(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2012-123327
(P2012-123327A)
(43)公開日　平成24年6月28日(2012.6.28)

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード（参考）
G02B 5/30 (2006.01)	G02B 5/30	2H149

審査請求 未請求　請求項の数 9　ＯＬ　（全 39 頁）

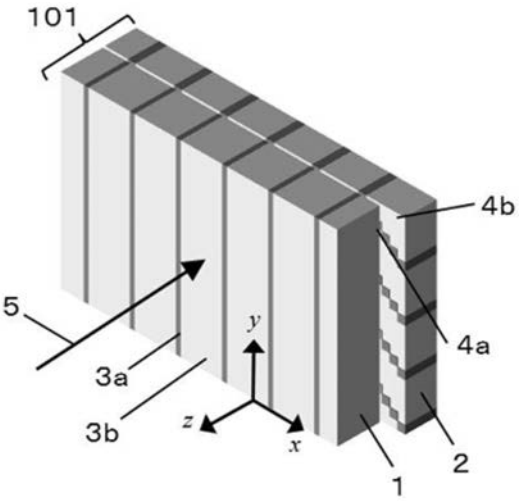
(21)出願番号　特願2010-276146 (P2010-276146)
(22)出願日　平成22年12月10日 (2010.12.10)

(71)出願人　301023238
独立行政法人物質・材料研究機構
茨城県つくば市千現一丁目２番地１
(72)発明者　岩長　祐伸
茨城県つくば市千現一丁目２番地１　独立行政法人物質・材料研究機構内

Ｆターム(参考)　2H149 AA24 AB23 BA05 BA24 DA04 DA12 EA02 EA06 FA41W

(54)【発明の名称】円二色性素子

(57)【要約】
【課題】本発明は、０．７５以上の円二色性度σかつ２５以上の効率因子εを有し、入射平面波の波長よりも薄い厚さであって、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と反対回り若しくは同じ回りの円偏光に制御可能な円二色性素子を提供することを課題とする。
【解決手段】
１／４波長板１と異方的透過板２との積層構造を有し、サブ波長の厚さの円二色性素子であって、１／４波長板１が４００ｎｍ以上１６００ｎｍ以下の波長領域から選択される一の平面波５の円偏光を直線偏光に変換可能であり、異方的透過板２が一の平面波５の直線偏光方向に高透過率軸を有している円二色性素子１０１を用いることにより、前記課題を解決できる。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
１／４波長板と異方的透過板との積層構造を有し、サブ波長の厚さの円二色性素子であって、前記１／４波長板が４００ｎｍ以上１６００ｎｍ以下の波長領域から選択される一の平面波の円偏光を直線偏光に変換可能であり、前記異方的透過板が前記一の平面波の直線偏光方向に高透過率軸を有していることを特徴とする円二色性素子。
【請求項２】
前記異方的透過板の高透過率軸が、前記１／４波長板の先進軸に対して４５度の角度をなしていることを特徴とする請求項１に記載の円二色性素子。
【請求項３】
前記１／４波長板が負誘電率部材と電磁波透過部材とからなり、前記１／４波長板の一面側で、前記負誘電率部材が平行かつ間隔を一定にして配置された複数のラインを形成しており、前記ラインの延伸方向が前記１／４波長板の先進軸方向とされていることを特徴とする請求項１又は請求項２に記載の円二色性素子。
【請求項４】
前記異方的透過板が、電磁波透過部材と負誘電率部材とからなり、前記異方的透過板の一面側で、前記負誘電率部材が同一の大きさの複数の四角形状であり、隣接する前記負誘電率部材の頂角同士を近接させ、一方向に並べて配置して形成した複数のラインが、それぞれ平行かつ間隔を一定にして配置されていること、または、前記異方的透過板の一面側で、前記負誘電率部材が平行かつ間隔一定にして配置された複数のラインを形成して配置されていることを特徴とする請求項１～３のいずれか１項に記載の円二色性素子。
【請求項５】
前記負誘電率部材が金属であることを特徴とする請求項１～４のいずれか１項に記載の円二色性素子。
【請求項６】
前記電磁波透過部材が、前記一の平面波の透過率が７０％以上の材料であることを特徴とする請求項１～５のいずれか１項に記載の円二色性素子。
【請求項７】
前記異方的透過板の前記１／４波長板の反対側の面に別の１／４波長板が積層されていることを特徴とする請求項１～６のいずれか１項に記載の円二色性素子。
【請求項８】
前記１／４波長板及び前記別の１／４波長板の先進軸が平行となるように、前記別の１／４波長板が積層されていることを特徴とする請求項７に記載の円二色性素子。
【請求項９】
前記１／４波長板及び前記別の１／４波長板の先進軸が直交するように、前記別の１／４波長板が積層されていることを特徴とする請求項７に記載の円二色性素子。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、電磁波に円二色性を生じさせる円二色性素子に関する。
【背景技術】
【０００２】
円二色性は、入射平面波が右回り、左回り円偏光であるときの透過率をそれぞれＴＲ、ＴＬと表記した場合、ＴＲ＝ＴＬのときは円二色性なしと、それ以外の場合、すなわち、ＴＲ＞ＴＬまたはＴＲ＜ＴＬのときに円二色性があると定義される。
円二色性素子とは、円二色性を呈する素子のことである。
円二色性素子として機能する入射平面波の波長を円二色性素子の動作波長と呼ぶ。
【０００３】

任意に固定したある時間における平面波の電場ベクトルが、進行方向を規定する波数ベクトルの周りを円状の回転分布を形成するとき、その平面波は円偏光であると定義される。ここで、平面波とは、電磁波でその分布が関数　ｅｘｐ（ｉｋ・ｒ－ｉωｔ）で表されるものをいう。ただし、ｉは虚数単位、ｋは電磁波の波数ベクトル、ｒは３次元ユークリッド空間座標、ωは電磁波の角振動数、ｔは時間を表す。

【０００４】

図２３は、左回り円偏光の一例を示す概念図である。

図２３に示すように、波数ベクトル１４に対して任意に固定した瞬間の電場ベクトル１５が左ネジ状の分布を形成するとき、平面波は左回り円偏光と定義される。波数ベクトル１４は平面波の進行方向を表すベクトルである。図２３では光の１波長分の電場ベクトル１５の変化を８ステップで表示している。

【０００５】

図２４は、右回り円偏光の一例を示す概念図である。

図２４に示すように、波数ベクトル１６に対して任意に固定した瞬間の電波ベクトル１７が右ネジ状の分布を形成するとき、平面波は右回り円偏光と定義される。平面波の進行方向を表す波数ベクトル１６から電場ベクトル１７が発せられる。図２４では光の１波長分の電場ベクトル１７の変化を８ステップで表示している。

【０００６】

図２５は、円二色性の一例を示す概念図であって、円二色性が顕著な状況を模式的に表している。

円二色性素子１８に、波数ベクトル１９の入射平面波が右回り円偏光２０であるとし、波数ベクトル２１で入射する光が左回り円偏光２２とするとき、波数ベクトル２３で表される透過平面波の透過率ＴＲが５０％以上であるのに対して、波数ベクトル２４で表される透過平面波の透過率ＴＬが１％以下である場合を示している。

【０００７】

円二色性の度合いは、（ＴＲ－ＴＬ）／（ＴＲ＋ＴＬ）で規定される円二色性度σにより、定量的に表わされる。

円二色性なしのとき、σ＝０となる。また、円二色性があるときにはつねにσ≠０である。特に、左回り円偏光の透過率が０％、つまり、ＴＬ＝０のときには、σ＝１である。図２５で示した状況はこの場合に対応している。一方、右回り円偏光の透過率が０％、つまり、ＴＲ＝０のときには、σ＝－１である。以上のように最大限に大きな円二色性は、｜σ｜＝１として表される。

【０００８】

円二色性素子は、ｍａｘ（ＴＲ，ＴＬ）×｜σ｜で規定される効率因子εにより、評価できる。

ここで、ｍａｘ（ＴＲ，ＴＬ）はＴＲ、ＴＬの大きい方の値を表す。この効率因子εが大きい値をとるほど、円二色性素子として優れている。ε＝１００が理想的な円二色性素子である。ε≧６０ならば性能の高い円二色性素子、ε≧２５ならば実用に資する円二色性素子と評価される。

【０００９】

また、円二色性素子は、λ／ｄで規定される構造の効率化因子αでも、評価できる。

ここで、λは光の真空中の波長、ｄは円二色性素子の厚さを表す。構造の効率化因子αは、円二色性素子がどれくらい薄いサイズで実現できるかを定量的に表すための指標である。例えば、波長λが５００ｎｍの光に対して、厚さｄが２５０ｎｍの円二色性素子の構造の効率化因子αは２となる。つまり、構造の効率化因子α≧１のとき、照射する平面波の波長よりも厚さが薄いサイズ（以下、サブ波長サイズの厚さ）の円二色性素子が実現できていることを意味し、構造の効率化因子αが大きいほど、より薄いサイズで円二色性素子を実現できていることを意味する。

円二色性素子は、円二色性度σと効率因子ε、構造の効率化因子αによって、多面的に、かつ、総合的に評価できる。

【００１０】
円二色性に関しては、絶縁体材料または半導体材料における固有の円二色性や、それらに磁性イオンを微量ドープした固体媒体における円二色性に関して多くの研究例がある。しかし、円二色性度σが０．５を超えるようなコントラストの大きな円二色性素子に関する研究例はほとんどない。
【００１１】
また、センチメートルオーダーまで厚くした円二色性素子の研究例は多く、例えば、波長λが５００×１０$^{-9}$ｍの光に対する厚さｄが１×１０$^{-2}$ｍの円二色性素子であって、構造の効率化因子αが５×１０$^{-5}$と極めて小さな値をとり、光の波長に比べてはるかに厚い。一方で円二色性素子の研究例はあるが、厚さをサブ波長サイズに薄くした円二色性素子の研究例はほとんどない。
光デバイスの極小化を進めて、マイクロチップ等へ組み込んで、多機能、低消費電力なマイクロ光デバイスを実現するために、光の波長より薄い円二色性素子の実現が求められている。
【００１２】
更に、－１００℃以下の極低温で行われた円二色性の研究例は多いが、室温の実用環境下では円二色性が見いだしにくく、特に、可視光、近赤外光域を含む光学波長域において、実用に資する円二色性素子に関する研究例はほとんどない。
【００１３】
円二色性素子としては、例えば、特許文献１に記載の素子がある。
特許文献１は、「円二色性を持つ媒体測定表面プラズモン共鳴センサー、円二色性測定法及び測定装置」に関するものであり、異方的なプラズモン共鳴を利用した円二色性素子の発明が開示されている。発明の対象は、透過配置ではなく、反射配置での円二色性が主である。一般に、プラズモン共鳴はサブ波長サイズの素子作製に関連づけられるが、特許文献１では実証的な数値計算または実験による裏づけがなく、実効性は明らかでない。また、開示の素子は円二色性度が０．２以下と見積もることができ、円二色性素子としての機能が小さい。
【００１４】
非特許文献４には、サブ波長サイズの波長板を可能にする構造体が記載されている。屈折率が極端に大きな異方性をもつ電磁波媒体で、このようなサブ波長サイズの波長板を可能にすることを示している。この波長板は、実施例の円二色性素子を実現するための一要素である。
とくに１／４波長板が円偏光に対しては有用である。１／４波長板とは、入射円偏光を透過させたのちに直線偏光に変換する素子のことである。
非特許文献４で示したようなサブ波長サイズの１／４波長板は、入射波長に対して前記定義を満たすように厚さを最適化することによって得られる。したがって、１／４波長板の厚さは入射円偏光を透過させたのちに直線偏光に変換する最適な厚さに定まる。
通常の１／４波長板は光学結晶を板状に切り出し、光学研磨することによって作製され、可視光（典型的な波長は５００ｎｍ）用の１／４波長板は厚さが１ｍｍ以上である。
また、１／４波長板では、厚さがサブ波長であるか否かにかかわらず、面内に電磁波の位相速度が最も早い軸（先進軸）と最も遅い軸（遅延軸）が存在し、互いに直交する。前記性質を表す式は実施形態で後述する式（４）と式（５）であり、式（３）で示すジョーンズ行列が１／４波長板を表している。
１／４波長板においては、入射光が右回り、左回り円偏光のいずれである場合にも透過率は同じであり、透過光はともに直線偏光になり、互いに直交する偏光の向きを示す。円二色性度σの値は０になり、１／４波長板は円二色性のない素子である。
【００１５】
非特許文献５には、螺旋状の金属コイルをマイクロメートルサイズで作製してなる円二色性素子が記載されている。具体的には、金の螺旋型構造を周期的に並べて作った円二色性素子であって、赤外光域においてはマイクロ波領域で発見された構造を使って素子を構成

することができるという経験則にもとづいて構造設計を行い、作製されたものである。金属の誘電率が赤外光とは大きく異なるため、この構造は可視光、近赤外光域で円二色性を有効に発現させることはできず、透過平面波の偏光操作性も有しない。

【００１６】

この円二色性素子は、波長３μｍ以上の赤外光域の入射円偏光の回転向きによって共鳴状態を励起する・しないことを選択できる。共鳴状態を励起する入射円偏光の場合には光はコイルに吸収されて透過せず、共鳴状態を励起しない入射円偏光の場合には光が素通りして、９０％程度の透過率が得られる。これにより、円二色性度σが１に近い円二色性素子とすることができる。

【００１７】

しかし、この設計は次の２点で可視光、近赤外光域では有効でない。第１に、コイルを作る金属（非特許文献５では金）の誘電率が光吸収成分を多く含み、どの入射円偏光に対しても光が吸収されてしまう。第２に、コイル構造の共鳴状態にはカットオフ（波長の下限）があるため、金属コイルをより小さなサイズで作ることで共鳴状態が起こる波長を可視光や近赤外光域にもってくることができない。

【００１８】

非特許文献６には、近赤外光域における円二色性素子が記載されている。

この素子は十字形の同じ形状の微小金属片を直接接しないように薄膜層をサンドイッチ状に挟んで、ねじり角をつけて積層する構造を有している。前記薄膜層を挟みながら十字状の同じ構造物を重ねる際に、ねじり角をつけることで円二色性の発現を可能にしている。

【００１９】

非特許文献６の円二色性度σは最大０．４であり、そのときの透過率が７％であり、効率因子εは２．８と非常に小さく、実用には向かない。実際、円二色性素子としては暗い。また、透過平面波の偏光は入射平面波とほぼ同じ円偏光であり、直線偏光や入射平面波の円偏光と反対回りにする操作はできず、微小金属片の共鳴状態を使っているので、光吸収が大きく、透過率を大きくすることは望めない難点がある。

【００２０】

このように、従来の円二色性素子は、０．７５以上の円二色性度σかつ２５以上の効率因子εを有すること、円二色性素子の厚さを光の波長よりも薄くすること、透過平面波の偏光状態を直線偏光または右回り若しくは左回りの円偏光に制御することが困難であるという課題があった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【００２１】

【特許文献１】特開２００９－２１０４９５号公報

【非特許文献】

【００２２】

【非特許文献１】Ｌ．Ｌｉ，“Ｎｅｗ ｆｏｒｍｕｌａｔｉｏｎ ｏｆ ｔｈｅ Ｆｏｕｒｉｅｒ ｍｏｄａｌ ｍｅｔｈｏｄ ｆｏｒ ｃｒｏｓｓｅｄ ｓｕｒｆａｃｅ－ｒｅｌｉｅｆ ｇｒａｔｉｎｇｓ，”Ｊ．Ｏｐｔ．Ｓｏｃ．Ａｍ．Ａ，Ｖｏｌ．１４，ｐ．２７５８-２７６７（１９９７）．

【非特許文献２】Ｌ．Ｌｉ，“Ｆｏｒｍｕｌａｔｉｏｎ ａｎｄ ｃｏｍｐａｒｉｓｏｎ ｏｆ ｔｗｏ ｒｅｃｕｒｓｉｖｅ ｍａｔｒｉｘ ａｌｇｏｒｉｔｈｍ ｆｏｒ ｍｏｄｅｌｉｎｇ ｌａｙｅｒｅｄ ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ ｇｒａｔｉｎｇｓ，”Ｊ．Ｏｐｔ．Ｓｏｃ．Ａｍ．Ａ，Ｖｏｌ．１３，ｐ．１０２４-１０３５（１９９６）．

【非特許文献３】Ａ．Ｄ．Ｒａｋｉｃ，Ａ．Ｂ．Ｄｊｕｒｕｓｉｃ，Ｊ．Ｍ．Ｅｌａｚａｒ，ａｎｄ Ｍ．Ｌ．Ｍａｊｅｗｓｋｉ，“Ｏｐｔｉｃａｌ ｐｒｏｐｅｒｔｉｅｓ ｏｆ ｍｅｔａｌｌｉｃ ｆｉｌｍｓ ｆｏｒ ｖｅｒｔｉｃａｌ－ｃａｖｉｔｙ ｏｐｔｏｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃ ｄｅｖｉｃｅｓ，”Ａｐｐｌ．Ｏｐｔ．，Ｖｏｌ．３７，５２７１-５２８３（１９８８）．

【非特許文献４】M. Iwanaga, “Ultracompact waveplates：Approach from metamaterials, ”Appl. Phys. Lett., Vol. 92, 153102（２００８）.
【非特許文献５】J. K. Gansel, M. Thiel, M. S. Decker, K. Bade, V. Saile, G. von Freymann, S. Linden, and M. Wegener, “Gold Helix Photonic Metamaterial as Broadband Circular Polarizer, ”Science, Vol. 325, p. 1513-1515（２００９）.
【非特許文献６】M. Decker, M. Ruther, C. E. Kriegler, J. Zhou, C. M. Soukoulis, S. Linden, and M. Wegener, “Strong optical activity from twisted－cross photonic metamaterials, ”Opt. Lett., Vol. 34, p. 2501-2503（２００９）.
【非特許文献７】M. Iwanaga, A. S. Vengurlekar, T. Hatano, and T. Ishihara, “Reciprocal transmittances and reflectances：An elementary proof, ” Am. J. Phys. Vol. 75, p. 899－903（２００７）.
【非特許文献８】M. Iwanaga, “Polarization－selective transmission in stacked two－dimensional complementary plasmonic crystal slabs, ” Appl. Phys. Lett. Vol. 96, 083106（２０１０）.
【非特許文献９】E. D. Palik, Handbook of Optical Constants of Solids II, Academic Press, San Diego, １９９１.

【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【００２３】
本発明は、０．７５以上の円二色性度σかつ２５以上の効率因子εを有し、入射平面波の波長よりも薄い厚さであって、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と反対回り若しくは同じ回りの円偏光に制御可能な円二色性素子を提供することを課題とする。
【００２４】
電磁気学に関する現象を正確に表す方程式として認知されているマクスウェル方程式の解は周期的構造体における電磁現象ついても正確に再現できることはすでに周知である。
電磁波が周期構造体を透過するときの透過率、透過平面波の偏光ベクトルを算出することが本発明における重要な手法であるから、以下、文献について述べる。
周期的な配列からなる構造体におけるマクスウェル方程式をフーリエ変換した形に書き換えて解くことが適している。例えば、非特許文献１には、具体的にマクスウェル方程式をフーリエ変換した形に書き換えた表式が記載されており、書き換えた方程式を数値的に高速・高精度に解くためのアルゴリズムが記載されている。この方法を用いることによって、入射平面波を周期構造体に照射したときに誘起される固有モードのマクスウェル方程式の解を正確に知ることができる。
また、非特許文献２には、周期的な配列からなる層におけるマクスウェル方程式の解が求められたとき、その解を用いて、積層構造体の透過率や反射率を安定的に数値計算する散乱行列法のアルゴリズムと具体的な表式が系統的に記載されている。
非特許文献１，２の方法を組み合わせることにより、周期的な配列からなる層が任意に積層した構造体の透過率、反射率をマクスウェル方程式からの直接の帰結として算出することが可能になる。したがって、これらの方法から算出した結果は電磁気学において最も信頼できる結果であり、多数の実験との比較からそれらの結果の妥当性もすでに周知の事実である。
とくに、金属を含む周期構造体の平面電磁波に対する透過率の実験値を再現性よく、前記

計算方法によって示した文献として、たとえば非特許文献７、８が挙げられる。非特許文献７、８には、金属を含む周期的構造体の透過率に関する実験値と前記方法による計算値があり、周期構造体の周期長が入射平面波の波長に対してサブ波長である範囲において、±５％以下の誤差の範囲内で一致している。よって、本願の構成で得られた計算値も、同様の誤差の範囲内の実験値が得られると推察される。実験値との誤差の主な原因は実際に作製する構造が加工精度に応じて、設計からずれていることであると考えられている。
前記計算方法で得た透過平面波の任意に定めた時間における電場ベクトルを進行方向に沿って、算出することにより、透過平面波の偏光ベクトルが得られる。この方法については、非特許文献４にもすでに記載がある。
また、非特許文献３には、実験的に測定された銀の誘電率をＢｒｅｎｄｅｌ－Ｂａｒｄｅｎモデルによって統一的にフィッティングして広い波長域にわたる誘電率が記載されている。

【００２５】
本願発明者は、非特許文献１、２に記載の計算及び非特許文献３に記載の銀の誘電率を利用して、前記課題を解決できる可能性があることに発見して、本発明を完成した。本発明は、以下の構成を有する。

【００２６】
本発明の円二色性素子は、１／４波長板と異方的透過板との積層構造を有し、サブ波長の厚さの円二色性素子であって、前記１／４波長板が４００ｎｍ以上１６００ｎｍ以下の波長領域から選択される一の平面波の円偏光を直線偏光に変換可能であり、前記異方的透過板が前記一の平面波の直線偏光方向に高透過率軸を有していることを特徴とする。

【００２７】
本発明の円二色性素子は、前記異方的透過板の高透過率軸が、前記１／４波長板の先進軸に対して４５度の角度をなしていることが好ましい。
本発明の円二色性素子は、前記１／４波長板が電磁波透過部材と負誘電率部材とからなり、前記１／４波長板の一面側で、前記負誘電率部材が平行かつ間隔を一定にして配置された複数のラインを形成しており、前記ラインの延伸方向が前記１／４波長板の先進軸方向とされていることが好ましい。

【００２８】
本発明の円二色性素子は、前記異方的透過板が、電磁波透過部材と負誘電率部材とからなり、前記異方的透過板の一面側で、前記負誘電率部材が同一の大きさの複数の四角形状であり、隣接する前記負誘電率部材の頂角同士を近接させ、一方向に並べて配置して形成した複数のラインが、それぞれ平行かつ間隔を一定にして配置されていること、または、前記異方的透過板の一面側で、前記負誘電率部材が平行かつ間隔一定にして配置された複数のラインを形成して配置されていることが好ましい。
本発明の円二色性素子は、前記負誘電率部材が金属であることが好ましい。
本発明の円二色性素子は、前記電磁波透過部材が、前記一の平面波の透過率が７０％以上の材料であることが好ましい。

【００２９】
本発明の円二色性素子は、前記異方的透過板の前記１／４波長板の反対側の面に別の１／４波長板が積層されていることが好ましい。
本発明の円二色性素子は、前記１／４波長板及び前記別の１／４波長板の先進軸が平行となるように、前記別の１／４波長板が積層されていることが好ましい。
本発明の円二色性素子は、前記１／４波長板及び前記別の１／４波長板の先進軸が直交するように、前記別の１／４波長板が積層されていることが好ましい。

【発明の効果】

【００３０】
本発明の円二色性素子は、１／４波長板と異方的透過板との積層構造を有し、サブ波長の厚さの円二色性素子であって、前記１／４波長板が４００ｎｍ以上１６００ｎｍ以下の波長領域から選択される一の平面波の円偏光を直線偏光に変換可能であり、前記異方的透過

板が前記一の平面波の直線偏光方向に高透過率軸を有している構成なので、４００ｎｍ以上１６００ｎｍ以下の波長領域から選択される一の平面波を入射・透過させて透過平面波に円二色性を生じさせることができ、０．７５以上の円二色性度σかつ２５以上の効率因子εを有し、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と反対回り若しくは同じ回りの円偏光に制御可能な円二色性素子を提供することができる。また、サブ波長の厚さの円二色性素子とする構成なので、マイクロチップ等に組み込みが容易となり、光－光変換デバイス、光－電気変換デバイス、電気－光変換デバイス等をより小型化、多機能化、低消費電力化することができる。

【図面の簡単な説明】

【００３１】

【図１】本発明の円二色性素子の一例を示す図であって、２層型円二色性素子の概略図である。

【図２】図１に示す円二色性素子の側面図である。

【図３】１／４波長板の単位面の平面図である。

【図４】異方的透過板の単位面の平面図である。

【図５】本発明の円二色性素子の別の一例を示す図であって、第１の３層型円二色性素子の概略図である。

【図６】本発明の円二色性素子の更に別の一例を示す図であって、第２の３層型円二色性素子の概略図である。

【図７】別の１／４波長板の単位面の平面図である。

【図８】２層型円二色性素子の透過スペクトルの計算結果を示すグラフである。

【図９】２層型円二色性素子の円二色性度スペクトルの計算結果を示すグラフである。

【図１０】２層型円二色性素子の透過平面波の偏光状態の計算結果を示すグラフである。

【図１１】直線偏光下における異方的透過板（厚さ２１０ｎｍ）単層の透過スペクトルの計算結果を示すグラフである。

【図１２】第１の３層型円二色性素子の透過スペクトルの計算結果を示すグラフである。

【図１３】第１の３層型円二色性素子の円二色性度スペクトルの計算結果を示すグラフである。

【図１４】第１の３層型円二色性素子の透過平面波の偏光状態の計算結果を示す斜視図である。

【図１５】第１の３層型円二色性素子の透過平面波の偏光状態の計算結果を示すグラフである。

【図１６】第２の３層型円二色性素子の透過スペクトルの計算結果を示すグラフである。

【図１７】第２の３層型円二色性素子の円二色性度スペクトルの計算結果を示すグラフである。

【図１８】第２の３層型円二色性素子の透過平面波の偏光状態の計算結果を示す斜視図である。

【図１９】異方的透過板の単位面の平面図である。

【図２０】異方的透過板の単位面の平面図である。

【図２１】単位面３１をもつ層構造が厚さ１００ｎｍのときの透過平面波の偏光状態の計算結果を示すグラフである。

【図２２】厚さが最適化されていない２層型円二色性素子の透過スペクトルである。

【図２３】左回り円偏光の定義を示す概略図である。

【図２４】右回り円偏光の定義を示す概略図である。

【図２５】円二色性の一例を示す概念図である。

【発明を実施するための形態】

【００３２】

（本発明の第１の実施形態：２層型円二色性素子）

まず、本発明の第１の実施形態である円二色性素子について説明する。

本発明の２層型素子が入射円偏光を透過した後、直線偏光にする機能発現機構は以下のよ

うにジョーンズ行列を使って示すことができる。
ジョーンズ行列法は、透過光学素子の性質を表現する方法として、光学の中で既に確立されたものである。特に、素子に対して垂直に光が入射する場合に適した方法である。
直交座標ｘｙｚ軸が与えられたときに、素子の入射面がｘｙ平面と平行で、入射光の進行方向が－ｚ軸向きであるように素子と入射光を設定する。
光の電場成分（Ｅｘ，Ｅｙ）を基底ベクトルにとり、これをジョーンズベクトルと呼ぶ。この基底ベクトルによって、光学素子の透過特性を２×２行列として表現することができ、これをジョーンズ行列と呼ぶ。光の位相も含めて表現するために、ジョーンズベクトル、ジョーンズ行列ともに複素数値である。

【００３３】

まず、右回り円偏光のジョーンズベクトルJ_Rは式（１）のように表すことができる。同様に、左回り円偏光のジョーンズベクトルJ_Lは式（２）のように表すことができる。ここで、虚数単位はｉと表すとともに、ジョーンズベクトルは絶対値の大きさが１に規格化されている（以下、同じ）。

【００３４】

【数１】

$$J_R = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1\\-i\end{pmatrix} \quad \cdots (1)$$

【００３５】

【数２】

$$J_L = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1\\i\end{pmatrix} \quad \cdots (2)$$

【００３６】

次に、１／４波長板の先進軸がｘ軸と平行、遅延軸がｙ軸と平行になるように配置するとき、対応するジョーンズ行列L_1は式（３）と表される。

【００３７】

【数３】

$$L_1 = \begin{pmatrix}1 & 0\\0 & i\end{pmatrix} \quad \cdots (3)$$

【００３８】

一般に、ジョーンズ行列にジョーンズベクトルをかけると、積の結果は透過光のジョーンズベクトルを表す。かけたジョーンズベクトルが入射光の偏光を表している。
式（３）が１／４波長板を表すジョーンズ行列であることはつぎのように確認できる。前記のように、１／４波長板の定義は円偏光を直線偏光に変換することである。ジョーンズ行列L_1に右回り円偏光のジョーンズベクトルJ_R及び左回り円偏光のジョーンズベクトルJ_Lをかけると、式（４）及び式（５）から分かるように、それぞれ直線偏光に変換する。なお、式（４）の右辺は（１，１）方向に直線偏光したジョーンズベクトルを表し、式（５）の右辺は（－１，１）方向に直線偏光したジョーンズベクトルを表している。２つの１次独立なジョーンズベクトルJ_RとJ_Lに対して、式（４）と式（５）を満たすジョーンズ行列は一意に決まり、その表式が式（３）である。以上のように、式（３）は１／４波長板を表すジョーンズ行列である。
また、右回り円偏光、左回り円偏光が１／４波長板によって変換されて得られた直線偏光は互いに直交することが式（４）と式（５）から分かる。

【００３９】

【数４】

$$L_1 J_R = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix} \quad \cdots (4)$$

【００４０】

【数５】

$$L_1 J_L = \frac{-1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}-1\\1\end{pmatrix} \quad \cdots (5)$$

【００４１】

次に、異方的透過板を表すジョーンズ行列Ｌ$_2$は式（６）と表される。ただし、高透過率軸がベクトル（１，１）と平行、低透過率軸がベクトル（－１，１）と平行になるように配置するものとする。

【００４２】

【数６】

$$L_2 = \frac{1}{2}\begin{pmatrix}1 & 1\\1 & 1\end{pmatrix} \quad \cdots (6)$$

【００４３】

式（６）が異方的透過板であることを以下のように確認できる。式（６）のジョーンズ行列に（１，１）方向の直線偏光を表すジョーンズベクトルを作用させると、式（７）から分かるように、入射偏光と同じジョーンズベクトルが透過平面波の偏光状態を表す。つまり、（１，１）方向が高透過率軸であり、その透過率は１００％である。一方、式（８）は入射平面波が直線偏光であり、（－１，１）方向のときに対応しており、その透過平面波はゼロベクトル、つまり透過率０％であることを表している。したがって、（－１，１）方向が低透過率軸である。２つの１次独立なジョーンズベクトルに対して、式（７）と式（８）を満たす行列成分の比は式（６）で表される行列に一意に定まることから、式（６）が異方的透過板を表すジョーンズ行列であることが確かめられた。

【００４４】

【数７】

$$L_2 \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix} \quad \cdots (7)$$

【００４５】

【数８】

$$L_2 \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}-1\\1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix} \quad \cdots (8)$$

【００４６】

以上説明したように、１／４波長板、異方的透過板はそれぞれジョーンズ行列Ｌ$_1$、ジョーンズ行列Ｌ$_2$に対応する効果を有することが明らかになった。

なお、ジョーンズ行列Ｌ$_1$、ジョーンズ行列Ｌ$_2$は、定性的な性質を明示的に示すために、理想化されている。現実の円二色性素子は、反射損失や吸収損失がともない、透過率が１００％ではないこともありうるが、円二色性素子の動作原理は定性的に同様に説明できる（以下の説明に関しても同様）。

【００４７】

次に、１／４波長板と、異方的透過板を積層した２層型円二色性素子のジョーンズ行列Ｍ$_2$は、ジョーンズ行列Ｌ$_1$に左からＬ$_2$をかけることで得られる。ジョーンズ行列の積は層構造の積層に対応している。ジョーンズ行列Ｍ$_2$の具体的な表現は式（９）で示している。

【００４８】

【数９】

$$M_2 = L_2 L_1 = \frac{1}{2}\begin{pmatrix}1 & i\\1 & i\end{pmatrix} \quad \cdots (9)$$

【００４９】

式（９）が２層型円二色性素子１０１を表すジョーンズ行列であることは次のように確認できる。式（１０）及び式（１１）でそれぞれ右回り円偏光のジョーンズベクトルＪ$_R$、左回り円偏光のジョーンズベクトルＪ$_L$をそれぞれ作用させると、右回り円偏光に対して透過率１００％、左回り円偏光に対して透過率０％となる。２つの１次独立なジョーンズ

ベクトルに対して、式（１０）と式（１１）を満たす行列成分の比は式（９）で表される行列に一意に定まることから、式（９）が２層型円二色性素子１０１を表すジョーンズ行列であることが確かめられた。
また、式（１０）から分かるように、右回り円偏光下での透過平面波の偏光状態は（１，１）方向の直線偏光である。
【００５０】
【数１０】

$$M_2 J_R = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix} \quad \cdots (10)$$

【００５１】
【数１１】

$$M_2 J_L = \begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix} \quad \cdots (11)$$

【００５２】
以上説明したように、式（９）のジョーンズ行列M_2で表される２層型円二色性素子（本発明の円二色性素子１０１）は、入射円偏光のうち右回り円偏光のみを透過し、透過波を直線偏光にする。
とくに、前記ジョーンズ行列で示した過程では、１／４波長板、異方的透過板の内部構造に依存していない。つまり、本発明の第１の実施形態である２層型円二色性素子は各層が１／４波長板、異方的透過板であるという条件を満たせば成立する普遍的な性質であることが明らかになった。
【００５３】
図１は、本発明の第１の実施形態である円二色性素子の一例を示す概略図である。サブ波長サイズの厚さで円二色性素子を実現するために必要な内部構造まで含めて概略を示している。
図１に示すように、円二色性素子１０１は、直方体平板状の２層が積層して構成されている円二色性素子である。平面視略矩形状の１／４波長板１と平面視略矩形状の異方的透過板２が積層されることで概略構成されている。異方的透過板２の内部構造が見えるように２つの層の大きさを変えて図示している。
【００５４】
図１では座標ｘｙｚを定義している。１／４波長板１の先進軸、遅延軸が、ｘｙ軸に一致するように座標を設定する。このとき、ｘｙ面に垂直に入射する平面波は－ｚ向きに進行することになる。前記入射平面波の進行方向を規定するベクトルが波数ベクトル５である。
図２では＋ｘ側から円二色性素子１０１のｙｚ断面を見る配置で１／４波長板１と異方的透過板２を示している。入射平面波が照射する順にｘｙ平面と平行な１／４波長板１の一面１ａ、他面１ｂとする。異方的透過板２の一面２ａ、他面２ｂとする。１／４波長板１の他面１ｂと異方的透過板２の一面２ａは接するように積層している。
【００５５】
図１において、１／４波長板１は負誘電率部材３ａと電磁波透過部材３ｂとからなり、負誘電率部材３ａと電磁波透過部材３ｂは交互に配列され、界面がｙ軸と平行になるように配置されている。負誘電率部材３ａと電磁波透過部材３ｂの配列方向はｘ軸と一致している。
１／４波長板１の一面側で、負誘電率部材３ａは平行かつ間隔を一定にして配置された複数のラインを形成している。
【００５６】
図３において、１／４波長板１のｘｙ断面の部分拡大図、とくに単位面３１を示している。ここで、単位面とは、ｘｙ断面から抽出され、ｘｙ面内において隙間なく、かつ重なりなく単位面を隣接して繰り返しならべることにより、元のｘｙ断面全体を構成できる単位のことを言う。

図３の単位面は横ｌｘ、縦ｌｙの長さをもち、内部に負誘電率部材３ａ、電磁波透過部材３ｂを含んでいる。負誘電率部材３ａのｘ軸方向の長さはｔｘとされている。単位面３１で表される１／４波長板１の内部構造は、各部材の比を、長さｔｘを変えることで変更できる。図３では、１／４波長板１の先進軸３ｃ、遅延軸３ｄも示している。前記ラインの延伸方向は、１／４波長板１の先進軸３ｃ方向とされている。

【００５７】

図４において、異方的透過板２のｘｙ断面に関する単位面４１を示している。図４の単位面は縦ｌｘ、横ｌｙの長さをもち、内部に負誘電率部材４ａ１、４ａ２、４ａ３、４ａ４、４ａ５、４ａ６及び電磁波透過部材４ｂを含んでいる。負誘電率部材４ａ１から４ａ６は平面視四角形状の同一の形状で横ｓｘ、縦ｓｙの長さをもつ。

図４では、異方的透過板２の高透過率軸４ｃ、低透過率軸４ｄも示している。

異方的透過板２の高透過率軸４ｃは、１／４波長板１の先進軸３ｃに対して４５度の角度をなしている。

【００５８】

単位面４１で表される異方的透過板２の内部構造は、配列の負誘電率部材４ａ１から４ａ６の個数、形状に変更の自由度がある。異方的透過板２の配列の負誘電率部材は同一形状に限定されるわけではない。例えば、正方形の大きさが大小違うものが一列に配列しているようなものでも異方的透過板２になり得る。

【００５９】

異方的透過板２は、単位面４１がｘｙ平面に周期的に隣接して並んで形成され、負誘電率部材４ａ１、４ａ２、４ａ３、４ａ４、４ａ５、４ａ６が斜めに一直線状となるように配列されている。これにより、ライン状の負誘電率部材４ａが形成されている。また、ライン状の負誘電率部材４ａは互いに平行に、かつ、配列間隔が等間隔となるように配置されている。

このような規則的構造を有することにより、異方的透過板２は、入射平面波として直線偏光の波を用いた場合、任意の直線偏光の方向の透過率を高くすることができるとともに、その方向から９０°回転させた直線偏光の方向の透過率を低くすることができる。例えば、ｘｙ面内でベクトル（１，１）と平行な直線偏光の方向の透過率高くすることができるとともに、ベクトル（－１，１）と平行な直線偏光の方向の透過率を低くすることができる。

【００６０】

負誘電率部材３ａ及び負誘電率部材４ａ１、４ａ２、４ａ３、４ａ４、４ａ５、４ａ６は金属からなることが好ましい。前記金属の種類は、入射波長と誘電率を考慮して決定することが好ましい。金属材料を含むことにより、サブ波長の薄さで円二色性素子を作製することに有利に働く。

使用可能な金属の例として、Ａｇ、Ａｌ、Ａｕ、Ｐｔ等を挙げることができ、とくに可視光域ではＡｇ、Ａｌが好ましい。Ｐｔは、入射平面波として可視光を用いたときは光吸収による損失が大きく好ましくない。赤外光域、マイクロ波域においてはＣｕを金属部材として使用することができる。

【００６１】

金属材料の誘電率は、入射平面波の波長に依存し、長波長の極限では負の値をとり、波長が短くなるに従い、０に向かって単調に増加し、現実の金属材料に対して便宜的に、誘電率が０になる波長が実効的なプラズマ波長と定義されている。

単位面３１の負誘電率部材３ａの面内割合を減らすことにより、実効的なプラズマ波長を長波長側にシフトさせることができる。よって、入射平面波として、実効的なプラズマ波長より短波長側の波長域の平面波を用いることにより、１／４波長板１の透過率を高くすることができる。

【００６２】

電磁波透過部材３ｂ及び電磁波透過部材４ｂは、入射平面波の透過率は７０％以上が好ましく、９０％以上がより好ましい。入射平面波の透過率が大きい材料の例としては、絶縁

体または半導体からなることが挙げられる。例えば、可視光領域の波長の入射平面波に対しては、透明な絶縁体であるSiO_2、Al_2O_3、MgF_2等を用いることができる。

【００６３】

例えば、銀やアルミニウムのプラズマ波長は紫外光域にある。したがって、銀とSiO_2の組み合わせ、またはアルミニウムとSiO_2の組み合わせで、図３に示した単位面３１を形成することができる。

単位面３１に占める金属の面内割合を減らすことにより、実効的なプラズマ波長は紫外光域から可視光域、近赤外光域へと移動することができる。

これにより、サブ波長サイズの１／４波長板１の動作波長を紫外光域から可視光域、近赤外光域まで移動することができる。

【００６４】

更に、１／４波長板１の板厚を考慮して、入射平面波の波長を選択することにより、サブ波長サイズ以下の板厚とされた円二色性素子とすることができる。

なお、１／４波長板１は、単独でサブ波長サイズの１／４波長板になりうることが報告されている（非特許文献４）。

【００６５】

次に、本発明の第１の実施形態である２層型の円二色性素子１０１の偏光効果について説明する。

まず、図１に示すように、入射平面波を１／４波長板１の一面１ａに垂直な方向（－ｚ方向）に入射させる。

特定の波長の電磁波に依存しないジョーンズ行列を用いて先述したように、紫外光からマイクロ波にわたる広範な波長領域の電磁波から入射平面波を選んで用いることが可能であり、入射平面波の波長に対応した部材を用いることにより、同様の偏光効果を得ることができる。なお、波長域は紫外光より長波長以上の範囲（波長４００ｎｍ以上）とすることが好ましい。波長を可視光より短くすると、光吸収損失のすくない負誘電率部材がこれまで見つかっていないために単位面３１で例示するような１／４波長板が構成困難であるからである。

【００６６】

入射平面波は、１／４波長板１の内部で円偏光から直線偏光に変換される。

なお、右回り円偏光と左回り円偏光は、互いに向きが直交する直線偏光に変換される。

【００６７】

次に、直線偏光とされた入射平面波は、異方的透過板２の内部へ入射される。

異方的透過板２は、その高透過率軸と向きの直線偏光を透過率高く透過させる一方、高透過率軸と直交する方向、すなわち、低透過率軸と向きの直線偏光を透過率低く透過させる。

そのため、異方的透過板２の他面２ｂから出射される２つの直線偏光は、透過率が異なり、円二色性が発現される。なお、これらの透過率から、円二色性度σ及び効率因子εが算出される。

以上により、本発明の第１の実施形態である円二色性素子１０１は、右回りのまたは左回りの一方の入射円偏光のみを透過させ、直線偏光に変換して、円二色性の効率因子εを大きくして出射することができる。

【００６８】

（本発明の第２の実施形態：第１の３層型円二色性素子）

次に、本発明の第２の実施形態である円二色性素子について説明する。最初に、ジョーンズ行列を用いて機能発現機構を示す。第１の３層型円二色性素子のジョーンズ行列$M_3^{(1)}$は、２つの１／４波長板が平行な先進軸をもつように積層するから、式（１２）のように積$L_1L_2L_1$で表される。

【００６９】

【数１２】

$$M_3^{(1)} = L_1 L_2 L_1 = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & i \\ i & -1 \end{pmatrix} \quad \cdots (12)$$

【００７０】

式（１２）が３層型円二色性素子１０２を表すジョーンズ行列であることは次のように確認できる。式（１３）及び式（１４）でそれぞれ右回り円偏光のジョーンズベクトルJ_R、左回り円偏光のジョーンズベクトルJ_Lをそれぞれ作用させると、式（１３）のように右回り円偏光に対して透過率１００％、式（１４）のように左回り円偏光に対して透過率０％となる。２つの１次独立なジョーンズベクトルに対して、式（１３）と式（１４）を満たす行列成分の比は式（１２）で表される行列に一意に定まることから、式（１２）が３層型円二色性素子１０２を表すジョーンズ行列であることが確かめられた。

式（１３）と式（１４）から、右回り円偏光のみを透過して、式（１３）から、透過平面波は入射円偏光と反対回り、つまり左回り円偏光になることが示された。

【００７１】

【数１３】

$$M_3^{(1)} J_R = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix} = J_L \quad \cdots (13)$$

【００７２】

【数１４】

$$M_3^{(1)} J_L = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \cdots (14)$$

【００７３】

式（１３）は入射平面波が右回り円偏光であった場合で、透過平面波は左回り円偏光になっており、入射円偏光と逆回り円偏光の透過平面波を表している。

なお、入射平面波が左回り円偏光で透過平面波が右回り円偏光になる円二色性素子は異方的透過板を９０度回転すれば得られる。

以上の導出によって、円二色性素子は、個別的な場合だけでなく、１／４波長板、異方的透過板、１／４波長板の３層積層構造であれば、各層の構造の子細に依らず、普遍的に実現できる。

【００７４】

図５は、本発明の第２の実施形態である円二色性素子の一例を示す概略図である。サブ波長サイズの厚さで円二色性素子を実現するために必要な内部構造まで含めて概略を示している。

図５に示すように、円二色性素子１０２は３層型であって、異方的透過板２の他面２ｂ側に平面視略矩形状の別の１／４波長板６が積層されている他は、本発明の第１の実施形態である２層型の円二色性素子１０１と同様の構成とされている。

【００７５】

なお、図５では、異方的透過板２と別の１／４波長板６の内部構造を示すため、１／４波長板１及び異方的透過構造板２の一端側が削除して描かれている。本発明の第１の実施形態と同様の構成であるとともに、異方的透過板２と別の１／４波長板６の接する面積は等しく、互いに重なり合うように積層されている。

【００７６】

図５に示すように、別の１／４波長板６は、負誘電率部材７ａと電磁波透過部材７ｂを有している。別の１／４波長板６は、１／４波長板１と同様に、負誘電率部材７ａと電磁波透過部材７ｂがｘ軸方向に交互に配列し、ｙ軸方向に一様である構造を有する。

本発明の第１の実施形態で述べたのと同様に、負誘電率部材７ａに金属を用いることで別の１／４波長板６はサブ波長の薄さにすることが可能になる。

【００７７】

次に、本発明の第２の実施形態である第１の３層型円二色性素子１０２の偏光効果について説明する。

図５に示すように、入射平面波が、１／４波長板１の一面に垂直な方向（－ｚ方向）に入射される。
入射平面波は、１／４波長板１の内部で円偏光から直線偏光に変換される。
なお、右回り円偏光と左回り円偏光は、互いに向きが直交する直線偏光に変換される。
【００７８】
次に、直線偏光とされた入射平面波は、異方的透過板２の内部へ入射される。
異方的透過板２は、その高透過率軸と向きの直線偏光を透過率高く透過させる一方、高透過率軸と直交する方向、すなわち、低透過率軸と向きの直線偏光を透過率低く透過させる。
【００７９】
次に、別の１／４波長板６の先進軸が、１／４波長板１の先進軸と一致するように配置されているので、異方的透過板２から出射された直線偏光は、入射円偏光と逆回りの円偏光に変換される。以上の過程を経て、別の１／４波長板６の他面から、－ｚ方向に出射される。
【００８０】
以上により、本発明の第２の実施形態である円二色性素子１０２は、右回りの入射円偏光のみを透過させ、左回りの円偏光に変換して出射するか、または、左回りの入射円偏光のみを透過させ、右回りの円偏光に変換して出射することができる。最終的に透過された光の透過率の比が円二色性となる。これらの透過率の比から、円二色性度σ及び効率因子εが算出される。
【００８１】
（本発明の第３の実施形態：第２の３層型円二色性素子）
本発明の第３の実施形態である円二色性素子について説明する。第３の実施形態である３層型円二色性素子を表すジョーンズ行列$M_3^{(2)}$は、３層型円二色性素子１０２において、別の１／４波長板６をｘｙ平面内で９０度回転した配置なので、式（１５）のように表される。
【００８２】
【数１５】

$$M_3^{(2)}=\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & -i\end{pmatrix}L_2L_1=\frac{1}{2}\begin{pmatrix}1 & i\\ -i & 1\end{pmatrix} \quad \cdots (15)$$

【００８３】
式（１５）が３層型円二色性素子１０３を表すジョーンズ行列であることは次のように確認できる。式（１６）及び式（１７）で示すようにそれぞれ右回り円偏光のジョーンズベクトルJ_R、左回り円偏光のジョーンズベクトルJ_Lをそれぞれ作用させると、式（１６）のように右回り円偏光に対して透過率１００％、式（１７）のように左回り円偏光に対して透過率０％となる。２つの１次独立なジョーンズベクトルに対して、式（１６）と式（１７）を満たす行列成分の比は式（１５）で表される行列に一意に定まることから、式（１５）が３層型円二色性素子１０３を表すジョーンズ行列であることが確かめられた。
式（１６）と式（１７）から、右回り円偏光のみを透過して、式（１７）から、透過平面波は入射円偏光と同じ向きの円偏光になることが示された。
なお、この円二色性素子の異方的透過板をｘｙ面内で９０度回転すれば、入射平面波が左回り円偏光で、透過平面波も左回り円偏光とする円二色性素子が得られる。
【００８４】
【数１６】

$$M_3^{(2)}J_R=\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1\\ -1\end{pmatrix}=J_R \quad \cdots (16)$$

【００８５】
【数１７】

$$M_3^{(2)}J_L=\begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix} \quad \cdots (17)$$

【００８６】
本発明の実施形態である３つの円二色性素子は、式（１）～式（１７）を用いた一般的な証明に基づき、設計されたものである。
【００８７】
図６は、本発明の第３の実施形態である円二色性素子の一例を示す概略図である。サブ波長サイズの厚さで円二色性素子を実現するために必要な内部構造まで含めて概略を示している。
図６では、別の１／４波長板８の先進軸を、１／４波長板１の先進軸と直交する向きに配置することにより、透過平面波の偏光が入射平面波の円偏光と同じ向きの円偏光となる円二色性が可能になる。
【００８８】
図７は、別の１／４波長板８のｘｙ断面図の部分拡大図であり、ｘｙ面内の単位面７１を示している。図７の単位面７１は図３の単位面３１をｘｙ面内で９０度回転したものと一致する。
負誘電率部材９ａに金属を用いることで、別の１／４波長板８はサブ波長の薄さの１／４波長板となることができる。
図７では、１／４波長板の先進軸９ｃ、遅延軸９ｄを示している。
【００８９】
本発明の実施形態である円二色性素子１０１、１０２、１０３は、１／４波長板１と異方的透過板２との積層構造を有し、サブ波長の厚さの円二色性素子であって、１／４波長板１が４００ｎｍ以上１６００ｎｍ以下の波長領域から選択される一の平面波５の円偏光を直線偏光に変換可能であり、異方的透過板２が一の平面波５の直線偏光方向に高透過率軸を有している構成なので、０．７５以上の円二色性度σかつ２５以上の効率因子εを有し、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と逆回りまたは同じ回りの円偏光に制御可能な円二色性素子を提供することができる。また、サブ波長の厚さの円二色性素子を提供することにより、マイクロチップ等に組み込みが容易となり、光－光変換デバイス、光－電気変換デバイス、電気－光変換デバイス等をより小型化、多機能化、低消費電力化することができる。
【００９０】
本発明の実施形態である円二色性素子１０１、１０２、１０３は、異方的透過板２の高透過率軸が、１／４波長板１の先進軸に対して４５度の角度を有している構成なので、入射平面波５の偏光状態を変更して、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と逆回りまたは同じ回りの円偏光にすることができる。異方的透過板２を加えることにより、円二色性を発現させることができる。１／４波長板１は前述のとおり、円二色性のない素子であるから、本発明の円二色性素子１０１、１０２、１０３における円二色性の発現効果は異方的透過板２にその起源がある。
【００９１】
本発明の実施形態である円二色性素子１０１、１０２、１０３は、１／４波長板１が負誘電率部材３ａと電磁波透過部材３ｂとからなり、前記１／４波長板の一面側で、前記負誘電率部材が平行かつ間隔を一定にして配置された複数のラインを形成しており、前記ラインの延伸方向が１／４波長板１の先進軸方向とされている構成なので、入射平面波５の偏光状態を変更して、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と逆回りまたは同じ回りの円偏光にすることができる。負誘電率部材３ａを使用することにより、１／４波長板１の厚さをサブ波長サイズに小さくする効果がある。
【００９２】
本発明の実施形態である円二色性素子１０１、１０２、１０３は、異方的透過板２が電磁波透過部材４ｂと負誘電率部材４ａとからなり、異方的透過板２の一面側で、負誘電率部材４ａが同一の大きさの複数の四角形状であり、隣接する前記負誘電率部材の頂角同士を近接させ、一方向に並べて配置して形成した複数のラインが、それぞれ平行かつ間隔を一定にして配置されている、または、前記異方的透過板の一面側で、前記負誘電率部材が平

行かつ間隔一定にして配置された複数のラインを形成して配置されている構成なので、入射平面波の偏光状態を変更して、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と逆回りまたは同じ回りの円偏光にすることができる。異方的透過板２が部材４ａ、４ｂからなる線状構造を有することにより、単位面４１内に異方的な構造を形成し、透過率に関する異方性を導くことが可能になる。

【００９３】

本発明の実施形態である円二色性素子１０１、１０２、１０３は、負誘電率部材３ａ、４ａが金属である構成なので、０．７５以上の円二色性度σかつ２５以上の効率因子εを有し、入射平面波の波長よりも薄い厚さであって、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と逆回りまたは同じ回りの円偏光に制御可能な円二色性素子を提供することができる。負誘電率部材３ａ、４ａに金属を用いることにより、金属のプラズモン共鳴を引き起こすことが可能になり、円二色性素子の厚さをサブ波長サイズの薄さにすることに有利に働く。

【００９４】

本発明の実施形態である円二色性素子１０１、１０２、１０３は、電磁波透過部材３ｂ、４ｂが、一の平面波５の透過率が７０％以上である材料である構成なので、０．７５以上の円二色性度σかつ２５以上の効率因子εを有し、入射平面波の波長よりも薄い厚さであって、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と逆回りまたは同じ回りの円偏光に制御可能な円二色性素子を提供することができる。透過率が７０％以上と大きな部材を用いることにより、電磁波が効率的に透過する領域を単位面３１、４１、７１、１９１、２０１内に確保することができる。

【００９５】

本発明の実施形態である円二色性素子１０２、１０３は、異方的透過板２の１／４波長板１の反対側の面に別の１／４波長板６、８が積層されている構成なので、０．７５以上の円二色性度σかつ２５以上の効率因子εを有し、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と逆回りまたは同じ回りの円偏光に制御可能な円二色性素子を提供することができる。別の１／４波長板６、８を積層することにより、異方的透過板を透過直後の直線偏光に近い平面波をさらに円偏光に変換する効果がある。別の１／４波長板６、８を加えることで、円二色性素子１０２、１０３を透過平面波の偏光を円偏光にすることができる。

【００９６】

本発明の実施形態である円二色性素子１０２は、１／４波長板１及び別の１／４波長板６の先進軸が平行となるように、別の１／４波長板６が積層されている構成なので、１／４波長板１が、入射平面波の偏光状態を変更して、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と逆回りまたは同じ回りの円偏光に制御してから、別の１／４波長板６により、透過平面波の円偏光の回り向きを入射平面波の円偏光に対して、同じ回りか逆回りかのいずれか指定できる。

【００９７】

本発明の実施形態である円二色性素子１０３は、１／４波長板１及び別の１／４波長板８の先進軸が直交するように、別の１／４波長板８が積層されている構成なので、１／４波長板１が、入射平面波の偏光状態を変更して、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と逆回りまたは同じ回りの円偏光に制御してから、別の１／４波長板８により、透過平面波の円偏光の回り向きを入射平面波の円偏光に対して、同じ回りか逆回りかのいずれか指定できる。

【００９８】

本発明の実施形態である円二色性素子は、上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想の範囲内で、種々変更して実施することができる。本実施形態の具体例を以下の実施例で示す。しかし、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【実施例】

【００９９】

（実施例１：２層型円二色性素子）
まず、図１～図４に示す１／４波長板と異方的透過板とを積層した２層型円二色性素子の実施例を示す。ここで、部材３ａ、４ａは金属（銀）、部材３ｂ、４ｂは絶縁体（SiO_2）と設定した。これにより、図３における単位面３１内における屈折率の異方性が大きくできる。
また、単位面３１と単位面４１の大きさ$l_x \times l_y$は３００×３００ｎｍ^{2}とした。負誘電率部材の幅t_xは３０ｎｍの厚さとした。このとき、先進軸がｘ軸と一致し、遅延軸がｙ軸と一致する。また、単位面４１における電磁波透過部材４ａ１～４ａ６は、大きさ$s_x \times s_y$が５０×５０ｎｍ^{2}の正方形の領域を対角線上に６個連続して配置した。前記正方形の領域は、ｘｙ面内でベクトル（－１，１）方向に角を接して並べた。高透過率軸をベクトル（１，１）向き、低透過率軸をベクトル（－１，１）の向きに生じさせる。
以上の設定のもとで、入射平面波が８５５ｎｍのとき、１／４波長板の厚さは２８４ｎｍである。異方的透過板の厚さは２１０ｎｍとした。
次に、前記２層型円二色性素子の入射面（ｘｙ面）に垂直に入射平面波を入射した場合の、透過スペクトルの計算結果を算出した。
【０１００】
先に記載した透過率、透過平面波の偏光状態を算出する方法において、本発明に関する具体的な数値計算に関しては、フーリエ展開するときに使用した振動子の次数をｘ、ｙ方向に対してそれぞれ±１７次以上とることにより、計算精度は±１％に抑えた。
なお、本願における円二色性素子は空気中または真空中に存在している場合に対して、数値計算を実施した。また、この数値計算のための円二色性素子を構成する物質パラメータとして、銀の比誘電率は非特許文献３から得た。また、SiO_2の比誘電率は、対象としている波長域において周知の値である２．１３を用いた。（以下、同じ）
【０１０１】
図８は、実施例１の円二色性素子の透過スペクトルの計算結果を示すグラフである。実線は右回り円偏光を入射したときの透過スペクトルの計算結果であり、点線は左回り円偏光を入射したときの透過スペクトルの計算結果である。
図８に示すように、左回り円偏光のときに８５５ｎｍで透過率が最小になり、１．１％まで低下した。一方、右回り円偏光のときは８５５ｎｍで透過率８２．４％であった。
つまり、図１で全体像を示した２層構造は、入射平面波の波長が８５５ｎｍのとき、円二色性素子として機能することが明らかになった。なお、前記透過スペクトルの計算結果は、先に述べた方法により求めた（以下、この配置や計算方法は同様）。
【０１０２】
次に、前記透過スペクトルから円二色性度を算出した。図９中の実線は、前記透過スペクトルから直接算出した円二色性度である。波長８５５ｎｍにおいて円二色性度σが最大値０．９７であり、この値は円二色性度の上限値１に近かった。
効率因子ε＝８２．４×０．９７＝８０となった。また、構造に関する効率化因子α＝８５５／（２８４＋２１０）＝１．７３となり、サブ波長サイズとなった。
【０１０３】
次に、２層型円二色性素子の透過平面波の偏光状態を算出した。
図１０は、２層型円二色性素子に右回り円偏光の入射平面波を入射し、出射される透過平面波の偏光状態の計算結果であって、入射偏光ベクトルの大きさを１に規格化して表示したものである（以下、同様の規格化を行った）。
ここで、横軸がｘ成分の電場Ｅｘ、縦軸がｙ成分の電場Ｅｙを表し、電場成分（Ｅｘ，Ｅｙ）を平面上に射影した。光の１周期分をプロットすると、ｘｙ面内でベクトル（１，１）方向（図１０中の矢印方向）に電場が変化した。つまり、透過平面波はベクトル（１，１）方向の直線偏光であった。
【０１０４】
図１１は、図１の異方的透過板２が単独で存在するときに、サブ波長の薄さの異方的透過板であるかどうかを検証するため、透過スペクトルの計算を行った結果を示している。

異方的透過板２の厚さは２１０ｎｍとした。実線は入射平面波が（１，１）方向の直線偏光のときの透過スペクトルの計算結果であり、点線は入射平面波が（－１，１）方向の直線偏光のときの透過スペクトルの計算結果である。
入射平面波の直線偏光が（１，１）方向のとき、入射平面波の波長８００から９５０ｎｍの範囲の透過率は８０％を超えて大きかった。一方で入射平面波の直線偏光が（－１，１）方向のとき、同透過率は２％以下と小さかった。したがって、異方的透過板２が単独で存在するとき、実際にサブ波長の薄さの異方的透過板であることが明らかになった。
なお、１／４波長板１がサブ波長の薄さの１／４波長板になることは非特許文献４と同様に検証できるから、ここでは省略する。
図１１に示した例では異方的透過板の厚さを２１０ｎｍとして計算を実行した。異方的透過板の厚さとしては、円二色性素子全体の厚さをサブ波長の厚さに保つ範囲のなかで、入射平面波の波長の１／５以上の厚さにすることが好ましい。その際に、入射平面波の波長において高透過率と低透過率の比が７０以上に大きく、なおかつ、高透過率が８０％以上であることを満たすように留意する。

【０１０５】

（実施例２：第１の３層型円二色性素子）

異方的透過板の他面側に別の１／４波長板を積層した他は実施例１と同様にして、図５に示す第１の３層型円二色性素子の実施例を示す。
図５に示すように、第１の３層型円二色性素子の計算モデルは、入射平面波の透過する順に、厚さ２８４ｎｍの１／４波長板、厚さ２１０ｎｍの異方的透過構造板及び厚さ２５５ｎｍの別の１／４波長板を積層したものである。
ここで、別の１／４波長板６の厚さが１／４波長板１の厚さと１０％程度異なる理由は、異方的透過板を透過してきた直後の電磁波が近接場成分を含んで、理想的な平面波ではないためである。別の１／４波長板６の厚さに関しては、透過平面波を円偏光にするための最適化が必要である。
１／４波長板と別の１／４波長板の単位面は、図３に示した同一の単位面とした。また、異方的透過板の単位面は、図４の単位面と同一とした。
次に、図５に示す波数ベクトル５の向き、つまり、－ｚ向きに進行する入射平面波を、３層型円二色性素子の入射面（ｘｙ面）に垂直に入射した場合の、透過スペクトルの計算結果を算出した。

【０１０６】

図１２は、実施例２の円二色性素子の透過スペクトルの計算結果を示すグラフである。実線は入射平面波が右回り円偏光のときの透過スペクトルの計算結果であり、点線は左回り円偏光のときの透過スペクトルの計算結果である。
図１２に示すように、８５０ｎｍ付近において、左回り円偏光下の透過スペクトルは数％以下と小さかった。一方で右回り円偏光下では７０％を超える透過率を示した。したがって、第１の３層型円二色性素子が８５０ｎｍ付近で円二色性を有することが明らかになった。

【０１０７】

図１３は、円二色性度σを示すグラフであり、円二色性度σが９０％を超える波長域が５０ｎｍ以上の幅の波長領域に存在し、大きな円二色性度が実現できた。
波長８５５ｎｍにおいて、ＴＲ＝７１．９％、ＴＬ＝１．０％で、σ＝０．９７と上限値に近かった。このとき、円二色性素子としての効率因子ε＝７０であり、実用に資する効率であった。また、厚さに関する効率化因子α＝８５５／（２８４＋２１０＋２５５）＝１．１であり、サブ波長サイズの薄さであることも明らかになった。

【０１０８】

図１４は、波長８５５ｎｍの入射平面波が右回り円偏光であるとき、ある時間における透過平面波の電場ベクトル分布、つまり、偏光状態を３次元的に示したものであり、－ｚの向きに進む透過平面波の任意の時間における位置に対応する電場ベクトルの向きと大きさを示している。

【０１０９】
図１５は、３層型円二色性素子に右回り円偏光の入射平面波を入射し、出射される透過平面波の偏光状態の計算結果であって、入射偏光の強度を１に規格化するとともに、電場ベクトルをｘｙ面上に射影したものである。図１５中の矢印は、光の進行方向に沿って、電場ベクトルが回転する向きである。
図１４、図１５に示すように、透過平面波は、左回り円偏光であった。
以上から、図５で示した３層構造は、右回り円偏光の入射平面波のみを、効率的に透過し、なおかつ、円偏光の向きを反対回りに変換して、左回り円偏光の透過平面波として出射する円二色性素子であることが明らかになった。
【０１１０】
（実施例３：第２の３層型円二色性素子）
次に、別の１／４波長板の向きをｘｙ面内で９０°回転させた以外は実施例２と同様の構成として、図６に示す、第２の３層型円二色性素子の計算モデルを作成した。
図６に示すように、負誘電率部材９ａ、電磁波透過部材９ｂはｘ軸に平行な方向に一様に伸び、ｙ軸方向に交互に分布している。
【０１１１】
次に、入射平面波を３層型円二色性素子の入射面（ｘｙ面）に垂直に入射したときの透過スペクトルの計算結果を算出した。
図１６は、実施例３の円二色性素子の透過スペクトルの計算結果を示すグラフであって、実線は入射平面波が右回り円偏光のときの透過スペクトルであり、点線は左回り円偏光のときの透過スペクトルである。
図１６に示すように、左回り円偏光の透過スペクトルは、波長８６０ｎｍ付近で透過スペクトルが数％以下の小さな値をとり、一方で右回り円偏光の透過スペクトルは５０％を超える透過率を示した。また、波長８５５ｎｍでのＴＲ＝６３．７％，ＴＬ＝１．１％であり、σ＝０．９６であり、σの上限値１に近かった。また、効率因子ε＝６１であり、実用に資する円二色性素子であった。波長８５５ｎｍでの構造の効率化因子α＝１．１であり、サブ波長サイズの薄さであった。
図１７は、円二色性度σであり、波長８６０ｎｍ付近で円二色性度σは９５％を超える最大値をとった。
【０１１２】
図１８は、波長８５５ｎｍの入射平面波が右回り円偏光であるとき、ある時間における透過平面波の電場ベクトル分布、つまり、偏光状態を３次元的に示したものであり、－ｚ向きに進む透過平面波の任意の時間における電場ベクトルの軌跡を示した図である。
図１８に示すように、右回り円偏光の入射平面波は、透過平面波になったときも右回り円偏光のままであった。図６で示した３層型円二色性素子は、右回り円偏光のみを効率的に透過し、円偏光の向きを入射平面波と同じ右回り円偏光のままとする機能を有することが明らかになった。
【０１１３】
（実施例４：第２の２層型円二色性素子）
入射平面波の波長４６０ｎｍに対する２層型の円二色性素子の実施例を示す。前記円二色性素子は、図３の単位面３１を有し、厚さ１１８ｎｍの１／４波長板と図１９の単位面１９１を有し、厚さ３０ｎｍの異方的透過板の２層積層構造からなる。なお、単位面３１、１９１の大きさｌｘ×ｌｙは１５０×１５０ｎｍ^{2}とし、単位面３１におけるｔｘは３０ｎｍとし、単位面１９１におけるｐｘ、ｐｙともに５０ｎｍとした。また、単位面３１、１９１における負誘電率部材は金属（銀）とし、電磁波透過部材は絶縁体（SiO_2）とした。異方的透過板における高透過率軸は単位面１９１内において（１，１）方向であり、低透過率軸は（－１，１）方向である。
この第２の２層型円二色性素子は円二色性度σが０．７８、効率因子εが２６であり、円二色性が示された。
本実施例における入射波長４６０ｎｍは、実施例１と比べて短波長であり、銀の誘電率の

虚部が増加して吸収損失が増大する。その結果、効率因子などの低下を招くと考察した。

【０１１４】

（実施例５：第３の２層型円二色性素子）

入射平面波の波長１５００ｎｍに対する２層型の円二色性素子の実施例を示す。前記円二色性素子は、図３の単位面３１を有し、厚さ１７６ｎｍの１／４波長板と図２０の単位面２０１を有し、厚さ３４０ｎｍの異方的透過板の２層積層構造からなる。なお、単位面３１、１９１の大きさｌｘ×ｌｙは２５０×２５０ｎｍ^{2}とし、単位面３１におけるｔｘは５０ｎｍとし、単位面２０１におけるｗｘ、ｗｙともに５０ｎｍとした。５つの正方形１２ａ１、１２ａ２、１２ａ３、１２ａ４，１２ａ５はすべて同形である。また、単位面３１、２０１における負誘電率部材は金属（銀）とし、電磁波透過部材は半導体（Ｓｉ）とした。異方的透過板における高透過率軸は単位面２０１内において（１，１）方向であり、低透過率軸は（－１，１）方向である。

この第２の２層型円二色性素子は円二色性度σが０．９２、効率因子εが４４であり、円二色性が示された。本実施例における入射波長１５００ｎｍでは、電磁波透過部材Ｓｉの誘電率が大きいために反射損失が増加するために透過率が相対的に減少する。その結果、実施例１と比較して、効率因子などの低下を招いていると考察した。なお、本実施例におけるＳｉの誘電率は非特許文献９の値を引用した。

【０１１５】

（比較例１）

まず、単位面３１をもつ層構造が単独で存在し、その厚さが１００ｎｍであるほかは、構造パラメータｌｘ、ｌｙ、ｔｘは実施例１と同じである場合の透過平面波の偏光状態を調べた。入射平面波の波長は８５５ｎｍである。図１９にその結果を示しており、入射円偏光に対して、透過平面波の偏光状態は楕円偏光になっている。したがって、前記層構造が単独で存在するとき、偏光変換素子であることが分かる。しかし、１／４波長板であれば透過平面波は直線偏光になるので、前記層構造は１／４波長板ではない。

つぎに、厚さが１００ｎｍの前記層構造と異方的透過板を積層させた素子を比較例１とする。なお、前記素子は構造としては２層型円二色性素子１０１で偏光変換素子の厚さを変えた構造である。

図２２は比較例１の２層型素子の透過スペクトルの計算結果である。実線は、右回り円偏光の入射平面波の場合であり、点線は、左回り円偏光の入射平面波の場合である。図２２において波長８５５ｎｍのとき、円二色性度σ＝（７２．７－１４．７）／（７２．７＋１４．７）＝０．６６であり、実施例１と比較して円二色性度は低下している。なお、効率因子ε＝４８である。

【０１１６】

実施例１～３の素子の円二色性度σが０．９６以上あるのに対し、比較例１ではσが０．６６であり、効率因子ε＝４８であった。比較例１の円二色性素子は、偏光変換素子の厚さが最適化されていないため、円二色性度が小さくなったと考察した。

【０１１７】

（比較例２）

実施例１において、入射平面波の波長を５００ｎｍとした例である。この場合、図１の１に相当する層が円偏光の入射平面波を直線偏光に変換できないことから、１／４波長板ではない。したがって、波長５００ｎｍの入射平面波に対して２層型円二色性素子１０１は１／４波長板と異方的透過板の積層構造になっていない。この例における円二色性度σ＝（２７．２－５６．３）／（２７．２＋５６．３）＝－０．３５であり、効率因子ε＝２０である。

【０１１８】

（比較例３）

実施例１において、入射平面波の波長を１５００ｎｍとした例である。この場合、図１の１に相当する層が円偏光の入射平面波を直線偏光に変換できないことから、１／４波長板ではない。したがって、波長１５００ｎｍの入射平面波に対して２層型円二色性素子１

０１は１／４波長板と異方的透過板の積層構造になっていない。この例における円二色性度σ＝（４４．６－２８．５）／（４４．６＋２８．５）＝０．２２であり、効率因子ε＝９．８である。

【０１１９】

（比較例４）

実施例１において、入射平面波の波長を２０００ｎｍとした例である。この場合、図１の１に相当する層が円偏光の入射平面波を直線偏光に変換できないことから、１／４波長板ではない。したがって、波長２０００ｎｍの入射平面波に対して２層型円二色性素子１０１は１／４波長板と異方的透過板の積層構造になっていない。この例における円二色性度σ＝（４４．１－３０．４）／（４４．１＋３０．４）＝０．１８であり、効率因子ε＝８．１である。

【０１２０】

（比較例５）

実施例１において、入射平面波の波長を３５０ｎｍとした例である。この場合、素子の厚さが４９４ｎｍであるから、サブ波長の厚さではない。図１の１に相当する層が円偏光の入射平面波を直線偏光に変換できないことから、１／４波長板ではない。したがって、波長３５０ｎｍの入射平面波に対して２層型円二色性素子１０１は１／４波長板と異方的透過板の積層構造になっておらず、なおかつ素子の厚さは波長よりも大きい。この例における円二色性度σ＝（１７．６－１２．４）／（１７．６＋１２．４）＝０．１７であり、効率因子ε＝３．０である。

【０１２１】

【表１】

	１／４波長板の厚さ（ｎｍ）	異方的透過板の厚さ（ｎｍ）	別の１／４波長板の厚さ（ｎｍ）	素子の厚さ（ｎｍ）	入射平面波の波長（ｎｍ）	円二色性度σ＊	効率因子ε＊
実施例１	284	210	0	494	855	0.97	80
実施例２	284	210	255	749	855	0.97	70
実施例３	284	210	255	749	855	0.96	61
実施例４	118	30	0	148	460	0.78	26
実施例５	176	340	0	516	1500	0.92	44
比較例１	100	210	0	310	855	0.66	48
比較例２	284	210	0	494	500	-0.35	20
比較例３	284	210	0	494	1500	0.22	9.8
比較例４	284	210	0	494	2000	0.18	8.1
比較例５	284	210	0	494	350	0.17	3.0

＊入射平面波の波長における値。

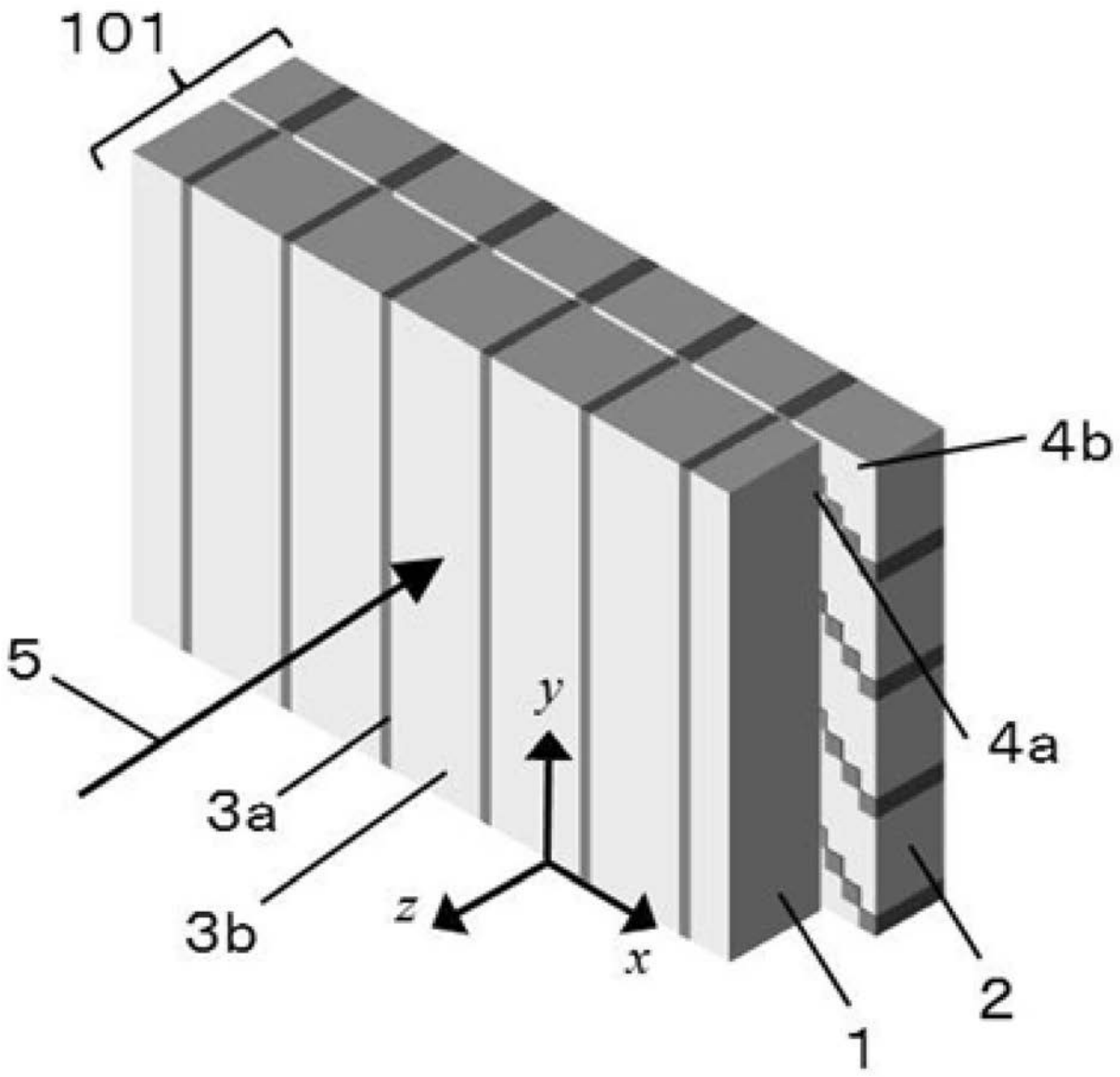
【０１２２】

比較例２、３、４、５において、いずれの場合も入射円偏光を変換する１／４波長板に相当する層が厚さに関して最適化されていないため、円二色性度の絶対値が０．３５以下と小さくなったと考察した。また、異方的透過板構造に相当する層が波長に対して適した単位面構造を有していないことから、効率因子が２０以下に低下したと考察した。

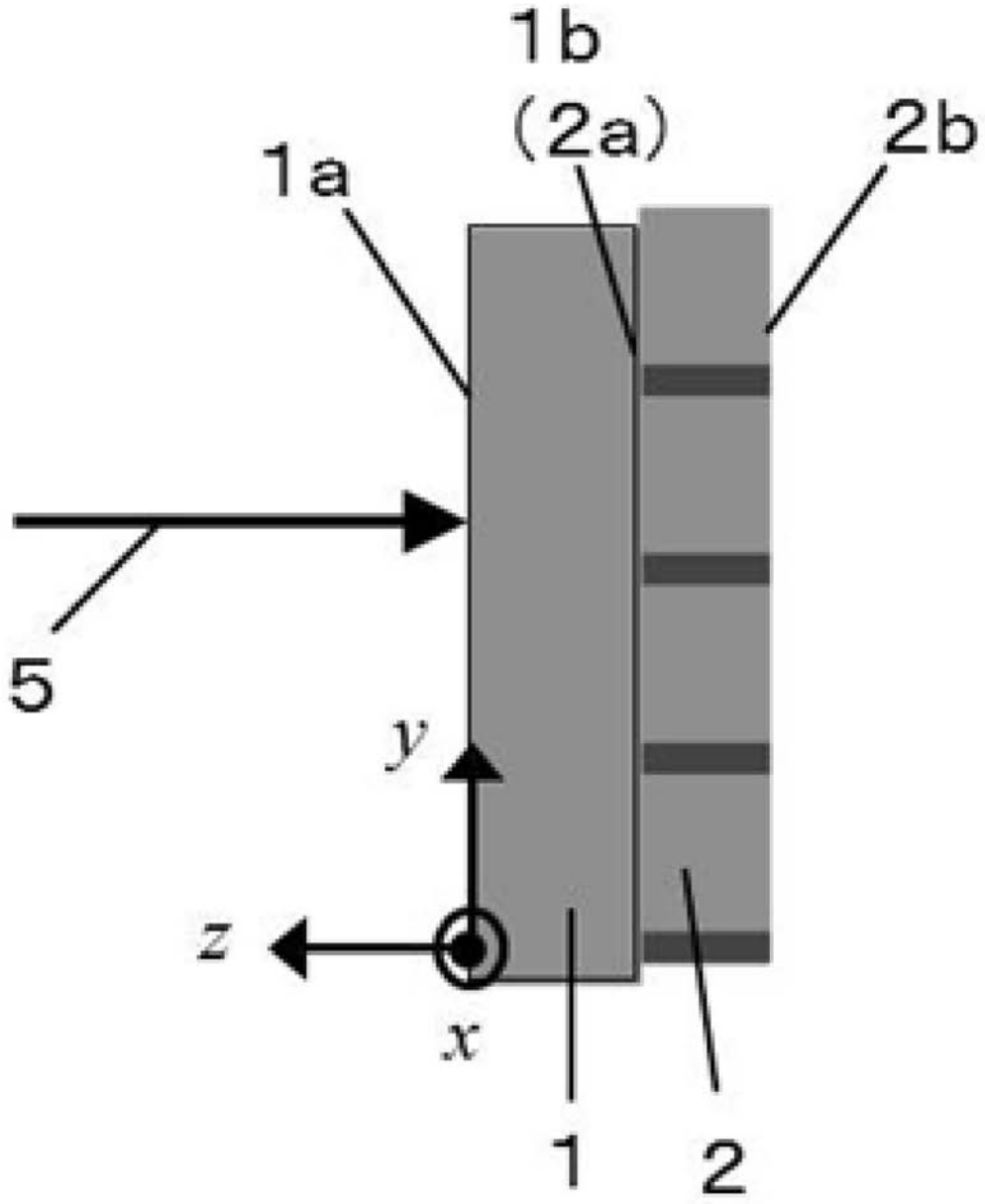
【産業上の利用可能性】

【０１２３】
本発明の円二色性素子は、０．７５以上の円二色性度σかつ２５以上の効率因子εを有し、入射平面波の波長よりも薄い厚さであって、透過平面波の偏光状態を直線偏光または入射円偏光と逆回り若しくは同じ回りの円偏光に制御可能な円二色性素子に関するものであり、スピントロニクス材料などを用いた光デバイス産業等において利用可能性がある。
【符号の説明】
【０１２４】
１…１／４波長板、１ａ…一面、１ｂ…他面、２…異方的透過板、２ａ…一面、２ｂ…他面、３ａ…負誘電率部材、３ｂ…電磁波透過部材、３ｃ…先進軸、３ｄ…遅延軸、４ａ、４ａ１、４ａ２、４ａ３、４ａ５、４ａ６…負誘電率部材、４ｂ…電磁波透過部材、４ｃ…高透過率軸、４ｄ…低透過率軸、５…波数ベクトル、６…別の１／４波長板、７ａ…負誘電率部材、７ｂ…電磁波透過部材、８…別の１／４波長板、９ａ…負誘電率部材、９ｂ…電磁波透過部材、９ｃ…先進軸、９ｄ…遅延軸、１０ａ、１０ｂ、１０ｃ…負誘電率部材、１０ｄ、１０ｅ…電磁波透過部材、１１ａ…高透過率軸、１１ｂ…低透過率軸、１２ａ１、１２ａ２、１２ａ３、１２ａ４、１２ａ５…負誘電率部材、１２ｂ１、１２ｂ２…電磁波透過部材、１３ａ…高透過率軸、１３ｂ…低透過率軸、１４…波数ベクトル、１５…電場ベクトル、１６…波数ベクトル、１７…電場ベクトル、１８…円二色性素子、１９…波数ベクトル、２０…右回り円偏光、２１…波数ベクトル、２２…左回り円偏光、２３…右回り円偏光下の透過光波数ベクトル、２４…左回り円偏光下の透過光波数ベクトル、３１…１／４波長板の単位面、４１…異方的透過板の単位面、７１…別の１／４波長板の単位面、１０１…２層型円二色性素子、１０２…第１の３層型円二色性素子、１０３…第２の３層型円二色性素子、１９１…異方的透過板の単位面、２０１…異方的透過板の単位面。

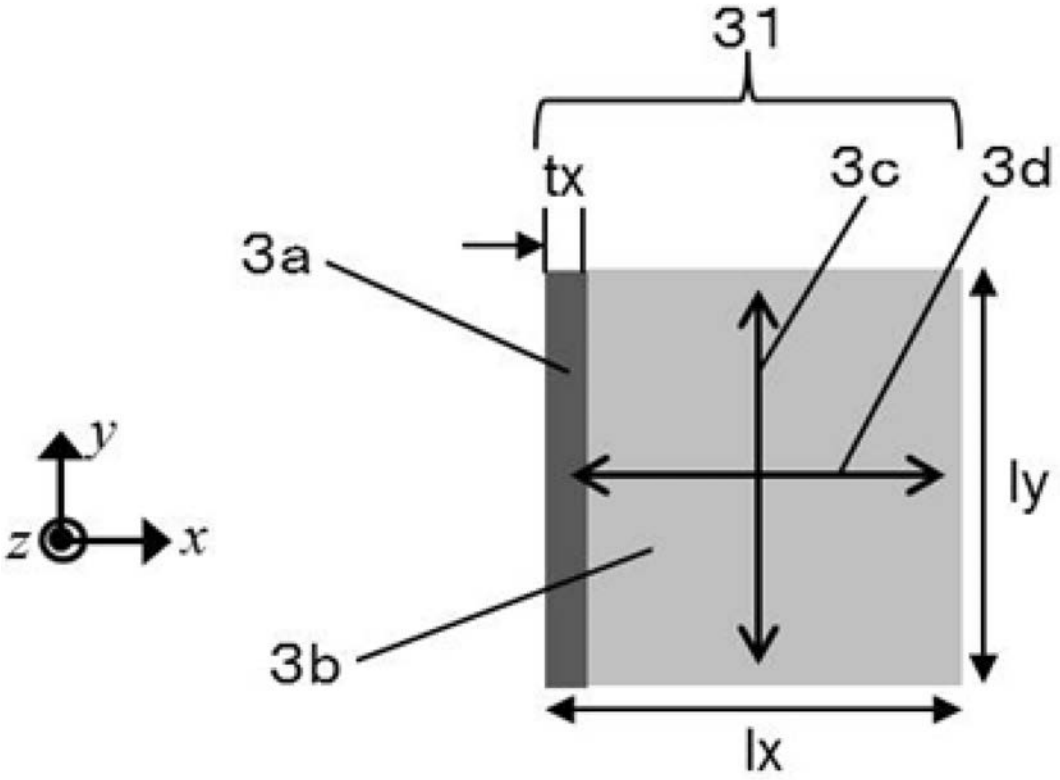
【図１】



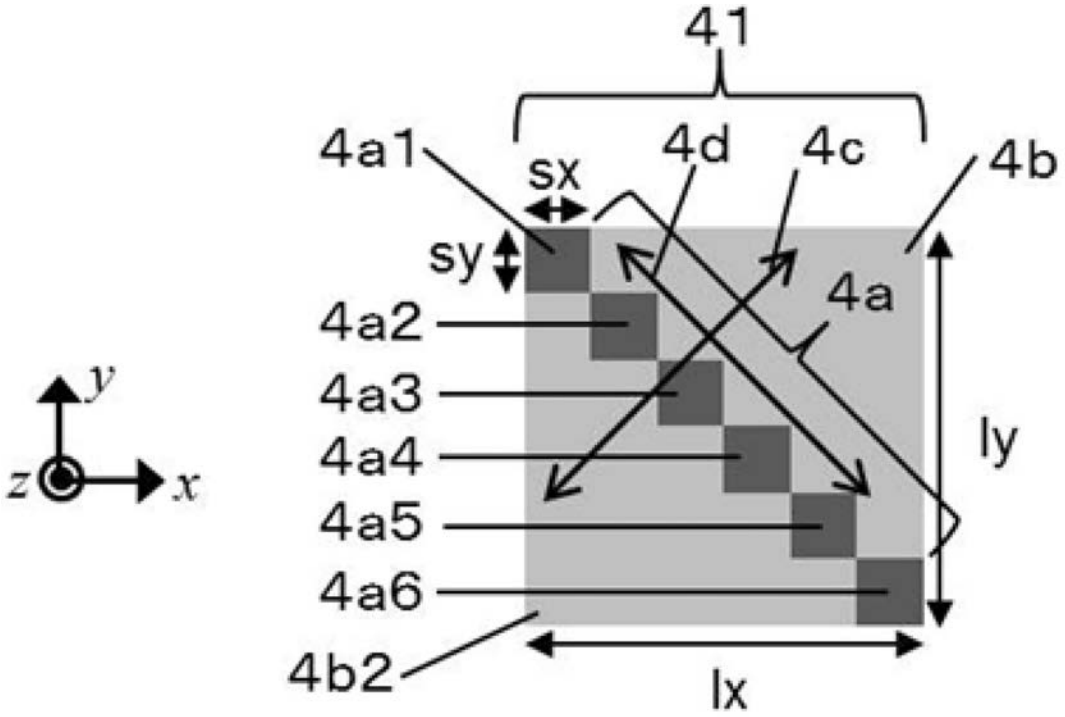
【図２】



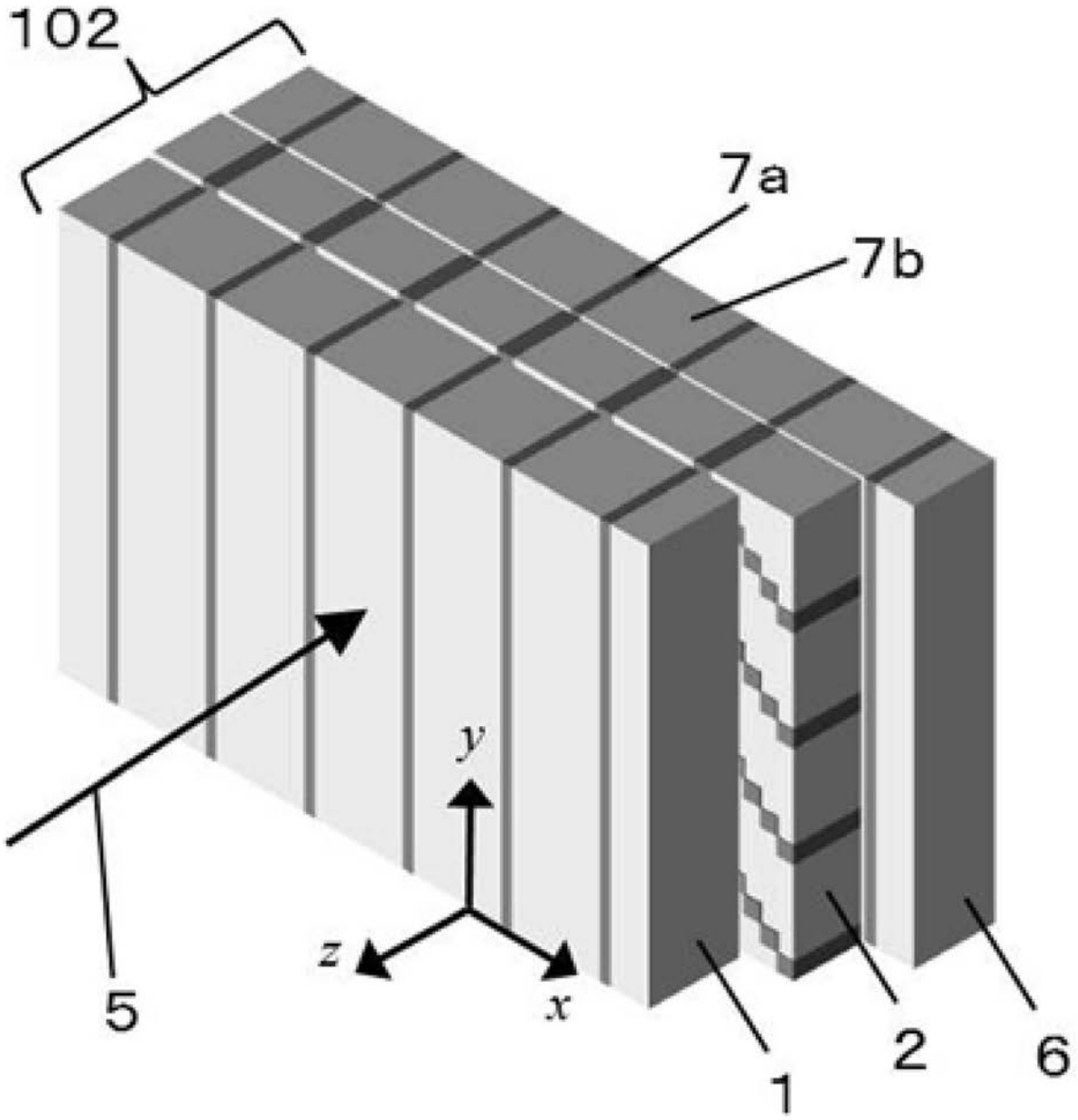
【図３】


31
tx
3c
3d
3a
y
z
x
ly
3b
lx

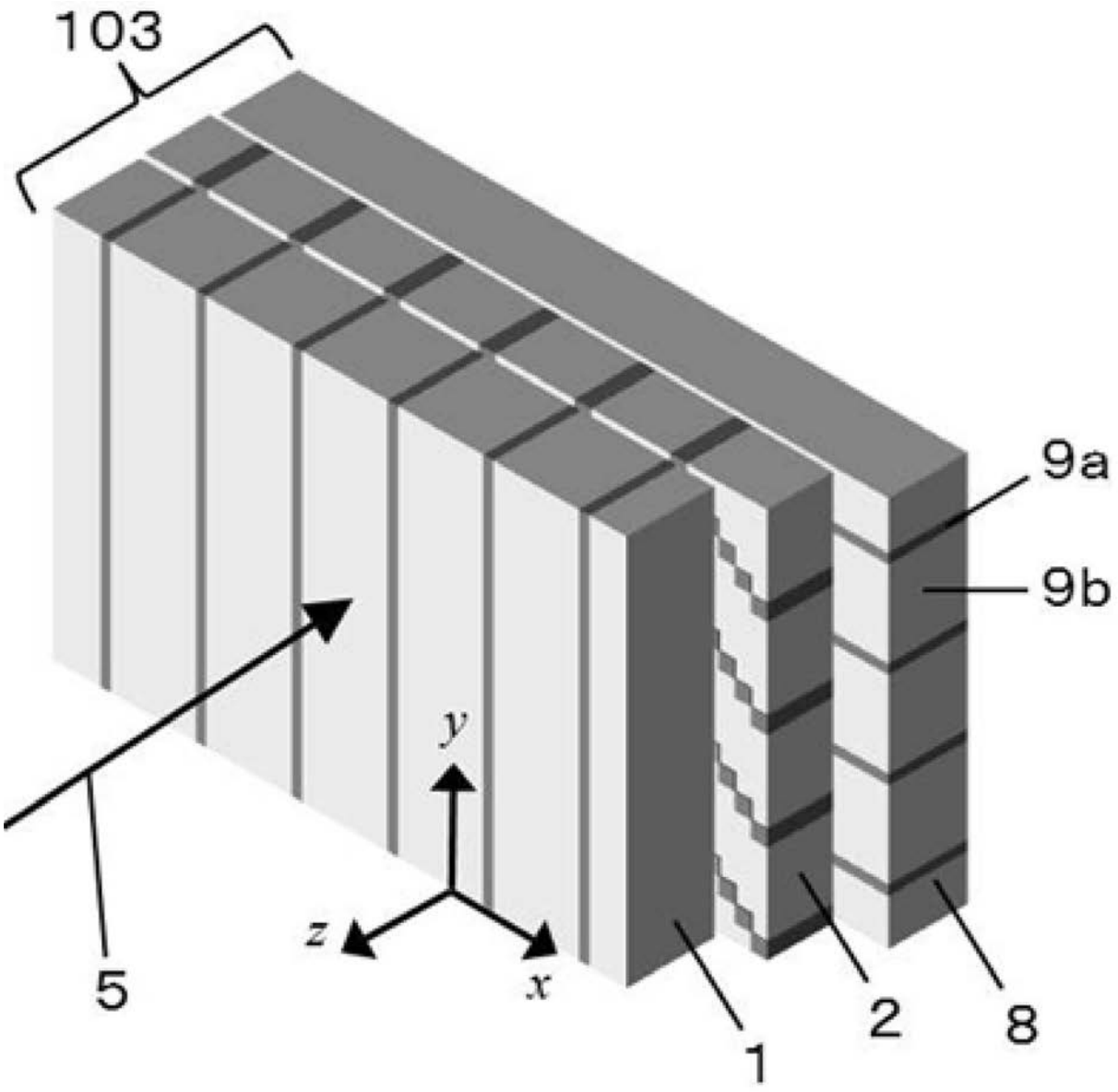
【図４】


41
4a1
sx
4d
4c
4b
sy
4a
4a2
4a3
4a4
4a5
4a6
y
z
x
ly
4b2
lx

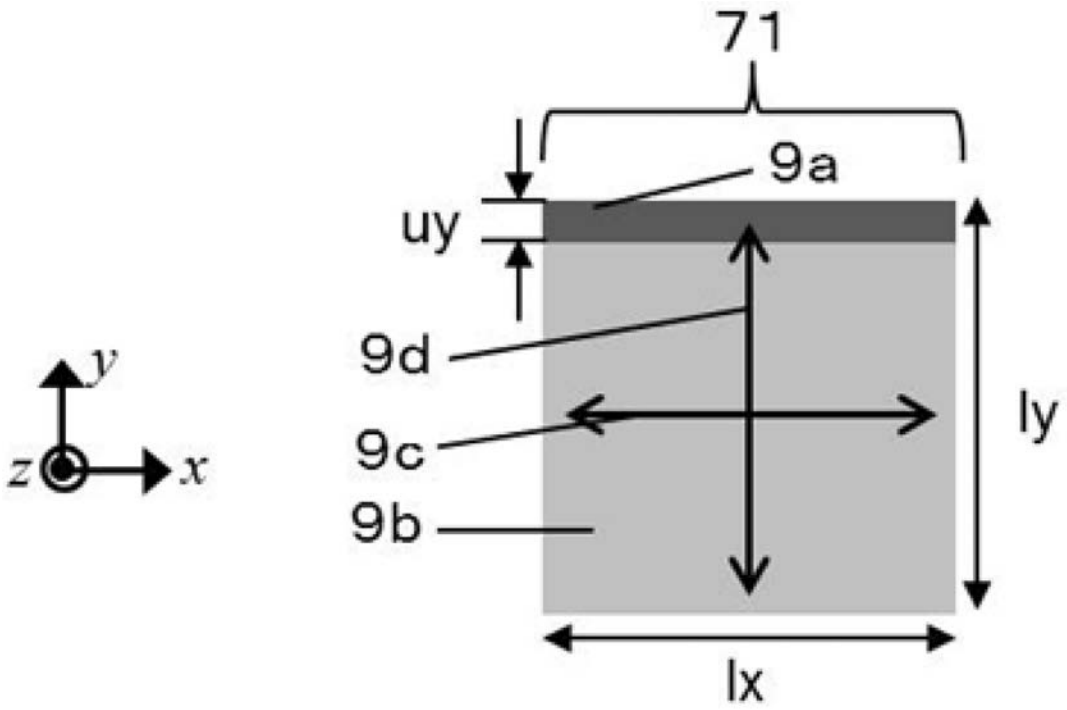
【図５】



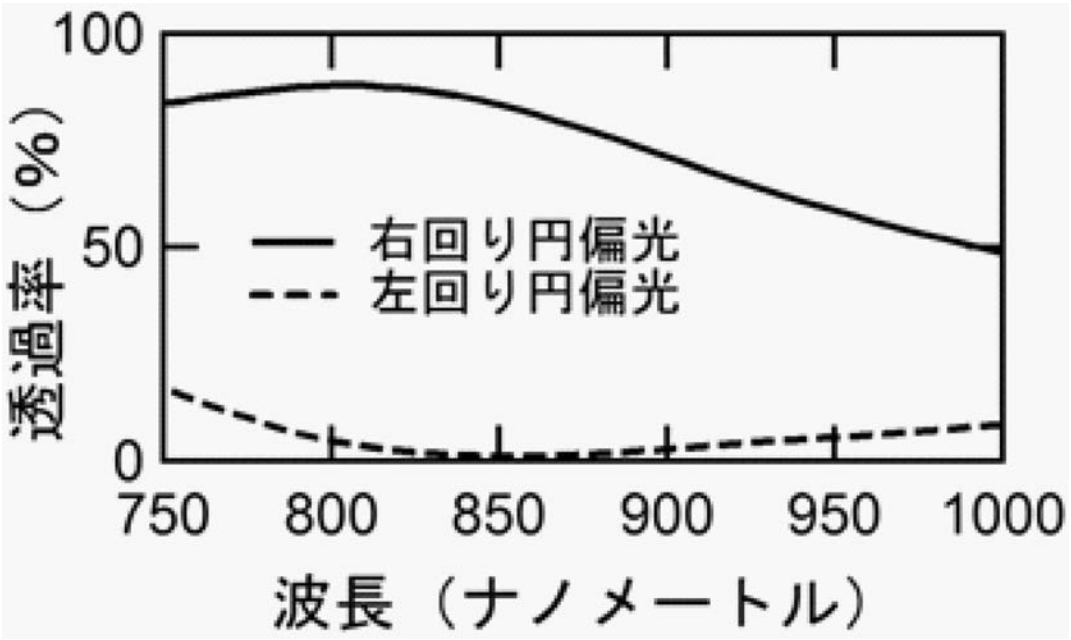
【図６】



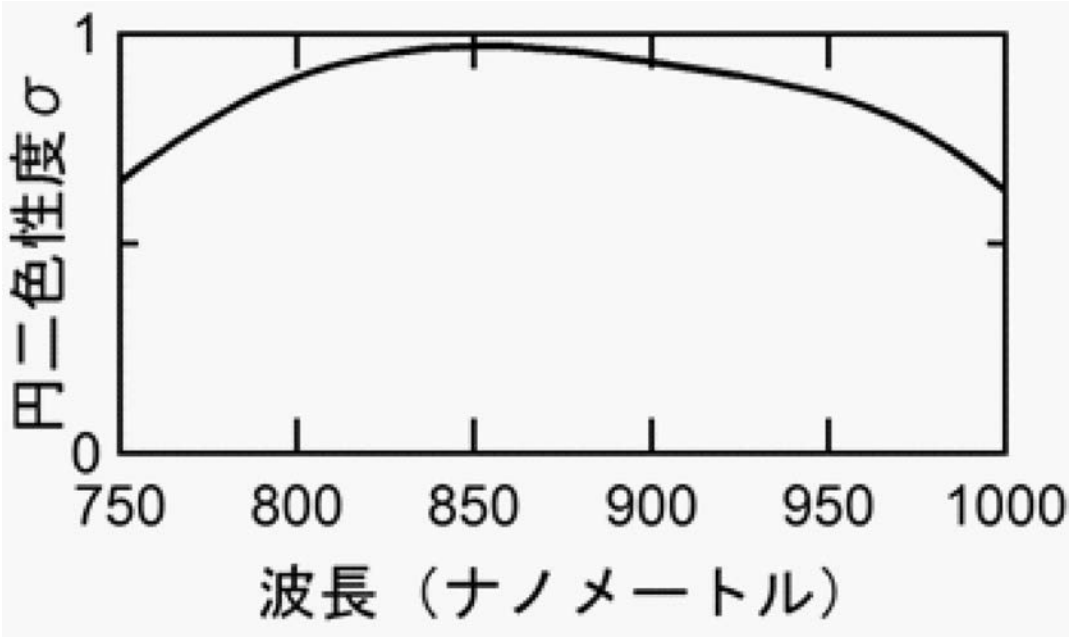
【図７】


71
9a
uy
9d
9c
9b
ly
lx
y
z
x

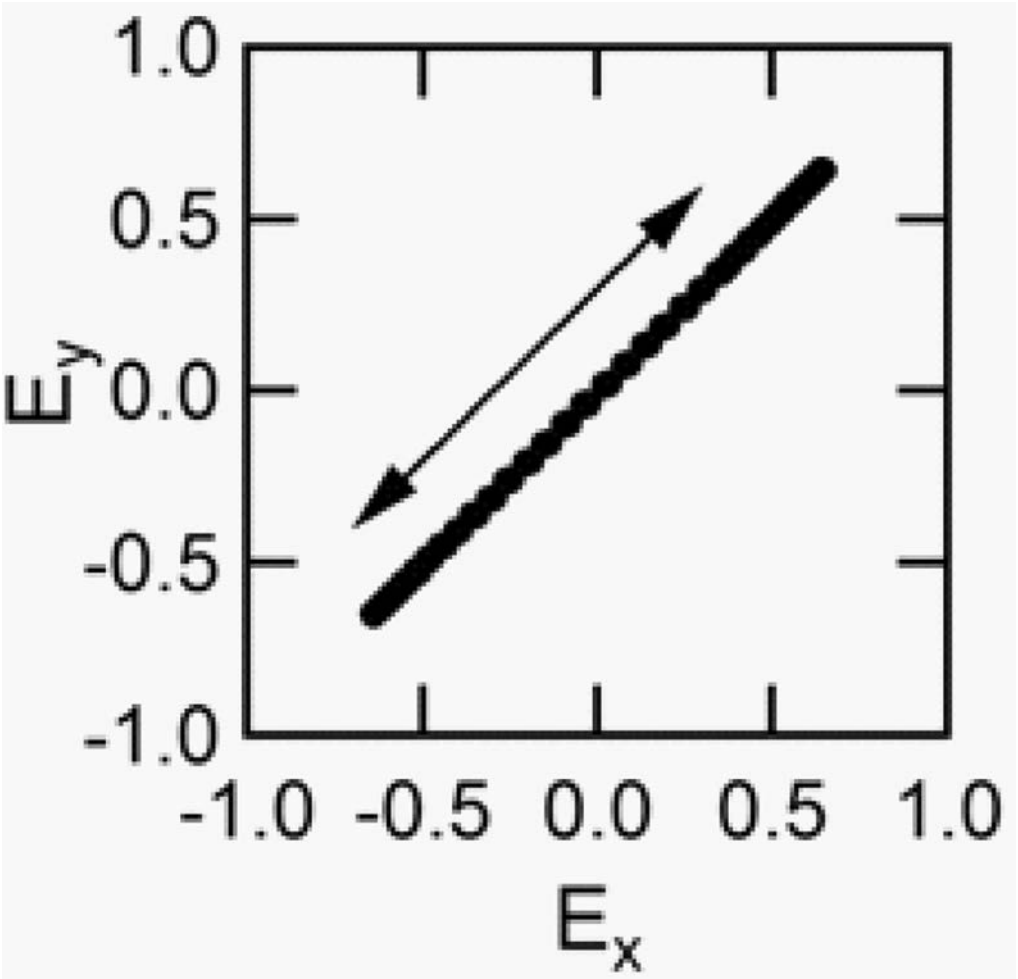
【図８】


100
50
0
透過率（%）
右回り円偏光
左回り円偏光
750
800
850
900
950
1000
波長（ナノメートル）

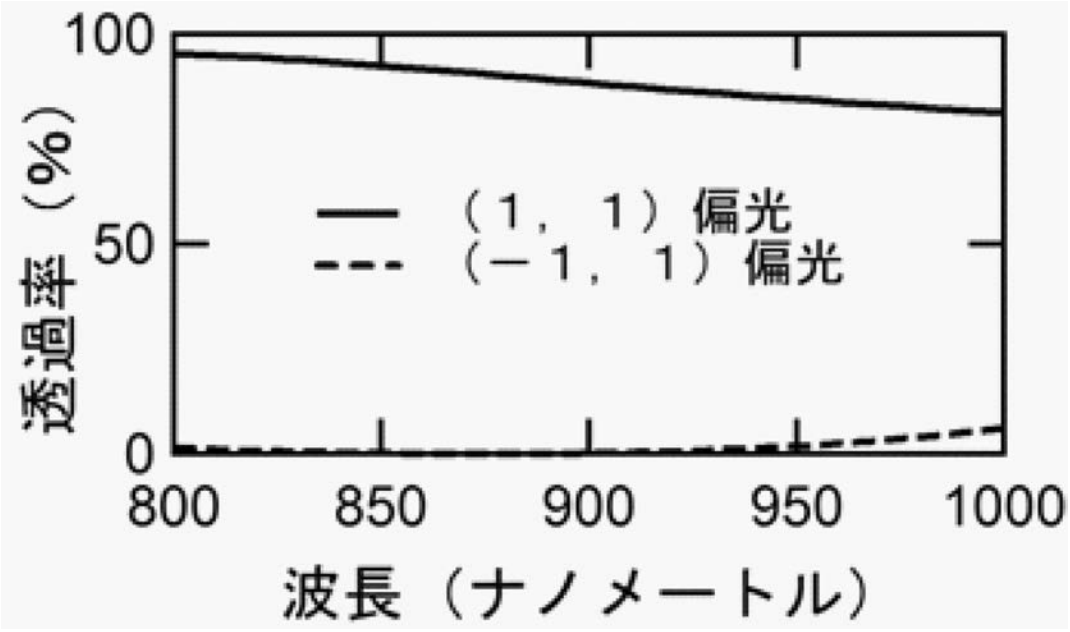
【図９】


1
0
円二色性度σ
750
800
850
900
950
1000
波長（ナノメートル）

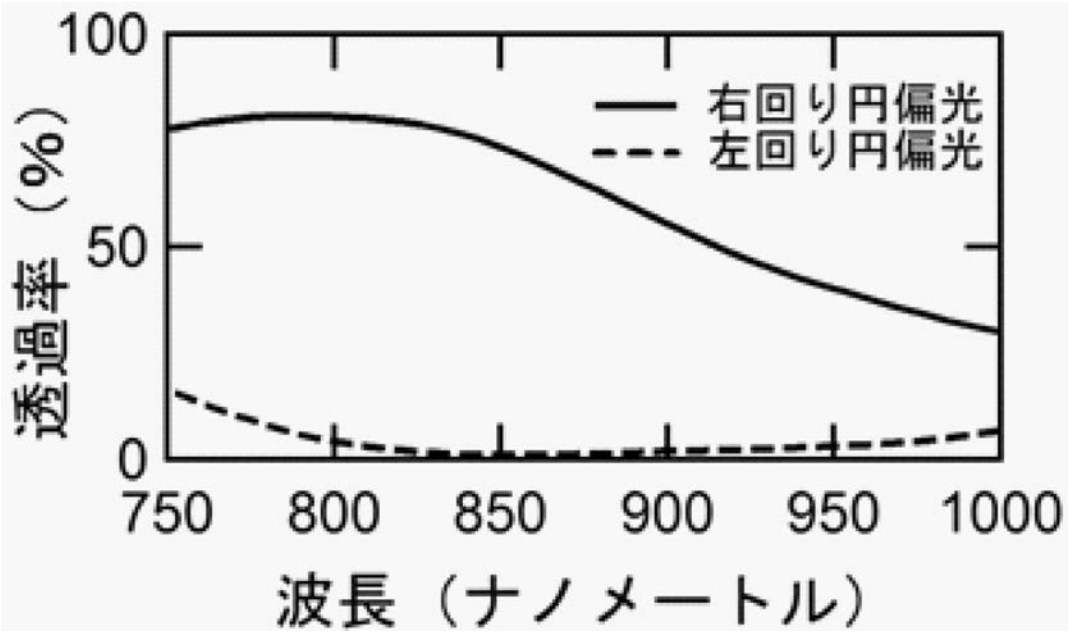
【図１０】


1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
Ey
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
Ex

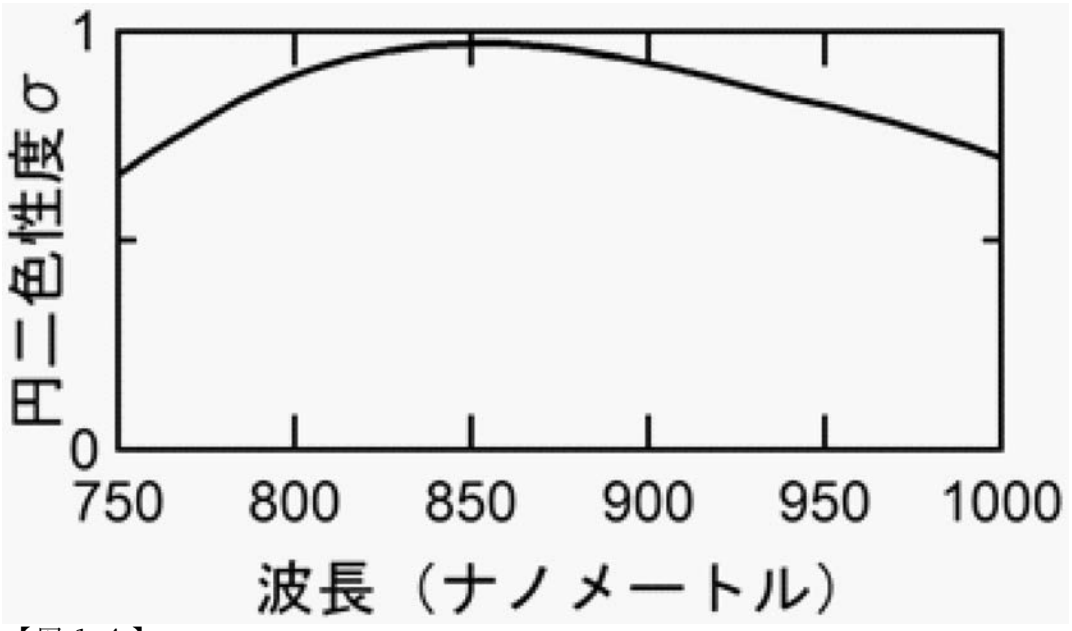
【図１１】


100
50
0
透過率（%）
（１，１）偏光
（－１，１）偏光
800
850
900
950
1000
波長（ナノメートル）

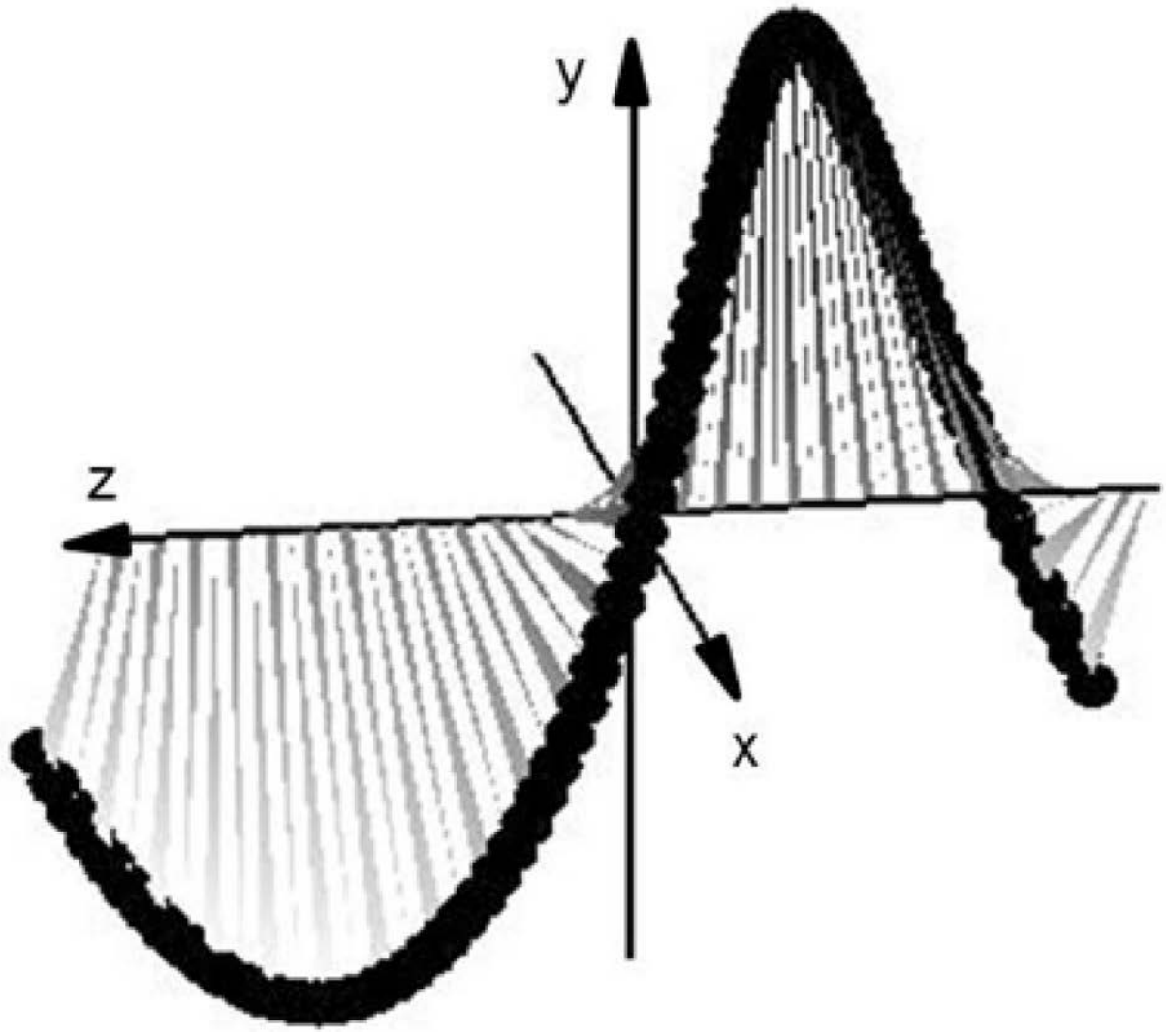
【図１２】


100
50
0
透過率（%）
右回り円偏光
左回り円偏光
750
800
850
900
950
1000
波長（ナノメートル）

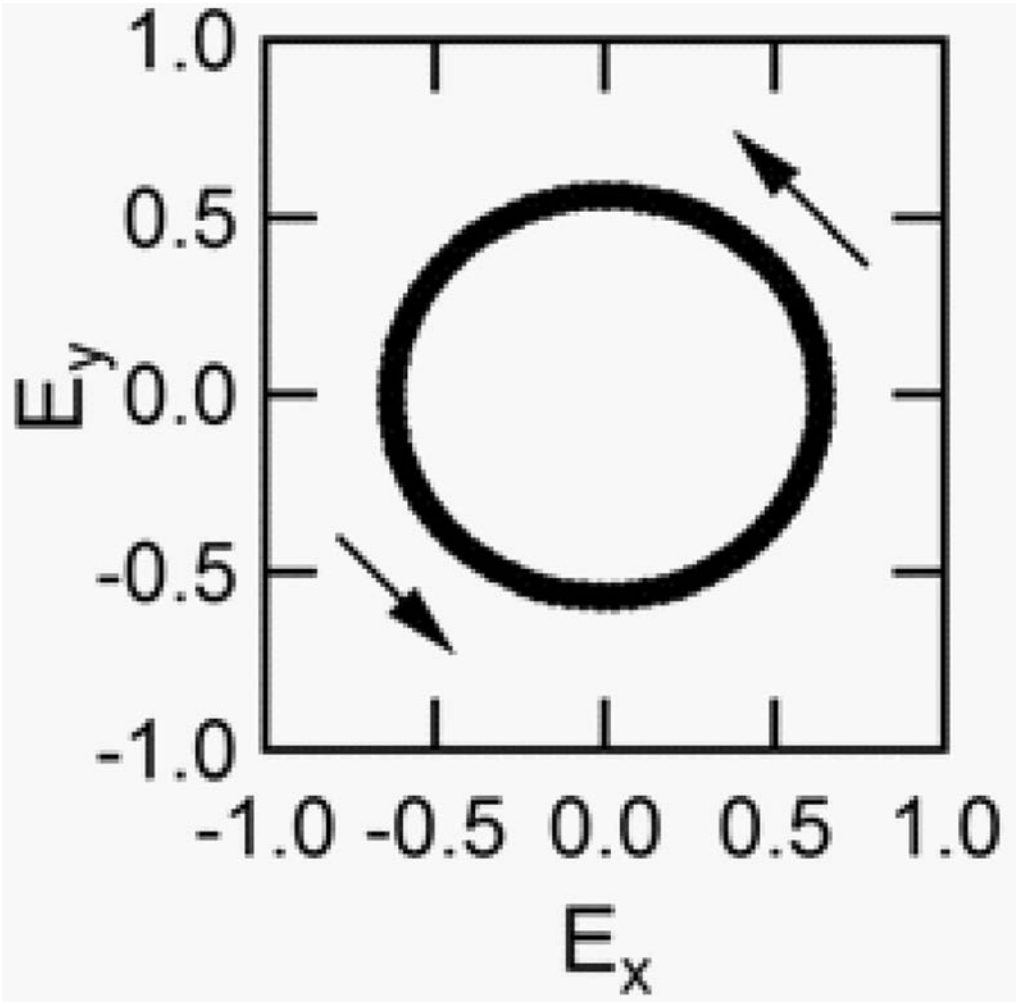
【図１３】



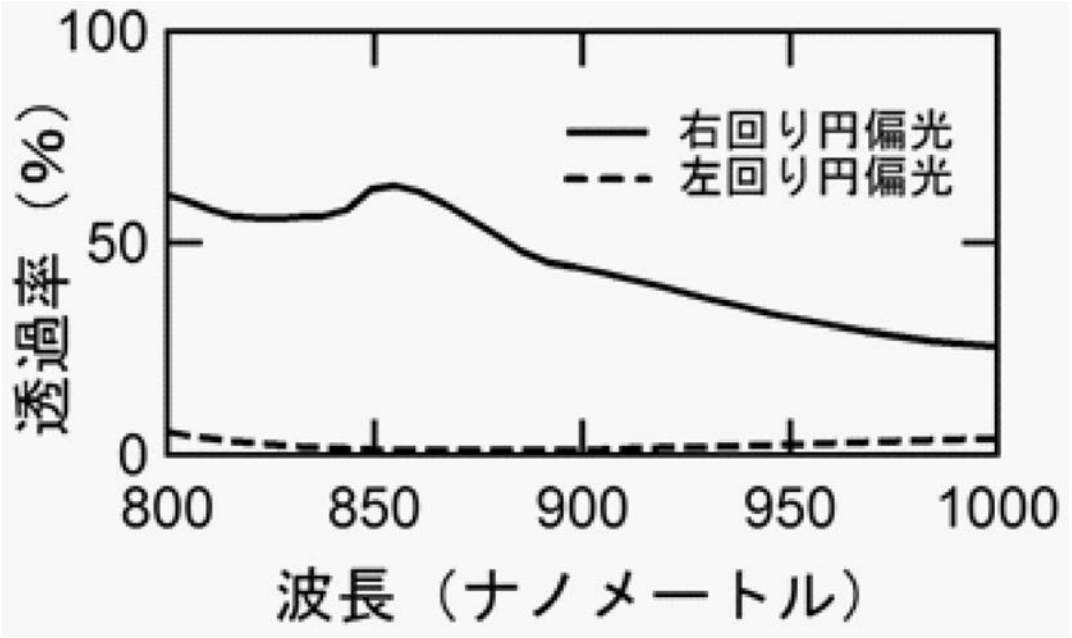
【図１４】



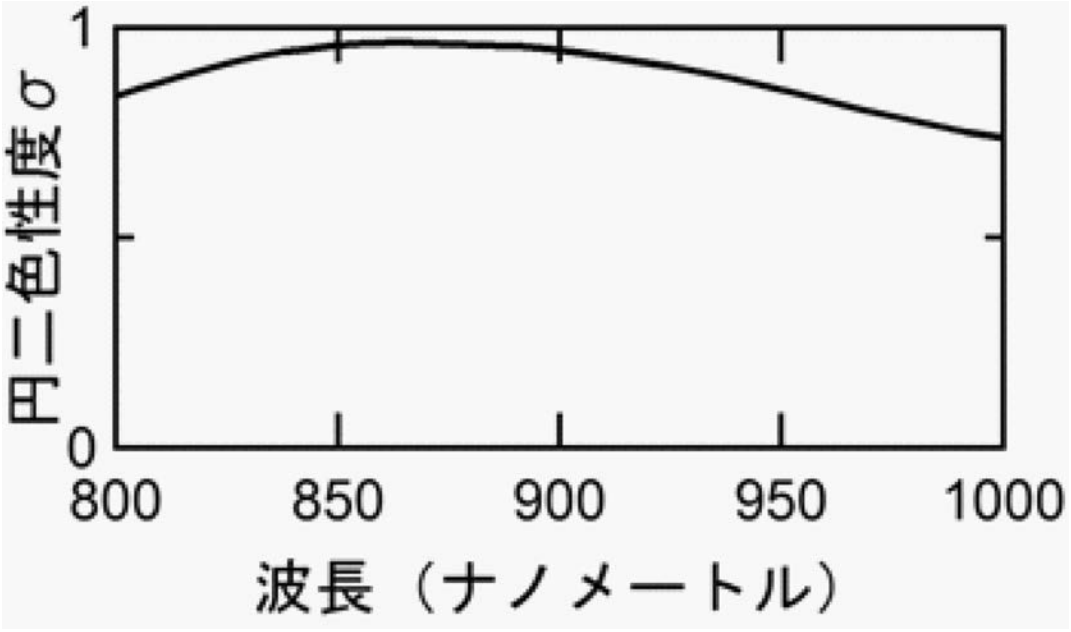
【図１５】


1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
E_y
-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0
E_x

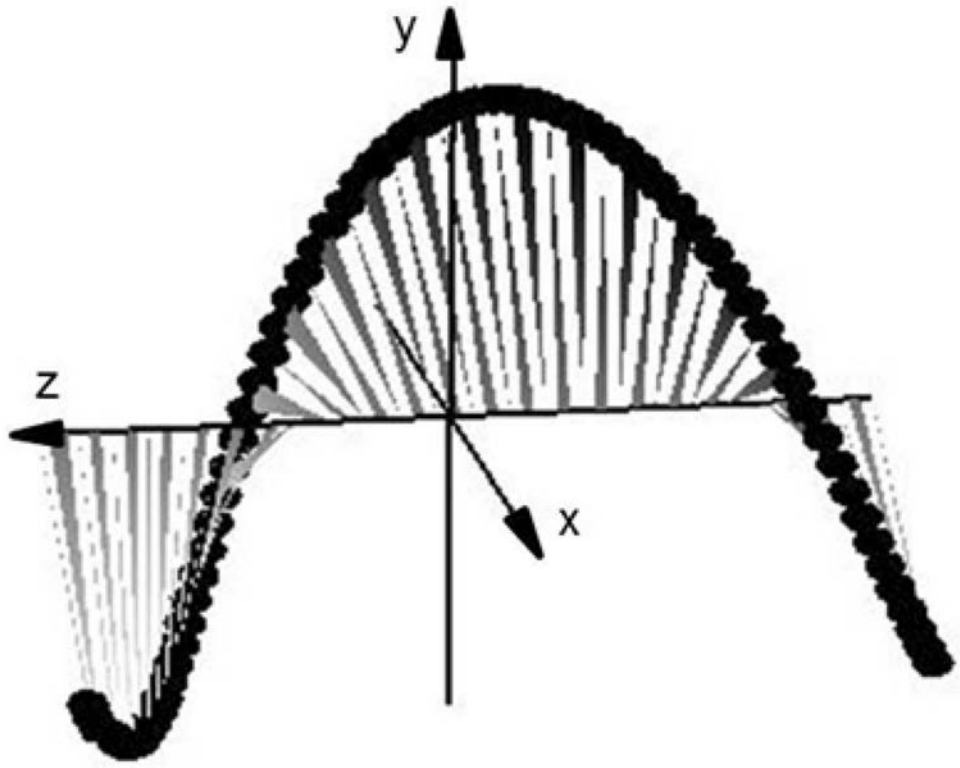
【図１６】


100
50
0
透過率（%）
右回り円偏光
左回り円偏光
800 850 900 950 1000
波長（ナノメートル）

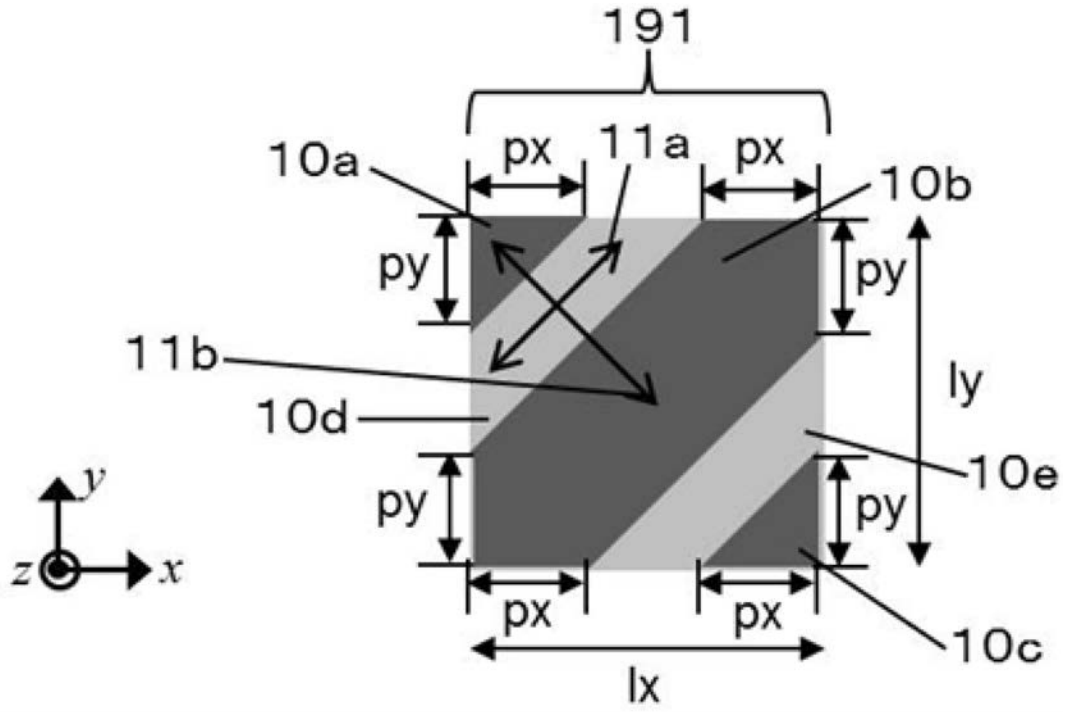
【図１７】



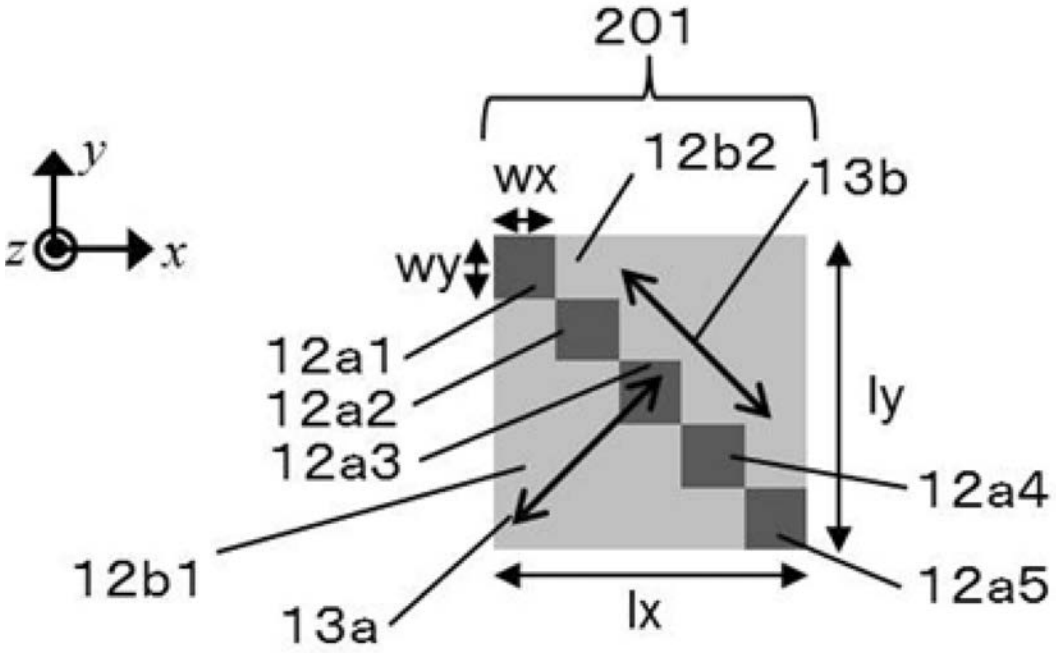
【図１８】



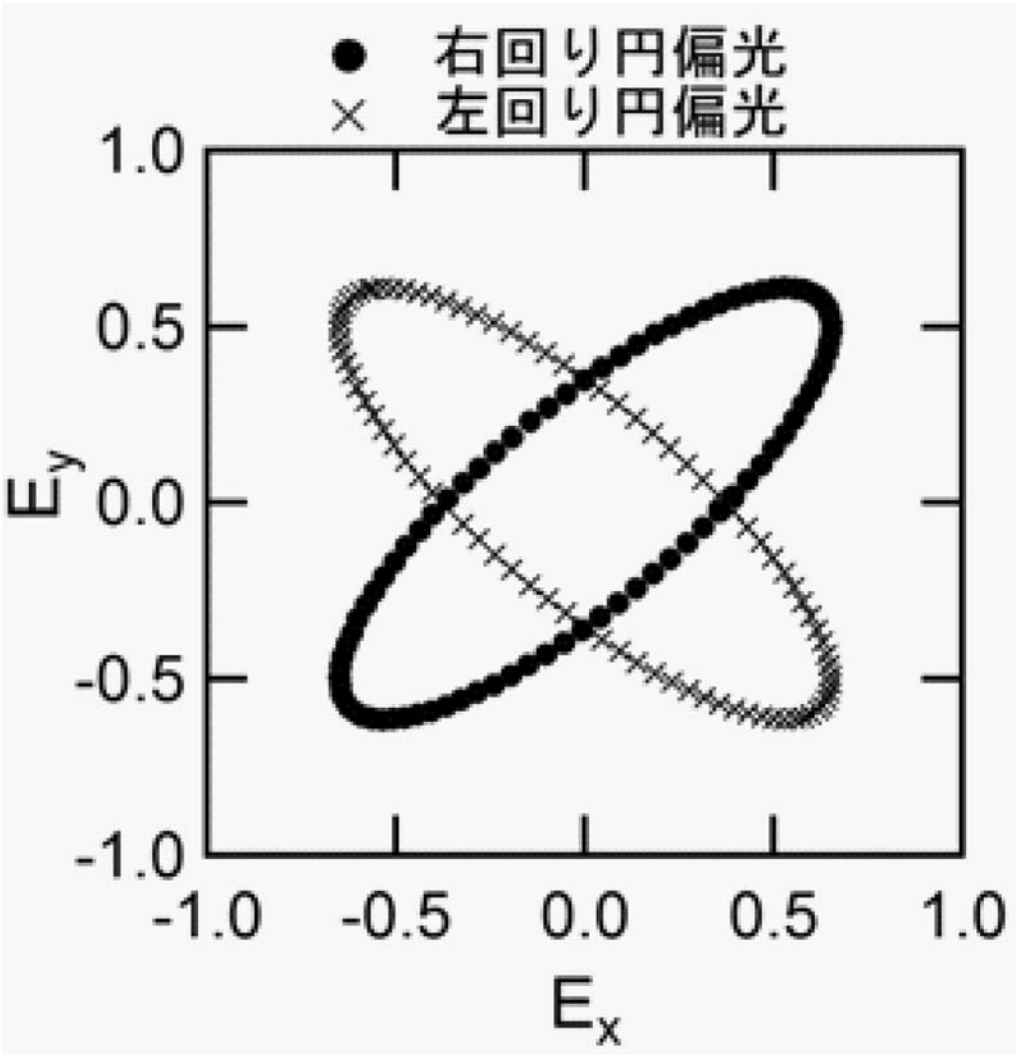
【図１９】


191
10a
px
11a
px
10b
py
py
11b
ly
10d
10e
py
py
y
z
x
px
px
10c
lx

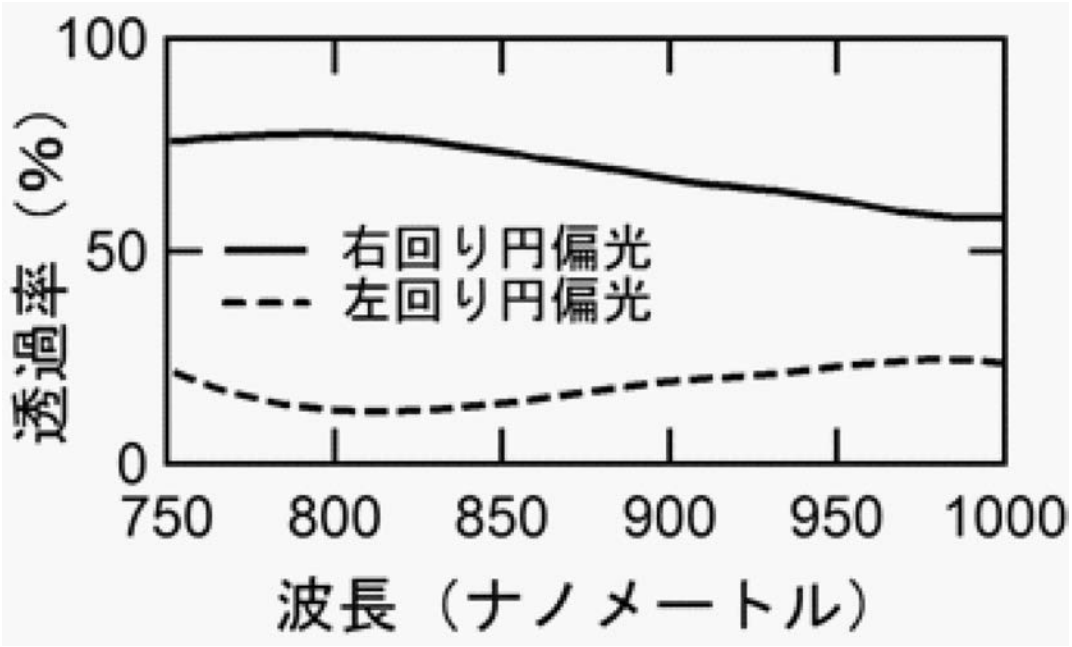
【図２０】


201
y
z
x
wx
12b2
13b
wy
12a1
12a2
12a3
ly
12a4
12b1
12a5
13a
lx

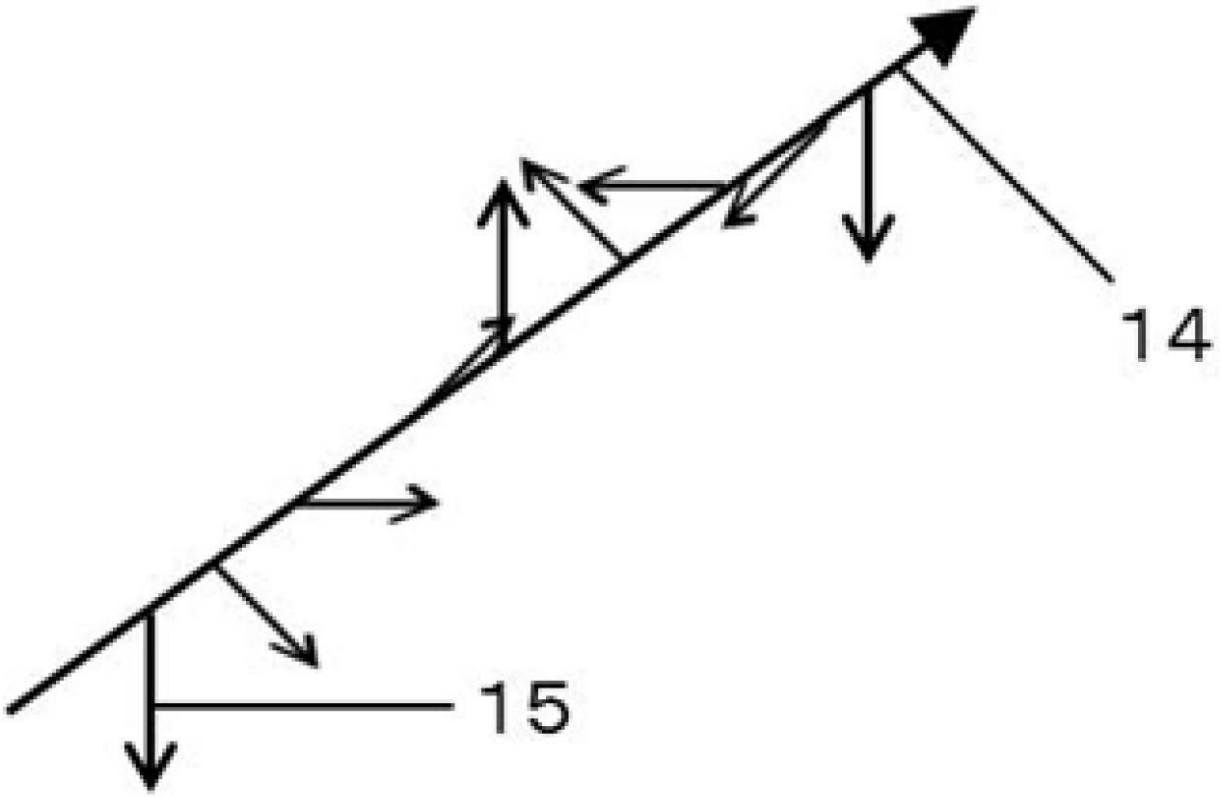
【図２１】


右回り円偏光
左回り円偏光
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
E_y
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
E_x

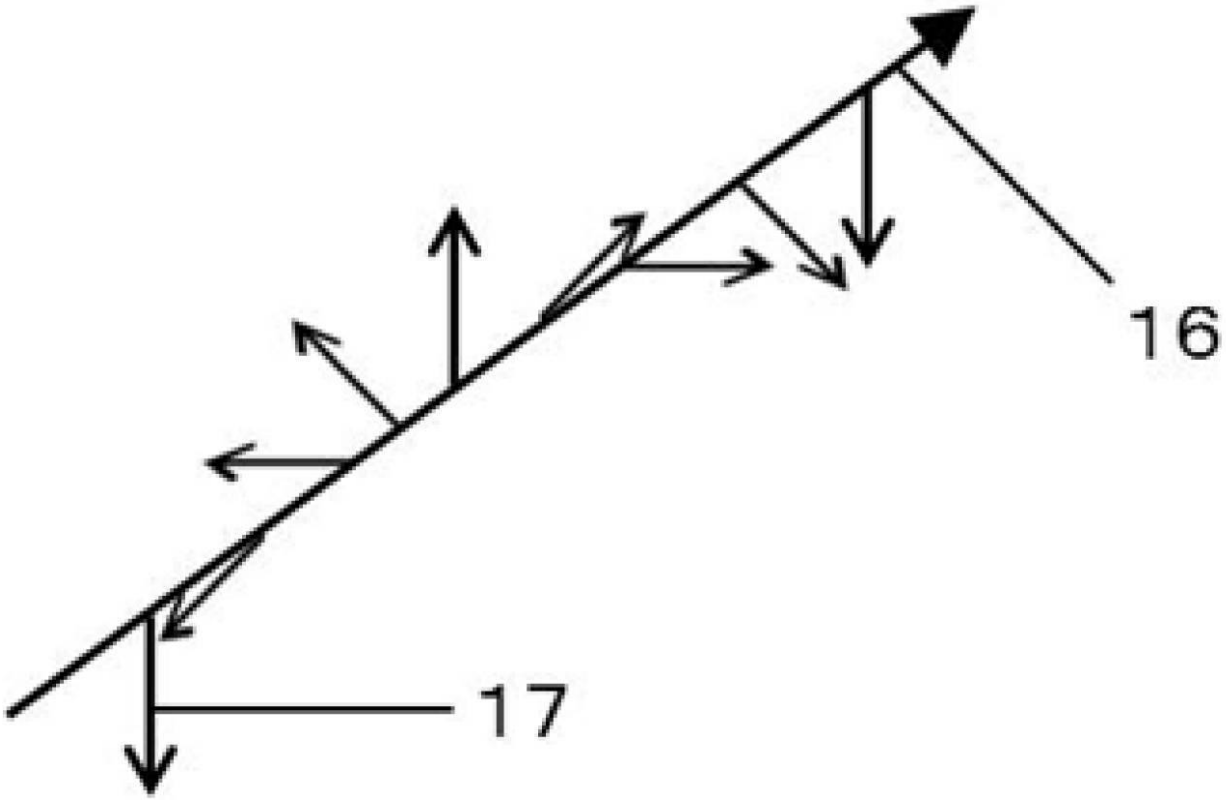
【図２２】


100
50
0
透過率（%）
右回り円偏光
左回り円偏光
750
800
850
900
950
1000
波長（ナノメートル）

【図２３】



【図２４】



【図２５】

