

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 29 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25390101

研究課題名(和文) 蛍光ターゲティング効果を用いた自己組織化光回路

研究課題名(英文) Self-Organized Optical Circuits using Phosphor-Targeting Effect

研究代表者

吉村 徹三 (YOSHIMURA, Tetsuzo)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・教授

研究者番号：50339769

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：コンピュータの小型・低電力化に有効な配線光化の課題に「光デバイスの簡便な接続」がある。本研究では、自己組織化光波網(SOLNET)の蛍光ターゲティング効果を用いたセルフアライン光結合を提案、シミュレーション・実験により原理実証を試みた。その結果、two-photon photochemistryを用いたSOLNETが位置ずれトレランスを拡大することがわかった。幅600 nm導波路間では位置ずれ1 μmでロス0.4~0.6 dBの光はんだ機能を、幅3 μm-600 nm導波路間では位置ずれ0 μmでロス0.1~0.3 dB、1 μmで1.2~1.4 dBのモード径変換光はんだ機能を示す。

研究成果の概要(英文)：Optical wiring is promising to reduce the size and power dissipation of computers. One of the issues of the optical wiring is “easy optical couplings between devices.” In the present work, we proposed a self-aligned optical coupling of the self-organized lightwave network (SOLNET) with the phosphor-targeting effect, and attempted to demonstrate the proof-of concept by simulations and experiments. It was found that SOLNETs formed by the two-photon photochemistry widen the lateral misalignment tolerance. For a lateral misalignment of 1 μm, in optical couplings between optical waveguides with 600-nm-wide cores an optical solder function exhibiting a coupling loss of 0.4-0.6 dB is expected, and in couplings between optical waveguides with 3-μm-wide and 600-nm-wide cores a mode-size conversion optical solder function exhibiting a coupling loss of 1.2-1.4 dB is expected.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：自己組織化光波網 自己組織化光回路 セルフアライン光結合 光はんだ モードサイズ変換 ナノフォトニクス 光インターコネクト 光導波路

1. 研究開始当初の背景

クラウドコンピューティングなどの大規模システムの普及に伴い、情報・通信システムの大型化と消費電力増大が問題となってきた。その対策として、コンピュータの配線を光化した「光インタコネク」が有望である。光インタコネクは、今後さらなる小型・低消費電力化に向けて、コンピュータ内部にまで導入されると予想される。

このときの課題として、「光デバイスと光配線の位置合わせに多大のコストを要する」ことがある。特に、近年脚光を浴びているシリコンフォトリソグラフィを用いるシステムでは、ナノスケール光導波路間の接続およびナノスケール-マイクロスケール光導波路間の接続が必要で、サブミクロン精度の位置合わせとモードサイズ変換機能が要求される。

2. 研究の目的

本研究では、「光デバイスと光配線の位置合わせに多大のコストを要する」という課題を解決するために、自己組織化光波網(SOLNET)の蛍光ターゲットング効果を利用したセルフアライン光回路の実現可能性を、Finite-Difference Time-Domain (FDTD)を用いたシミュレーションと実験により実証する。

3. 研究の方法

SOLNETとは、光照射により屈折率が増加する感光性材料中で、書き込み光間の引力を利用し、位置ずれやモードサイズミスマッチのある光デバイス間に自動的に結合光導波路を形成する方式である。

本研究では、蛍光体を用いた反射型 SOLNET (R-SOLNET with Phosphor)およびルミネッセンスアシスト SOLNET (LA-SOLNET)について、下記項目を実行した。

- (1) SOLNET with Phosphor の結合効率評価：結合効率に対する位置ずれの影響を調べた。
- (2) 多デバイス間への SOLNET の一括形成：分岐導波路型 SOLNET の形成可能性を調べた。
- (3) 2波長 SOLNET (Two-Photon SOLNET) への展開：2つの異なる波長の光を同時照射して感光させる2段階励起プロセスが知られている。これを SOLNET 形成に適用した場合、2つの光の相互作用が強くなり、良質な SOLNET が期待できる。その可能性を探るための実証実験および FDTD シミュレーションを行った。
- (4) 各種 SOLNET の結合効率評価：R-SOLNET, LA-SOLNET, および通常の Two-Beam Writing SOLNET について、

Finite-Difference Time-Domain (FDTD)法を用いたシミュレーションによる性能予測を網羅的に行った。さらに、Two-Photon SOLNET と One-Photon SOLNET の性能比較も行った。

4. 研究成果

(1) SOLNET with Phosphor の結合効率評価
コア径 50 μm の光ファイバ端面部に Coumarin 481 をドープした蛍光ターゲットを形成し、100-300 μm の間隔をあけてコア径 50 μm の光ファイバと蛍光ターゲットを対向させた。有機/無機ハイブリッド感光性材料 SUNCONNECT 中に光ファイバコアから波長 448 nm の書き込み光を射出させたところ、蛍光ターゲットから青色発光を生じ、R-SOLNET がターゲットに向かって形成された。波長 850 nm のプローブ光を用いて結合効率を測定した結果、R-SOLNET の形成により、10-30%の結合効率上昇、位置ずれトレランスの増大が観測された。

(2) 多デバイス間への SOLNET の一括形成
実験、シミュレーションで原理実証を試みたが、複数デバイスへの同時接続は起こらず、最も近いデバイスに選択的に SOLNET が向かう現象が観測された。今後、デバイス配置、書き込み光の伝搬形状などの適正化により、改良を進める必要がある。

(3) 2波長 SOLNET (Two-Photon SOLNET) への展開

Two-Photon SOLNET が、通常の One-Photon SOLNET に比べて、位置ずれトレランスを大幅に拡大することを、FDTD シミュレーションにより見出した。

さらに、Two-Photon Photochemistry を有する増感分子 biacetyl/camphorquinone をドープした SUNCONNECT を感光性材料に用い、Two-Photon SOLNET 形成実験を行った。2本のマルチモード光ファイバを対向させ、書き込み光 1 (波長：448 nm) および書き込み光 2 (波長：850 nm) をそれぞれ左側および右側のファイバから射出させた結果、両ファイバ間にセルフアライン結合導波路が形成され、原理実証に成功した。

(4) 各種 SOLNET の結合効率評価

-コア幅 600 nm 光導波路間の結合では、LA-SOLNET が、1 μm の位置ずれでロス 0.4~0.6 dB という低ロス光はんだ機能を持つことがわかった。

-コア幅 3 μm - 600 nm 間結合では、位置ずれなしの場合は 0.1~0.3 dB、位置ずれ 1 μm の場合は 0.9~1.4 dB という比較的低い結合ロスのモードサイズ変換機能をもったセルフアライン光結合が可能であることがわかった。

以上,本プロジェクトは,蛍光ターゲットを用いた SOLNET が,コンピュータ内部の光インタコネクタにおけるセルフアライン光結合に有効であることを示した.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

- [1] T. Yoshimura, “Molecular Layer Deposition (MLD): Monomolecular-Step Growth of Polymers with Designated Sequences,” *Macromolecular Symposia* **361**, 141-148 (2016). [査読あり]
- [2] T. Yoshimura, D. Takeda, T. Sato, Y. Kinugasa, H. Nawata, “Polymer Waveguides Self-Organized by Two-Photon Photochemistry for Self-Aligned Optical Couplings with Wide Misalignment Tolerances,” *Optics Communications* **362**, 81-86 (2016). [査読あり]
- [3] T. Yoshimura, “Simulation of Self-Aligned Optical Coupling between Micro- and Nano-Scale Devices using Self-Organized Waveguides,” *Journal of Lightwave Technology* **33**, 849-856 (2015). [査読あり]
- [4] T. Yoshimura, M. Iida, H. Nawata, “Self-aligned optical couplings by self-organized waveguides toward luminescent targets in organic/inorganic hybrid materials,” *Optics Letters* **39**, 3496-3499 (2014). [査読あり]
- [5] T. Yoshimura, M. Seki, “Simulation of self-organized parallel waveguides targeting nanoscale luminescent objects,” *Journal of Optical Society of America B* **30**, 1643-1650 (2013). [査読あり]
- [6] T. Yoshimura, S. Ishii, “Effect of Quantum Dot Length on the Degree of Electron Localization in Polymer Wires Grown by Molecular Layer Deposition,” *Journal of Vacuum Science & Technology A* **31**, 031501-1-5 (2013). [査読あり]

〔学会発表〕(計9件)

- [1] T. Yoshimura, “Molecular Layer Deposition and Self-Organized Waveguides for Drug Delivery and Surgery in Cancer Therapy -Conceptual Proposals-,” Nano Science and Technology-2015, Sept., Xi'an, China (2015).
- [2] T. Yoshimura, “Multi-Dye-Stacked Light-Harvesting Antennas Grown by Liquid-Phase Molecular Layer Deposition for Sensitization of ZnO,” Energy Materials Nanotechnology 2015, June, Cancun, Mexico (2015).
- [3] T. Yoshimura, “Simulation of Self-Organized Waveguides for Self-Aligned Coupling between Micro- and Nano-Scale Devices,” Optics & Optoelectronics 2015, April, Prague, Czech Republic (2015).
- [4] T. Yoshimura, “Molecular Layer Deposition (MLD): Monomolecular-Step Growth of Polymers with Designated Sequences,” 3rd Conference on Polymer Processing and Characterization (ICPPC-2014), Kottayam, Kelara, India (2014).

[5] T. Yoshimura, A. Oshima, “Molecular Layer Deposition (MLD) with N₂ Gas Curtains for High-Throughput Growth,” 13th European Vacuum Conference, Aveiro, Portugal (2014).

[6] M. Iida, T. Yoshimura, H. Nawata, “Self-Organization of Waveguides Toward Luminescent Targets in Novel Organic/Inorganic Hybrid Materials,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO: 2014), San Jose, California, USA (2014).

[7] T. Yoshimura, “Self-Organized Optical Waveguides Targeting Luminescent Objects,” European Optical Society, 5th Optical Micro-Systems, Capri Island, Italy (2013).

[8] T. Yoshimura, C. Yoshino, “Multi-Dye-Molecule-Stacked Structures Grown by Molecular Layer Deposition (LP-MLD) on ZnO,” 19th International Vacuum Congress, Paris, France (2013).

[9] T. Yoshimura, M. Seki, “Self-Organized Optical Waveguides Targeting Luminescent Objects in Photopolymers,” The European Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference, Munich, Germany (2013).

〔図書〕(計4件)

- [1] 吉村徹三, 「光はんだ接続技術の進展」, 光アライアンス 27(3), 31-35 (2016).
- [2] T. Yoshimura, “In-Situ Drug Synthesis at Cancer Cells for Molecular Targeted Therapy by Molecular Layer Deposition -Conceptual Proposal-,” Chapter 17 in *Nano Based Drug Delivery*, IAPC Publishing, 429-458 (2015).
- [3] T. Yoshimura, “Thin-Film Molecular Nanophotonics,” Chapter 8 in *Photonics, Vol. 2: Nanophotonic Structures and Materials*, Wiley, 261-310 (2015).
- [4] T. Yoshimura, “Organic Quantum Dots Grown by Molecular Layer Deposition for Photovoltaics,” Chapter 4 in *Polymers for Energy Storage and Conversion*, Scrivener/Wiley Publishing, 103-136 (2013).

〔産業財産権〕 出願状況(計3件)

[1]
名称: ターゲットの形成方法およびそれを用いたセルフアライン光結合自己組織化導波路の作製方法
発明者: 吉村徹三
権利者: 吉村徹三
種類: 特許
番号: 特開 2016-35549
出願年月日: 平成 26 年 8 月 4 日
国内外の別: 国内

[2]
名称: 多波長を用いたセルフアライン光結合自己組織化導波路の作製方法

発明者：吉村徹三
権利者：吉村徹三
種類：特許
番号：特開 2015-114657
出願年月日：平成 25 年 12 月 13 日
国内外の別： 国内

[3]

名称：セルフアライン光結合自己組織化導波
路の作製方法
発明者：吉村徹三，飯田誠
権利者：吉村徹三
種類：特許
番号：特開 2015-001734
出願年月日：平成 25 年 6 月 14 日
国内外の別： 国内

6．研究組織

(1)研究代表者

吉村 徹三 (YOSHIMURA, Tetsuzo)
東京工科大学・コンピュータサイエンス学
部・教授
研究者番号：50339769