。例えば、光アイソレーションの絶対値が 0.2 dB/μm 以上となった場合を極大値としてよい。

40

【0034】

バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} は、光アイソレーションが極大値を取るように最適化される。つまり、図 3 で示された光アイソレーションとバッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} との関係が得られた場合、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} は、領域 I、II、III となるように選択される。これにより、光アイソレータ 100 は、進み光と戻り光の光強度分布の差を利用して、予め定められた光アイソレーションを達成する。

【0035】

図 4 は、バッファ層 30 の膜厚に対する性能指数 FOM の依存性を示す。横軸は、バッファ層 30 の膜厚 [μm] を示しており、バッファ層 30 の膜厚は 1.0 から 2.3 μm まで変化する。縦軸は、光アイソレータ 100 の性能指数 FOM [dB/μm] を示す。

50

【0036】

光アイソレータ100は、バッファ層30の膜厚 d_{SiO_2} に応じて、光アイソレーションと同様に性能指数FOMが極大値をとる。例えば、性能指数FOMの極大値は、性能指数FOMの波形の傾きが0となるときの性能指数FOMを示す。また、性能指数FOMの極大値は、必ずしも性能指数FOMの波形の傾きが0となることに限られず、性能指数FOMの絶対値が予め定められた値以上となった場合でもよい。例えば、性能指数FOMの絶対値が0.5以上となった場合を極大値としてよい。

【0037】

バッファ層30は、光アイソレータ100の要求される光アイソレーションおよび性能指数FOMを満たすような膜厚 d_{SiO_2} を有する。例えば、バッファ層30の膜厚 d_{SiO_2} は、光アイソレーションおよび性能指数FOMが同時に極大値をとる領域I、II、IIIに設定される。本例において、領域I、II、IIIは、性能指数FOMまたは光アイソレーションの波形の傾き(微分値)がほぼ無限となる2つの膜厚に挟まれた領域である。

【0038】

図5は、光導波路層20を伝搬する光の伝搬角度 θ を入射角として、バッファ層30、強磁性金属層50へ光が入射するときの伝搬角度 θ と強度反射率Rとの関係を示す。強度反射率Rは、光導波路層20からバッファ層30に入射する入射光の強度に対する、光導波路層20とバッファ層30との界面で反射する反射光の強度の比を示す。つまり、強度反射率Rが大きい程、入射光がバッファ層30に入射してプラズモン導波路40に結合されにくくなる。また、入射角度 θ とは、光導波路層20を伝搬する光がバッファ層30に入射する場合に、光導波路層20とバッファ層30との界面に垂直な面と、入射光とがなす角度を指す。例えば入射角度 θ は、光導波路層20を伝搬される光の波長および光導波路層20の膜厚等により決定される。

【0039】

強度反射率Rが1の場合、入射光は光導波路層20とバッファ層30との界面で全反射する。また、強度反射率Rが1より小さい場合、入射光の一部がバッファ層30に入射する。例えば、領域IVは、強度反射率Rが極小値を取る領域であり、光導波路層20を伝搬する光がプラズモン導波路40で減衰される領域である。領域IVでは、減衰全反射(ATR: Attenuated Total Reflection)カップリングが起こる。ここで、領域IVにおいて、強度反射率Rが極小値を取る場合の入射角度 θ_f を減衰入射角度 θ_f と定義する。一方、領域Vは、強度反射率Rが1に近い領域であり、光導波路層20を伝搬する光がプラズモン導波路40で減衰されない領域である。

【0040】

入射角度 θ に対する強度反射率Rの関係は、選択する光導波路層20、バッファ層30、プラズモン導波路40、強磁性金属層50等の材料および膜厚によって変化する。また、入射角度 θ に対する強度反射率Rの関係は、強磁性体である強磁性金属層50の磁化の向きに応じて、進み光と戻り光とで異なる。例えば、コバルトの強磁性金属層50がx軸方向に磁化されると、光導波路層20を伝搬する進み光と戻り光とで入射角度 θ に対する強度反射率Rの関係に違いが生じる。つまり、進み光の減衰入射角度 θ_f と戻り光の減衰入射角度 θ_b とが異なる値となる。

【0041】

光アイソレータ100の構造は、戻り光の入射角度 θ_b が減衰入射角度 θ_b となるように設定される。具体的には、進み光の入射角度 θ_f が減衰入射角度 θ_f となり、戻り光の入射角度 θ_b が減衰入射角度 θ_b となるように光導波路層20の膜厚が設定される。なお、入射角度 θ は、減衰入射角度 θ_b と厳密に一致しなくともよい。但し、減衰入射角度 θ_b の近傍において、少なくとも戻り光の強度反射率Rが進み光の強度反射率Rより小さい入射角度 θ となるように設定される。つまり、入射角度 θ が減衰入射角度 θ_b の場合、進み光は領域Vに対応して、戻り光は領域IVに対応するように設定される。領域Vにおける進み光は、プラズモン導波路40と結合しないか、もしくは弱く結合するので、伝搬損失が

10

20

30

40

50

小さい。一方、領域 I V における戻り光は、プラズモン導波路 4 0 と結合するので伝搬損失が大きい。よって、戻り光では、光導波路層 2 0 における光強度がプラズモン導波路 4 0 における光強度より小さく、進み光では、光導波路層 2 0 における光強度がプラズモン導波路 4 0 における光強度より大きくなる。これにより予め定められた消光比が得られる。

【 0 0 4 2 】

以下に、光アイソレータ 1 0 0 の構造を決定するためのパラメータの導出方法を示す。本例では、下部クラッド層 1 0 の膜厚を無限長、光導波路層 2 0 の膜厚を d_{Si} 、バッファ層 3 0 (SiO_2) の膜厚を d_{SiO_2} 、強磁性金属層 5 0 (コバルト) の膜厚を d_c 。および強磁性金属層 5 0 上の空気の膜厚を無限長として説明する。

10

【 0 0 4 3 】

伝搬損失は、単位 [dB / mm] で表され、式 (1) により導出される。

式 (1)

$$\alpha [dB/mm] = -10 \log_{10} \{ \exp(2k_0 \text{Im}[n_{eff}]L) \} \quad (L = 1mm)$$

ただし、 $k_0 = \pi / \lambda_0$ は真空中の波数、 λ_0 は波長を示す。

【 0 0 4 4 】

強磁性金属層 5 0 は、異方性をもつコバルト Co で形成されており、磁化された強磁性金属層 5 0 の比誘電率はテンソルで表され、光の誘電率テンソル $\tilde{\epsilon}_{進み光}$ と戻り光の誘電率

20

テンソル $\tilde{\epsilon}_{戻り光}$ は式 (2) のようにあらわされる。

式 (2)

$$\tilde{\epsilon}_{進み光} = \begin{pmatrix} \epsilon & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon & -\epsilon_{yz} \\ 0 & \epsilon_{yz} & \epsilon \end{pmatrix}, \quad \tilde{\epsilon}_{戻り光} = \begin{pmatrix} \epsilon & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon & \epsilon_{yz} \\ 0 & -\epsilon_{yz} & \epsilon \end{pmatrix}$$

進み光の誘電率テンソル $\tilde{\epsilon}_{進み光}$ と戻り光の誘電率テンソル $\tilde{\epsilon}_{戻り光}$ との違いにより、進み

30

光と戻り光の実効屈折率 $n_{eff,f}$ 、 $n_{eff,b}$ はそれぞれ異なる。なお、z は光の伝搬方向、y は SiO_2 基板に垂直な方向、x は磁化の向き (異方性の方向) と定義される。

【 0 0 4 5 】

対角項は、強磁性金属層 5 0 層の複素屈折率 N と N^2 の関係にあり、非対角項 ϵ_{yz} は、異方性を表す強磁性体特有のパラメータである。強磁性体以外の場合、非対角項 ϵ_{yz} はゼロで、進み光と戻り光の実効屈折率 $n_{eff,f}$ 、 $n_{eff,b}$ がそれぞれ同じ値となる。

【 0 0 4 6 】

式 (3) に示す通り、進み光の実効屈折率 $n_{eff,f}$ は、光の波長 λ 、下部クラッド層 1 0、バッファ層 3 0 の屈折率 n_{SiO_2} 、バッファ層 3 0 の膜厚 d_{SiO_2} 、光導波路層 2 0 の屈折率 n_{Si} と膜厚 d_{Si} 、強磁性金属層 5 0 の複素屈折率 N 、非対角項 ϵ_{yz} および膜厚 d_c から一意に導出される。

40

式 (3)

$$n_{eff,f} = f_1(\lambda, n_{SiO_2}, d_{SiO_2}, n_{Si}, d_{Si}, N, \epsilon_{yz}, d_c)$$

関数 f_1 は、実効屈折率 n_{eff} を算出する関数である。

また、式 (4) に示す通り、戻り光の実効屈折率 $n_{eff,b}$ は、 ϵ_{yz} の符号を反転することにより求まる。

式 (4)

50

$n_{eff,b} = f1(, n_{SiO2}, d_{SiO2}, n_{Si}, d_{Si}, N, -y, z, d_{Co})$

【0047】

次に、プラズモンアイソレータ部70を伝搬する光の光強度分布の導出方法を示す。進み光と戻り光に対する光強度分布 I_f 、 I_b は、式(5)、(6)により導出される。

式(5)

$$I_f = f2(, n_{SiO2}, d_{SiO2}, n_{Si}, d_{Si}, N, -y, z, d_{Co}, y)$$

式(6)

$$I_b = f2(, n_{SiO2}, d_{SiO2}, n_{Si}, d_{Si}, N, -y, z, d_{Co}, y)$$

10

ここで、関数 $f2$ は、進み光と戻り光に対する光強度分布 I_f 、 I_b を算出する関数である。

【0048】

以下に、進み光と戻り光の伝搬損失の導出方法を示す。進み光および戻り光の伝搬損失 α_f 、 α_b は式(7)、(8)により導出される。式(7)、(8)を用いることにより、進み光および戻り光の実効屈折率 $n_{eff,f}$ 、 $n_{eff,b}$ が求めれば、進み光と戻り光の伝搬損失が導出される。

式(7)

$$\alpha_f [dB/mm] = -10 \log_{10} \{ \exp(2k_0 \text{Im}[n_{eff,f}]L) \} \quad (L=1mm)$$

20

式(8)

$$\alpha_b [dB/mm] = -10 \log_{10} \{ \exp(2k_0 \text{Im}[n_{eff,b}]L) \} \quad (L=1mm)$$

【0049】

以下に、光アイソレーションの導出方法を示す。光アイソレーション [dB/mm] は進み光および戻り光の実効屈折率 $n_{eff,f}$ 、 $n_{eff,b}$ を用いて、式(9)により導出される。

30

式(9)

$$\Delta\alpha [dB/mm] = \alpha_b - \alpha_f$$

光アイソレーションは、バッファ層30(SiO₂)の膜厚によってはマイナスの値をとる。光アイソレーションがマイナスの値をとった場合、強磁性金属層50の磁化の向きを反転し、進み光と戻り光の伝搬損失の大小関係を逆転させ、戻り光の伝搬損失が進み光の伝搬損失を上回るように設定する。

【0050】

以下に、光アイソレータ100の性能指数FOMの導出方法を示す。光アイソレータ100の性能は、光アイソレーションの大きさだけでなく、進み光の伝搬損失が小さいことが重要である。そこで、性能指数FOMは、光アイソレーションの大きさと進み光の伝搬損失の小ささを評価するために、式(10)のように定義される。

40

式(10)

$$FOM = \frac{\alpha_b - \alpha_f}{(\alpha_b + \alpha_f)/2}$$

性能指数FOMは、戻り光の伝搬損失 α_b が進み光の伝搬損失 α_f より大きいほど高くなり、且つ、進み光および戻り光の伝搬損失の和 ($\alpha_f + \alpha_b$) が小さいほど高くなる。

50

性能指数 FOM は、進み光の伝搬損失 α がゼロの時に最大値 2 をとる。また、性能指数 FOM は、バッファ層 30 (SiO₂) の膜厚 d_{SiO_2} によってはマイナスの値をとる。性能指数 FOM がマイナスの値をとった場合、強磁性金属層 50 の磁化の向きを反転させ、進み光と戻り光の伝搬損失 α の大小関係を逆転させ、戻り光の伝搬損失が進み光の伝搬損失を上回るように設定する。

【0051】

式 (1) - (10) から性能指数 FOM は光の波長 λ 、下部クラッド層 10 およびバッファ層 30 の屈折率 n_{SiO_2} 、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} 、光導波路層 20 の屈折率 n_{Si} 、と膜厚 d_{Si} 、強磁性金属層 50 の複素屈折率 N と非対角項 γ_z および膜厚 d_{Co} から一意に導出でき、式 (11) のように定義される。

式 (11)

$FOM = f_3(\lambda, n_{SiO_2}, d_{SiO_2}, n_{Si}, d_{Si}, N, \gamma_z, d_{Co})$
ここで、 f_3 は、性能指数 FOM を算出する関数である。

【0052】

図 6 は、光アイソレータ 100 の設計の一例を示すフローチャートである。光アイソレータ 100 の構造は、ステップ S100 ~ ステップ S400 により決定される。

【0053】

ステップ S100 において、光源であるレーザー光の波長 λ を決定する。レーザー光の波長 λ は、単一波長でも、一定の幅を有する波長であってもよい。レーザー光の波長 λ が単一波長の場合、光導波路層 20 は、レーザーの活性層と一体に形成されてよい。ステップ S100 で設定されたレーザー光の波長 λ が一定の幅を有する場合、光アイソレータ 100 には、設定された波長幅に対応する波長の光が入射される。

【0054】

ステップ S200 では、戻り光がプラズモン導波路 40 に結合する減衰入射角度 θ_b となるように入射角度 θ を決定する。強磁性金属層 50 の膜厚が決定されると、光導波路層 20 の膜厚を無限大に設定することにより、戻り光の強度反射率 R がゼロとなるバッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} および減衰入射角度 θ_b が決定される。なお、入射角度 θ は、以下の通り伝搬定数 β と一対一の関係にあるので、ステップ S200 で決定された減衰入射角度 θ_b に対応する減衰伝搬定数 β_b が導出される。

$$\sin \theta = \frac{\text{Re}[\beta]}{\left(\frac{\lambda}{2\pi}\right) n_{core}}$$

n_{core} は、光導波路層 20 の屈折率を示す。

【0055】

ステップ S300 では、光導波路層 20 の膜厚 d_{Si} を決定する。ステップ S100、200 において、光導波路層 20 を伝搬する光の波長 λ および減衰入射角度 θ_b (減衰伝搬定数 β_b) が決定されているので、光導波路層 20 の膜厚 d_{Si} は一意に決まる。

【0056】

ステップ S400 では、ステップ S300 で決定された光導波路層 20 の膜厚 d_{Si} に対してバッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} を変数として、光アイソレーション I と性能指数 FOM を計算する。性能指数 FOM の計算には、式 (9)、(10) が用いられる。バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} は、図 3、4 に対応する光アイソレーション I および性能指数 FOM のバッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} 依存性を考慮して決定される。例えば、光アイソレーション I が 0.2 dB/μm 以上、かつ、性能指数 FOM の絶対値が 0.5 から 2 の間を満たすように、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} が決定される。

【0057】

なお、式 (1) - (11) で示した通り、光アイソレーション I と性能指数 FOM は、波長 λ 、下部クラッド層 10 とバッファ層 30 の屈折率 n_{SiO_2} および膜厚 d_{SiO_2} 、光導波路層 20 の屈折率 n_{Si} および膜厚 d_{Si} 、強磁性金属層 50 層の複素屈折率

10

20

30

40

50

Nと非対角項 y_z および膜厚 d_c から一意に決定できる。光アイソレーション が $0.2 \text{ dB} / \mu\text{m}$ 以上、かつ、性能指数 FOM の絶対値が 0.5 から 2 の間を満たすように、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} 、光導波路層 20 の膜厚 d_{Si} 、強磁性金属層 50 の膜厚 d_c を任意に決定してよい。これにより、ステップ S 100 ~ ステップ S 400 を単純化して、光アイソレータ 100 の構造を決定できる。

【0058】

光アイソレータ 100 は、光アイソレーション が大きくても、伝搬損失 が大きい場合は有効ではない。また、光アイソレータ 100 は、進み光の伝搬損失 がゼロで性能指数 FOM が最大値の 2 であっても、光アイソレーション が小さければ、素子長を短くできないので有効でない。つまり、光アイソレータ 100 は、光アイソレーション と性能指数 FOM とがいずれも好適に設定される。例えば、光アイソレータ 100 は、光アイソレーション が $0.2 \text{ dB} / \mu\text{m}$ 以上、かつ、性能指数 FOM の絶対値が 0.5 から 2 の間となるように設計される。

10

【0059】

本例の光アイソレータ 100 は、任意の強磁性金属層 50 の膜厚 d_c に対して、各層の膜厚が最適に決定される。一方、強磁性金属層 50 の膜厚 d_c を最適化することもできる。即ち、光アイソレータ 100 は、強磁性金属層 50 の膜厚 d_c を振ることにより、性能指数 FOM を最適化される。例えば、強磁性金属層 50 の膜厚を複数設定して、それぞれの強磁性金属層 50 の膜厚について、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} を最適化して、性能指数 FOM を算出する。また、性能指数 FOM が最大となるように、強磁性金属層 50 の膜厚 d_c およびバッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} の組み合わせが決定されてもよい。

20

【0060】

図 7 A は、強度反射率 R の入射角度 に対する依存性を示す。横軸は入射角度 [deg] を示して、縦軸は強度反射率 R を示す。入射角度 と強度反射率 R の関係は、光導波路層 20 の膜厚が無限長である場合のシミュレーション結果である。なお、本例のシミュレーションでは、強磁性金属層 50 上の空気の膜厚を無限長、強磁性金属層 50 を磁化された 100 nm のコバルトとして、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} は、 100 nm から 1000 nm まで 100 nm 間隔で変更される。

【0061】

バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} が 752 nm の場合、入射角度 が 26.1 度になると、強度反射率 R がゼロになる ATR カップリングが生じる。ATR カップリングが生じると、強磁性金属層 50 およびバッファ層 30 の界面にプラズモンが励起する。例えば、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} が 100 nm である場合、入射角度 が 0 度 ~ 80 度付近において、強度反射率 R は、 0.5 前後となる。また、入射角度 が 80 度以上になると強度反射率 R は増加する。つまり、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} が 100 nm である場合強度反射率 R は 0 とならず ATR カップリングが生じない。

30

【0062】

一方、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} が 752 nm である場合、入射角度 が 26.1 度で、強度反射率 R が 0 となる ATR カップリングが生じる。ATR カップリングが生じると、光導波路層 20 を伝搬する光の全てがプラズモン導波路 40 に結合されて、強度反射率 R が 0 となる。このように、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} に応じて、ATR カップリングが生じる場合と生じない場合とがある。

40

【0063】

図 7 B は、進み光と戻り光の強度反射率 R の入射角度 依存性を示す。図 7 B は、図 7 A において破線で示された領域の拡大図である。図 7 A に示した通り、強度反射率 R が 0 となるバッファ層 30 の膜厚は、 $d_{\text{SiO}_2} = 752 \text{ nm}$ である。強度反射率 R の入射角度 依存性は、進み光と戻り光とで異なる。本例では、進み光の減衰入射角度 θ_f が約 26.075 度であるのに対して、戻り光の減衰入射角度 θ_b は、約 26.1 度となる。なお、本例のように、進み光と戻り光の強度反射率 R の差がわずかである場合であっても、

50

光導波路層 20 内を伝搬する距離を調整することにより、光アイソレーションの大きさを調整できる。

【0064】

図 8 は、減衰入射角度のバッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} 依存性を示す。横軸はバッファ層 30 の膜厚 [μm] を、縦軸は入射角度 [度] を示す。本例では、シリコン Si で形成された光導波路層 20 の膜厚が 57 nm であり、コバルト Co で形成された強磁性金属層 50 の膜厚が 100 nm である。なお、プラズモンアイソレータ部 70 の導波路長は、光アイソレータ 100 が要求される消光比に応じて設計される。例えば消光比を大きく設計したい場合、プラズモンアイソレータ部 70 の導波路長を長くする。光導波路層 20 の膜厚 d_{Si} は、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} を決定するために任意に設定された値であり、図 6 のステップ S100 ~ ステップ S400 により決定される。

10

【0065】

領域 VI、VII、VIII は、プラズモン導波路 40 と結合する入射角度が進み光と戻り光とで異なる領域の一例である。強度反射率 R の入射角度依存性が進み光と戻り光とで異なるか否かは、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} の大きさに応じて決まる。領域 VI、VII、VIII に対応する入射角度は、進み光に関して減衰入射角度 θ_f である場合には、戻り光に対して減衰入射角度 θ_b ではなく、戻り光に対して減衰入射角度 θ_b である場合には、進み光に対して減衰入射角度 θ_f ではない。なお、領域 VI、VII、VIII は、説明の便宜において指定された領域であり、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} の設定される領域がこれに限定されるものではない。例えば、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} は、進み光および戻り光の減衰入射角度の差が極大となる値に設定される。この場合、バッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} は、領域 VI、VII、VIII に限られず、1.5 μm から 2 μm の間に設定されてよい。

20

【0066】

本実施形態に係るバッファ層 30 の膜厚 d_{SiO_2} は、進み光と戻り光の減衰入射角度の差が極大となる値に設定されるので、進み光では、光導波路層 20 における伝搬光強度がプラズモン導波路 40 における伝搬光強度より大きく、かつ、戻り光では光導波路層 20 における伝搬光強度がプラズモン導波路 40 における伝搬光強度より小さく、プラズモン導波路 40 から受ける伝搬光の減衰の度合いが、進み光の方が戻り光より小さい光アイソレータ 100 を実現できる。

30

【0067】

以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。

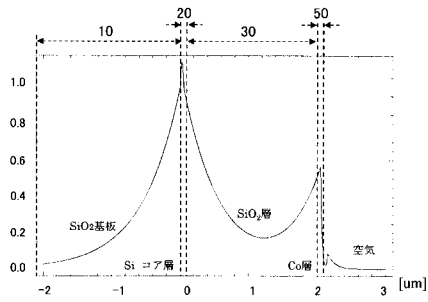
【符号の説明】

【0068】

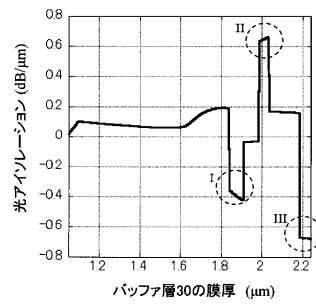
10 下部クラッド層、20 光導波路層、30 バッファ層、40 プラズモン導波路、50 強磁性金属層、60 入力導波路部、70 プラズモンアイソレータ部、80 出力導波路部、100 光アイソレータ

40

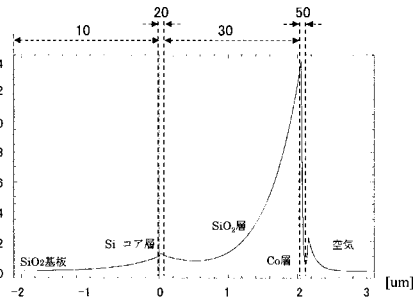
【 図 2 A 】



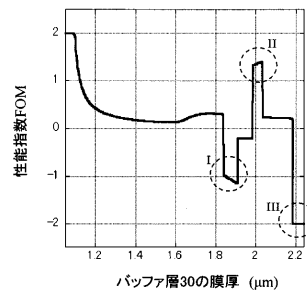
【 図 3 】



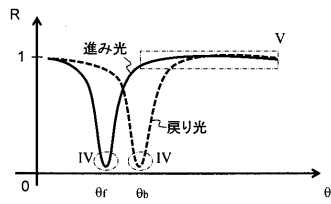
【 図 2 B 】



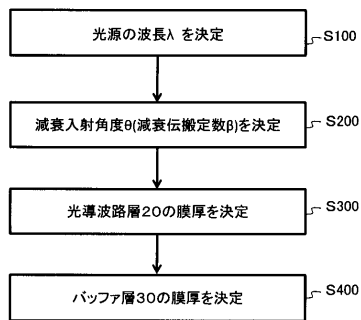
【 図 4 】



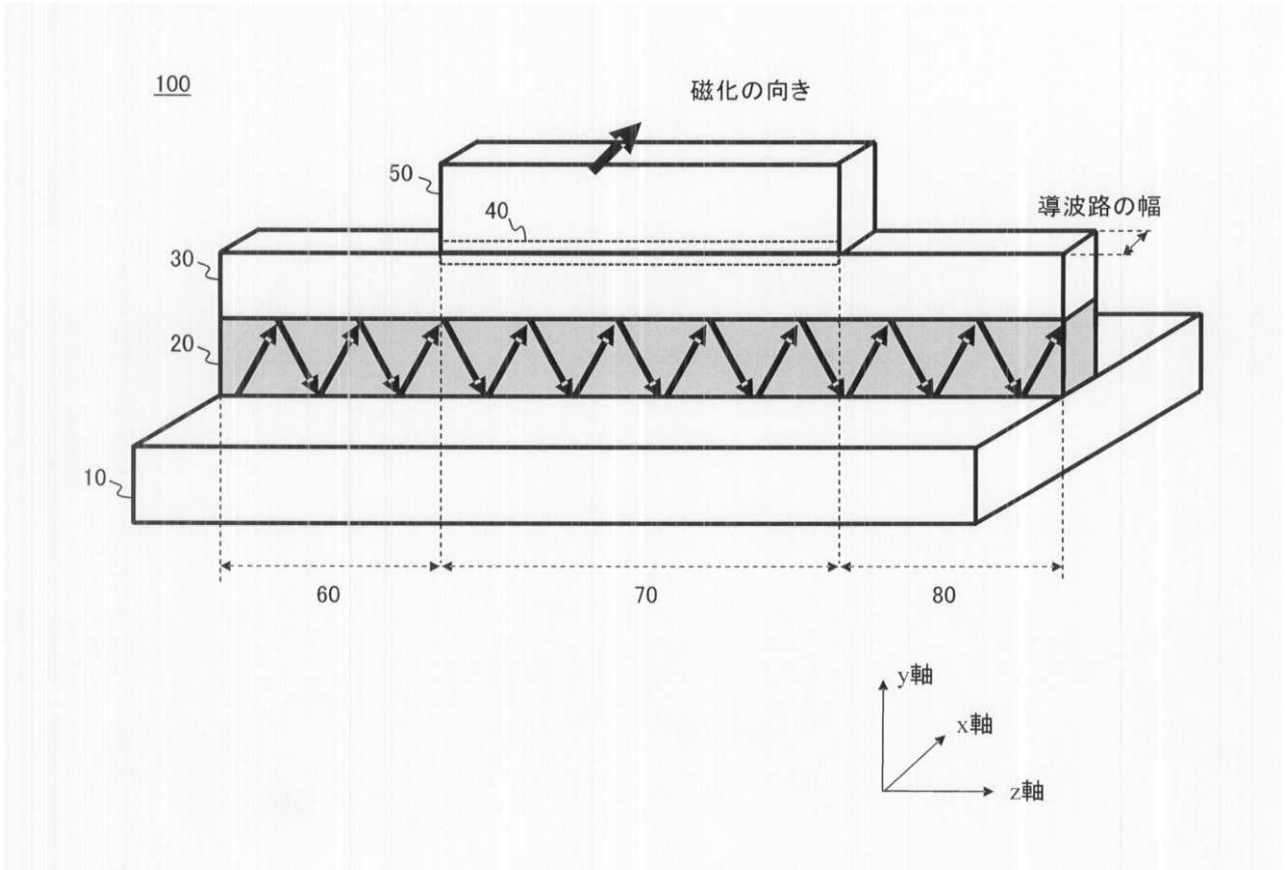
【 図 5 】



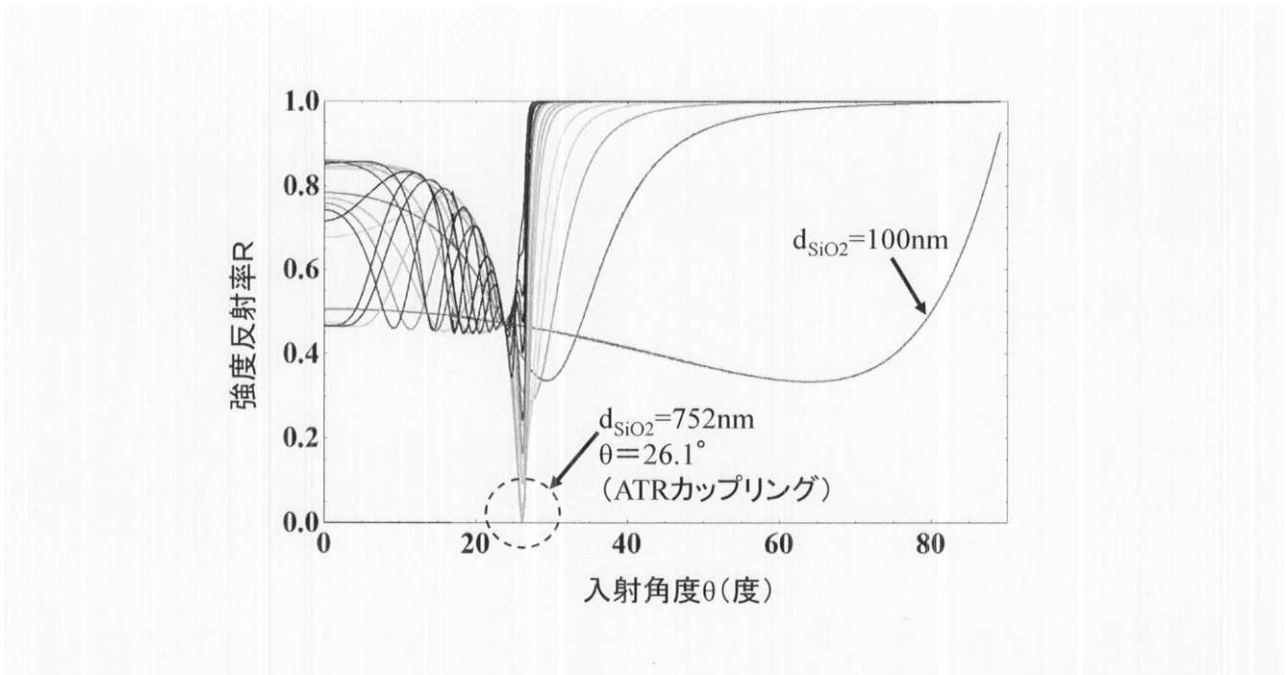
【 図 6 】



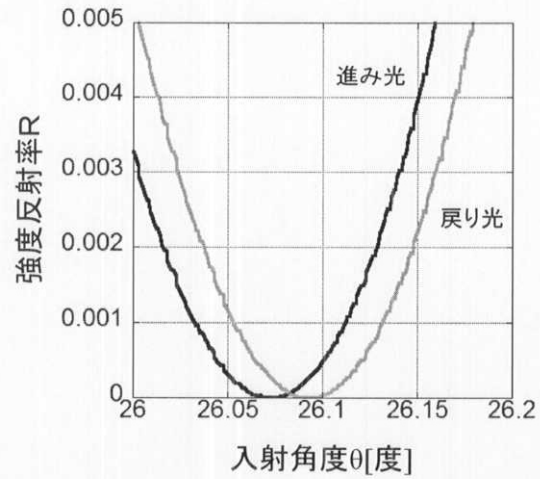
【 図 1 】



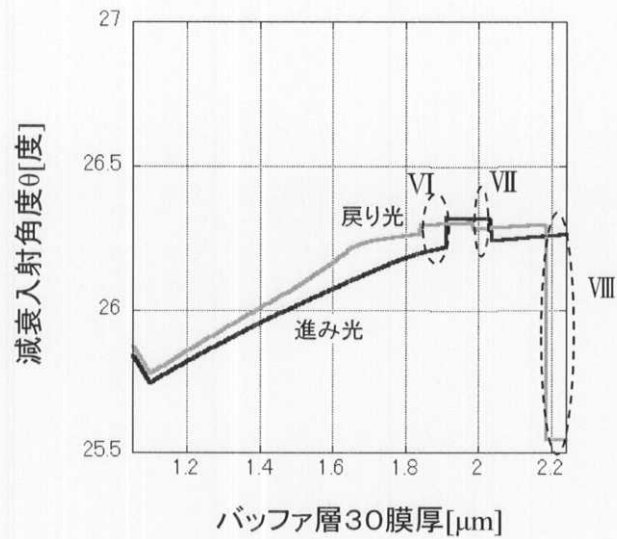
【 図 7 A 】



【図7B】



【図8】



【手続補正書】

【提出日】平成26年12月19日(2014.12.19)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

下部クラッド層と、
 前記下部クラッド層上に配置された光導波路層と、
 前記光導波路層上に配置されたバッファ層と、

前記バッファ層上の一部に配置され、前記バッファ層との界面においてプラズモン導波路を形成する強磁性金属層と

を備え、

前記バッファ層は、進み光の伝搬損失および戻り光の伝搬損失により定まる性能指数が極大値となる膜厚を有する光アイソレータ。

【請求項 2】

前記性能指数は、前記戻り光の伝搬損失が前記進み光の伝搬損失より大きいほど高くなり、且つ、前記進み光および前記戻り光の伝搬損失の和が小さいほど高くなる

請求項 1 に記載の光アイソレータ。

【請求項 3】

前記光導波路層は、前記進み光において、前記プラズモン導波路に結合されずに前記光導波路層を伝搬する光の強度に対する、前記プラズモン導波路に結合される光の強度の比が 1 より小さく、前記戻り光において、前記プラズモン導波路に結合されずに前記光導波路層を伝搬する光の強度に対する、前記プラズモン導波路に結合される光の強度の比が 1 より大きくなる膜厚を有する請求項 1 または 2 に記載の光アイソレータ。

【請求項 4】

前記光導波路層の材料はシリコンである請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項 5】

前記バッファ層の材料は、酸化シリコンである請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項 6】

前記光導波路層は、前記進み光を出力するレーザーの活性層と一体に形成される請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項 7】

前記強磁性金属層の材料は、コバルト、鉄およびニッケルのいずれか、または、コバルト、鉄およびニッケルから選択される 2 種類以上の材料の合金を含む請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項 8】

前記下部クラッド層は、半導体基板である請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項 9】

前記バッファ層の厚みが、 $0.1\ \mu\text{m}$ から $50\ \mu\text{m}$ である

請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項 10】

前記光導波路層の厚みが、 $0.01\ \mu\text{m}$ から $20\ \mu\text{m}$ である

請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項 11】

前記強磁性金属層の厚みが、 $0.001\ \mu\text{m}$ から $0.2\ \mu\text{m}$ である

請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項 12】

前記バッファ層は、前記戻り光が ATR カップリングを生じるような厚みを有する請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項 13】

前記光導波路層を伝搬する前記戻り光の全てが、プラズモン導波路に結合される請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項 14】

前記光導波路層から、前記バッファ層に入射する光の強度反射率が 0 となる請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項 15】

前記光導波路層は、シリコンで形成され、
前記強磁性金属層は、コバルトで形成され、
前記バッファ層は、酸化シリコンで形成され、1.5 μmから2 μmの膜厚を有する請
求項1から14のいずれか一項に記載の光アイソレータ。

【請求項16】

前記光導波路層は、57 nmの膜厚を有し、
前記強磁性金属層は、100 nmの膜厚を有する請求項15に記載の光アイソレータ。