

【書類名】 特許願
【整理番号】 2016001414
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01N 21/01
G02F 1/00

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 ザエツ バディム

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 齋藤 秀和

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 湯浅 新治

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 野崎 隆行

【特許出願人】

【識別番号】 301021533

【氏名又は名称】 国立研究開発法人産業技術総合研究所

【代表者】 中鉢 良治

【電話番号】 029-862-6155

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 220262

【納付金額】 1000

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 特許請求の範囲 1

【物件名】 要約書 1

【物件名】 図面 1

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学的測定装置及び光学的測定方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、調査対象の試料の磁気光学特性、非相反光学特性、非線形光学特性を測定するための光学的測定装置及び光学的測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

物質の磁気光学特性、非線形光学特性を、高精度で高感度に測定することは、生物やスピントロニクス等の分野で重要である。現在、生物やスピントロニクスや他の分野で、ファラデー回転角、カー回転角、磁気円二色性等の磁気光学特性を測定する装置が使用されている。

【0003】

試料の非相反光学特性を測定することは、試料の時間反転対称性が壊れた時のみ、非相反応答が存在するので、試料の重要な情報をもたらしてくれる利点がある。しかし、非相反光学特性を測定する装置はまだ開発されておらず、もし開発されれば、他の広い分野に

応用できる可能性がある。光が試料の中を互いに反対方向を進む時の屈折率と吸収係数が違う時、その試料は「非相反光学特性がある」という。時間反転対称性が壊れることが、試料が非相反応答を持つために、重要である。例えば、試料が磁性体か、試料に外部より磁場がかけられているか、光強度が大きく光応答が非線形である時に、時間反転対称性が壊れる。

【0004】

ファラデー回転角、カー回転角、磁気円二色性（以下「MCD」ともいう。）は、試料の磁気光学特性を明らかにするために測定される。

【0005】

図11は、ファラデー回転を測定する従来の装置である。光は、光源（図中「Source」）1から、偏光子（図中「Polarizer」）12を介して試料（図中「Sample」）2に入り、試料2から出た光は検光子（図中「Analyzer」）13を通り、検出器（図中「Detector」）3で検出される。光の偏光が、試料2を通過して回転しない時は、光は検光子13で遮られ、検出器3に届かない。光の偏光が、試料2を通過して回転する時は、少量の光が検光子13を通過し、検出器3で検出される。

【0006】

偏光子は、自然光（非偏光）や円偏光から直線偏光を作り出す光学素子をいう。偏光子を透過した光は、偏光子の偏光軸（Polarization axis）方向に振動する直線偏光となる。さらに、この直線偏光に対し、もう1枚の偏光子（この場合、「検光子」という）を用意し、直線偏光がこの検光子を透過できるかどうかを調べることが通常行われる。偏光子の偏光軸と検光子の偏光軸とのなす角を、ここで、偏光子と検光子の軸の角度と呼ぶ。二枚の偏光子において二つの透過軸が平行な場合、透過強度は最大となり、互いの透過軸が直交する場合、透過光は0となる。

【0007】

図12は、光が偏光子と検光子を透過する強度を、偏光子と検光子の偏光軸のなす角度の関数として表したものである。図中、角度が90度の時は、偏光子と検光子の2つの偏光軸が直交している。

【0008】

図13は、磁気円二色性（MCD）を測定する従来の装置である。装置は、光源1と、偏光子（Polarizer、ポラライザー）12と、光弾性変調器（PEM）14と、パルス発生器（Pulse Generator）6と、ロックインアンプ（Lock-in Amplifier）7と、検出器3とから構成される。光弾性変調器（PEM）14は光を左円偏波と右円偏波に変調する。パルス発生器6のタイミングで、左円偏波又は右円偏波に変調された光は、試料2に入射され、一部吸収される。左円偏波と右円偏波の吸収の差は、ロックインアンプを使用した検出器3で検出される。ロックインアンプ7を使用しているので、この装置は高感度で磁気円二色性（MCD）を測定できる。

【0009】

図14は、磁気カー（Kerr）効果によるカー回転角を測定する従来の装置である。装置は、光源1と、偏光子（Polarizer、ポラライザー）P1と、ハーフミラー8と、対物光学系（Objective）9と、偏光子（Polarizer、ポラライザー）P2と、検出器3とから構成される。偏光子P1により偏光された光は試料2の表面で反射され、検出器3で検出される。検出器3の前に、偏光子P1と偏光軸が90度回転している偏光子P2が置かれている。もし、試料表面での偏光回転がない場合は、光は偏光子P2で遮られ検出器に届かない。光が試料2の表面で反射し、偏光が回転している場合は、ある量の光が検出器で検出される。検出された光の大きさは回転角（カー回転角）に比例するので、回転角が測定できる。カー効果により、試料の表面で反射して、左円偏光の右円偏光への変換やその反対の変換が起こる。

【0010】

また、発明者等は、磁気光学の分野で研究開発を行ってきた（特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特開2014-013318号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

従来の光学的測定装置では、調査対象の試料の磁気光学特性、非相反光学特性、非線形光学特性等を測定する際に、試料の中を光が互いに反対方向に進むときの光学特性の相違を測定する必要があった。試料の中を、光を反対方向に進ませるためには、試料を置き換えたり、試料への入射部と出射部において光ファイバ等を付け替えたりする作業が必要であり、測定の迅速化及び高精度化ができないという欠点があった。

【0013】

また、従来のファラデー回転を測定する装置（図11参照）では、感度が悪いという問題があった。

【0014】

図12によれば、偏光子と検光子の偏光の角度が90度の角において、透過強度の1次微分係数は0である。これは偏光子と検光子の軸のなす角度による透過強度の変化が、非常に小さいということである。このことから、ファラデー回転を測定する従来の装置は、非常に測定感度が悪いといえる。従来の装置の感度は通常10-50mdegぐらいである。

【0015】

また、図11と同様、カー効果の測定装置（図14参照）についても、測定の感度が低いという欠点がある。感度が低い理由は、偏光子が直角になった時（図12参照）、通過した光の微分係数が0であるからと考えられる。

【0016】

また、磁気円二色性（MCD）を測定する装置の場合、光の波長が試料の吸収スペクトルの端に近い時のみ磁気円二色性の高信号が得られる。これが試料の磁気円二色性（MCD）測定によって得られる情報を制限しているという問題がある。

【0017】

本発明は、これらの問題を解決しようとするものであり、測定対象の試料の中を光が互いに反対方向に進む時の光学特性の相違を測定する装置及び方法を提供することを目的とする。また、測定対象の試料へ入射する光の偏光状態を切り替えて、進む時の光学特性の相違を測定する装置及び方法を提供することを目的とする。また、本発明は、磁気光学特性、非相反光学特性、非線形光学特性を高精度、高感度で測定することを可能とする装置及び方法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】

【0018】

本発明は、前記目的を達成するために、以下の特徴を有する。

(1) 光源と、検出器と、前記光源からの光を入力して前記光を試料へ出力し、前記試料からの光を入力して前記検出器へ出力する光スイッチであり、前記試料との光の入出力の接続状態を2つの状態間で切り替える光スイッチとを備えることを特徴とする光学的測定装置。

(2) 前記光スイッチは、前記光源からの光を入力する第1のポートと、前記検出器へ光を出力する第2のポートと、試料と光を送受するための第1の伝送路と接続する第3のポートと、試料と光を送受するための第2の伝送路と接続する第4のポートとを有し、前記第1のポートと前記第3のポートが接続されかつ前記第2のポートと前記第4のポートが接続された状態と、前記第1のポートと前記第4のポートが接続されかつ前記第2のポートと前記第3のポートが接続された状態を2つの状態間で切り替える光スイッチであることを特徴とする前記(1)記載の光学的測定装置。

(3) パルス発生器を備え、該パルス発生器により前記光スイッチがスイッチング制御さ

れることを特徴とする前記（１）又は（２）記載の光学的測定装置。

（４）第１の偏光子が、前記第１の伝送路と試料の間に配置され、第２の偏光子が、前記第２の伝送路と試料の間に配置されていることを特徴とする前記（２）又は（３）記載の光学的測定装置。

（５）第１の四分の一波長板が、前記第１の伝送路と試料の間に配置され、第２の四分の一波長板が、前記第２の伝送路と試料の間に配置されていることを特徴とする前記（２）乃至（４）のいずれか１項記載の光学的測定装置。

（６）前記第１の偏光子及び前記第２の偏光子は、少なくとも偏光軸が＋４５度又は－４５度の角度をなすことを特徴とする前記（４）又は（５）記載の光学的測定装置。

（７）前記第１の偏光子と試料の間に第１の四分の一波長板が配置され、かつ、前記第２の偏光子と試料の間に第２の四分の一波長板が配置されていることを特徴とする前記（４）記載の光学的測定装置。

（８）前記第１の偏光子、前記第１の四分の一波長板、前記第２の偏光子、及び前記第２の四分の一波長板の、偏光軸は、試料に入射する光が、前記光スイッチの切り替え時に、同じ偏光状態の光となるように設定され、前記切り替えにより、試料の磁化方向との関係が逆になることを特徴とする前記（７）記載の光学的測定装置。

（９）前記第１の偏光子、前記第１の四分の一波長板、前記第２の偏光子、及び前記第２の四分の一波長板の、偏光軸は、試料に入射する光が、前記光スイッチの切り替え時に、偏光状態が切り替えられるように、設けられていることを特徴とする前記（７）記載の光学的測定装置。

（１０）前記光学的測定装置は、磁気光学特性、非相反光学特性、非線形光学特性のいずれか１以上を測定する装置である前記（１）乃至（９）のいずれか１項記載の光学的測定装置。

（１１）前記光スイッチの切り替えにより、試料内を通過する光の向きを切り替えることを特徴とする前記（１）記載の光学的測定装置。

（１２）減衰器が、前記光スイッチと前記試料の間に配置され、前記試料に入射して透過する光の向きを切り替えることにより、試料に入射する光の強度を切り替えることを特徴とする前記（１１）記載の光学的測定装置。

（１３）前記光スイッチの切り替えにより、前記試料へ入力する偏光状態を切り替えることを特徴とする前記（１）記載の光学的測定装置。

（１４）磁気光学特性、非相反光学特性、非線形光学特性のいずれか１以上を測定する光学的測定方法であって、光源からの光を入力して前記光を試料へ出力し、前記試料からの光を入力して検出器へ出力する光スイッチを備え、前記光スイッチで、前記試料との光の入出力の接続状態を２つの状態間で切り替えることにより、試料へ入力する光の向き及び偏光状態のいずれか１以上を切り替えることを特徴とする光学的測定方法。

【発明の効果】

【００１９】

本発明の測定装置は、光スイッチを備える構成としたことにより、試料の中を光が互いに反対方向に進む時の光特性の相違を、迅速に、かつ高精度及び高感度で測定できる。即ち、光の伝搬する方向は、組み立てられた光回路のうちのいずれの素子や装置も変えることなく、例えば２×２光スイッチで切り替えられるので、反対方向に伝搬する２方向の光の特性のわずかな違いを高精度で測定できる。

【００２０】

また、本発明の測定装置は、光スイッチを備える構成としたことにより、試料に入射する光を切り替えられるので、該入射光の偏光状態等の相違による、試料の表面での反射光の光特性の相違を、迅速に、かつ高精度及び高感度で測定できる。

【００２１】

本発明の測定装置は、特に、磁気光学特性、非相反光学特性、非線形光学特性の測定において、高精度で高感度な測定に適する。

【００２２】

本発明の測定方法は、光スイッチを設けて切り替えることにより、試料の中を光が互いに反対方向に進むように切り替えできるので、磁気光学特性、非相反光学特性、非線形光学特性等を迅速にかつ高精度及び高感度で測定できる。

【0023】

また、本発明の測定方法は、光スイッチを設けて切り替えることにより、試料の表面に入射する光を、異なる偏光状態に切り替え可能であるので、入射光の相違による、試料の表面での反射光の光特性の相違を、迅速に、かつ高精度及び高感度で測定できる。偏光状態の異なる2つ状態間で切り替えとは、例えば右円偏光と左円偏光とを切り替えたり、直線偏光と円偏光を切り替えたりできることをいう。

【0024】

本発明の測定装置又は方法において、試料への入射及び出射の前後に配置される偏光子や四分の一波長板等を用いて、偏光の角度が+45度又は-45度になる時に微分係数が最大になることを利用する場合は、さらに、高精度で高感度の光学的測定が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】第1の実施形態の非相反損失特性を測定する装置を示す図。

【図2】第2の実施形態の非相反損失特性の測定する装置を示す図。

【図3】第3の実施形態のファラデー回転角測定用の装置を示す図。

【図4】第4の実施形態の磁気円二色性測定用の装置を示す図。

【図5】第4の実施形態の磁気円二色性測定用の装置における2方向の偏光状態を説明する図。

【図6】第5の実施形態の磁気円二色性測定用の別の装置を示す図。

【図7】第6の実施形態の非線形吸収特性を測定する装置を示す図。

【図8】第7の実施形態の装置を示す図。

【図9】第7の実施形態の装置を用いたカー効果の測定における、2方向の偏光状態を説明する図。

【図10】第7の実施形態の装置を用いた磁気円二色性測定における、2方向の偏光状態を説明する図。

【図11】従来のファラデー効果測定装置を示す図。

【図12】偏光子と検光子の偏光の角度の差と、透過光強度との関係を示す図。

【図13】従来の磁気円二色性測定装置を示す図。

【図14】従来のカー回転角を測定する装置を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0026】

本発明の実施形態の測定装置は、光スイッチを備え、該光スイッチにより光の伝搬する方向を切り替えて、互いに反対向きの光を試料に入射して、光特性を測定する。光の伝搬する方向は、組み立てられた光回路のうちのいずれの素子・装置も変えることなく、例えば、2×2光スイッチで変えられるので、反対方向に伝搬する2方向の光の特性のわずかな違いを高精度で測定できる。

【0027】

また、本発明の実施形態の測定装置では、該光スイッチにより光の伝搬する方向を切り替えることにより、試料に入射する光の偏光状態を切り替えて、試料の光特性を測定する。

【0028】

光スイッチは、主に光通信網で使用されるデバイスで、電気信号に変換することなく光信号のまま特定の信号を分岐したり行き先を切り替えたりできる。光スイッチでは入出力ポート数が複数あり、入力ポート数がN、出力ポート数がMの場合N×Mスイッチという。本実施形態では、互いに反対向きの進行方向になるように切り替える必要があるため、例えば2×2スイッチを用いる。

【0029】

本実施形態の光学的測定装置は、光源と、検出器と、前記光源からの光を入力する第1

のポートと、前記検出器へ光を出力する第2のポートと、試料と光を送受するための第1の伝送路と接続する第3のポートと、試料と光を送受するための第2の伝送路と接続する第4のポートとを有する光スイッチとを備える。前記光スイッチは、前記第1のポートと前記第3のポートが接続されかつ前記第2のポートと前記第4のポートが接続された状態と、前記第1のポートと前記第4のポートが接続されかつ前記第2のポートと前記第3のポートが接続された状態と、を切り替える光スイッチである。

第1及び第2の伝送路は、例えば光ファイバや導波路等である。

【0030】

(第1の実施形態)

本実施形態は、非相反損失特性を測定する測定装置及び方法に関する。本実施形態について、図1を参照して説明する。図1は、非相反損失特性を測定するために組み立てられた光回路である。図1の測定装置は、光源1と、光スイッチ4と、検出器3を備える。検出器3は例えば光検出器であり、光スイッチ4は例えば2×2光ファイバスイッチである。図1(a)と図1(b)は、光スイッチの2つの状態を示している。光源と光検出器は、2×2光ファイバスイッチの同じ側に接続されている。2×2ファイバ光スイッチのもう一方の側に、試料2の一方の面と反対方向の面が、光ファイバとファイバコリメータを介して接続されている。試料2の一方の面と反対方向の面に位置するファイバコリメータは、ファイバからの出射光をレンズで平行光にしたり、平行ビームをファイバに入射させたりするための部品である。2×2光ファイバスイッチの2つの状態は、光が入射する方向が反対方向である以外は全く同じ状態である。試料2中に矢印で示したように、図1(a)では、光の伝搬は上から下に、図1(b)では、下から上である。2×2光ファイバスイッチの2つの状態で検出される光の相違は、試料を通過する互いに反対方向の光の吸収の差に対応しており、即ち、試料の非相反吸収に対応している。

【0031】

(第2の実施形態)

本実施形態は、第1の実施形態の動作原理と同様であり、さらに光スイッチのスイッチングを制御する機構を付加した、非相反損失特性の測定装置及び方法に関する。本実施形態について、図2を参照して説明する。図2は、ロックインアンプを使用した非相反損失の測定をする光回路である。図2の測定装置は、光源1と、光スイッチ4と、検出器3とを、第1の実施形態と同様に備え、さらに、ロックインアンプ(Lock-in Amplifier)5と、パルス発生器(Pulse Generator)6とを、備える。パルス発生器6により発生した連続した電気パルスは、2×2光ファイバスイッチを動作させ、2つの状態を交互に生成する。また、この電気パルスはロックインアンプの基準信号として使用する。ロックインアンプを使用して、ロックイン技術により、特定の信号のみを検出器により検出する。検出された信号は、2×2光ファイバスイッチが2つの状態を交互に生成する周波数に変調したものである。この変調された光信号の強度は、試料の非相反損失値に比例する。ロックインアンプによりこの変調した周波数を、高感度、高精度で測定できる。

【0032】

(第3の実施形態)

本実施形態は、第2の実施形態と同様である装置に、さらに試料の光の入射部及び出射部に2つの偏光子を配置した、ファラデー回転角測定用の装置及び方法に関する。本実施形態について、図3を参照して説明する。図3は、ファラデー回転を測定する光回路である。図3の測定装置は、光源1と、光スイッチ4と、検出器3と、ロックインアンプ5と、パルス発生器6とを、第2の実施形態と同様に備え、さらに、試料の光入射面と出射面に2つの偏光子(P1、P2)とを備える。本実施形態では、2個の偏光子の偏光角は45度異なる。即ち、2個の偏光子の偏光軸の角度は45度である。2個の偏光子の間の角度が45度であることによって、ファラデー回転角を高精度かつ高感度で測定できる。その理由を簡単に説明する。ファラデー効果は非相反効果であるので、偏光は、光が入ってくるのが、反対方向から入って来るときは、反対方向に回転する。例えば、光の入って来る

方向が図示上からの方向の時は、ファラデー回転は+で、偏光子における光の偏光は45度以上であり、検出された信号は小さい(図12参照)。一方、光の入って来る方向が図示下からの方向の時は、ファラデー回転は-で、偏光子における光の偏光は45度以下であり、検出された信号は大きい。2個の偏光子を通過した光曲線の、45度及び-45度における微分値が一番大きいからである。

また、ロックインアンプで、互いに反対方向の進む光の違いを検出することで、高精度かつ高感度でファラデー回転角を測定できる。

【0033】

(第4の実施形態)

本実施形態は、磁気円二色性(MCD)測定用の装置及び方法に関する。本実施形態では、第3の実施形態と同様である装置に、さらに試料の光入力部及び光出力部に、それぞれ四分の一波長板を配置した。本実施形態について、図4を参照して説明する。

図4は、MCDを測定する光回路を示している。図の光回路は、試料と偏光子(P1、P2)の間に2個の四分の一波長板(QW1、QW2)を挿入したこと以外は、図3に示した光回路と同じである。2個の偏光子の偏光軸は同じ軸上である。2個の四分の一波長板の軸の間の角度は90度である。偏光子と四分の一波長板の軸の間の角は45度(又は-45度)である。例えば、QW1とP1は45度の違い、QW2とP2は-45度の違いである。

【0034】

図5は、図4の装置を用いる場合の、互いに反対向きの伝播方向における光の偏光状態を説明したものである。P1、QW1から試料を介してQW2、P2に向かう伝播方向を上段に記載し、便宜上、順方向(forward direction)と呼び、その反対方向を下段に記載し、逆方向(backward direction)と呼ぶ。図5の上下各段の上部に、偏光のx成分とy成分の位相の様子を示し、下部に、z軸に沿って光が伝播するときの偏光ベクトルを示す。順方向では、z軸は紙面から手前(viewer)向き、逆方向では、z軸は手前(viewer)から紙面に向いている。

【0035】

図5において、2つの偏光子(P1、P2)の軸はx軸に対してそれぞれ45度である。四分の一偏光板QW1の低速軸はy軸であり、四分の一偏光板QW2の低速軸はx軸である。図上段に示す順方向について説明する。順方向では、偏光子P1の後、光は直線偏光である。偏光のx成分とy成分は同じであり、位相も同じである。四分の一波長板QW1の後、偏光のx成分はy成分より90度進み、偏光は右円偏光である。右円偏光の光は試料を通過する。四分の一波長板QW2を通過後、偏光のx成分及びy成分は位相が同じであり、偏光は直線偏光である。偏光方向は、偏光子P2の偏光軸に沿い、光は偏光子P2をブロッキングされることなく通過する。

【0036】

図下段に示す逆方向について説明する。逆方向では、偏光子P2を通過した後の光は、直線偏光である。偏光のx成分とy成分は等しく、その位相は逆位相である。これは、x成分がy成分より180度進んでいることを意味する。四分の一波長板QW2を通過後、偏光のx成分は、90度遅くなり、y成分より90度進んだ状態になる。光の偏光は右円偏光である。右円偏光の光は試料を通過する。四分の一波長板QW1の後、y成分が遅れる。偏光のx成分とy成分は、逆位相となり、偏光は直線偏光になる。偏光の方向は、偏光子P1に沿い、光はブロッキングされることなく偏光子P1を通過する。

【0037】

よって、図4の装置によれば、図5に示すように、右円偏光の光が、試料内を順方向と逆方向に光が伝播する際の、吸収の違いを測定することができる。

【0038】

なお、物質の磁気円二色性は、次に挙げる3つの方法で測定できる。

第1の方法は、物質の磁化と光の伝播方向は一定で、光の回転方向のみ変化させる方法である。例えば、光を磁化方向に伝播し、左円偏光と右円偏光の吸収の違いを測定する。

第2の方法は、光の回転方向と光の伝播方向は一定で、物質の磁化を変化させる方法である。例えば、試料を、光伝播方向と同じ方向か、光伝播方向と逆方向に、磁化させたときの、右円偏光の光の吸収の違いを測定する。

第3の方法は、光の回転方向と物質の磁化は一定で、光の伝播方向を変化させる方法である。例えば、光の伝播方向が、試料の磁化方向と同じ方向である場合と反対方向である場合のときの、右円偏光の光の吸収の違いを測定する。

【0039】

図4の装置では、第3の方法を用いている。

【0040】

以上のように、本実施形態によれば、高精度かつ高感度でMCDを測定することができる。本実施形態では、試料の両側に、偏光子と四分の一波長板が試料の両端に配置され、複数の偏光子の軸と複数の四分の一波長板の軸は、円偏光の光が試料を通過するように配置されている。

【0041】

(第5の実施形態)

本実施形態は、第4の実施形態と一部構成の異なる、MCDを測定する装置及び方法に関する。本実施形態について、図6を参照して説明する。図6の測定装置は、偏光光源1と、偏光維持ファイバと、光スイッチ4と、四分の一波長板(QW1、QW2)と、検出器3とを備え、さらに、ロックインアンプ5と、パルス発生器6とを、備える。パルス発生器6により発生した連続した電気パルスは、2×2光ファイバスイッチ4を動作させ、2つの状態を交互に生成する。ロックインアンプ5を使用して、ロックイン技術により、試料からの光を検出器3により検出する。四分の一波長板(QW1、QW2)は、それぞれコリメーターと試料2の間に挿入されている。入力/出力ファイバの軸と四分の一波長板の軸の角度が45度回転している時は、左円偏光の吸収は高精度で測定できる。また、この角度が-45度の時は、右円偏光の吸収は高精度で測定できる。この角度が試料の一つの面で+45度で、もう一つ面で-45度の時は、左円偏光と右円偏光の吸収の差を測定できる。

【0042】

図13と図3の光回路に比べ、本実施形態の光回路の利点は、左円偏光と右円偏光の吸収が各々、別々に高精度で測定できることである。図13と図3の光回路では、左円偏光と右円偏光の吸収の差のみが観測できる。

【0043】

(第6の実施形態)

本実施形態は、非線形吸収特性を測定する装置及び方法に関する。本実施形態について、図7を参照して説明する。図7は、非線形吸収を測定する光回路である。図7の測定装置は、光源1と、光スイッチ4と、検出器3とを、第1の実施形態と同様に備え、さらに、減衰器(Attenuator)7を備える。減衰器7は試料の一方の側と光スイッチの間に挿入されている。図7の(a)と(b)は、光スイッチ4の2つの状態を示している。

【0044】

図7(a)のように、光スイッチ4の一つの状態では、光が減衰器7を通過してから試料2を通過する。図7(b)のように、光スイッチの別の状態では、光が試料2を通過してから減衰器7を通過する。図7(a)(b)の光スイッチの2つの状態で、強度の違う光が試料を通過する。それに対して、図7の(a)(b)では、パルス振幅を図示したように、検出器3では光スイッチの2つの状態で光の強度はほぼ同じである。その理由は、光スイッチの2つの状態で、光は、光源から出て同じ光素子を通り、検出器に行くからである。ここで、試料の吸収が光の強度に依存しない場合、検出器の光の強度は光スイッチの2つの状態では完全に同じである。試料の吸収が光の強度に依存する場合は、検出器における光の強度は光スイッチの2つの状態では小さな差がみられる。

【0045】

この小さな差は、図2のように、ロックインアンプを使用して、高精度で測定でき、試

料の非線形吸収が測定できる。また、減衰器として、可変減衰器を使用する場合は、非線形吸収の光強度依存性が測定できる。

【0046】

(第7の実施形態)

本実施形態は、反射モードにおける磁気カー回転の測定及びMCDの測定のための装置及び方法に関する。本実施形態について、図8を参照して説明する。図8は、カー回転角又はMCDを測定する光回路である。

【0047】

図8の測定装置は、光源1と、光スイッチ4と、検出器3とを、第1の実施形態と同様に備え、さらに、ロックインアンプ5と、パルス発生器6とを備え、さらに、第1の偏光子P1、第1の四分の一波長板QW1、ハーフミラー8、対物光学系9、第2の四分の一波長板QW2、第2の偏光子P2を備える。

【0048】

本実施形態の光回路は、図14に示された従来の光回路と似ているが、本実施形態の光回路では、光スイッチ4が、試料2と検出器3との間に、かつ試料2と光源1との間に、設けられている点が大きく異なる。また、ロックインアンプを使用することにより、従来の光回路に比べて、カー回転角やMCDが高精度かつ高感度で測定できる。

【0049】

図8の測定装置では、複数の偏光子と複数の四分の一波長板が、ファイバコリメータの後に挿入されている。

【0050】

光が金属により反射される時、光の一部は吸収される。この場合、金属が磁性体であったり、外部磁場が印加されているとき、反射後、左偏光又は右偏光の吸収が異なる。この効果は、反射モードのMCD効果と呼ばれる。図8の装置において、MCD効果を測定する場合は、2つの偏光子(P1、P2)の偏光軸の角を90度として設定する。また、2つの四分の一波長板(QW1、QW2)の軸の方向は同じに設定し、また、偏光子と四分の一波長板の偏光軸の角度は、45度に設定する。

【0051】

図8の装置において、カー回転角を計測する場合は、四分の一波長板QW1と四分の一波長板QW2の軸の角度は、45度に設定する。2つの偏光子(P1、P2)の偏光軸の角度は同じに設定する。

【0052】

図9は、図8の装置を用いて、反射モードのカー効果測定を行う場合の、互いに反対向きの伝播方向における光の偏光状態を説明したものである。P1、QW1から試料を介してQW2、P2に向かう伝播方向を上段に記載し、便宜上、順方向(forward direction)と呼び、その反対方向を下段に記載し、逆方向(backward direction)と呼ぶ。図9の上下各段の上部に、偏光のx成分とy成分の位相の様子を示し、下部に、z軸に沿って光が伝播するときの偏光ベクトルを示す。

【0053】

順方向では、z軸の向きは、反射前は紙面から手前(viewer)向きであり、反射後は手前(viewer)から紙面へ向いている。x1軸とy1軸は、それぞれx軸とy軸に対して45度回転した軸である。四分の一波長板QW1と四分の一波長板QW2の軸間の角度は、45度である。2つの偏光子(P1、P2)の偏光角度は同じである。

【0054】

図9は、カー回転がない場合のシンプルなケースを示す図である。

光の伝播方向が順方向の場合について説明する。順方向では、偏光子P1通過後の光は、x成分とy成分の振幅が同じ直線偏光である。x成分とy成分は同位相である。四分の一波長板QW1の後、光は右円偏光になる。試料での通常の反射の後、光の偏光は左円偏光に変わる。x1軸とy1軸は、四分の一波長板QW2のそれぞれ低速軸と高速軸になる。四分の一波長板QW2を光が通過すると、光の偏光は直線偏光になり、偏光子P1とP2

の偏光角度に対してそれぞれ45度になる。よって、半分の光のみが偏光子2を通過する。

【0055】

光の伝播方向が逆方向の場合について説明する。逆方向では、偏光子P2通過後、光の偏光は、直線偏光で、y1軸に沿っている。光の偏光方向は、四分の一波長板QW2によって変化することはなく、入射光と反射光は直線偏光である。偏光のx軸とy軸の振幅は、同じである。四分の一波長板QW1の後、光の偏光は、右円偏光になる。半分の光のみが偏光子P1を通過する。

【In the backward direction, after polarizer 2 the polarization of light is linear and it is along the y1- axis. 【反対方向 (backward direction) について述べる。反対方向では、偏光子2通過後、光の偏光は、直線偏光で、y1軸に沿っている。 the polarization of light does not change by the quarter wave-plate 2 and the incident and reflected light is linearly polarized. 【y1軸が四分の一波長板2の低速軸であるので、光の偏光方向は、四分の一波長板QW2によって変化することはなく、入射光と反射光は直線偏光である。】 The amplitude of x- and y- components of polarization is the same. 【偏光のx軸とy軸の振幅は、同じである】 After the quarter wave-plate 1, the polarization of light becomes right-circular. 【四分の一波長板QW1の後、光の偏光は、右円偏光になる】 Only a half of light passes the polarizer 1. 【半分の光のみが偏光子P1を通過する。】】

【0056】

上述のように、カー回転がない場合、出力光の強度は、順方向及び逆方向のどちらも同じであり、入力光の強度の半分である。図8の装置の例では、それぞれ反対向きの方向の間での光強度の相違を計測するので、試料によるカー回転がないと、相違がない。

【0057】

試料によるカー回転がある場合、順方向と逆方向とで、計測された光の強度に差がある。順方向の場合、円偏光は試料で反射される。カー回転は検出強度に影響を与えない。なぜなら、既に回転している偏光は、追加のカー回転により偏光が変わらないからである。しかし、逆方向の場合は、異なり、出力光の強度はカー回転角に依存する。例えば、反射後、x軸に向かって偏光が回転したら、偏光のy成分はより小さくなる。そのため、四分の一波長板QW1の後、偏光は楕円偏光になる。その結果、出力光の強度は弱くなる。

【0058】

図10は、図8の装置を用いて、反射モードのMCD測定を行う場合の、互いに反対向きの伝播方向における光の偏光状態を説明したものである。図の上段に示した順方向の場合、試料への入射光は右円偏光である。図の下段に示した逆方向の場合、入射光は左円偏光である。図10に示すように、図8の装置で、試料への入射光が、左円偏光と右円偏光の違いによる光強度の差を計測する。2つの偏光子(P1、P2)の偏光軸間の角度は90度である。図中、P1が偏光軸45度、P2が偏光軸-45度である。また、2つの四分の一波長板(QW1、QW2)の偏光軸は同じである。

【0059】

以上、実施形態では、非相反損失特性の測定、ファラデー回転角の測定、光磁気円二色性(MCD)の測定、非線形吸収特性の測定、カー回転角の測定について説明したが、本実施形態で示した測定装置は、光スイッチにより、試料への光の入力を切り替える測定に用いることができる。

【0060】

なお、前記実施形態等で示した例は、発明を理解しやすくするために記載したものであり、この形態に限定されるものではない。

【符号の説明】

【0061】

1 光源

- 2 試料
- 3 検出器
- 4 光スイッチ
- 5 ロックインアンプ
- 6 パルス発生器
- 7 減衰器
- 8 ハーフミラー
- 9 対物光学系
- 1 1 偏光光源
- 1 2 偏光子
- 1 3 検光子
- 1 4 光弾性変調器
- P 1 第 1 の偏光子
- P 2 第 2 の偏光子
- QW 1 第 1 の四分の一波長板
- QW 2 第 2 の四分の一波長板

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

光源と、
検出器と、

前記光源からの光を入力して前記光を試料へ出力し、前記試料からの光を入力して前記検出器へ出力する光スイッチであり、前記試料との光の入出力の接続状態を 2 つの状態間で切り替える光スイッチとを備えることを特徴とする光学的測定装置。

【請求項 2】

前記光スイッチは、

前記光源からの光を入力する第 1 のポートと、前記検出器へ光を出力する第 2 のポートと、試料と光を送受するための第 1 の伝送路と接続する第 3 のポートと、試料と光を送受するための第 2 の伝送路と接続する第 4 のポートとを有し、前記第 1 のポートと前記第 3 のポートが接続されかつ前記第 2 のポートと前記第 4 のポートが接続された状態と、前記第 1 のポートと前記第 4 のポートが接続されかつ前記第 2 のポートと前記第 3 のポートが接続された状態を 2 つの状態間で切り替える光スイッチであることを特徴とする請求項 1 記載の光学的測定装置。

【請求項 3】

パルス発生器を備え、該パルス発生器により前記光スイッチがスイッチング制御されることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の光学的測定装置。

【請求項 4】

第 1 の偏光子が、前記第 1 の伝送路と試料の間に配置され、第 2 の偏光子が、前記第 2 の伝送路と試料の間に配置されていることを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の光学的測定装置。

【請求項 5】

第 1 の四分の一波長板が、前記第 1 の伝送路と試料の間に配置され、第 2 の四分の一波長板が、前記第 2 の伝送路と試料の間に配置されていることを特徴とする請求項 2 乃至 4 のいずれか 1 項記載の光学的測定装置。

【請求項 6】

前記第 1 の偏光子及び前記第 2 の偏光子は、少なくとも偏光軸が + 45 度又は - 45 度の角度をなすことを特徴とする請求項 4 又は 5 記載の光学的測定装置。

【請求項 7】

前記第 1 の偏光子と試料の間に第 1 の四分の一波長板が配置され、かつ、前記第 2 の偏

光子と試料の間に第2の四分の一波長板が配置されていることを特徴とする請求項4記載の光学的測定装置。

【請求項8】

前記第1の偏光子、前記第1の四分の一波長板、前記第2の偏光子、及び前記第2の四分の一波長板の、偏光軸は、試料に入射する光が、前記光スイッチの切り替え時に、同じ偏光状態の光となるように設定され、前記切り替えにより、試料の磁化方向との関係が逆になることを特徴とする請求項7記載の光学的測定装置。

【請求項9】

前記第1の偏光子、前記第1の四分の一波長板、前記第2の偏光子、及び前記第2の四分の一波長板の、偏光軸は、試料に入射する光が、前記光スイッチの切り替え時に、偏光状態が切り替えられるように、設けられていることを特徴とする請求項7記載の光学的測定装置。

【請求項10】

前記光学的測定装置は、磁気光学特性、非相反光学特性、非線形光学特性のいずれか1以上を測定する装置である請求項1乃至9のいずれか1項記載の光学的測定装置。

【請求項11】

前記光スイッチの切り替えにより、試料内を通過する光の向きを切り替えることを特徴とする請求項1記載の光学的測定装置。

【請求項12】

減衰器が、前記光スイッチと前記試料の間に配置され、前記試料に入射して透過する光の向きを切り替えることにより、試料に入射する光の強度を切り替えることを特徴とする請求項11記載の光学的測定装置。

【請求項13】

前記光スイッチの切り替えにより、前記試料へ入力する偏光状態を切り替えることを特徴とする請求項1記載の光学的測定装置。

【請求項14】

磁気光学特性、非相反光学特性、非線形光学特性のいずれか1以上を測定する光学的測定方法であって、

光源からの光を入力して前記光を試料へ出力し、前記試料からの光を入力して検出器へ出力する光スイッチを備え、

前記光スイッチで、前記試料との光の入出力の接続状態を2つの状態間で切り替えることにより、試料へ入力する光の向き及び偏光状態のいずれか1以上を切り替えることを特徴とする光学的測定方法。

【書類名】要約書

【要約】

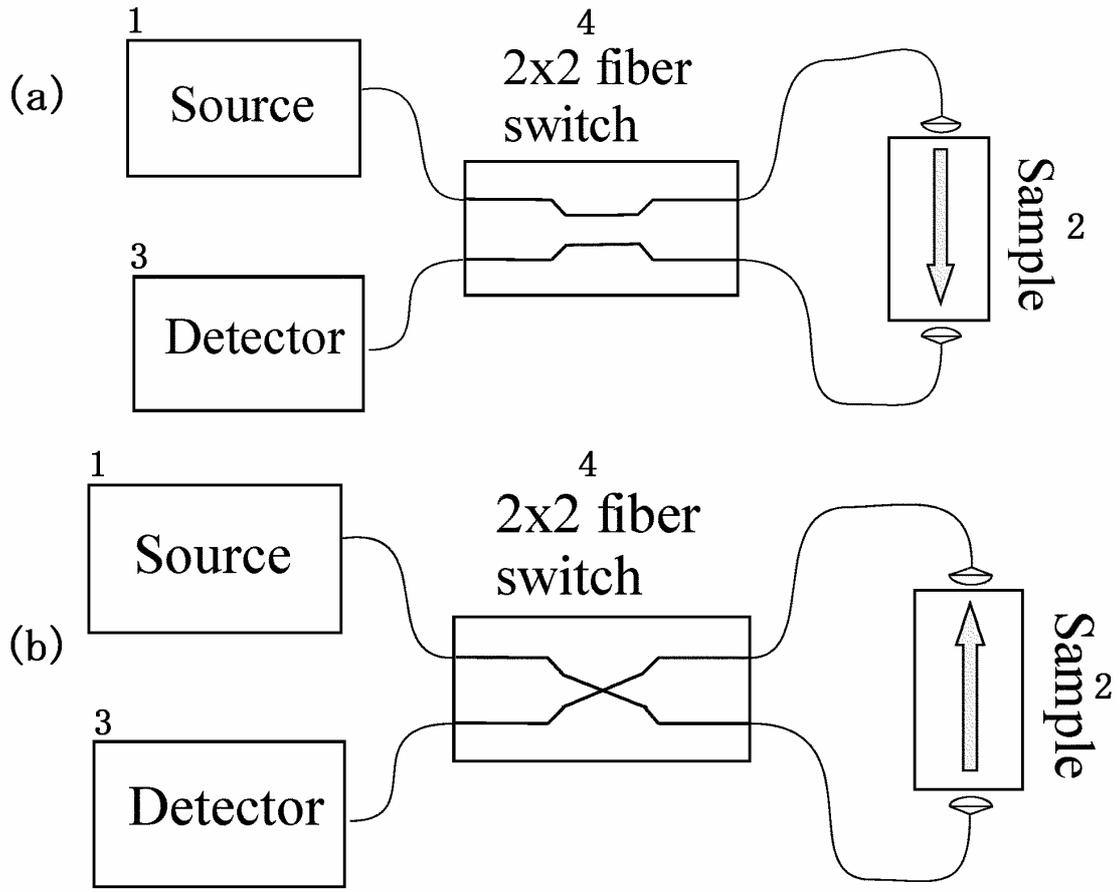
【課題】調査対象の試料の、磁気光学特性、非相反光学特性、非線形光学特性のいずれか1以上の測定を、迅速に、かつ高感度で高精度に実現できる光学的測定装置及び光学的測定方法を提供する。

【解決手段】磁気光学特性、非相反光学特性、非線形光学特性のいずれか1以上を測定する光学的測定方法又は装置において、光源からの光を入力して光を試料へ出力し、試料からの光を入力して検出器へ出力する光スイッチを備え、光スイッチで、試料との光の入出力の接続状態を2つの状態間で切り替えることにより、試料へ入力する光の向き及び偏光状態のいずれか1以上を切り替える。

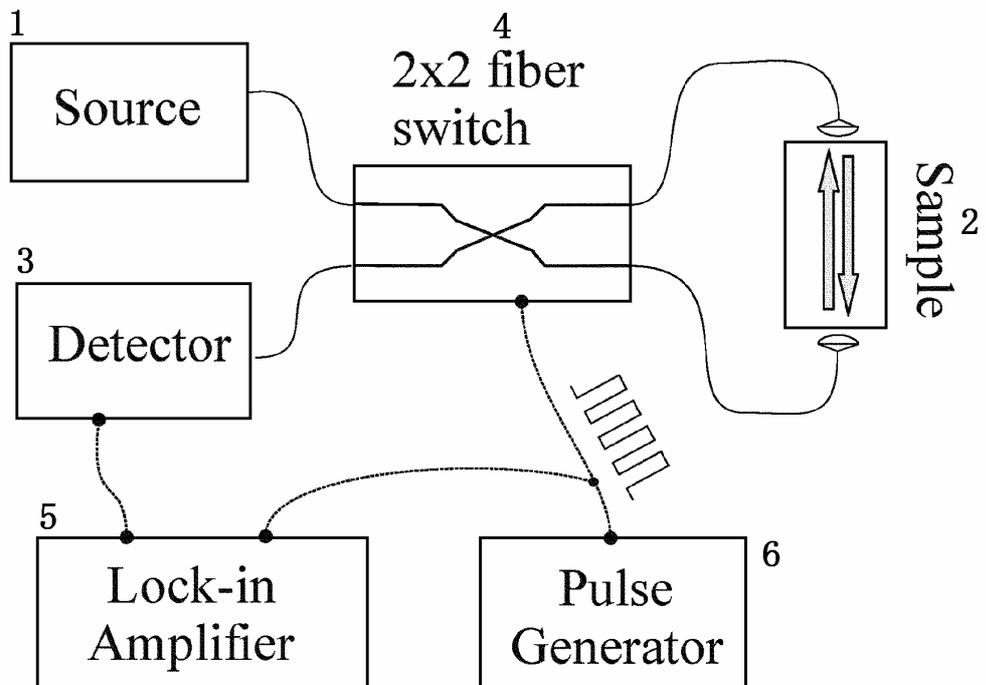
【選択図】図1

【書類名】図面

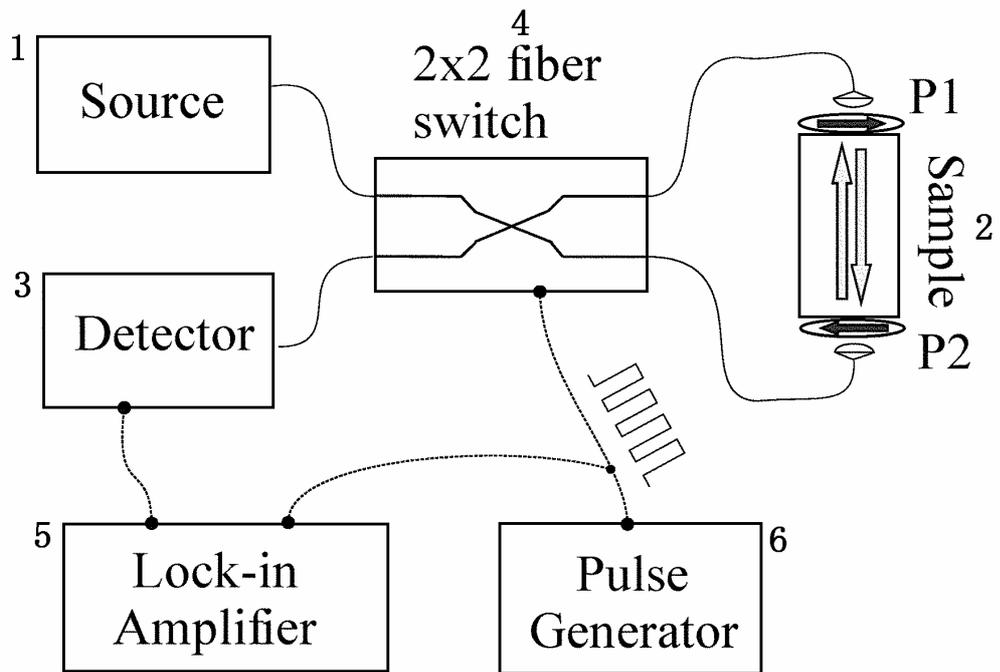
【图 1】 (元 Fig 5)



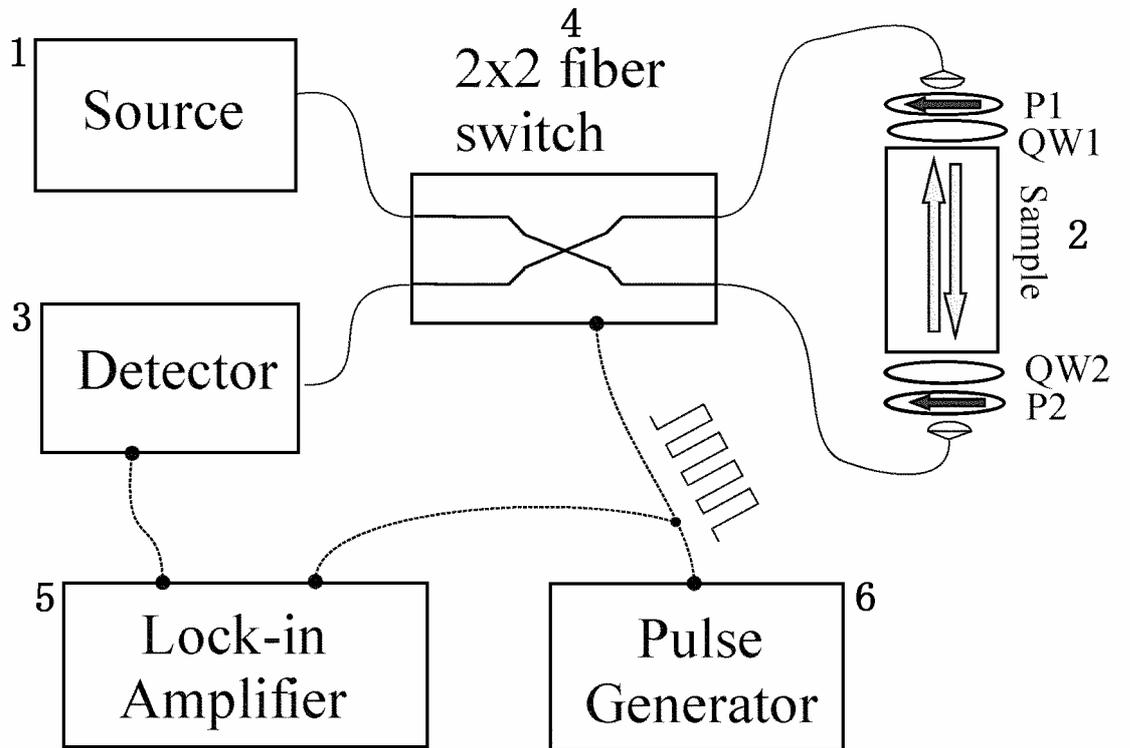
【图 2】 (元 Fig 6)



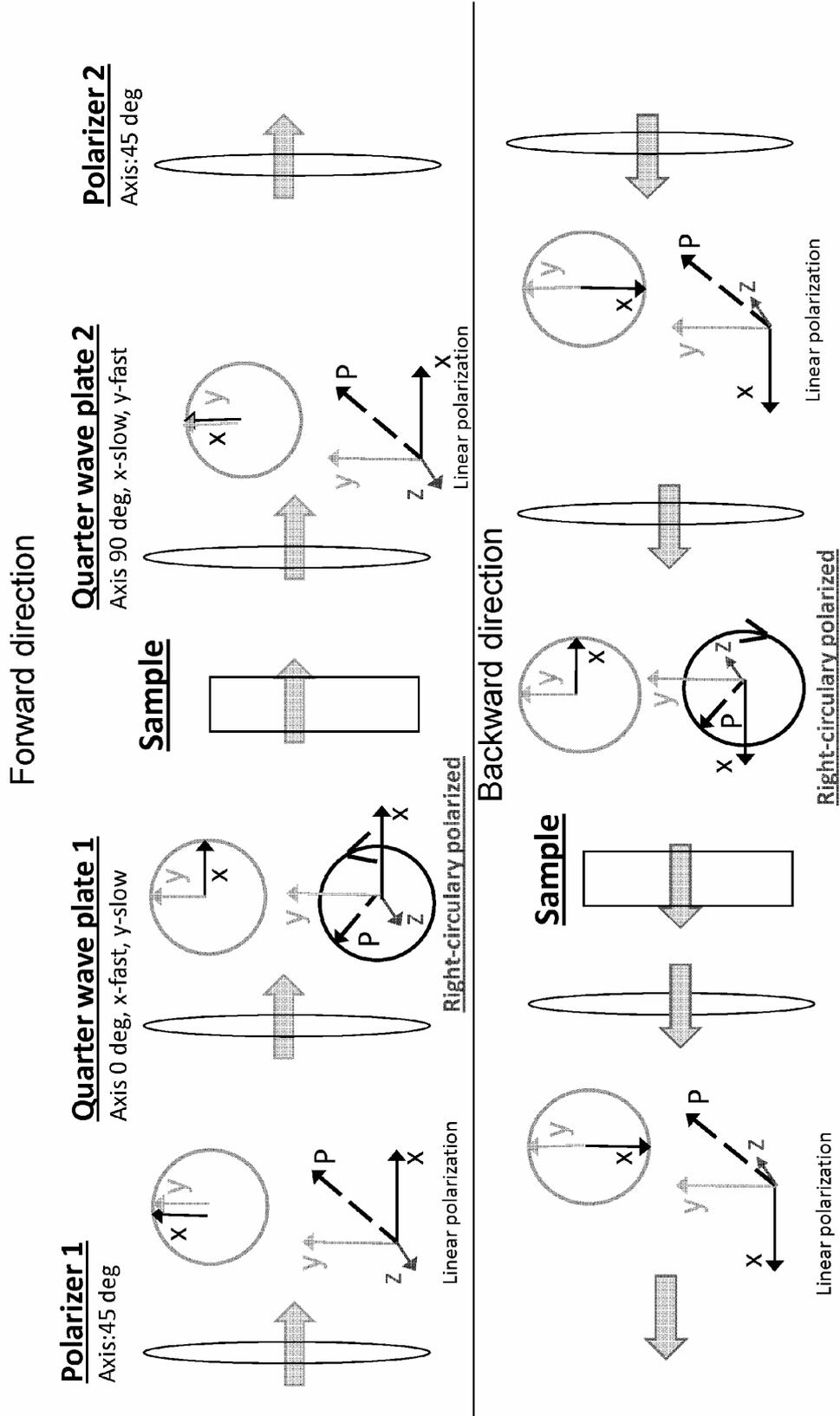
【图3】 (元 Fig 7)



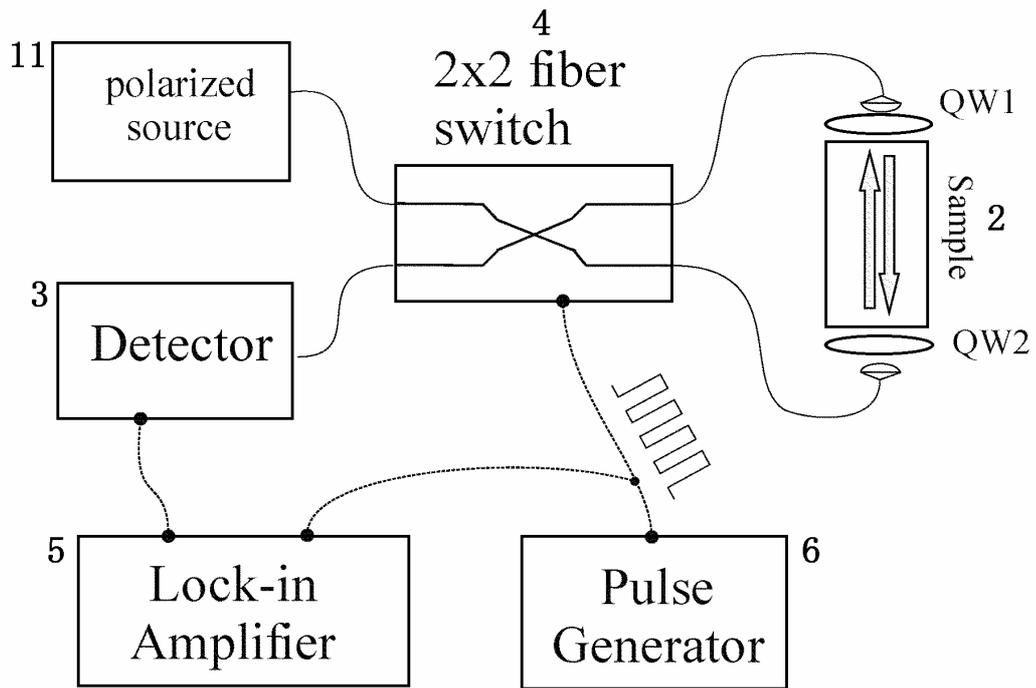
【图4】 (元 Fig 8)



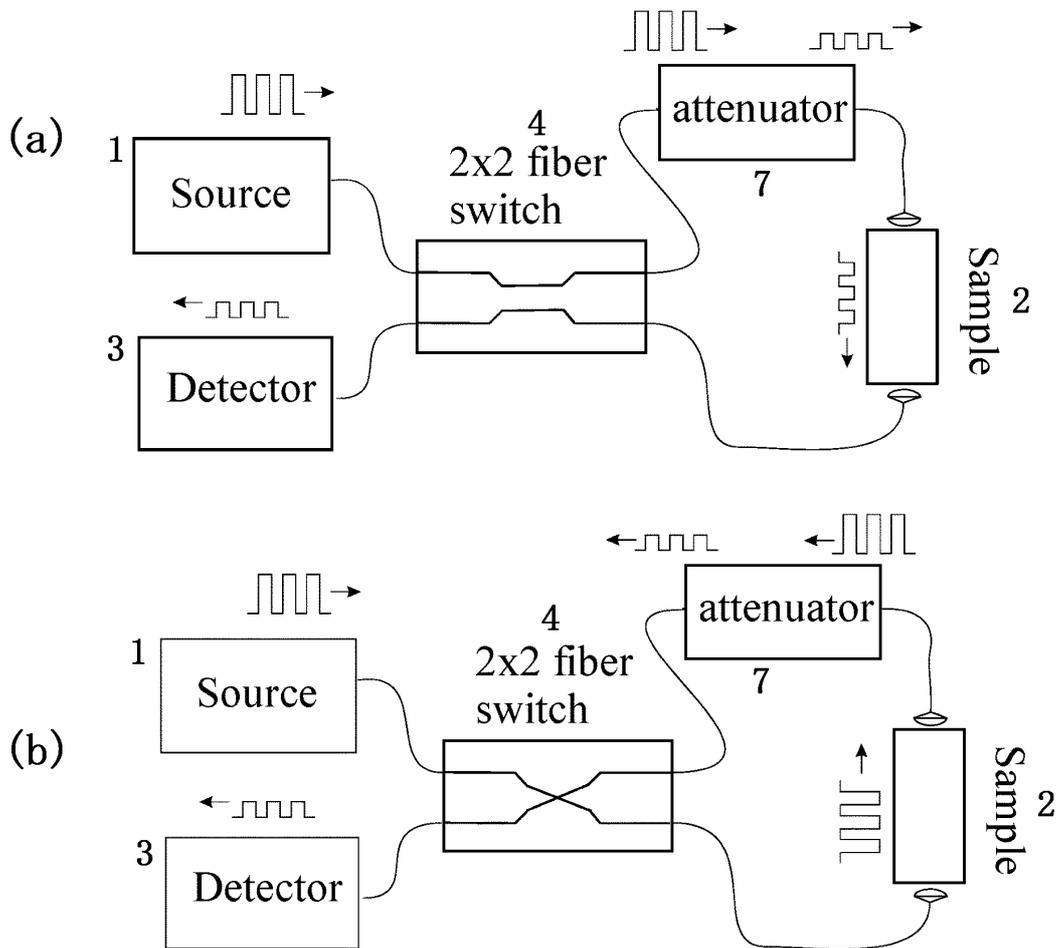
【图 5】 (元 Fig 8 a)



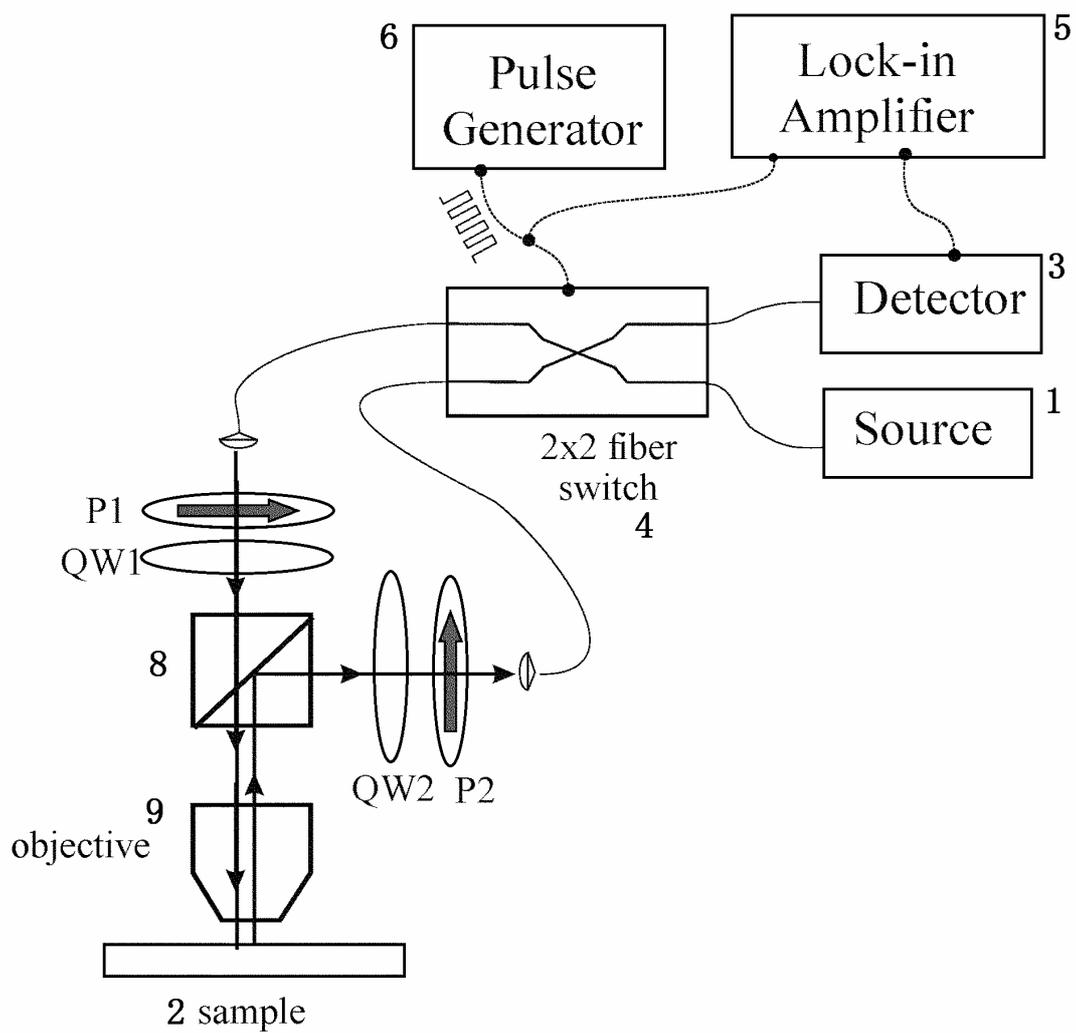
【图6】 (元 Fig 9)



【图7】 (元 Fig 10)

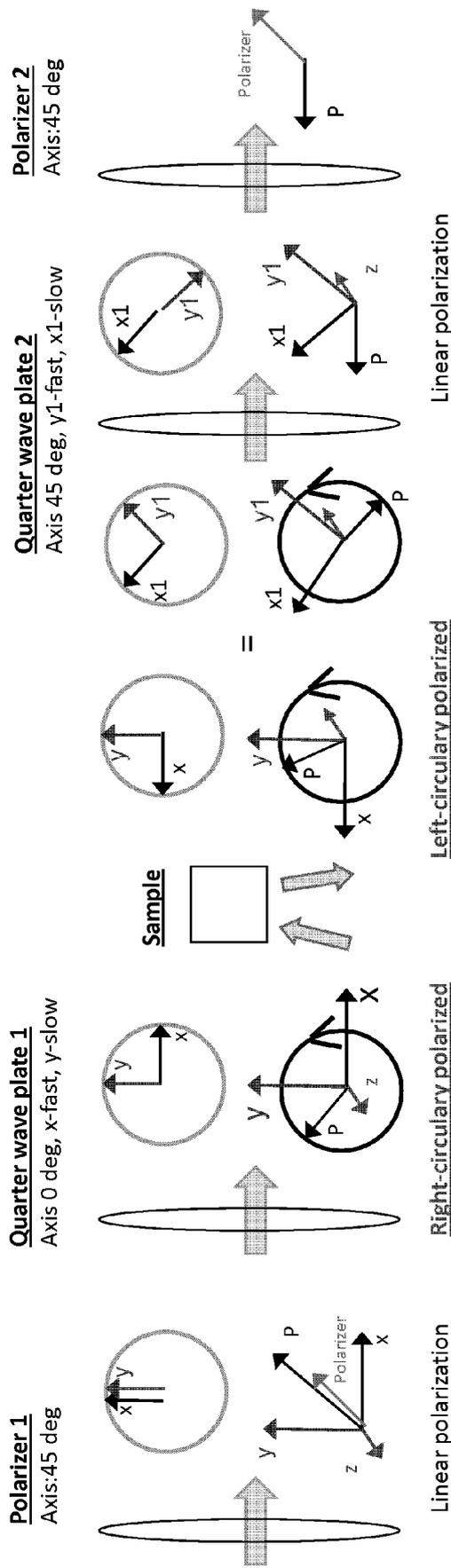


【图8】(元 Fig 11)

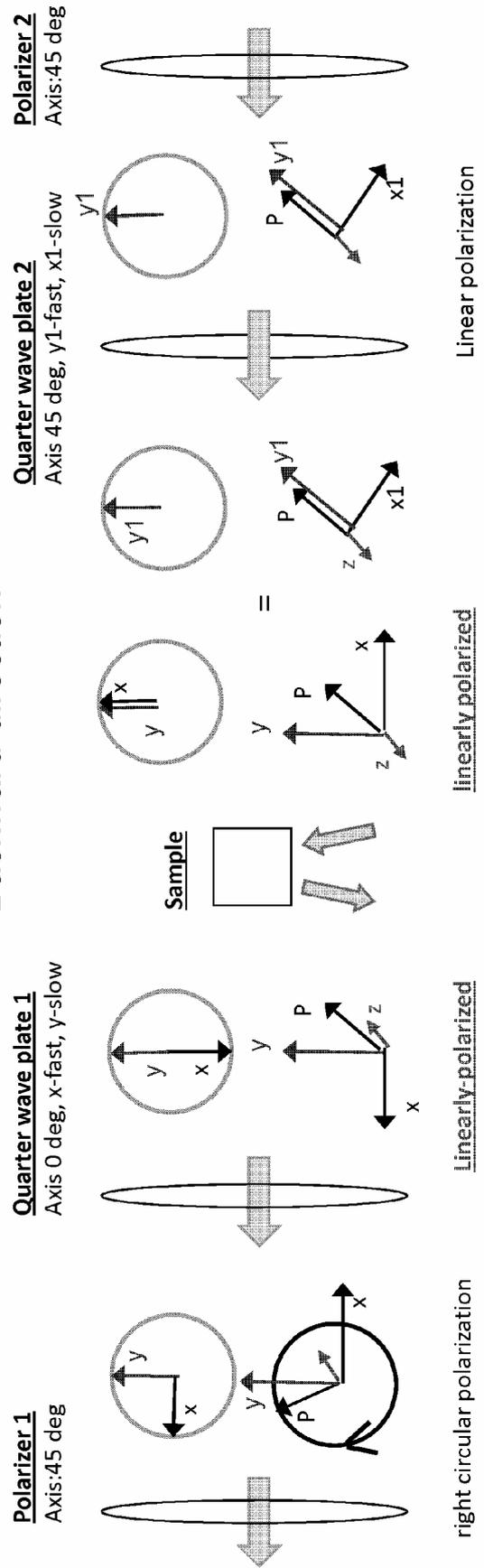


【图9】 (元 Fig11 a)

Forward direction

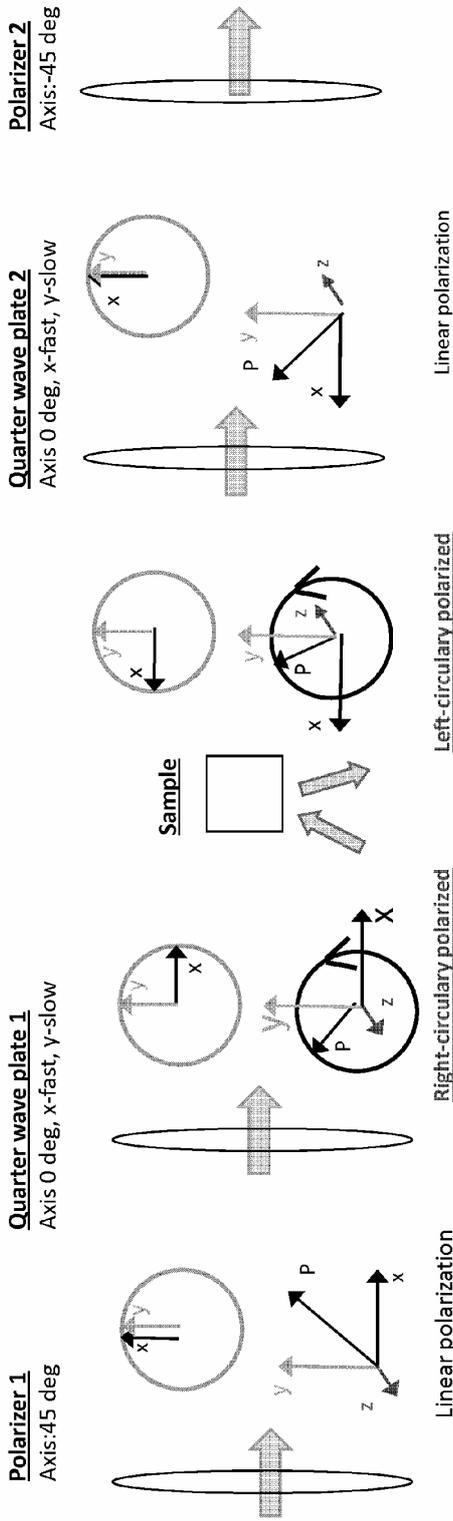


Backward direction

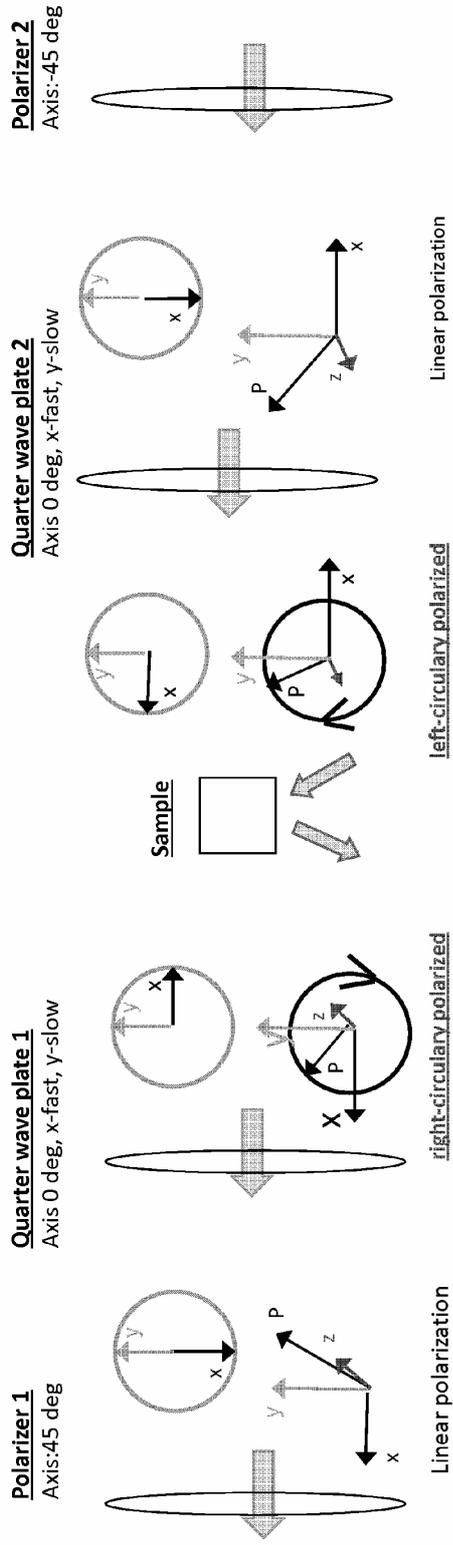


【图 1 0】 (元Fig1 1 b)

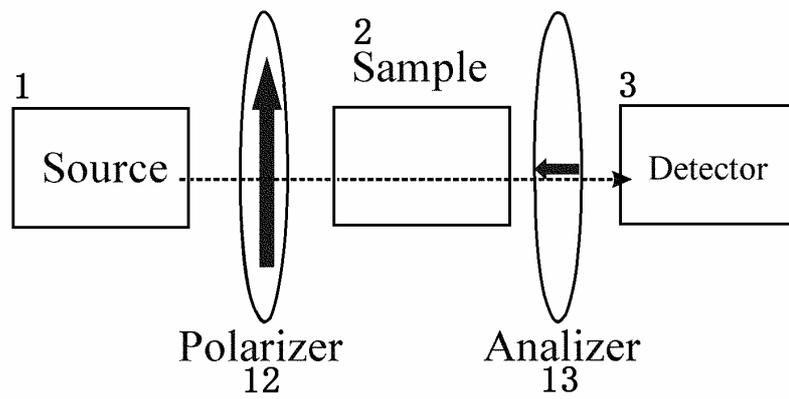
Forward direction



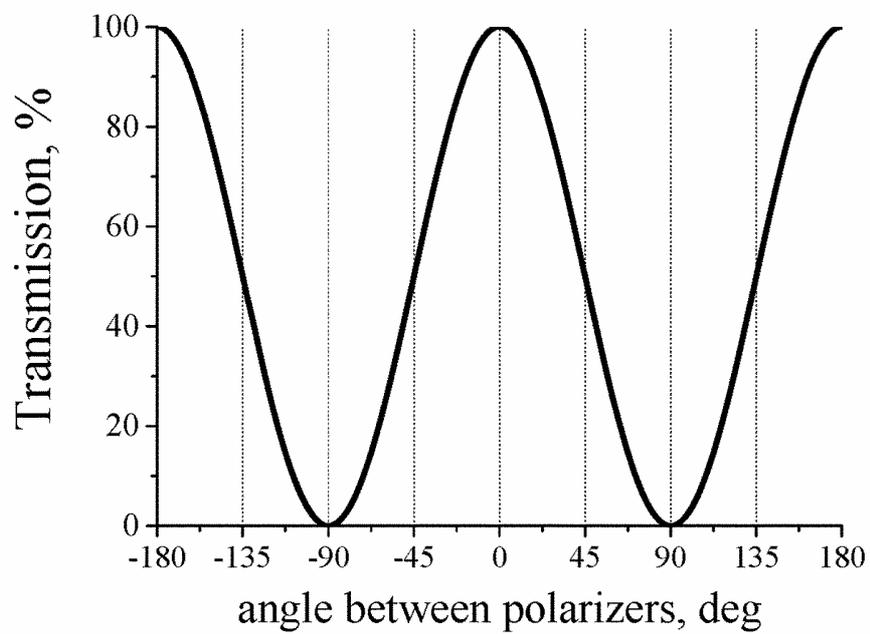
Backward direction



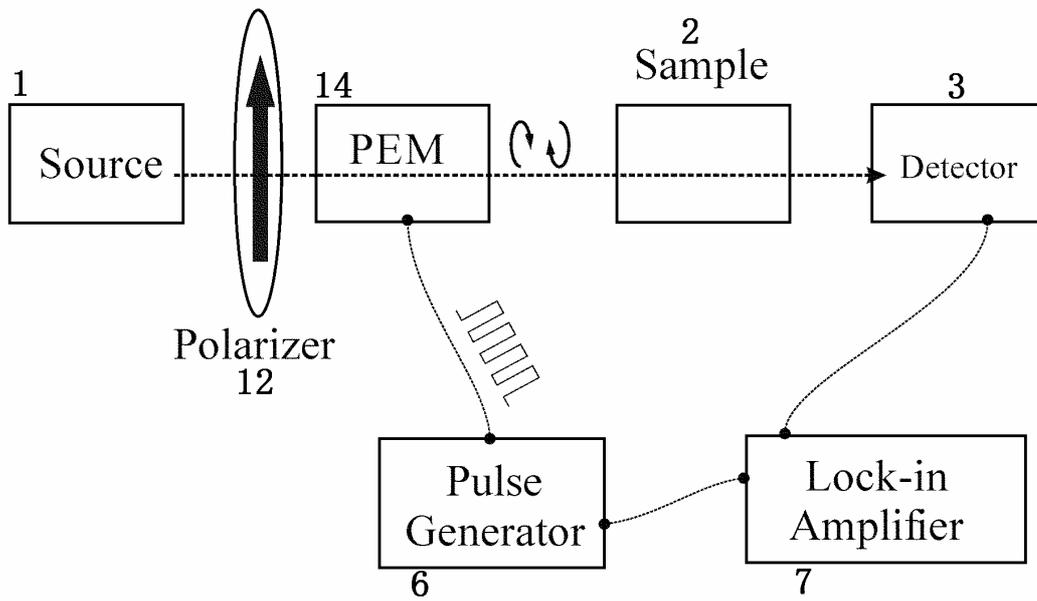
【图 1 1】 (元 Fig 1)



【图 1 2】 (元 Fig 2)



【図 1 3】 (元 Fig 3)



【図 1 4】 (元 Fig 4)

