

平成 22 年 4 月 1 日現在

研究種目：若手研究 (S)

研究期間：2007 ~ 2011

課題番号：19675004

研究課題名 (和文) 高分子フォトリック結晶によるアクティブ光機能デバイスの研究

研究課題名 (英文) Polymer Photonic Crystal for Active Optical Device Applications

研究代表者

横山 士吉 (YOKOYAMA SHIYOSHI)

九州大学・先導物質化学研究所・教授

研究者番号：00359100

研究代表者の専門分野：高分子フォトリックス

科研費の分科・細目：材料化学・機能材料・デバイス

キーワード：フォトリック結晶、先端機能デバイス、高分子合成、光物性

1. 研究計画の概要

(1)背景：インターネットをはじめとする情報通信の発展は、高度なコミュニケーションの実現、物流に代わる作業効率の向上、及び情報集約・配信拠点の高速・大容量化を実現してきている。一方で、情報通信に関わる消費電力は超高速・大容量化とともに増加し、エネルギー消費の少ないネットワークの効率利用に向けた材料・デバイス開発は、情報通信を活用した低炭素社会の実現に向けた必須の課題である。

本研究ではこのような背景のもと、無機系材料では到達困難な高効率・低エネルギー動作の高性能高分子材料と光デバイスの研究を進めている。また、光情報処理や光変調などの次世代光情報技術の光アクティブデバイス領域の開拓に向け、実用的な高性能光学高分子の開発を展開することも目的の一つである。

(2)目的：本研究は有機・高分子材料のナノ・マイクロ加工技術によって飛躍的な特性向上が期待できる高性能光学素子を作製し、非線形光学特性を基軸とした実用的な光デバイス応用を展開することである。このため光と物質の相互作用場としてフォトリック結晶を積極的に活用し、極低消費エネルギー・超高速動作の非線形光スイッチング等の実現を狙う。フォトリック結晶の内部電場増強効果は数十倍～数百倍の光-物質相互作用発生させるため、非線形光学効果においては数百～数億倍のデバイス性能の向上も可能である。このようなインパクトを実証することによって、光機能性高分子材料の実用化に向けた、実質的なデバイス研究への展開を図ることも本研究の目的である。

(3)方法：研究目的を達成するため本研究では、研究代表者が蓄積してきた光機能性高分子材料の合成や光学特性評価、及び光デバイス応用を基盤としながら、独自の視点からフォトリック結晶がもたらす特殊な光学特性について詳細を検討し、高分子フォトリックスの飛躍的な進展が期待できる物質材料・光デバイス技術の融合研究を進める。これを実証するため本研究では、以下の研究課題を実施した。

高性能フォトリック結晶の作製

- 1)高電気光学定数(>100pm/V)の達成
- 2)高分子ナノ・マイクロ加工技術の確立

光デバイス評価・応用

- 1)光学的評価基準の確立
- 2)応用：高速光スイッチング素子等

2. 研究の進捗状況

(1)高性能高分子材料の設計・合成：近年、電気光学効果を中心とした2次非線形光学材料の光学特性に関して、有機・高分子材料分野で飛躍的な性能向上の報告が世界的になされている。そのレベルは高速光変調器で実用化されている無機電気光学材料(ニオブ酸リチウム($r_{33}=32\text{pm/V}$))を大きく超える特性を得ている。本研究では高性能非線形光学色素の合成と高分子合成技術の融合によって、 $r_{33}=150\text{-}170\text{pm/V}$ の極めて高い光学特性を達成した。この光学特性は当初の研究目標を大きく上回る成果である。さらに分岐型構造を有するハイパーブランチポリマーの活用によって、光学特性ばかりでなく、熱的耐久性の高い電気光学高分子に関する知見も得ている。

(2)光デバイスの評価・合成：本研究では高度な材料性能向上と合わせてフォトニック結晶の電場増強効果を活用した飛躍的な光学性能の達成を目的としている。その実証実験として電気光学高分子と多層薄膜型マイクロ共振器(1次元フォトニック結晶)、及び2次元高分子フォトニック結晶を用いた非線形光学現象の増強効果について知見を得た。多層薄膜型マイクロ共振器を用いた電場変調/位相変化実験では、共振器と共鳴領域にない波長帯域と比較して60倍効率化を示す電気光学特性を実測した。本結果を2次元フォトニック結晶へ応用することによって光変調素子の動作電圧を大きく下げることが可能となる。2次元フォトニック結晶中における非線形光学応答(2光子吸収)実験では、バルク状高分子薄膜に対して100倍以上の増幅効果を確認している。

3. 現在までの達成度

自己評価：概ね順調に進展している。
理由：高性能高分子材料の開発は本研究課題の基盤的位置づけにあり、電気光学特性を中心として当初の目標を超えた材料性能を達成している。今後、材料技術を基盤にフォトニック結晶作製の高度化と光デバイス評価・応用に関する各研究テーマを積極的に融合し進めることで、相乗的に研究成果が進展できることが期待される。

4. 今後の研究の推進方策

本研究では、単に優れた光学性能の追求のみならず、実用的な光学デバイス応用への展開も踏まえた観点から材料合成を進めることを目指している。そのため耐久性の付与と無機・有機ハイブリッド化を進めデバイス作製プロセスへの対応の加速を図る。フォトニック結晶作製技術では、さらなる高精度化の達成が必要であり、無機材料をテンプレートとした複合型高分子素子の作製も有力候補とし研究を進める。高性能高分子材料を用いた光デバイスの低エネルギー動作と高速光スイッチング特性の実証に向けて、材料とデバイス作製の両側面から研究を展開する。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計13件)

1. X. Xu, T. Yamada, and S. Yokoyama, Modification of Two-photon Excited Fluorescence from Quantum Dots on SiN Photonic Crystal, *Opt. Lett.*, **35**, pp. 309-311 (2010).
2. K. Sasaki, S. Inoue, K. Nishio, H. Masuda, A. Otomo, and S. Yokoyama, Polymer Micro-structure Embedded in Two-Dimensional Photonic Crystals, *Opt. Mater.*, **32**, pp. 543-546 (2010).

3. X. Xu, T. Yamada, and S. Yokoyama, Correlation between Antibunching and Blinking of Photoluminescence from a CdSe/ZnS Quantum Dot, *Eur. Phys. J.*, **55**, pp. 691-697 (2009).
4. S. Inoue and S. Yokoyama, Numerical Simulation of an Ultra-compact Electro-optic Modulator Based on Nanoscale Plasmon Metal Gap Waveguides, *Elec. Lett.*, **45**, pp. 1087-1088 (2009).
5. S. Inoue and S. Yokoyama, Nonlinear Optical Responses in Two-Dimensional Photonic Crystals, *Thin Solid Films*, **518**, pp. 470-472 (2009).
6. X. Piao, S. Inoue, S. Yokoyama, H. Miki, I. Aoki, A. Otomo, and H. Tazawa, Synthesis and Characterization of Binary Chromophore Polymers for Electro-optic Application, *Thin Solid Films*, **518**, pp. 481-484 (2009).
7. S. Inoue and S. Yokoyama, Enhancement of two-photon excited fluorescence in two-dimensional nonlinear optical polymer photonic crystal waveguide, *Appl. Phys. Lett.*, **93**, pp. 111110-3 (2008).
8. S. Inoue, S. Yokoyama, and Y. Aoyagi, Direct determination of photonic band structure for waveguiding modes in two-dimensional photonic crystals *Opt. Exp.*, **16**, pp. 2461-2468 (2008).

〔学会発表〕(計54件(招待講演13件))

1. S. Yokoyama, Hyperbranched Polymer for Electro-optic (EO) and Photonic Crystal Applications, SPIE, Photonic West, 2010/1/27, San Francisco, USA
2. S. Yokoyama, Electro-Optic (EO) Host-Guest Hyperbranched Polymer over 100 pm/V, IUPAC 5th International Symposium on Novel Materials and Synthesis, 2009/10/20, 上海, 中国

〔図書〕(計5件)

1. 横山士吉、高分子非線形光学材料の飛躍的な復活、「化学」化学同人、5月号(2008)。

〔産業財産権〕

出願状況(計2件)
名称：2 非線形光学化合物及びそれを含む非線形光学素子
発明者：大友明, 青木勲, 三木秀樹, 田澤英久, 横山士吉
権利者：情報通信研究機構, 住友電工株式会社, 九州大学
種類：特願 2009-192738
番号：2009-192738
出願年月日：2009年8月24日
国内外の別：国内