

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年8月25日(25.08.2016)



(10) 国際公開番号

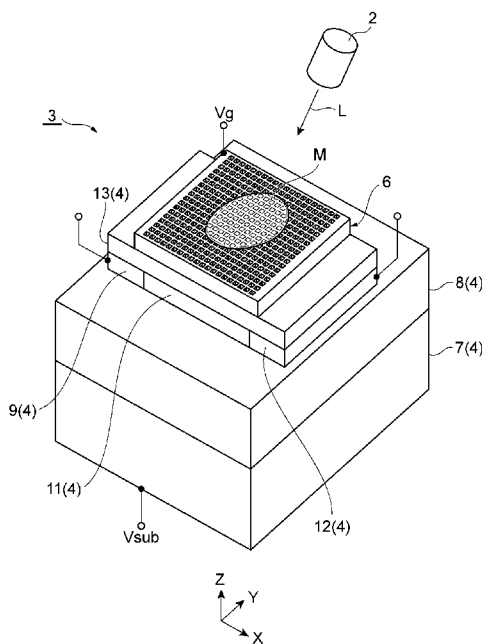
WO 2016/132991 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 21/41 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/053981
- (22) 国際出願日: 2016年2月10日(10.02.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-027772 2015年2月16日(16.02.2015) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人静岡大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION SHIZUOKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒4228529 静岡県静岡市駿河区大谷 8 3 6 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 猪川 洋(INOKAWA Hiroshi); 〒4328561 静岡県浜松市中区城北 3 丁目 5 - 1 国立大学法人静岡大学電子工学研究所内 Shizuoka (JP). 佐藤 弘明(SATO Hiroaki); 〒4328561 静岡県浜松市中区城北 3 丁目 5 - 1 国立大学法人静岡大学電子工学研究所内 Shizuoka (JP). 小野 篤史(ONO Atsushi); 〒4328561 静岡県浜松市中区城北 3 丁目 5 - 1 国立大学法人静岡大学電子工学研究所内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー

[続葉有]

(54) Title: REFRACTIVE INDEX MEASURING DEVICE

(54) 発明の名称: 屈折率測定装置



(57) Abstract: In the present invention, a photodiode 3 includes semiconductor layers 9, 11, 12 and a gate insulation layer 13 which are provided on an embedded insulation layer 8 that is formed on a semiconductor silicon substrate 7, and on the gate insulation layer 13, disposed is a diffraction grating 6 in which a plurality of grooves 6a are formed in a 2D lattice-shape. Measurement light L emitted from a light source device 2 is guided by an optical system 30A that includes a photoelastic modulator 20, and the light is thereby incident on the photodiode 3. The measurement light L is emitted from the light source device 2 in a state of being linearly polarized light having a prescribed wavelength, and the light is transformed at a prescribed frequency by the optical system 30A so that repeated is a state in which two linearly polarized light beams which are orthogonally oriented are formed. An electrical signal from the photodiode 3, in the state in which the measurement light L has become two linearly polarized light beams which are orthogonally oriented, is subjected to lock-in detection.

(57) 要約: 半導体のシリコン基板 7 上に形成された埋め込み絶縁層 8 上に半導体層 9, 11, 12 及びゲート絶縁層 13 を備えると共に、複数の溝部 6a が 2 次元格子状に形成された回折格子部 6 をゲート絶縁層 13 上に有するフォトダイオード 3 に対して、光源装置 2 から出射された測定光 L が、光弾性変調器 20 を含む光学系 30A により導かれて入射する。測定光 L は所定の波長を有する直線偏光の状態光源装置 2 から出射され、光学系 30A によって、2 つの直交する向きの直線偏光となる状態を繰り返すように所定の周波数で変換される。そして、測定光 L が当該 2 つの直交する向きの直線偏光となる状態におけるフォトダイオード 3 からの電気信号をロックイン検出する。

WO 2016/132991 A1



ロシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：屈折率測定装置

技術分野

[0001] 本発明は、屈折率測定装置に関する。

背景技術

[0002] 屈折率の測定は、農業、化学、生物学、バイオテクノロジー及び医学などの様々な分野において応用が期待されている。屈折率を測定する技術として、特許文献1～3には、導波モード共鳴や表面プラズモン共鳴を利用した屈折率の測定装置及び測定方法が記載されている。

[0003] 特許文献1には、試料の屈折率を容易に且つ高精度で求める屈折率計が記載されている。この屈折率計を用いて屈折率を測定する場合には、導波モード共鳴フィルタの導波層端面に測定光を導入し、このときの導波モード共鳴フィルタの格子で回折した出射光を光検出器により検出する。測定光の出射角度は、検出器の位置を移動させることにより所定角度範囲で走査される。これにより、屈折率に対応した共鳴出射角度が求められる。

[0004] 特許文献2には、回折格子を有し、小型化に適する表面プラズモン共鳴センサチップが記載されている。回折格子は弾性変形可能な弾性膜上に形成されている。このチップを用いて屈折率を測定する場合には、試料を回折格子面の近傍に配置した状態で、回折格子に向けて光を入射する。従来の表面プラズモン共鳴センサチップでは、入射光の入射角度を走査して回折光の強度を測定していた。これに対し、このチップでは入射光の入射角度の走査に代えて、弾性膜を膨出させて回折格子面の格子ピッチを動的に変化させることにより、屈折率に対応した共鳴ピッチを求める。

[0005] 特許文献3には、表面プラズモン共鳴センサが記載されている。このセンサは、測定用の光を入射する導波路コア層と、金属薄膜と、誘電体膜と、誘電体膜上に形成された測定用の試料を設けるためのサンプル層とを有している。このセンサを用いて屈折率を測定する場合には、サンプル層に試料を設

け、導波路コア層に光を入射させて、導波路コア層を透過する光の波長スペクトルあるいは入射角度スペクトルを測定する。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2010-210384号公報

特許文献2：特開2009-168469号公報

特許文献3：特開2004-170095号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 特許文献1～3に記載された屈折率測定装置では、共鳴フィルタから出射された光の強度に基づいて、共鳴ピークを与える共鳴角度、共鳴波長、又は共鳴ピッチを測定し、測定結果から屈折率を算出している。しかし、これらの方法によると、共鳴フィルタから出射された光の強度を検出するために共鳴フィルタとは別体の光検出器が必要であり、装置構成が煩雑化する。更に、光検出器が別体であるため共鳴フィルタから出射された反射光の利用効率が低下し、光の強度の検出精度が悪化することで、屈折率の測定精度が悪化する傾向があった。

[0008] そこで、本発明の一形態は、装置構成を簡素化すると共に屈折率の測定精度を向上させることを可能にした屈折率測定装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一形態に係る屈折率測定装置は、半導体又は金属から成る基板、基板上に形成された埋め込み絶縁層、埋め込み絶縁層上の所定領域に沿って並んで形成されたp型半導体層及びn型半導体層を含む半導体層、半導体層上に形成されたゲート絶縁層、及び、ゲート絶縁層上に配置され、平面状の導電部材に溝部が2次元的に形成された回折格子部、を有するフォトダイオードと、所定の波長を有する直線偏光の光を出射する光源と、光弾性変調器

を含み、光を、2つの直交する向きの直線偏光となる状態を所定の周波数で繰り返すように変換し、当該変換された光をフォトダイオードへ導く光学系と、光が光学系を介してフォトダイオードへ入射したことに応じてフォトダイオードから出力される電気信号を、光が2つの直交する向きの直線偏光となる各時刻において所定の周波数でロックイン検出する信号検出部と、を備える。

[0010] この屈折率測定装置は、基板上に形成された埋め込み絶縁層上に半導体層及びゲート絶縁層を備える。また、この屈折率測定装置では、溝部が2次元的に形成された回折格子部をゲート絶縁層上に有するフォトダイオードに対して、光源から出射された光が光学系により導かれて入射する。ここで、光源から出射される光は、所定の波長を有する直線偏光の状態であり、光学系に含まれる光弾性変調器によって、フォトダイオードに入射する光が2つの直交する向きの直線偏光となる状態を繰り返すように所定の周波数で変換される。そして、2つの直交する向きの直線偏光の光が、溝部が2次元的に形成された回折格子部に繰り返し入射され、当該光が各向きの直線偏光となる状態におけるフォトダイオードの各電気信号が検出される。これにより、回折格子部上に被測定物が配置されている場合、各電気信号に基づいて被測定物の屈折率を得ることができる。このような構成により、別体の光検出器を用いることなく屈折率を測定できるため、装置構成を簡素化することができる。しかも、フォトダイオードに入射する光の利用効率が向上することで光の強度の検出精度が向上する。また、同一の被測定物に対し同一の光源及び光学系から光を入射し、同一の回折格子部及びフォトダイオードによって電気信号に変換することで、電気信号に誤差が生じることが抑制される。更に、信号検出部において電気信号をロックイン検出することで信号対雑音（S／N）比が向上する。その結果、被測定物の屈折率の測定精度を向上できる。

発明の効果

[0011] 本発明の一形態によれば、装置構成を簡素化すると共に屈折率の測定精度

を向上できる。

図面の簡単な説明

- [0012] [図1]第1実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図である。
- [図2]屈折率測定装置に用いるフォトダイオードを示す斜視図である。
- [図3]フォトダイオードの要部断面図である。
- [図4]測定光と導波路モードとの位相整合条件の関係を示す図である。
- [図5]屈折率とピーク波長及びピーク値との関係を示すグラフである。
- [図6]入射偏光角に対する量子効率の分光特性を示すグラフである。
- [図7]対数変換回路の一例を示す図である。
- [図8]被測定物の屈折率とロックイン検出した出力との関係を示すグラフである。
- [図9]光電流の対数値と対数変換回路の出力電圧との関係を示すグラフである。
- [図10]第1実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変化を示す図である。
- [図11]第1実施形態に係る屈折率測定装置の動作を示すタイミングチャートである。
- [図12]第2実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図である。
- [図13]第2実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変化を示す図である。
- [図14]第3実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図である。
- [図15]第3実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変化を示す図である。
- [図16]第4実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図である。
- [図17]第4実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変化を示す図である。
- [図18]第5実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図である。
- [図19]第5実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変

化を示す図である。

[図20]第6実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図である。

[図21]第6実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変化を示す図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、添付図面を参照しながら本発明を実施するための形態を詳細に説明する。図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0014] [第1実施形態]

図1は第1実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図である。本実施形態に係る屈折率測定装置1Aは、図1に示されるように、被測定物Mに測定光(光)Lを照射することにより被測定物Mの屈折率 n を得る装置である。屈折率測定装置1Aは、測定光Lの照射により、配置された被測定物Mの屈折率 n 等に応じた電気信号を出力するフォトダイオード3と、測定光Lを出射する光源装置(光源)2と、光源装置2から出射された測定光Lの偏光状態を変換すると共に当該測定光Lをフォトダイオード3へ導く光学系30Aと、を備えている。また、屈折率測定装置1Aは、フォトダイオード3から出力された電気信号を処理及び検出するための構成として、当該電気信号を対数変換する対数変換回路15と、対数変換回路15から出力された電気信号をサンプル／ホールドするサンプル／ホールド回路14と、サンプル／ホールド回路14から出力された電気信号をロックイン検出する信号検出部16と、信号検出部16によってロックイン検出された電気信号に基づき被測定物Mの屈折率 n を算出する屈折率算出部17とを備えている。

[0015] まず、フォトダイオード3の構成について説明する。

[0016] 図2は屈折率測定装置に用いるフォトダイオードを示す斜視図、図3はフォトダイオードの要部断面図である。図2及び図3に示されるように、フォトダイオード3は、測定光Lの光強度に対応する電気信号を生成する半導体受光素子部4と、半導体受光素子部4上に設けられた回折格子部6とを備え

ている。なお、以下の説明においては、フォトダイオード3を構成する各層の積層方向をZ軸方向とし、後述する回折格子部6に2次元格子状に形成された複数の溝部6aの配列方向をX軸方向及びY軸方向とし、各軸は互いに直交するものとする。

[0017] フォトダイオード3の半導体受光素子部4は、いわゆるMOS構造の横型pn接合ダイオードであり、シリコン基板（基板）7と、シリコン基板7上に配置された埋め込み絶縁層8と、埋め込み絶縁層8上に配置された半導体層9、11、12と、半導体層9、11、12上に配置されたゲート絶縁層13と、を有している。埋め込み絶縁層8は酸化シリコンからなり、半導体層9、11、12は所定のドーパントを含むシリコンからなり、ゲート絶縁層13は酸化シリコンからなる。従って、半導体受光素子部4は、シリコン基板7を基板（支持体）としたSOI（Silicon On Insulator）構造を有している。

[0018] 半導体層9、11、12は、埋め込み絶縁層8上の矩形状の所定領域において、X軸方向に沿って、この順で隣接して設けられている。光導波路及び光吸収層として機能する半導体層11は、深さ方向（Z軸方向）の大部分が空乏化し、シリコンに対して低濃度でボロンやリン等のp型不純物又はn型不純物が添加されている。アノード電極及びカソード電極である半導体層9、12は、それぞれ、埋め込み絶縁層8上において半導体層11をX軸に沿った方向から挟むように、半導体層11とほぼ同一の厚さでp⁺型半導体層及びn⁺型半導体層として形成されている。このp⁺型半導体層9及びn⁺型半導体層12は、それぞれ、シリコンに対して高濃度（ 10^{19} cm^{-3} 以上）でボロン等のp型不純物及びリン等のn型不純物が添加されており、半導体層11に並設されることでアノード電極及びカソード電極として機能する。これらの半導体層9、11、12上には、半導体層9、11、12を覆うようにゲート絶縁層13が形成されている。

[0019] このようなフォトダイオード3によって測定光Lを検出する際には、回折格子部6にゲート電圧 V_g が印加され、シリコン基板7に基板電圧 V_{sub}

が印加される。ゲート電圧 V_g 及び基板電圧 V_{sub} を調整することで、半導体層11の上下の界面における電子又は正孔の密度を広範囲で制御することができる。特に、ゲート電圧 V_g 及び基板電圧 V_{sub} は、ゲート絶縁層13に接する半導体層11の界面と、埋め込み絶縁層8に接する半導体層11の界面における電子又は正孔の密度が半導体層11の真性キャリア密度よりも十分に大きくなるように設定されることが好ましい。

[0020] ゲート絶縁層13上の少なくとも半導体層11を覆う領域には回折格子部6が配置されている。従って、回折格子部6は、ゲート絶縁層13を介して半導体層11を覆っており、半導体層9, 11, 12から電氣的に絶縁されている。回折格子部6は、平面状の導電部材である金属膜に、半導体層11を覆う領域に亘ってゲート絶縁層13の表面まで貫通する複数の溝部6aが形成されている。各溝部6aは略正形状の開口を有する。複数の溝部6aは、X軸方向及びY軸方向へそれぞれ配列されて2次元格子状に形成されている。すなわち、複数の溝部6aはX軸方向及びY軸方向に一定の格子ピッチ（周期）Pで配列されていると共に、複数の溝部6aのX軸方向及びY軸方向に沿った2つの配列方向は互いに直交している。このような回折格子部6の材料としては、例えば、チタン（Ti）の付着力強化層上に形成した金（Au）、銀（Ag）、アルミニウム（Al）等の導電性金属、n型又はp型の不純物を高濃度に添加した多結晶シリコン（ポリSi）等が用いられる。この回折格子部6は、所定波長を有する測定光Lを半導体層11へ導く役割、ゲート電極としての役割、及び被測定物Mを配置するための配置部としての役割を有する。

[0021] フォトダイオード3では、回折格子部6に測定光Lが照射されると、半導体層11の導波路モードとの間で位相整合条件を満たす特定波長の測定光Lが最も効率よく半導体層11に捉えられる。半導体層11に捉えられた測定光Lは、半導体層11中において吸収されて電子・正孔対を生成する。そして、生成され分離された電子と正孔の量に対応する光電流がカソードからアノードへ流れるため半導体層12から電気信号が取り出される。

[0022] この半導体層 11 における導波路モードの伝搬波長 λ_g は、式 (1) により示される。ここで、 λ は測定光 L の波長であり、 n_s は半導体層 11 の屈折率であり、 t_s は半導体層 11 の厚さであり、 n_i は埋め込み絶縁層 8 及びゲート絶縁層 13 の屈折率である。TE モードとは、導波路（すなわち、半導体層 11）を伝搬する光の電界方向が伝搬方向に垂直で導波路平面内にあるモードであり、TM モードとは同じく磁界方向が伝搬方向に垂直で導波路平面内にあるモードであり、各モードに対応して式 (1) が異なる。

[数1]

$$\left. \begin{aligned} \tan\left(\frac{ht_s}{2} - m\frac{\pi}{2}\right) &= \frac{\sqrt{V^2 - h^2 t_s^2}}{ht_s} && \dots \text{TEモード} \\ \tan\left(\frac{ht_s}{2} - m\frac{\pi}{2}\right) &= \frac{n_s^2}{n_i^2} \frac{\sqrt{V^2 - h^2 t_s^2}}{ht_s} && \dots \text{TMモード} \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

$$\text{但し、} h = \sqrt{\left(\frac{2\pi n_s}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{2\pi}{\lambda_g}\right)^2} \quad V = \frac{2\pi}{\lambda} t_s \sqrt{n_s^2 - n_i^2}$$

$m=0,1,2,3\dots$ の整数

[0023] 位相整合条件について説明する。図 4 は測定光と導波路モードとの位相整合条件の関係を示す図であり、Y 軸に垂直な断面を示している。図 4 (a) に示されるように、回折格子部 6 に対して測定光 L が入射角度 α で斜めに入射したとき、回折格子部 6 における 1 ピッチあたりに生じる光路長 ($P \times \sin \alpha$) と屈折率 n と波長 λ とに起因して、位相差 $\Delta (= P (2\pi n / \lambda) \sin \alpha)$ が生じる。そして、位相整合条件は、位相差 Δ を波数 $k_g (= 2\pi / \lambda_g)$ で除した値 (Δ / k_g) を半導体層 11 の伝搬波長 λ_g に対して加算又は減算した値 ($= \lambda_g \pm \Delta / k_g$) が、格子ピッチ P と等しいとして示される。図 4 (b) は加算される場合を示しており、半導体層 11 には前進波が伝搬する。減算される場合は、半導体層 11 には後進波が伝搬する。従って、式 (2-1) 及び式 (2-2) が得られる。ここで、 λ は測定光 L の波長であり、 n は被測定物 M の屈折率であり、 P は格子ピッチであり、 α は測定光 L の入射角度である。また、 λ_{gf} は半導体層 11 における前進波の伝搬波長

であり、 λ_{gb} は半導体層11における後進波の伝搬波長である。位相整合条件が満たされる場合とは、式(2-1)及び式(2-2)を満足する場合である。式(2-1)及び式(2-2)によれば、位相整合条件を満たす場合とは、格子ピッチP、屈折率n、測定光Lの波長 λ 、入射角度 α により規定される値が、導波路モードの伝搬波長 λ_{gf} 、 λ_{gb} と一致する場合であるともいえる。

[数2]

$$\lambda_{gf} = 1 / \{ (1/P) + (n/\lambda) \sin \alpha \} \quad \dots (2-1)$$

$$\lambda_{gb} = 1 / \{ (1/P) - (n/\lambda) \sin \alpha \} \quad \dots (2-2)$$

[0024] 式(2-1)及び式(2-2)によれば、測定光Lの入射角度 α が0度以外、換言すると測定光Lが回折格子部6に対して斜めに照射された状態で、屈折率nの変化が生じると位相整合条件を満たすために測定光Lの波長 λ のシフトが必要になることがわかる。

[0025] 光電流の分光特性について説明する。図5は屈折率とピーク波長及びピーク値との関係を示すグラフである。図5に示されるように、光電流の分光特性は、測定光Lの波長 λ と、その測定光Lを照射したときにフォトダイオード3から出力される電気信号の大きさとの関係である。光電流の分光特性は、波長 λ ごとの電気信号の大きさを示す。図5において、横軸は測定光Lの波長 λ であり、縦軸は電気信号の大きさを示す光電流である。式(2-1)及び式(2-2)の右辺の値が左辺の伝搬波長 λ_{gf} 、 λ_{gb} に近づくほど、電気信号の値が大きくなる。そして、右辺の値と左辺の値が一致したとき(位相整合条件を満たすとき)に、電気信号は最大値(ピーク)になる。フォトダイオード3に入った測定光が光電流に変換される効率(すなわち、量子効率)は、光電流を、1秒間にフォトダイオード3に入る光子数及び電気素量で割算して得られる。

[0026] 屈折率nの変化に伴うピーク波長 λ_p のシフトについて更に説明する。図5(a)は、回折格子部6に対する測定光LのZ-X平面内で傾けた入射角

度 α が10度であるときの光電流の分光特性を示す。図5(b)は、回折格子部6に対する測定光Lの入射角度 α が20度であるときの光電流の分光特性を示す。更に、図5(a)のグラフG1及び図5(b)のグラフG3は、被測定物Mの屈折率が $n=1$ である場合の光電流の分光特性を示している。グラフG1は2個のピーク p_{k1} , p_{k2} を有し、グラフG3はピーク p_{k5} , p_{k6} を有している。2個のピークのうち、長波長のピーク（すなわち、ピーク p_{k1} , p_{k5} ）が後進波に対応し、短波長のピーク（すなわち、ピーク p_{k2} , p_{k6} ）が前進波に対応する。図5(a)のグラフG2及び図5(b)のグラフG4は、被測定物Mの屈折率が $n=1.4933$ である場合の光電流の分光特性を示している。グラフG2は2個のピーク p_{k3} , p_{k4} を有し、グラフG4はピーク p_{k7} , p_{k8} を有している。同じく、長波長のピーク（すなわち、ピーク p_{k3} , p_{k7} ）が後進波に対応し、短波長のピーク（すなわち、ピーク p_{k4} , p_{k8} ）が前進波に対応する。

[0027] ここで図5(a)の後進波のピーク p_{k1} , p_{k3} を比較すると、グラフG1($n=1$)のピーク p_{k1} に対して、グラフG2($n=1.4933$)のピーク p_{k3} は、ピーク波長 λ_p が長波長側へシフトしていることがわかる。また、前進波のピークに関しては、グラフG1($n=1$)のピーク p_{k2} に対して、グラフG2($n=1.4933$)のピーク p_{k4} は、ピーク波長 λ_p が短波長側へシフトしていることがわかる。また、図5(a)のピーク p_{k1} , p_{k3} を比較すると、グラフG1($n=1$)のピーク p_{k1} に対して、グラフG2($n=1.4933$)のピーク p_{k3} は、ピーク値が減少していることがわかる。また、グラフG1($n=1$)のピーク p_{k2} に対して、グラフG2($n=1.4933$)のピーク p_{k4} も、ピーク値が減少していることがわかる。

[0028] このように、ピーク波長 λ_p のシフト量と屈折率 n との間には所定の関係があり、ピーク値の減少量と屈折率 n の間にも所定の関係があることがわかる。従って、ピーク波長 λ_p のシフト量又はピーク値の減少量を利用して屈折率 n を得ることができる。

[0029] 測定光Lの偏光状態の変化に伴って生じるピークの分裂について更に説明する。図6は入射偏光角に対する量子効率の分光特性を示すグラフである。図6では、回折格子部6の複数の溝部6aのX軸方向及びY軸方向における各格子ピッチPがそれぞれ300nm、回折格子部6に対する測定光の入射角度 α が10度であるときの量子効率の分光特性が示されている。グラフG5は、直線偏光である測定光Lの電界の振動方向（すなわち、直線偏光の向き）がY軸方向である場合の量子効率の分光特性を示し、グラフG6は、直線偏光である測定光Lの電界の振動方向がX軸方向である場合の量子効率の分光特性を示している。グラフG5は例えばTEモードに対応するピークpk9、pk10、及びTMモードに対応するピークpk11を有し、グラフG6は例えばTEモードに対応するピークpk12、及びTMモードに対応するピークpk13、pk14を有している。例えば直線偏光である測定光Lの電界の振動方向がX軸方向からY軸方向に変換された場合、TEモードに対応するグラフG6のピークpk12は、波長の異なる2つのピークに分裂してグラフG5のピークpk9、pk10となることがわかる。また、例えば直線偏光である測定光Lの電界の振動方向がY軸方向からX軸方向に変換された場合、TMモードに対応するグラフG5のピークpk11は、波長の異なる2つのピークに分裂してグラフG6のピークpk13、pk14となることがわかる。なお、このときの被測定物Mの屈折率 n を基準屈折率 n_0 とし、X軸方向及びY軸方向の2つの直交する向きの直線偏光の測定光Lに対する量子効率（すなわち、光電流による電気信号）が等しくなるように、格子ピッチP及び入射角度 α が設定される。図6では、TMモードのピークpk11に対する長波長側の波長 λ_1 、及び短波長側の波長 λ_2 に対して $P = 300\text{ nm}$ 、 $\alpha = 10\text{ 度}$ が設定されることが示されている。

[0030] ここで、分裂するピーク波長 λ_p の幅と被測定物Mの屈折率 n との間には所定の関係があり、屈折率 n と基準屈折率 n_0 との差が大きいほど分裂するピーク波長 λ_p の幅は大きくなる。このため、測定光Lの波長を同一とした場合、屈折率 n と基準屈折率 n_0 との差が大きいほど量子効率の違いが大きくな

る。従って、この量子効率の違いを評価することで、被測定物Mの屈折率 n を得ることができる。

[0031] 続いて、光源装置2及び光学系30Aの構成について説明する。

[0032] 光源装置2は、所定の帯域に含まれる特定波長を有する測定光Lを出射するものである。測定光Lは、直線偏光の状態を出射される。また、光源装置2は、光学系30Aと協働して、フォトダイオード3の回折格子部6に対する測定光Lの入射角度 α （図4（a）参照）を調整可能である。光源装置2及び光学系30Aでは、測定光LがZ-X平面に沿って進行し、Z軸に対する入射角度 α を10度として回折格子部6へ入射するように配置されている。

[0033] 光学系30Aは、光源装置2から出射された測定光Lの偏光状態を変換すると共に、フォトダイオード3へ導くものである。光学系30Aは、光弾性変調素子18及び交流電源19を有する光弾性変調器20と、下流側1/4波長板（1/4波長板）22と、を備えている（図1参照）。光源装置2から出射された測定光Lは、光弾性変調素子18、下流側1/4波長板22の順に通過してフォトダイオード3へ入射する。

[0034] 光弾性変調器20は、測定光Lの偏光状態を、印加電圧に応じたリタレーション（位相差）を生じるように変換するものである。例えば、光弾性変調器20は、直線偏光と円偏光との間の相互変換、直線偏光から方向の異なる直線偏光への変換、及び円偏光から回転方向の異なる円偏光への変換等を行うことができる。光弾性変調器20の光弾性変調素子18は、交流電源19に接続されている。交流電源19は、光弾性変調器20が $\lambda/4$ 又は $\lambda/2$ の最大リタレーションを正負で交互に繰り返すような交流電圧を光弾性変調素子18に印加する。このように交流電源19による電圧変動に連動して変動するリタレーション（位相差）を測定光Lに生じさせることで、光弾性変調器20は測定光Lの偏光状態を周期的に変換する。なお、本実施形態においては、光弾性変調器20の進相軸及び遅相軸は、光源装置2から出射される測定光Lの直線偏光の方向に対してそれぞれ ± 45 度ずつ角度がずれた状

態となっている。

[0035] 下流側 $1/4$ 波長板 22 は $1/4$ 波長板からなり、通過する測定光 L の偏光方向に応じて $\lambda/4$ の位相差を生じさせる。例えば、下流側 $1/4$ 波長板 22 は、直線偏光と円偏光との間の相互変換等を行うことができ、本実施形態においては円偏光を直線偏光に変換する。

[0036] サンプル／ホールド回路 14 は、フォトダイオード 3 から出力される電気信号に混ざっている不要な信号を除去するため、所定の周期で電気信号の出力をサンプリングし、次のサンプリングのタイミングまで当該出力値を維持する回路である。具体的には屈折率測定装置 1A の構成では、サンプル／ホールド回路 14 は、光弾性変調器 20 のリタレーションが $\pm \lambda/4$ となるタイミングで発せられる、交流電源 19 の周波数に同期したサンプリングパルスに同期して、電気信号の出力をサンプル／ホールドする。すなわち、サンプル／ホールド回路 14 は、測定光 L が回折格子部 6 における複数の溝部 6a の 2 つの直交する配列方向（X 軸方向及び Y 軸方向）に沿った向きの直線偏光となる各時刻における電気信号の出力をサンプル／ホールドすることとなる。

[0037] 対数変換回路 15 は、フォトダイオード 3 から出力される電気信号を対数変換する回路である。図 7 は対数変換回路の一例を示す図、図 8 は被測定物の屈折率とロックイン検出した出力との関係を示すグラフである。対数変換回路 15 は、一例として、図 7 に示されるように構成される。図 7 において、PD はフォトダイオード 3、 M_1 は第 1 MOSFET（電界効果トランジスタ）、 M_2 は第 2 MOSFET、 R_L は抵抗素子を表す。フォトダイオード 3 は、アノードが接地されると共に、カソードが第 1 MOSFET のソース（電流端子）に接続されている。また、第 1 MOSFET は、ソースが第 2 MOSFET のゲート（制御端子）に接続されると共に、ドレイン（電流端子）及びゲートが電源に接続されて電圧が印加されている。第 2 MOSFET は、ソースが出力端子 V_o に接続されると共に抵抗素子 R_L を介してグラウンドに接続され、ドレインが電源に接続されて電圧が印加されている。この対数

変換回路 15 の出力は、当該出力端子 V_o よりサンプル／ホールド回路 14 を介して信号検出部 16 に出力される。上述したように、屈折率測定装置 1A は、基準屈折率 n_o の場合に、2つの直交する向きの直線偏光となる状態の測定光 L のフォトダイオード 3 への入射によりフォトダイオード 3 から出力される各光電流 I_{PD} の差が 0 となるように構成されている。また、図 8 に示されるように、各光電流 I_{PD} の差は、屈折率 n の基準屈折率 n_o 付近における変化に応じて略線形に変化する。ここで、光電流 I_{PD} の強度は光源装置 2 からの測定光 L の強度に依存し、測定光 L が弱くなると光電流 I_{PD} の強度も弱くなる。このため、被測定物 M の屈折率 n と基準屈折率 n_o との間に差がある場合であっても、測定光 L が弱い場合、2つの直交する向きの直線偏光となる状態における各光電流 I_{PD} の差が小さく検出が困難となり、屈折率の測定精度の悪化の一因となる。

[0038] ここで、対数変換回路 15 によって対数変換された各光電流 $\log(I_{PD})$ の差は、各光電流 I_{PD} の比を対数変換したものに対応する。このため、各光電流 $\log(I_{PD})$ の差は光電流 I_{PD} の絶対的な強度に依存しないため、この差を用いることにより、2つの直交する向きの直線偏光となる状態における各光電流 I_{PD} の比を精度良く検出できる。なお、図 9 は光電流 I_{PD} の対数値と対数変換回路の出力電圧 V_o との関係を示すグラフである。図 9 に示されるように、領域 $R1$ では光電流 $\log(I_{PD})$ と出力電圧 V_o との関係が略線形に近似できる。従って、領域 $R1$ の範囲の出力電圧 V_o を用いることで、更に各光電流 I_{PD} の比を精度良く検出できる。

[0039] 信号検出部 16 は、対数変換回路 15 から出力され、サンプル／ホールド回路 14 でサンプル／ホールドされた電気信号をロックイン検出するものである。上述したように、信号検出部 16 に入力される電気信号は、測定光 L が光学系 30A を介してフォトダイオード 3 に入射したことに応じてフォトダイオード 3 から出力される電気信号に対し、対数変換回路 15 及びサンプル／ホールド回路 14 を介して出力された電気信号である。信号検出部 16 はロックインアンプを含んで構成されることで、対数変換された電気信号の

差を検出する。信号検出部 16 は、所定の周波数で光弾性変調器 20 のリタデーションが $\pm \lambda / 4$ となる 2 つのタイミング（すなわち、測定光 L が回折格子部 6 における複数の溝部 6 a の 2 つの直交する配列方向（X 軸方向及び Y 軸方向）に沿った向きの直線偏光となる各時刻）で発せられるサンプリングパルスに同期して動作する。これにより、信号検出部 16 は、上記 2 つのタイミングでの電気信号の差分電圧を検出する。このため、電気信号に含まれる雑音の影響を大幅に減らすことができる。なお、ロックインアンプとしては公知の回路構成としてよい。

[0040] 屈折率算出部 17 は、信号検出部 16 においてロックイン検出した電気信号に基づき、被測定物 M の屈折率 n を算出するものである。屈折率算出部 17 は、上述したように、屈折率 n と基準屈折率 n_0 との差に応じた量子効率の違いを評価することで被測定物 M の屈折率 n を算出する。

[0041] 図 10 は第 1 実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変化を示す図である。図 10 の下の部分には、光弾性変調器 20 に入る光の 2 種類の偏光状態に対応して、変換後の偏光状態が模式的に示されている（以下、図 13、15、17、19、21 も同様）。時刻 0 で示される変換後の偏光状態は入る光の偏光状態に等しい。図 10 に示されるように、屈折率測定装置 1 A では、光源装置 2 から出射された測定光 L は、光弾性変調器 20 の進相軸及び遅相軸に対してそれぞれ 45 度ずれた向きの直線偏光である。当該測定光 L は、光弾性変調器 20 を通過する際に円偏光に変換される。光弾性変調器 20 の最大リタデーションは $\lambda / 4$ に設定されている。円偏光に変換された測定光 L は、光弾性変調器 20 のリタデーションが $\pm \lambda / 4$ のときに互いに反対回りの円偏光となる。続いて、円偏光に変換された測定光 L は、下流側 $1 / 4$ 波長板 22 を通過する際に直線偏光に変換される。具体的には、測定光 L は、光弾性変調器 20 のリタデーションが $\pm \lambda / 4$ のときの互いに反対回りの円偏光の状態の下流側 $1 / 4$ 波長板 22 を通過すると、フォトダイオード 3 の複数の溝部 6 a の配列方向である X 軸方向及び Y 軸方向に沿った向きの直線偏光となる。

[0042] 以上により、光源装置 2 から出射された測定光 L は、光学系 30A を通過することで 2 つの直交する向きの直線偏光となる状態を、交流電源 19 における電圧変動の周波数に連動して繰り返すように変換されることとなる。このとき、光学系 30A を通過した測定光 L の直線偏光の 2 つの直交する向きは、フォトダイオード 3 の回折格子部 6 における複数の溝部 6a の 2 つの直交する配列方向（X 軸方向及び Y 軸方向）に対応するように調整される。

[0043] 続いて、測定光 L がフォトダイオード 3 に入射したときのフォトダイオード 3 の動作について説明する。

[0044] 上述したように、屈折率測定装置 1A では、測定光 L の有する波長において、基準屈折率 n_0 に対して X 軸方向及び Y 軸方向の 2 つの直交する向きの直線偏光の測定光 L に対する量子効率が等しくなるように、格子ピッチ P 及び入射角度 α が設定されている（図 6 参照）。そして、測定光 L が回折格子部 6 における複数の溝部 6a の 2 つの直交する配列方向（X 軸方向及び Y 軸方向）に沿った向きの直線偏光を繰り返すように、光学系 30A を調整する。この状態で回折格子部 6 に測定光 L を照射した場合、測定光 L の直線偏光の向きが周期的に変換されても、フォトダイオード 3 から出力される電気信号は略一定となる。なお、基準屈折率 n_0 としては、特定物質を回折格子部 6 に配置した状態での屈折率 n としてもよく、回折格子部 6 に何も配置していない状態での屈折率 n としてもよい。

[0045] 従って、回折格子部 6 に屈折率 n の被測定物 M を配置すると（すなわち、屈折率 n が基準屈折率 n_0 ではない値とされると）、量子効率の分光特性が変化する。ピーク波長 λ_p のシフト量と屈折率 n との間には所定の関係があり、ピーク値の減少量と屈折率 n との間にも所定の関係がある。これにより、ピーク波長 λ_p のシフト量又はピーク値の減少量を利用して屈折率 n に関する情報を有した電気信号を得ることができる。

[0046] 続いて、フォトダイオード 3 から出力された電気信号の処理及び検出について説明する。図 11 は第 1 実施形態に係る屈折率測定装置の動作を示すタイミングチャートである。

[0047] 測定光のLの偏光状態は、光弾性変調器20において直線偏光から円偏光に変換される。しかしながら、測定光Lが円偏光の状態となるのは光弾性変調器20のリタレーションが $\pm \lambda / 4$ の場合に限られる。これらの過渡期間において測定光Lは楕円偏光等の状態となっている。このため、過渡期間においてフォトダイオード3から出力される電気信号には不要な信号が混ざっており、屈折率の測定精度の悪化の一因となる。

[0048] 図11では、横軸に示される時間のうち、矢印A1によって示される期間内において基準屈折率 n_0 とは異なる屈折率 n を有する被測定物Mが回折格子部6に配置された場合の、屈折率測定装置1Aの動作が示されている。回折格子部6に被測定物Mが配置される前において、サンプル／ホールドされた電気信号は相対的に高い値で一定となっている。一方、被測定物Mが配置された後にサンプル／ホールドされた電気信号においては、光弾性変調器20のリタレーションが $+\lambda / 4$ となるタイミングで発せられるサンプリングパルスに同期してサンプリングされた電気信号の出力は、相対的に高い値で一定に維持されている。また、光弾性変調器20のリタレーションが $-\lambda / 4$ となるタイミングで発せられるサンプリングパルスに同期してサンプリングされた電気信号の出力は、相対的に低い値で一定に維持されている。このように、サンプル／ホールド回路14を設けることによって、電気信号の出力が必要な期間に亘って一定に維持されるため、フォトダイオード3から出力される電気信号に混ざっている不要な信号が除去される。

[0049] フォトダイオード3から出力された電気信号は、上述したように、対数変換回路15に入力されて対数変換された後、サンプル／ホールド回路14に入力しても良い。サンプル／ホールド回路14の出力は、信号検出部16に入力されてロックイン検出される。その後、信号検出部16においてロックイン検出された電気信号に基づき、屈折率算出部17において、屈折率 n と基準屈折率 n_0 との差に応じた量子効率の違いを評価することで被測定物Mの屈折率 n が算出される。

[0050] このような構成とすることで、第1実施形態に係る屈折率測定装置1Aに

は以下のような利点がある。すなわち、光弾性変調器 20 の、測定光 L の光路に対する下流側に下流側 1/4 波長板 22 が配置されているため、光学系 30A の調整時に、寸法及び重量の大きい光弾性変調器 20 を移動させる必要がなく調整の手間が軽減される。また、光弾性変調器 20 のリタレーションが $\pm \lambda/4$ となる状態で電気信号をサンプリングしており、この状態における滞在時間が互いに同等であるため、信号検出部 16 における電気信号の検出を容易に行うことができる。更に、この状態における滞在時間が相対的に長いため、電気信号をサンプリングする時間を相対的に長く確保でき、信号対雑音 (S/N) 比の低下を抑制できる。なお、過渡期間における不要な信号の強度が小さい場合には、サンプル/ホールド回路 14 を取り除くことも可能となる。

[0051] 以上説明したように、第 1 実施形態に係る屈折率測定装置 1A は、半導体のシリコン基板 7 上に形成された埋め込み絶縁層 8 上に半導体層 9, 11, 12 及びゲート絶縁層 13 を備える。また、屈折率測定装置 1A では、複数の溝部 6a が 2 次元格子状に形成された回折格子部 6 をゲート絶縁層 13 上に有するフォトダイオード 3 に対して、光源装置 2 から出射された測定光 L が光学系 30A により導かれて入射する。ここで、光源装置 2 から出射される測定光 L は所定の波長を有する直線偏光の状態であり、光学系 30A に含まれる光弾性変調器 20 によって、フォトダイオード 3 に入射する測定光 L が 2 つの直交する向きの直線偏光となる状態を繰り返すように所定の周波数で変換される。そして、2 つの直交する向きの直線偏光の測定光 L が、複数の溝部 6a が 2 次元格子状に形成された回折格子部 6 に繰り返し入射され、当該測定光 L が各向きの直線偏光となる状態におけるフォトダイオード 3 の各電気信号が検出される。これにより、回折格子部 6 上に被測定物 M が配置されている場合、各電気信号に基づいて被測定物 M の屈折率 n を得ることができる。このような構成により、別体の光検出器を用いることなく屈折率 n を測定できるため、装置構成を簡素化することができる。しかも、フォトダイオード 3 に入射する測定光 L の利用効率が向上することで測定光 L の強度

の検出精度が向上する。また、同一の被測定物Mに対し同一の光源装置2及び光学系30Aから測定光Lを入射し、同一の回折格子部6及びフォトダイオード3によって電気信号に変換することで、電気信号に誤差が生じることが抑制される。更に、信号検出部16において電気信号をロックイン検出することで信号対雑音（S/N）比が向上する。その結果、被測定物Mの屈折率 n の測定精度を向上できる。

[0052] また、屈折率測定装置1Aは、ロックイン検出した電気信号に基づき屈折率 n を算出する屈折率算出部17を更に備えているため、上記作用効果を好適に実現することができる。

[0053] また、回折格子部6は、所定の基準屈折率 n_0 に対して2つの直交する向きの直線偏光の光に対する電気信号が等しくなるように、2次元格子状に形成された複数の溝部6aの格子ピッチP、及び、測定光Lの回折格子部6に対する入射角度 α が設定され、信号検出部16は、測定光Lが2次元格子状に形成された複数の溝部6aの2つの直交する配列方向（X軸方向及びY軸方向）に沿った向きの直線偏光となる時刻において、電気信号をロックイン検出する。これにより、基準屈折率 n_0 においてロックイン検出された出力がゼロとなるため、ロックイン検出の増幅率を高めることができる。よって、基準屈折率 n_0 からの屈折率変化に対応した電気信号の強度が増大し、屈折率 n の測定精度を向上できる。

[0054] また、光学系30Aは、光弾性変調器20とフォトダイオード3との間の下流側1/4波長板22を備えているため、後述する他の実施形態を含めた光学系の多様な構成に対応できる。

[0055] また、屈折率測定装置1Aは、フォトダイオード3の後段に、電気信号を対数変換する対数変換回路15を更に備えている。それぞれ対数変換された各電気信号の差を評価することは、各電気信号の比を対数変換したものを評価することに相当する。このため、対数変換回路15を備えることで、光源装置2からの測定光Lの強度の変動に影響を受け難い。従って、対数変換された各電気信号の差を評価することにより屈折率 n の測定精度を向上できる。

。

[0056] また、回折格子部 6 は、信号検出部 16 の前段に、2 次元格子状に形成された複数の溝部 6a の 2 つの直交する配列方向（X 軸方向及び Y 軸方向）に沿った向きの直線偏光となる各時刻における電気信号をサンプル／ホールドするサンプル／ホールド回路 14 を更に備えている。このため、光弾性変調器 20 によって光の偏光状態が変調される際の過渡期間において生じる電気信号の変動を除去できるため、屈折率 n の測定精度を向上できる。

[0057] ここで、屈折率測定装置 1A は、バイオテクノロジーの分野においても有用であることを以下に説明する。従来、生化学物質の検出方法として、酵素による発色又は蛍光を検出する手法と、屈折率を測定する手法とが知られている。酵素による発色又は蛍光を検出する手法としては、例えば、酵素免疫吸着測定法（ELISA： Enzyme-Linked Immunosorbent Assay）及び化学発光酵素免疫測定法（CLEIA： Chemiluminescent Enzyme Immunoassay）が挙げられる。一方、屈折率を測定する手法としては、屈折率測定装置 1A にも用いられている表面プラズモン共鳴（SPR： Surface Plasmon Resonance）が挙げられる。

[0058] これらの手法について、例えば、Sandeep Kumar Vashist, et al. “Comparative study of the developed chemiluminescent, ELISA and SPR immunoassay formats for the highly sensitive detection of human albumin”, *Procedia Chemistry*, 2012, No. 6, p. 184–193 には、腎臓、肝臓等の疾患及び炎症のマーカーとなるヒトアルブミンの検出に関して以下の内容が記載されている。すなわち、ヒトアルブミンの検出感度は CLEIA、ELISA、SPR の順に高いものの、SPR によれば、迅速に実時間の測定が可能であること、抗体に対して酵素や蛍光物質で標識付けする必要がないこと、及び、分子間相互作用に関する反応速度（kinetics）、親和性（affinity）等の解析が可能であることが記載されている。

[0059] また、例えば、S. R. Edupuganti, et al. “Biological and synthetic binders for immunoassay and sensor-based detection: g

eneration and characterization of an anti-AFB₂ single-chain variable fragment (scFv) ”, World Mycotoxin Journal, August 2013, No.6 (3), p. 273-280には、食品等に含まれるアフラトキシン (aflatoxin: カビ毒) の検出に関して以下の内容が記載されている。すなわち、アフラトキシンの検出感度は、ELISAに比較してSPRの方が10倍高いことが記載されている。この結果は、アフラトキシンのように効率よく標識付けすることができない分子の検出においては、ELISAに比較してSPRの方が高感度になり得ることを示していると考えられる。

[0060] 以上のように、検出対象となる分子に効率良く標識付けすることができない場合、或いは、標識付けすることによって検出対象となる分子の性質が変化してしまう場合においても適用可能な屈折率測定装置が、バイオテクノロジーの分野において求められている。

[0061] ここで、本実施形態に係る屈折率測定装置 1 A は、検出対象となる分子に標識付けする必要がないため、上述した場合においても適用可能である。従って、屈折率測定装置 1 A は、バイオテクノロジーの分野においても高い有用性を備えている。

[0062] [第 2 実施形態]

図 1 2 は第 2 実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図、図 1 3 は第 2 実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変化を示す図である。第 2 実施形態に係る屈折率測定装置 1 B が第 1 実施形態に係る屈折率測定装置 1 A と相違する点は、構成の異なる光学系 3 0 B を備えている点である。

[0063] すなわち、光学系 3 0 B は、図 1 2 に示されるように、上流側 1 / 4 波長板 (1 / 4 波長板) 2 1 と、光弾性変調器 2 0 と、を備えている。光源装置 2 から出射された測定光 L は、上流側 1 / 4 波長板 (1 / 4 波長板) 2 1、光弾性変調器 2 0 の光弾性変調素子 1 8 の順に通過してフォトダイオード 3 へ入射する。

[0064] 上流側 1 / 4 波長板 2 1 は、下流側 1 / 4 波長板 2 2 と同様に、1 / 4 波

長板からなる。上流側 $1/4$ 波長板 21 は、通過する測定光 L の偏光方向に応じて $\lambda/4$ の位相差を生じさせ、例えば直線偏光と円偏光との間の相互変換等を行うことができる。

[0065] 図 13 に示されるように、屈折率測定装置 1B では、光源装置 2 から出射された直線偏光の測定光 L は、当該測定光 L が上流側 $1/4$ 波長板 21 を通過する際に円偏光に変換される。このとき、円偏光の回転方向は上流側 $1/4$ 波長板 21 の回転角により設定される。続いて、円偏光に変換された測定光 L は、光弾性変調器 20 を通過する際に直線偏光に変換される。具体的には、光弾性変調器 20 の最大リタデーションは $\lambda/4$ に設定されている。円偏光に変換された測定光 L は、光弾性変調器 20 のリタデーションが $\pm \lambda/4$ のときに、光弾性変調器 20 の進相軸及び遅相軸に対してそれぞれ ± 45 度ずれた向きの直線偏光となる。

[0066] 以上により、光源装置 2 から出射された測定光 L は、光学系 30B を通過することで 2 つの直交する向きの直線偏光となる状態を、交流電源 19 における電圧変動の周波数に連動して繰り返すように変換されることとなる。このとき、光学系 30B を通過した測定光 L の直線偏光の 2 つの直交する向きは、フォトダイオード 3 の回折格子部 6 における複数の溝部 6a の 2 つの直交する配列方向（X 軸方向及び Y 軸方向）に対応するように調整される。

[0067] このような構成とすることで、第 2 実施形態に係る屈折率測定装置 1B には以下のような利点がある。すなわち、光弾性変調器 20 のリタデーションが $\pm \lambda/4$ となる状態で電気信号をサンプリングしており、この状態における滞在時間が互いに同等であるため、信号検出部 16 における電気信号の検出を容易に行うことができる。また、この状態における滞在時間が相対的に長いため、電気信号をサンプリングする時間を相対的に長く確保でき、信号対雑音（S/N）比の低下を抑制できる。なお、過渡期間における不要な信号の強度が小さい場合には、サンプル／ホールド回路 14 を取り除くことも可能となる。

[0068] [第 3 実施形態]

図 1 4 は第 3 実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図、図 1 5 は第 3 実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変化を示す図である。第 3 実施形態に係る屈折率測定装置 1 C が第 1 実施形態に係る屈折率測定装置 1 A と相違する点は、構成の異なる光学系 3 0 C を備えている点である。

[0069] すなわち、光学系 3 0 C は、図 1 4 に示されるように、上流側 1 / 4 波長板（1 / 4 波長板）2 1 と、光弾性変調器 2 0 と、を備えている。光源装置 2 から出射された測定光 L は、上流側 1 / 4 波長板（1 / 4 波長板）2 1、光弾性変調器 2 0 の光弾性変調素子 1 8 の順に通過してフォトダイオード 3 へ入射する。

[0070] 図 1 5 に示されるように、屈折率測定装置 1 C では、光源装置 2 から出射された直線偏光の測定光 L は、当該測定光 L が上流側 1 / 4 波長板 2 1 を通過する際に円偏光に変換される。このとき、円偏光の回転方向は上流側 1 / 4 波長板 2 1 の回転角により設定される。続いて、円偏光に変換された測定光 L は、光弾性変調器 2 0 を通過する際に直線偏光に変換される。具体的には、光弾性変調器 2 0 の最大リタデーションは $\lambda / 2$ に設定されている。円偏光に変換された測定光 L は、光弾性変調器 2 0 のリタデーションが過渡的に $\pm \lambda / 4$ の状態となるとときに、光弾性変調器 2 0 の進相軸及び遅相軸に対してそれぞれ ± 45 度ずれた向きの直線偏光となる。

[0071] 以上により、光源装置 2 から出射された測定光 L は、光学系 3 0 C を通過することで 2 つの直交する向きの直線偏光となる状態を、交流電源 1 9 における電圧変動の周波数に連動して繰り返すように変換されることとなる。このとき、光学系 3 0 C を通過した測定光 L の直線偏光の 2 つの直交する向きは、フォトダイオード 3 の回折格子部 6 における複数の溝部 6 a の 2 つの直交する配列方向（X 軸方向及び Y 軸方向）に対応するように調整される。

[0072] このような構成とすることで、第 3 実施形態に係る屈折率測定装置 1 C には以下のような利点がある。すなわち、光弾性変調器 2 0 のリタデーションが $\pm \lambda / 4$ となる状態で電気信号をサンプリングしており、この状態におけ

る滞在時間が互いに同等であるため、信号検出部 16 における電気信号の検出を容易に行うことができる。

[0073] [第 4 実施形態]

図 16 は第 4 実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図、図 17 は第 4 実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変化を示す図である。第 4 実施形態に係る屈折率測定装置 1D が第 1 実施形態に係る屈折率測定装置 1A と相違する点は、構成の異なる光学系 30D を備えている点である。

[0074] すなわち、光学系 30D は、図 16 に示されるように、光弾性変調器 20 と、下流側 1/4 波長板（1/4 波長板）22 と、を備えている。光源装置 2 から出射された測定光 L は、光弾性変調器 20 の光弾性変調素子 18、下流側 1/4 波長板 22 の順に通過してフォトダイオード 3 へ入射する。

[0075] 図 17 に示されるように、屈折率測定装置 1D では、光源装置 2 から出射された測定光 L は、光弾性変調器 20 の進相軸及び遅相軸に対してそれぞれ 45 度ずれた向きの直線偏光である。当該測定光 L は、光弾性変調器 20 を通過する際に円偏光に変換される。光弾性変調器 20 の最大リタデーションは $\lambda/2$ に設定されている。円偏光に変換された測定光 L は、光弾性変調器 20 のリタデーションが $\pm \lambda/4$ のときに互いに反対回りの円偏光となる。続いて、円偏光に変換された測定光 L は、下流側 1/4 波長板 22 を通過する際に直線偏光に変換される。具体的には、測定光 L は、光弾性変調器 20 のリタデーションが $\pm \lambda/4$ のときの互いに反対回りの円偏光の状態の下流側 1/4 波長板 22 を通過すると、フォトダイオード 3 の複数の溝部 6a の配列方向である X 軸方向及び Y 軸方向に沿った向きの直線偏光となる。

[0076] 以上により、光源装置 2 から出射された測定光 L は、光学系 30D を通過することで 2 つの直交する向きの直線偏光となる状態を、交流電源 19 における電圧変動の周波数に連動して繰り返すように変換されることとなる。このとき、光学系 30D を通過した測定光 L の直線偏光の 2 つの直交する向きは、フォトダイオード 3 の回折格子部 6 における複数の溝部 6a の 2 つの直

交する配列方向（X軸方向及びY軸方向）に対応するように調整される。

[0077] このような構成とすることで、第4実施形態に係る屈折率測定装置1Dには以下のような利点がある。すなわち、光弾性変調器20の、測定光Lの光路に対する下流側に下流側1／4波長板22が配置されているため、光学系30Dの調整時に、寸法及び重量の大きい光弾性変調器20を移動させる必要がなく調整の手間が軽減される。また、光弾性変調器20のリタレーションが $\pm \lambda / 4$ となる状態で電気信号をサンプリングしており、この状態における滞在時間が互いに同等であるため、信号検出部16における電気信号の検出を容易に行うことができる。

[0078] [第5実施形態]

図18は第5実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図、図19は第5実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変化を示す図である。第5実施形態に係る屈折率測定装置1Eが第1実施形態に係る屈折率測定装置1Aと相違する点は、構成の異なる光学系30Eを備えている点である。

[0079] すなわち、光学系30Eは、図18に示されるように、上流側1／4波長板（1／4波長板）21と、光弾性変調器20と、下流側1／4波長板（1／4波長板）22と、を備えている。光源装置2から出射された測定光Lは、上流側1／4波長板（1／4波長板）21、光弾性変調器20の光弾性変調素子18、下流側1／4波長板22の順に通過してフォトダイオード3へ入射する。

[0080] 図19に示されるように、屈折率測定装置1Eでは、光源装置2から出射された直線偏光の測定光Lは、当該測定光Lが上流側1／4波長板21を通過する際に円偏光に変換される。このとき、円偏光の回転方向は上流側1／4波長板21の回転角により設定することもできる。続いて、円偏光に変換された測定光Lは、光弾性変調器20を通過する際に状態の異なる円偏光に変換される。具体的には、光弾性変調器20の最大リタレーションは $\lambda / 2$ に設定されている。円偏光に変換された測定光Lは、光弾性変調器20のり

タレーションが0、又は $\pm \lambda / 2$ のときに互いに反対回りの円偏光の状態となる。続いて、光弾性変調器20を通過した測定光Lは、下流側1/4波長板22を通過する際に直線偏光に変換される。具体的には、測定光Lは、互いに反対回りの円偏光の状態の下流側1/4波長板22を通過すると、フォトダイオード3の複数の溝部6aの配列方向であるX軸方向及びY軸方向に沿った向きの直線偏光となる。

[0081] 以上により、光源装置2から出射された測定光Lは、光学系30Eを通過することで2つの直交する向きの直線偏光となる状態を、交流電源19における電圧変動の周波数の2倍に連動して繰り返すように変換されることとなる。このとき、光学系30Eを通過した測定光Lの直線偏光の2つの直交する向きは、フォトダイオード3の回折格子部6における複数の溝部6aの2つの直交する配列方向（X軸方向及びY軸方向）に対応するように調整される。電気信号は、光弾性変調器20のリタレーションが0及び $\pm \lambda / 2$ となる状態でサンプリングする必要がある。

[0082] このような構成とすることで、第5実施形態に係る屈折率測定装置1Eには以下のような利点がある。すなわち、光弾性変調器20の、測定光Lの光路に対する下流側に下流側1/4波長板22が配置されているため、光学系30Eの調整時に、寸法及び重量の大きい光弾性変調器20を移動させる必要がなく調整の手間が軽減される。同様に、光源装置2の下流側であって光弾性変調器20の上流側に上流側1/4波長板21が配置されているため、光学系30Eの調整時に、光源装置2を移動させる必要がなく調整の手間が軽減される。

[0083] [第6実施形態]

図20は第6実施形態に係る屈折率測定装置を示す概略構成図、図21は第6実施形態における光弾性変調器による変換後の偏光状態の時間変化を示す図である。第6実施形態に係る屈折率測定装置1Fが第1実施形態に係る屈折率測定装置1Aと相違する点は、構成の異なる光学系30Fを備えている点である。

- [0084] すなわち、光学系 30F は、図 20 に示されるように、光弾性変調器 20 を備えている。光源装置 2 から出射された測定光 L は、光弾性変調器 20 の光弾性変調素子 18 を通過してフォトダイオード 3 へ入射する。
- [0085] 図 21 に示されるように、屈折率測定装置 1F では、光源装置 2 から出射された測定光 L は、光弾性変調器 20 の進相軸及び遅相軸に対してそれぞれ 45 度ずれた向きの直線偏光である。当該測定光 L は、光弾性変調器 20 を通過する際に周期的に向きが変化する直線偏光に変換される。具体的には、光弾性変調器 20 の最大リタデーションは $\lambda/2$ に設定されている。測定光 L は、光弾性変調器 20 のリタデーションがそれぞれ 0、又は $\pm\lambda/2$ のときに、光弾性変調器 20 の進相軸及び遅相軸に対してそれぞれ ± 45 度ずれた向きの直線偏光となる。
- [0086] 以上により、光源装置 2 から出射された測定光 L は、光学系 30F を通過することで 2 つの直交する向きの直線偏光となる状態を、交流電源 19 における電圧変動の周波数の 2 倍に連動して繰り返すように変換されることとなる。このとき、光学系 30F を通過した測定光 L の直線偏光の 2 つの直交する向きは、フォトダイオード 3 の回折格子部 6 における複数の溝部 6a の 2 つの直交する配列方向（X 軸方向及び Y 軸方向）に対応するように調整される。電気信号は、光弾性変調器 20 のリタデーションが 0 及び $\pm\lambda/2$ となる状態でサンプリングする必要がある。
- [0087] このような構成とすることで、第 6 実施形態に係る屈折率測定装置 1F には以下のような利点がある。すなわち、光弾性変調器 20 のみで直線偏光の向きを調整可能であるため、光学系 30F の構成を簡素化することができる。
- [0088] なお、本発明に係る屈折率測定装置は、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、上記実施形態では、フォトダイオード 3 に半導体のシリコン基板 7 を用いているが、金属から成る基板を用いてもよい。
- [0089] また、回折格子部 6 に形成された複数の溝部 6a は、ゲート絶縁層 13 の表面まで貫通していなくてもよく、またゲート絶縁層 13 の内部まで掘り込

まれていてもよい。

[0090] また、複数の溝部 6 a は、2 次的に形成されていれば、あらゆる形状を採用できる。すなわち、複数の溝部 6 a は、必ずしも 2 次元格子状に形成されていなくてもよく、また必ずしも 2 次的に形成された前記溝部の 2 つの配列方向が互いに直交していなくてもよい。例えば、複数の溝部 6 a の配列は、長方格子状、六方格子状、斜方格子状、面心長方格子状、又は三角格子状等であってもよい。

[0091] ここで、屈折率測定装置は、ロックイン検出した電気信号に基づき屈折率を算出する屈折率算出部を更に備えてもよい。この場合、上記作用効果を好適に実現することができる。

[0092] また、回折格子部は、溝部が 2 次元格子状に形成され、所定の光源の波長及び所定の基準屈折率に対して 2 つの直交する向きの直線偏光の光に対する電気信号が等しくなるように、溝部の周期、及び、光の回折格子部に対する入射角度が設定され、信号検出部は、光が 2 次元格子状に形成された溝部の 2 つの直交する配列方向に沿った向きの直線偏光となる時刻において、電気信号をロックイン検出してもよい。この場合、基準屈折率においてロックイン検出された出力がゼロとなるため、ロックイン検出の増幅率を高めることができる。よって、基準屈折率からの屈折率変化に対応した電気信号の強度が増大し、屈折率の測定精度を向上できる。

[0093] また、光学系は、光源と光弾性変調器との間、及び、光弾性変調器とフォトダイオードとの間の少なくとも一方に $1/4$ 波長板を備えてもよい。この場合、 $1/4$ 波長板と光弾性変調器との組み合わせを変更することで、光学系の多様な構成に対応できる。

[0094] また、屈折率測定装置は、信号検出部の前段に、電気信号を対数変換する対数変換回路を更に備えてもよい。それぞれ対数変換された各電気信号の差を評価することは、各電気信号の比を対数変換したものを評価することに相当する。このため、上記構成を採用した場合、光源からの光の強度の変動に影響を受け難い。従って、対数変換された各電気信号の差を評価することに

より屈折率の測定精度を向上できる。

[0095] また、回折格子部は、２次元的に形成された溝部の２つの配列方向が互いに直交し、信号検出部の前段に、配列方向に沿った向きの直線偏光となる各時刻における電気信号をサンプル／ホールドするサンプル／ホールド回路を更に備えてもよい。この場合、光弾性変調器によって光の偏光状態が変調される際の過渡期間において生じる電気信号の変動を除去できるため、屈折率の測定精度を向上できる。

符号の説明

[0096] １Ａ～１Ｆ…屈折率測定装置、２…光源装置（光源）、３…フォトダイオード、６…回折格子部、６ａ…溝部、７…シリコン基板（基板）、８…埋め込み絶縁層、９，１１，１２…半導体層、１３…ゲート絶縁層、１６…信号検出部、２０…光弾性変調器、３０Ａ～３０Ｆ…光学系、Ｌ…測定光（光）。

請求の範囲

[請求項1]

半導体又は金属から成る基板、
前記基板上に形成された埋め込み絶縁層、
前記埋め込み絶縁層上の所定領域に沿って並んで形成された p 型半導体層及び n 型半導体層を含む半導体層、
前記半導体層上に形成されたゲート絶縁層、及び、
前記ゲート絶縁層上に配置され、平面状の導電部材に溝部が 2 次元的に形成された回折格子部、
を有するフォトダイオードと、
所定の波長を有する直線偏光の光を出射する光源と、
光弾性変調器を含み、前記光を、2つの直交する向きの直線偏光となる状態を所定の周波数で繰り返すように変換し、当該変換された光を前記フォトダイオードへ導く光学系と、
前記光が前記光学系を介して前記フォトダイオードへ入射したことに応じて前記フォトダイオードから出力される電気信号を、前記光が2つの直交する向きの直線偏光となる各時刻において前記所定の周波数でロックイン検出する信号検出部と、
を備える屈折率測定装置。

[請求項2]

前記ロックイン検出した前記電気信号に基づき屈折率を算出する屈折率算出部を更に備える請求項 1 に記載の屈折率測定装置。

[請求項3]

前記回折格子部は、前記溝部が 2 次元格子状に形成され、所定の光源の波長及び所定の基準屈折率に対して前記 2 つの直交する向きの直線偏光の前記光に対する前記電気信号が等しくなるように、前記溝部の周期、及び、前記光の前記回折格子部に対する入射角度が設定され、
前記信号検出部は、前記光が前記 2 次元格子状に形成された前記溝部の 2 つの直交する配列方向に沿った向きの直線偏光となる時刻において、前記電気信号をロックイン検出する請求項 1 又は 2 に記載の屈

折率測定装置。

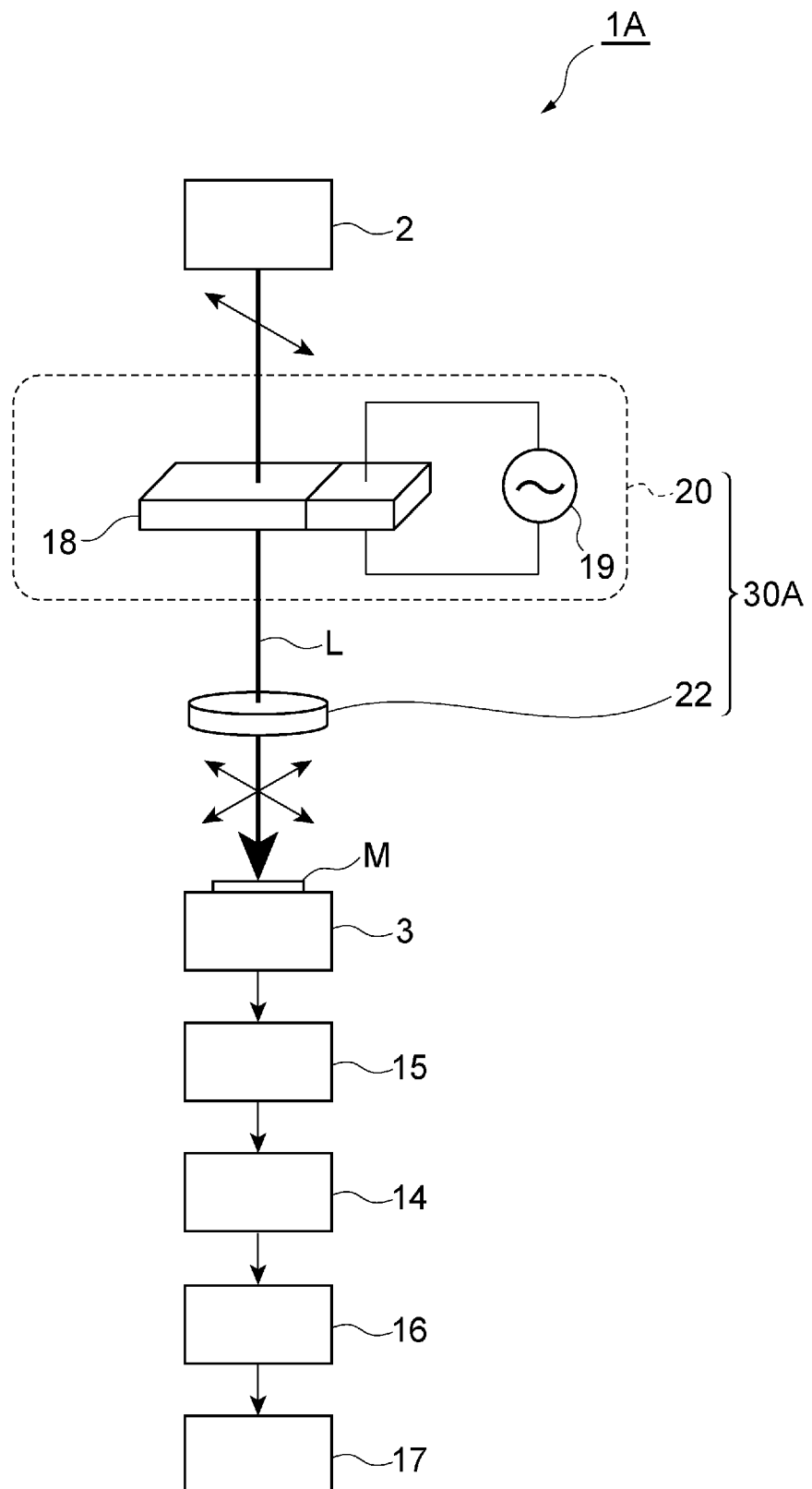
[請求項4] 前記光学系は、前記光源と前記光弾性変調器との間、及び、前記光弾性変調器と前記フォトダイオードとの間の少なくとも一方に $1/4$ 波長板を備える請求項 1 ～ 3 の何れか一項に記載の屈折率測定装置。

[請求項5] 前記フォトダイオードの後段に、前記電気信号を対数変換する対数変換回路を更に備える請求項 1 ～ 4 の何れか一項に記載の屈折率測定装置。

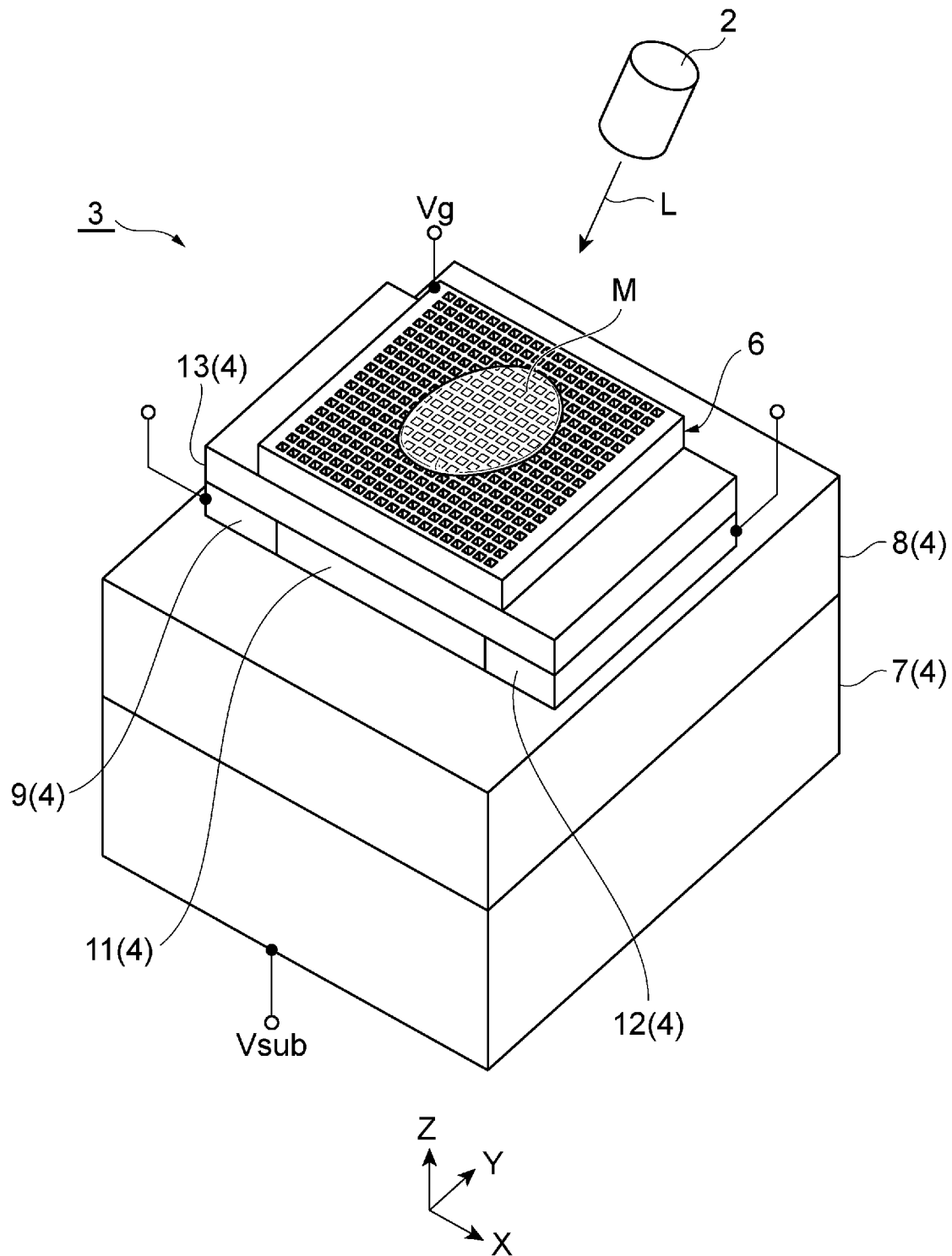
[請求項6] 前記回折格子部は、2次元的に形成された前記溝部の2つの配列方向が互いに直交し、

前記信号検出部の前段に、前記配列方向に沿った向きの直線偏光となる各時刻における前記電気信号をサンプル／ホールドするサンプル／ホールド回路を更に備える請求項 1 ～ 5 の何れか一項に記載の屈折率測定装置。

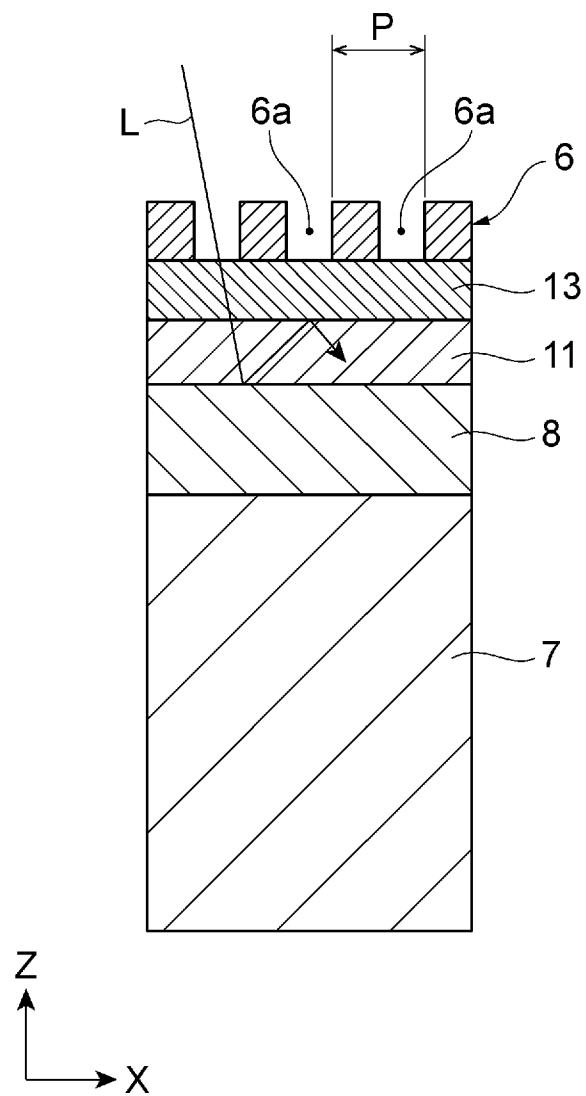
[図1]



[図2]

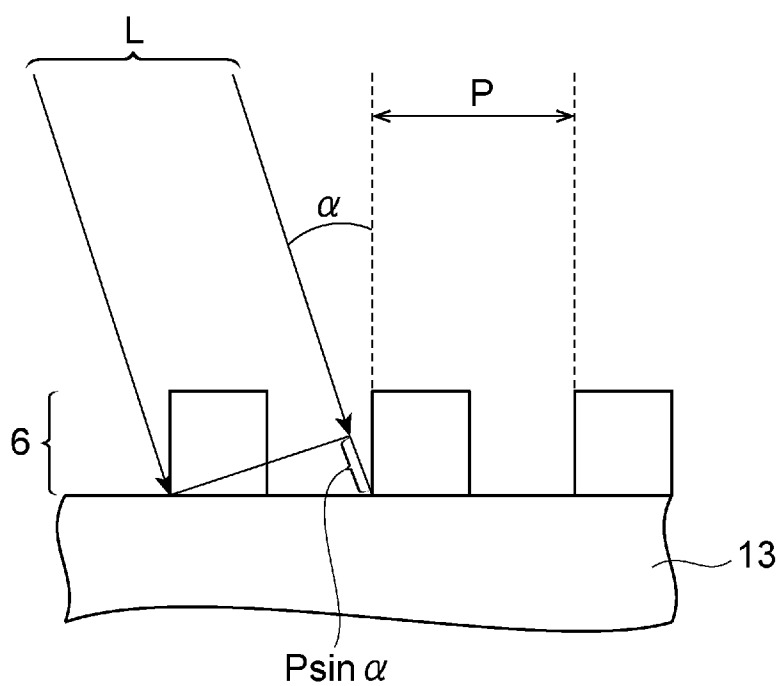


[図3]

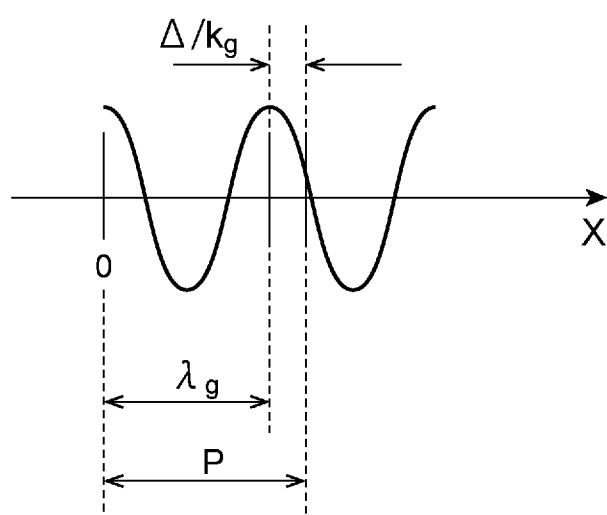


[図4]

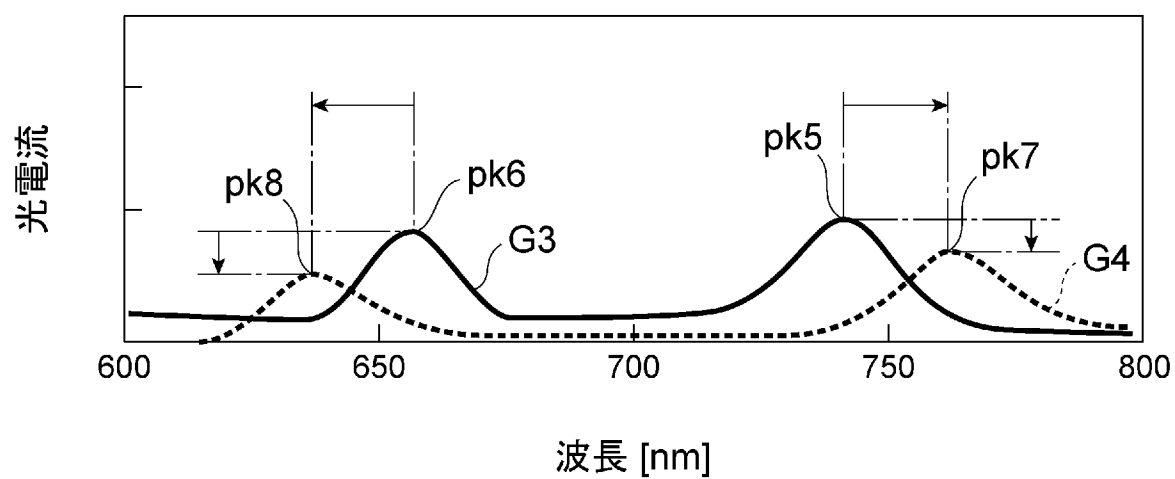
(a)



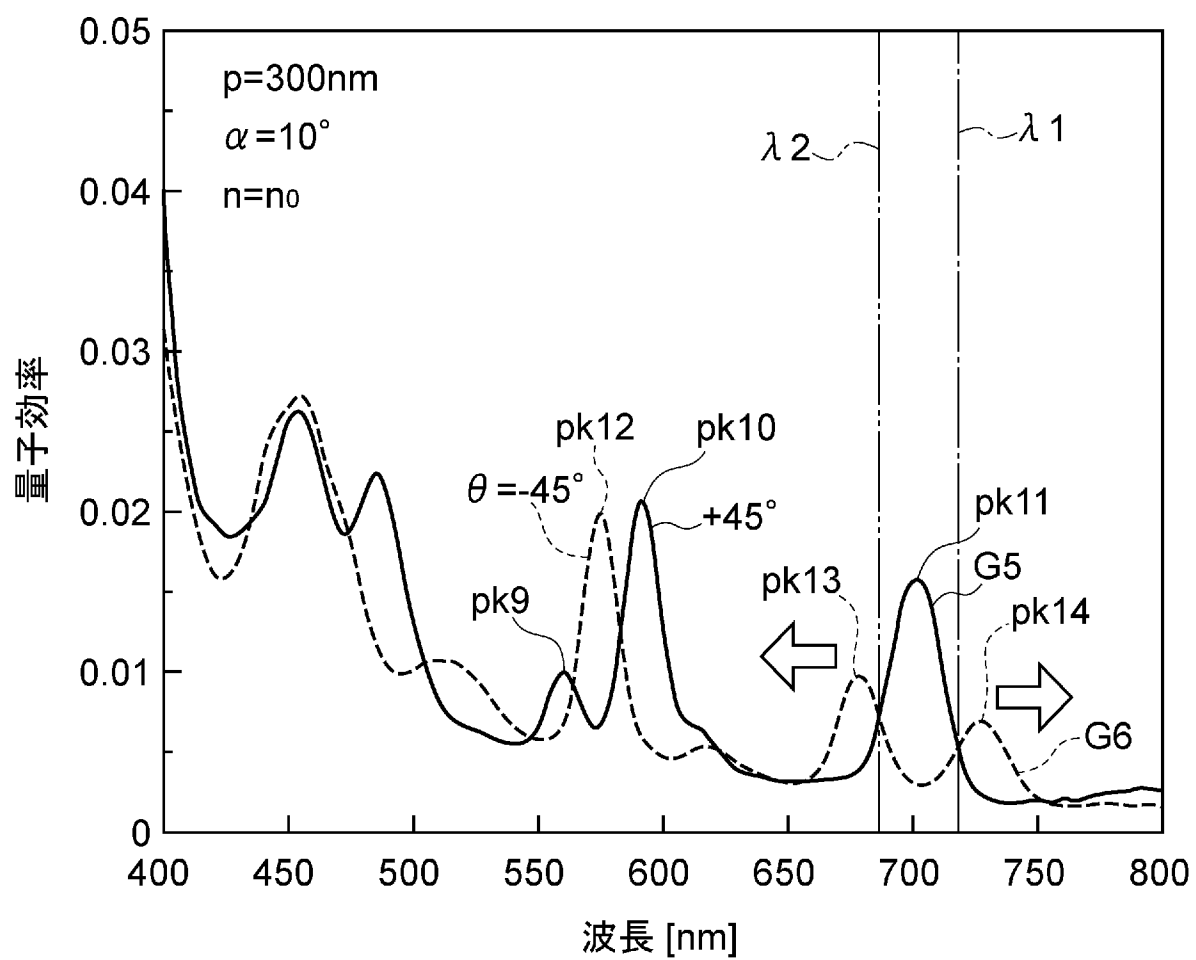
(b)



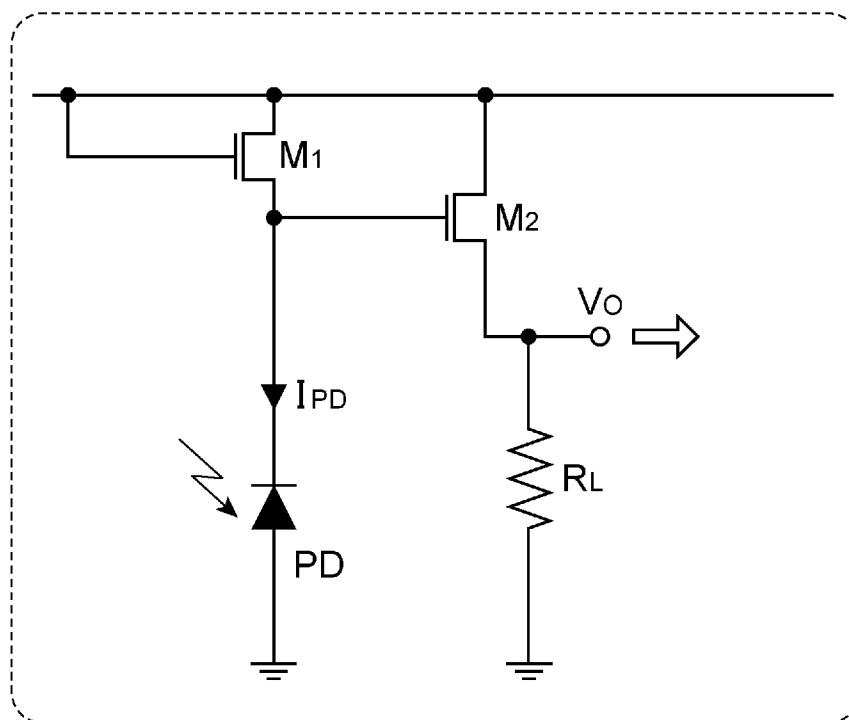
(a)



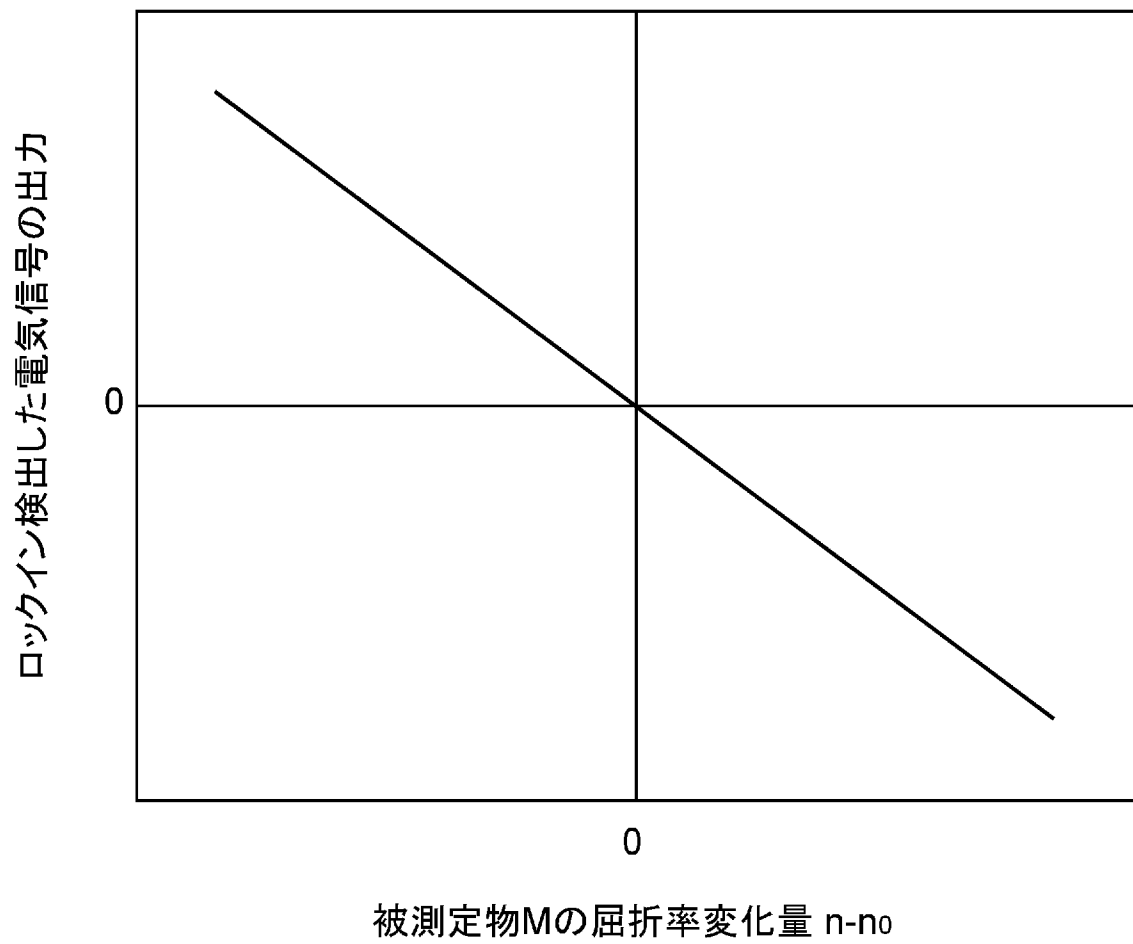
[図6]



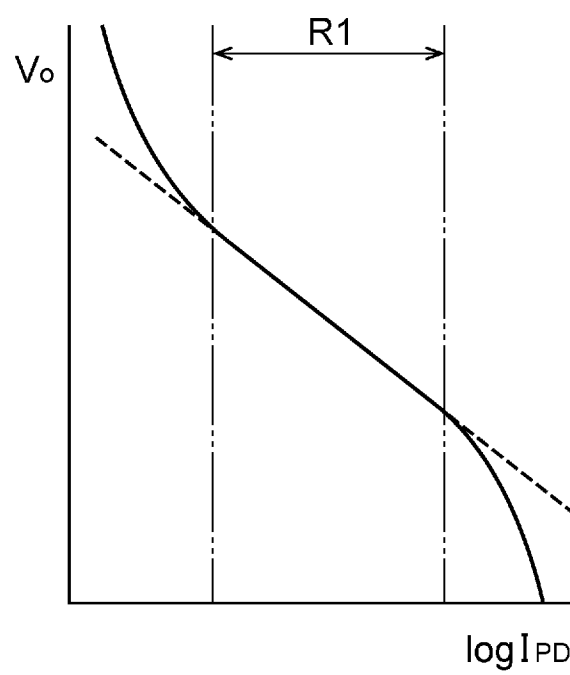
[図7]



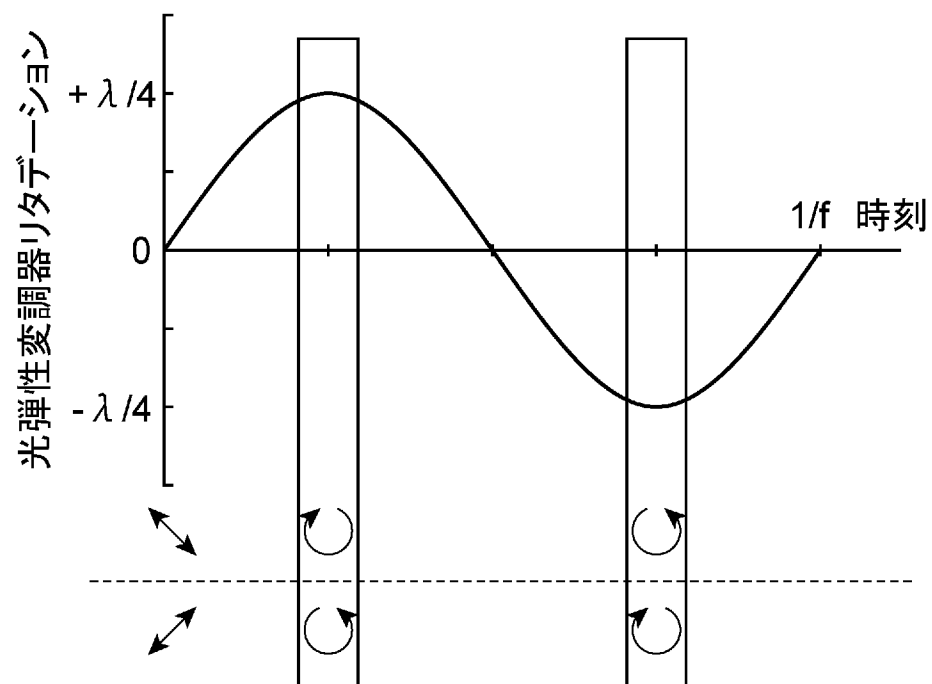
[図8]



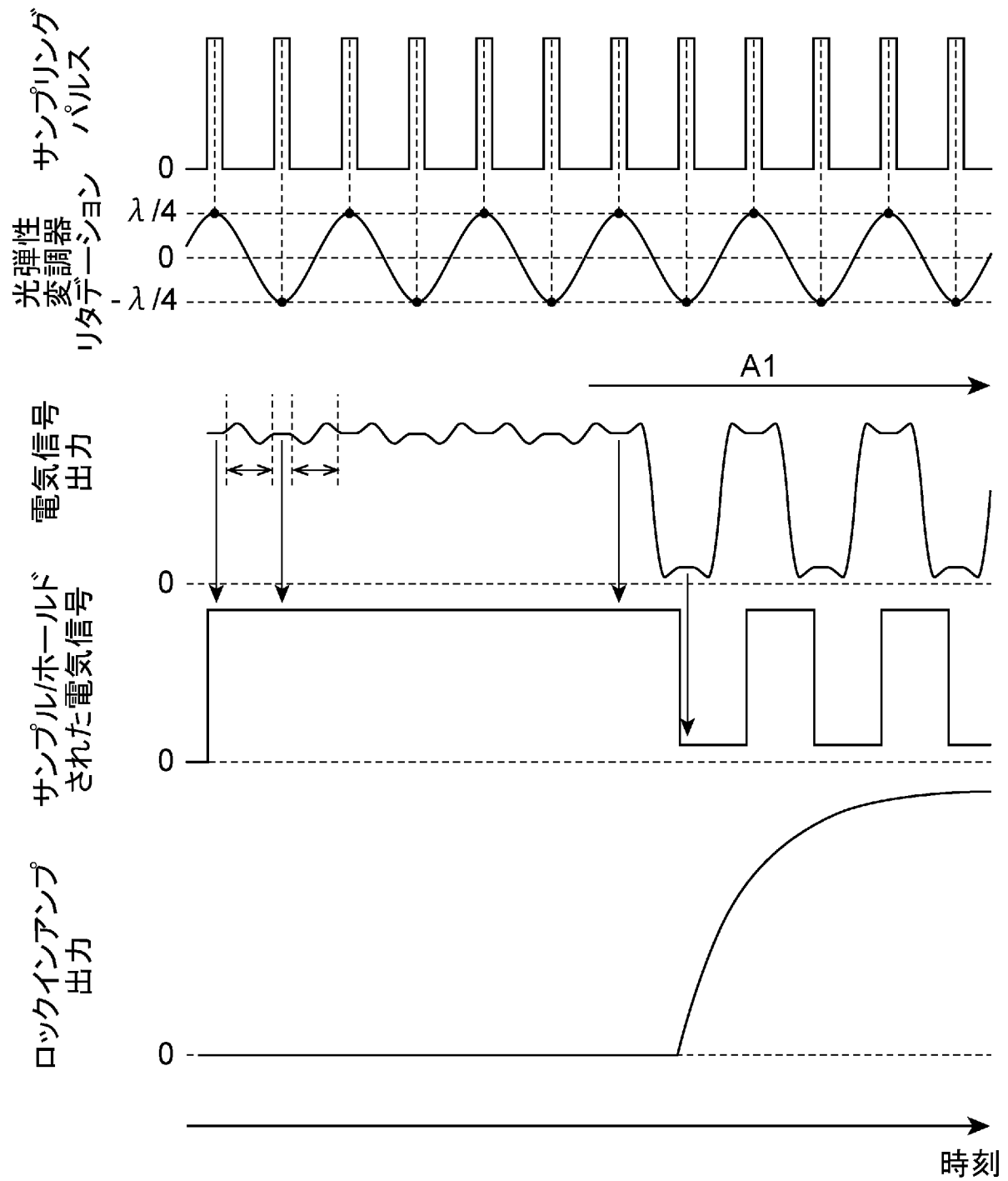
[図9]



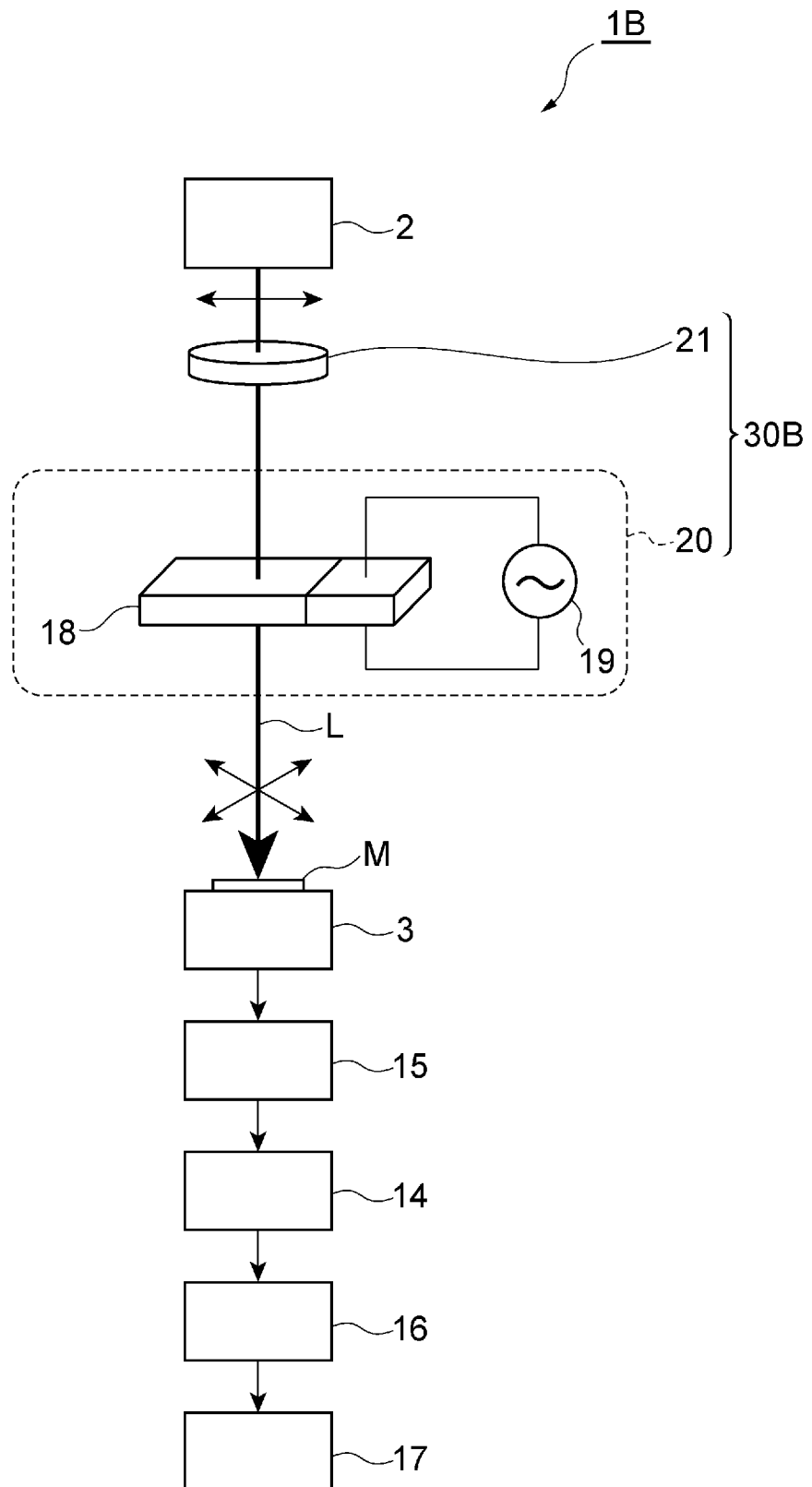
[図10]



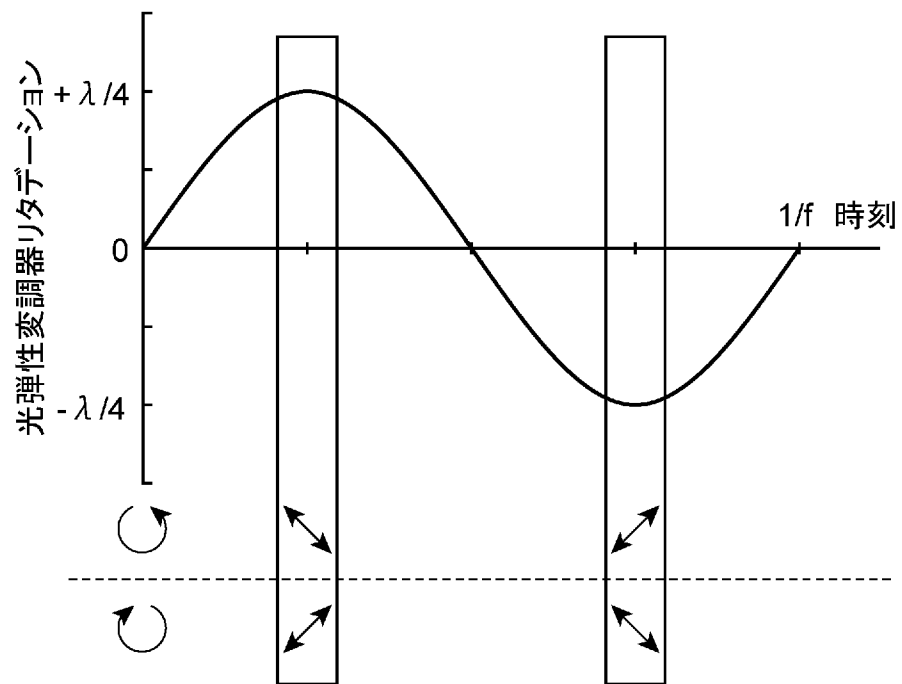
[図11]



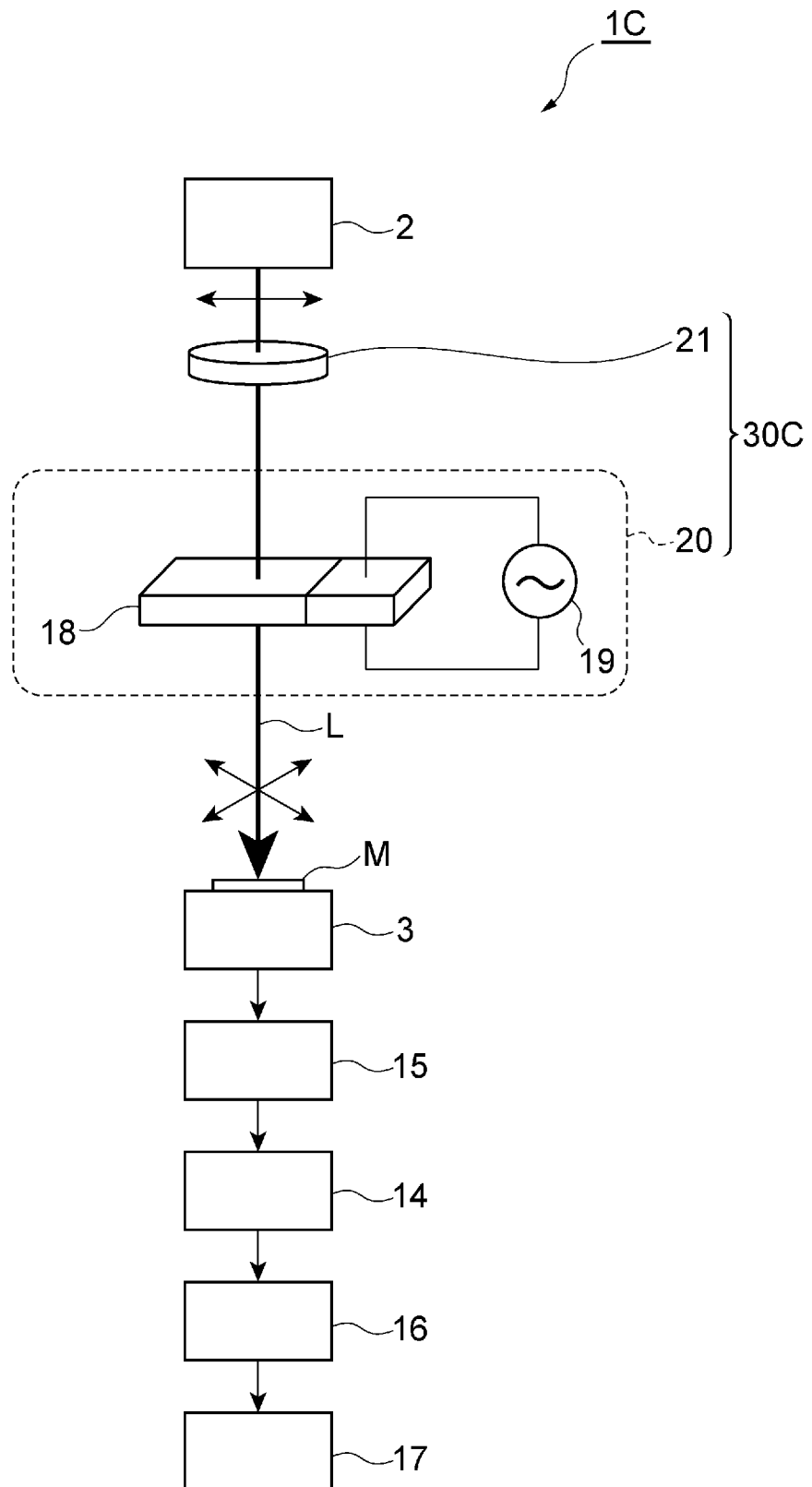
[図12]



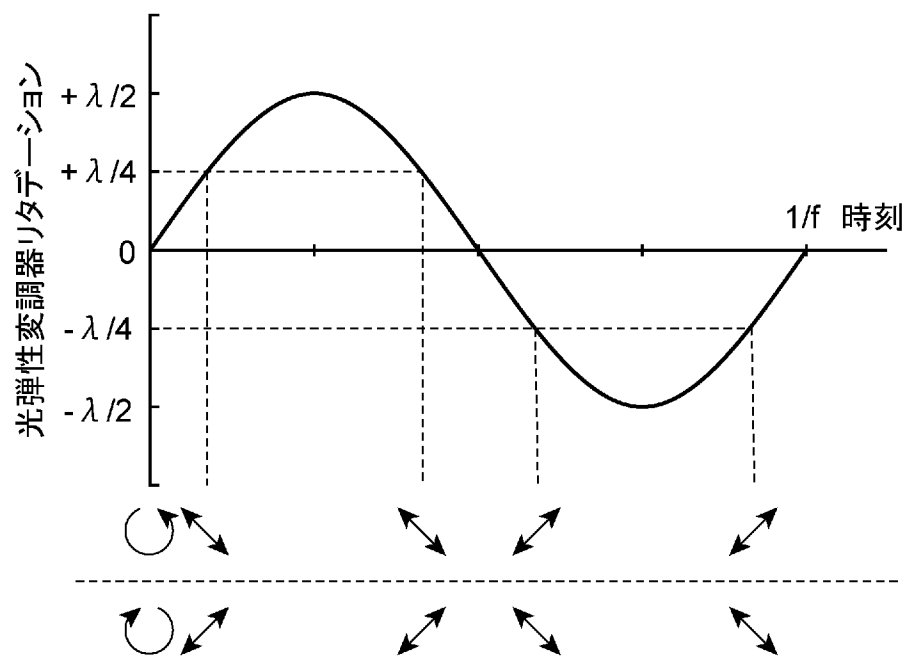
[図13]



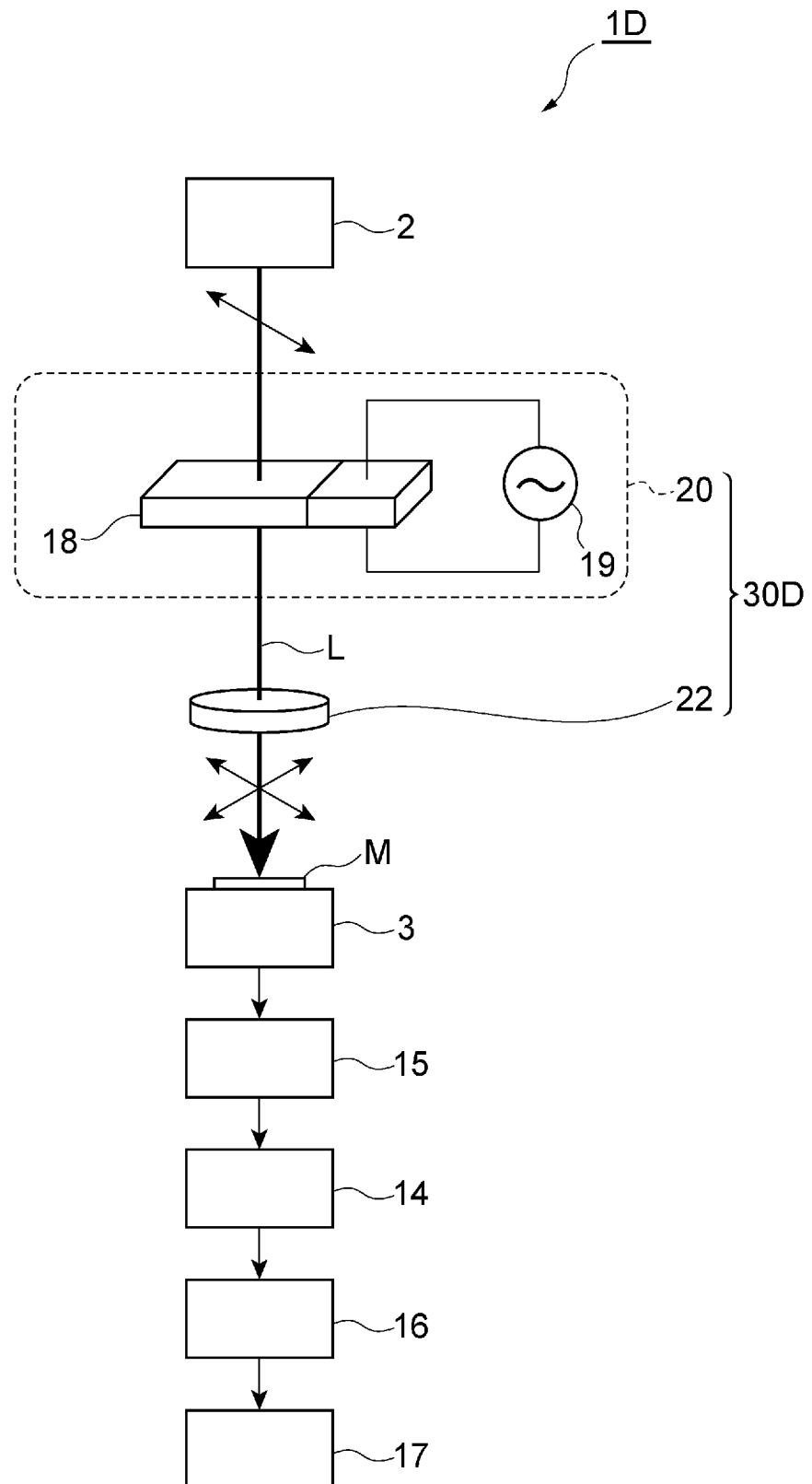
[図14]



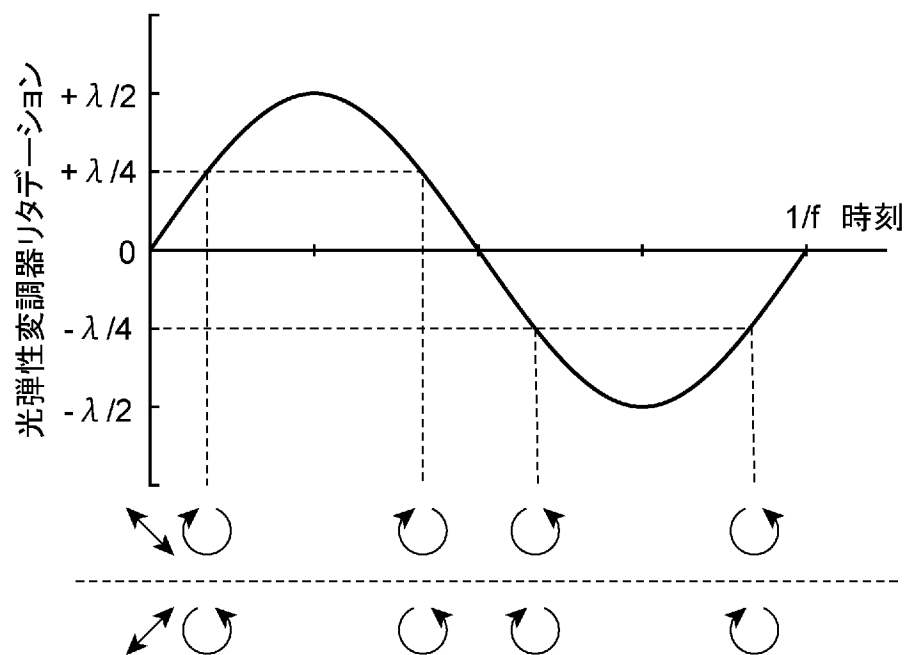
[図15]



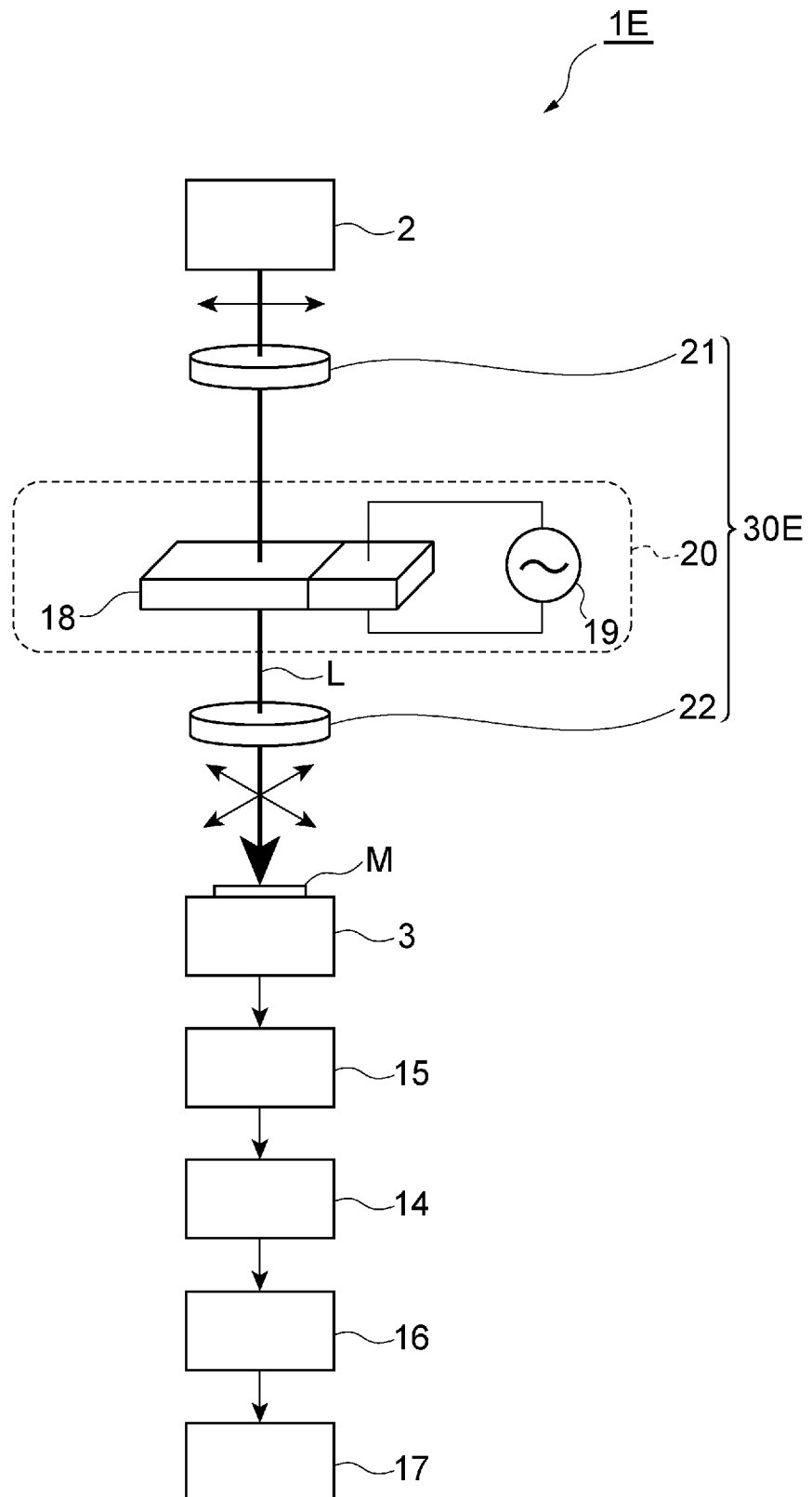
[図16]



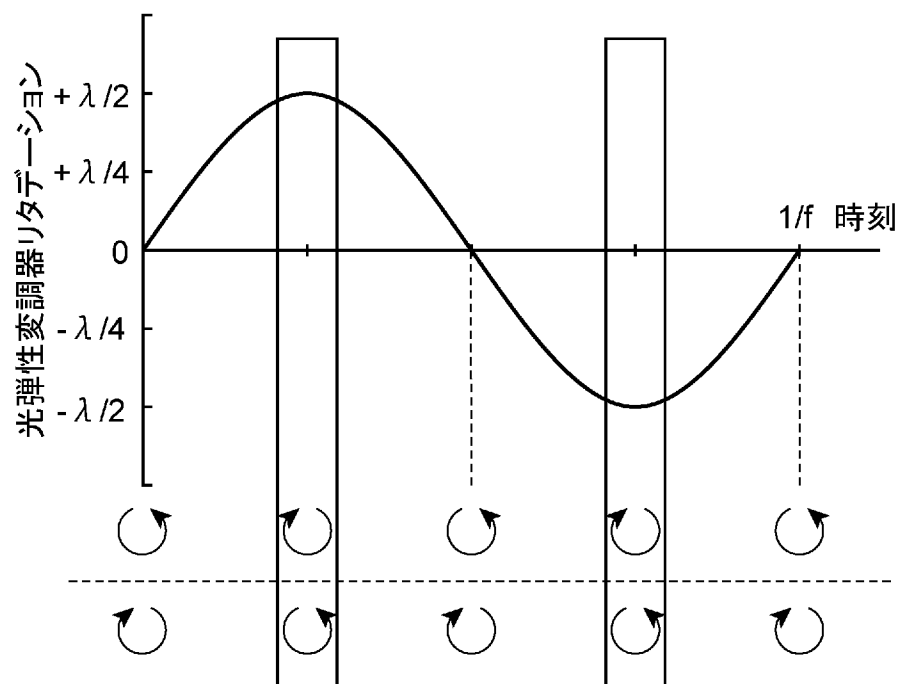
[図17]



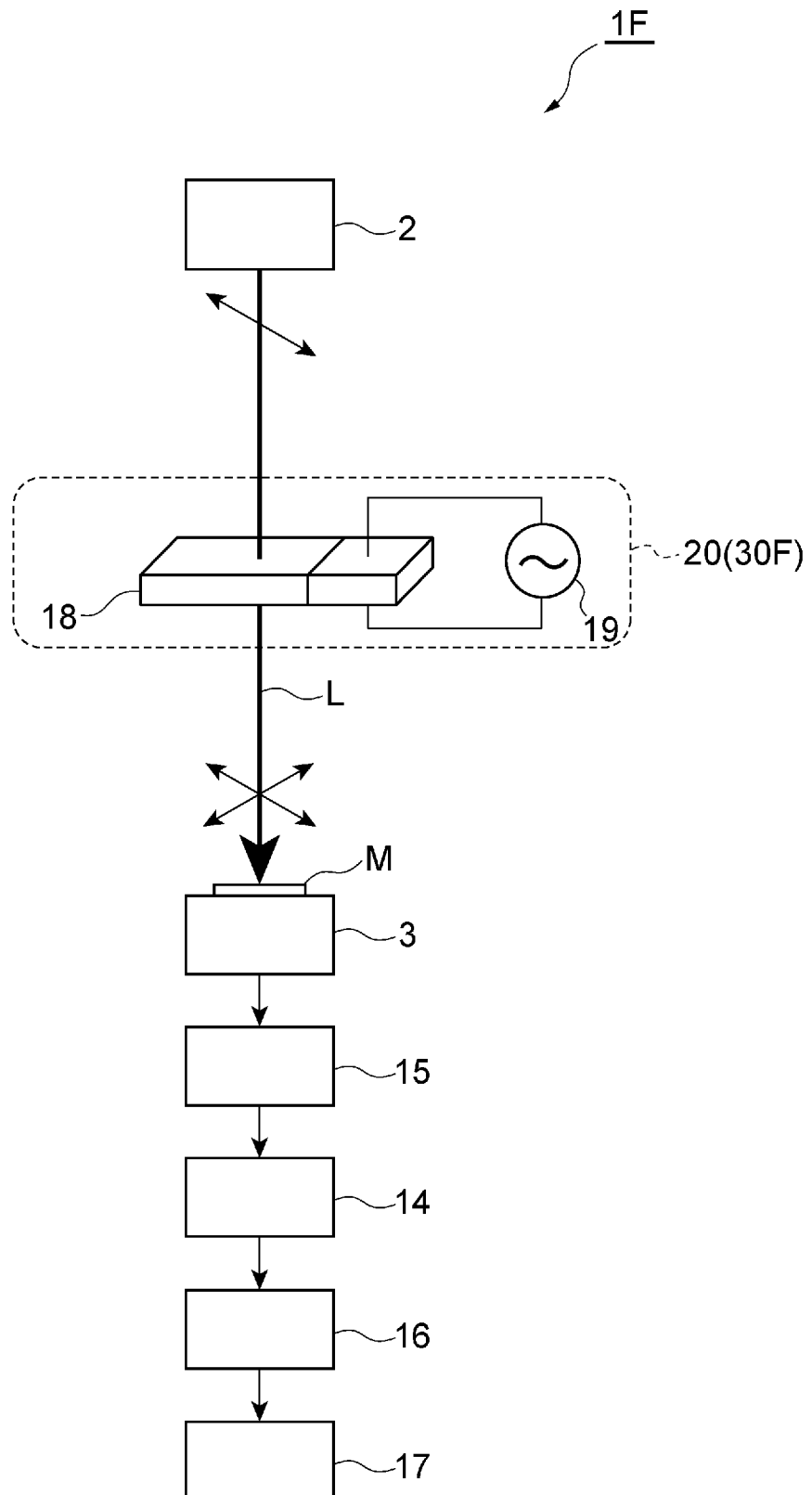
[図18]



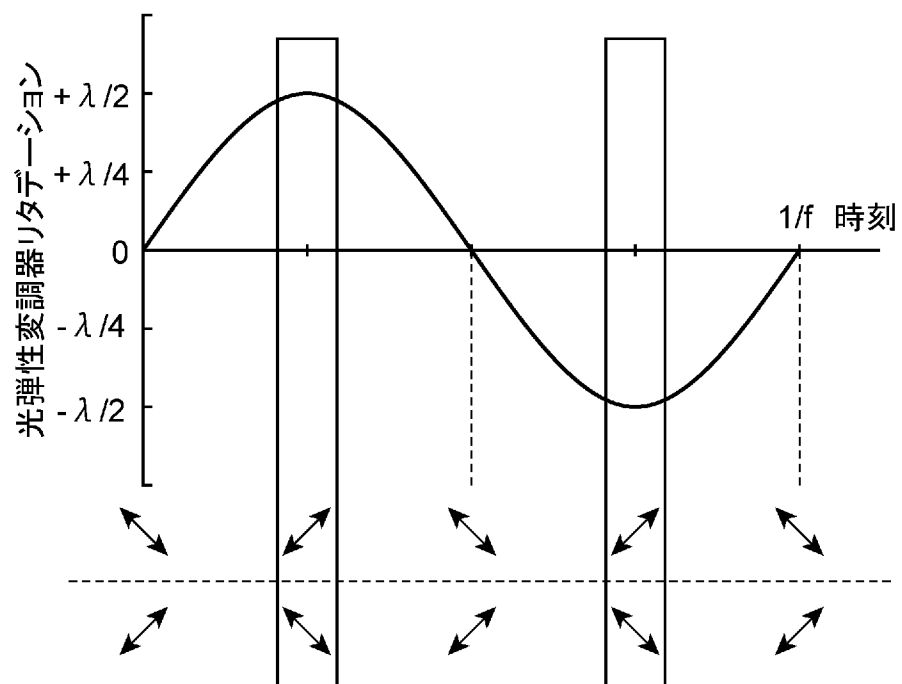
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/053981

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

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)

G01N21/00-G01N21/01, G01N21/17-G01N21/74

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

JSTPlus (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Hiroaki SATO et al., "Sensitivity Improvement in Refractive Index Measurement by Photodiode with Surface Plasmon Antenna", IEICE Technical Report, 29 January 2015 (29.01.2015), vol.114, no.442, pages 23 to 27	1-6
Y	JP 2003-28774 A (Hitachi, Ltd.), 29 January 2003 (29.01.2003), paragraphs [0066] to [0069], [0088] & US 2003/0015651 A1 paragraphs [0077] to [0080], [0099]	1-6
A	JP 2014-173920 A (Seiko Epson Corp.), 22 September 2014 (22.09.2014), & US 2014/0255913 A1 & EP 2774892 A1	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier 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
08 April 2016 (08.04.16)

Date of mailing of the international search report
10 May 2016 (10.05.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/053981

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-209097 A (Fujifilm Corp.), 20 October 2011 (20.10.2011), (Family: none)	1-6
A	JP 2005-156414 A (Aisin Seiki Co., Ltd.), 16 June 2005 (16.06.2005), (Family: none)	1-6

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-G01N21/01,
G01N21/17-G01N21/74

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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 (JDreamIII)

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	佐藤弘明, 外, 表面プラズモンアンテナ付フォトダイオードを用いた屈折率測定の高感度化, 電子情報通信学会技術研究報告, 2015.01.29, Vol. 114, No. 442, P. 23-27	1-6
Y	JP 2003-28774 A (株式会社日立製作所) 2003.01.29, [0066] - [0069], [0088] & US 2003/0015651 A1, [0077] - [0080], [0099]	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08.04.2016

国際調査報告の発送日

10.05.2016

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）

比嘉 翔一

2W

4005

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

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
A	JP 2014-173920 A (セイコーエプソン株式会社) 2014. 09. 22, & US 2014/0255913 A1 & EP 2774892 A1	1-6
A	JP 2011-209097 A (富士フイルム株式会社) 2011. 10. 20, (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2005-156414 A (アイシン精機株式会社) 2005. 06. 16, (ファミリーなし)	1-6