

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6320768号
(P6320768)

(45) 発行日 平成30年5月9日(2018.5.9)

(24) 登録日 平成30年4月13日(2018.4.13)

(51) Int.Cl.	F I	
GO 1 J 3/12 (2006.01)	GO 1 J 3/12	
GO 1 J 3/51 (2006.01)	GO 1 J 3/51	
GO 1 N 21/41 (2006.01)	GO 1 N 21/41	I O I
GO 1 J 1/02 (2006.01)	GO 1 J 1/02	B
GO 1 J 1/04 (2006.01)	GO 1 J 1/04	A

請求項の数 16 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2014-15066 (P2014-15066)
 (22) 出願日 平成26年1月30日(2014.1.30)
 (65) 公開番号 特開2015-141144 (P2015-141144A)
 (43) 公開日 平成27年8月3日(2015.8.3)
 審査請求日 平成29年1月20日(2017.1.20)

(73) 特許権者 504137912
 国立大学法人 東京大学
 東京都文京区本郷七丁目3番1号
 (74) 代理人 100091904
 弁理士 成瀬 重雄
 (72) 発明者 ジャン ジャック ドロネー
 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大
 学法人東京大学 内
 (72) 発明者 何 亜倫
 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大
 学法人東京大学 内

審査官 横尾 雅一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と、複数のキャビティ部と、チャネル部とを備えており、
 前記基板は、絶縁体により構成されており、
 前記複数のキャビティ部は、前記基板上に配置されており、
 かつ前記複数のキャビティ部は、それぞれ、第1起立部と、第2起立部と、接続部とを
 備えており、

各キャビティ部における前記第1起立部と第2起立部は、いずれも、前記基板の表面から
 外側方向に延長されており、かつ、互いに対向せられており、

各キャビティ部における前記接続部は、前記基板の表面上に配置されており、かつ、前
 記第1起立部と第2起立部とを接続することによって、前記キャビティ部を断面略U字形
 状に形成する構成となっており、

前記第1起立部と、第2起立部と、接続部とは、いずれも、光の照射によって表面プラ
 ズモンを発生可能な材質によって構成されており、

前記チャネル部は、隣接する前記キャビティ部の間に配置されており、

かつ、前記チャネル部は、隣接する前記キャビティ部のうち的一方における前記第1又
 は第2起立部と、隣接する前記キャビティ部のうち他方における前記第2又は第1起立
 部とによって構成されており、

さらに、前記チャネル部は、このチャネル部を介して、外部からの光を前記基板表面に
 導入可能とされており、

前記チャンネル部を介して前記基板表面に導入された前記光に対して、前記キャビティ部におけるキャビティモードと、前記チャンネル部におけるギャップモードとの間で生じたモードカップリングにより決まる波長をピークとする吸収特性を有している

光学素子。

【請求項 2】

前記基板表面に導入された前記光を、前記キャビティ部におけるキャビティモードと、前記チャンネル部におけるギャップモードとのモードカップリングにより、前記基板内部に閉じ込める構成となっている

請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 3】

さらに光トラップ検出部を備えており、

前記光トラップ検出部は、前記チャンネル部における光トラップの有無を検出する構成となっている

請求項 1 又は 2 に記載の光学素子。

【請求項 4】

前記光トラップ検出部は、前記チャンネル部における温度変化を検出する温度検出素子を備えている

請求項 3 に記載の光学素子。

【請求項 5】

前記温度検出素子は、前記チャンネル部における前記第 1 起立部と第 2 起立部との間に配置された半導体により構成されている

請求項 4 に記載の光学素子。

【請求項 6】

前記光トラップ検出部は、前記半導体の抵抗変化を用いて、前記チャンネル部における光トラップの有無を検出する構成となっている

請求項 5 に記載の光学素子。

【請求項 7】

前記キャビティ部の個数は、少なくとも 3 以上とされており、

かつ、前記キャビティ部は、所定のピッチで周期的に配置されている

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の光学素子を複数備えており、

前記キャビティ部における、前記第 1 起立部と前記第 2 起立部との間での前記接続部の幅 (w) は、前記複数の光学素子どうしの間で、異なった値に設定されている

分光装置。

【請求項 9】

さらに角度変更部を備えており、

前記角度変更部は、前記基板への光線の入射角を変更する構成となっている

請求項 1 又は 2 に記載の光学素子。

【請求項 10】

前記角度変更部は、ピエゾ素子を備えており、

前記ピエゾ素子は、前記基板に取り付けられて、前記基板の傾斜を調整する構成となっている

請求項 9 に記載の光学素子。

【請求項 11】

前記角度変更部は、静電アクチュエータを備えており、

前記静電アクチュエータは、静電引力を用いて前記基板の傾斜を調整する構成となっている

請求項 9 に記載の光学素子。

【請求項 12】

10

20

30

40

50

請求項 9 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の光学素子を備えた光スイッチング装置。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 7、9 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の光学素子と、吸着素子とを備えており、

前記吸着素子は、前記キャビティ部又は前記チャンネル部の近傍において対象物を吸着する構成となっている、

吸着センサ。

【請求項 14】

請求項 8 に記載の分光装置を用いて行われる分光方法であって、
前記複数のキャビティ部及び前記チャンネル部にわたって光を照射するステップと、
前記チャンネル部における光トラップの有無を検出するステップと、
を備える分光方法。

10

【請求項 15】

請求項 12 に記載の光スイッチング装置を用いて行われる光スイッチング方法であって、

前記複数のキャビティ部及び前記チャンネル部にわたって光を照射するステップと、
前記入射角を変化させるステップと、
を備える光スイッチング方法。

【請求項 16】

請求項 13 に記載の吸着センサを用いて行われる物質検出方法であって、
前記複数のキャビティ部及び前記チャンネル部にわたって光を照射するステップと、
前記対象物が前記吸着素子に吸着される前後における前記吸着センサの共鳴特性の変化を検出するステップと、
を備える物質検出方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長選択性を持つ光学素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

下記特許文献 1 ~ 3 には、表面プラズモン共鳴 (SPR) の一種である局在プラズモン共鳴 (LSPR) を用いた光学式バイオセンサが記載されている。

30

【0003】

これらの技術では、基板上に金属微細構造を形成し、この金属微細構造に光を照射することで、LSPRを発生させる。

【0004】

LSPRを発生させる光の共鳴特性 (例えば共鳴角や反射率) は、金属微細構造の表面近傍における屈折率と強い相関を持つ。この表面近傍に吸着素子 (例えば抗体) を取り付けておくと、この吸着素子に微小物質 (例えば抗原) が吸着するかどうかにより、その部分での屈折率が変化する。そこで、入射光に対する共鳴特性の変化を検出することにより、微小物質の吸着の有無や吸着量を調べることができる。

40

【0005】

一方、本発明者らは、基板上に形成した金属膜上に、起立した微小金属壁を周期的に形成することにより、LSPRを発生可能な光学素子を提案している (下記非特許文献 1)。この技術では、金属膜と金属壁とで囲まれた U 字状のキャビティ内で光が、LSPRの共鳴モードとキャビティモードとのカップリングによりトラップされる。この技術は、反射スペクトラムにおける鋭いディップを形成できるという利点を有している。

【0006】

本発明者らは、さらに研究を進めた結果、分光装置としても光スイッチとしても、さらにはバイオセンサとしても使用可能な基本特性を持つ、波長選択性の光学素子の新規な構

50

造を見出した。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】国際公開第2010/044274号公報

【特許文献2】特開2009-133787号公報

【特許文献3】特開2010-210253号公報

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】Ya-Lun Ho, Yaerim Lee, Etsuo Maeda, and Jean-Jacques Delaunay, " Coupling of localized surface plasmons to U-shaped cavities for high-sensitivity and miniaturized detectors" Optics Express Vol 21, No. 2, pp1531-1540, 2013. 10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明は、前記の知見に鑑みてなされたものである。本発明の主な目的は、SPR又はLSP Rの現象を利用した新たな波長選択性の光学素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

前記した課題を解決する手段は、以下の項目のように記載できる。 20

【0011】

(項目1)

基板と、複数のキャビティ部と、チャネル部とを備えており、

前記基板は、絶縁体により構成されており、

前記複数のキャビティ部は、前記基板上に配置されており、

かつ前記複数のキャビティ部は、それぞれ、第1起立部と、第2起立部と、接続部とを備えており、

各キャビティ部における前記第1起立部と第2起立部は、いずれも、前記基板の表面から外側方向に延長されており、かつ、互いに対向せられており、

各キャビティ部における前記接続部は、前記基板の表面上に配置されており、かつ、前記第1起立部と第2起立部とを接続することによって、前記キャビティ部を断面略U字形に形成する構成となっており、 30

前記第1起立部と、第2起立部と、接続部とは、いずれも、光の照射によって表面プラズモンを発生可能な材質によって構成されており、

前記チャネル部は、隣接する前記キャビティ部の間に配置されており、

かつ、前記チャネル部は、隣接する前記キャビティ部のうち的一方における前記第1又は第2起立部と、隣接する前記キャビティ部のうち他方における前記第2又は第1起立部とによって構成されており、

さらに、前記チャネル部は、このチャネル部を介して、外部からの光を前記基板表面に導入可能とされている 40

光学素子。

【0012】

(項目2)

前記基板表面に導入された前記光を、前記キャビティ部におけるキャビティモードと、前記チャネル部におけるギャップモードとのカップリングにより、前記基板内部に閉じ込める構成となっている

項目1に記載の光学素子。

【0013】

(項目3)

さらに光トラップ検出部を備えており、 50

前記光トラップ検出部は、前記チャンネル部における光トラップの有無を検出する構成となっている

項目 1 又は 2 に記載の光学素子。

【 0 0 1 4 】

(項目 4)

前記光トラップ検出部は、前記チャンネル部における温度変化を検出する温度検出素子を備えている

項目 3 に記載の光学素子。

【 0 0 1 5 】

(項目 5)

10

前記温度検出素子は、前記チャンネル部における前記第 1 起立部と第 2 起立部との間に配置された半導体により構成されている

項目 4 に記載の光学素子。

【 0 0 1 6 】

(項目 6)

前記光トラップ検出部は、前記半導体の抵抗変化を用いて、前記チャンネル部における光トラップの有無を検出する構成となっている

項目 5 に記載の光学素子。

【 0 0 1 7 】

(項目 7)

20

前記キャビティ部の個数は、少なくとも 3 以上とされており、

かつ、前記キャビティ部は、所定のピッチで周期的に配置されている

項目 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【 0 0 1 8 】

(項目 8)

項目 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の光学素子を複数備えており、

前記キャビティ部における、前記第 1 起立部と前記第 2 起立部との間での前記接続部の幅 (w) は、前記複数の光学素子どうしの間で、異なった値に設定されている

分光装置。

【 0 0 1 9 】

(項目 9)

30

さらに角度変更部を備えており、

前記角度変更部は、前記基板への光線の入射角を変更する構成となっている

項目 1 又は 2 に記載の光学素子。

【 0 0 2 0 】

(項目 1 0)

前記角度変更部は、ピエゾ素子を備えており、

前記ピエゾ素子は、前記基板に取り付けられて、前記基板の傾斜を調整する構成となっている

項目 9 に記載の光学素子。

40

【 0 0 2 1 】

(項目 1 1)

前記角度変更部は、静電アクチュエータを備えており、

前記静電アクチュエータは、静電引力を用いて前記基板の傾斜を調整する構成となっている

項目 9 に記載の光学素子。

【 0 0 2 2 】

(項目 1 2)

項目 8 ~ 1 1 のいずれか 1 項に記載の光学素子を備えた光スイッチング装置。

【 0 0 2 3 】

50

(項目13)

項目1～7、9～11のいずれか1項に記載の光学素子と、吸着素子とを備えており、前記吸着素子は、前記キャビティ部又は前記チャンネル部の近傍において対象物を吸着する構成となっている、
吸着センサ。

【0024】

(項目14)

項目8に記載の分光装置を用いて行われる分光方法であって、前記複数のキャビティ部及び前記チャンネル部にわたって光を照射するステップと、前記チャンネル部における光トラップの有無を検出するステップと、
を備える分光方法。

10

【0025】

(項目15)

項目12に記載の光スイッチング装置を用いて行われる光スイッチング方法であって、前記複数のキャビティ部及び前記チャンネル部にわたって光を照射するステップと、前記入射角を変化させるステップと、
を備える光スイッチング方法。

【0026】

(項目16)

項目13に記載の吸着センサを用いて行われる物質検出方法であって、
前記複数のキャビティ部及び前記チャンネル部にわたって光を照射するステップと、前記対象物が前記吸着素子に吸着される前後における前記吸着センサの共鳴特性の変化を検出するステップと、
を備える物質検出方法。

20

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、SPR又はLSPRの現象を利用した新たな波長選択性の光学素子を提供することが可能になる。さらに、本発明によれば、この光学素子を利用した分光装置、光スイッチング装置、あるいは吸着センサを提供することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

30

【0028】

【図1】本発明の第1実施形態に係る分光装置の概略的構成を示す説明図である。

【図2】図1の分光装置に用いる光学素子の概略的な断面図である。

【図3】図2の光学素子における波長-吸収特性の一例を示すグラフである。

【図4】図2の光学素子における光トラップ動作を説明するための説明図である。

【図5】図1の分光装置を用いた分光方法を説明するための説明図である。

【図6】本発明の第2実施形態に係る光スイッチング装置の概略的構成を示す説明図である。

【図7】図6の光スイッチング装置における一部の拡大説明図である。

【図8】図6の光スイッチング装置において使用する光学素子の要部の拡大断面図である

40

【図9】図8の光学素子における吸収波長と入射角との関係を示すグラフである。

【図10】図8の光学素子における入射角と反射率との関係を示すグラフである。

【図11】本発明の第3実施形態に係る吸着センサの要部を示す説明図である。

【図12】本発明の第4実施形態に係る光学素子の製造方法を説明するための説明図である。

【図13】本発明の第5実施形態に係る光スイッチング装置の概略的構成を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

50

(第1実施形態...分光装置)

以下、添付図面を参照しながら、本発明の第1実施形態に係る分光装置について説明する。

【0030】

(第1実施形態の構成)

本実施形態の分光装置は、複数の光学素子101, 102, ..., 10nを備えている。ここで、符号中のnはn個目の光学素子であることを示している。なお、光学素子の個数は、測定したい波長の個数(すなわち波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$)に対応するので、1波長のみ検出する場合は一つでもよい。また、本実施形態における光学素子101...は、支持体10によって支持されている。

10

【0031】

本実施形態の分光装置は、さらに、試料からの光を光学素子101~10nに送るための光学系200と、試料を支持するテーブル300とを備えている。

【0032】

(光学素子)

一つの光学素子101を例として、光学素子の構成を、図2(a)をさらに参照しながら詳しく説明する。他の光学素子102...の構成も、基本的には、この光学素子101と同様である。なお、図2は、図1とは上下反転した状態で記載してある。

【0033】

光学素子101は、基板11と、複数のキャビティ部121, 122, ..., 12nと、チャンネル部13と、光トラップ検出部14とを備えている。

20

【0034】

基板11は、絶縁体により構成されている。絶縁体としては、本実施形態では、プローブ光として使用される光を透過させることのできる材質であることが好ましい。そのような材質としては、例えばサファイア、石英ガラス、 CaF_2 、 Si_3N_4 、 Al_2O_3 であるが、他の物質も使用可能である。

【0035】

複数のキャビティ部121, 122, ..., 12nは、基板11の表面(図2において上面)に配置されている。なお、本実施形態における複数のキャビティ部121, 122, ..., 12nは、図2における左右方向に周期的に配置されているが、以下の説明においては、隣接するキャビティ部121及び122を主として説明する。なお、キャビティ部の最小の個数は、理論的には2個であるが、現実的には3個以上であることが好ましい。

30

【0036】

キャビティ部121は、第1起立部1211と、第2起立部1212と、接続部1213とを備えている。

【0037】

キャビティ部121における第1起立部1211と第2起立部1222は、いずれも、基板11の表面から外側方向(図2において上側方向)に延長されており、かつ、互に対向させられている。より具体的には、本例での第1起立部1211と第2起立部1222はたがいに平行となっており、さらに、いずれも奥行き方向(図2の紙面に交差する方向、後述の図5参照)に延長させられている。

40

【0038】

キャビティ部121における接続部1213は、基板11の表面上に配置されており、かつ、第1起立部1211と第2起立部1212とを接続している。なお、接続部1213も、奥行き方向に延長させられている。この構成によって、接続部1213は、キャビティ部121を断面略U字形状(図2参照)に形成する構成となっている。

【0039】

本実施形態における第1起立部1211と、第2起立部1212と、接続部1213とは、いずれも、光の照射によって表面プラズモンを発生可能な材質によって構成されている。そのような材質としては、例えば金であるが、それ以外に銀、白金、それらの合金、

50

酸化物半導体（例えば VO_2 、 In_2O_3 ）など、他の材質を用いることができる。なお、厳密には金属ではない酸化物半導体も、表面プラズモンを発生可能であれば、使用可能である。

【0040】

同様に、キャビティ部122は、第1起立部1221と、第2起立部1222と、接続部1223とを備えている。キャビティ部122の構成は、基本的に、キャビティ部121と同様である。他のキャビティ部が存在する場合も同様である。後述するように、キャビティ部の幅 w （図2（a）参照）は、検出したい波長に対応して設定されている。具体的には、キャビティ部の幅は、複数の光学素子 $101, \dots, 10n$ どうしの間で、異なる値に設定されており、これによって、異なる波長（ $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ ）を検出できるようになっている。

10

【0041】

図2において中央のチャンネル部13は、隣接するキャビティ部121とキャビティ部122との間に配置されている。同様に、他のチャンネル部13は、隣接するキャビティ部の間に配置されている。このため、本実施形態では、複数のチャンネル部が周期的に配置されたものとなっている。

【0042】

図2において中央のチャンネル部13は、キャビティ部121における第2起立部1212と、隣接するキャビティ部122における第1起立部1221とによって構成されている。すなわち、より一般的に記述すれば、チャンネル部13は、隣接するキャビティ部のうちの一方における第1又は第2起立部と、隣接するキャビティ部のうちの他方における第2又は第1起立部とによって構成されている。要するに、チャンネル部13は、隣接するチャンネル部の間に形成された隙間である。

20

【0043】

さらに、各チャンネル部13は、このチャンネル部を介して、外部からの光を基板11の表面に導入可能とされている。つまり、各チャンネル部13の底部においては、光を反射する層（例えば金属層）が存在せず、外部からの光が基板11に到達可能となっている。

【0044】

光トラップ検出部14は、各チャンネル部13における光トラップの有無を検出する構成となっている。より具体的には、光トラップ検出部14は、各チャンネル部13にそれぞれ配置された温度検出素子により構成されている。本実施形態の光トラップ検出部14では、温度検出素子として半導体を用いられており、半導体の抵抗変化を用いて、各光トラップ部における光トラップの有無を検出する構成となっている。温度検出素子としての半導体を挟んだキャビティ部121、 \dots の等価回路を図2（b）に示す。各半導体は、キャビティ部を介して直列に接続されているので、全体の抵抗は、近似的に

30

$$N \times R(T)$$

で表現できる。ここで、

N ：チャンネル部の個数（つまり半導体の個数）、

R ：半導体部分の抵抗値、

T ：半導体部分の温度

40

である。なお、前記の式では、 SN 比を向上させるため、キャビティ部の導電性が半導体よりも十分に高いことを想定したが、キャビティ部の導電性をある程度低くすることは可能である。

【0045】

半導体の抵抗 R は温度 T の関数となっており、温度に応じて敏感に変化する。後述するように、チャンネル部13において光トラップが生じると半導体温度が上昇するので、全体の抵抗値を検出することにより、当該光学素子における光トラップの有無を検出することができる。

【0046】

（光学系）

50

光学系 200 (図 1 参照) は、試料からの光を平行光にして光学素子 101 ~ 10n に送るいわゆるコリメート光学系となっている。

【0047】

(テーブル)

テーブル 300 (図 1 参照) は、X - Y 方向に試料を移動させることができる構成となっている。

【0048】

(分光方法)

次に、前記した分光装置を用いた分光方法について説明する。

【0049】

(光学素子の基本的特性)

説明の前提として、本実施形態の光学素子における基本的な特性の一例を、図 3 を参照して説明する。

【0050】

この光学素子においては、キャビティ部 121, ... の幅 w に対応して、光の吸収波長が変化する。図 3 の例では、幅 w が 25 nm 変化すると、吸収波長がおおよそ 50 nm 変化している。したがって、光学素子ごとに幅 w を変化させておくことによって、複数の波長を検出することができる。なお、図 3 の例はシミュレーションによって求めたものであり、その条件は下記のとおりである。

【0051】

(図 3 のシミュレーション条件)

キャビティ部の配置周期 $d = 1.780 - 1.905 \mu\text{m}$

(キャビティ部の幅 $w = 1.150 - 1.275 \mu\text{m}$)

キャビティ部の高さ $h = 1.1 \mu\text{m}$

各チャネル部の幅 (半導体部分の幅) = $0.23 \mu\text{m}$

キャビティ部を構成する金属層の厚さ t (銀層) = $0.2 \mu\text{m}$

入射角 = 0 deg

基板材質: Si_3N_4

入射光の P 偏光: 図 2 の紙面に平行な方向

【0052】

また、本実施形態の光学素子では、図 4 の上方から基板 11 に向けて照射された光は、チャネル部 13 によりトラップされて、基板 11 の中へと進入し、基板 11 の内部で渦を巻く (すなわち「閉じ込められる」)。このトラップは、キャビティ部におけるキャビティモードと、チャネル部におけるギャップモードとのカップリングにより生じると考えられる。より詳しくは、このトラップは、

(1) 各起立部の端部における LSPR とキャビティモードとのカップリング、及び

(2) 前記 (1) のカップリングとチャネル部におけるギャップモードとのカップリング

により生じるものと考えられる。また、前記 (1) 及び (2) のカップリングは、ごく狭い幅の波長の光によって生じる (図 3 参照)。

【0053】

したがって、チャネル部にトラップされた光の存在 (すなわち電磁気的变化) を検出すれば、特定の波長における光トラップの発生を検出できることになる。

【0054】

(光照射ステップ)

本実施形態の分光方法でも、基本的な手法は従来の分光装置と同様とすることができる。例えば、試料に向けてプローブ光 (例えば赤外光) を照射する。そして、試料により反射され、あるいは試料を透過した光を、光学系 200 を介して、本実施形態の光学素子 101 ~ 10n に照射する。これにより、それぞれの光学素子における複数の光トラップ部及び接続部にわたって光を照射することができる。ここで試料とは、例えば生体組織の一部である。よく知られているように、正常細胞と異常細胞 (例えばがん細胞) との間で

10

20

30

40

50

は、光の吸収波長が変化する。そこで、吸収波長を検出することで、異常細胞の有無を検出することができる。なお、試料としては生体組織に限るものではなく、吸光度スペクトルの測定を必要とする他の有機材料あるいは無機材料とすることができる。

【0055】

(光トラップ検出ステップ)

ついで、X - Y平面における特定の位置ごとに、光学素子101 ~ 10nの光トラップ部における光トラップの有無を検出する。なお、この検出は、前記した抵抗値R(T)の測定により可能である。光学素子101 ~ 10nごとに光トラップの有無を検出することにより、光学素子に特有の波長の吸収が生じているかどうかを波長ごとに検出することができる。例えば、O - H基に特有な吸収波長を1とすれば、この1に対応した光学素子での光トラップを検出すれば、O - H基の存否や存在量を検出することができる。同様に、他の吸収波長2, ..., nに対応した光学素子を備えておけば、それぞれの波長に対応した物質を検出することができる(図5参照)。

10

【0056】

また、光照射は、テーブル300を駆動することにより、試料と光学素子との相対的位置関係をずらしながら行う。これにより、X - Y平面における場所ごとの試料の検査を行うことができる。例えば、本例では、(x, y)座標ごとに、(1, 2, ..., n)の組で表される吸光度スペクトルを得ることができる。

【0057】

本実施形態では、標識なしで試料の組成を検出できるので、標識による試料への影響を防ぐことができ、さらには、分析に要する時間を短縮できるという利点がある。

20

【0058】

また、従来の分光器においては、例えば回折格子を用いて、波長ごとに光を分散させる必要があった。このため、装置全体が大型化するだけでなく、光を回折格子まで運ぶための導波路が必要になる。これに対して、本実施形態では、回折格子のような光分散手段を用いることなく、複数の光学素子を備えるだけで、波長ごとの光の検出が可能になるという利点がある。また、本実施形態では、小型の光学素子によって吸光度スペクトルを取得可能なので、例えばプローブの先端に本実施形態の光学素子を取り付け、そこからの電気的信号(例えば抵抗値変化による電圧又は電流の変化)をシステム側に送るという構成も可能になる。すると、装置全体の小型化、簡素化を図ることができる。さらには、光学素子をカプセルに入れて生体内に送ることで、生体への侵襲度の低い吸光度スペクトル測定が可能になると考えられる。

30

【0059】

さらに、本実施形態の光学素子は、図3に示されるように、吸収特性において非常に鋭いピークを有するので、高い測定精度を得ることができるという利点がある。例えば、前記した非特許文献1の技術では、半値全幅(full width at half maximum, FWHM)として、2 μmの波長において42 nmを得ている。この特性自体もかなり鋭いピークということができる。しかしながら、本実施形態の光学素子によれば、図3に例示するように、4 μm近辺という、約2倍の波長において、7 ~ 24 nmという狭いFWHMを得ることができる。したがって、本実施形態の光学素子を用いることにより、高い測定精度を持つ分光装置を提供可能となる。

40

【0060】

(第2実施形態...光スイッチ)

つぎに、本発明の第2実施形態に係る光スイッチング装置を、図6 ~ 図10を参照しながら説明する。なお、この第2実施形態の説明においては、前記した第1実施形態と基本的に共通する要素については、同一符号を用いることにより、説明の煩雑を避ける。

【0061】

第2実施形態の光スイッチング装置においても、複数の光学素子101, 102, ..., 10nを用いる(図6参照)。光学素子101の拡大図を図7に示す。ただし、本実施形態の光学素子では、第1実施形態における光トラップ検出部14が省略されており、各チ

50

ヤネル部 13 には、絶縁体としての空気が存在している（図 8 参照）。なお、空気に代えて他の絶縁体、例えば石英ガラス、 Si_3N_4 、サファイアなどを用いることは可能である。また、第 2 実施形態の各光学素子は、一端が固定され、他端が自由端とされた片持ち梁構造となっている（図 7 参照）。

【 0 0 6 2 】

さらに、第 2 実施形態の光スイッチング装置は、角度変更部 15（図 7 参照）と、受光部 16 と、ビームスプリッタ 17 とを備えている。

【 0 0 6 3 】

角度変更部 15（図 7 参照）は、各光学素子 101... の傾斜角度（すなわち各光学素子への光線入射角）を変化させる機能を備えている（なお、図 6 では角度変更部の図示を省略した）。このような角度変更部 15 は、例えば、片持ち式に支持された基板 11 に取り付けられて、それ自体の変形によって基板 11 を変形させる piezo 素子を用いて構成することができる。すなわち、角度変更部 15 を構成する piezo 素子は、基板 11 に取り付けられて、基板 11 の傾斜角（図 7 参照）を調整する構成となっている。また、この構成により、角度変更部 15 は、基板 11 への光線の入射角を変更することができるようになっている。ただし、角度変更部 15 としては、piezo 素子に限らず、例えば静電アクチュエータで構成されていてもよい。静電アクチュエータを用いれば、静電引力を用いて基板の傾斜角を調整することができる。

【 0 0 6 4 】

受光部 16 は、各光学素子で反射した光を受光し、受光した光を、例えば光ファイバ（図示せず）により伝送することができるようになっている（図 6 参照）。

【 0 0 6 5 】

ビームスプリッタ 17 は、発光素子（例えばレーザダイオード）18 からの赤外光を所定の反射率で反射させて対応する光学素子に送り、透過した光が後続のビームスプリッタに届くようになっている（図 6 参照）。ビームスプリッタ 17 の反射率は、図示の例では、左から右に $1/5$ 、 $1/4$ 、 $1/3$ 、 $1/2$ のように順次高くなるように設定されている。

【 0 0 6 6 】

（第 2 実施形態の動作）

次に、本実施形態に係る光スイッチング装置の動作を説明する。

【 0 0 6 7 】

（光学素子の特性）

第 2 実施形態の光学素子においても、第 1 実施形態で説明した、鋭い波長選択性という特性を持つ。しかしながら、第 2 実施形態では、光学素子における別の特性を利用する。この特性を、図 9 を参照しながら説明する。

【 0 0 6 8 】

この光学素子では、モードカップリングの発生と入射角との間に、図 9 に示すような関係を持つ。例えば入射角 $\theta = 0$ 度のとき、波長 a でモードカップリングを生じて、図 3 に示すような波形の吸収（つまり反射率の減少）を生じたとする。このとき、入射角度を変化させると、図 9 に示されるように、共鳴する光の波長が変化する。図 9 は、反射率最小（ $R_{\text{minimum}} = 0.2$ ）となる波長及び角度の条件を示しており、このグラフから外れた点では、反射率はおおよそ 0.8 となる。図 9 には明記していないが、例えば、入射角が 2 度変化すると、共鳴波長が $20 \sim 30 \text{ nm}$ 変化する。この関係を、波長を b （図 9 参照）としたときの入射角と反射率であらわすと、図 10 のようになる。入射角がわずか 2 度変化するだけで、反射率がおおよそ 0.2 から 0.8 に大きく変化する。したがって、入射角を変更することにより、光スイッチングを実行可能であることが分かる。ここで、図 10 に示す特性はシミュレーションにより得られたものであり、そのシミュレーション条件は下記のとおりである。

【 0 0 6 9 】

（図 10 のシミュレーション条件）

キャビティ部の配置周期 $d = 1.50 \mu\text{m}$
 キャビティ部の高さ $h = 0.77 \mu\text{m}$
 各チャネル部の幅（空気層） $= 0.11 \mu\text{m}$
 キャビティ部を構成する金属層の厚さ t （銀層） $= 0.1 \mu\text{m}$
 入射角 $= 0 - 5 \text{ deg}$
 基板材質: Si_3N_4
 入射光の P 偏光: 図 10 の紙面に平行な方向

【0070】

なお、第 1 実施形態の光学素子について説明した特性は、第 2 実施形態の光学素子も同様に有している。また、第 1 実施形態の光学素子でも、第 2 実施形態で説明した特性は発揮可能である。

10

【0071】

（光スイッチング方法）

前記した光学素子の特性を前提として、本実施形態における光スイッチング方法を説明する。

【0072】

まず、前提として、発光素子 18 から、特定の波長（例えば $1.55 \mu\text{m}$ ）の光がビームスプリッタ 17 に照射されているものとする（図 6 参照）。これにより、各光学素子における複数の光トラップ部及び接続部にわたって光を照射することができる。

【0073】

さらに、本実施形態では、角度変更部 15（図 7 参照）を用いて、基板 11 の傾斜角を変化させる。ただし、傾斜角は微小（例えば $1 \sim 5$ 度程度）に設定されている。

20

【0074】

すると、ビームスプリッタ 17 により光学素子に送られた光は、光学素子の表面で反射され、ビームスプリッタ 17 を通って受光部 16 に届く。届いた光は、光ファイバなどの伝送媒体を介して伝送される。

【0075】

ここで、本実施形態では、基板 11 の傾斜角の変動幅を小さい値（例えば $1 \sim 5$ 度）としているので、光学素子により反射された光を受光部 16 により問題なく受け取ることができるという利点がある（図 6 参照）。

30

【0076】

また、本実施形態では、図 9 及び図 10 に示したように、光の入射角の変化によって反射率（あるいは吸収率）が大きく変動する。このため、前記した基板 11 の傾斜角の変化（つまり入射角の変化）により、受光部 16 における受光量（受け取った光の強度）を切り替えることができる。これにより、光電変換を行わずに光スイッチングを実行できるという利点がある。

【0077】

さらに、本実施形態では、基板 11 を片持ち梁構造としたので、基板 11 を小型化すれば、これを高速で（例えば数 $\text{kHz} \sim$ 数 GHz オーダーで）振動させることができる。このため、高速な光スイッチングを実現できるという利点がある。

40

【0078】

また、本実施形態において、各光学素子におけるキャビティ部の幅 w を異ならせることにより、スイッチングする光の周波数を、光学素子ごとに異なる値に設定することができるという利点もある。

【0079】

第 2 実施形態における他の構成及び利点は、前記第 1 実施形態と同様なので、これ以上詳しい説明は省略する。

【0080】

（第 3 実施形態... 吸着センサ）

つぎに、本発明の第 3 実施形態に係る吸着センサを、図 11 を参照しながら説明する。

50

なお、この第3実施形態の説明においては、前記した第1実施形態と基本的に共通する要素については、同一符号を用いることにより、説明の煩雑を避ける。

【0081】

第3実施形態の吸着センサでは、一つの光学素子101を用いる(図11参照)。

【0082】

さらに、本実施形態の吸着センサは、吸着素子19を備えている。吸着素子19は、キャビティ部121, 122, ...の各接続部1213, 1223, ...の近傍において対象物を吸着する構成となっている。さらに、本実施形態の吸着素子19は、チャンネル部13の内側(起立部の側面)にも配置されている。より具体的には、本実施形態では、吸着素子として、特定の対象物(アナライト)に吸着するリガンドが用いられており、このリガンドの端部が、各接続部1213, ...及びチャンネル部13の表面に結合されている。

10

【0083】

(第3実施形態における物質検出方法)

次に、本実施形態に係る吸着センサの動作を説明する。

【0084】

本実施形態の吸着センサの表面に接触するように、対象物を含む溶液を流す。すると、対象物の一部が吸着素子19に吸着して保持される。

【0085】

一方、光学素子における複数のキャビティ部121, 122, ..., 12n及びチャンネル部13にわたって光を照射する。

20

【0086】

ついで、対象物が吸着素子19に吸着される前後における、光学素子の共鳴特性の変化を検出する、すなわち、対象物が吸着素子19に吸着されると、キャビティ部近傍及び/又はチャンネル部内側の屈折率が変化し、基板11での光閉じ込めを生じるための共鳴条件が変化する。例えば、共鳴する光の波長や入射角が変化する。そこで、この変化を検出することにより、対象物の検出が可能となる。したがって、この吸着センサは、例えばいわゆる生化学的(bio-chemical)センサとして使用できる。この共鳴条件の変化を用いた検出方法自体は、従来のSPRを用いた化学的センサ(例えば前記した特許文献1参照)と同様なので、これ以上詳しい説明は省略する。

【0087】

第3実施形態における他の構成及び利点は、前記第1実施形態と同様なので、これ以上詳しい説明は省略する。

30

【0088】

(第4実施形態...作製方法)

つぎに、第4実施形態として、本発明の光学素子を作製する方法の一例を、図12を参照しながら説明する。なお、この第4実施形態の説明においては、前記した第1実施形態と基本的に共通する要素については、同一符号を用いることにより、説明の煩雑を避ける。

【0089】

図12(a)に示されるように、まず、基板11の表面に、レジスト400を周期的に配置する。

40

【0090】

ついで、基板11及びレジスト400を覆うように、アモルファスシリコン層500を形成する(図12(b)参照)。この形成は、例えばスパッタリングにより行うことができる。

【0091】

ついで、上方からのイオンビーム照射により、アモルファスシリコン層500のうちで基板11と平行に配置された部分を除去し、基板11に垂直な部分のみ残す(図12(c)参照)。

【0092】

50

ついで、プラズマエッチングを用いて、レジスト400を除去する(図12(d)参照)。これにより、基板11に垂直な方向に延びるアモルファスシリコン層500のみを基板上に残すことができる。

【0093】

ついで、基板11の上面及びアモルファスシリコン層500にわたって、金属層600を形成する(図12(e)参照)。この形成にもスパッタリングを使用可能である。

【0094】

ついで、イオンビームを用いて、アモルファスシリコン層500の上方における金属層600を除去する(図12(f)参照)。残存した金属層600は、前記した実施形態におけるキャビティ部121, 122, ...を形成することになる。

10

【0095】

これにより、第1実施形態における構成の光学素子を得ることができる。なお、金属層600の間に残存したアモルファスシリコン層500(図12(f)参照)は、第1実施形態における光トラップ検出部14に相当する。

【0096】

(第5実施形態...光スイッチの変形例)

つぎに、本発明の第5実施形態に係る光スイッチング装置を、図13を参照しながら説明する。なお、この第5実施形態の説明においては、前記した第2実施形態と基本的に共通する要素については、同一符号を用いることにより、説明の煩雑を避ける。

【0097】

20

第5実施形態の光スイッチング装置においても、複数の光学素子101, 102, ..., 10nを用いる(図13参照)。さらに、第5実施形態の光スイッチング装置は、図7の例と同様に、角度変更部15(図7参照)と、受光部16と、ビームスプリッタ17とを用いる。

【0098】

ただし、第5実施形態では、1枚のビームスプリッタ17に代えて、一組のビームスプリッタ17a及び17bを用いる(図13参照)。この例では、発光素子18からの光の一部がビームスプリッタ17aで反射され、さらにビームスプリッタ17bで反射されて各光学素子101, ...に届く。各光学素子101, ...で反射された光の一部は、ビームスプリッタ17bを透過して受光部16に届く。ビームスプリッタ17aの反射率は、図示の例では、左から右に1/4, 1/3, 1/2, 1/1のように順次高くなるように設定されている。ビームスプリッタ17bの反射率はいずれも1/2でよい。

30

【0099】

第5実施形態では、光源方向に戻る光がないので、エネルギー効率を改善できるという利点がある。また、各受光部に届く光の強度をほぼ一定にすることも可能となる。

【0100】

第5実施形態における他の構成及び利点は、前記第2実施形態と同様なので、これ以上詳しい説明は省略する。

【0101】

なお、本発明の内容は、前記各実施形態に限定されるものではない。本発明は、特許請求の範囲に記載された範囲内において、具体的な構成に対して種々の変更を加えうるものである。

40

【符号の説明】

【0102】

10 支持体

101, 102, ..., 10n 光学素子

11 基板

121, 122, ..., 12n キャビティ部

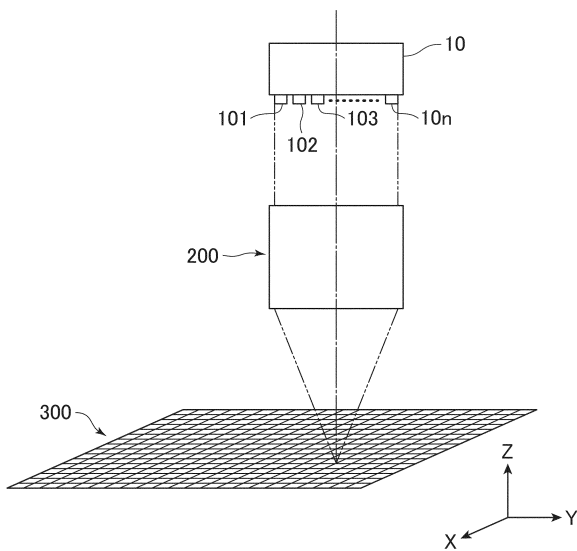
1211・1221 第1起立部

1212・1222 第2起立部

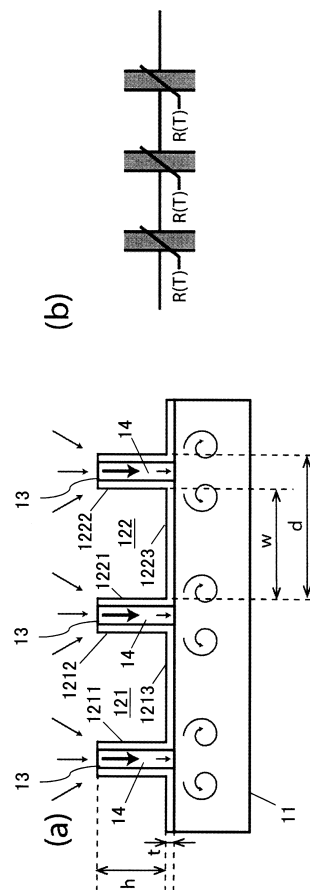
50

- 1 2 1 3 , 1 2 2 3 接続部
- 1 3 チャンネル部
- 1 4 光トラップ検出部
- 1 5 角度変更部
- 1 6 受光部
- 1 7 ビームスプリッタ
- 1 8 発光素子
- 1 9 吸着素子
- 2 0 0 光学系
- 3 0 0 テーブル
- 4 0 0 レジスト
- 5 0 0 アモルファスシリコン層
- 6 0 0 金属層
- w キャビティ部の幅
- d キャビティ部の配置周期

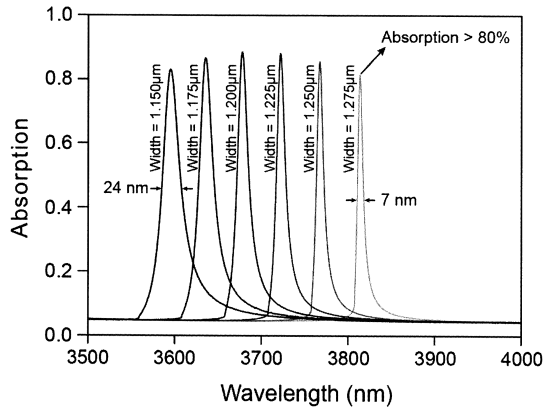
【図1】



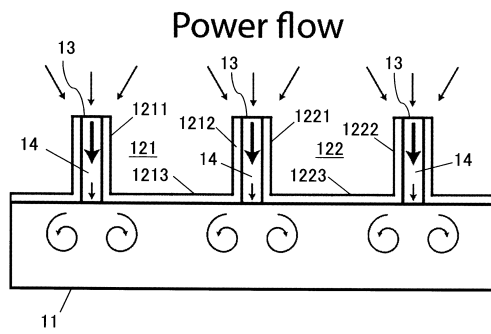
【図2】



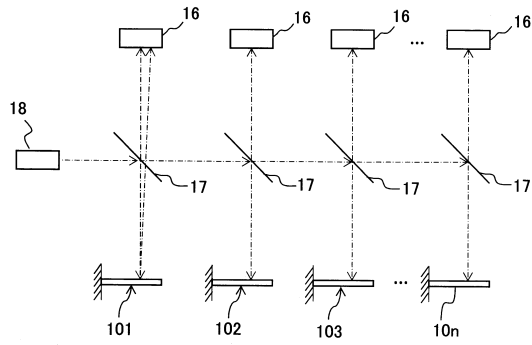
【 図 3 】



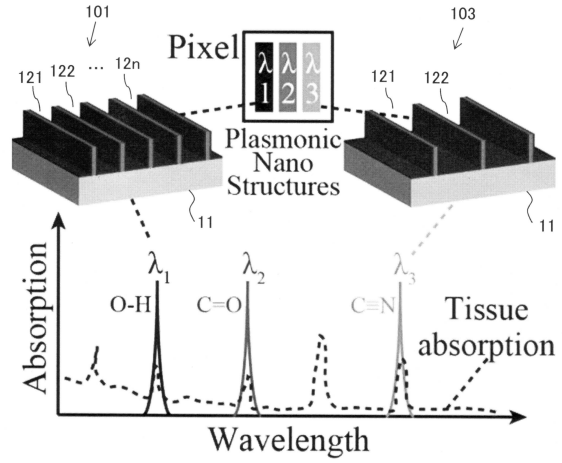
【 図 4 】



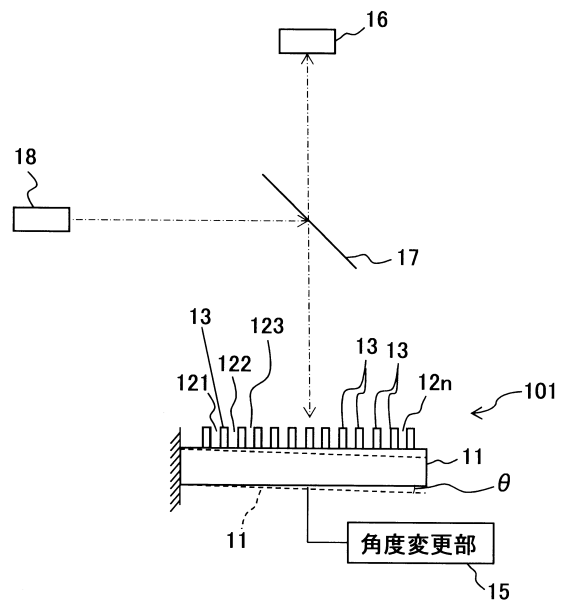
【 図 6 】



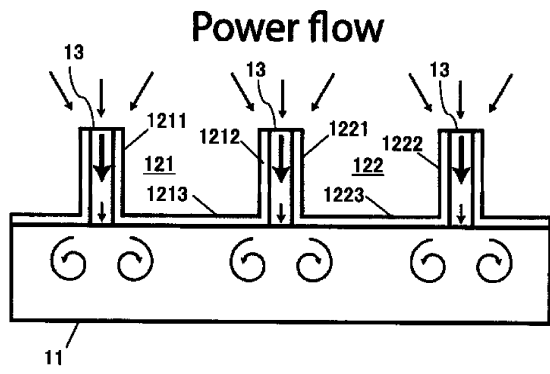
【 図 5 】



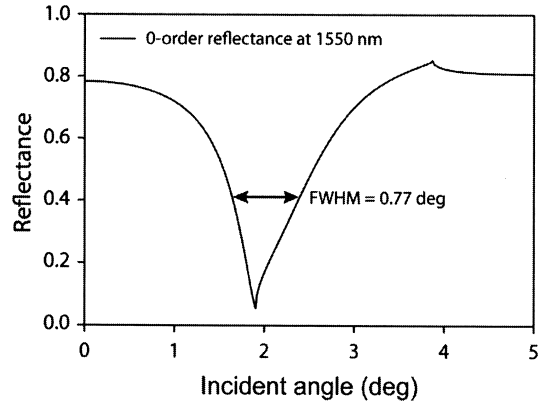
【 図 7 】



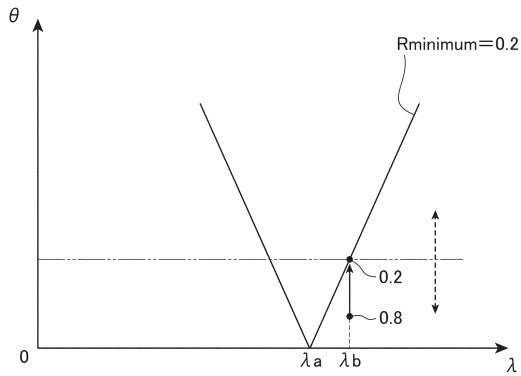
【 8 】



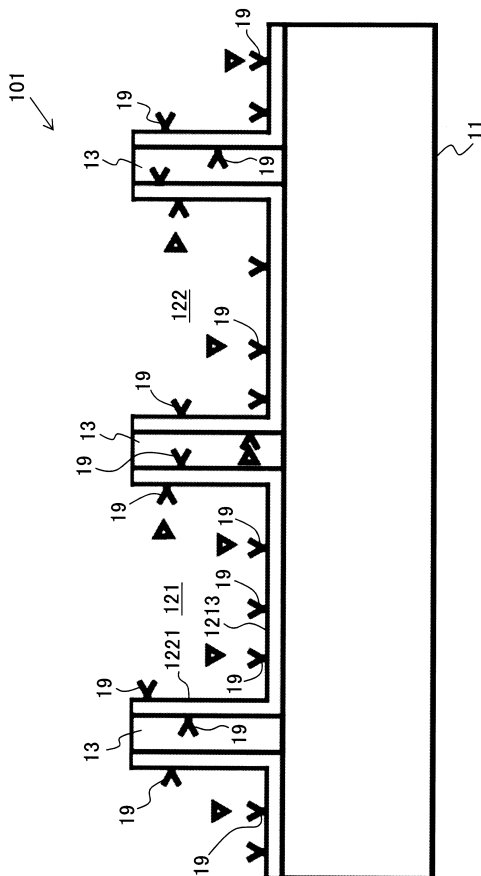
【 10 】



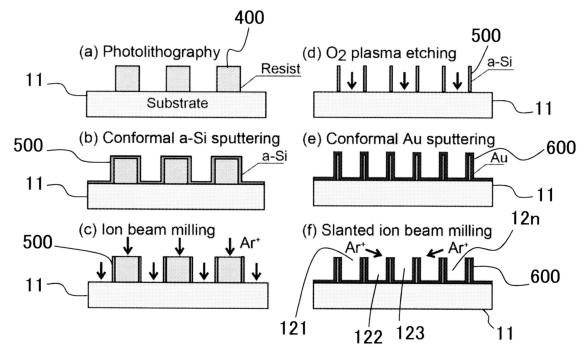
【 9 】



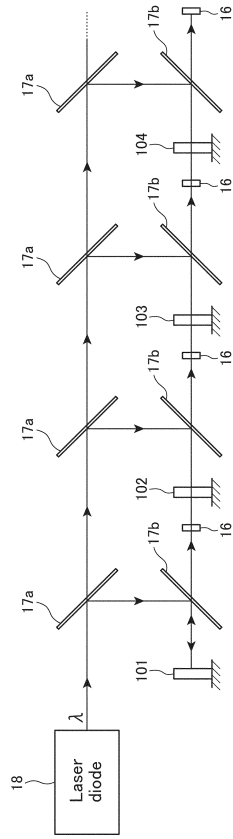
【 11 】



【 12 】



【 図 13 】



フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許出願公開第2012/0148454 (US, A1)

特開2000-171763 (JP, A)

特開2004-117525 (JP, A)

特開2011-095621 (JP, A)

国際公開第2010/044274 (WO, A1)

特表2012-506056 (JP, A)

米国特許出願公開第2011/0247690 (US, A1)

米国特許出願公開第2010/0176200 (US, A1)

米国特許出願公開第2012/0224255 (US, A1)

HO Y L , et al , Coupling of localized surface plasmons to U-shaped cavities for high-sensitivity and miniaturized detectors , OPTICS EXPRESS , 2013年 1月14日 , Vol. 21 , No. 2 , p.1531-1540

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G01J 3/00 - 3/52

G01J 1/00 - 1/60

G01N 21/00/21/61

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)