

論文内容の要旨

Abstract of Dissertation

氏名 Name 百崎 龍成

通信、検査、計測などの広範な分野で光波が利用されている。同じ電磁波でも電波に比して高周波な光波を用いることで、センシングの高解像化や通信における高速化、大容量化などの多くのメリットを得ることができる。そのため、光波が有する波長（周波数）、振幅、位相、伝搬方向、そして偏光といった特性を制御可能な光学素子が数多く研究、開発されてきた。とりわけ、偏光は、液晶ディスプレイや関連する材料分野で我が国を中心にかなり研究されてきた背景があるが、その他の分野への応用では未だ途上にある。近年、光センシング、光通信、次世代ディスプレイ（エアリアルディスプレイ、ヘッドアップ／ヘッドマウントディスプレイ）などの分野で偏光を導入することによって、いくつかの革新的な技術が報告されている。これらは偏光制御素子を要素素子として採用することで達成されており、偏光制御素子の研究・開発が偏光の新たな応用創出につながることを明示している。偏光を応用する上で有用な特長を併せ持つ偏光回折格子と呼ばれる光学素子がある。偏光回折格子は液晶やメタサーフェスなどの異方性媒体を周期的に配置することによって作製される。偏光回折格子の回折原理は、従来の等方性媒体で形成される回折格子とは異なり、偏光と異方性媒体の相互作用時に現れる幾何学的位相に基づく偏光回折によるものである。そのため、物理的な凹凸構造なく、可視域で数ミクロンと薄くとも、100%の回折効率などの応用上魅力的な性能を達成する。一方で、斜入射時に回折特性が乖離する点や応用に合わせた多彩な回折特性の実現が要求されている点などの応用上の課題が残されている。本研究では、液晶を用いた偏光回折格子において、光学異方性媒体の空間分布や光学異方性を特徴付ける液晶分子自体の空間的な屈折率分布を制御することによって、応用上の光学的課題を解決することを目的としている。

液晶を用いた偏光回折格子には、ガラス基板などの上に液晶材料を配置した単層のものと、配向材料をコーティングすることによって用意した配向基板を対向させて低分子液晶を挟んで配向させた液晶セル型のものがある。後者の液晶セル型の偏光回折格子は、内部の低分子液晶の温度依存性や電界依存性によって動的に制御することができる。また、形成する際に用いる2枚の配向基板の格子ベクトル方向や配向パターンによって回折特性を大幅に制御できることが報告されている。本研究では、格子周期が異なる2枚の配向基板で液晶セル型の偏光回折格子を作製し、その内部配向分布と回折特性を調査した。液晶セル内部に形成される特徴的な液晶配向分布をビート構造と命名し、ビート構造を有する液晶セル型偏光回折格子の回折特性を実験および理論解析の両面から実証した。さらに、理論的な考察を行い、線状の格子欠陥（ディスクリネーション）が起きる条件の解明やビート構造の周期（ビート周期）の定式化を行った。回折特性については、入射光のビーム径に対してビート周期1周期が対応する場合と複数周期が対応する場合でそれぞれ実験的に測定し、ビート構造と回折特性の関係を明らかにした。

他方、偏光回折格子の応用において、ビームを走査するために使用する際や広角なイメージングに用いる際には、光波が斜めに入射される場面がしばしばある。しかしながら、垂直入射時には理論上100%である回折効率や常に円偏光を偏光回折する偏光特性は、入射角の大きさに応じて徐々に乖離してくる。通常、偏光回折格子は一軸異方性媒体を利用して作製されるため、入射角に応じて光波に寄与する実効的な異方性の大きさが変化する。これに対して、二軸光学異方性媒体はどの方向から見ても異方的な屈折率分布を有している。そのため、本研究では、単層の偏光回折格子に二軸異方性を導入することによって入射角依存性を低減できないか検討することとした。偏光回折格子では光学異方性媒体の光学軸が一軸方向にのみ分布していることから、格子ベクトルと直交する平面上、格子ベクトルを定義できる平面上の2通りの斜め入射を想定することができる。格子ベクトルと直交する平面での入射角依存性では、二軸光学異方性による補償が有効的に機能し、コントロールとして用意した一軸光学異方性の結果と比較することで入射角依存性を低減できることが明らかとなった。格子ベクトルが定義される平面での入射角依存性においても、偏光回折格子の光学的厚さを考慮することによって、二軸光学異方性による補償効果がどのように作用するかを明らかにした。一連の実験結果は理論解析結果とよく一致し、二軸光学異方性補償の理論的な説明が与えられている。

代表的な偏光エレクトロニクス素子である、偏光回折格子に関する本研究で得られた結果は、偏光回折格子を応用する際に役立つだけでなく、偏光回折格子の応用機会を拡大することや新規光学異方性材料の研究・開発にもつながり、光産業の発展に大きく貢献するものである。