

機関番号：54502

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560342

研究課題名 (和文) 液晶材料を用いた感温型調光デバイスの開発

研究課題名 (英文)

Development of thermo-driven light controllable device using liquid crystal composites

研究代表者

荻原 昭文 (OGIWARA AKIFUMI)

神戸市立工業高等専門学校 電子工学科 教授

研究者番号：00342569

研究成果の概要 (和文)：液晶・高分子複合材料を用いた三次元的な微細周期構造を形成し、グリーンレーザの入射に対して 80%以上の高効率な異方性回折光学デバイスを作製可能とした。相転移温度の異なる液晶材料を導入し、低温での相転移に対応した 35℃付近の閾値温度にて回折効率の大きな変化を生じさせることに成功した。さらにデバイス構造を変化させることで、光の変調される波長領域を可視光領域(400～600nm)から赤外光領域(700～800 nm)へとシフト可能であることを示した。

研究成果の概要 (英文)：A microperiodic structure composed of polymer and liquid crystal (LC) composite materials was fabricated by a photo-induced phase separation technique. The fabricated device showed high diffraction efficiency more than 80% at green laser wavelength (532nm). The diffraction properties in the device have successfully changed with the threshold temperature depending on the nematic-to-isotropic (N-I) phase transition around 35 °C. The different device structure enabled the shift of light controlled ranges of wavelength from the visible ranges (400-600nm) to near-infrared ranges (700-800nm).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：光デバイス・光回路・省エネルギー

1. 研究開始当初の背景

近年、エネルギー消費による CO₂の排出による地球温暖化問題が世界的に関心を集めており、これを防止するエネルギー消費抑制のための技術開発が緊急に求められている。

建築環境・省エネルギー機構により、建築物に設けられている窓ガラスは、冬の暖房時に建物の窓ガラスを通して熱が流失する割

合は全建材の 50%以上と試算されている。また、夏の冷房時には、太陽光中に含まれる赤外線などの熱変換効果による窓からの熱流入割合が 70%程度にも達し、大きなエネルギー効果を担っていることが示されている。

2. 研究の目的

太陽光に含まれる特定の波長範囲での透

過率制御を気温に応じて自律的に行う作用は調光と呼ばれる。この作用を効果的に発揮できる材料またはデバイスを開発し、建築物や自動車などの窓ガラスに応用すれば、大規模な省エネルギー効果が期待できる。

本研究では、液晶と高分子材料からなるデバイス(HPDLC)の光変調効果に着目し、調光作用に最適な液晶材料を設計・開発し、温度変化に応じて自律的に光変調可能な感温型調光デバイスを開発する。

3. 研究の方法

液晶材料を用いた新規感温型調光デバイス開発を効率的に行うため、材料、デバイス作製、評価・解析の3つの研究領域に分類し、それぞれの分野において高い専門知識と経験を有する研究者が所属する研究組織の共同で研究テーマを遂行可能な研究体制を構築し研究を進める。具体的な研究について以下に記述する。

(1) 材料

この液晶材料は、可視領域における光の透過特性が高く、また温度上昇によって生じる液晶材料の相転移に伴う屈折率変化が大きい。さらに、液晶材料の相転移温度は、室温(25°C)付近から100°C以上までの広範囲での材料系が利用可能である。このような液晶材料の特性を分析し、本研究に最適な液晶材料の選択・設計を行う。

(2) デバイス作製

本課題で提案する感温型調光デバイスは、液晶分子やポリマーの材料選択、素子の厚み、格子ピッチなどの設計条件を変えることで、調光性能としての光変調作用と可視光に対する透過特性を幅広く変えることができる。

厚さ d が増加すると、光変調率はピークを示した後一定の値に近づく傾向を示すが、透過率は周期的に変化するなどをシミュレーション設計などで明らかにすることができる。このようになシミュレーションなども含めた手法を導入してデバイス構造を形成し、調光素子として必要な光学特性を実現する。

(3) 評価・解析

シミュレーション解析に基づき設計したデバイス構造を厳密に形成可能なレーザ干渉露光システムを用いてデバイス形成を行う。露光システムは、短い露光時間で高精度なデバイス構造を安定して形成できる条件をため、より微細な露光線幅を持つ格子構検討する。実際に作製されたデバイスの回折効率の温度依存性を測定し、調光性能を評価する。

さらに、電子顕微鏡(SEM)などを導入した評価解析技術を活用することで微細格子の形成状態の精密観察を行い、デバイスの高性能化を図る。

4. 研究成果

これまで液晶材料を用いた感温型調光デバイスの開発について取り組んできた結果、主に(1)材料・デバイス作製、(2)デバイス設計・構造分析、(3)デバイスの光学特性評価などにおいて、具体的な成果を得た。以下、これらを項目別に詳細に記述する。

(1) 材料・デバイス作製

高分子材料を含む有機複合材料に対する液晶材料の添加料と回折効率との関係について詳細に検討を行った。この実験結果を図1に示す。この図より液晶材料の添加量を25wt%として設計した場合、材料の最適化が図られ、回折効率80%以上の高効率な異方性回折光学デバイスの作製が可能となった。

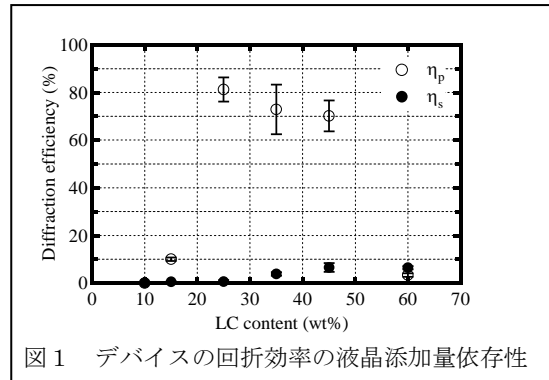


図1 デバイスの回折効率の液晶添加量依存性

(2) デバイス設計・構造分析

作製したデバイスの内部断面を切断し、液晶を除去した後、電子顕微鏡を用いて30,000倍程度に拡大し、図2に示すような構造分析を行った。

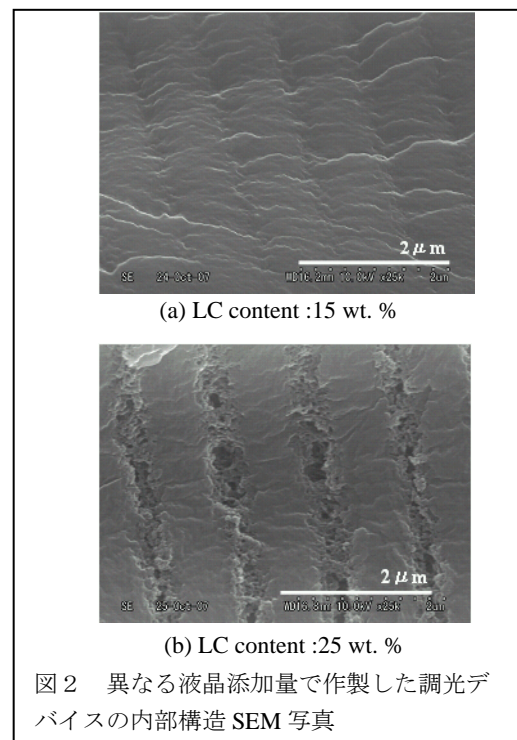


図2 異なる液晶添加量で作製した調光デバイスの内部構造 SEM 写真

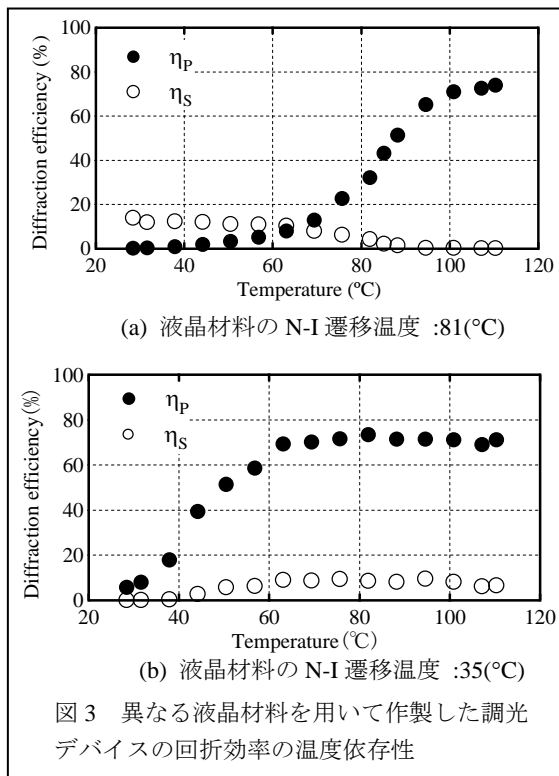
この結果、液晶の添加量に伴い内部の格子構造が変化し、回折効率が高くなる添加量と対応して液晶・高分子ネットワークの三次元構造が明瞭になっていることを確認した。さらに異なる格子間隔や厚さに対するデバイス形成を試み内部構造と併せた構造観察も試みた。

(3) デバイスの光学特性評価

相転移温度(N-I 点)の異なる液晶材料を導入し、デバイス形成実験を行った。これらのデバイスを室温(25°C)から高温(100°C以上)まで加熱しながら、図3に示す回折効率の温度依存性の測定を行った。

液晶材料のN-I 遷移作用に基づく回折効率の温度依存性の評価結果より、液晶材料のN-I 点の違い(81°C ⇒ 35°C)を利用することで、光変調が生じる閾値温度を可変できることを明らかにした。低温(35°C付近)にN-I 点を有する液晶材料の導入により、生活環境温度範囲での光変調に基づく調光デバイスが作製できることの成果を世界的にも初めて実験にて実証し、論文掲載を行うことができた。

さらに液晶と高分子材料の屈折率の組み合わせを変化させた有機複合体材料を用いてデバイスを作製することで、光の変調される波長領域を可視光領域(400~600nm)から赤外光領域(700~800nm)へとシフト可能であることを示した。



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 19 件)

① A. Ogiwara, “Effects of anisotropic diffractions on holographic polymer-dispersed liquid-crystal gratings,” Appl. Opt. 50, pp. 594-603 (2011). (査読有)

② A. Ogiwara, H. Kakiuchida, K. Yoshimura, M. Tazawa, A. Emoto, and H. Ono, “Effects of thermal modulation on diffraction in liquid crystal composite gratings,” Appl. Opt. 49, pp. 4633-4640 (2010). (査読有)

③ H. Kakiuchida, M. Tazawa, K. Yoshimura, and A. Ogiwara, “Thermal control of transmittance/diffraction states of holographic structures composed of polymer and liquid crystal phases,” Solar Energy Materials & Solar Cells 94, pp. 1747-1752 (2010). (査読有)

④ A. Emoto, S. B. Baharim, T. Sasaki, A. Ogiwara, T. Shioda and H. Ono, “Chronological observations of the formation of Raman-Nath diffraction gratings in photoreactive monomer base mixtures,” Jpn. J. Appl. Phys., 49, pp. 122502-1 - 122502-6 (2010). (査読有)

⑤ A. Ogiwara, H. Kakiuchida, K. Yoshimura, M. Tazawa, A. Emoto and H. Ono, “Temperature dependence of anisotropic diffraction in liquid-crystal composite volume gratings,” Micro Optics Conference 10 Technical Digest, pp. 154-155 (2010). (査読有)

⑥ A. Ogiwara, Y. Ochi, M. Miyake, M. Watanabe, T. Mabuchi, and F. Kobayashi, “Formation of volume holographic memory using liquid-crystal composites for optically reconfigurable gate array,” Micro Optics Conference 09 Technical Digest, pp. 194-195 (2009). (査読有)

⑦ H. Kakiuchida, K. Yoshimura, and A. Ogiwara, “Thermo-driven solar transmittance controller composed of holographic polymer dispersed liquid crystal”, The 47th ANZSES Annual Conference, pp. 145-1-145-6 (2009). (査読有)

⑧ A. Ogiwara, K. Ohbayashi, H. Kakiuchida, K. Yoshimura, M. Tazawa, H. Ono, and A. Emoto, “Orientation controlled anisotropic volume gratings using liquid-crystal composites,” Micro Optics Conference 09 Technical Digest, pp. 190-191 (2009). (査読有)

- ⑨A. Emoto, S. B. Baharim, T. Shioda, A. Ogiwara, and H. Ono, “Tailorable optical diffractive gratings using photopolymerization and/or phase separation in polymer/monomer mixtures”, Micro Optics Conference 09 Technical Digest, pp. 258-259 (2009). (査読有)
- ⑩A. Ogiwara and T. Hirokari, “Formation of anisotropic diffraction gratings in a polymer-dispersed liquid crystal by polarization modulation using a spatial light modulator”, Appl. Opt. 47, pp. 3015-3022 (2008). (査読有)
- ⑪A. Ogiwara, S. Horiguchi, H. Kakiuchida, M. Tazawa, K. Yoshimura, and H. Ono, “Control of anisotropic diffraction in liquid-crystal composite volume gratings”, Opt. Lett. 33, pp. 1521-1523 (2008). (査読有)
- ⑫A. Ogiwara, M. Minato, S. Horiguchi, H. Ono, H. Imai, H. Kakiuchida and K. Yoshimura, “Diffraction properties of anisotropic volume gratings formed in polymer-dispersed liquid crystal,” Jpn. J. Appl. Phys. 47, pp. 6688-6694 (2008). (査読有)
- ⑬H. Ono, N. R. B. Mohamad, T. Sasaki, N. Kawatsuki, and A. Ogiwara, “Rotation of director during holographic recording in polymer dispersed liquid crystals,” Liq. Cryst. 35, pp. 633-639 (2008). (査読有)
- ⑭N. R. Mohamad, A. Emoto, T. Sasaki, T. Shioda, H. Ono, A. Ogiwara, and N. Kawatsuki “Effects of exposure energy and grating constants of holographic PDLC on director of liquid crystals”, Molecular Electronics and Bioelectronics, Korea-Japan Joint Forum 2008, P25-046 (2008) (査読有)
- ⑮A. Ogiwara, M. Minato, S. Horiguchi, H. Kakiuchida, K. Yoshimura, H. Ono, A. Emoto, and N. R. B. Mohamad, “Effects of thermal modulation on anisotropic diffraction in orientation-controlled liquid crystal composite volume gratings”, International Display Workshops2008 (IDW08) Technical Digest, pp. 477-480 (2008). (査読有)

[学会発表] (計 13 件)

- ①垣内田 洋, 吉村 和記, 田澤 真人, 荻原 昭文, 「高分子分散液晶ホログラフィック格子の光学分光回折による相分離構造解析」, 第 58 回春季応用物理学関係連合講演会, 神奈川工科大学, 2011 年 3 月 25 日, 25p-CF-9, pp. 12-168.
- ②荻原昭文, 垣内田洋, 吉村和記, 田澤真

人, 江本顕雄, 小野浩司, 「液晶・高分子複合体材料への配向処理による体積型異方性格子形成」, 第 57 回春季応用物理学関係連合講演会, 東海大学, 2010 年 3 月 17 日, 17a-ZN-13, pp. 12-131.

- ③垣内田洋, 吉村和記, 荻原昭文, 「Bragg 型 H-PDLC 光回折素子の $\theta - 2\theta$ 分光法による格子構造の解析」, 第 56 回春季応用物理学関係連合講演会, 筑波大学, 2009 年 4 月 1 日
- ④垣内田洋, 吉村和記, 荻原昭文, 「H-PDLC 回折格子の分光学的手法による格子構造の解析」第 69 回秋季応用物理学学会学術講演会, 中部大学, 2008 年 9 月 4 日
- ⑤ナジュミア, モハマド, 小野浩司, 川月喜弘, 荻原昭文, 「ホログラフィック PDLC の液晶配向性の格子ピッチ依存性」, 第 55 回春季応用物理学関係連合講演会, 日本大学理工学部船橋キャンパス, 2008 年 3 月 27 日
- ⑥今井秀哉, 小野浩司, 川月喜弘, 荻原昭文, 「光反応性樹脂・液晶複合材料を用いた多次元構造体の構築と光学特性」, 第 55 回春季応用物理学関係連合講演会, 日本大学理工学部船橋キャンパス, 2008 年 3 月 27 日
- ⑦港雅広, 荻原昭文, 小野浩司, 垣内田洋, 吉村和記, 「光反応性液晶を用いた異方性体積型格子の温度変化による光学特性」第 55 回春季応用物理学関係連合講演会, 日本大学理工学部船橋キャンパス, 2008 年 3 月 29 日
- ⑧堀口昌吾, 荻原昭文, 小野浩司, 垣内田洋, 吉村和記, 「光反応性液晶とネマティック液晶複合体による異方性体積型格子形成」第 55 回春季応用物理学関係連合講演会, 日本大学理工学部船橋キャンパス, 2008 年 3 月 29 日

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称: 感温型光制御素子及びその作製方法
 発明者: 垣内田 洋, 荻原昭文
 権利者: 独立行政法人 産業技術総合研究所、独立行政法人 国立高等専門学校機構
 種類: 特許
 番号: 特願 2008-153605
 出願年月日: 平成 20 年 6 月 11 日
 国内外の別: 国内

名称: 太陽光透過制御素子
 発明者: 垣内田 洋, 田澤 真人, 荻原 昭文
 権利者: 独立行政法人 産業技術総合研究所、独立行政法人 国立高等専門学校機構
 種類: 特許
 番号: 特開 2008-134628 号
 出願年月日: 平成 19 年 10 月 26 日
 国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

http://www.kobe-kosen.ac.jp/kyoudou/see ds/pdf/D/D_ogiwara.pdf

<http://www.kobe-kosen.ac.jp/department/ staff/denshi/ogiwara.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荻原 昭文 (OGIWARA AKIFUMI)

神戸市立工業高等専門学校 電子工学科
教授

研究者番号：00342569

(2) 研究分担者

小野 博司 (ONO HIROSHI)

長岡技術科学大学・電気系 教授

研究者番号：10283029

垣内田 洋 (KAKIUCHIDA HIROSHI)

独立行政法人産業技術総合研究所

サステナブルマテリアル研究部門 研究員

研究者番号：40343660

吉村 和記 (YOSHIMURA KAZUKI)

独立行政法人産業技術総合研究所

サステナブルマテリアル研究部門 研究グループ長

研究者番号：50358347