

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560427

研究課題名(和文)有機複合体材料への3次元微細構造形成に基づく感温型デバイスの光制御機能開発

研究課題名(英文)Thermal control of diffraction wavelength by formation of volume grating structure in 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・その他部局等・教授

研究者番号：00342569

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：有機複合体材料へのレーザー干渉露光による光誘起相分離作用を応用し、内部に3次元微細構造を形成することで感温型デバイスの光制御機能開発に取り組んだ。相転移温度の異なる液晶材料を用いて格子の厚さをいくつか変化した構造のデバイス作製を行い、分光特性の温度依存性を評価した。低温に相転移温度を有する液晶材料を用いて10～25μm厚さを有するデバイスを作製した所、30℃付近での温度変化により回折波長が可視と赤外領域間とで可逆的に変化する光学性能を得ることができた。このデバイスを用いて太陽光に含まれる波長領域における日射制御性能と可視制御性能の温度依存性を求め、太陽光制御型窓材へと適用可能な基本特性を得た。

研究成果の概要(英文)：A microperiodic structure composed of polymer and liquid crystal (LC) phases, called holographic polymer dispersed liquid crystal (HPDLC), was fabricated based on a photo-induced phase separation technique by laser interferometric exposure. The diffraction wavelength of HPDLC gratings formed by different LC composites and grating structures was experimentally investigated by spectroscopic measurements as a function of temperature at around 30 degree. The HPDLC gratings composed of nematic LC having low nematic to isotropic temperature (TNI) and different film thickness from 10 to 25 microns showed the switch of diffraction wavelength between visible and infrared lights by the change of temperature. The temperature dependence of the solar and luminous transmittances achieved in HPDLC gratings were applicable for the basis of diffractive type of thermo-driven light controller which can supply visibility constantly for solar-ray control windows.

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：電子デバイス・電子機器

キーワード：光デバイス 分光 光制御 感温型 液晶 省エネルギー

1. 研究開始当初の背景

近年、エネルギー消費に伴う CO2 排出による地球温暖化問題が世界規模で深刻化しており、この根本原因であるエネルギー消費を抑制するための技術開発が緊急に求められている。現在、産業部門での省エネルギー化努力が進む一方で、一般家庭における民生部門でのエネルギー消費が一向に改善されないことが問題となっている。

2. 研究の目的

環境温度変化に対応して自律的に太陽光の透過率を制御できれば、空調・照明などに要するエネルギーを大幅削減できる。本研究は、屋外の温度変化に応じて赤外線の内側への透過率を増加・減少させ、熱エネルギーを自律的に制御可能な感温型デバイスの光制御機能開発を行う。液晶・高分子系複合体へのレーザ干渉に空間的な波面制御機能を導入し、自己組織化的な光硬化反応を用いたナノレベルでの三次元構造制御を試みる。液晶と光重合性液晶モノマー複合体への配向制御とレーザの光波面制御の融合によって、液晶・高分子ネットワーク間の屈折率変化に基づき可視・赤外線透過率の温度依存性の最適化が可能なデバイスへと展開する。

3. 研究の方法

有機複合体材料への3次元微細構造形成に基づく感温型デバイスの光制御機能開発のためには、有機複合体材料、デバイス設計・プロセス、光学特性評価・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体制を構築し、研究を進めてきた。以下に具体的な方法について記述する。

(1) 有機複合体材料

光重合性液晶モノマーとネマティック液晶との複合体に対し、レーザ干渉による三次元構造を形成すると、温度増加と共にN-I遷移に伴う屈折率変化を増加させることがわかってきている。このように液晶・光重合性液晶モノマー複合体への配向制御による異方性屈折率の最適化を行い、感温型デバイスの光制御の高機能化を図る。

(2) デバイス設計・プロセス

有機複合体材料からなるデバイスの特定領域に回折作用を有効に発現させるような波面制御機能を付加することで、さらに光学性能の向上が可能となる。このためには、空間的な位相制御情報を与えることが必要である。このような空間的な波面制御のためのデバイス作製プロセスには、コンピュータからの駆動信号によって特定領域に任意の波面を形成できる空間光変調素子を導入する。

(3) 光学特性評価・解析

太陽光に含まれる波長領域と対応させた光学特性評価を行うために、小型の分光器を導入した評価系を構築する。

さらに、デバイス内に三次元的な複雑な微細構造を形成する必要がある。このためには、異方性媒質からなる構造に対応させたモデルリングに基づくシミュレーションと、分光評価を組み合わせた解析を進める。

4. 研究成果

(1) 有機複合体材料を用いた配向形成

図1は、光重合性液晶モノマーとネマティック液晶からなる有機複合体材料を用いてガラス基板表面にラビング処理を施したセルに注入して作製した回折格子の光制御機能を示したものである。配向処理によって2種類の液晶分子を配列させた状態で格子構造が形成される。この時、温度変化が生じるとネマティック液晶層のみ屈折率が低下して特定の偏光成分のみを回折させる光制御機能を発現することができる。

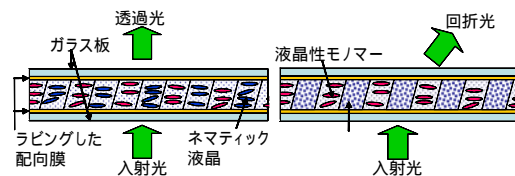


図1 液晶配向処理による回折格子の制御機能

(2) デバイス形成

図2に示すように液晶高分子複合体材料にコンピュータ制御に基づき照射位置・角度や照射エネルギーを制御できるように構築したレーザ干渉露光を行った。液晶とモノマーの光誘起相分離反応の結果、レーザ照射パターンに対応した液晶層と高分子層からなる三次元微細格子構造を任意の形状で形成可能にした。

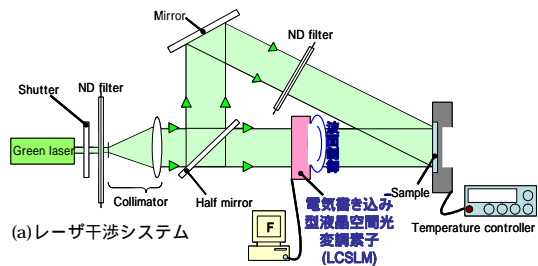


図2 レーザ干渉露光システム

図3は、先のレーザ干渉露光により作製したデバイス内部の格子構造断面を電子顕微鏡で観察した結果である。モノマーが光硬化して形成された高分子の柱状構造の層と、液晶滴が組み合わさって形成された液晶層からなる周期構造が明瞭に観察された。

この液晶層と高分子層との屈折率分布により回折が生じるため、空間的な屈折率分布を求めることが重要となる。このため、グリーンレーザによる回折効率の入射角度依存性の測定と、分光器を用いた連続的な波長可

変によるブラック条件での回折効率測定を組み合わせを行った。この実験結果に異方性を考慮した結合波理論を適用することで格子間の屈折率分布の解析を試みた。この結果は、格子に対するグレーティングベクトルに平行な x 方向と、これに垂直な y, z 方向とに分類し、先の図3における格子構造に関連付けて図中に曲線で示した。 x 方向での屈折率差が他の方向に比較して大きな値を示しており、液晶の配向制御を裏付ける結果としての回折異方性の定量的評価が可能となった。

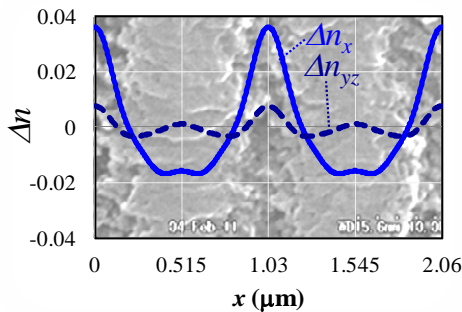


図3 デバイスの内部構造観察結果

(3) 光制御機能開発

有機複合体材料設計に基づき作製したデバイスの光制御特性に影響を与える格子間の屈折率分布や格子膜厚などのいくつかの条件と光学特性評価結果とを解析し、光制御機能開発を行った。この結果としての分光透過率の温度依存性を図4に示す。この結果は、室温(22)から 35 程度の生活環境温度変化において、可視領域に比較して 750nm 以上の赤外領域の透過率を優先的に大きく可変可能であることを実証した。

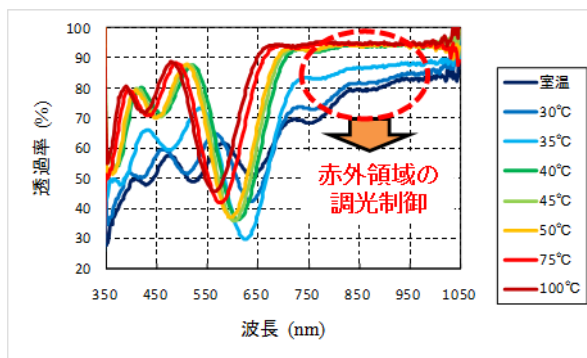


図4 分光透過率の温度依存性による調光機能

さらに、空間光変調素子を用いて特定領域において温度変化と連動させた回折作用の発現が可能なデバイス作製を行った。図5は作製したデバイスが文字情報に対応した特定領域において、回折作用を効率的に示した結果を示したものである。温度変調に基づく光制御機能を活用して、ホログラフィックな文字情報再生を実現することができた。

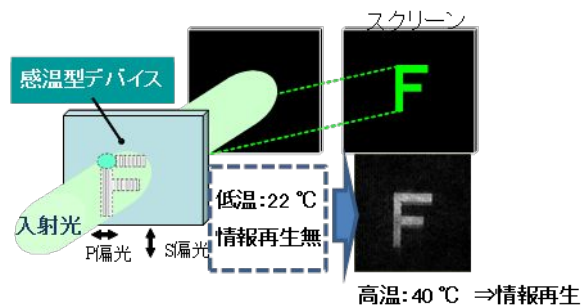


図5 温度変調に基づく光制御機能の応用例

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 23 件)

1. H. Kakiuchida, M. Tazawa, K. Yoshimura, A. Ogiwara, "Optical diffractometry of anisotropic holographic structure composed of liquid crystal and polymer phases with extended Bragg modes," Thin Solid Films. In Press.(査読有)
2. 荻原 昭文, "異方性回折格子による光再構成型ホログラムメモリーへの応用," 日本液晶学会誌, **18**, pp. 9-16 (2014). (査読有)
3. 垣内田 洋, 吉村 和記, 田澤 真人, 荻原 昭文, "液晶・高分子ハイブリット調光窓," 高分子, **62**, pp. 595-597 (2013). (査読有)
4. A. Ogiwara, M. Watanabe, and R. Moriwaki, "Temperature dependence of anisotropic diffraction in holographic polymer-dispersed liquid crystal memory," Appl. Opt. 52, pp. 6529-6536 (2013). (査読有)
5. A. Ogiwara, M. Watanabe, and R. Moriwaki, "Formation of temperature dependable holographic memory using holographic polymer-dispersed liquid crystal," Opt.Lett.38, pp.1158-1160 (2013).(査読有)
6. A. Ogiwara, H. Kakiuchida, "Thermo-driven light controller by using thermal modulation of diffraction wavelength in holographic polymer dispersed liquid crystal grating," Proceedings of SPIE 9004,90040Q1-8, San Francisco, USA, (2014). (査読有)
7. A. Ogiwara, H. Maekawa, M. Watanabe, R. Moriwaki, "Formation of holographic memory for optically reconfigurable gate array by angle-multiplexing recording of multi-circuit information in liquid crystal composites," Proceedings of SPIE 9004,90040M1-8, San Francisco,

- USA, (2014). (査読有)
8. H. Kakiuchida, K. Yoshimura, M. Tazawa, A. Ogiwara, "Polarization-selective Bragg diffractive wavelengths in holographic structures composed of liquid crystal and polymer phases," Proceedings of SPIE 9004, 90040K1-6, San Francisco, USA, (2014). (査読有)
 9. A. Ogiwara, H. Maekawa, M. Watanabe, and R. Moriwaki, "Angle-multiplexing recording of multi-context for optically reconfigurable gate array in holographic memory using liquid crystal composites," Micro Optics Conference 13 Technical Digest, H30, Tokyo, Japan, (2013). (査読有)
 10. A. Ogiwara, H. Shichi, H. Kakiuchida, and K. Yoshimura, "Thermal control of diffraction wavelength in holographic polymer dispersed liquid crystal by using different grating structure," Micro Optics Conference 13 Technical Digest, H69 Tokyo, Japan, (2013). (査読有)
 11. R. Moriwaki, M. Watanabe, and A. Ogiwara, "Configuration on an optically reconfigurable gate array under the maximum 120°C temperature condition," 2013 18th Opto Electronics and Communications Conference held jointly with 2013 International Conference on Photonics in Switching (OECC/PS), TuO3-5, Kyoto, Japan, (2013). (査読有)
 12. A. Ogiwara, H. Maekawa, M. Watanabe, and R. Moriwaki, "Formation of Holographic Memory by Recording of Multi-context in Liquid Crystal Composites," 2013 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR), TuPL-18, Kyoto, Japan, (2013). (査読有)
 13. H. Kakiuchida, M. Tazawa, K. Yoshimura, and A. Ogiwara, "Optical diffractometry of highly anisotropic holographic gratings formed by liquid crystal and polymer phase separation," *Phy. Rev. E* 86, pp. 061701-1 - 061701-12 (2012). (査読有)
 14. A. Ogiwara and M. Watanabe, "Optically reconfiguration by anisotropic diffraction in holographic polymer-dispersed liquid crystal memory," *Appl. Opt.* 51, pp. 5168-5177 (2012). (査読有)
 15. H. Kakiuchida, M. Tazawa, K. Yoshimura, and A. Ogiwara, "Theta-2theta diffractometry of anisotropic holographic gratings composed of liquid crystal and polymer phases," Proceedings of SPIE 8642, 86420H1-7, San Francisco, USA, (2013). (査読有)
 16. A. Ogiwara, M. Watanabe, and R. Moriwaki, "Temperature Dependable Holographic Memory Using Holographic Polymer-dispersed Liquid Crystal," Proceedings of PIERS 2013 in Taipei, Taiwan, pp.322-325, (2013). (査読有)
 17. A. Ogiwara, H. Shichi, H. Kakiuchida, A. Emoto, and H. Ono, "Analysis of Anisotropic Diffraction in Volume Gratings Using Liquid Crystal Composites," Proceedings of PIERS 2013 in Taipei, Taiwan, pp. 317-321, (2013). (査読有)
 18. R. Moriwaki, M. Watanabe, A. Ogiwara, "A 9-configuration-context optically reconfigurable gate array using a polymer-dispersed liquid crystal holographic memory," Takayanagi Kenjiro Memorial Symposium, pp.S3-10-1-S3-10-4, Shizuoka, Japan, Nov., (2012). (査読有)
 19. A. Ogiwara, M. Watanabe, T. Mabuchi, and F. Kobayashi, "Holographic polymer-dispersed liquid crystal memory for optically reconfigurable gate arrays using subwavelength grating mask," *Appl. Opt.* 50, pp. 6369-6376 (2011). (査読有)
 20. R. Moriwaki, M. Watanabe, A. Ogiwara, and F. Kobayashi, "Multi-context optically reconfigurable gate array using a polymer-dispersed liquid crystal holographic memory," Micro Optics Conference 11 Technical Digest, H-46, (2011). (査読有)
 21. A. Ogiwara, M. Watanabe, and F. Kobayashi, "Holographic memory formed by multi-context recording for optically reconfigurable gate array," Micro Optics Conference 11 Technical Digest, H-39, Sendai, Japan, (2011). (査読有)
 22. A. Ogiwara, "Formation of temperature dependent holographic polymer-dispersed liquid crystal grating using spatial light modulator," Micro Optics Conference 11 Technical Digest, H-75, Sendai, Japan, (2011). (査読有)
 23. T. Mabuchi, M. Watanabe, A. Ogiwara, and F. Kobayashi, "Optically reconfigurable gate array with a polymer-dispersed liquid crystal holographic memory," NASA/ESA

Conference on Adaptive Hardware and Systems, pp. 44-49, California, USA, June, 2011 (2011). (査読有)

〔学会発表〕(計 15 件)

1. 垣内田 洋, 吉村 和記, 田澤 真人, 荻原昭文「ホログラフィック高分子分散液晶を用いた偏光制御型Bragg 回折波長切り換え素子」第 61 回応用物理学学会春季学術講演会 青山学院大学 2014 年 3 月 20 日, 20a-E5-3, pp.12-056.
2. 松浦 宗也, 野田 浩平, 佐々木 友之, 荻原 昭文, 小野 浩司「回折特性の実時間観測によるホログラフィック液晶高分子複合体の形成過程の解析」第 61 回応用物理学学会春季学術講演会 青山学院大学 2014 年 3 月 18 日, 18p-E16-8, pp.04-075.
3. 荻原 昭文, 前川 輝, 渡邊 実, 森脇 烈「多重記録による液晶ホログラムメモリを用いた光再構成試験」第 61 回応用物理学学会春季学術講演会 青山学院大学 2014 年 3 月 18 日, 18a-PG1-7, pp.03-123.
4. 前川 輝, 荻原 昭文, 渡邊 実, 森脇 烈「光再構成用コンテキストデータの液晶ホログラムへの角度多重記録」第 74 回秋季応用物理学関係連合講演会 同志社大学 2013 年 9 月 18 日, 18p-P2-2, pp.03-063.
5. H. Kakiuchida, M. Tazawa, K. Yoshimura, A. Ogiwara "Optical diffractometry of anisotropic holographic structure composed of liquid crystal and polymer phases," 6th International Conference on Spectroscopic Ellipsometry (ICSE-VI), Conference Program and Abstract, p.124, Kyoto, May. 29th. 2013.
6. 荻原 昭文, 志智 弘, 渡邊 実, 森脇 烈「光再構成型ゲートアレイ用液晶ホログラムメモリの温度依存性」第 60 回春季応用物理学関係連合講演会 神奈川工科大学 2013 年 3 月 30 日, 30a-PA1-6, pp.03-089.
7. 志智弘, 荻原昭文, 垣内田洋 「異なる格子形状による液晶回折光学素子の異方性回折特性」第 60 回春季応用物理学関係連合講演会 神奈川工科大学 2013 年 3 月 28 日, 28a-PB3-5, pp.12-140.
8. 垣内田 洋, 吉村 和記, 田澤 真人, 荻原昭文「高分子分散液晶格子で生じる高次Bragg 回折の設計・解析」第 60 回春季応用物理学関係連合講演会 神奈川工科大学 2013 年 3 月 27 日, 27a-G13-1, pp.12-119.
9. 荻原昭文, 「照明・空調設備の省エネルギー化のための自律型調光制御部材開発」Smart Energy Japan 2013 東京ビックサイト 受賞者発表会 2013 年 2 月 1 日.
10. 荻原昭文, 「有機複合体材料からなる感温型光情報制御素子の開発」レーザ学会学

術講演会第 33 回年次大会 姫路商工会議所, H130a 02 2013 年 1 月 30 日 招待講演.

11. 志智弘, 荻原昭文, 垣内田洋 「液晶複合体材料を用いた回折光学素子の偏光異方性解析」Optics & Photonics Japan 2012 タワーホール船堀 2012 年 10 月 23 日, 23aB4.
12. 荻原昭文, 渡邊 実 「光再構成型ゲートアレイ用マルチコンテキストデータの液晶ホログラム記録」第 73 回秋季応用物理学関係連合講演会 愛媛大学 2012 年 9 月 13 日, 13a-PA2-3, pp.03-091.
13. 垣内田 洋, 吉村 和記, 田澤 真人, 荻原 昭文 「 -2 分光回折法による HPDLC 周期相分離構造の解析 - 広範囲角度スキャンで得られる知見 - 」第 73 回秋季応用物理学関係連合講演会 愛媛大学 2012 年 9 月 13 日, 13p-A1-4, pp.12-124.
14. 垣内田洋, 吉村和記, 田澤真人, 荻原昭文 「高分子 / 液晶ホログラフィック格子が有する光学異方性の -2 分光回折法による解析」第 8 回偏光計測研究会、(株)堀場製作所東京セールスオフィス、2012 年 6 月 29 日、講演 6.
15. 森脇烈, 渡邊実, 荻原昭文, 小林史典, 「偏光依存性ホログラムメモリを用いたマルチコンテキスト光再構成型ゲートアレイ」, 第 55 回宇宙科学技術連合講演会, 1A02, 愛媛県県民文化会館, 11 月, 2011.

〔その他〕

ホームページ等

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

ナノプロセス研究部門 主任研究員

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

ナノプロセス研究部門 研究グループ長

研究者番号: 50358347