(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5351815号
(P5351815)
(45)発行日　平成25年11月27日(2013.11.27)　(24)登録日　平成25年8月30日(2013.8.30)

(51)Int.Cl.　F I
G01N 21/27 (2006.01)　G01N 21/41 101

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21)出願番号　特願2010-84608(P2010-84608)
(22)出願日　平成22年3月31日(2010.3.31)
(65)公開番号　特開2011-215050(P2011-215050A)
(43)公開日　平成23年10月27日(2011.10.27)
審査請求日　平成24年8月28日(2012.8.28)

(73)特許権者　306037311
富士フイルム株式会社
東京都港区西麻布２丁目２６番３０号
(74)代理人　100073184
弁理士　柳田　征史
(74)代理人　100090468
弁理士　佐久間　剛
(72)発明者　袴田　正志
神奈川県足柄上郡開成町宮台７９８番地
富士フイルム株式会社内

審査官　横尾　雅一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光学部材および表面プラズモン共鳴測定装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
表面プラズモン共鳴角で金属膜に入射し、該金属膜で全反射することにより表面プラズモンを発生させる励起光が内部を透過する光学部材であって、
前記金属膜と接する上面と、
該上面と対向して設けられた下面と、
前記上面および前記下面と接続され、前記励起光が入射する入射面と、
前記上面および前記下面と接続され、前記励起光が出射する出射面とを有し、
前記励起光が、前記入射面から前記金属膜に対して前記表面プラズモン共鳴角を満たす異なる複数の角度で入射し、該金属膜で全反射した後、前記上面および前記出射面がなす角部、前記下面および前記出射面がなす角部、ならびに前記出射面で正反射することがないよう、前記入射面と前記出射面との距離、および前記出射面と前記下面に垂直な軸とのなす角度を規定し、
前記金属膜に対して前記表面プラズモン共鳴角で入射し、前記金属膜で全反射した前記励起光が前記下面において全反射する位置に散乱面を設けたことを特徴とする光学部材。
【請求項２】
前記出射面に対する前記励起光の入射角が、
前記励起光が全反射する角度より小さくなるように、前記出射面と前記下面に垂直な軸とのなす角度を規定した請求項１の光学部材。
【請求項３】

前記出射面に対する前記励起光の入射角が、ブリュースタ角となるように前記出射面の角度を規定したことを特徴とする請求項２の光学部材。
【請求項４】
請求項１乃至請求項３の光学部材を用いた表面プラズモン共鳴測定装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、光学部材に関し、特に表面プラズモン共鳴測定装置に用いる光学部材に関する。
【背景技術】
【０００２】
エバネッセント波を用いた表面プラズモン共鳴現象の原理を用いて、試料中の物質を定量分析するプラズモンセンサーが従来から知られている。例えば特許文献１には、表面プラズモン共鳴を利用した蛍光検出装置が提案されている。特許文献１には、プリズム上に金属膜を設け、蛍光物質により標識化された被験物質を金属膜上に結合させ、プリズムと金属膜との界面に向けて、プラズモン共鳴条件を見たす角度で光を入射させ、金属膜上に強い電場を発生させ、蛍光物質を強く励起して蛍光測定を行う装置が開示されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２００９－２０４４８３号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
センサ領域である金属膜近傍で表面プラズモン共鳴を発生させるには、プリズム上にある金属膜とプリズムとの界面において励起光を全反射させる必要がある。プリズムの断面は逆三角形状や台形状に形成されており、光源部で収束させながらプリズムへ向けて励起光を照射し、プリズムの側面から入射（以下入射面という）した励起光が金属膜で全反射すると、全反射した後の励起光がその後もプリズム内で全反射を繰り返し、励起光が入射した側面と反対側の側面（以下出射面という）まで到達することがある。特にこのような装置においては、励起光を収束させながらプリズムに入射させ、金属膜と同程度の広さをもってセンサ領域で全反射させるため、励起光は、全反射してから出射面に向かうまでの間に一旦収束し、その後広がることになる。このような場合に、励起光が、プリズムの上面および出射面からなる角部または下面および出射面からなる角部に当たると、角部で正反射した成分がそれまでの光路を逆にたどり、励起光の光源部へ入射してしまう（以下戻り光という）。戻り光が光源部へ入射すると、光源部の発振が不安定となり、検出される蛍光の量に誤差が生じることがあった。また、励起光がプリズム内の出射面で全反射すると、励起光がプリズム内で散乱し、測定精度が低下するという問題があった。戻り光が光源部に入射することを防ぐために遮光板を設けることが考えられるが、戻り光は励起光と同一の光路を通って光源部まで戻るため、遮光板を設けると励起光も遮光してしまう。また、励起光の角度を調整して戻り光が発生しない角度とすることも考えられるが、励起光の角度の調整は微妙なものであり、使用する度にユーザーが調整するのは煩雑であった。本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、励起光の戻り光を無くし、励起光が出射する側面で全反射することがなく、表面プラズモン共鳴装置の測定精度が向上する光学部材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】
【０００５】
本発明は、前記の課題に鑑みてなされたものであり、励起光が全反射した時に生じるエバネッセント波が表面プラズモンと共鳴することで発生する電場を用いて試料の測定を行う装置に用いられ、内部で励起光が全反射する光学部材であって、前記励起光が出射する

出射面を設け、前記励起光に対する前記出射面のなす角度と、前記光学部材において、前記励起光が全反射しながら進む方向の前記光学部材の長さとを、前記励起光が前記光学部材の角部に当たることがないように規定したことを特徴とする。

【０００６】

前記出射面に対する前記励起光の入射角が、前記励起光が全反射する角度より小さくなるように、前記出射面の角度を規定する請求項１の光学部材

【発明の効果】

【０００７】

本発明によれば、戻り光を無くすことができる光学部材を提供できるため、測定精度が向上する表面プラズモン共鳴測定装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【０００８】

【図１】実施の形態１に係るプリズムを用いた表面プラズモン共鳴測定装置の概略構成を示した図である。

【図２】図１の表面プラズモン共鳴装置を図１の右側から見た図である。

【図３】実施の形態１に係る表面プラズモン共鳴測定装置の測定動作を示した図であり、（Ａ）は初めに測定する位置、（Ｂ）は２番目に測定する位置、（Ｃ）は３番目に測定する位置を示す図である。

【図４】実施の形態１に係るプリズムおよびプリズム内を伝播する励起光の挙動を示した模式図である。

【図５】実施の形態１に係るプリズムの角部の拡大図である。

【図６】（Ａ）は、実施の形態１に係るプリズムの形状を規定する要素を示す図である。（Ｂ）は、（Ａ）のプリズム内で全反射している光軸を直線状に繋ぎ、出射面と成す角度の関係を示した模式図である。

【図７】プリズム内に焦点があり、プリズム内で励起光が１回反射した場合を示す図である。

【図８】励起光がプリズムへ入射する点を示した図である。

【図９】幅を持った励起光が、プリズム上面と交わる点を示した図である。

【図１０】プリズム外に焦点があり、プリズム内で励起光が１回反射した場合を示す図である。

【図１１】プリズム内で励起光が２回反射する場合において、２回目の反射の前に焦点が位置する場合を示す図である。

【図１２】プリズム内で励起光が２回反射する場合において、２回目の反射の後に焦点が位置する場合を示す図である。

【図１３】励起光がプリズム内で１回反射して出射する場合におけるプリズムの出射面を拡大した図である。

【図１４】（Ａ）は、図１３において励起光が出射面で全反射しない場合を示した図である。（Ｂ）は、図１３において励起光が出射面で全反射する場合を示した図である。

【図１５】励起光がプリズム内で１回反射して出射する場合におけるプリズムの出射面を拡大した図である。

【図１６】（Ａ）は、図１５において励起光が出射面で全反射する場合を示した図である。（Ｂ）は、図１５において励起光が出射面で全反射しない場合を示した図である。

【図１７】励起光がプリズム内で２回反射して出射する場合における出射面を拡大した図である。

【図１８】（Ａ）は、図１７において励起光が出射面で全反射しない場合を示した図である。（Ｂ）は、図１７において励起光が出射面で全反射する場合を示した図である。

【図１９】励起光がプリズム内で２回反射して出射する場合における出射面を拡大した図である。

【図２０】（Ａ）は、図１９において励起光が出射面で全反射する場合を示した図である。（Ｂ）は、図１９において励起光が出射面で全反射しない場合を示した図である。

【図２１】実施の形態２に係る光学部材の形状を示した図である。
【発明を実施するための形態】
【０００９】
以下、本発明の実施の形態について、添付図面を用いて詳細に説明する。
（実施の形態１）
図１は、実施の形態１に係る光学部材を用いた表面プラズモン共鳴測定装置１００の概略構成図を示すものである。図１を用いて表面プラズモン共鳴測定装置１００の構成について説明する。表面プラズモン共鳴測定装置１００は、光源部１０４、光源部１０４を駆動するドライブ回路１０２、プリズム１１０、流路部材１１２、受光部１１８、電流検出回路１３０およびＡＤコンバータ１３２を有する。光源部１０４は、レーザーダイオード１０６およびレンズ１０８を有する。プリズム１１０の上面には、金属膜１１４が形成されている。本実施の形態では金膜を用いた。流路部材１１２は、プリズム１１０の上面にあり、金属膜１１４の周囲に流路１１６を形成する。受光部１１８は、レンズ１２０、励起光カットフィルタ１２２、レンズ１２４、アパーチャ１２６およびフォトダイオード１２８を有する。この構成により受光部１１８は、励起光をカットし、その他の光を電荷に変換する。電流検出回路１３０は受光部で発生した電荷を電流として検出し、ＡＤコンバータ１３２は、電流検出回路１３０で検出した電流を、アナログデータからデジタルデータへ変換する。
【００１０】
図２は、図１に示す表面プラズモン共鳴装置を図１の紙面右側から見た図である。図１におけるプリズム１１０および流路部材１１２について示してあり、その他の部材は省略してある。図２を用いて、プリズム１１０および流路部材１１２の構成について詳細に説明する。プリズム１１０の上面には、金属膜１１４Ａ～１１４Ｃが直線上に並んで形成されている。流路部材１１２は、プリズム１１０の上面に設けられ、金属膜１１４Ａ～１１４Ｃが並ぶ直線上に流路１１６を形成する。流路１１６の両端部には、開口部１４２および開口部１４４が設けられている。開口部１４４には、チューブ１３８が接続され、チューブ１３８はポンプ１４０に接続されている。ピペット１３４は、開口部１４２に接続され、流路１１６へ検体１３６を滴下する。ポンプ１４０が吸引を行うことで、検体１３６は、流路１１６内の金属膜１１４Ａ～１１４Ｃ上を通過する。金属膜１１４Ａ～１１４Ｃの上面は、それぞれ異なる処理がされており、検体１３６が流れると、検体内１３６に存在する蛍光標識化された被験物質が金属膜１１４Ａ～１１４Ｃに吸着する。
【００１１】
図３（Ａ）～（Ｃ）は、表面プラズモン共鳴測定装置１００の測定動作の一例を示す図である。図示しないが、測定時は検体１３６を流路１１６へ流し続ける。図３（Ａ）に示すように、光源部１０４は、プリズム１１０を通して金属膜１１４Ａの下面へ向けてプラズモン共鳴条件を満たす角度でＰ偏光に偏光した励起光を照射する。金属膜１１４Ａで励起光が全反射すると、表面プラズモン共鳴が起こり、金属膜１１４Ａ上で強い電場が発生する。金属膜１１４Ａに吸着している被験物質に付いている蛍光物質は、この強い電場に励起されて蛍光を発生する。受光部１１８は、金属膜１１４Ａ上の蛍光物質から発生した蛍光を受光し、光を電荷に変換して出力する。続いて図３（Ｂ）に示すように、金属膜１１４Ｂに対して図３（Ａ）と同様のことを行う。最後に、図３（Ｃ）に示すように、金属膜１１４Ｃに対しても図３（Ａ）と同様のことを行う。この図３（Ａ）から図３（Ｃ）で示した測定を所定回数繰り返し、得られたデータから被験物質の定量を行う。
【００１２】
図４は、図１のプリズム１１０およびプリズム内を伝播する励起光の挙動を示した模式図である。図４を用いて、プリズム１１０内での励起光の挙動を説明する。図中の線１４６Ｃは励起光の中心の光軸を表し、線１４６Ａおよび線１４６Ｂは励起光の輪郭を表す線である。つまり、励起光は、線１４６Ａから１４６Ｂまでの幅および角度を持った光である。光源部１０４から照射され、プリズム１１０へ入射した励起光１４６Ａ～Ｃは、金属膜１１４の下面で全反射し、プリズム１１０の上面および下面で全反射しながら伝播し、

プリズム１１０の出射面へ到達する。

【００１３】

図５は、プリズム１１０の出射面近傍を拡大して見た図である。図５に示すように、プリズム１１０の上面と出射面との接続部１４８は、拡大して見ると、現在の成型技術の限界により必ず微視的には丸みを帯びている。励起光は、上述の通り、様々な角度の進行方向を持った光が含まれているため、丸みを帯びた接続部１４８へ入射すると、常にその一部が今まで通った光路を逆に進んでいき、光源部１０４へ到達する戻り光となる（図５では１４６Ｃ）。このように、プリズム１１０内を通って接続部１４８へ到達した励起光は、一部が戻り光となってしまう。そのため、本実施の形態では、励起光がプリズム１１０の角部へ入射しないようなプリズム１１０の形状を規定する。

【００１４】

図６（Ａ）は、実施の形態１に係るプリズムの形状を規定する要素を示す図である。励起光１４６Ａおよび励起光１４６Ｂは省略してある。プリズム１１０の断面は、上面と下面が平行な台形状となっている。プリズム１１０の出射面は、励起光１４６Ｃが金属膜１４６で全反射した直後にある場合（１１０Ａ）と、励起光がプリズム１１０の下面で全反射した直後にある場合（１１０Ｂ）について描かれている。図６（Ａ）に示すようにφ、θｉ、θｏ、Ｄ、ＬＴ、ＬＢ、Ｈを規定する。θｉ、θｏの正負は、図６（Ａ）の状態をθｉ＞０、θｏ＞０とする。図６（Ｂ）は、（Ａ）のプリズム内で全反射している励起光１４６Ｃを直線上に繋ぎ、出射面と成す角度の関係を示した模式図である。励起光がプリズム１１０の角部に当たらないようにするためには、プリズム１１０の角部の位置、つまりＬＴおよびＬＢの値が重要となる。

【００１５】

励起光がプリズム１１０の角部に当たらないようなＬＴおよびＬＢの値について検討する。まず、プリズム１１０内における励起光の反射が１回の場合を考える。図７は、プリズム内の励起光の反射が１回で、プリズム１１０内に焦点Ｆがある場合を示す。図６においては、励起光の中心軸を表す線１４６Ｃのみを描いたが、図７は、励起光の輪郭線である１４６Ａおよび１４６Ｂも記載してある。輪郭線１４６Ａと、励起光の中心線１４６Ｃがなす角をψとする。点Ｍを原点とし、プリズム１１０の下面に沿ってｘ軸を取り、ｘ軸と垂直にｙ軸を取る。励起光１４６Ａ～１４６Ｃがプリズム１１０へ入射する点において、ｙ座標が小さい方の輪郭線を１４６Ａ、ｙ座標が大きい方の輪郭線を１４６Ｂとする。励起光１４６Ａとプリズム１１０の上面とが接する点のｘ座標をＤ+Ｄａ、励起光１４６Ｂとプリズム１１０の上面が接する点のｘ座標をＤ－Ｄｂとする。

【００１６】

プリズム１１０内へ入射した励起光１４６Ａ～１４６Ｃは、表面プラズモン共鳴角によって予め決められた傾きを持ってｘｙ座標を進行する。励起光１４６Ａ～１４６Ｃは、プリズム１１０の上面で全反射した後、進行方向の傾きが反転し、輪郭線１４６Ａおよび輪郭線１４６Ｂのｙ座標の大小関係が入れ替わる。励起光１４６Ａ～１４６Ｃは、さらに進行すると焦点Ｆの位置で一旦収束する。焦点Ｆの位置で一旦収束した励起光１４６Ａ～１４６Ｃは、輪郭線１４６Ａのｙ座標の方が輪郭線１４６Ｂのｙ座標よりも小さい。焦点Ｆ以降においては、励起光は輪郭が広がりながらｙ座標が減少する方向へ進む。この場合、励起光１４６Ａ～１４６Ｃが当たる可能性があるのは、プリズム１１０の下面および出射面がなす角部（ＬＢ，０）である。この場合は、励起光の下側の輪郭線１４６Ａが当該角部に当たらなければ、全ての励起光は角部に当たらないことになる。つまり、励起光１４６Ａがｘ座標ＬＢにおいて、ｙ座標が０以上となるようなＬＢを設定すれば、戻り光は発生しない。

【００１７】

励起光１４６Ａが角（ＬＢ，０）に当たらないプリズム１１０の形状を検討する。Ｌａ１を、励起光１４６Ａとｘ軸とが交わる点（Ｌａ１，０）だとすると、プリズム１１０の底面の長さＬＢは、ＬＢ＜Ｌａ１を満たす長さでなければならない。このようにＬＢを設定すると、励起光がプリズムの角に当たらず、戻り光を防ぐことができる。

【００１８】
戻り光が発生しないＬＢの長さを具体的に規定するため、Ｌａ１のｘ座標を求める。Ｄ＋Ｄａの位置を示す破線とプリズム１１０の下面と励起光１４６Ａとを３辺とする三角形を考える。励起光１４６Ａがプリズム１１０へ入射する入射角はφ－ψである。従って、励起光１４６Ａがプリズム１１０で反射する反射角もφ－ψとなるため、Ｄ＋Ｄａの位置を表す破線と励起光１４６Ａを表す直線がなす角もφ－ψとなる。すると、励起光１４６Ａとプリズム１１０の底面とがなす角は（π／２）－（φ－ψ）となる。すると、

Ｌａ１＝〔Ｈ／ｔａｎ｛（π／２）－（φ－ψ）｝〕－（Ｄ＋Ｄａ）

となる。Ｈはプリズムの高さ、φは励起光を全反射させる角度、ψは励起光の絞りを表す角度、Ｄは励起光の中心が金属膜で全反射するｘ座標である。φは予め定められている表面プラズモン共鳴角であり、φとの関係でＤも予め定められている。ＨおよびψはⅠ、装置の設計者が決めることができる。従ってＬａ１を表す式において、不明なものはＤａとなる。つまり、Ｄａを求めれば、ＬＢ＜Ｌａ１となるＬＢを決定することができる。励起光１４６Ａがプリズム上面で反射する点のｘ座標を求めることで、Ｄａを求める。

【００１９】
まず、図７と同様にｘ軸およびｙ軸を設定した図８を用いて、励起光がプリズム１１０へ入射する点の座標（ｘ１,ｙ１）を求める。励起光１４６がプリズム１１０へ入射する点は、表面プラズモン共鳴角φおよびプリズム１１０の形状から１点に定まる。入射面およびｙ軸がなす角をθｉとすると、プリズム１１０の入射面は、

ｙ＝ｘ・ｔａｎ｛（π／２）－θｉ｝

で表すことができる直線の線分となる。励起光の軌跡を表す直線は、励起光がプリズム１１０の上面へ入射する入射角φを用いて、

ｙ＝ｘ・ｔａｎ｛（π／２）－φ｝＋ｂ（定数）

と表すことができる。励起光がプリズム１１０へ入射する点は、上記プリズム１１０の入射面を表す式と励起光の軌跡を表す式が交わる点である。プリズムの入射面と励起光１４６は（ｘ１，ｙ１）で交わるので、ｘ１およびｙ１を代入して上記２式から、ｂを求めると、

ｂ＝ｘ１・ｔａｎ｛（π／２）－θｉ｝－ｘ１・ｔａｎ｛（π／２）－φ｝

となる。励起光を表す直線をｙ軸まで延長し、当該直線と、プリズム１１０の上面をｙ軸まで延長した直線と、ｙ軸とがなす三角形を考える。当該三角形を構成するｙ軸の長さは、

Ｈ－ｂ＝Ｈ－ｘ１[ｔａｎ｛（π／２）－θｉ｝－ｔａｎ｛（π／２）－φ｝]

となる。プリズム１１０上面と励起光を表す直線とがなす角は｛（π／２）－φ｝なので、

ｔａｎ｛（π／２）－φ｝＝Ｈ－ｘ１[ｔａｎ｛（π／２）－θｉ｝－ｔａｎ｛（π／２）－φ｝]／Ｄ

となる。これを整理すると、

ｘ１＝[Ｈ－Ｄ・ｔａｎ｛（π／２）－φ｝]／[ｔａｎ｛（π／２）－θｉ｝－ｔａｎ｛（π／２）－φ｝]

となる。

【００２０】
図９に示すように、励起光がプリズム１１０内で全反射せず直進した場合を考え、励起光の輪郭がプリズム１１０上面と交わる点を求める。励起光が収束する位置を原点として、入射ビームの光軸に沿ってｘ’軸を定義する。励起光１４６Ｃとプリズム１１０の上面とが交わる座標を(ｘ２’，ｙ２’)、励起光１４６Ａとプリズム１１０の上面とが交わる座標を(ｘ３’，ｙ３’)、励起光１４６Ｂとプリズム１１０の上面とが交わる座標を（ｘ４’，ｙ４’）とする。励起光１４６Ａを表す直線の式は、ｙ’＝ｘ’・ｔａｎψとなり、励起光１４６Ｂを表す直線の式は、ｙ’＝ｘ’・ｔａｎ（－ψ）となる。励起光１４６Ｃがプリズム１１０へ入射した点は（－Ｆ，０）となる。図８で求めた式からｘ２’は、

ｘ２’＝Ｆ－（Ｄ－ｘ１）／ｃｏｓ｛（π／２）－φ｝、ｙ２’＝０

となる。また、プリズム１１０とｘ’軸とがなす角は、｛（π／２）－φ｝であるため、プリズム１１０の上面を表す式は、
ｙ’＝－ｔａｎ｛（π／２）－φ｝｛ｘ’＋Ｆ－（Ｄ－ｘ１）／ｃｏｓ｛（π／２）－φ）｝
となる。プリズム１１０を表す式と、ｙ’＝ｘ’・ｔａｎψの式から、ｘ３’を求めると、
ｘ３’＝－ｔａｎ｛（π／２）－φ｝[Ｆ－（Ｄ－ｘ１）／ｃｏｓ｛（π／２）－φ｝]／[ｔａｎψ＋ｔａｎ｛（π／２）－φ｝]
となり、
ｙ３’＝ｔａｎ（ψ）・ｔａｎ｛（π／２）－φ｝｛Ｆ－（Ｄ－ｘ１）／ｃｏｓ｛（π／２）－φ｝／[ｔａｎ（ψ）＋ｔａｎ｛（π／２）－φ｝]
となる。
これらを用いてＤａは、
Ｄａ＝√｛（ｘ３’－ｘ２’）＾２＋（ｙ３’－ｙ２’）＾２｝
となる。このようにして求めたＤａをＬａ１に代入してＬａ１を求める。求めたＬａ１より短くＬＢの長さを設定すれば、プリズム内での励起光の反射が１回でかつプリズム１１０内に焦点Ｆがある場合に戻り光は発生しない。

【００２１】

続いてプリズム１１０内での励起光の反射が１回で、焦点Ｆがプリズム１１０の出射面より外側にある図１０のような場合を考える。この場合、励起光１４６Ｂがプリズム１１０の出射面とプリズム１１０の下面とがなす角に当たらなければ、戻り光は発生しない。励起光１４６Ｂがプリズム１１０の下面の延長線と交わる点をＬｂ１とすると、ＬＢ＜Ｌｂ１でなければならない。計算は省略するが、Ｌａ１と同様にＬｂ１を求め、Ｌｂ１より短くなるようにＬＢを設定する。このようにＬＢを設定すると、プリズム１１０内での励起光の反射が１回で、焦点Ｆがプリズム１１０の出射面より外側にある場合においても、戻り光は発生しない。

【００２２】

続いてプリズム１１０内での励起光の反射が２回で、焦点Ｆがプリズム１１０内での１回目の反射より後でかつ２回目の反射より手前にある図１１の場合を考える。この場合は、プリズム１１０の上面とプリズム１１０の出射面とがなす角と、プリズム１１０の下面およびプリズム１１０の出射面がなす角との双方を考える必要がある。Ｌａ２をプリズム１１０の下面で反射した１４６Ａがプリズム１１０の上面と交わる点の距離とすると、

Ｌａ２＝Ｌａ１＋Ｈ／ｔａｎ｛（π／２）－（φ－ψ）｝

となる。プリズムの上面の長さＬＴは、ＬＴ＜Ｌａ２でなければならない。このようにＬＴを設定すると、励起光１４６Ａは、プリズム１１０の上面およびプリズム１１０の出射面がなす角に当たることはない。また、プリズム１１０の下面およびプリズム１１０の出射面がなす角に励起光が当たらないために、ＬＢ＞Ｌｂ１を満たすようにＬＢおよびθｏを選ぶ必要がある。ここで

Ｌｂ１＝Ｈ／ｔａｎ｛（π／２）－（φ＋ψ）｝－（Ｄ－Ｄｂ）

となるため、Ｄｂの値を求める。Ｄｂは、Ｄａを求めた時と同様にして、励起光１４６Ｂおよびプリズム１１０が交わる点（ｘ４’，ｙ４’）を求めると、
ｘ４’＝ｔａｎ｛（π／２）－φ｝[Ｆ－（Ｄ－ｘ１）／ｃｏｓ｛（π／２）－φ）｝]／[ｔａｎ（－ψ）＋ｔａｎ｛（π／２）－φ）｝]
となり、
ｙ４’＝－ｔａｎ（－ψ）・ｔａｎ｛（π／２）－φ｝[Ｆ－（Ｄ－ｘ１）／ｃｏｓ｛（π／２）－φ）｝]／[ｔａｎ（－ψ）＋ｔａｎ｛（π／２）－φ）｝]
となる。
Ｄｂ＝√｛（ｘ４’－ｘ２’）＾２＋（ｙ４’－ｙ２’）＾２｝
である。

【００２３】

最後に、焦点Ｆが、Ｌａ１より後ろにある図１２の場合を考える。この場合は、図１１の説明と同様にＬＴ＜Ｌａ２であれば、励起光１４６Ａは、プリズム１１０の上面および出射面がなす角部に当たることがない。また、励起光１４６Ａは、ＬＢ＞Ｌａ１であれば、プリズム１１０の下面および出射面がなす角部に当たることがない。従って、このようにＬＢおよびＬＴを設定すれば、戻り光は発生しない。

【００２４】

以上述べたようにプリズム１１０の形状を設定すると、プリズム１１０の出射面の角部に当たる励起光が存在しないため、戻り光がなくなり、光源部の発振が安定して測定精度が向上する。

【００２５】

続いて出射面とｙ軸とのなす角θｏを用いて、励起光が出射面で全反射しないθｏの条件について検討する。図１３は、プリズム内での反射が１回でθｏ＞０の場合である。この場合は、励起光１５０Ａが、もっとも大きい入射角Ｐ１で出射面に入射する。励起光１５０Ａが出射面に入射する入射角Ｐ１を求めるため、まず角度Ｒ１を求めると、Ｒ１＝π－φ＋ψとなる。Ｒ１およびθｏを用いてＱ１を求めると、

Ｑ１＝π－（θｏ＋Ｒ１）

となる。よってＰ１を求める式は、

Ｐ１＝（π／２）－Ｑ１＝－φ＋ψ＋θｏ＋（π／２）となり、この角度が全反射角θｃ以下であれば励起光は出射面で全反射しない。励起光が出射面で全反射しないためのθｏの条件は、

θｏ＜φ－ψ＋θｃ－π／２

となる。θｏがφ－ψ＋θｃ－π／２より小さいと、図１４（Ａ）に示すように励起光のほとんどはプリズム１１０から出射する。θｏがφ－ψ＋θｃ－π／２以上であると、図１４（Ｂ）に示すように、励起光は出射面で全反射してプリズム内に戻り、不要な散乱光の原因となる。

【００２６】

図１５は、反射が１回でθｏ＜０の場合である。この場合は、励起光１５０Ｂがもっとも大きい入射角Ｐ２で出射面へ入射する。図のＱ２は、

Ｑ２＝π－｜θｏ｜－φ－ψ

となるので、励起光１５０Ｂが出射面に入射する入射角Ｐ２を求める式は、

Ｐ２＝（π／２）－Ｑ２＝φ＋ψ＋｜θｏ｜－（π／２）

となり、この角度が全反射角θｃ以下であれば励起光は出射面で全反射しない。励起光が出射面で全反射しないためのθｏの条件は、

θｏ＞φ＋ψ－θｃ－（π／２）

となる。θｏがφ＋ψ－θｃ－（π／２）以下であると、図１６（Ａ）に示すように、励起光は出射面で全反射してプリズム１１０内に戻り、不要な散乱光の原因となる。θｏが、φ＋ψ－θｃ－π／２より大きければ、図１６（Ｂ）に示すようにほとんどの励起光はプリズム１１０から出射する。

【００２７】

以上述べたように、励起光がプリズム内で１回反射する場合は、

φ＋ψ－θｃ－（π／２）＜θｏ＜φ－ψ＋θｃ－（π／２）

となるようにθｏを設定すれば、励起光はプリズム１１０の出射面で全反射することはない。例えば、φ＝７５度、ψ＝０度、プリズム１１０の屈折率を１．４９とすると、臨界角θｃ＝４２．１６度となる。従って、

－５７．１６＜θｏ＜２７．１６

を満たすようにθｏの値を設定すれば、励起光は出射面で全反射することがなくなる。

【００２８】

続いてプリズム１１０内で２回反射した場合について検討する。図１７は、プリズム内での反射が２回でθｏ＞０の場合である。この場合は、励起光１５０Ｂがもっとも大きい入射角Ｐ３で出射面に入射する。図のＱ３の角度は、

Ｑ３＝π－θｏ－φ－ψ
となるので、励起光１５０Ｂが出射面に入射する入射角Ｐ３を求める式は、
Ｐ３＝（π／２）－Ｑ３＝－（π／２）＋φ＋ψ＋θｏ
となり、この角度が全反射角θｃ以下であれば励起光は出射面で全反射しない。励起光が出射面で全反射しないためのθｏの条件は、
θｏ＜（π／２）－φ－ψ＋θｃ
となる。θｏが（π／２）－φ－ψ＋θｃより小さいと、図１８（Ａ）に示すようにほとんどの励起光はプリズム１１０から出射する。θｏが（π／２）－φ－ψ＋θｃ以上であると、図１８（Ｂ）に示すように、励起光は出射面で全反射してプリズム内に戻り、不要な散乱光の原因となる。

【００２９】
図１９は、反射が２回でθｏ＜０の場合である。この場合は、励起光１５０Ａがもっとも大きい入射角Ｐ４で出射面に入射する。図１９のＲ４＝π－φ＋ψとなり、Ｑ４＝π－Ｒ４－｜θｏ｜となる。励起光１５０が出射面に入射する入射角Ｐ４を求める式は、
Ｐ４＝（π／２）－Ｑ４＝－（π／２）＋φ－ψ－｜θｏ｜
となり、この角度が全反射角θｃ以下であれば励起光は出射面で全反射しない。励起光が出射面で全反射しないためのθｏの条件は、θｏ＞となる。θｏが以下であると、図２０（Ａ）に示すように、励起光は出射面で全反射してプリズム１１０内に戻り、不要な散乱光の原因となる。θｏが、より大きければ、図２０（Ｂ）に示すようにほとんどの励起光はプリズム１１０から出射する。

【００３０】
以上述べたように、励起光がプリズム内で２回反射する場合は、
（π／２）－φ＋ψ－θｃ＜θｏ＜（π／２）－φ－ψ＋θｃ
となるようにθｏを設定すれば、励起光はプリズム１１０の出射面で全反射することはない。例えば、φ＝７５度、ψ＝０度、プリズム１１０の屈折率を１、４９とすると、臨界角θｃ＝４２．１６度となる。従って、
－２７．１６＜θｏ＜５７．１６
を満たすようにθｏの値を設定すれば、励起光は出射面で全反射することがなくなる。
なお、励起光と出射面とが成す角度であって、奇数回の反射の場合の（φ±ψ）－θｏ、偶数回の反射の場合のπ－（φ±ψ）－θｏが、π／２に等しい、即ち、出射面に垂直入射する範囲、奇数回の反射の場合で
（φ－ψ）－π／２＜θｏ＜（φ＋ψ）－π／２
偶数回の反射の場合で
π／２－（φ＋ψ）＜θｏ＜π／２－（φ－ψ）
にある場合は、角に当たって正反射するのと同じことで、光源への戻り光が生じることになる。従って、これまで記載した条件に加えて、θｏは上記範囲も避ける必要がある。

【００３１】
また、θｏは光軸の中心１４６Ｃに対してブリュースタ角とすることが望ましい。θｏをブリュースタ角とすると、プリズム１１０と外部との界面で励起光の反射がより少なくなり、測定精度が向上する。

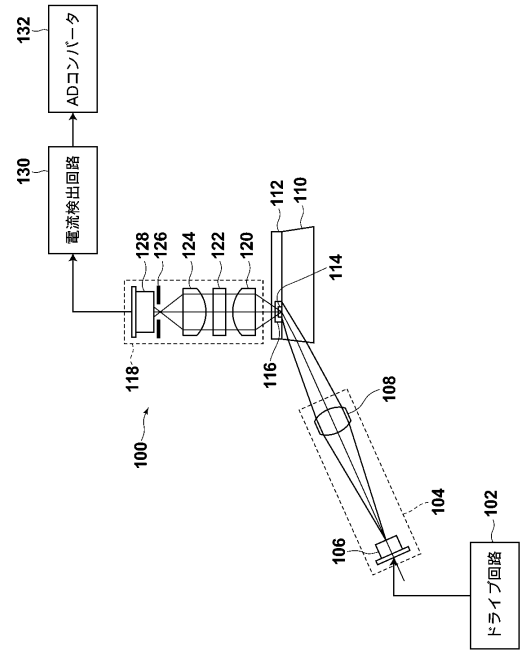
【００３２】
なお、プリズム１１０内で励起光が２回目の反射をする点の周辺を散乱面としてもよい。励起光が２回目に反射する点の周辺に散乱面を設けると、励起光が散乱されて光源に戻る正反射の戻り光成分が相対的に小さくなるため、角に当てないことと同様の効果がある。

【００３３】
また、本実施の形態では、励起光の反射が１回および２回の場合について述べたが、反射回数はこれに限られず、偶数回反射の場合は１回反射の場合と同様の計算となり、奇数回反射の場合は２回反射の場合と同様の計算となる。

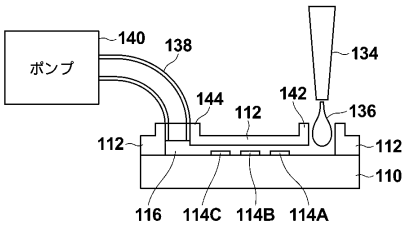
【００３４】

（実施の形態２）
図２１は実施の形態２に係るプリズム２１０の断面図である。プリズムの形状以外は実施の形態１と同様である。プリズム２１０は、高さが光の進行方向の途中で変化している。入射面に近い部分のプリズム２１０の高さをＨ１、出射面に近い部分のプリズム２１０の高さをＨ２とすると、Ｈ１＞Ｈ２を満たす形状となっている。つまり、プリズム２１０の高さは２段階で変化しており、出射面に近い方の高さの方が低くなっている。このようにプリズム２１０の高さを変えても、実施の形態１で述べた式のＨの値を途中で変化させて形状を規定すれば、戻り光が発生しないプリズム２１０の形状を規定することができる。
【００３５】
本実施の形態のようにプリズム２１０の形状を規定すると、プリズム１１０から出射する励起光の幅を狭くしたい場合においても、励起光が角に当たらないようにプリズム２１０の形状を規定することができる。
【００３６】
以上述べたように、本発明によれば、励起光がプリズム内の角部に当たることがないようにプリズムの形状を規定し、励起光が出射面で全反射、及び、正反射することがないよう、出射側面の角度を規定したため、戻り光が発生せず、励起光がプリズムの出射側面において全反射、及び、正反射することがないため、精度の高い測定が可能となる。
【産業上の利用可能性】
【００３７】
本発明は表面プラズモン共鳴測定装置に用いることができる。
【符号の説明】
【００３８】
１００　表面プラズモン共鳴測定装置
１０４　光源部
１１０　プリズム
１１４　金属膜
１１６　流路
１１８　受光部
１３０　電流検出回路
１３２　ＡＤコンバータ
１４６Ａ　励起光の輪郭を表す直線
１４６Ｂ　励起光の輪郭を表す直線
１４６Ｃ　励起光の中心の光路
１４８　プリズムの上面と出射面との接続部
２１０　プリズム

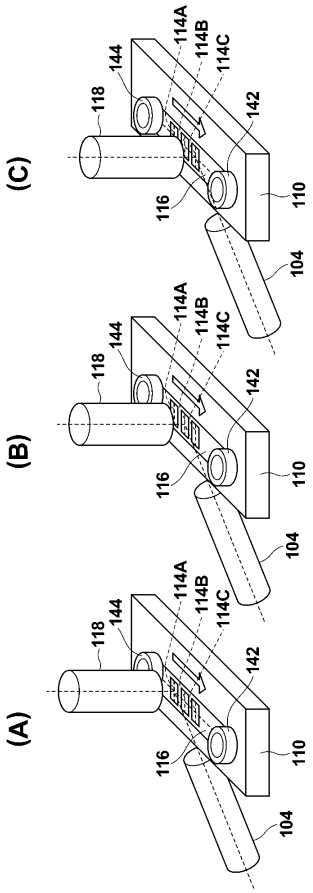
【図１】



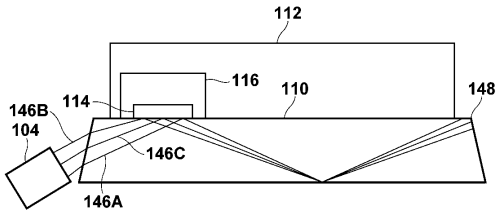
【図２】



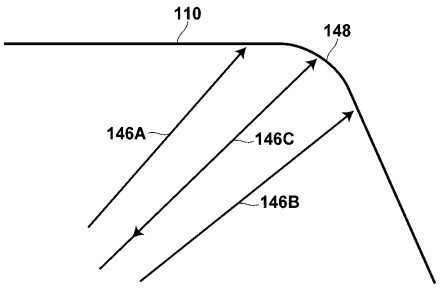
【図３】



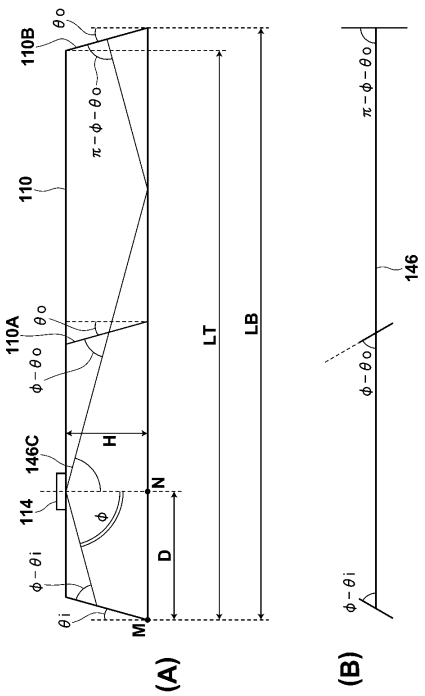
【図４】



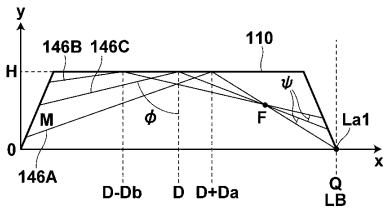
【図５】



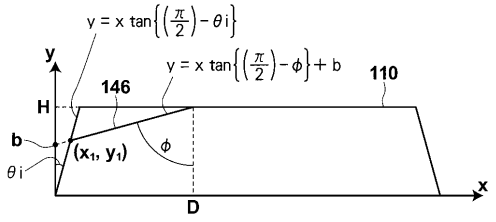
【図６】



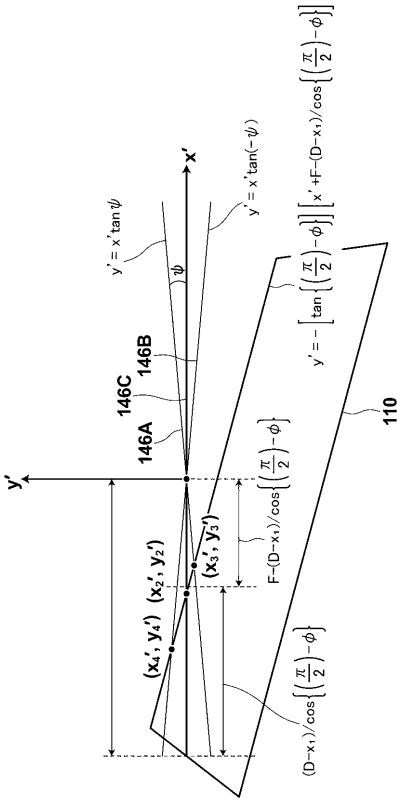
【図７】



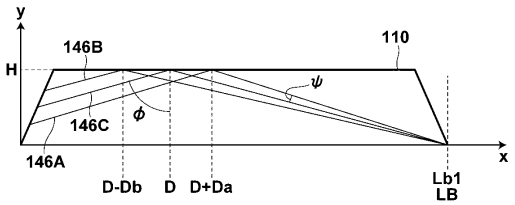
【図８】



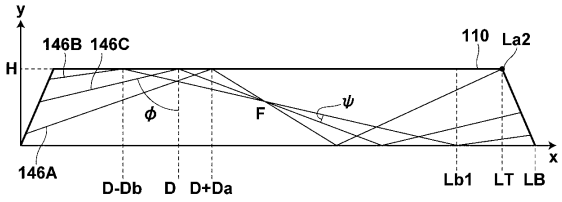
【図９】



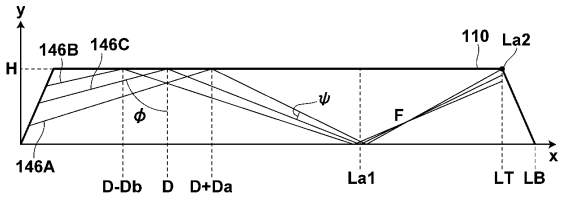
【図１０】



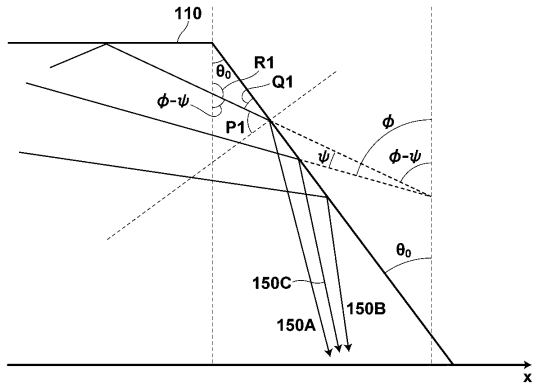
【図１１】



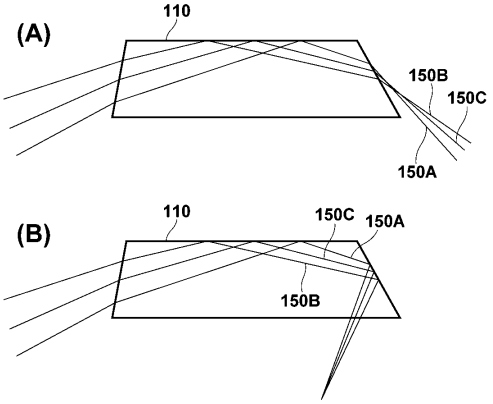
【図１２】



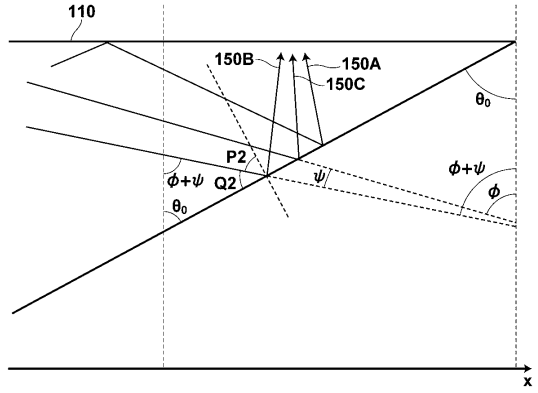
【図１３】



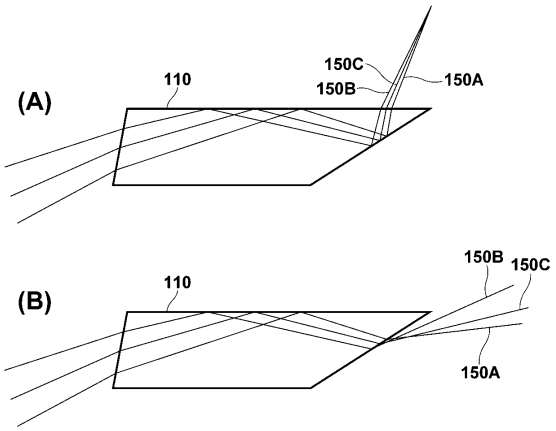
【図１４】



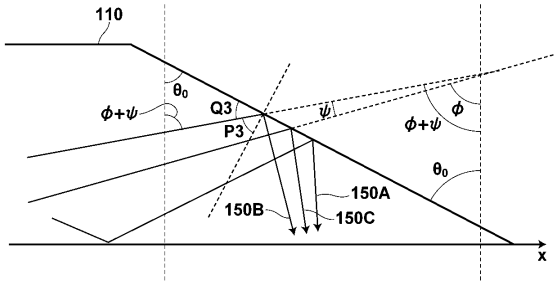
【図１５】



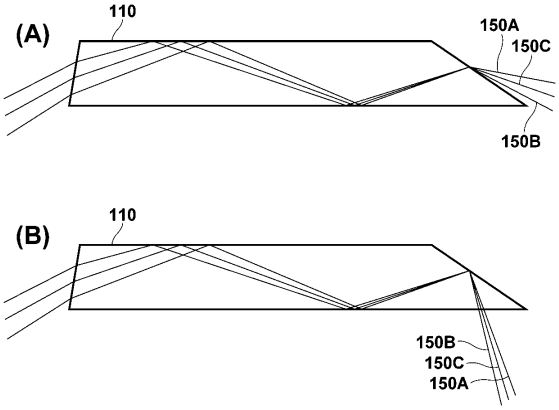
【図１６】



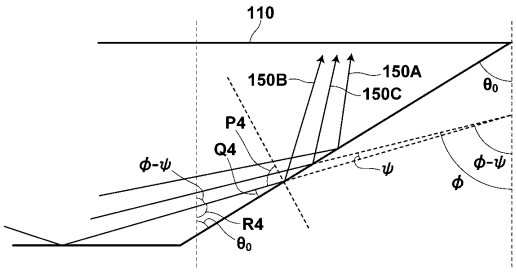
【図１７】



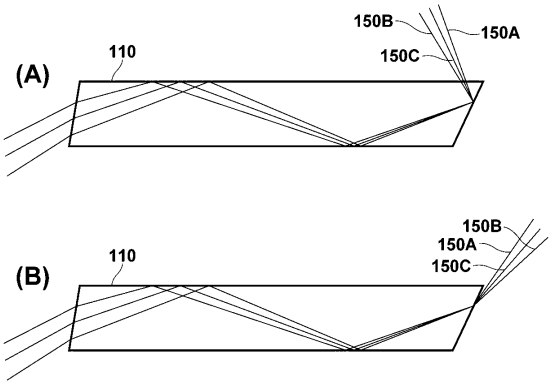
【図１８】



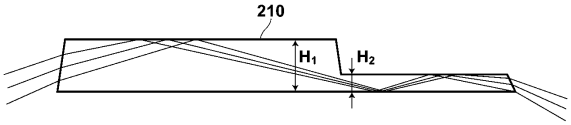
【図１９】



【図２０】



【図２１】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開２００４－１６３４０２（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－３２８０８７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－０４８７５６（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００８／０７２１５６（WO，Ａ２）
特表２０１０－５１２５３４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｎ　２１／００－２１／７４