

高分子フォトニック結晶によるアクティブ光機能デバイスの研究
Polymer photonic crystal for active optical device
applications

横山 士吉 (YOKOYAMA SHIYOSHI)
九州大学・先導物質化学研究所・教授



研究の概要

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フォトニック素子を作製し、非線形光学特性や発光特性を中心とした光デバイスの応用研究を進める。特に次世代光技術の新領域で活躍可能な高分子光デバイスの実現に向けて、フォトニック結晶を用いた高効率・極低エネルギー動作を実証する。

研究分野：化学

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：高分子非線形光学効果・固体光源

1. 研究開始当初の背景

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、無機系デバイス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に関する光アクティブデバイス領域においても、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. 研究の目的

本研究の目的は、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ニ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。フォトニ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

用発生させるため、非線形光学効果においては数百～数億倍以上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. 研究の方法

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ニ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、高分子フォトニクス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する。

①高性能フォトニック結晶の作製

- 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

②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

4. これまでの成果

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

えるに至っている。図1に本研究で合成を進めた電気光学高分子とニオブ酸リチウムの電気光学定数を比較した結果を示す。これまでの研究成果より、無機材料を大きく超える電気光学高分子の合成に成功し、高い光学特性 ($r_{33}=150\text{--}170\text{pm/V}$) を達成している。

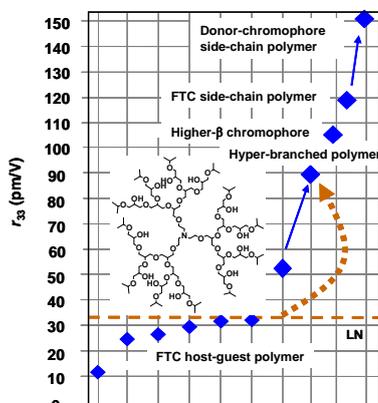


図1. 本研究で開発の電気光学高分子の光学性能の向上。波線(LN)はニオブ酸リチウムの電気光学特性を示す。本研究の研究目標(電気光学特性($r_{33}=100\text{pm/V}$))を大きく超える光学特性が達成された。

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倍程度の大きな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。

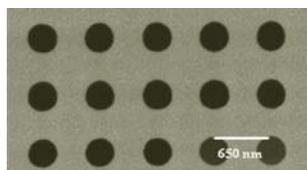


図2. 本研究で作製した高分子フォトニック結晶(SEM像)。空孔直径360nmと格子間隔650nmを有している。非線形光学特性(2光子吸収)において100倍以上の電場増強効果を生じた。

5. 今後の計画

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。

6. これまでの発表論文等

1. A. Inoue, S. Inoue, and S. Yokoyama, Enhanced Electro-optic Response of a Poled Polymer in a Reflection-type Microcavity, *Opt Comm.*, (2010) in press.
2. 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).
3. 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).
4. 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).
5. 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).
6. S. Inoue and S. Yokoyama, Nonlinear Optical Responses in Two-Dimensional Photonic Crystals, *Thin Solid Films*, **518**, pp. 470-472 (2009).
7. 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).
8. 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).
9. 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).

ホームページ等

http://www.cm.kyushu-u.ac.jp/dv15/Yokoyama_Labo.html