

研究種目：若手研究（スタートアップ）
研究期間：2008～2009
課題番号：20860022
研究課題名（和文） ナノ光トランスミッターの開発

研究課題名（英文） Development of the nanophotonic signal transmitter

研究代表者

八井崇（YATSUI TAKASHI）
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：80505248

研究成果の概要（和文）：ナノ寸法ビーム幅を得る為に室温で良好な発光特性を有する ZnO の QD をゾルゲル法により作製した。光電子工学で従来使われているトップダウン的作成技術では QD を直線配列することは不可能なので、DNA に沿って QD を固定する方法を開発した。その結果 QD（直径 5nm）を DNA 全長（16.4 μ m）にわたり等間隔（1.2nm 程度）で配列することに世界で初めて成功し、それを透過電子顕微鏡で確認した。さらにこの列の偏光特性を測定し、QD 列に沿う光伝送を確認した。

研究成果の概要（英文）：A self-assembly method that aligns nanometre-sized quantum dots (QDs) into a straight line along which photonic signals can be transmitted by optically near-field effects was developed. ZnO QDs were bound electrostatically to DNA to form a one-dimensional QD chain. The photoluminescence intensity under parallel polarization excitation along the QDs chain was much greater than under perpendicular polarisation excitation, indicating an efficient signal transmission along the QD chain. As optical near-field energy can transmit through the resonant energy level, nanophotonic signal transmission devices have a number of potential applications, such as wavelength division multiplexing using QDs of different sizes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009 年度	1,330,000	399,000	1,729,000
総計	2,530,000	759,000	3,289,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用光学・量子光工学

キーワード：近接場光、DNA、量子ドット

1. 研究開始当初の背景

現在の情報基盤技術を支えるシリコンデバイスには限界に達している。これは、20nm 以下に達しようとする微細化プロセスの技術的限界、微細化により情報となる電子を配線内に閉じ込めることができないために生じる発熱等の原理的限界に起因する。さらに

は、集積化されたデバイスを繋ぐ配線実装における設計上の制約によりデバイス機能の発展が困難となっている。

2. 研究の目的

本研究の目標は、ナノ領域において特有な「近接場光エネルギー移動と散逸」を活用す

ることで、上記問題を解決することである。本提案課題では、自律的信号伝送可能なナノ寸法光配線（ナノ光トランスミッター）を実現することを目的とする。具体的には、粒径制御された量子ドット（QD）間での共鳴的エネルギー移動を利用することで、従来の干渉に基づく光導波路では到底実現することが不可能であった高集積・超低消費電力ナノ光トランスミッターの開発を行う。

3. 研究の方法

ナノ光トランスミッターを実現するためには、エネルギー伝送部のQDと出力端QDとの寸法比および間隔制御が重要となる。まず、ZnO QDの寸法制御を行うため、ゾル・ゲル法による合成後、再沈殿法などを用いた粒子径分画法を用いて、粒子径分布10%以内のQDを合成した。次に、QDの間隔制御された一次元配列を行うために、DNAとの静電結合を利用した。DNAは4種の残基から構成される高分子で、2重らせんを形成しており、剛直性の高い高分子である。この剛直アニオン性高分子としてのDNAに着目し、その束（バンドル）にZnO QDを固定した。QDの固定には、静電相互作用を利用し、粒子同士の間隔は、保護剤の鎖長によって決定され、オングストロームレベルで制御が可能である。ゾル・ゲル法により作製したQDは負に帯電しているため、表面にカチオン性修飾基をつける必要がある。従って、どのようなpH領域でも対イオンを電離しており、カチオン性を示す4級アンモニウム基を選択した。

伝送路末端部には、光取出のため、大きさの異なるQDを固定する必要がある。具体的な方法として、3'末端から消化する酵素を用いて2本鎖DNAの一方を消化し、それを合成により埋め戻す時にビオチンを入れ、そこにアビジン修飾QDを結合させるという、生化学的な手法を開発する。

4. 研究成果

超長スパン化の為にQD内の光学禁制準位の間での近接場光エネルギー移動を用いる方法を考案した。従来の光電子相互作用では光学許容準位を利用するのみであり、許容準位からの光放射寿命が短い為に伝送スパンは数100nm程度である。しかし近接場光相互作用の場合、近接場光の空間局在性により光学禁制準位が使え、その光放射寿命が非常に長いので伝送スパンが従来の1万倍向上することを世界で初めて見出し、数値計算によりmm程度の伝送距離を検証した。さらに、相互作用に引き続く緩和現象により伝送路出力端でのインピーダンス整合が実現する可能性を見出し、数値計算によりそれを確認した。

ナノ寸法ビーム幅を得る為に室温で良好

な発光特性を有するZnOのQDをゾルゲル法により作製した。光電子工学で従来使われているトップダウン的作成技術ではQDを直線配列することは不可能なので、DNAに沿ってQDを固定する方法を開発した。その結果QD（直径5nm）をDNA全長（16.4 μ m）にわたり等間隔（1.2nm程度）で配列することに世界で初めて成功し、それを透過電子顕微鏡で確認した。さらにこの列の偏光特性を測定し、QD列に沿う光伝送を確認した。

DNA末端へのZnO QD固定には、アビジン-ビオチン間で働く疎水性相互作用による結合を利用する。ZnO QDにアビジンを修飾した後、DNA末端に修飾されたビオチンと反応させる事でZnO QDがDNA末端に固定される。アビジンを修飾したZnO QDに蛍光色素付ビオチンを結合させ、光学顕微鏡・蛍光顕微鏡（水銀ランプ励起）で観測した結果から、ZnO QDとアビジンが結合できており、ZnO QDがビオチンと結合可能であることを確認した。

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1件）

T. Yatsui, Y. Ryu, T. Morishima, W. Nomura, T. Kawazoe, T. Yonezawa, M. Washizu, H. Fujita, and M. Ohtsu, Self-assembly method of linearly aligning ZnO quantum dots for a nanophotonic signal transmission device, Appl. Phys. Lett., 査読有, Vol.96, No.13, 2010, pp.133106 1-3.

〔学会発表〕（計11件、うち招待講演5件）

① T. Yatsui and M. Ohtsu "Progress in developing nano-scale photonic devices driven by an optical near-field," Joint Workshop on Frontier Photonics and Electronics, 4-5 March, 2010, University of New South Wales, Sydney, Australia 【招待講演】

② T. Yatsui, "Nanophotonic Fabrication and Operation," Finland-Japan Workshop on Nanophotonics and Related Technologies, 1-2 July, 2009, VTT Micronova, Tietotie 3, Espoo, Finland 【招待講演】

③ T. Yatsui, "Nanophotonic Fabrication and Operation," Sweden-Japan Workshop on Nanophotonics and Related Technologies, 29-30 June, 2009, Acreo, Stockholm, Sweden 【招待講演】

④ T. Yatsui, "Nanophotonic fabrication and operation," Multifunctional Nanoscale Materials for the 21st Century, 6-7 March, 2009, Argonne National Laboratory, IL, USA 【招待講演】

⑤ T. Yatsui, "Nanophotonic operation and

fabrication driven by optical near fields,” Australia Japan Nanophotonics Workshop, 9-10 December, 2008, Canberra, ACT Australia 【招待講演】

⑥森島 哲、劉 洋、野村 航、八井 崇、川添 忠、成瀬 誠、米澤 徹、鷺津正夫、藤田博之、大津元一、“ナノフォトニックデバイスのための ZnO 量子ドットへのアビジン修飾”、第 57 回春季応用物理学関係連合講演会、2009 年 3 月 18 日、東海大学、発表番号:18a-P4-15

⑦劉 洋、森島 哲、八井 崇、大津元一、“近接場光による ZnO 量子ドットの寸法制御”、第 57 回春季応用物理学関係連合講演会、2009 年 3 月 18 日、東海大学、発表番号:18a-P4-16

⑧ T. Yatsui, Y. Ryu, T. Morishima, W. Nomura, T. Yonezawa, M. Washizu, H. Fujita, and M. Ohtsu, “Self-Organized Nanophotonic Signal Transmission Device,” ISQNN 2009, Nov. 11, 2009, Tokyo, Japan, p. 12 (Paper Number Web-6)

⑨劉洋、森島哲、八井 崇、野村航、米澤徹、鷺津正夫、藤田博之、大津元一、“近接場光相互作用を用いた超長スパンのナノ寸法伝送路の開発”、システム・情報部門 学術講演会 2009 (SSI2009)、2009 年 11 月 26 日、東京工業大学、発表番号:3B5-7

⑩森島 哲、劉 洋、野村 航、八井 崇、米澤 徹、鷺津正夫、藤田博之、大津元一、「ナノフォトニックデバイスのための DNA 結合 ZnO 量子ドット列の作製」、第 70 回秋季応用物理学学会学術講演会、2009 年 9 月 8 日、富山大学、発表番号:8p-C-6、p. 942

⑪劉 洋、森島 哲、八井 崇、米澤 徹、鷺津正夫、藤田博之、大津元一、“光学禁制準位を用いた近接場光ナノドットカップラーの開発”、第 56 回春季応用物理学関係連合講演会、2009 年 3 月 31 日、筑波大学、発表番号:31a-H-8、p. 1074

【図書】(計 3 件)

①八井 崇、“Chapter 4 ナノフォトニクスのための材料と加工”、pp. 87-126、先端光技術入門-ナノフォトニクスに挑戦しよう-(先端光技術シリーズ 3)、朝倉書店、2009 年 4 月

② T. Yatsui, W. Nomura, K. Hirata, Y. Tabata, and M. Ohtsu, “Nanofabrications by self-organization and other related technologies,” pp. 35-67, Nanophotonics and Nanofabrication, M. Ohtsu (ed.), Wiley-VCH, Weinheim, Germany, Mar 2009, (259 pages)

③ T. Yatsui, “Section 3 Nanophotonic device,” Principles of Nanophotonics, pp. 109-138, and T. Yatsui, “Section 4 Nanophotonic fabrication,” Principles of Nanophotonics, pp. 139-164, M. Ohtsu ed.

(Taylor & Francis), June 2008

【産業財産権】

○出願状況 (計 4 件)

①

名称:ゾルゲル法による金属酸化物の製造方法

発明者:大津元一、八井崇、劉洋

権利者:東京大学

種類:特許

番号:特願 2010-037690

出願年月日:2010 年 2 月 23 日

国内外の別:国内

②

名称:化合物半導体微粒子の製造方法

発明者:大津元一、八井 崇、劉 洋、鷺津 正

夫、米澤 徹、藤田 博之

権利者:科学技術振興機構

種類:特許

番号:特願 2009-1186979

出願年月日:2009 年 5 月 1 日

国内外の別:国内

③

名称:量子ドットを用いた光遅延器

発明者:大津元一、八井 崇、劉洋

権利者:科学技術振興機構

種類:特許

番号:特願 2009-077929

出願年月日:2009 年 3 月 26 日

国内外の別:国内

④

名称:光パルス発生素子

発明者:大津元一、八井 崇

権利者:科学技術振興機構

種類:特許

番号:特願 2008-191216

出願年月日:2008 年 7 月 24 日

国内外の別:国内

○取得状況 (計 0 件)

【その他】

ホームページ等

<http://www.lux.t.u-tokyo.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八井 崇 (YATSUI TAKASHI)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号:80505248