

大津局在フォトンプロジェクトの研究成果

目次

1. 理論解析	
1-1 近接場光の理論モデルの提案とナノ物質系のダイナミクス予測	2
1-2 ナノ光素子の原理提案と理論的解析	4
1-3 近接場光による単原子・分子操作の理論的考察	6
2. ナノフォトニクス	
2-1 ナノ光スイッチ動作原理の構築	7
2-2 ナノフォトニック導波路・集光器の開発	9
2-3 ナノフォトニックデバイス作製法の開発	11
2-4 ナノフォトニックデバイス用の材料探索	13
2-5 近接場光発生・検出用デバイスの開発	14
3. アトムフォトニクス	
3-1 原子操作用冷却原子源の開発	16
3-2 原子の偏向・誘導の研究	17
3-3 原子の捕獲・リリースの研究	18

1. 理論解析

1-1 近接場光の理論モデルの提案とナノ物質系のダイナミクス予測

研究成果の概要

射影演算子法を用い量子論的な枠組みの下、微視的な物質系に働く有効相互作用という形で近接場光システムを定式化し、有限の相互作用範囲を持つ湯川関数で表される相互作用を導いた (図1)。また、この相互作用と物理的な直感とが合致するモデルとして局在光子の自由度を取り入れた理論モデルを提案した (図2)。これら2つの理論モデルに基づき、伝搬光を用いた場合とは異なる近接場光特有の新しいメカニズムやダイナミクスを予測した (図3)。

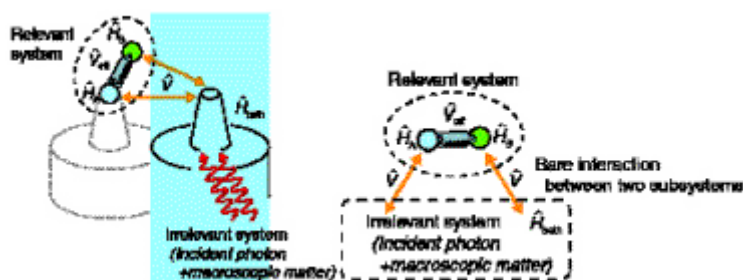


図1 光近接場システムの概念的な2分割例。その1つは興味の対象である副系であり、もう1つはその効果(自由度)が繰り込まれる副系である。左図ではプローブ先端と試料、右図では着目する量子ドット系が破線で囲まれた興味ある対象の副系である。繰り込まれた効果が興味の対象である副系の有効相互作用を与え、湯川関数で記述できる。

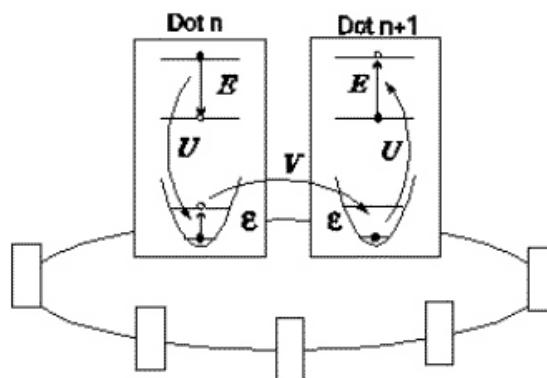


図2 近接場光の特徴を捉えた局在光子モデルの概念図。2準位系で表されるN個の量子ドットが入射光の波長よりはるかに短い間隔で1次元的に配列されている。各量子ドットはサイト番号nで識別され、各サイト内で局在光子と相互作用する(Uで表される)。局在光子は最近接量子ドットに相互作用Vで移動できる。

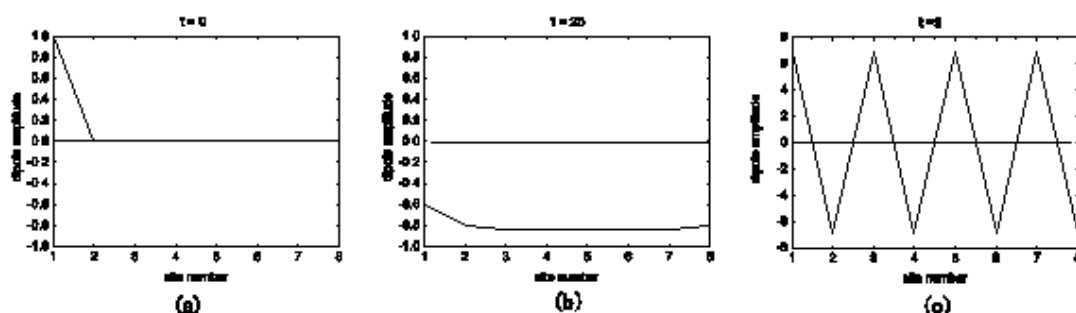


図3 サイト数が8の場合の電気双極子の時間発展。横軸がサイト番号、縦軸が双極子モーメントを表す。(a)時刻0の状態、(b)全ての双極子振動が揃う"双極子秩序化状態"、(c)隣り合う双極子が互いに逆方向に振動する伝搬光では励起できない状態。時刻0に近接場光により局所的に各サイトの励起を操作すると、任意の双極子分布を(b)の状態に変換

成果展開可能なシーズ、用途等 1) 近接場シミュレータ

特許出願 なし

報告書他

- 1) K. Kobayashi and M. Ohtsu, J. Microsc. 194, 249 (1999).
- 2) K. Kobayashi, S. Sangu, H. Ito, and M. Ohtsu, Phys. Rev. A 63, 013806 (2001).
- 3) S. Sangu, K. Kobayashi, and M. Ohtsu, J. Microsc. 202, 279 (2001).
- 4) A. Shojiguchi, K. Kobayashi, S. Sangu, K. Kitahara, and M. Ohtsu, Nonlin. Opt. 29, 563 (2002).
- 5) K. Kobayashi, S. Sangu, and M. Ohtsu, Progress in Nano-Electro-Optics I (Springer-Verlag, Berlin, 2002) pp. 119-157.
- 6) S. Sangu, K. Kobayashi, T. Kawazoe, A. Shojiguchi, and M. Ohtsu, J. Appl. Phys. 93, 2937 (2003).
- 7) K. Kobayashi, S. Sangu, A. Shojiguchi, T. Kawazoe, K. Kitahara, and M. Ohtsu, J. Microsc 210, 247 (2003).
- 8) A. Shojiguchi, K. Kobayashi, S. Sangu, K. Kitahara, and M. Ohtsu, J. Phys. Soc. Jpn. 72, 2984 (2003).
- 9) S. Sangu, K. Kobayashi, T. Kawazoe, A. Shojiguchi, and M. Ohtsu, Trans. MRS Jpn. (2003) in press.
- 10) A. Shojiguchi, K. Kobayashi, S. Sangu, K. Kitahara, and M. Ohtsu, Trans. MRS Jpn. (2003) in press.
- 11) M. Ohtsu and K. Kobayashi, 近接場光の基礎 (オーム社, 東京, 2003).
- 12) M. Ohtsu and K. Kobayashi, Optical Near Fields (Springer-Verlag, Heidelberg, 2003).

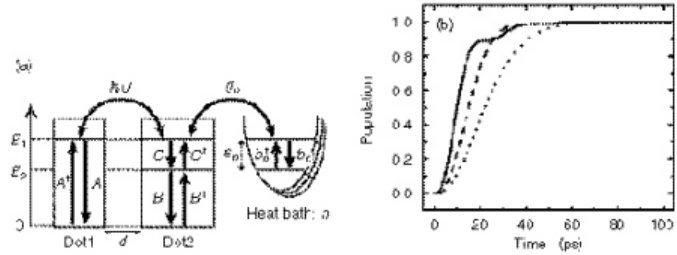
〔研究者名〕 小林 潔、三宮 俊、小路口 暁

1-2 ナノ光素子の原理提案と理論的解析

研究成果の概要

双極子禁制準位を含む離散準位間の励起エネルギー移動やコヒーレンス移動など近接場光特有の現象に基づくナノメートル寸法の光素子の新しい基本動作原理を提案しその動作解析を行い、実験結果ともよい一致を得た（図1、図2）。

図1 (a)近接場光で結合した2つの量子ドットとフォノン熱浴との結合モデル、(b)量子ドット-2のE2準位を励起子が占有する確率の時間発展。実線、破線、点線で示された曲線は0 Kでドット間隔がそれぞれ5 nm、10 nm、15 nm の場合について解析解から得られた結果である。



(c)我々が提案しているナノ光スイッチのオフオン動作に対応する理論結果（実線）と実験データ（黒丸）。理論値は、量子ドット-2のE2準位にパルス光で励起子を生成した後の定常状態から、量子ドット-1のE1準位の励起子占有確率が時間的にどのように変化するかを示している。

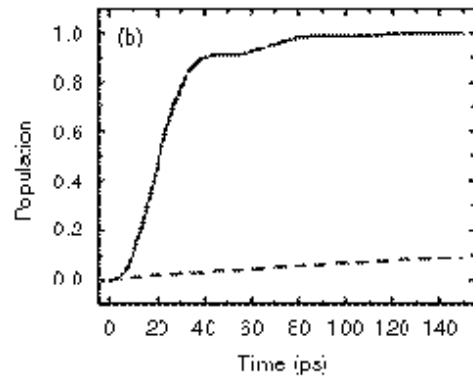
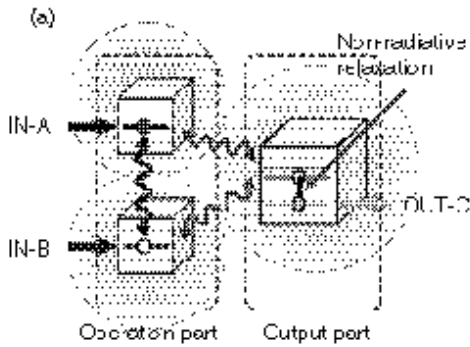
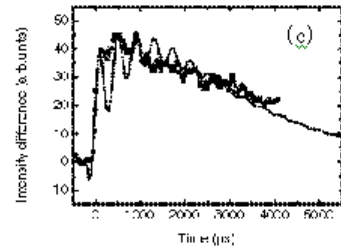


図2 (a)3つの量子ドットを用いたAND 演算素子の概念図。量子ドット A、B は同一サイズで入力ポートに対応する。量子ドット C には励起子のフォノン緩和を含む副準位があり、この副準位の量子ドット A、B との光近接場相互作用に依存して出力が得られる。(b)AND 演算のシミュレーション結果。実線は量子ドット A、B 両方に励起子が生成される、すなわち両入力ポートに信号が入った場合の量子ドット C からの出力信号を表す。破線は量子ドット A のみに信号が入力された場合の量子ドット C からの出力信号を表す。

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) ナノ光素子、ナノ光集積回路

特許出願

- 1) 三宮 俊, 大津 元一: 「量子ドットによる演算回路」(特願 2003-291660 号)

報告書他

- 1) K. Kobayashi and M. Ohtsu, *J. Microsc.* 194, 249 (1999).
- 2) T. Kawazoe, K. Kobayashi, J. Lim, Y. Narita, and M. Ohtsu, *Phys. Rev. Lett.* 88, 067404 (2002).
- 3) M. Ohtsu, K. Kobayashi, T. Kawazoe, S. Sangu, and T. Yatsui, *IEEE J. Selected Topics Quant. Electron.* 8, 839 (2002).
- 4) S. Sangu, K. Kobayashi, T. Kawazoe, A. Shojiguchi, and M. Ohtsu, *J. Appl. Phys.* 93, 2937 (2003).
- 5) T. Kawazoe, K. Kobayashi, S. Sangu, and M. Ohtsu, *Appl. Phys. Lett.* 82, 2957 (2003).
- 6) A. Shojiguchi, K. Kobayashi, S. Sangu, K. Kitahara, and M. Ohtsu, *J. Phys. Soc. Jpn.* 72, 2984 (2003).
- 7) K. Kobayashi, S. Sangu, A. Shojiguchi, T. Kawazoe, K. Kitahara, and M. Ohtsu, *J. Microsc.* 210, 247 (2003).
- 8) S. Sangu, K. Kobayashi, A. Shojiguchi, and M. Ohtsu, submitted to *Phys. Rev. B* (2003).
- 9) M. Ohtsu and K. Kobayashi, *近接場光の基礎* (オーム社, 東京, 2003).
- 10) M. Ohtsu and K. Kobayashi, *Optical Near Fields* (Springer-Verlag, Heidelberg, 2003).

〔研究者名〕 小林 潔、三宮 俊、小路口 暁

1-3 近接場光による単原子・分子操作の理論的考察

研究成果の概要

近接場光を用いた原子・分子の操作法の基礎的な解析を行い、プローブチップに単一原子が偏向あるいは捕獲できる可能性を指摘した(図1)。また、平面の効果により原子のスピン偏極度を高めることができることを数値的に示した。さらに、実験データとの比較から、(電子準位非共鳴)近接場光による気体分子の解離過程にプローブ先端の多重フォノンが重要な役割をすることを示した。

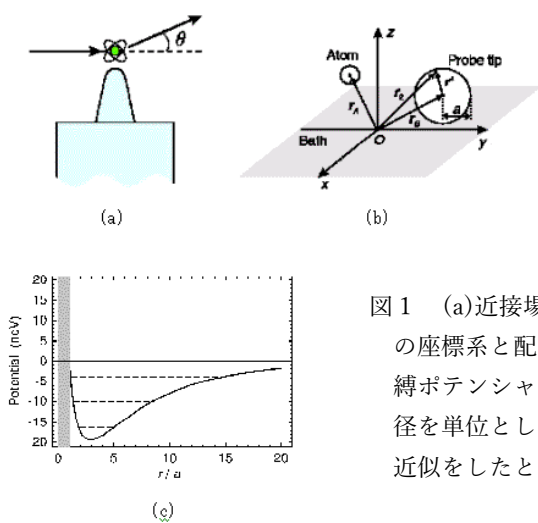


図1 (a)近接場光プローブによる単原子操作の概念図、(b)モデルの座標系と配置図、(c)Rb 原子とプローブシステムに生ずる準束縛ポテンシャル。縦軸はポテンシャルの大きさ、横軸はプローブ径を単位とした原子-プローブ間距離を表す。破線は調和振動子近似をしたときの振動準位を示す。

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 新素材加工、原子光学

特許出願 なし

報告書他

- 1) K. Kobayashi, S. Sangu, H. Ito, and M. Ohtsu, Near-Field Optics: Principles and Applications (World Scientific, Singapore, 2000) pp. 82-88.
- 2) M. Ohtsu, K. Kobayashi, H. Ito, and G. H. Lee, Proc. IEEE, 88, 1499 (2000).
- 3) K. Kobayashi, S. Sangu, H. Ito, and M. Ohtsu, Phys. Rev. A 63, 013806 (2001).
- 4) A. Shojiguchi, K. Kitahara, K. Kobayashi, and M. Ohtsu, J. Microsc. 210, 301 (2003).
- 5) K. Kobayashi, T. Kawazoe, and M. Ohtsu, submitted to IEEE Trans. Nanotechnology (2003).
- 6) T. Kawazoe, K. Kobayashi, and M. Ohtsu, submitted to Phys. Rev. Lett. (2003).

〔研究者名〕 小林 潔、三宮 俊、小路口 暁

2. ナノフォトニクス

2-1 ナノ光スイッチ動作原理の構築

研究成果の概要

ナノフォトニックデバイスの代表例として近接場光を用いたナノ光スイッチの動作原理を構築し、実際にスイッチング動作の検証実験を行った（図1）。1個のデバイスは光近接場で結合した複数の量子ドットで構成されており、1つのデバイス寸法は100nm以下である。量子ドットのサイズ比が $1:\sqrt{2}:2$ である場合、これら3個量子ドットの量子閉じ込め準位が共鳴し、エネルギー移動が起きると共にその制御が可能になる。図2に実際に動作させた時のON/OFFの状態を示す。我々が実験的に実現したナノ光スイッチのサイズは20nm以下であり、動作速度は100psであった。この光デバイスのサイズ・動作速度・動作に必要なエネルギーを考慮した性能比は従来のどの光スイッチよりも10-100倍ほど優れていることが分かった。また、高集積時における熱の問題も既存の電子デバイスと比べ5桁以上も発熱が少なく、高集積化が可能であることが分かった。

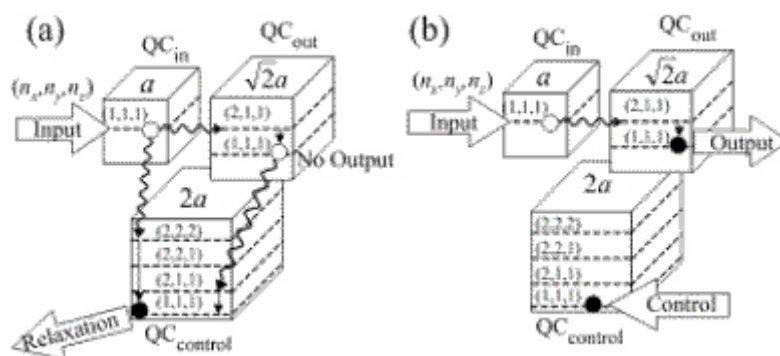


図1 3個の量子ドットを用いたナノ光スイッチの動作原理。
(a)ON状態、(b)OFF状態。

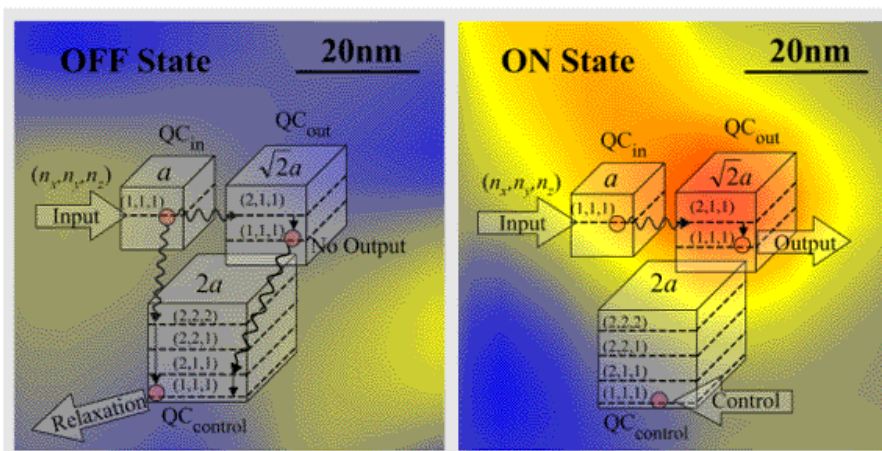


図2 3個の量子ドットを用いたナノ光スイッチの動作の実現

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 光通信、光コンピュータ、光情報処理

特許出願

- 1) 川添 忠, 大津 元一: 「変換素子及び変換方法」(特願 2001-297735 号)
- 2) 川添 忠, 大津 元一: 「量子ドットによる伝送路」(特願 2002-322913 号)

報告書他

- 1) Tadashi Kawazoe, Kiyoshi Kobayashi, Jungshik Lim, Yoshihito Narita and Motoichi Ohtsu, "Direct Observation of Optically-Forbidden Energy Transfer between CuCl Quantum Cubes via Optical Near-Field Spectroscopy" Phys. Rev. Lett. 88, 6, 067404 (2002).
- 2) T. Kawazoe, K. Kobayashi, S. Sangu, M. Ohtsu, Demonstration of a Nanophotonic switching operation by optical near-field energy transfer. Appl. Phys. Lett. 82(18), 2957-2959 (2003).

〔研究者名〕 川添 忠、小林 潔、三宮 俊

2-2 ナノフォトニック導波路・集光器の開発

研究成果の概要

近接場光によって動作するナノフォトニックスイッチを外部の光デバイスにより励起させるためには、伝搬光を近接場光に変換しこれをナノメートルサイズで導波させるナノ光導波路が必要となる。ナノメートルサイズの光導波路としては、シリコンウェッジ構造を作製し、このエッジの金属細線部にプラズモン・ポラリトンを励起するナノ光導波路を開発した(図1(a)-(c))。この導波路における近接場光強度分布を観測した結果、波長830nmを用いて、ビーム径150nm・伝搬長2.5 μm を得た(図1(d))。

また、このようなナノ光導波路をより高効率で励起するためにフェーズドアレイ型のプラズモン・ポラリトン集光器を開発した。さらに、金属ナノドット列カップラーを作製し、金属細線よりも一桁高いプラズモン・ポラリトンの伝達を確認された(図2(e))。

量子ドット間に起きるエネルギー移動を利用したナノ集光器の実験に成功した。図3に実験結果を示す。直径150nmの領域の光を直径10nm程度に集光することに成功した。

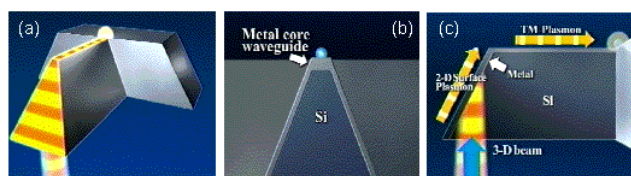


図1 (a)(b)(c)伝搬光・近接場光変換素子の概念図、(d)シリコンウェッジ上における電界強度分布像

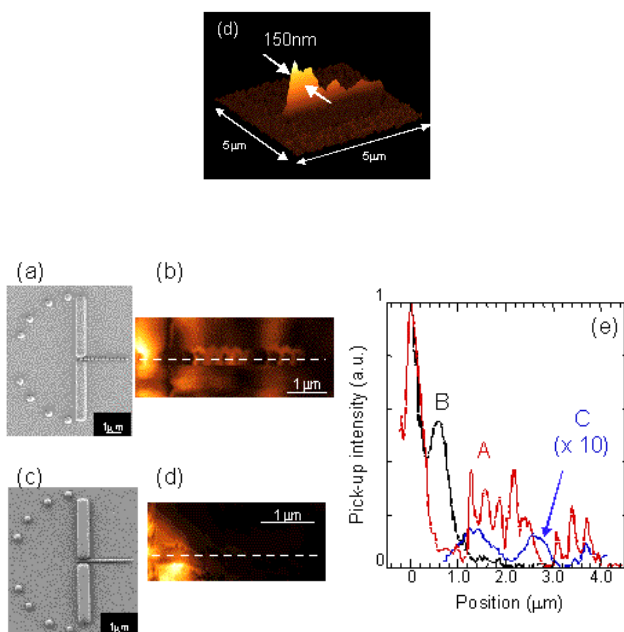


図2

- (a)ナノドットカップラー付きプラズモン・ポラリトン集光器の電子顕微鏡像
- (b) (a)における近接場光強度分布像
- (c)金属コア導波路付きプラズモン・ポラリトン集光器の電子顕微鏡像
- (d) (c)における近接場光強度分布像
- (e)曲線A及びBは図(b)及び(d)の白破線を通る断面図。曲線Cは曲線Bの拡大図

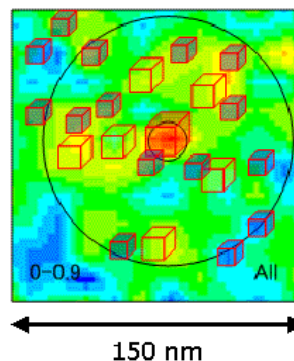


図3 CuCl量子ドットを用いたナノ光集光器。近接場光強度分布、中心付近の赤いスポットが集光点。

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) ナノ光伝送路、フォトニック結晶

特許出願

- 1) 八井 崇, 興梠 元伸, 大津 元一, 吉本讓: 「プローブ及びその製造方法」(特願 2002-084161 号)
- 2) 川添 忠, 大津 元一: 「量子ドットによる伝送路」(特願 2002-322913 号)

報告書他

- 1) T. Yatsui, M. Kouroggi, and M. Ohtsu, "Plasmon waveguide for optical far/near-field conversion", Appl. Phys. Lett., vol.79, pp.4583-4585 (2001).

〔研究者名〕 八井 崇、川添 忠

2-3 ナノフォトニックデバイス作製法の開発

研究成果の概要

ナノフォトニックデバイスを実現するためにはナノメートルサイズのドットをナノメートルサイズの精度でサイズや間隔を制御して堆積させる必要がある。さらには、デバイスとしての機能を発現させるためには、異種の金属、半導体を隣接して堆積する必要がある。このような要求を満たすナノ微細加工技術として、光化学気相堆積法（光 CVD）法に近接場光学技術を用いた近接場光 CVD 法を開発した。これにより、光の波長より遥かに小さなサイズのドットを高精度に配置し、ナノメートルサイズのアルミニウム（図 1 (a)）や亜鉛（図 1 (b)）等の金属ドット、さらにはループ等（図 1 (c)）の任意形状、さらには、原料ガスを変えることで異種ドットの堆積（図 1 (d)）に成功した。

さらに、近接場光 CVD 法を用いたナノ微粒子堆積におけるサイズのより高い制御性を実現するために、照射スポット径によらず堆積用光源の光エネルギーに依存した堆積物のサイズ制御が可能であることを示した（図 2）。

また、光近接場の持つ特異な性質を光化学反応に応用し堆積のための材料が吸収しない光すなわち非共鳴光を用いた光化学気相堆積に成功した（図 3）。

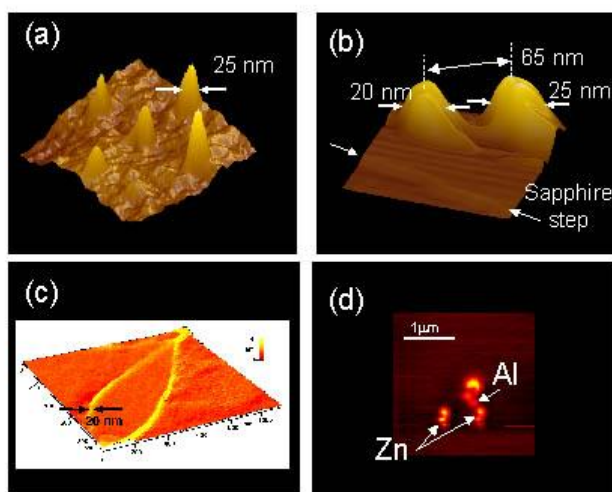


図 1 近接場光 CVD 法によって作製した (a)Al ナノドット、(b)Zn ナノドット、(c) Zn 細線、(d) 同一基板上に作製された Al ナノドットと Zn ナノドット、の AFM 顕微鏡像。

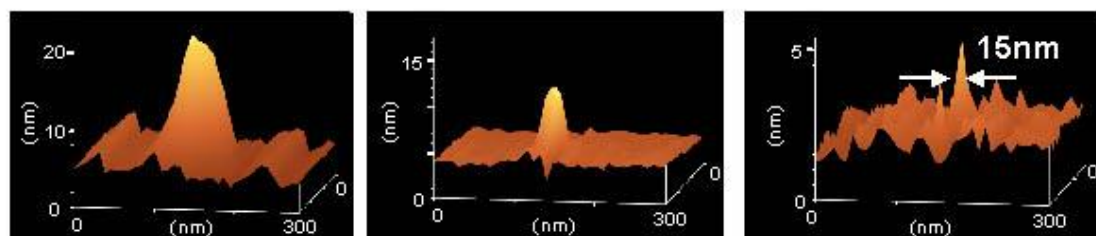


図 2 近接場光 CVD において照射光子エネルギーがそれぞれ(a)3.81eV、(b)3.81eV と 2.54eV 同時、(c)3.81eV と 1.96eV 同時、を用いて堆積された亜鉛ドットの形状像

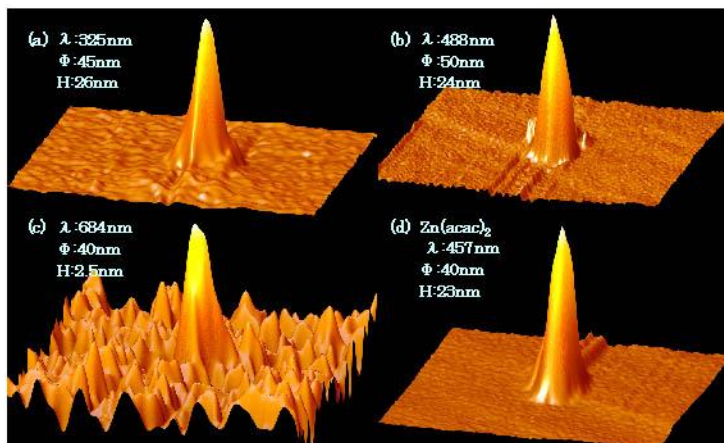


図3 可視光源を用いた近接場光 CVD 法によって作製された Zn ナノドットの AFM 像: 波長 (a)325nm、(b) 488nm、(c) 684 nm。(d) 光に対して不活性(安定な) Zn(acac)₂ を波長 457nm の光源を用いた近接場光により分解し堆積した Zn ナノドット。

成果展開可能なシーズ、用途等 1) フォトリソグラフィー、ナノインプリント

特許出願

- 1) 八井 崇, 大津 元一, 興梠 元伸: 「光化学気相堆積法用プローブ及びその製造方法、並びに光化学気相堆積装置」(特願 2001-169459 号)
- 2) 川添 忠, 興梠 元伸, 野村 航, 大津 元一: 「薄膜の作成方法、並びに微粒子の堆積方法」(特願 2003-070723 号)
- 3) 川添 忠, 大津 元一, 山本 洋: 「パターンニング方法」(特開 2003-13236 号)
- 4) 川添 忠, 大津 元一: 「光化学気相堆積装置及び方法」(特願 2002-273539 号)
- 5) 川添 忠, 八井 崇, 大津 元一: 「ナノデバイスの作製方法及び装置」(特願 2002-299234 号)
- 6) 川添 忠, 大津 元一: 「レジストパターン形成方法、デバイスの作製方法」(特願 2003-024783 号)
- 7) 八井 崇, 興梠 元伸, 大津 元一: 「ナノ細線デバイス及びその作製方法」(特願 2003-378981 号)

報告書他

- 1) T. Kawazoe, Y. Yamamoto, and M. Ohtsu, "Fabrication of nanometric Zn dots by nonresonant near-field optical chemical-vapor deposition", Appl. Phys. Lett., vol.79, pp.1184-1186, (2001).
- 2) T. Yatsui, T. Kawazoe, M. Ueda, Y. Yamamoto, M. Kouroggi, and M. Ohtsu, "Fabrication of nanometric single zinc and zinc oxide dots by the selective photodissociation of adsorption-phase diethylzinc using a nonresonant optical field", Appl. Phys. Lett., vol.81, pp.3651-3653, (2002).

〔研究者名〕 八井 崇、川添 忠、小林 潔、金 太源

2-4 ナノフォトニックデバイス用の材料探索

研究成果の概要

発光素子として有望な材料であるナノ結晶 Si は、従来光化学エッチングやスパッタ法等様々な手法により作製が報告されているがこれらは全て大面積に一様に作製するものであり、これを、我々が実現を目指しているナノフォトニックデバイスに応用する為にはナノメートルサイズの粒径および位置の制御が要求される。

従来の光化学エッチングによるナノ結晶 Si の作製においては光強度、照射時間、および波長等によるサイズ制御法が報告されていたが、我々はさらに、基板として Si ピラミッド構造を用い、さらには偏光制御による光化学エッチングを行うことで、Si ナノドット作製の位置制御を実現した (図1)。 さらに、光 CVD 法により GaN ナノ微結晶の作製が可能であること確認した (図2)。

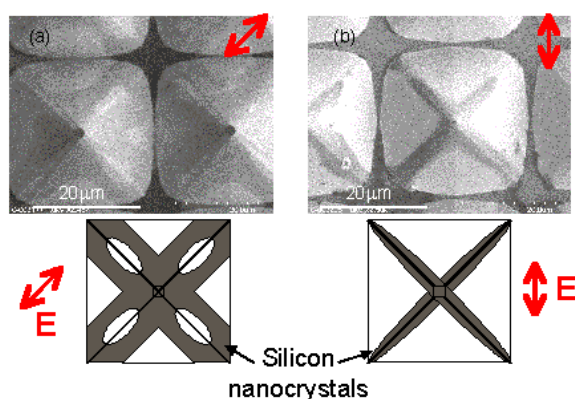


図1 近接場光誘起光化学エッチングによるシリコンナノ結晶の作製

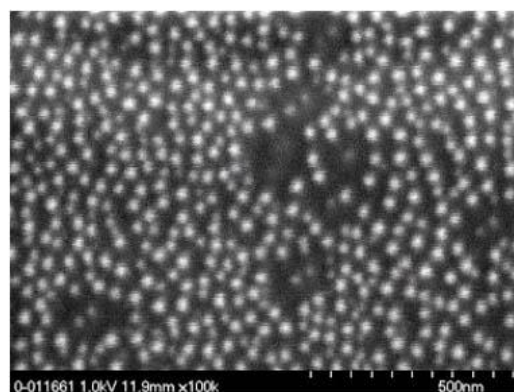


図2 GaNドットの電子顕微鏡像

成果展開可能なシーズ、用途等 1) ディスプレイ

特許出願

1) 八井 崇, 崔 允辰, 興梠 元伸, 大津 元一:「選択的光化学エッチング」(特願 2002-338337 号)

報告書他

1) 八井 崇, 川添 忠, 大津元一: 光近接場を用いたナノフォトニックデバイスの開発とその集積化, 第46回研究集会「量子サイズシリコン系素子-新機能と応用-」、平成14年11月22日、東京農工大学

2) 崔 允辰, 八井 崇, 大津 元一: 偏光制御, 光化学エッチングによる Si ナノドットの位置制御と近接場分光測定, 第50回応用物理学関係連合講演会、平成15年3月27日~30日、神奈川大学

〔研究者名〕 八井 崇, 川添 忠, 金 太源, 李 謹炯, H.N.Aiyer, V.Vitali

2-5 近接場光発生・検出用デバイスの開発

研究成果の概要

ナノメートルサイズのデバイス作製を可能とする高性能な近接場光発生・検出用デバイスの開発を行った。

3次元有限差分時間領域法を用いて近接場プローブ形状の最適化を行い、これを基に突起型シリコンプローブを作製し、プローブ先端のみに光近接場の局在が存在する高効率、高分解能プローブを開発した(図1)。

さらに、紫外用の高効率プローブとしてダイヤモンドプローブの開発や、近接場光 CVD において基板への選択的堆積を可能にするための、ヒータ内蔵型プローブ・フッ素樹脂コートプローブなどの開発を行った。

偏光を利用した光デバイスの実現を目標に、磁性体を利用した近接場プローブによって偏光の制御が可能であることを確認した。図2は作製した磁性体コートファイバーに磁場を印加し、プローブに入力する光を変化させたときの得られる消光比である。最大10以上の消光比を得た。

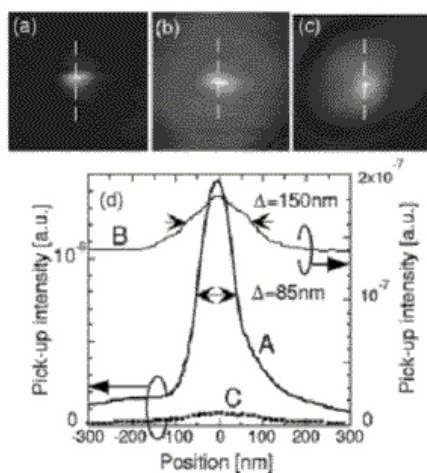


図1 (a)金属コートピラミッド型プローブ($d=20\text{nm}$)、(b)無コートプローブ($d=0\text{nm}$)、(c)3段テーパ型ファイバプローブ(開口径 60nm)における近接場光強度分布像、(d)曲線A、B、Cはそれぞれ(a)、(b)、(c)における白破線上における断面図

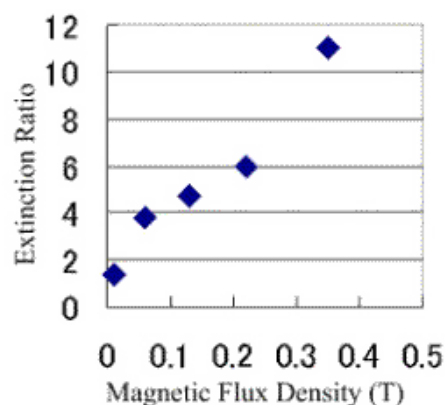


図2 鉄コートファイバプローブの磁気円二色製の消光比

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 原子間力顕微鏡、ナノ光加工、大容量光記録

特許出願

- 1) 八井 崇, 大津 元一, 上田 稔, 興梠 元伸: 「走査型プローブ及びその製造方法」(特開2002-340772号)

- 2) 八井 崇, 興梠 元伸, 川添 忠, 大津 元一: 「プローブ及びその製造方法」(特願 2001-169460 号)
- 3) 川添 忠, 大津 元一, 清水 貴志: 「波長変換素子及び波長変換方法」(特開 2002-303902 号)
- 4) 川添 忠, 大津 元一, アイヤー・エヌ・ヘマントクマル: 「近接場光プローブ及びその製造方法」(特開 2003-14608 号)
- 5) 八井 崇, 興梠 元伸, 大津 元一, 吉本 謙: 「プローブ及びその製造方法」(特願 2002-084161 号)
- 6) 川添 忠, 大津 元一: 「プローブ及びその製造法」(特願 2002-086554 号)
- 7) 川添 忠, 大津 元一: 「光ファイバプローブ並びにプローブ」(特願 2002-202628 号)
- 8) 林 定植, 大津 元一, 八井 崇, 川添 忠: 「光ファイバプローブ並びにカンチレバーチップ」(特願 2002-241841 号)
- 9) 川添 忠, 八井 崇, 大津 元一, 金 太源: 「近接場光プローブ」(特願 2002-303342 号)
- 10) 川添 忠, 大津 元一: 「光プローブ」(特願 2003-024784 号)

報告書他

- 1) T. Yatsui, K. Itsumi, M. Kouroggi, and M. Ohtsu, "A metallized pyramidal silicon probe with extremely high throughput and resolution capability for optical near-field technology", Appl. Phys. Lett., vol.80, pp.2257-2259 (2000).
- 2) J. Lim, T. Kawazoe, T. Yatsui, and M. Ohtsu, "Fabrication of a Ferromagnetic-Coated Fiber Probe with a Double-Layer Structure", IEICE Trans. Electron., vol. E85-C, pp.2077-2080 (2002)

〔研究者名〕 八井 崇、川添 忠、アイヤー・エヌ・ヘマントクマル、金 太源

3. アトムフォトリクス

3-1 原子操作用冷却原子源の開発

研究成果の概要

漏斗形状の近接場光によって原子を反射・収集する原子ファネルの実験を行い（図1）、出射口径が200mmの場合にフラックス強度 $105 \text{ 個/s} \cdot \text{cm}^2$ の冷却 Rb 原子の出力を得た。出射直後の原子の温度は9mKである。本ファネルは他の冷却原子ビーム形成方法に比べて、低温であること、出射位置が特定されること、などの特徴をもつ。また、近接場光励起用の中空光ビームの形成を行い、ファネルに使用可能であることを確かめた。今後、原子偏向器や原子トラップの冷却原子供給源として使用する予定である。偏向実験で用いるナノ寸法の近接場光との相互作用には $1012 \text{ 個/s} \cdot \text{cm}^2$ のフラックス強度が必要であり、この要求を満たしていない。そのために出射口の微小化を行い、出射口径2mmのファネルを試作した（図2）。この場合、所期のフラックス強度が得られるものと見積られる。このファネルへの近接場光励起法は今後の課題である。

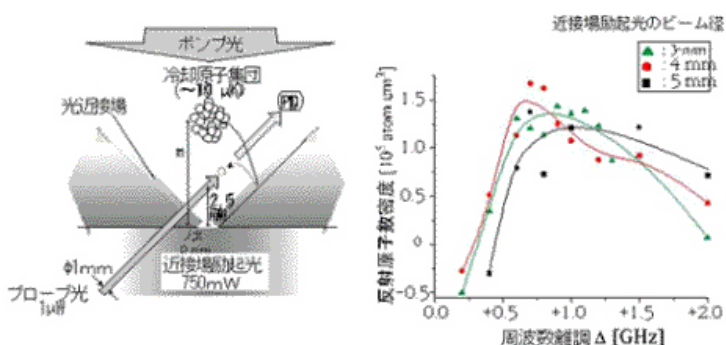


図1 Rb 原子の多重反射の観測。グラフは3つの近接場光励起ビーム径の場合の周波数離調に対する反射原子数の変化を示す。

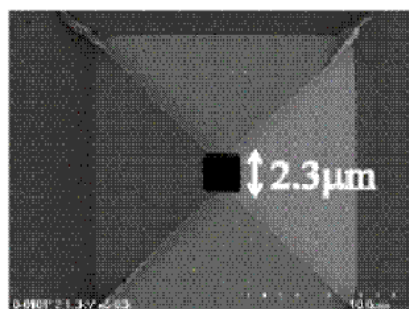


図2 高原子フラックス生成用微小開口ファネル

成果展開可能なシーズ、用途等 1) 新素材加工、原子光学

特許出願 なし

報告書他

- 1) A. Takamizawa, H. Ito, M. Ohtsu, "Multireflection of Cold Atoms in a Near-Field Optical Funnel," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, Part 1, No. 10, 6215-6218 (2002).
- 2) A. Takamizawa, H. Ito, S. Yamada, M. Ohtsu, "Accumulative Atom Detection by Magneto-Optical Trap for Near-Field Optical Funnel," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, Part 1, No. 6A, 3658-3661 (2003).

〔研究者名〕 高見沢 昭文

3-2 原子の偏向・誘導の研究

研究成果の概要

原子の運動方向を近接場光からの共鳴双極子力によって制御するためのスリット型原子偏向器を開発した(図1)。スリット部に誘起した近接場光の強度分布計測を行い、その結果から偏向角を見積もったところ、冷却原子を使用するならば、十分大きな偏向角を得ることが分かった。また、偏向原子を検出・評価するためのスリット型原子検出器を開発した(図2)。Rb原子の2段階光イオン化に必要な2色の近接場光が誘起できることを確かめた。また、Rbセルを用いた予備実験から冷却原子の検出が可能であることを確かめた。さらに検出効率を高めるために多重スリット化を行った。偏向器および検出器を超高真空装置に実装するための構造をつくり、実証実験を行う準備が整った。

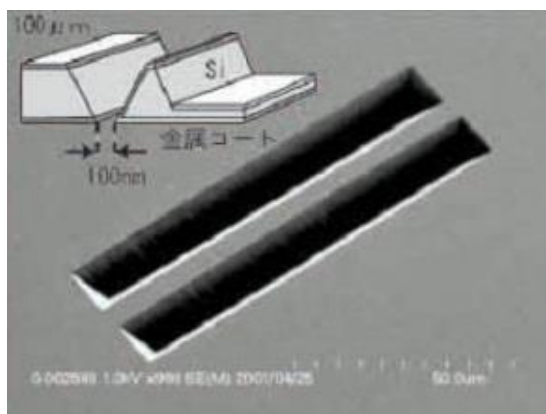


図1 スリット型原子偏向器

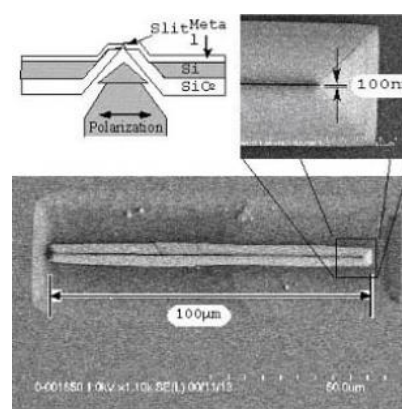


図2 スリット型原子検出

成果展開可能なシーズ、用途等 1) 新素材加工、原子光学

特許出願 なし

報告書他

- 1) H. Ito, K. Totsuka, M. Ohtsu, "Atom Deflector and Detector with Near-Field Light," in Progress in Nano-Electro-Optics II, ed. by M. Ohtsu, pp.149-185 (Springer, Berlin, 2003).
- 2) K. Totsuka, H. Ito, K. Suzuki, K. Yamamoto, M. Ohtsu, T. Yatsui, "A slit-type atom deflector with near-field light," Appl. Phys. Lett. Vol. 82, No. 10, 1616-1618 (2003).
- 3) K. Totsuka, H. Ito, M. Ohtsu, "Fluorescence Spectroscopy of Rb Atoms with Two-Color Optical Near Fields for a High-Resolution Slit-Type Detector," IEICE Trans. Electron, Vol. E85-C, No. 12, 2093-2096 (2002).
- 4) K. Totsuka, H. Ito, T. Kawamura, M. Ohtsu, "High spatial resolution atom detector with two-color optical near fields," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, Part 1, No. 3A, 1566-1571 (2002).

〔研究者名〕 戸塚 弘毅、高見沢 昭文

3-3 原子の捕獲・リリースの研究

研究成果の概要

Rb 原子をトラップするためのファイバプローブの開発を行った (図 1)。近接場光の強度分布計測からトラップポテンシャルを評価し、冷却原子のトラップが可能であることを確かめた。

ここで開発した原子偏向器・検出器・トラップ用プローブを用いて、冷却 Rb 原子による実証実験を行うことが今後の課題である。これらの近接場光デバイスを用いて Al や Cr の制御が可能であると考えられる。

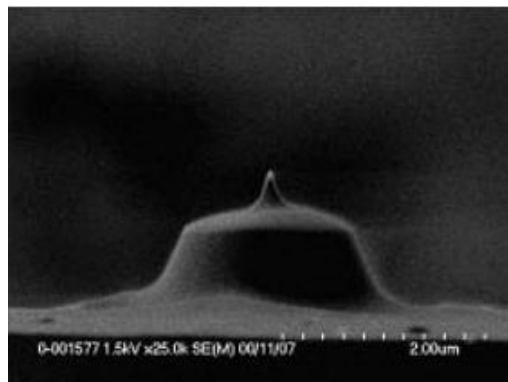


図 1 原子操作用 3 段テーパ型
ファイバプローブ

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 新素材加工、原子光学

特許出願

なし

報告書他

- 1) 伊藤治彦「近接場光を用いた原子の制御・操作」, 精密工学会誌, Vol. 69, No. 2, 183-187 (2003).

〔研究者名〕 戸塚 弘毅、S. M. Iftiqar