

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 12 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656221

研究課題名（和文） ナノ凝集界面によるコレステリックブルー相の安定化と高速ディスプレイ応用

研究課題名（英文） Stabilization of Cholesteric Blue Phase upon Doping Nano-particles and Its Application to Fast Response Display

研究代表者

尾崎 雅則 (OZAKI MASANORI)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50204186

研究成果の概要（和文）：コレステリックブルー相（BP）液晶は三次元構造を形成するが、熱的に不安定で限られた温度範囲においてのみ発現する。この BP 液晶の欠陥部位に金ナノ粒子を導入することにより、BP 発現温度範囲を拡大した。さらに、光学的に等方的である BP 液晶を利用した偏光無依存光変調素子の実現し、カー効果による屈折率変調度を調べ、金ナノ粒子の導入により未導入時比べて大きな屈折率変調が可能であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：When gold nanoparticles (NPs) were doped in a cholesteric blue phase (BP) liquid crystal (LC), the temperature range of the BP increased from 0.5 to 5 °C. We believe that the NPs accumulate in the lattice disclinations of BP LC, stabilizing the overall BP structure. Using the NP-stabilized BP LC, polarization-independent refractive index (RI) modulation can be achieved by applying an electric field parallel to the direction of light transmission. We show that field-induced BP-cholesteric transition is suppressed and a larger RI tuning can be achieved.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子・電気材料工学

キーワード：電気・電子材料、液晶、

1. 研究開始当初の背景

液晶は自己組織的に秩序構造を形成する。中でも、強いキラリティをもつ液晶では、螺旋周期構造が三次元的に発達した「ブルー相（Blue Phase）」と呼ばれる三次元ナノ周期秩序を形成することがある。このブルー相（BP）は、これまで知られている液晶相とは全く異なるものであり、高速ディスプレイ材料への応用の観点でも注目されている。また、BP の三次元螺旋構造は、必然的に液晶配向の乱れたトポロジカル線状欠陥を伴い、その欠陥構造は数百 nm 以下のスケールの三次元ネットワーク構造を形成する。しかしながら、BP 液

晶は内部に欠陥を含むため熱力学的に不安定で、その発現温度は数°C以下であった。我々は、BP を不安定化する配向欠陥領域を排除する目的で、図1に示すように、ナノサイズ微粒子を欠陥部位に導入することによる BP の安定化を提案した。特に、液晶内にナノ微粒子を分散する方法として、金属を液晶に直接スパッタする新しい方法を開発し、BP 発現温度の拡大に成功した。

一方、液晶を用いた光デバイスは、電氣的にチューナブル、作製が容易、小型・軽量といった利点がある。屈折率変調は液晶の特徴の一つであり、チューナブルマイクロレンズ

や光フィルタなどへの応用が期待されている。しかしながら、従来のネマチック相やコレステリック相における屈折率変調は複屈折によりその特性が入射偏光によって変化する。そのため、偏光子が必要となり透過率の低下などの問題が生じている。一方、光学的等方性を有する BP に光伝搬方向に平行な電界を印加することにより、入射偏光に依存しない偏光無依存屈折率変調を実現することが可能である。

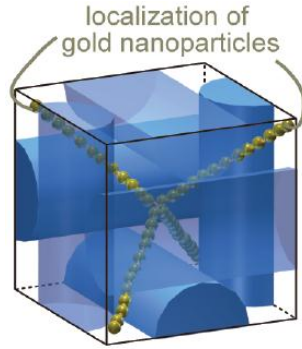


図 1. 金ナノ粒子の欠陥部位への導入による BP の安定化の概念図。青いカラムは、BP 液晶の規則配列した部分。

2. 研究の目的

本研究では、BP 液晶内の欠陥ネットワーク部位に金属微粒子や半導体微粒子を分散し、この有機無機融合ネットワークを活用したフォトニックデバイスの実現を目指した。

(1) そのため、先ず、我々が開発した液晶への金属ナノ粒子の直接スパッタ法を用いた BP の温度拡大の詳細を検討することにより最適条件を明らかにして、BP の安定化を図ることを目的とした。

(2) 次に、その安定化 BP 液晶を用いた偏光無依存屈折率変調素子の動作特性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) BP を示す液晶試料にスパッタリングを用いて金ナノ粒子を添加し、金ナノ粒子添加 BP 液晶を作製した。BP を示す液晶としては、ネマチック液晶混合物 (5CB; 46.5 %, JC1041 XX; 46.5 %) にカイラル剤 (ISO-(OBA)₂; 7.0 %) を混合したものを使用した。混合した液晶試料を 60 mg 用意し、5, 6, 7, 10, 15 分間スパッタリングをそれぞれ行うことによって、金ナノ粒子の濃度が異なる試料を作製し BP の発現温度範囲を調べた。

(2) 図 2 に、BP 液晶を用いた偏光無依存屈折率変調の概念図を示す。BP 液晶は外場がない状態では光学的に等方的である。しかしながら、電界が印加されると、その電界方向に液晶分子の再配列がおこり系全体の屈折率楕円体は、図 2 (b) のように一軸性に変化する。

る。この場合、電界方向の屈折率は増大するがそれに垂直方向の屈折率は低下し、しかも光路に垂直な平面内では等方的に屈折率の値が減少する。このことは、電界印加方向に沿って伝搬する光の感じる屈折率は、その光の偏光方向に依存せずに値が減少することを示している。すなわち、偏光無依存の屈折率変調が実現できることになる。

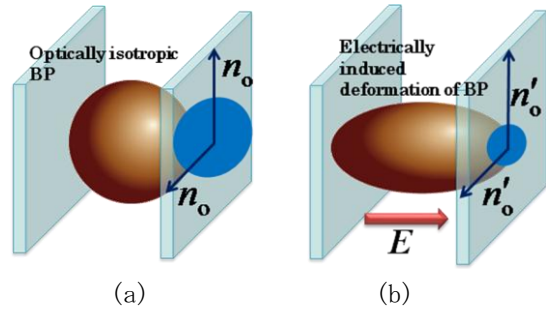


図 2. BP 液晶を用いた偏光無依存屈折率変調素子の動作原理

4. 研究成果

(1) 純粋な試料及びスパッタリング時間を 5, 6, 7, 10, 15 分と変えて金ナノ粒子を添加した試料の BP の発現温度範囲を図 3 に示す。金ナノ粒子の添加によって、昇温過程で BP の発現温度範囲拡大が認められ、過冷却によるものではなく熱力学的に BP が安定化されていることを示している。また BP 全体の発現温度範囲はスパッタリング時間に比例して拡大しており、BP の発現温度範囲は金ナノ粒子の濃度に依存していることがわかる。これは金ナノ粒子の濃度が高いほど、BP を不安定化する配向欠陥の体積が金ナノ粒子によってより多く排除されるためであると考えられる。また、7 分間スパッタリングを行った試料では BP I と BP II の相転移が見られず、BP I のみが観測される。BP II が消失する理由としては、BP I と BP II の単位体積に占める配向欠陥の割合が異なるため、ナノ粒子が与える安定化効果が異なるのではないかと考えられる。

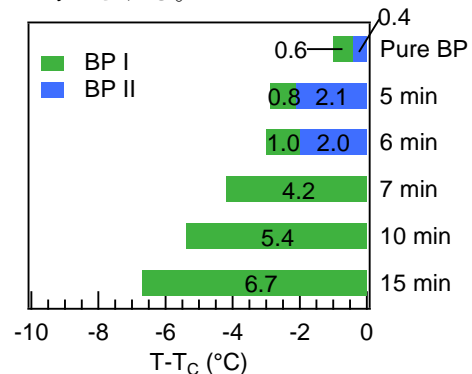


図 3. BP 温度範囲 (昇温時) のナノ粒子導入量依存性

(2) 本研究では、フアブリ・ペローエタロンの空隙にブルー相液晶を導入し、BP II を示す温度 (Pure BP II : 44.9 °C, NP-doped BP II : 41.1 °C) に保ち、1 kHz 矩形波電界をITO 電極間に印加し、透過ピーク波長の電界依存性を調べることで屈折率を評価した。図4に各ブルー相における偏光無依存屈折率変調量の電界強度依存性を示す。Pure BP II においては、電界強度 $4.4 \text{ V}/\mu\text{m}$ でブルー相からコレステリック相へ転移した。電界を印加することにより屈折率が低下しその変化量は低電界領域においてほぼ電界の2乗に比例した。これは複屈折 n が電界の2乗に比例するカー効果によるものと考えられる。また、電界誘起によるコレステリック相転移が見られなかった NP-doped BP II においては高い電界を印加することにより、 $0.011 (8.48 \text{ V}/\mu\text{m})$ と比較的大きな変調量を得ることができた。

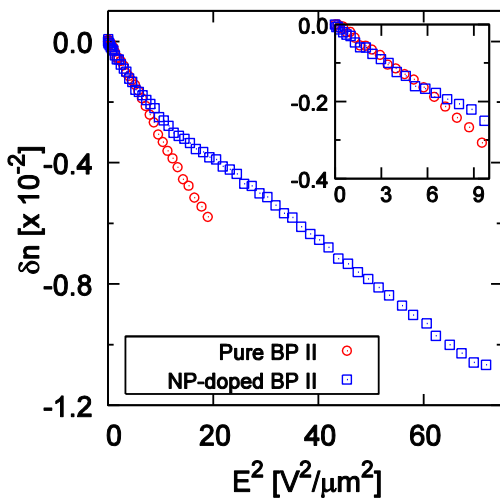


図4. BP II相における安定化と偏光無依存屈折率変調素子の特性改

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4件)

- ① H. Yoshida, K. Inoue, H. Kubo, and M. Ozaki, "Phase-dependence of gold nanoparticle dispersibility in blue phase and chiral nematic liquid crystals", *Optical Materials Express*, 査読あり, vol.3, pp.842-852 (2013). doi.org/10.1364/OME.3.000842
- ② H. Yoshida, S. Yabu, H. Tone, H. Kikuchi, and M. Ozaki, "Electro-Optics of Cubic and Tetragonal Blue Phase Liquid Crystals Investigated by Two-Beam

Interference Microscopy", *Applied Physics Express*, 査読あり, vol.6, p.062603 (2013). doi: 10.1143/APEX.6.062603.

- ③ S. Yabu, Y. Tanaka, K. Tagashira, H. Yoshida, A. Fujii, H. Kikuchi and M. Ozaki, "Polarization-independent Refractive index Tuning Using Gold Nanoparticle-stabilized Blue Phase Liquid Crystals", *Optics Letters*, 査読あり, vol.36, pp.3578-3580 (2011). doi:10.1364/OL.36.003578.
- ④ S. Yabu, H. Yoshida, G. Lim, K. Kaneko, Y. Okumura, N. Uehara, H. Kikuchi, and M. Ozaki, "Dual Frequency Operation of a Blue Phase Liquid Crystal", *Optical Materials Express*, 査読あり, vol.1, pp.1577-1584 (2011). doi:10.1364/OME.1.001577.

[学会発表] (計18件)

- ① H. Tone, S. Yabu, H. Yoshida, H. Kikuchi, and M. Ozaki, "Polymer-Stabilization of a Blue Phase Liquid Crystal Deformed by Electrostriction", *The 1st Asian Conference on Liquid Crystals (ACLIC2012)*, Fuji-Calm, Fuji-Yoshida, Yamanashi, Japan, December 16-18, 2012.
- ② 藪修平, 刀根央樹, 吉田浩之, 菊池裕嗣, 尾崎雅則, "二光束干渉顕微鏡を用いたブルー相液晶の電気光学特性測定", 2012年日本液晶学会討論会, 千葉, 2012年9月5日.
- ③ S. Yabu, H. Yoshida, G. Lim, K. Kaneko, Y. Okumura, H. Kikuchi and M. Ozaki, "Demonstration of Dual Frequency Switching Using Blue Phase Liquid Crystals", *24th International Liquid Crystal Conference (ILCC 2012)*, Convention Center Rheingoldhalle, Mainz, Germany, August 19-24, 2012.
- ④ 藪修平, 田頭健司, 田中雄真, 吉田浩之, 藤井彰彦, 上原昇, 菊池裕嗣, 尾崎雅則, "金ナノ粒子添加ブルー相 II における屈折率変調特性", 2011年秋季第72回応用物理学関係連合講演会, 山形, 2011年8月29日.
- ⑤ M. Ozaki, H. Yoshida, S. Yabu, Y. Tanaka, Y. Ogawa, A. Fujii, N. Uehara and H. Kikuchi,

“Nanoparticle-dispersed Cholesteric Blue Phase and its Electro-optic and Photonic Applications”, SPIE Optics+Photonics, Liquid Crystals XV, San Diego, California, USA, August 21-25, 2011.

[その他]

ホームページ等

<http://opal.eei.eng.osaka-u.ac.jp/jhome/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾崎 雅則 (OZAKI MASANORI)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50204186