

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2010

課題番号：20246020

研究課題名(和文) 近接場光相互作用を用いたナノ光信号処理システムの実証的研究

研究課題名(英文) Nanophotonic signal processing system based on optical near-field interactions

研究代表者

大津 元一(OHTSU MOTOICHI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：70114858

研究成果の概要(和文)：

本研究は、空間中を伝搬する光(伝搬光)を基礎とした従来の光システムの限界を克服した、ナノ寸法での光信号処理システムの実現に向け、ナノ寸法での物質間の相互作用(近接場光相互作用)を介した光励起エネルギー移動や相互作用の階層性を用いたシステム機能を開発するとともに、酸化亜鉛ナノロッドや量子ドットなどを用いた実験により原理実証を行った。

研究成果の概要(英文)：

In order to break through the limitations of conventional optical signal processing systems based on propagating light, we have developed novel functionalities by exploiting optical near-field interactions occurring at the nanometer scale, particularly by their enabling optical energy transfer and their scale-dependent, hierarchical properties. Experimental verifications have successfully been demonstrated by using ZnO nanorods, semiconductor quantum dots, and so forth.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	15,100,000	4,530,000	19,630,000
2009年度	13,100,000	3,930,000	17,030,000
2010年度	10,500,000	3,150,000	13,650,000
年度			
年度			
総計	38,700,000	11,610,000	50,310,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 ・ 応用光学・量子光工学

キーワード：ナノフォトニクス・近接場光・光信号処理

## 1. 研究開始当初の背景

研究開発当初もそして現在も、ナノ構造を含む光デバイスの研究は世界的に極めて活発化である。しかしながら、ほとんどの研究は、バルク物質内の多重光散乱を波動光学の枠組み内で利用したものであるため、光デバイス全体としての寸法は原理的に波長程度以下にはならないという問題を抱えていた。そのために既存の光技術に対する差異化が見出し難いという困難があった。これに

対し、近接場光相互作用を用いるシステムは回折限界に支配されないため初めて波長寸法以下への機能集積が可能になる。

## 2. 研究の目的

研究代表者らは、近接場光を用いたナノ寸法の光集積回路を世界に先駆けて提案し、これまでにその基礎理論、デバイス原理、光加工技術、システム構成技術などの各種基盤技術を研究してきた。本研究はナノフォトニクス

ク技術の急速な進歩と、システムの基本検討を統合し、回折限界以下のナノスケールに機能を詰め込んだ光集積システムについて、ナノフォトニックデバイスやシステムの理論限界・技術限界を、基礎実験データや近接場光相互作用理論などに基づいてより精緻に検討するとともに、半導体量子ドットやナノロッドなどの具体的材料を用いて実験的にシステム機能を実証することを目指すものである。

### 3. 研究の方法

本研究は、近接場光相互作用を用いたナノ光信号処理システムの実現に向け、近接場光相互作用の物理的な特徴をとらえながら、近接場光システム構築に向けた構造的課題を着実に押さえ、かつ、社会の要求に対応した具体的なアプリケーションと関連づけ、しかも実験的な実証を伴いながら展開することに特徴がある。そこで上記2の目的を踏まえ、下記3項に研究実施内容を整理し、理論・システム検討と、その実証に必要な材料作製や評価分析等の実験を適宜連動させるという研究方法をとった。

(1) 近接場光相互作用に基づくナノ構造生成の理論限界・技術限界の検討

(2) 近接場光相互作用によるエネルギー移動と相互作用の階層性を用いたシステム機能の構築

(3) 近接場光ナノシステムにおけるインターコネクション技術の基盤構築

### 4. 研究成果

(1) 近接場光相互作用に基づくナノ構造生成の理論限界・技術限界の検討

①近接場光相互作用を用いたナノ構造の生成技術として、酸化亜鉛ナノロッドの近傍に生成される近接場光を介した構造生成技術を開発した。

②近接場光相互作用を用いたナノ構造の生成技術として、伝搬光を照射しながら物質の堆積過程を促進させることで、構造体に付随して発生する近接場光の特徴を反映させた形状を生成する技術を検討した。具体的には、有機太陽電池における電極作製過程に上記の技術を適応し、光学特性や光電変換特性を異ならせることが可能であることを実証した。

(2) 近接場光相互作用によるエネルギー移動と相互作用の階層性を用いたシステム機能の構築

①上記(1)等の結果として得られるナノ構造を、システムとして用いる際の重要な原理である近接場光相互作用の階層性について、金属ナノ構造の幾何学的形状制御や配列制御を用いた光学応答の変調方式等を開発し

た。  
②近接場光相互作用によるエネルギー移動を用いた新たなシステム機能として、量子ドット間のエネルギー移動を組合せたパルス生成システムを提案し、シミュレーションにより動作原理を確認した。

(3) ナノフォトニックシステムにおけるインターコネクションの検討

上記(2)で検討したシステム機能を含め、ナノ領域の光システムに不可欠なインターコネクション技術を検討した。具体的には、半導体ナノ微粒子配列間の近接場光相互作用に基づくインターコネクション方式について、ナノ微粒子配列全体の幾何構造が信号輸送の伝搬性能に關与することをシミュレーションにより検討するとともに、半導体量子ドットを用いた実験により実証した。

### 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8件)

- ①S. Yamazaki, T. Yatsui, and M. Ohtsu, Room-Temperature Growth of UV-Emitting GaN with a Hexagonal Crystal-Structure Using Photochemical Vapor Deposition, Appl. Phys. Express, 査読有, Vol. 1, 2008, 061102 1-3
- ②K. Kitamura, T. Yatsui, and M. Ohtsu, Optical and Structural Properties of ZnO Nanorods Grown on Polyimide films, Appl. Phys. Express, 査読有, Vol. 1, 2008, pp. 081202 1-3
- ③K. Kitamura, T. Yatsui, and M. Ohtsu, Observation of quantum confinement in ZnO nanorods fabricated using a two-temperature growth method, Appl. Phys. B- Lasers and Optics, 査読有, Vol. 97, 2009, pp. 825-828
- ④K. Nishibayashi, T. Kawazoe, M. Ohtsu, K. Akahane, and N. Yamamoto, Observation of energy transfer between InAs quantum dots by pump-and-probe micro-photoluminescence measurement, J. of Luminescence, 査読有, Vol. 129, 2009, pp. 1912-1915
- ⑤T. 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, 2010, pp. 133106 1-3
- ⑥S. Yukutake, T. Kawazoe, T. Yatsui, W.

Nomura, K. Kitamura, and M. Ohtsu, Selective photocurrent generation in the transparent wavelength range of a semiconductor photovoltaic device using a phonon-assisted optical near-field process, Appl. Phys. B- Lasers and Optics, 査読有, Vol. 99, 2010, pp. 415-422

⑦ W. Nomura, T. Yatsui, T. Kawazoe, M. Naruse, and M. Ohtsu, Structural dependency of optical excitation transfer via optical near-field interactions between semiconductor quantum dots, Appl. Phys. B- Lasers and Optics, 査読有, Vol. 100, 2010, pp. 181-187

⑧ M. Naruse, H. Hori, K. Kobayashi, T. Kawazoe, and M. Ohtsu, Optical pulsation mechanism based on optical near-field interactions, Appl. Phys. B- Lasers and Optics, 査読有, Vol. 102, 2011, pp. 717-723

[学会発表] (計2件)

① K. Kitamura, T. Yatsui, and M. Ohtsu, Radial Quantum Confinement of ZnO Ultrafine Nanorods Observed Using Polarization Spectroscopy, Materials Research Society, 2008 Fall Meeting, 2008/12/4, Boston

② M. Naruse, N. Tate, and M. Ohtsu, System Architectures for Nanophotonics for Information and Communications Applications, The 8th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO Pacific Rim 2009), 2009/9/2, Shanghai (Invited)

[図書] (計2件)

① M. Ohtsu, K. Kobayashi, T. Kawazoe, T. Yatsui, and M. Naruse, Principles of Nanophotonics, Taylor and Francis, 2008, 248 pages

② 大津元一、成瀬 誠、八井 崇, 先端光技術入門-ナノフォトニクスに挑戦しよう-, 朝倉書店, 2009, 224頁

[その他]

ホームページ

<http://uuu.t.u-tokyo.ac.jp/>

<http://www.npc.t.u-tokyo.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大津 元一 (OHTSU MOTOICHI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号 : 70114858

### (2) 研究分担者

成瀬 誠 (NARUSE MAKOTO)

独立行政法人情報通信研究機構・第一研究部門・主任研究員

研究者番号 : 20323529