

機関番号：12301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21860012

研究課題名（和文）液晶の光配向による光制御型光学デバイスの創製

研究課題名（英文）Photocontrollable optical devices using photoalignment of liquid crystals

研究代表者

佐々木 友之 (SASAKI TOMOYUKI)

群馬大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：90553090

研究成果の概要（和文）：液晶へ光を照射した際に生じる分子配向の変化を利用することで、光による光の制御を可能とする高機能光学デバイスの実現を目指し、特に、ベクトルホログラム記録と呼ばれる手法により周期的分子配向分布を形成する方法について詳細な検討を行った。分布構造の光学特性を実験と理論の両面から解析した結果、配向分布の周期を光の波長程度に微細化することで、偏光の変換や分離の機能を有する光制御可能な回折素子の得られることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：Photocontrollable optical devices based on photoinduced reorientation of liquid crystals were studied. Especially, optical properties of periodic molecular orientation, recorded by vector holography, were investigated in detail. As a result, it was demonstrated that photonic structures, formed by the molecular orientation, exhibit polarization conversion and discrimination in the diffraction process.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,080,000	324,000	1,404,000
2010年度	980,000	294,000	1,274,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,060,000	618,000	2,678,000

研究分野：応用光学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用光学・量子光工学

キーワード：液晶、光配向、ベクトルホログラム、異方的フォトニック構造

## 1. 研究開始当初の背景

電氣的に困難な光制御や、電気信号への変換が不要な高速光情報処理の実現を主たる目的として、液晶を光制御型光学デバイスへと応用する試みが活発化している。液晶は、その物性の特異性と多様性から、表示素子にとどまらず様々な応用が期待されている。光学デバイスへの応用を考える場合、液晶分子の配向に起因して生じる光学的異方性を如

何にして制御するかが重要な課題となる。即ち、光制御型光学デバイスへの展開においては、高度な光配向技術の確立が必須となる。

本申請者らは、3次元ベクトルホログラフィと呼ばれる新たなホログラム記録の手法を提案するとともに、この手法を用いた液晶分子の多次元配向制御について検討を行ってきた。3次元ベクトルホログラフィとは、異方性媒質中で偏光を干渉させることで多

次元偏光変調を形成する手法である。これまでに、光反応性を付与した液晶材料へ3次元ベクトルホログラム記録を行うことで、多次元での配向分布が形成可能となることを実験、理論の両面から示してきている。また、液晶の周期的配向分布構造が、等方性媒質における周期構造では得られないような回折特性を示すことも見出している。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、これまでに確立した液晶の光波制御配向技術をより自由度の高いものへと拡張するとともに、この手法を応用して複合的機能を有する光制御型光学デバイスを創製することにある。また、配向構造を光の波長程度まで微細化することにより、異方性分布によるフォトニック構造（異方的フォトニック構造）を実現し、異方性媒質とフォトニック構造におけるそれぞれの性質の相乗効果に起因して生じることが予想される特異な光学特性を利用することで、新規の機能を有する光学デバイスを提案することも目的とする。さらに、異方的フォトニック構造の簡便な解析方法も確立し、構造のパラメーターと光学特性の関係を把握することでデバイス設計のための知見を得ることも目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 3次元ベクトルホログラム記録

本研究の目的の一つに、液晶の多次元光波制御配向の実現を可能とする3次元ベクトルホログラム記録と呼ばれる手法を、より自由度の高いものへと拡張することがある。これを実現するため、3次元ベクトルホログラム記録における記録光の波長と形成される液晶分子配向分布の関係を詳細に検討した。比較的高解像度であることが知られている高分子液晶と低分子液晶の相溶した複合体液晶中へ、波長の異なるレーザー光源を用いて3次元ベクトルホログラムを記録し、それら再生特性を観測した。観測結果をマクスウェルの方程式を差分法で解く数値計算手法である時間領域差分法を用いて解析することで、記録光の波長が3次元ベクトルホログラムに及ぼす影響について検討を行った。

### (2) 異方的フォトニック構造の結合波解析

液晶の分子配向分布の周期を光の波長程度に小さくすることができれば、光学的異方性媒質によるフォトニック構造、即ち、異方的フォトニック構造の実現が可能となる。異方的フォトニック構造は、異方性媒質とフォトニック結晶の性質の相乗効果により、光学デバイスへの応用上有用な特性を呈することが期待される。そこで、異方的フォトニック構造の光学特性を明らかにすることを目

的とし、一般的な体積ホログラムの解析などに用いられている結合波理論に対し、媒質の異方性や光波の偏光状態も考慮できるような拡張を試みた。液晶材料中への3次元ベクトルホログラム記録により得られる異方的フォトニック構造に対する解析結果を、数値解析手法による計算結果と比較し、本理論の正当性を確かめた。

### (3) 光制御型液晶導波路

色素をドーブした低分子液晶並びにガラス基板を用いて作製した平行平板型の液晶セルによる、光制御型光導波路の提案を行った。色素ドーブ液晶は、吸収波長域の光を照射すると、光熱効果（光吸収による温度上昇に伴って配向秩序が低下し、屈折率が変化する現象）によって屈折率が変化し得ることが知られている。本研究では、吸収波長域の光の照射条件を様々に変化させたときの信号光の導波特性を観測した。

## 4. 研究成果

### (1) 3次元ベクトルホログラム記録

高分子複合体液晶中への3次元ベクトルホログラム記録において、記録光の波長と回折効の関係について調査を行った。観測された回折効率には、記録光の波長による格子周期の違いを考慮したモデルを用いた時間領域差分法計算によってよく説明できるものであった。このことから、3次元ベクトルホログラムの理論の妥当性が実証されたといえ、新規的でありかつ多次元での光配向手法を提案することができたといえる。また、記録光の波長と形成される構造との関係が明らかとなったことから、3次元ベクトルホログラムのデバイス応用並びにその設計において重要な知見が得られたと考えている。

### (2) 異方的フォトニック構造の結合波解析

高分子複合体液晶への3次元ベクトルホログラム記録により形成される異方的フォトニック構造の特性解析に、結合波理論の適用を試みた。対象とする異方性分布としては、

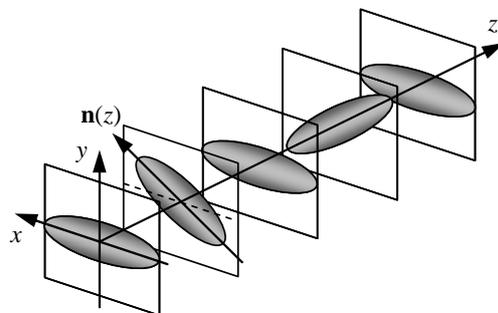


図1 3次元ベクトルホログラム記録により形成される異方的フォトニック構造。楕円は屈折率楕円体を表し、 $\mathbf{n}$  は液晶の配向ベクトルを表す。

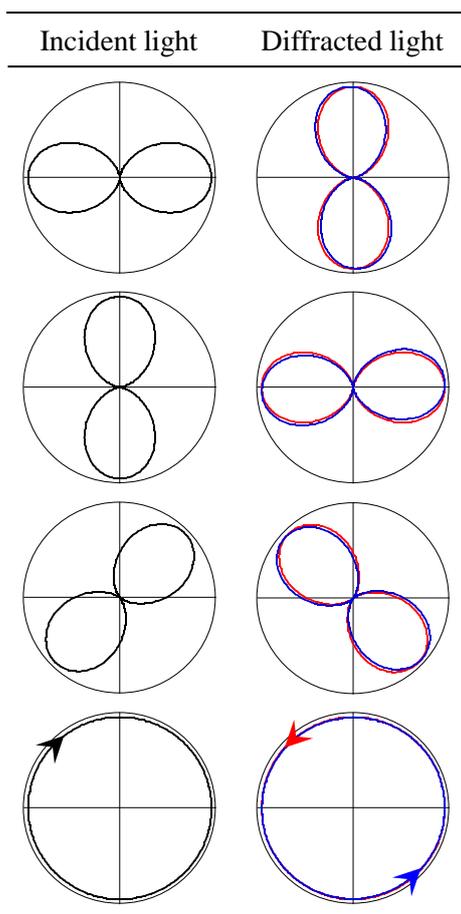


図2 入射光と回折光の偏光状態。赤い実線、青い実線はそれぞれ結合波解析、電磁数値解析による結果。

図1に示すような、ネマチック液晶の配向ベクトルの方位が膜の厚さ方向に変調された反射型の格子構造を考えた。等方性媒質中に記録された厚い格子(1次元フォトニック構造)の特性解析において広く一般に用いられているKogelnikの結合波理論を拡張し、入射光と回折光の偏光状態の関係、及び回折効率の波長分散について検討を行った。図2は、入射光の偏光状態を変化させたときの回折光の偏光状態の計算結果を極グラフで表したものであるが、等方性媒質での格子とは異なる偏光変換の効果が得られることが確認された。この性質は、薄膜型のビームスプリッターなどへ応用可能であることから、光制御型異方的フォトニック構造の有用性を示すことができたと考えている。なお、結合波理論により求められた偏光変換特性及び回折効率は、Kogelnik近似の成り立つ範囲において、マクスウェルの方程式を数値的に解いた結果と整合するものであった。本手法は代数式を用いた簡便かつ短時間での解析を可能とすることから、実際にデバイスを設計するために構造の各種パラメーターと特性の関係を一括的に把握する場合などにおいて、非

常に役立つことが期待される。

### (3) 光制御型液晶導波路

色素ドープ液晶を用いて作製した平行平板型液晶セルによる導波路の特性観察に用いた実験系を図3に示す。制御光、信号光としてはそれぞれ波長が488 nm、633 nmの直線偏光のレーザー光を用いた。制御光の強度、偏光状態、照射位置等に応じて、信号光の伝播の変化することが確認された。図4に制御光の照射位置を変化させたときの信号光のストリークラインの観察結果を示す。この結果から、導波の方向が光により制御可能であることが分かる。なお、導波特性は、信号光並びに制御光の偏光に対する依存性も含め、色素ドープネマチック液晶の光熱効果に基づく屈折率分布を考えることで定性的に説明できるものであった。

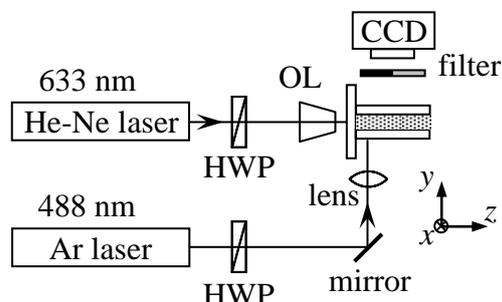


図3 導波特性観測のための実験系。HWPは1/2波長板を、OLは対物レンズを表す。

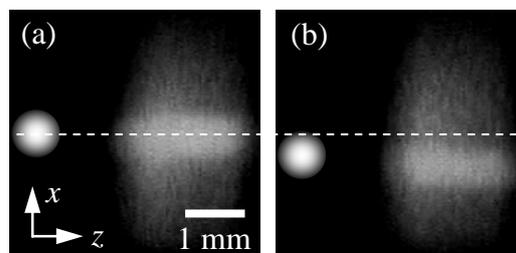


図4 導波光の観察結果。白い円は制御光の照射位置を表す。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① Tomoyuki Sasaki, Kenta Miura, Osamu Hanaizumi, Akira Emoto, and Hiroshi Ono, Coupled-wave analysis of vector holograms. 2. Reflective gratings formed in photoanisotropic medium with uniaxial birefringence, Applied Optics, 査読有, Vol. 50, No. 4, 2011,

- pp. 454-459
- ② Tomoyuki Sasaki, Kenta Miura, Osamu Hanaizumi, Akira Emoto, and Hiroshi Ono, Coupled-wave analysis of vector holograms: effects of modulation depth of anisotropic phase retardation, Applied Optics, 査読有, Vol. 49, No. 28, 2010, pp. 5205-5211
  - ③ Tomoyuki Sasaki, Osamu Hanaizumi, Takanori Iwato, Akira Emoto, Nobuhiro Kawatsuki, and Hiroshi Ono, Effects of recording wavelength on three-dimensional vector holograms in photoreactive liquid crystal composites, Optics Communications, 査読有, Vol. 283, No. 4, 2010, pp. 528-531
  - ④ Hiroshi Ono, Kakeru Suzuki, Tomoyuki Sasaki, Takanori Iwato, Akira Emoto, Tatsutoshi Shioda, and Nobuhiro Kawatsuki, Reconstruction of polarized optical images in two- and three-dimensional vector holograms, Journal of Applied Physics, 査読有, Vol. 106, No. 083109, 2009, pp. 1-7
  - ⑤ Tomoyuki Sasaki, Hiroshi Ono, and Nobuhiro Kawatsuki, Three-dimensional vector holograms in photoreactive polymer dissolved liquid crystal composite, Optical Review, 査読有, Vol. 16, No. 3, 2009, pp. 338-341

[学会発表] (計5件)

- ① Tomoyuki Sasaki, Kenta Miura, Hiroshi Ono, and Osamu Hanaizumi, Optically controlled light propagation in waveguides using dye-doped nematic liquid crystals with homogeneous alignment, Advanced Micro-Device

Engineering 2010, 2010.12.10, 桐生市市民文化会館 (桐生市)

- ② 佐々木友之、三浦健太、花泉修、江本顕雄、小野浩司、液晶材料中へ記録されたベクトルホログラムの結合波解析、Optics & Photonics Japan 2010、2010.11.10、中央大学駿河台記念館 (東京都)
- ③ 佐々木友之、三浦健太、花泉修、江本顕雄、小野浩司、厚い異方性格子における偏光回折特性の結合波解析、電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会、2010.8.27、千歳アルカディア・プラザ (千歳市)
- ④ 小野浩司、江本顕雄、塩田達俊、佐々木友之、川月喜弘、光機能性液晶へのベクトルホログラム記録と偏光回折格子、第35回光学シンポジウム、2010.7.8、東京大学生産技術研究所 (東京都)
- ⑤ 佐々木友之、江本顕雄、塩田達俊、川月喜弘、小野浩司、光機能性高分子液晶を用いた3次元ベクトルホログラム記録への記録波長の影響、第55回応用物理学関係連合会、2009.4.1、筑波大学 (つくば市)

[その他]

ホームページ等

[https://univ-db.media.gunma-u.ac.jp/public/main.php?pid=paper\\_list&cat=paper&rid=f65eff9a3bd24294397e808a35727a3e](https://univ-db.media.gunma-u.ac.jp/public/main.php?pid=paper_list&cat=paper&rid=f65eff9a3bd24294397e808a35727a3e)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐々木 友之 (SASAKI TOMOYUKI)  
群馬大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：90553090