

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：32660

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25620067

研究課題名(和文) フォトリフラクティブ強誘電性液晶による実時間動的ホログラムの開発

研究課題名(英文) Formation of Real Time Dynamic Holograms by Photorefractive Ferroelectric Liquid Crystal Mixtures

研究代表者

佐々木 健夫 (SASAKI, Takeo)

東京理科大学・理学部・教授

研究者番号：80261501

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：実用レベルまで高速かつ大きな特性を示す新しいフォトリフラクティブ液晶組成物について研究を行った。申請者らの研究によって、極めて高速かつ非常に大きなフォトリフラクティブ効果を示す新しい材料群が見出された。これは単体化合物ではなく、種々の化合物から成る強誘電性液晶混合物であり、申請者以前に報告例は全く存在しない。特に我々が光導電性キラルドーパントと呼ぶ化合物をスメクチック液晶に混合することにより、これまでに知られている材料の8倍以上の利得と10倍以上の高速化を達成し、実用レベルに近い性能を達成することができた。

研究成果の概要(英文)：The decay of the photorefractive effect in FLC blends containing terthiophene photoconductive chiral dopants was investigated, focusing on the possibility of photochemical reactions of the components. However, no evidence for photochemical reactions in the blends prepared in this study was observed. In contrast, it is believed that the adsorption of ionic species generated at the photoirradiated spot impedes the photorefractive effect. A bipolar electric field was applied during two-beam coupling trials and it was found that the decay of the gain coefficient was suppressed by the application of this field.

研究分野：高分子化学

キーワード：液晶 高分子 機能性材料

1. 研究開始当初の背景

研究代表者はこれまで、液晶性物質のフォトトリフラクティブ効果について検討を行ってきた。液晶性物質は、分子レベルでの配向性と自己組織性、そして大きな複屈折性という、光学デバイス用材料として魅力的な特性を持つ。これまでに、高分子液晶でのフォトトリフラクティブ効果の増幅現象と強誘電性液晶での自発分極転向型フォトトリフラクティブ効果、そしてモーションモードフォトトリフラクティブ効果を見出している。本研究では、これらを軸に、液晶性物質などにおける分子運動の変調に基づくフォトトリフラクティブ効果の本質を突き詰めるとともに、新しい高性能材料の創製を行った。本研究課題の中心となる「モーションモードフォトトリフラクティブ効果」は、申請者らが強誘電性液晶のフォトトリフラクティブ特性についての研究を進める途上で新しく見出された。この現象を利用してホログラム形成が可能であることや、ホログラムの位相が干渉縞の位相からずれたフォトトリフラクティブ型の格子を形成していることをすでに実験的に明らかにした。光による通信や情報技術は、現時点ではまだ電子信号を光パルスに置き換えているだけのものがほとんどで、光の特性を十分に利用した本格的な光技術の発展はこれからであろう。そして、光を本格的に活用するためには過渡的に形成されるホログラム、つまりフォトトリフラクティブ効果は欠かせない基本要素のひとつである。フォトトリフラクティブ効果を使えば位相共役波を簡単に作れるので、光信号が光学素子中の屈折率の不均一性によって歪められても(位相歪み)、簡単に修正できる。光波の

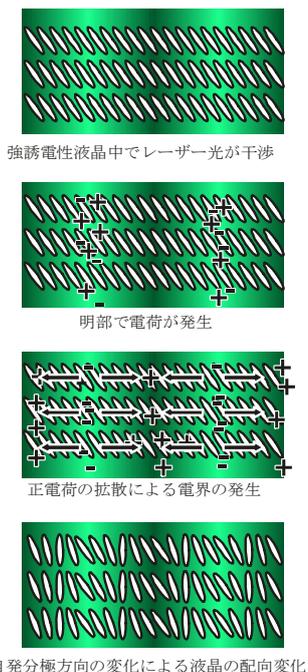


図1 強誘電性液晶の自発分極応答型フォトトリフラクティブ効果

位相を制御できるので、フーリエ光学に基づく様々な素子を実現することができる。本研究は、様々な液晶性物質の様々な状態とフォトトリフラクティブ効果との相関を検討し、さらに単に新しい化合物を用いるだけでなく、物質中のマイクロ構造とフォトトリフラクティブ効果との相関の検討や、モーションモードフォトトリフラクティブ効果という新しい発想による検討までを行っている。そして今まさに成果が出ている状況であり、この分野に与えるインパクトは相当に大きいはずである。

2. 研究の目的

実用レベルまで高速かつ大きな特性を示す新しいフォトトリフラクティブ液晶組成物について研究である。フォトトリフラクティブ効果とは、物質中で光を干渉させたときにホログラムが形成される現象である。このホログラムは動的なものであり、立体動画や回折光学に基づく距離計測や形状認識などに用いられる。これまでは応答性が低いことが問題となり、実用化に至っていなかった。申請者らが最近行った研究において、極めて高速かつ非常に大きなフォトトリフラクティブ効果を示す新しい材料群が見出された。これは単体化合物ではなく、種々の化合物から成る強誘電性液晶混合物であり、申請者以前に報告例は全く存在しない。特に我々が光導電性キラルドーパントと呼ぶ化合物をスメクチック液晶に混合することにより、これまでに知られている材料の8倍以上の利得と10倍以上の高速化を達成し、実用レベルに近い性能を達成している。本研究では、これを基に低電圧駆動かつ高性能なフォトトリフラクティブ液晶材料の開発を行った。

3. 研究の方法

優れたフォトトリフラクティブ特性(高い回折効率, 大きな利得定数, 速い応答)を示す強誘電性液晶材料の設計指針を得ることを目

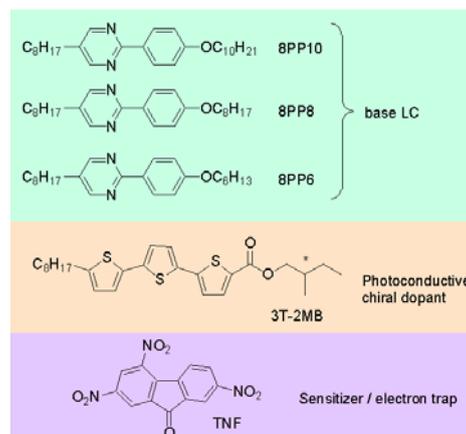


図3 フォトリフラクティブ強誘電性液晶混合物の例。

標とする。そのためには強誘電性液晶におけるフォトリフラクティブ効果の発現メカニズムの詳細についての知見を得ることが必要である。図1に示したメカニズムはあくまで概念的なものであり、実は、現在までの検討でこの図に描いてあるメカニズムでは説明できないことがわかっている。さらに、強誘電性液晶材料は様々な化合物からなる混合物であるので、それら各化合物の構造や組成についての検討を行った。強誘電性液晶は一般的に単体化合物ではなく、液晶性化合物にキラルドーパントと呼ばれる不斉化合物や減粘剤などを加えた混合物である(図2)。本研究では光導電性を示

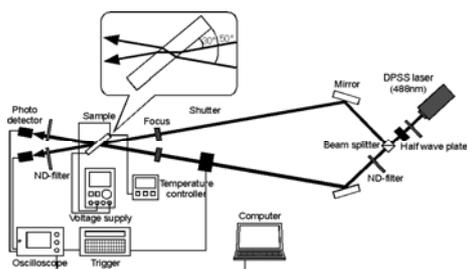


図3 2光波結合法によるフォトリフラクティブ効果評価装置。

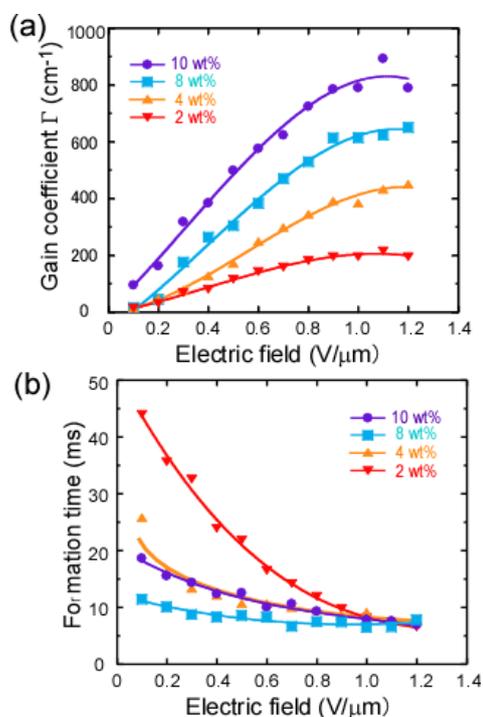


図4 フォトリフラクティブ強誘電性液晶混合物(図3)の2光波結合利得定数(a)と応答時間(b)の印加電界依存性。

すキラルドーパントを合成し、フォトリフラクティブ強誘電性液晶を開発する。これまでの検討で、図2の混合物を図3に示す装置で評価したところ、図5に示すように、非常に高い性能が得られることがわかった。

4. 研究成果

これまでに数多くの強誘電性液晶が報告されているが、それらの諸物性が及ぼす影響について検討を行った。フェニルピリミジン系スメクチック液晶に光導電性キラルドーパントを混合し、フォトリフラクティブ強誘電性液晶を得た。数種類の光導電性キラルドーパントを合成し、それぞれの特性も検討した。液晶の自発分極、分子分極率、粘性、分子構造、配向性、相転移温度等による影響を調べた。

特に、強誘電性液晶に混合する光導電性化合物による違いを検討した。これらがフォトリフラクティブ効果に及ぼす影響は、光導電特性だけではなく、液晶との相溶性や、混合によって配向性などの液晶の物性そのものが変化するので、その影響を調べる必要がある。また、光導電性高分子を用いた場合や、液晶自身が光導電性である場合についての検討を行う。これらの実験によって、優れた材料を探索すると同時に、液晶中での光導電性のメカニズムについても検討を行った。

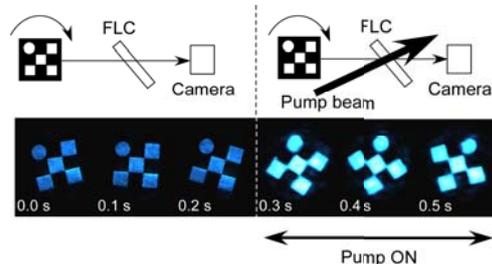


図5 研究代表者が行ったフォトリフラクティブ効果に基づく動画光信号のリアルタイム増幅実験(488nm)。回転する幾何学模様の動画をフォトリフラクティブ強誘電性液晶に入射し、2光波結合によって増幅を行った。申請者が開発した材料は応答が速いので、動く画像もそのまま増幅できる。応答が遅い材料では、増幅自体が起こらない。

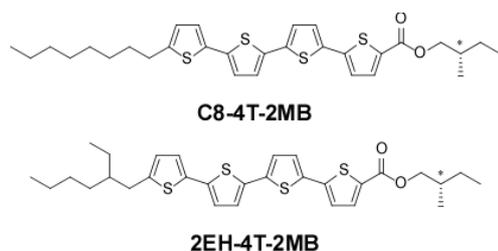


図6 クォーターチオフェン系光導電性キラルドーパント

ターチオフェン系光導電性化合物を用いた場合、光導電性化合物濃度が4 wt%以下の場合ではイオン導電が主なメカニズムであるが、4 wt%よりも高い濃度ではホッピング電導が主となることがわかった。ターチオフェン光導電性キラルドーパントを含む強誘電性液晶ブレンドを用いた結果、動く光信号の増幅が可能となった。増幅率は数倍から10倍程度であるが、これは改善の余地があると考えられる。

さらに、チオフェン環4つからなるクォーターチオフェンを分子骨格に持つ光導電性キラルドーパントを用いた検討を行った。クォーターチオフェン系ドーパントでは光吸収波長が長波長化するので、532 nmのレーザーの増幅が可能であった。クォーターチオフェンを用いた場合では、液晶との相溶性が低くなり、4 wt%以上を混合することが困難であったが、クォーターチオフェン環に分岐アルキル鎖を導入することで相溶性を向上させることができた。分岐アルキル鎖を導入したクォーターチオフェン系ドーパントを混合した強誘電性液晶では高い透明性が得られ、532 nmの波長領域でも700 cm⁻¹以上の大きな利得定数が得られた。

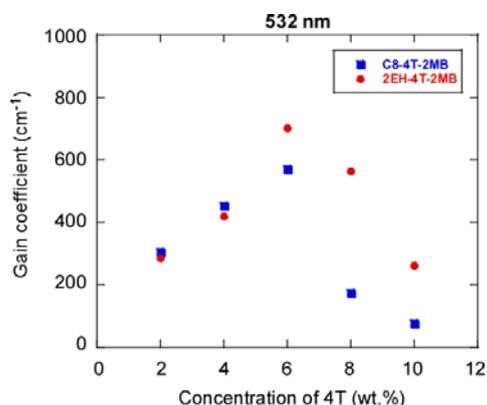


図7 2 光波結合利得定数の光導電性キラルドーパント濃度依存性。分岐鎖が無いもの(C8-4T-2MB)と分岐鎖があるものとの比較している。

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 6件)

① Dynamic Amplification of Optical Signals in Photorefractive Ferroelectric Liquid Crystals

T. Sasaki and Y. Naka

Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 614: pp. 106–117, 2015

DOI: 10.1080/15421406.2015.1050283

査読有り

② Dynamic Amplification of Light Signals in Photorefractive Ferroelectric Liquid Crystalline Mixtures

T. Sasaki, S. Kajikawa and Y. Naka

Faraday Discussions, 174, 203-218 (2014).

DOI: 10.1039/c4fd00068d

査読有り

③ Real-time amplification of light signals in photorefractive ferroelectric liquid crystals

Takeo Sasaki, Satoshi Kajikawa, and Yumiko Naka

Asian Journal of Physics Vol. 23, No. 4 (2014) 517-526

<http://asianjournalofphysics.in/content2/vol1-23-2014/vol-23-no-4>

査読有り

④ Photorefractive Effect in Ferroelectric Liquid Crystals

T. Sasaki and Y. Naka

Optical Review, 21, 99-109 (2014). Invited review

<https://annex.jsap.or.jp/OSJ/opticalreview/TOC-Lists/vol21/21b0099tx.htm>

査読有り

⑤ Synthesis of Liquid-Crystalline Star Polymers with Sulfonyl Groups in the Central Core and Selective Degradation of their Cores by Base

Y. Naka, H. Kawamura, and T. Sasaki

Mol. Cryst. Liq. Cryst., 593, 141-150 (2014).

DOI: 10.1080/15421406.2013.876171

査読有り

⑥ Dynamic Amplification of Light Signals in Photorefractive Ferroelectric Liquid Crystals

Takeo Sasaki, Satoshi Kajikawa and Yumiko Naka

Proceedings of ICOL-2014, OP-OMT-02 (2014).

DOI: 10.1109/OPTRONIX.2015.7345512

査読有り

[学会発表] (計 17 件)

① フォトリフラクティブ強誘電性液晶ブレンドにおける光増幅

佐々木健夫

2016 年 日本液晶学会 液晶ディスプレイ研究フォーラム/液晶フォトニクス・光デバイスフォーラム合同講演会 東陽テクニカ本社ビル (東京) 2016 年 3 月 10 日
依頼講演

② Photorefractive effect of photoconductive ferroelectric liquid crystal blends

Takeo Sasaki

EMN Meeting on Polymer (Hong Kong) January 12-15, 2016
招待講演

③ Photorefractive effect in ferroelectric liquid crystals

Takeo Sasaki

Annual Meeting of Taiwan Liquid Crystal Society (Taiwan) December 18, 2015.
招待講演

④ Real-time Optical Signal Amplification by Photorefractive Ferroelectric Liquid Crystal Blends

Takeo Sasaki

World Congress and Expo on Materials Science & Polymer Engineering (Dubai) November 26-28, 2015.

⑤ Effect of Photochemical Reactivity of the Photoconductive Chiral Dopant on the Durability of Photorefractive Ferroelectric Liquid Crystal Blends

Takeo Sasaki

IEM Optronics 2015 (Vancouver) October 16-17, 2015.
招待講演

⑥ フォトリフラクティブ強誘電性液晶における組成の検討

山本 祐大、佐々木健夫、レバンコア

2015 年度液晶討論会 東京工業大学すずかけ台キャンパス、2015 年 9 月 7 日-9 日

⑦ 強誘電性液晶のキラル剤濃度がフォトリフラクティブ効果に及ぼす影響

原卓哉、佐々木健夫、レバンコア

2015 年度液晶討論会 東京工業大学すずかけ台キャンパス、2015 年 9 月 7 日-9 日

⑧ 強誘電性液晶フォトリフラクティブ材料に及ぼすレーザー波長の影響

住谷梓、佐々木健夫、レバンコア

2015 年度液晶討論会 東京工業大学すずかけ台キャンパス、2015 年 9 月 7 日-9 日

⑨ Photorefractive amplification of moving light signals by photoconductive ferroelectric liquid crystal blends.

Takeo Sasaki, Masanori Yoshino,

SPIE Optics+Photonics 2015 (San Diego) August 9-13, 2015.

⑩ フォトリフラクティブ強誘電性液晶による光信号の実時間増幅

佐々木健夫

映像情報メディア学会情報ディスプレイ研究会 機械振興会館 (東京) 2015 年 7 月 30 日
依頼講演

⑪ Real-time photorefractive amplification of optical signals by photoconductive liquid crystal blends

Takeo Sasaki

Photorefractive Photonics PR15 (Switzerland) June 16-19, 2015.

⑫ Real-time Light amplification by Photorefractive Ferroelectric Liquid Crystal Mixtures

Takeo Sasaki

SID Display Week 2015 (San Jose) May 31-June 5, 2015.
招待講演

⑬ Photorefractive Amplification of Dynamic Light Signals Using Photoconductive Ferroelectric Liquid Crystals

Takeo Sasaki

SPIE Optics+Optoelectronics 2015 (Prague, Czech Republic) April 13-16, 2015.

⑭ Real time amplification of moving light signals by photorefractive ferroelectric liquid crystal mixtures

Takeo Sasaki and Yumiko Naka

IEM OPTRONIX-2015, (Kolkata, India), December 17-18, 2014
基調講演

⑮ Dynamic Amplification of Light Signals in Photorefractive Ferroelectric Liquid Crystalline Mixtures

Takeo Sasaki, Satoshi Kajikawa and Yumiko Naka

Faraday Discussions 174 Organics, Photonics & Electronics, (Glasgow, UK), September 8-10, 2014

⑯ Dynamic Amplification of Optical Signals in Photorefractive Ferroelectric Liquid Crystals

Takeo Sasaki and Yumiko Naka

7th Italian-Japanese Workshop on Liquid Crystals (Ravenna, Italy), July 6-9, 2014
招待講演

⑰ Dynamic Amplification of Light Signals in Photorefractive Ferroelectric Liquid Crystals
T. Sasaki, S. Kajikawa and Y. Naka
International Conference of Optics and Optoelectronics ICOL-2014, (Dehradun, India), March 5-8, 2014

〔図書〕 (計 1 件)

Dynamic Amplification of Optical Signals by Photorefractive Ferroelectric Liquid Crystals
Takeo Sasaki
Ferroelectric Materials - Synthesis and Characterization (Aime Pelaiz Barranco (Ed) InTech), Chapter 6, 125-150 (2015).

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.rs.kagu.tus.ac.jp/~photoref/WhatIsPhotoref2.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 健夫 (SASAKI Takeo)

東京理科大学・理学部第二部化学科・教授

研究者番号：80261501