

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02018/230736

発行日 令和2年4月16日(2020.4.16)

(43) 国際公開日 平成30年12月20日(2018.12.20)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
GO 1 N 21/41 (2006.01) GO 1 N 21/41 1 0 1 2 G 0 5 9

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 25 頁)

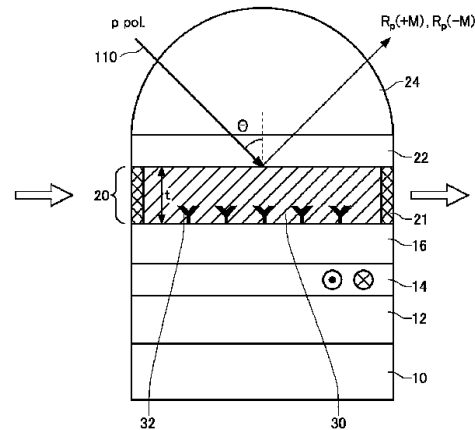
<p>出願番号 特願2019-525590 (P2019-525590)</p> <p>(21) 国際出願番号 PCT/JP2018/023039</p> <p>(22) 国際出願日 平成30年6月15日(2018.6.15)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2017-118167 (P2017-118167)</p> <p>(32) 優先日 平成29年6月15日(2017.6.15)</p> <p>(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)</p>	<p>(71) 出願人 504132881 国立大学法人東京農工大学 東京都府中市晴見町3-8-1</p> <p>(74) 代理人 110000877 龍華国際特許業務法人</p> <p>(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</p> <p>Fターム(参考) 2G059 AA01 BB04 DD01 DD12 EE02 EE05 JJ17 KK01</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 センサおよびセンサの製造方法

(57) 【要約】

表面プラズモンポラリトン励起構造を利用したセンサを提供する。基板と、基板の上方に設けられた強磁性体層と、強磁性体層の上方に設けられ、測定対象物質を流すための空間を含む低屈折率層と、低屈折率層の上方に設けられ、低屈折率層よりも屈折率の大きい高屈折率層とを備えるセンサを提供する。また、基板を用意し、基板の上方に強磁性体層を設け、強磁性体層の上方に、測定対象物質を流すための空間を含む低屈折率層を設け、低屈折率層の上方に、低屈折率層よりも屈折率の大きい高屈折率層を設けるセンサの製造方法を提供する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、
前記基板の上方に設けられた強磁性体層と、
前記強磁性体層の上方に設けられ、測定対象物質を流すための空間を含む低屈折率層と

、
前記低屈折率層の上方に設けられ、前記低屈折率層よりも屈折率の大きい高屈折率層とを備えるセンサ。

【請求項 2】

第 1 の磁場と、前記第 1 の磁場と異なる第 2 の磁場のいずれかを前記強磁性体層に印加する磁場印加部を更に備える
請求項 1 に記載のセンサ。

10

【請求項 3】

前記磁場印加部は、前記第 1 の磁場として飽和磁場を前記強磁性体層に印加し、前記第 2 の磁場として前記飽和磁場の反転磁場を前記強磁性体層に印加する
請求項 2 に記載のセンサ。

【請求項 4】

前記低屈折率層は、
前記測定対象物質を前記低屈折率層に流入する流入部と、
前記測定対象物質を前記低屈折率層から外部に流出する流出部と

20

を備える
請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載のセンサ。

【請求項 5】

前記低屈折率層の層厚は 15000 nm 以下である
請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載のセンサ。

【請求項 6】

前記低屈折率層は、予め定められた第 1 の層厚と、前記第 1 の層厚と異なる第 2 の層厚を有する

請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載のセンサ。

【請求項 7】

前記低屈折率層は、前記第 1 の層厚から前記第 2 の層厚へと徐々に層厚が変化するくさび型の構造を有する

請求項 6 に記載のセンサ。

30

【請求項 8】

前記強磁性体層と前記低屈折率層との間に設けられ、1 より大きい屈折率の伝搬定数調整層を更に備える

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載のセンサ。

【請求項 9】

前記伝搬定数調整層の膜厚は、前記低屈折率層の層厚より薄い

請求項 8 に記載のセンサ。

40

【請求項 10】

前記低屈折率層と前記強磁性体層との間に、前記強磁性体層よりも導電率が高い第 1 金属層を更に備える

請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載のセンサ。

【請求項 11】

前記基板と前記強磁性体層との間に、前記強磁性体層よりも測定波長における導電率が高い第 2 金属層を更に備える

請求項 10 に記載のセンサ。

【請求項 12】

前記第 1 金属層の膜厚は、前記第 2 金属層の膜厚よりも薄い

50

請求項 1 1 に記載のセンサ。

【請求項 1 3】

ある入射角度 で測定された磁化反転時の反射率の変化を R_p とし、ある入射角度 で反射率を測定したとき、外部磁場 (+ M)、および、外部磁場 (- M) のもとで得られた反射率の和を R_p とした場合に、

性能指数 R_p / R_p が - 1 . 0 以上、- 0 . 9 以下、または、+ 0 . 9 以上、+ 1 . 0 以下を満たす

請求項 1 から 1 2 のいずれか一項に記載のセンサ。

【請求項 1 4】

ある入射角度 で測定された、前記低屈折率層の層厚 t が異なる 2 点 (t_1 、 t_2) の反射率の変化を R_p' とし、ある入射角度 で反射率を測定したとき、前記層厚 t が t_1 、 t_2 のもとで得られた反射率の和を R_p とした場合に、

性能指数 (R_p / R_p) ' が - 1 . 0 以上、- 0 . 9 以下、または、+ 0 . 9 以上、+ 1 . 0 以下を満たす

請求項 1 から 1 2 のいずれか一項に記載のセンサ。

【請求項 1 5】

前記反射率の和 R_p 、前記性能指数の入射角度依存性を測定する際、入射角度の分解能を超える超分解能を有する

請求項 1 3 または 1 4 に記載のセンサ。

【請求項 1 6】

基板を用意し、

前記基板の上方に強磁性体層を設け、

前記強磁性体層の上方に、測定対象物質を流すための空間を含む低屈折率層を設け、

前記低屈折率層の上方に、前記低屈折率層よりも屈折率の大きい高屈折率層を設けるセンサの製造方法。

【請求項 1 7】

前記強磁性体層と、前記低屈折率層と、前記高屈折率層との積層構造は、

前記強磁性体層の上面に支持層を設け、

前記支持層を介して、前記強磁性体層の上方に前記高屈折率層を積層することにより形成される

請求項 1 6 に記載のセンサの製造方法。

【請求項 1 8】

前記強磁性体層と、前記低屈折率層と、前記高屈折率層との積層構造は、

前記高屈折率層を含む基板を更に用意し、

前記高屈折率層を含む基板に溝を形成し、

前記高屈折率層を含む基板の前記溝が形成された面を、前記強磁性体層に貼り合わせるにより形成される

請求項 1 6 に記載のセンサの製造方法。

【請求項 1 9】

ある入射角度 で測定された磁化反転時の反射率の変化を R_p とし、ある入射角度 で反射率を測定したとき、外部磁場 (+ M)、および、外部磁場 (- M) のもとで得られた反射率を R_p とした場合に、

性能指数 R_p / R_p が - 1 . 0 以上、- 0 . 9 以下、または、+ 0 . 9 以上、+ 1 . 0 以下を満たす

請求項 1 6 から 1 8 のいずれか一項に記載のセンサの製造方法。

【請求項 2 0】

ある入射角度 で測定された、前記低屈折率層の層厚 t が異なる 2 点 (t_1 、 t_2) の反射率の変化を R_p' とし、ある入射角度 で反射率を測定したとき、前記層厚 t が t_1 、 t_2 のもとで得られた反射率の和を R_p とした場合に、

性能指数 (R_p / R_p) ' が - 1 . 0 以上、- 0 . 9 以下、または、+ 0 . 9 以上、

+ 1.0 以下を満たす

請求項 16 から 18 のいずれか一項に記載のセンサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、センサおよびセンサの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、表面プラズモンポラリトン励起構造を利用したセンサが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

特許文献 1 国際公開第 2011/142118 号

【解決しようとする課題】

【0003】

表面プラズモンポラリトン励起構造を利用した、より高感度なセンサが要求されている。

【一般的開示】

【0004】

本発明の第 1 の態様においては、基板と、基板の上方に設けられた強磁性体層と、強磁性体層の上方に設けられ、測定対象物質を流すための空間を含む低屈折率層と、低屈折率層の上方に設けられ、低屈折率層よりも屈折率の大きい高屈折率層とを備えるセンサを提供する。

【0005】

本発明の第 2 の態様においては、基板を用意し、基板の上方に強磁性体層を設け、強磁性体層の上方に、測定対象物質を流すための空間を含む低屈折率層を設け、低屈折率層の上方に、低屈折率層よりも屈折率の大きい高屈折率層を設けるセンサの製造方法を提供する。

【0006】

なお、上記の発明の概要は、本発明の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。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図 1】実施例 1 に係るセンサ 100 の構成の一例を示す。

【図 2】センサ 100 の構成の一例を示す。

【図 3】センサ 100 の製造方法の一例を示す。

【図 4】図 1 のセンサ構成において表面プラズモンポラリトンの光波が基板 10、金属層 12、強磁性体層 14、金属層 16、低屈折率層 20、高屈折率層 22、プリズム 24 からなる積層構造の中で分布する様子の一例を示す。

【図 5】センサ 100 の指標 R_p / R_p の波長依存性を示す。

【図 6】センサ 100 の指標 R_p / R_p の入射角度依存性を示す。

【図 7】実施例 2 に係るセンサ 100 の構成の一例を示す。

【図 8】実施例 3 に係るセンサ 100 の構成の一例を示す。

【図 9】実施例 4 に係るセンサ 100 の構成の一例を示す。

【図 10】比較例 1 に係るセンサ 500 の構成を示す。

【図 11】実施例 2 に係るセンサ 100 の感度と、比較例 1 に係るセンサ 500 の感度を示す。

【図 12 A】センサ 100 の指標 R_p / R_p の具体的な入射角度依存性を示す。

【図 12 B】センサ 500 の指標 R_p の具体的な入射角度依存性を示す。

【図 13】実施例 4 に係るセンサ 100 の指標 $(R_p / R_p)'$ の具体的な入射角度依存性を示す。

【図 14】センサ装置 200 の応用例の一例を示す。

10

20

30

40

50

【図15】センサ装置200の構成の一例を示す。

【図16】強磁性体層14への印加磁場と磁気光学効果との関係を示す。

【発明を実施するための形態】

【0008】

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。

【0009】

[実施例1]

図1は、実施例1に係るセンサ100の構成の一例を示す。本例のセンサ100は、基板10と、金属層12と、強磁性体層14と、金属層16と、低屈折率層20と、高屈折率層22と、プリズム24と、分子認識素子32とを備える。センサ100は、測定対象物質30の屈折率を測定する。

10

【0010】

基板10は、ガラス基板や半導体基板等の任意の材料の基板であってよい。基板10の材料は、酸化シリコン(SiO_2)、酸化マグネシウム(MgO)等の酸化物やシリコンなどの鉄(Fe)、銀(Ag)、金(Au)等の金属を成膜できる材料であることが好ましい。

【0011】

金属層12は、基板10の上方に設けられる。本例の金属層12は、基板10と金属層16との間に設けられている。金属層12と金属層16の材料は、強磁性体層14よりも測定波長における導電率が高い材料である。金属層12は、 Ag や Au 等の貴金属、または、これらから選択される2種類以上の材料の合金であってよい。金属層12は、第2金属層の一例である。

20

【0012】

強磁性体層14は、磁気モーメントが予め定められた方向に揃った磁性材料を含む。一例において、強磁性体層14は、外部磁場の印加により磁気モーメントの方向が制御される。強磁性体層14に印加する外部磁場の大きさを変更することにより、センサ100の検出感度が変化する。例えば、強磁性体層14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。

30

【0013】

金属層16は、強磁性体層14の上面に設けられる。本例の金属層16は、強磁性体層14と低屈折率層20との間に設けられている。金属層16の材料は、強磁性体層14よりも導電率が高い材料である。金属層16は、 Ag や Au 等の貴金属、または、これらから選択される2種類以上の材料の合金であってよい。金属層12と、強磁性体層14と、金属層16とは、強磁性金属と貴金属の積層構造からなる複合金属薄膜を構成する。金属層12および金属層16として貴金属を用いることにより、複合金属薄膜におけるロスが減らして、後述するATRカーブを急峻にできる。本例の金属層16の膜厚は、金属層12の膜厚よりも薄い。金属層16は、第1金属層の一例である。

【0014】

40

低屈折率層20は、強磁性体層14の上方に設けられる。本例の低屈折率層20は、金属層16の上面に設けられている。低屈折率層20は、予め定められた屈折率の測定対象物質30を流すための空間を有する。低屈折率層20は、予め定められた層厚 t を有する。一例において、低屈折率層20の層厚 t は、 15000nm 以下であってよく、 3000nm 以下であってよく、 1500nm 以下であってよく、 500nm 以下であってよい。低屈折率層20の屈折率は、測定対象物質に応じて決められる。決められた屈折率に対して強磁性金属を含む金属層と誘電体の組合せに対して低屈折率層20の層厚 t を変えた時、放射モード(即ち、 $-M$ で表記したモード)と閉じ込めモード(即ち、 $+M$ で表記したモード)を強磁性金属の磁化反転によって切り替えることができるように高屈折率層22の屈折率を決める。低屈折率層20の端部は、複数の支持層21により支持されてい

50

る。本例の支持層 2 1 は、基板 1 0 の平面形状が四角形の場合、基板 1 0 の四隅に設けられる。複数の支持層 2 1 は、測定対象物質 3 0 を流入するための流入口と、測定対象物質 3 0 を流出するための流出口を形成してよい。但し、低屈折率層 2 0 を流入する空間を確保できるものであれば、金属層 1 6 と高屈折率層 2 2 との間を支持する方法は特に限定されない。

【 0 0 1 5 】

また、低屈折率層 2 0 の上面および下面は、平面に限定されず、センサ 1 0 0 が動作できるものであれば、曲面や凹凸等を有するものであってもよい。さらに、低屈折率層 2 0 と隣接する層を使い捨てにするため、金属層 1 6 や高屈折率層 2 2 などの部材を交換式としてもよい。

10

【 0 0 1 6 】

測定対象物質 3 0 は、センサ 1 0 0 により特性を検出する対象となる物質である。測定対象物質 3 0 は、低屈折率層 2 0 の空間に導入できるものであれば、特に限定されない。本例の測定対象物質 3 0 は、液体または気体である。センサ 1 0 0 は、測定対象物質 3 0 の物性を測定する。一例において、センサ 1 0 0 は、予め測定対象物質 3 0 の情報を取得しておくことにより、屈折率の変化から測定対象物質 3 0 の種類、組成、濃度、分析物と抗体の結合・解離等を測定する。例えば、測定対象物質 3 0 が気体の場合、センサ 1 0 0 は、ガスセンサとして機能する。

【 0 0 1 7 】

分子認識素子 3 2 は、測定対象物質 3 0 を吸着する。一例において、分子認識素子 3 2 は、測定対象物質 3 0 に対応する抗体である。分子認識素子 3 2 は、低屈折率層 2 0 の空間内に設けられる。本例の分子認識素子 3 2 は、金属層 1 6 の上面に設けられる。即ち、分子認識素子 3 2 は、低屈折率層 2 0 の底面側に設けられている。但し、分子認識素子 3 2 は、低屈折率層 2 0 の上面側に設けられても、中央に設けられてもよい。センサ 1 0 0 は、複数の分子認識素子 3 2 を設けることにより、複数の測定対象物質 3 0 を測定することができる。

20

【 0 0 1 8 】

高屈折率層 2 2 は、低屈折率層 2 0 の上方に設けられる。高屈折率層 2 2 は、低屈折率層 2 0 よりも屈折率の大きい層である。一例において、低屈折率層 2 0 と高屈折率層 2 2 との屈折率差は以下のように決められる。測定対象物質 3 0 の屈折率に対して低屈折率層 2 0 の屈折率が決まる。決められた屈折率に対して強磁性金属を含む金属層と誘電体の組合せに対して低屈折率層 2 0 の層厚 t を変えた時、放射モード (- M で表記したモード) と閉じ込めモード (+ M で表記したモード) を強磁性金属の磁化反転によって切り替えることができるように高屈折率層 2 2 の屈折率を決める。

30

【 0 0 1 9 】

また、別の例において低屈折率層 2 0 と高屈折率層 2 2 との屈折率差は以下のように決められる。測定対象物質 3 0 の屈折率に対して低屈折率層 2 0 の屈折率が決まる。決められた屈折率に対して強磁性金属を含む金属層と誘電体の組合せに対して低屈折率層 2 0 の層厚 t を変えた時、放射モードと閉じ込めモードを低屈折率層 2 0 の層厚 t の違いによって切り替えることができるように高屈折率層 2 2 の屈折率を決める。ある波長と低屈折率層 2 0 の層厚 t 、強磁性金属と貴金属の組み合わせに対して左記の条件を満たすように屈折率差が決められる。例えば、低屈折率層 2 0 の屈折率を 1 . 0 2 としたとき、高屈折率層 2 2 の材料は、 $S i O_2$ とできる。

40

【 0 0 2 0 】

プリズム 2 4 は、高屈折率層 2 2 上に設けられる。プリズム 2 4 には、予め定められた波数の入射光 1 1 0 が入射する。入射光 1 1 0 は、予め定められた入射角度 でプリズム 2 4 に入射される。入射光 1 1 0 は、少なくとも p 偏光の光を含む。入射光 1 1 0 の波数および入射角度 は、センサ 1 0 0 で励起されるプラズモンや低屈折率層 2 0 および高屈折率層 2 2 を構成する材料等に応じて変更されてよい。一例において、プリズム 2 4 は、高屈折率層 2 2 と同一の材料で形成される。本例のプリズム 2 4 の材料は、 $S i O_2$ であ

50

る。

【0021】

本例のセンサ100は、入射光110の反射率を測定し、測定した反射率の違いから測定対象物質30の屈折率の違いを検出する。入射光110の反射率の測定には、全反射減衰法(ATR法)が用いられる。例えば、センサ100は、強磁性金属の磁化がプラスの時とマイナスの時、反射率の入射角度の依存性を測定し、磁化が反転したときの反射率の変化(R_p / R_p)、もしくは反射率(R_p)を指標として屈折率の変化を検出する。これにより、センサ100は、測定対象物質30の物性を測定する。

【0022】

ここで、強磁性体層14の低屈折率層20側の界面において、表面プラズモンが励起される。表面プラズモンの励起条件および励起状態は、プリズム24から入射する入射光110の入射角度および波数によって決まる。例えば、表面プラズモンは、高屈折率層22側から入射した光が、高屈折率層22と低屈折率層20との界面で全反射する際のエバネッセント波を通じて励起される。そして、表面プラズモンの励起状態は、低屈折率層20の空間を占める測定対象物質30の屈折率が変化することによって変化する。高屈折率層22側の波数のZ方向成分と表面プラズモン側の波数を一致させるように低屈折率層20の層厚tを設計することにより、入射光110の反射率をゼロに、または、ゼロに近づけることができる。

【0023】

センサ100の指標のうち、磁化反転時の反射率の変化(R_p / R_p)は、(数1)式で示される。たとえば、センサ100の指標(R_p / R_p)が屈折率の変化nに対して(R_p / R_p)だけ変化したとき、(R_p / R_p)/nが、センサ100の感度に対応する。本例の指標は、磁化反転時の反射率の差を反射率の和で規格化したものであり、-1から+1の間をとる。

【数1】

$$\frac{\Delta R_p}{R_p} = \frac{R_p(-M) - R_p(+M)}{R_p(-M) + R_p(+M)}$$

R_p は、ある入射角度で測定された磁化反転時の反射率の変化(即ち、反射率の差)を示す。磁化反転時とは、強磁性体層14に予め定められた外部磁場(+M)を印加し、当該外部磁場(+M)を反転した外部磁場(-M)を強磁性体層14に印加する場合を指す。 R_p は、ある入射角度で反射率を測定したとき、外部磁場(+M)、および、外部磁場(-M)のもとで得られた反射率 $R_p(+M)$ 、 $R_p(-M)$ の和を示す。センサ100は、 R_p と R_p との比である指標 R_p / R_p から屈折率の変化を検出する。なお、(数1)式は、センサ100を用いた場合の指標 R_p / R_p の一例であり、反射率の差や反射率の和を用いることに限定されるものではない。例えば、 R_p として反射率の平均値を用いてもよい。

【0024】

なお、屈折率の変化に対する磁化反転時の反射率の変化(R_p / R_p)の変化は、屈折率の変化に対する反射率の変化よりも大きくなる。即ち、磁化反転時の反射率の変化の屈折率に対する変化(R_p / R_p)/nは、反射率の屈折率に対する変化 R_p / n よりも大きい。センサ100は、指標を R_p / R_p とすることにより、 R_p を指標とする場合よりも感度を高められる。一例において、本例のセンサ100は、10のマイナス6乗の屈折率差を検出できる。

【0025】

センサ100のもう一つの指標として、低屈折率層20の層厚tが異なる2点(t1、t2)の反射率 $R_p(t1)$ 、 $R_p(t2)$ を測定し、異なる位置の反射率の変化(R_p / R_p)'を挙げる。(R_p / R_p)'が屈折率の変化nに対して(R_p / R_p)'だけ変化したとき、(R_p / R_p)'/nが、センサ100の感度に対応する。

本例の指標は、異なる位置の反射率の差を反射率の和で規格化したものであり、-1から+1の間をとる。強磁性金属の磁化状態は任意でよい。

【数2】

$$\frac{\Delta R_p'}{R_p'} = \frac{R_p(t1) - R_p(t2)}{R_p(t1) + R_p(t2)}$$

R_p' は、ある入射角度で測定された、低屈折率層20の層厚 t が異なる2点の反射率の変化(即ち、反射率の差)を示す。 R_p' は、ある入射角度で測定された、低屈折率層20の層厚 t が異なる2点の反射率 $R_p(t1)$ 、 $R_p(t2)$ の和を示す。センサ100は、 R_p' と R_p' との比である指標 R_p'/R_p' から屈折率の変化を検出する。なお、(数2)式は、センサ100を用いた場合の指標(R_p/R_p)'の一例であり、反射率の差や反射率の和を用いることに限定されるものではない。例えば、 R_p' として反射率の平均値を用いてもよい。

10

【0026】

本例のセンサ100は、高屈折率層22と、測定対象物質30を含む低屈折率層20と、金属との三層構造を備えるオット配置で構成される。オット配置では、高屈折率層側の波数のZ方向成分と表面プラズモンの波数を完全に整合させることができ、反射率が理論上ゼロとなる。これにより、センサ100の感度が向上する。なお、本例のセンサ100は、オット配置において、指標を R_p/R_p 、(R_p/R_p)'としたが、指標に R_p を用いた場合であっても、低屈折率層20の層厚 t を分析物、測定波長に対して選んで測定することでクレッチマン配置と比較して感度を向上できる。

20

【0027】

以上の通り、センサ100は、反射率をゼロにし、且つ、強磁性金属と貴金属とを組み合わせることで、測定対象物質30の屈折率の変化に対する磁化反転時の反射率の変化(R_p/R_p)の変化を急峻にする。センサ100は、反射率をゼロにすることにより、指標である磁化反転時の反射率の変化(R_p/R_p)を1(即ち、100%)に近づけられる。また、測定対象物質30が一般に屈折率に波長依存性を有するので、適切な波長を選択することにより、大きな感度が実現される。例えば、センサ100は、測定対象物質30が最も大きな屈折率変化を示す波長に合わせて設計される。

30

【0028】

図2は、センサ100の構成の一例を示す。本例のセンサ100は、磁場印加部40をさらに備える。なお、図2では、センサ100の詳細な構造を省略しているものの、図1で示したセンサ100と同様の構造を有してよい。

【0029】

磁場印加部40は、強磁性体層14に磁場を印加する。一例において、磁場印加部40は、第1の磁場と、第1の磁場と異なる第2の磁場のいずれかを強磁性体層14に印加する。例えば、磁場印加部40は、第1の磁場として飽和磁場を強磁性体層14に印加し、第2の磁場として飽和磁場の反転磁場を強磁性体層14に印加する。但し、強磁性体層14に印加する磁場は、反転磁場に限られず、同一の極性の磁場であってもよい。磁場印加部40は、強磁性体層14に印加する外部磁場を強磁性体層14の飽和磁場とすることにより信号が安定する。但し、強磁性体層14に印加する磁場は、飽和磁場に限られない。

40

【0030】

低屈折率層20は、両端において流入部26および流出部28と接続されている。流入部26および流出部28は、低屈折率層20の空間に接続される。流入部26は、測定対象物質30を外部から低屈折率層20の内部に流入させる。流出部28は、測定対象物質30を低屈折率層20の内部から外部に流出させる。

【0031】

本例のセンサ100は、強磁性体層14に印加する磁場の方向を変化させて、指標 R_p/R_p で測定対象物質30の物性を測定する。センサ100は、表面プラズモンに磁気

50

的作用を付加して高感度化を実現する。

【 0 0 3 2 】

図 3 は、センサ 1 0 0 の製造方法の一例を示す。本例は、センサ 1 0 0 の製造方法の一例であり他の製造方法を用いてセンサ 1 0 0 が製造されてもよい。

【 0 0 3 3 】

センサ 1 0 0 の製造では、基板 1 0 を用意する。基板 1 0 の上方には、強磁性体層 1 4 が設けられる。本例では、基板 1 0 の上面に金属層 1 2 と、強磁性体層 1 4 と、金属層 1 6 とが積層される。また、金属層 1 6 の上面には、低屈折率層 2 0 および高屈折率層 2 2 が積層される。一例において、強磁性体層 1 4 の上面に接着剤を塗布し、当該接着剤を介して、強磁性体層 1 4 の上方に高屈折率層 2 2 を積層する。センサ 1 0 0 が金属層 1 6 を有する場合、接着剤は金属層 1 6 の上面に塗布される。強磁性体層 1 4 と、低屈折率層 2 0 と、高屈折率層 2 2 との積層構造は、強磁性体層 1 4 の上方に接着剤を介して高屈折率層 2 2 を積層し、強磁性体層 1 4 と、接着剤と、高屈折率層 2 2 とを加熱することにより形成される。

10

【 0 0 3 4 】

高屈折率層 2 2 は、金属層 1 6 の上面に支持層 2 1 を介して積層される。即ち、接着剤は、加熱により硬化して支持層 2 1 となる。例えば、支持層 2 1 の材料としてインジウムを金属層 1 6 上に設けた後に、高屈折率層 2 2 を積層し、窒素雰囲気中で加熱する。このように、高屈折率層 2 2 は、はんだの要領で金属層 1 6 の上方に形成される。これにより、低屈折率層 2 0 が高屈折率層 2 2 と金属層 1 6 との間に設けられる。

20

【 0 0 3 5 】

なお、低屈折率層 2 0 の空間は、エッチングプロセス等の技術を用いて形成されてよい。例えば、高屈折率層 2 2 が SiO_2 の場合、 SiO_2 基板上に溝を設けることにより流路を形成する。 SiO_2 基板の流路が形成された側を金属層 1 6 側に貼り合わせることにより、高屈折率層 2 2 と金属層 1 6 との間に低屈折率層 2 0 が形成されてよい。そして、プリズム 2 4 は、マッチングオイル等により、高屈折率層 2 2 の上面に貼り合わせられてよい。

【 0 0 3 6 】

図 4 は、表面プラズモンポラリトンの光波が積層構造を主とするセンサ構造の中で分布する様子の一例を示す。同図は、センサ 1 0 0 の簡略化した構造と、センサ 1 0 0 の A T R カーブを示す。A T R カーブの縦軸はプラズモン波の強度を示し、横軸はセンサ 1 0 0 の深さ方向の座標を示す。座標は、低屈折率層 2 0 と高屈折率層 2 2 との界面を原点として、低屈折率層 2 0 側を正の方向とし、高屈折率層 2 2 側を負の方向としている。また、グラフ中の実線は、磁場印加部 4 0 が磁場 (- M) を印加する場合のプラズモン波の強度分布に対応し、破線は、磁場印加部 4 0 が磁場 (+ M) を印加する場合のプラズモン波の強度分布に対応する。

30

【 0 0 3 7 】

プラズモン波は、強磁性体層 1 4 および低屈折率層 2 0 の界面付近で主に発生する。プラズモン波の強度は、強磁性体層 1 4 と低屈折率層 2 0 との界面で特に高くなる。プラズモン波の特性は、磁場印加部 4 0 による印加磁場の方向を磁場 (+ M) と磁場 (- M) で変化させることにより変化している。プラズモン波は、高屈折率層 2 2 において、約一定の強度を有する。即ち、本例のグラフは、カットオフ時のプラズモン波の強度分布を示す。

40

【 0 0 3 8 】

カットオフとは、高屈折率層 2 2 側の光の強度が一定になり、プラズモン波の波数が実数になる状態を指し、高屈折率層 2 2 側から入射した光の波数の z 方向成分と一致することで反射率がゼロとなる。カットオフでは、表面プラズモンが励起されているが、強磁性体層 1 4 と低屈折率層 2 0 の界面で閉じ込められ、図 4 に示す座標 - となる点において強度がゼロに収束する状態 (プラズモン波が分布する様子) と、強磁性体層 1 4 と低屈折率層 2 0 がエバネセント波により結合しない状態の境界に対応し、プラズモン波の波数が

50

実数になる。実際には高屈折率層 2 2 やプリズム 2 4 の厚さは有限であるが、低屈折率層 2 0 の層厚 t と比べて十分厚く、座標 - となる点を高屈折率層 2 2 の上端やプリズム 2 4 の半円の縁とみなしても、センサの使用上において問題はない。例えば、ある方向に磁場を印加し、+ M 状態を実現した際のカットオフの場合、(数 1) 式において、 R_p (+ M) が 0 となるので、指標が 1 となる。印加磁場の大きさが変化すると、プラズモンの波数が変化するので、カットオフが生じる入射光 1 1 0 の波長等の条件も変わる。本例のセンサ 1 0 0 は、オット配置で構成される構造および入射光 1 1 0 を最適に選択することにより、カットオフの状態を実現できる。

【 0 0 3 9 】

図 5 は、センサ 1 0 0 の指標 R_p / R_p の波長依存性を示す。縦軸は指標 R_p / R_p を示し、横軸は入射光 1 1 0 の波長 [nm] を示す。各グラフは、入射光 1 1 0 の入射角度 θ が 55° 、 55.3° 、 55.4° 、 56° 、 56.5° の場合をそれぞれ示す。グラフ中において、三角が 55° の場合を示し、黒丸が 55.3° の場合を示し、白丸が 55.4° の場合を示し菱形が 56° の場合を示し、四角が 56.5° の場合を示す。

10

【 0 0 4 0 】

本例において、指標 R_p / R_p は、入射角度 θ に応じて異なる挙動を示すことが分かる。また、入射角度 θ は、それぞれ異なる波長 λ 依存性を有することが分かる。例えば、入射角度 θ が 55.3° の場合、性能指数 R_p / R_p が + 1.0 と - 1.0 に近づく。また、入射光 1 1 0 は、 R_p / R_p が + 1.0 と - 1.0 に近づく場合の 2 つの波長の間で波長の変化に対して R_p / R_p が大きく変化する波長を有することが好ましい。これにより、センサ 1 0 0 の感度が向上する。例えば、センサ 1 0 0 は、性能指数 R_p / R_p が - 1.0 以上、- 0.9 以下であってよく、- 0.9 以上、+ 0.9 以下であってよく、+ 0.9 以上、+ 1.0 以下を満たすように設計されてよい。

20

【 0 0 4 1 】

図 6 は、センサ 1 0 0 の指標 R_p / R_p の入射角度 θ 依存性を示す。縦軸は指標 R_p / R_p を示し、横軸は入射光 1 1 0 の入射角度 [$^\circ$] を示す。本例のセンサ 1 0 0 は、低屈折率層 2 0 を真空 ($n = 1$) と SiO_2 保護層からなる積層構造とし、高屈折率層 2 2 を SiO_2 とし、強磁性体層 1 4 を Fe とし、金属層 1 2 を貴金属である Ag としている。

30

【 0 0 4 2 】

本例の指標 R_p / R_p は、入射角度 θ が 46.1° 付近において、+ 1.0 と - 1.0 に近づく。また、入射角度 θ が 46.1° 付近において、指標 R_p / R_p の変化が急峻になる。即ち、入射角度 θ が 46.1° 付近では、測定対象物質 3 0 の屈折率変化に対して最大の信号 (指標) 変化が得られるため、センサの測定条件に設定する。

【 0 0 4 3 】

以上の通り、本例のセンサ 1 0 0 は、指標 $R_p / R_p = 1$ を実現できる。また、センサ 1 0 0 は、Fe と貴金属である Ag を組み合わせることにより、指標の変化 (傾き) を急峻にしている。これにより、センサ 1 0 0 の感度が向上する。なお、センサ 1 0 0 は、低屈折率層 2 0 の厚みを変えることにより、測定対象物質 3 0 に応じて計測波長を調整できる。

40

【 0 0 4 4 】

[実施例 2]

図 7 は、実施例 2 に係るセンサ 1 0 0 の構成の一例を示す。本例のセンサ 1 0 0 は、伝搬定数調整層 1 8 を備える。

【 0 0 4 5 】

伝搬定数調整層 1 8 は、強磁性体層 1 4 の上面に設けられる。本例の伝搬定数調整層 1 8 は、強磁性体層 1 4 と低屈折率層 2 0 との間に設けられる。伝搬定数調整層 1 8 の屈折率は、1 より大きい。伝搬定数調整層 1 8 の膜厚は、低屈折率層 2 0 の層厚より薄い。例えば、伝搬定数調整層 1 8 の材料は、 SiO_2 である。伝搬定数調整層 1 8 の膜厚は、低

50

屈折率層 20 の層厚以下である。なお、本例では、金属層 16 の代わりに伝搬定数調整層 18 を設けたが、センサ 100 は、強磁性体層 14 と低屈折率層 20 との間に、金属層 16 と伝搬定数調整層 18 の両方を備えてもよい。伝搬定数調整層 18 は、センサ 100 の感度が向上するように、測定対象物質 30 に応じて屈折率が調整されてよい。

【0046】

[実施例 3]

図 8 は、実施例 3 に係るセンサ 100 の構成の一例を示す。本例のセンサ 100 は、くさび状の低屈折率層 20 を有する。

【0047】

低屈折率層 20 は、予め定められた層厚 t_1 の支持層 21 と、層厚 t_1 と異なる層厚 t_2 の支持層 21 とを有する。低屈折率層 20 は、異なる層厚 t_1 および層厚 t_2 の支持層 21 を有するので、低屈折率層 20 の断面積が位置によって変化している。本例の低屈折率層 20 は、層厚 t_1 から層厚 t_2 へと徐々に層厚が変化するくさび型の構造を有する。したがって、センサ 100 は、入射光 110 を入射する位置により、測定対象物質 30 の層厚が変化し、測定対象物質 30 を測定するための波長も異なる。例えば、異なる層厚の支持層 21 をはんだで形成する場合、層厚の異なるはんだを金属層 16 上に設けられる。また、異なる層厚の支持層 21 を SiO_2 基板に溝を設けることで形成する場合、 SiO_2 基板面内で空間層厚が異なるように、 SiO_2 基板をわずかに傾けて研磨する。これにより、低屈折率層 20 は、異なる層厚 t_1 および層厚 t_2 の支持層 21 が形成される。

10

【0048】

本例のセンサ 100 は、くさび型の低屈折率層 20 を備えるので、入射光 110 の入射位置と波長を選択することで入射角度を変化させることなく、実質的に異なる入射角度の反射率（図 6 に相当する測定結果）を検出できる。また、本例のセンサ 100 は、低屈折率層 20 の屈折率に応じて、測定対象物質 30 に対応する最適な入射位置（層厚 t ）と入射光 110 の波長を選択してよい。

20

【0049】

図 9 は、実施例 4 に係るセンサ 100 の構成の一例を示す。本例のセンサ 100 は、実施例 3 に係るセンサ 100 と同様に、低屈折率層 20 の異なる層厚 t_1 および層厚 t_2 を有する。本例では、実施例 3 と相違する点について特に説明する。

【0050】

センサ 100 は、入射光 110 を入射する位置を変更することにより、異なる反射率 $R_p(t_1)$ と $R_p(t_2)$ で反射された入射光 110 を取得できる。異なる反射率で反射された入射光 110 は、異なるフォトダイオードでそれぞれ受光されてよい。本例のセンサ 100 は、異なる層厚 t_1 および層厚 t_2 の低屈折率層 20 を用いることにより、印加磁場を変更することなく測定対象物質 30 を測定することができる。なお、本例では、2 つの異なる層厚を用いる場合について説明したが、3 以上の異なる層厚を用いてもよい。

30

【0051】

[比較例 1]

図 10 は、比較例に係るセンサ 500 の構成を示す。センサ 500 は、測定対象物質を含む誘電体層 520 と、貴金属層 522 と、プリズム 524 とを備える。センサ 500 は、測定対象物質を含む誘電体層 520 側に分子認識素子 532 を備える。

40

【0052】

測定対象物質を含む誘電体層 520 は、空気である。貴金属層 522 は、プリズム 524 上に形成されている。本例の貴金属層 522 は、Au である。プリズム 524 上に、貴金属層 522 が形成されている。本例のプリズム 524 は、 SiO_2 であり、プリズム 524 から入射した光が貴金属層 522 で全反射された際に発生するエバネセント波が貴金属層 522 と測定対象物質を含む誘電体層 520 の界面に励起されるプラズモン波を利用してセンサを実現している。即ち、センサ 500 は、クレッチマン配置で構成されている。

【0053】

50

入射光 5 1 0 が入射角度 θ_i でプリズム 5 2 4 に入射する。 R_p は、入射した p 偏光の反射光の強度である。プラズモン波は、測定対象物質を含む誘電体層 5 2 0 と貴金属層 5 2 2 との間に形成される。

【 0 0 5 4 】

ここで、センサ 5 0 0 の感度は、反射率の角度依存性を示した A T R カーブの傾きで決まる。 A T R カーブの傾きが急であること、もしくは、反射率の谷の半値幅の狭さが感度の目安となる。

【 0 0 5 5 】

例えば、センサ 5 0 0 の S P R センサの感度として、(数 3) 式で示される次の指標が用いられる。 A は、センサ 1 0 0 に入射した光の反射率を示す。

【 数 3 】

$$\Delta S_{SPR} = \frac{\partial A}{\partial n}$$

【 0 0 5 6 】

本例のセンサ 5 0 0 では、クレッチマン配置で構成されており、センサ 5 0 0 に用いられる入射光 5 1 0 の波長は、入射角度 θ_i 、測定対象物質を含む誘電体と金属の種類や膜厚等に応じて決まる。センサ 5 0 0 では、測定波長を決めると測定に適した入射角度 θ_i が決まるため、測定波長をセンサ 5 0 0 の測定対象物質が大きな屈折率を示す最適波長に合わせる際、入射角度を大きく変える必要があり、最適波長によっては入射角度を 0° から 90° の間に合わせることが困難な場合がある。また、センサ 5 0 0 では、プリズム 5 2 4 側から入射する光の波数の Z 方向成分 (実数) と、プラズモン波の波数 (複素数) とを完全には一致させるために貴金属層 5 2 2 の層厚を設定する必要がある。金属層の層厚の設定精度はセンサ 1 0 0 における低屈折率層 2 0 の層厚の設定精度より高精度である必要がある。したがって、センサ 5 0 0 は、反射率をゼロに近づけ、急峻な変化を実現することが困難である。

【 0 0 5 7 】

図 1 1 は、実施例 2 に係るセンサ 1 0 0 の感度と、比較例 1 に係るセンサ 5 0 0 の感度を示す。同図は、センサの A T R カーブと、屈折率の変化に対する指標の変化を示している。縦軸は指標 R_p / R_p および R_p を示し、横軸は入射光 1 1 0 の入射角度 θ_i および時間を示す。屈折率の変化 n に対する指標 R_p / R_p の変化の比は、実施例に係るセンサ 1 0 0 の感度を示す。指標 R_p は、比較例 1 に係るセンサ 5 0 0 の感度を示す。 S_{PR} は、センサ 1 0 0 においては、ある方向に磁場を印加し、 + M 状態を実現した際のカットオフ時の入射角度 θ_c である。 θ_c は、センサ 5 0 0 においては、指標 R_p が入射角度の変化に対して最も大きな変化を示す入射角度に対応する。

【 0 0 5 8 】

センサ 1 0 0 の指標 R_p / R_p は、センサ 5 0 0 の指標 R_p よりも急峻に変化する。そのため、屈折率が n_d から $n_d + \Delta n$ に変化した場合、センサ 1 0 0 の指標の変化 (R_p / R_p) は、センサ 5 0 0 の性能指数の変化 (R_p) よりも大きくなる。そのため、センサ 1 0 0 は、センサ 5 0 0 よりも屈折率の変化に対する感度が大きい。

【 0 0 5 9 】

図 1 2 A は、センサ 1 0 0 の指標 R_p / R_p の具体的な入射角度 θ_i 依存性を示す。図 1 2 B は、センサ 5 0 0 の指標 R_p の具体的な入射角度 θ_i 依存性を示す。縦軸は指標 R_p / R_p および指標 R_p を示し、横軸は入射角度 θ_i を示す。

【 0 0 6 0 】

実線は、屈折率が $n = 1$ の場合を示す。また、一点鎖線は、屈折率が $n = 1.0001$ の場合を示す。破線は、 $n = 1$ および $n = 1.0001$ の場合の指標の差を示す。屈折率が変化した場合に、指標の差分が大きい方が感度がよい。センサ 1 0 0 の場合、屈折率が $n = 1$ と $n = 1.0001$ の間で変化すると、 (R_p / R_p) の変化の大きさが 1 程

10

20

30

40

50

度である。一方、センサ500の場合、屈折率が $n = 1$ と $n = 1.0001$ の間で変化すると、 (R_p) の変化の大きさが0.003程度である。即ち、センサ100は、センサ500よりも $1 / 0.003 \approx 3 \times 10^2$ 倍の感度を有する。

【0061】

図12Aの R_p / R_p の具体的な入射角度依存性は、適切な入射角度の間隔で測定して得られる。例えば、入射角度を0.01度間隔で測定できる実験装置がある場合、 R_p / R_p は $n = 1$ のとき、0.02度、すなわち、3点の入射角度の変化に対して-1から1まで変化する。すなわち、 R_p / R_p の変化を最低でも3点で測定することができる入射角度の分解能がない限り、屈折率を測定することができない。十分な入射角度の分解能、ここでは0.001度を得る方法を以下で説明する。

10

【0062】

図12Aをシミュレーションによって生成する際、角度分解能0.001度でデータを生成する。一方、左記データを0.01度で生成しておく。角度の取り方は10通りあるので、10個の低角度分解能のデータが生成されることになる。角度分解能が細かいシミュレーション結果と粗いシミュレーション結果の間で対応関係を得て、粗い角度分解能で得られた反射率 R_p 、および、 R_p / R_p の測定結果に基づいて、角度分解能の細かい測定結果を推定する。推定された測定結果をもとに、 R_p / R_p の変化をより正確に読み取り、屈折率を測定する。このように、本例のセンサ100は、10倍の高精細画像を再構成することにより、高い角度分解能を取得する。したがって、センサ100は、画像解析（即ち、超解像）により、入射角度の分解能を超える超分解能を得て、性能指数の角度依存性を精度よく測定することができる。

20

【0063】

図13は、実施例4に係るセンサ100の指標 $(R_p / R_p)'$ の具体的な入射角度依存性を示す。縦軸は指標 $(R_p / R_p)'$ を示し、横軸は入射角度を示す。

【0064】

実線は、屈折率が $n = 1$ の場合を示す。また、一点鎖線は、屈折率が $n = 1.0001$ の場合を示す。破線は、 $n = 1$ および $n = 1.0001$ の場合の指標の差を示す。屈折率が変化した場合に、指標の差分が大きい方が感度がよい。本例のセンサ100の場合、屈折率が $n = 1$ と $n = 1.0001$ の間で変化すると、 $(R_p / R_p)'$ の変化の大きさが1.7程度である。そのため、実施例4に係るセンサ100は、さらに優れた感度を有する。

30

【0065】

図14は、センサ装置200の応用例の一例を示す。センサ装置200は、センサ100と、光源120と、受光部130とを備える。

【0066】

センサ100は、測定対象物質30として植物ホルモンの誘導体物質を検出する。植物ホルモンの誘導体物質は揮発性有機化合物であり、サリチル酸メチル、ジャスモン酸メチルなどがある。センサ100には、植物ホルモンの誘導体物質を含む測定対象物質30が流入する。一例において、測定対象物質30は、植物ホルモンの誘導体物質を含む気体である。低屈折率層20の屈折率は、測定対象物質30である植物ホルモンの誘導体物質に応じた屈折率となる。これにより、センサ100は、植物ホルモンの誘導体物質の種類や濃度を検出する。

40

【0067】

光源120は、入射光110をセンサ100に入射する。受光部130は、光源120が入射した入射光110の反射光を受光する。受光部130は、測定対象物質30の特性に応じた強度の反射光を受光する。

【0068】

表示部300は、センサ装置200の測定結果を表示する。表示部300は、無線通信によりセンサ装置200の測定結果を受信してよい。また、センサ装置200が表示装置を備え、センサ装置200自体が測定結果を表示してもよい。

50

【 0 0 6 9 】

処理部 4 0 0 は、センサ 1 0 0 の測定結果をデータ処理する。例えば、処理部 4 0 0 は、植物ホルモンの誘導体物質と屈折率との関係を示すデータテーブルを有し、センサ 1 0 0 の測定結果に応じて植物ホルモンの誘導体物質の種類や濃度を取得する。

【 0 0 7 0 】

本例のセンサ装置 2 0 0 は、超高感度の磁気プラズモンセンサであるセンサ 1 0 0 を用いることにより、植物ホルモンの誘導体物質を超高感度で検出できる。このように、センサ装置 2 0 0 は、高感度のセンシングが必要な農業等の分野に適用できる。

【 0 0 7 1 】

図 1 5 は、センサ装置 2 0 0 の構成の一例を示す。本例のセンサ装置 2 0 0 は、複数の屈折率が含まれる低屈折率層 2 0 の各物質を同時に測定する場合の実施例である。なお、本例のセンサ装置 2 0 0 は、他の実施例 1 ~ 3 に係るセンサ 1 0 0 と組み合わせて用いられる。 10

【 0 0 7 2 】

低屈折率層 2 0 は、様々な濃度の測定対象物質 3 0 を含む。例えば、低屈折率層 2 0 は、測定対象物質 3 0 に対応する抗体などの分子認識素子 3 2 を設けることにより、測定対象物質 3 0 を保持する。これにより、低屈折率層 2 0 の、屈折率は濃度に応じて異なる屈折率を有する。本例の低屈折率層 2 0 は、例えば、濃度 c_1 、 c_2 、 c_3 に応じて屈折率は n_1 、 n_2 、 n_3 となる。本例では、屈折率の違いによって反射率が最小となる入射角度が異なるため、図 1 5 の受光部 1 3 0 には最小反射率に応じて輝度の小さい線が異なる場所に表示される。輝度の小さい線が直線状に配列されているが、低屈折率層 2 0 の形状に応じて 2 次元的に配列されていてもよい。 20

【 0 0 7 3 】

光源 1 2 0 は、低屈折率層 2 0 に入射光 1 1 0 を照射する。例えば、光源 1 2 0 は、レンズ部 1 2 5 を用いて入射光 1 1 0 を集光することにより、測定対象物質 3 0 が保持された領域に入射光 1 1 0 を照射する。

【 0 0 7 4 】

受光部 1 3 0 は、複数の屈折率の情報を含む反射光を受光する。受光部 1 3 0 は、レンズ部 1 3 5 を用いて、反射光を平行ビーム化して受光してよい。例えば、受光部 1 3 0 は、フォトダイオードが配列された光センサアレイを有する。これにより、受光部 1 3 0 は、測定対象物質 3 0 の濃度が変化した場合、それぞれに対応する測定結果を光センサアレイの出力信号から取得することができる。 30

【 0 0 7 5 】

なお、測定用の測定対象物質 3 0 は、供給源 1 4 0 から供給量制御部 1 4 5 を介して、チャンバ 1 6 0 に供給される。また、チャンバ 1 6 0 は、測定対象物質 3 0 を吸引するためのポンプ 1 5 0 に接続されてよい。

【 0 0 7 6 】

本例のセンサ 1 0 0 は、高屈折率層 2 2 を基板 1 0 に貼り合わせるることにより設けられる。例えば、低屈折率層 2 0 の空間は、基板 1 0 の上面に凹凸を設け、高屈折率層 2 2 として機能する貼り合わせ部材を基板 1 0 の上面に貼り合わせるることにより設けられる。センサ 1 0 0 は、低屈折率層 2 0 の下方において、他の実施例と同様に、Au や Fe で構成される金属層 1 2 と、強磁性体層 1 4 と、金属層 1 6 とを備える。 40

【 0 0 7 7 】

図 1 6 は、強磁性体層 1 4 への印加磁場と磁気光学効果との関係を示す。本例の強磁性体層 1 4 は、一例として鉄薄膜である。縦軸は磁気光学効果 [a . u .] を示し、横軸は印加磁場 [O e] を示す。磁気光学効果は、磁化に比例する物理量である。印加磁場は、強磁性体層 1 4 に印加される磁場である。

【 0 0 7 8 】

磁場印加部 4 0 が強磁性体層 1 4 に印加する磁場は、磁気光学効果が最大または最小となる大きさに限られない。例えば、強磁性体層 1 4 の印加磁場は、磁気光学効果が最大 (50

絶対値)の3分の1や3分の2になる磁場であってよい。また、磁場印加部40が強磁性体層14に印加する2種類の磁場は、反転された磁場である必要はなく、同一の極性を有する磁場であってよい。センサ100は、低屈折率層20の層厚 t 等との関係に応じて、磁場印加部40の印加磁場を適切な大きさに適宜設定すればよい。

【0079】

本例のセンサ100は、優れた感度を有するので、高分解能、ラベルフリー、実時間かつその場観察を実現し、質量の変化や時間推移も計測可能である。また、センサ100は、医療診断や環境モニタリングなど、広い分野で応用可能である。例えば、センサ100は、ライフサイエンス、環境ガスの計測および医療診断等に用いられる。また、センサ100は、麻薬探知や地雷センサ等にも応用され得る。

10

【0080】

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、請求の範囲の記載から明らかである。

【0081】

請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、便宜上「まず、」、「次に、」等を用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するものではない。

20

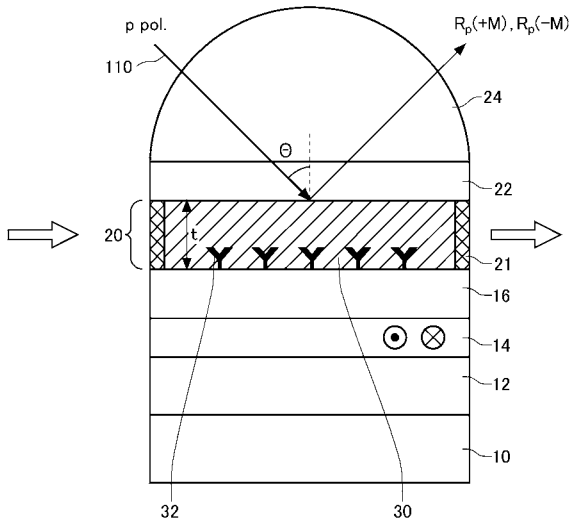
【符号の説明】

【0082】

10・・・基板、12・・・金属層、14・・・強磁性体層、16・・・金属層、18・・・伝搬定数調整層、20・・・低屈折率層、21・・・支持層、22・・・高屈折率層、24・・・プリズム、26・・・流入部、28・・・流出部、30・・・測定対象物質、32・・・分子認識素子、40・・・磁場印加部、100・・・センサ、110・・・入射光、120・・・光源、125・・・レンズ部、130・・・受光部、135・・・レンズ部、140・・・供給源、145・・・供給量制御部、150・・・ポンプ、160・・・チャンバ、200・・・センサ装置、300・・・表示部、400・・・処理部、500・・・センサ、510・・・入射光、520・・・測定対象物質を含む誘電体層、522・・・貴金属層、524・・・プリズム、532・・・分子認識素子

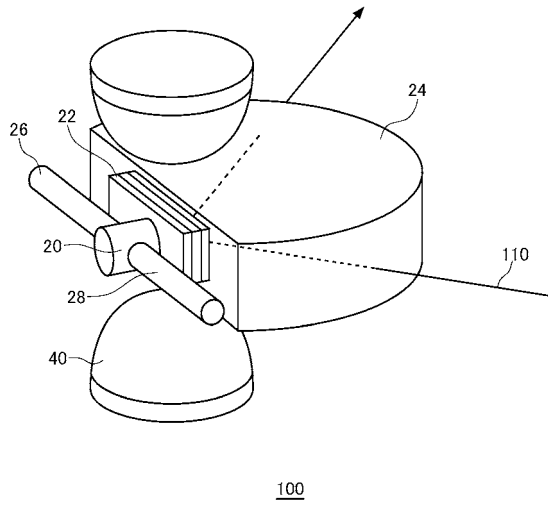
30

【 図 1 】



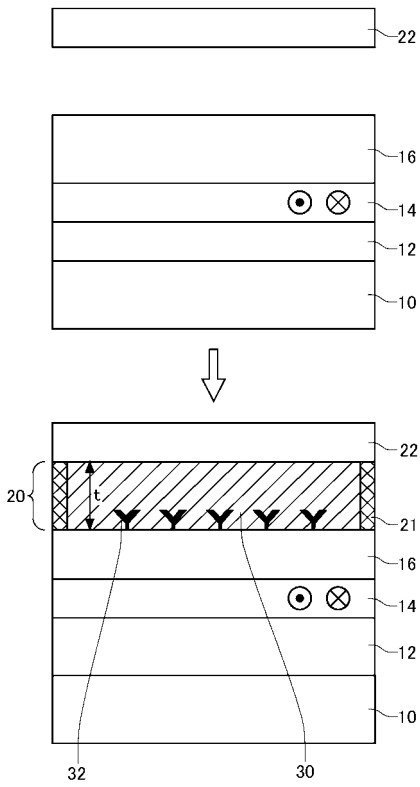
100

【 図 2 】

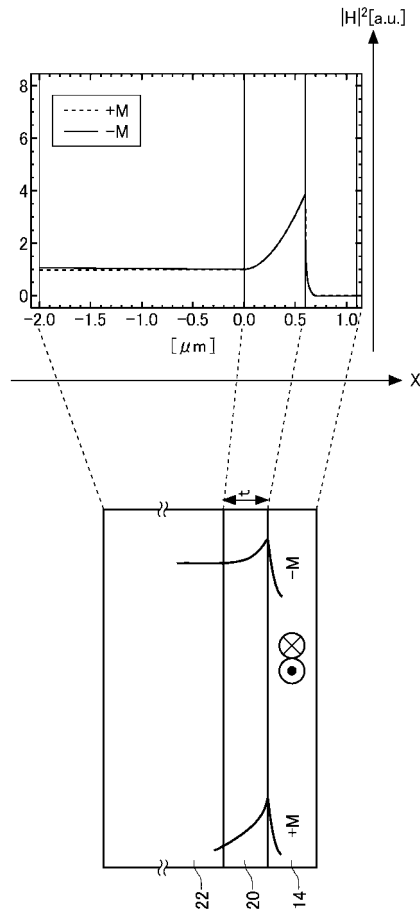


100

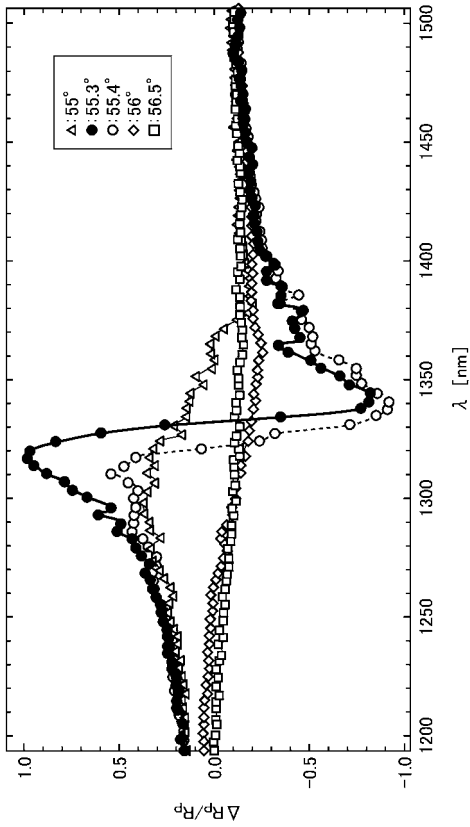
【 図 3 】



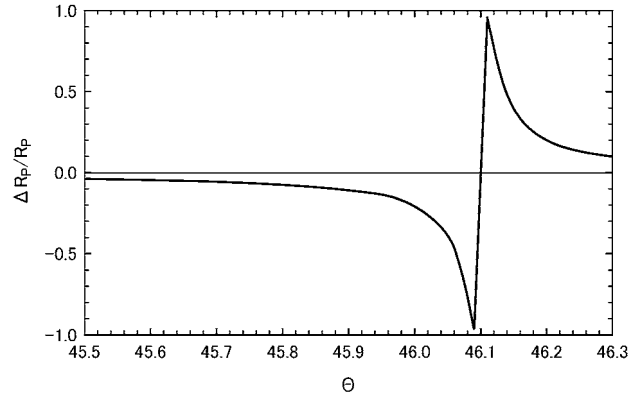
【 図 4 】



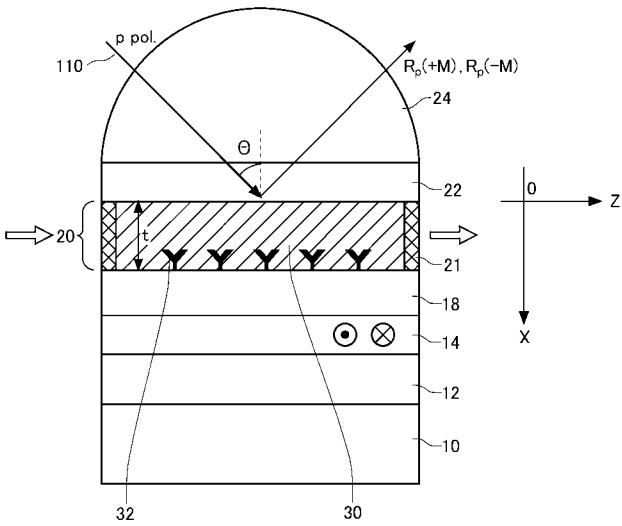
【 図 5 】



【 図 6 】

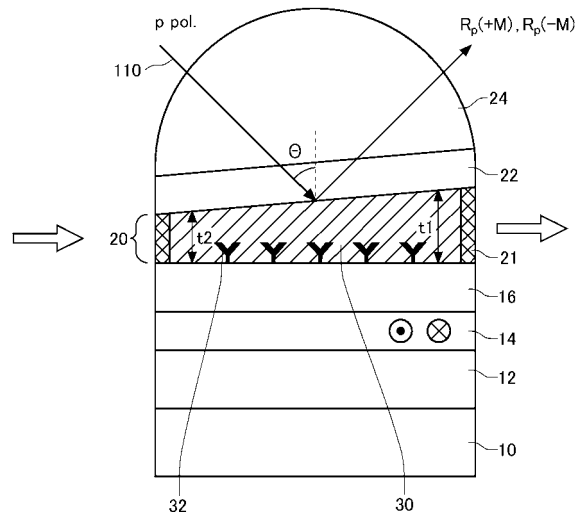


【 図 7 】



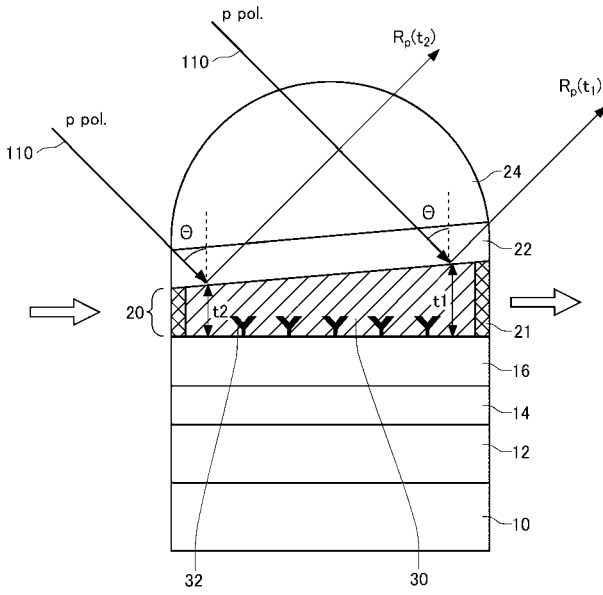
100

【 図 8 】



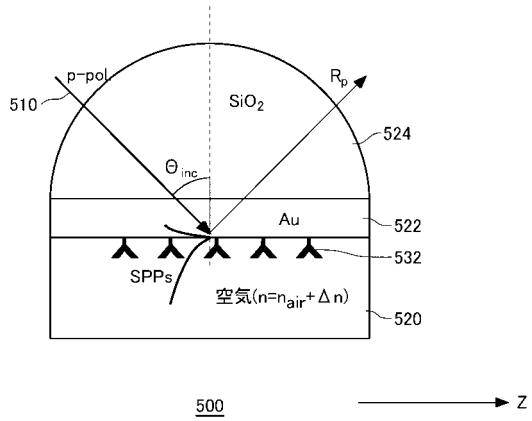
100

【 図 9 】

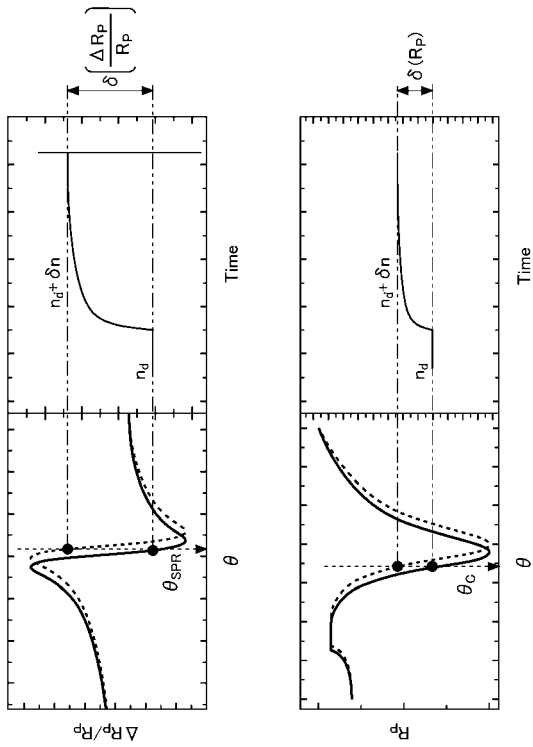


100

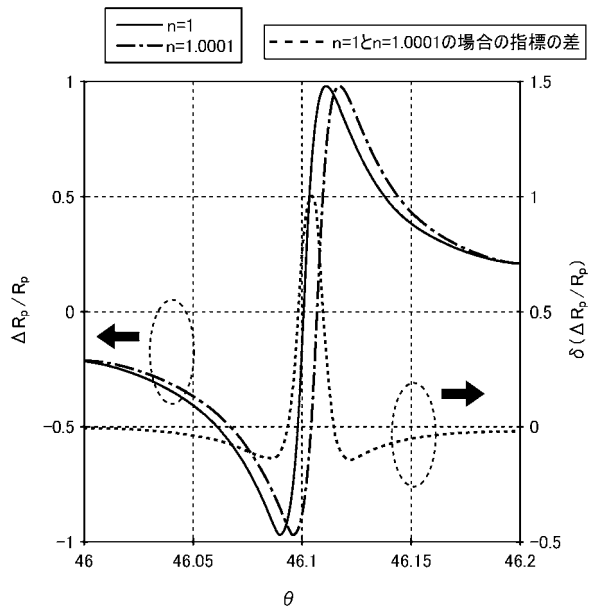
【 図 10 】



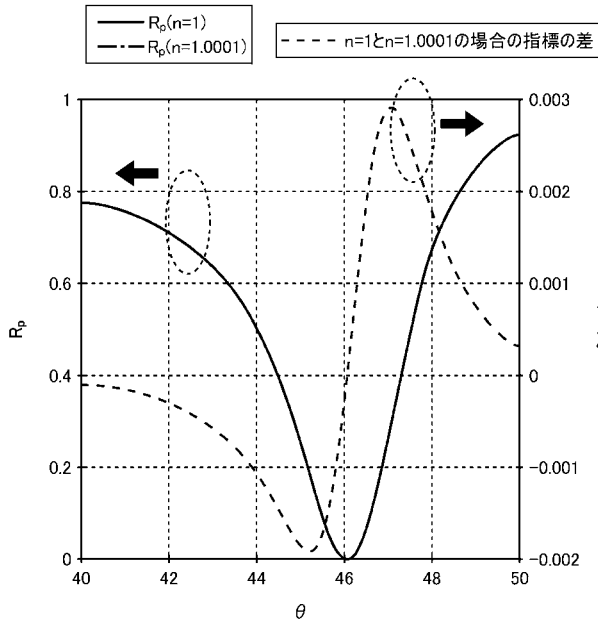
【 図 11 】



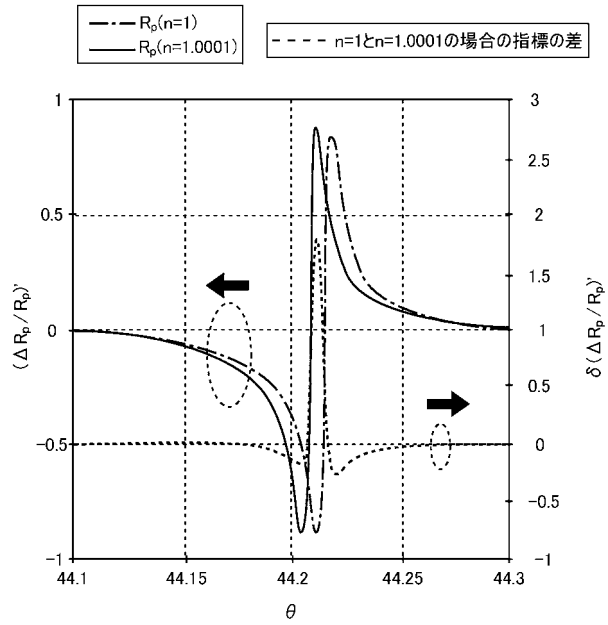
【 図 12 A 】



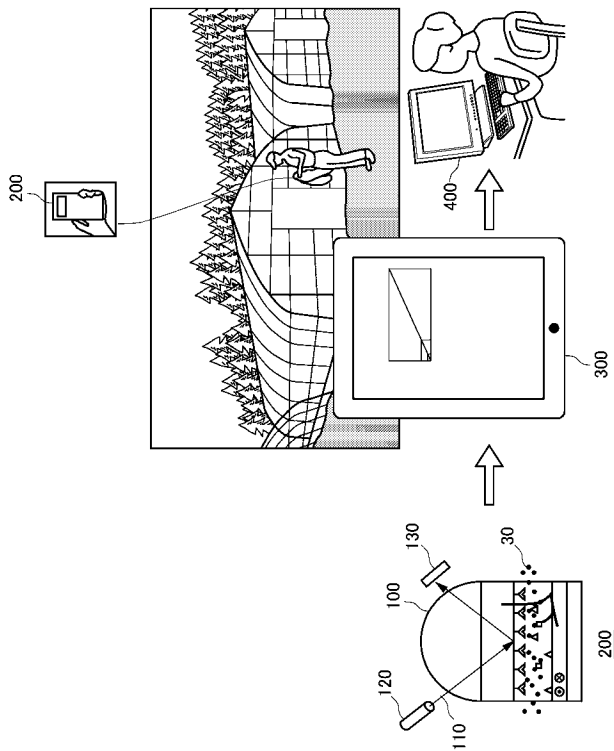
【 図 1 2 B 】



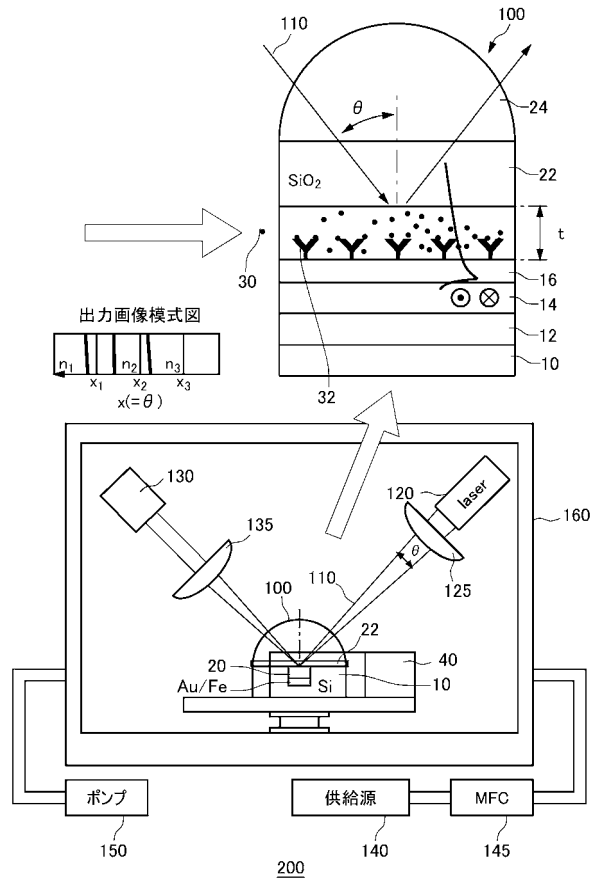
【 図 1 3 】



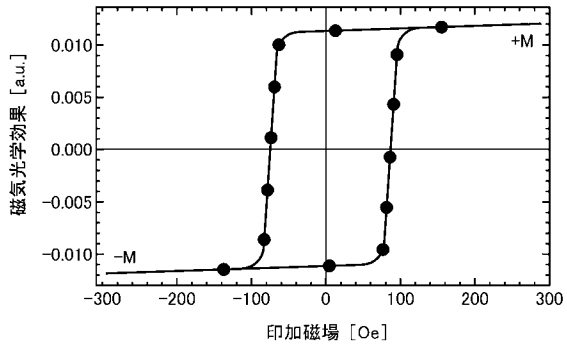
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 图 1 6 】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2018/023039
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. G01N21/41 (2006.01) i		
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. G01N21/00-21/61, G01N33/543		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Published examined utility model applications of Japan		1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan		1971-2018
Registered utility model specifications of Japan		1996-2018
Published registered utility model applications of Japan		1994-2018
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), Scopis, IEEE Xplore		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	矢後佳貴 ほか, 強磁性金属と誘電体界面における Otto 配置下の表面プラズモン励起の評価, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 2016, 20a-S621-1, [CD-ROM], entire text, (YAGO, Yoshiki et al., "Evaluation of surface plasmon excitation at the interface of ferromagnetic metal and dielectric thin films with Otto configuration", Lecture proceedings of the 63th spring academic lecture of JSAP)	1-5, 8-13, 15-19 6-7, 14, 20
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 application or patent 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 03 September 2018 (03.09.2018)		Date of mailing of the international search report 11 September 2018 (11.09.2018)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8913, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/023039

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CHOU, Kueihsu et al., "Application of strong transverse magneto-optical Kerr effect on high sensitive surface plasmon grating sensors", OPTICS EXPRESS, 2014, vol. 22, no. 16, pp. 19794-19802, in particular, abstract, 1., 2., fig. 3	1-5, 8-13, 15-19
Y	JP 2008-176209 A (FDK CORPORATION) 31 July 2008, paragraph [0022] (Family: none)	8-13, 15
A	JP 2008-501965 A (CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS) 24 January 2008 & US 2009/0021727 A1 & WO 2005/121754 A1 & CN 101069087 A	1-20
A	US 2004/0239936 A1 (KOCHERGIN) 02 December 2004 (Family: none)	1-20

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2018/023039									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N21/41(2006.01)i											
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. G01N21/00-21/61, G01N33/543											
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2018年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2018年	日本国実用新案登録公報	1996-2018年	日本国登録実用新案公報	1994-2018年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2018年										
日本国実用新案登録公報	1996-2018年										
日本国登録実用新案公報	1994-2018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) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), Scopus, IEEE Xplore											
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 請求項の番号									
Y A	矢後佳貴 ほか, 強磁性金属と誘電体界面におけるOtto配置下の表面プラズモン励起の評価, 第63回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集, 2016, 20a-S621-1, [CD-ROM], 全文 (YAGO, Yoshiki et al., Evaluation of surface plasmon excitation at the interface of ferromagnetic metal and dielectric thin films with Otto configuration)	1-5, 8-13, 15-19 6-7, 14, 20									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> 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 03.09.2018		国際調査報告の発送日 11.09.2018									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 塚本 丈二 電話番号 03-3581-1101 内線 3258	2W 3304								

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2018/023039

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 請求項の番号
Y	CHOU, Kuei-Hsu et al., Application of strong transverse magneto-optical Kerr effect on high sensitive surface plasmon grating sensors, OPTICS EXPRESS, 2014, Vol. 22, No. 16, pp. 19794-19802, 特に Abstract, 1., 2., Fig. 3	1-5, 8-13, 15-19
Y	JP 2008-176209 A (FDK株式会社) 2008.07.31, [0022] (ファミリーなし)	8-13, 15
A	JP 2008-501965 A (コンセホ・スペリオール・デ・インベスティガシオネス・シエンティフィカス) 2008.01.24 & US 2009/0021727 A1 & WO 2005/121754 A1 & CN 101069087 A	1-20
A	US 2004/0239936 A1 (KOCHERGIN) 2004.12.02, (ファミリーなし)	1-20

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。