

NCRCC NEWS

No.3

<http://www.ncrc.iis.u-tokyo.ac.jp>

2004

文部科学省ITプログラム

世界最先端IT国家実現
重点研究開発プロジェクト

「光・電子デバイス
技術の開発」

ニュースレター

CONTENTS

最近の注目研究

1.5 μm 帯で発光する世界で最も
均一な量子ドットの形成

世界最大の光閉じ込め効果をもつ
光ナノ共振器の実現

1.5 μm 帯高出力量子ドット
光増幅器の開発に成功

シンポジウムの開催報告

プロジェクトへの期待

三菱電機株式会社 上席常務執行役
開発本部長 尾形仁士氏

日本電信電話株式会社
NTTフォトニクス研究所長 小松一彦氏



東京大学生産技術研究所
東京大学先端科学技術研究センター
ナノエレクトロニクス連携研究センター

センター長挨拶

プロジェクトも3年目に入り、 さらに充実した 研究開発を推進します

文部科学省プロジェクトも3年目に入りいよいよ正念場を迎えることとなります。これまでの2年間は目標を順調に達成することができましたが、今年度はさらに充実した研究開発を推進する所存です。今年の7月頃には中間評価が行われると聞いていますが、そこでは本プロジェクトの成果を強くアピールしていきたいと考えています。

昨年度のプロジェクトの研究においては、いくつかの重要な研究成果を達成することができました。例えば、量子ドット形成技術において、フォトルミネッセンスの半値幅を16ミリ電子ボルト以下とすることができました。これは世界記録であり、量子ドット技術の最重要課題である寸法の均一化について大きなブレイクスルーをもたらす成果です。これにより理論的に期待されてきた量子ドットレーザの高性能性が実現可能となります。

また、フォトリソニック結晶技術において、野田先生のグループが、世界最高のQ値を実現しました。この成果は、単一光子発生素子や光RAMへの応用への道を開くこととなります。

量子ドットレーザにおいては、MOCVD法としては1.3ミクロンに迫る世界最長波長の量子ドットレーザを実現することができました。また、量子ドット光増幅器については、高出力、広帯域特性を実現しました。今年度中には富士通からサンプル出荷が計画されています。量子ドット技術が実

用IT素子として市場に現れる日が間もなくやってきます。

ナノテクノロジーの研究は、数年前から巨大な国家予算が投入され大きな期待がかけられてきましたが、そろそろ投資効果が問われる時期がやって来ます。ブロードバンドとセキュリティを核とする次世代情報ネットワークの実現に向けて、本プロジェクトの成果が活用されるよう、さらに努力したいと思います。

さて、文部科学省プロジェクトはこれまで経済産業省プロジェクトと連携をはかってきましたが、さらに、16年度発足の総務省のプロジェクトとの連携も現在検討されています。本プロジェクトが3省庁間連携の要となることを目指します。

皆様の御支援をお願い申し上げます。



東京大学先端科学技術
研究センター・
生産技術研究所

ナノエレクトロニクス連携
研究センター
センター長・教授
荒川 泰彦

量子ドット形成技術開発

1.5 μm 帯で発光する世界で最も均一な量子ドットの形成

量子ドットは極めて特異な状態密度関数を持つことから、光デバイスの活性層に用いるとデバイス特性が飛躍的に向上することが理論的に示されている。しかしながら、現在量子ドットを作製する最も一般的な方法である自然形成法を用いて結晶成長を行うと、サイズ揺らぎに起因する不均一広がりが生じ、デバイス特性が劣化することが知られている。半導体レーザーなどの光デバイスにおいて大きな光利得を得るためには高均一な量子ドットを作製することは非常に重要である。

我々は、自然形成法による高均一かつ高密度な量子ドット形成を目指し、量子ドット形成時の主要な成長パラメータとして、成長温度・成長速度・V/III比及び供給量に着目し、その依存性に関し詳細な検討及び考察を行うことにより、高均一な量子ドットの形成メカニズムを現象論的に理解することを目的としている。本研究では、MOCVD法によりInAs量子ドットをGaAs基板上に形成している。成長条件を詳細に検討・最適化することにより極めて高均一な量子ドットを作製することに成功した。また、長波長化技術としてInAs量子ドットをInGaAs歪緩層

と層で埋め込む構造を用いた。この構造の特徴としては、InGaAs層のIn組成を変えることによりInAs量子ドットの発光スペクトル形状を変化させることなく発光波長の制御を行うことが可能であることが挙げられる。我々が現在得られている最長波長は現在のところ室温で1.52 μmであり、量子ドットの均一性を示す指標である発光スペクトルの半値幅は15.7meVである。これらの値はGaAs基板上のIn(Ga)As系量子ドットでは現在のところ最長波長・最小半値幅である。今後は、より長波長帯である光通信用波長帯1.55 μmで室温発光する高均一量子ドットの実現を目指す。

荒川 泰彦 / 東京大学

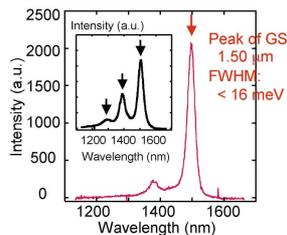


図1 InGaAs歪量子井戸中に埋め込まれたInAs量子ドットの室温での発光スペクトル。挿入図は強制励起時の発光スペクトル

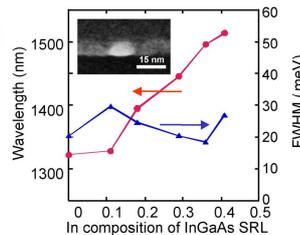


図2 InGaAs埋め込み層のIn組成と量子ドット発光波長、発光強度の関係。挿入図は量子ドットの断面SEM像

主要発表文獻

- [1] J. Tatebayashi, M. Nishioka, and Y. Arakawa: "Over 1.5 μm light emission from InAs quantum dots embedded in InGaAs strain-reducing layer grown by metalorganic chemical vapor deposition", Applied Physics Letters, Vol. 78, No. 22, pp. 3469-3471 (2001).
- [2] S. K. Park, J. Tatabayashi, and Y. Arakawa: "Formation of ultra high-density InAs/AlAs quantum dots by metal organic chemical vapor deposition", to be published in Applied Physics Letters (2004).
- [3] T. Yang, J. Tatabayashi, S. Tsukamoto, M. Nishioka, and Y. Arakawa: "A narrow photoluminescence linewidth (< 17 meV) from highly uniform self-assembled InAs quantum dots grown by low-pressure metalorganic chemical vapor deposition", to be published in Applied Physics Letters (2004).
- [4] T. Fukuda, J. Tatabayashi, M. Nishioka, and Y. Arakawa: "A very narrow photoluminescence broadening (< 16 meV) from 1.5 μm self-assembled InAs quantum dots at room temperature", submitted to the 27th International Conference on the Physics of Semiconductors (2004).

光子制御ナノ構造形成技術基盤開発

世界最大の光閉じ込め効果をもつ光ナノ共振器の実現

我々は、フォトニック結晶を用いて、世界最大（従来の10～100倍）の光閉じ込め効果をもつ光ナノ共振器の実現に成功した。この成果は、極小電流で動作可能なナノレーザ、光を一個一個放出可能な次世代量子通信用の新光源、光をそのままの状態で記憶可能な光メモリー、超小型かつ高分解能のフィルターを始めとする様々な応用へとつながるもので、平成15年10月30日付の英国科学雑誌「Nature」で発表された。

これまでの、極微小領域に光を閉じ込めようとして共振器を小さくしていくと、その大きさに逆比例して光の漏れが大きくなるため、強い光閉じ込めを達成することは困難と考えられてきた。しかし今回、「光を強く閉じ込めるためには、逆に緩やかな光閉じ込めが必要」という重要な概念を新たに見出し、これをフォトニック結晶に適用することで、強く光を閉じ込めることが可能な光ナノ共振器の実現に成功した。

具体的には、図1に示すように2次元フォト

ニック結晶スラブの一部に、直線上に3つ空気穴を埋めた点欠陥共振器を設け（図1(a)）その端部に位置する空気穴をほんの少し外側へシフトさせる（図1(b)）だけで、端部での急峻な光の反射・散乱が抑えられ、共振器の良さを表すQ値が大幅に増大することを見出した。実際に作製した共振器の電子顕微鏡写真を図2(b)に、得られた共振スペクトルを図2(a)に示す。同図から、共振器端部の空気穴のシフトとともにスペクトルの半値幅が狭くなり、最大でQ=45,000と極めて強い光閉じ込めを得ることに成功した。図2(c)には単位体積当たりのQ (Q/V)を示すが、わずかな空気穴のシフトで、Q/Vが一桁以上大きくなる事が分かる。なお、本研究は、京都大学と住友電工との共同研究の成果であり、本ITプロジェクトの他、CREST JST、文部科学省科研費等の援助を受けて行われた。

野田 進 / 京都大学

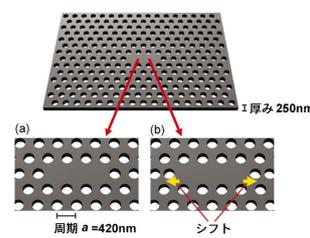


図1 今回実現に成功した世界最大の光閉じ込め効果をもつ光ナノ共振器の模式図

(a) 基本構造 (b) 強い光閉じ込めを得るための構造

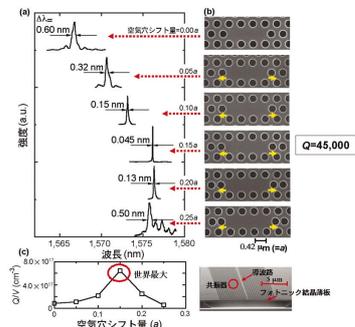


図2 空気穴のシフト量を少しずつ変えた実験結果 (a)共振スペクトル (b)実験に用いた光共振器の電子顕微鏡写真 (c) Q値とモード体積Vの比の空気穴シフト量による変化

主要発表文獻

- [1] Yoshihiro Akahane, Takashi Asano, Bong-Shik Song, Susumu Noda: "High-Q photonic nanocavity in a two-dimensional photonic crystal", Nature, Vol.425, pp.944-947 (2003)
- [2] Yoshihiro Akahane, Takashi Asano, Bong-Shik Song, Susumu Noda: "Demonstration of ultrahigh-Q photonic nanocavity based on Gaussian-like optical confinement", International Symposium on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures V (PECS-V), Tu-E1, p.81 (2004)

ナノ光電子デバイス技術基盤開発

1.5 μm 帯高出力量子ドット光増幅器の開発に成功

次世代フォトニックネットワークノードを実現するためには、光信号を電気信号を介さず光のままに増幅したり波長変換を行う全光信号処理デバイスが不可欠である。我々は、量子ドットを活性層とする半導体光増幅器を提案し、高出力・広利得帯域・低雑音・低消費電力の増幅動作と、超高速・広帯域の波長変換動作が可能であることを、理論と実験の両面で明らかにしてきた[1-4]。今回、1.5 μm帯の埋込型量子ドット光増幅器を開発し、20dBmの高出力動作を実証することに成功した[5]。

図1は、量子ドット光増幅器の構造図である。半導体レーザーとほぼ同一のダブルヘテロ構造からなり、量子ドット活性層を増幅媒質とする。一方の端面から入力した光信号は、誘導放出によって増幅されて反対側の端面から出力される。量子ドット活性層を半導体で埋込むことによ

り、増幅器に必要な高い電流密度を実現した。

図2は、10Gb/sのランダムな入力光信号に対して、出力光信号の読み取り誤り率を評価した結果である。量子ドット光増幅器では17.1dBmの光出力においてパターン効果による信号波形の乱れが生じている。量子ドット光増幅器では、20.3dBmの光出力でも信号波形に乱れがなく、パワーペナルティが殆どない(0.1dB以下)。同時に、増幅器利得20dBで100nm、雑音指数8dBで75nmの広い利得帯域も確認した。今回の成果により、従来の光増幅器では困難であった広波長帯域WDM多チャネル信号の一括増幅が可能になると期待できる。

菅原 充 / 東京大学

図1 量子ドット光増幅器の斜視図と断面構造図

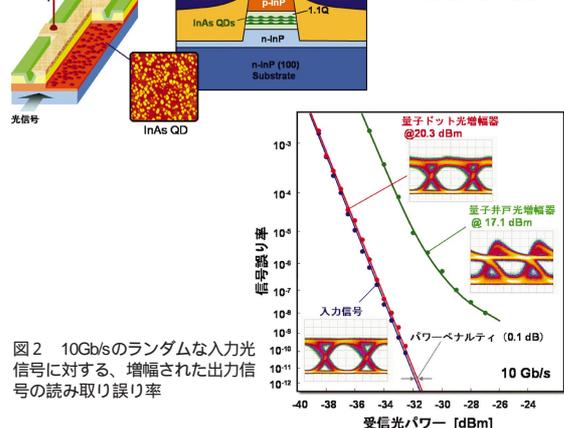


図2 10Gb/sのランダムな入力光信号に対する、増幅された出力信号の読み取り誤り率

主要発表文獻

- [1] M. Sugawara: United State Patent, US 6,590,701 B2.
- [2] M. Sugawara, N. Hatori, T. Akiyama, Y. Nakata, and H. Ishikawa: Jpn. J. Appl. Phys. 40 L488 (2001).
- [3] T. Akiyama, H. Kuwatsuka, T. Simoyama, Y. Nakata, K. Mukai, M. Sugawara, O. Wada, and H. Ishikawa: J. Quantum. Electron. 37, 1059-1065 (2001).
- [4] T. Akiyama, N. Hatori, Y. Nakata, H. Ebe, and M. Sugawara: Electron. Lett. 38, 1139 (2002).
- [5] T. Akiyama, K. Kawaguchi, M. Sugawara, H. Sudo, M. Ekawa, H. Ebe, A. Kuramata, K. Otsubo, K. Morito, and Y. Arakawa: Post deadline paper in 29th European Conference on Optical Communication, Rimini Fiera, 22-24 September, 2003.

国際シンポジウム 「量子ドットとフォトニック結晶2003」 QDPC2003が開催されました

東京大学NCRCでは、平成15年11月17～18日の2日間にわたって、駒場キャンパス数理科学研究所において掲記国際シンポジウムを開催しました。会場となった大講義室が満席となる300人を上回る参加者を得て、成功裏に終了しました。

講演はすべて英語で行われ、初日オープニングセッションでは、来賓として文部科学省研究振興局 石川明夫局長より産学官連携プロジェクトに対する文部科学省の支援と期待を込めた祝辞が述べられ、生研の西尾所長と先端研の南谷センター長からの挨拶がありました。

テクニカルセッションは、海外からベルリン工科大学のBimberg教授をはじめ7人の招待講演者が参加し、それぞれの研究活動の最近の成果について報告がありました。日本国内からはプロジェクト参加の大学、民間企業を中心にして、量子ドットの物理、量子ドットレーザー、増幅器、フォトニック結晶、単電子素子などの講演が2日間にわたり行われました。

2日目の後半は、一般より投稿されたポスターセッションが行われ、39件のパネルを前に多くの議論が交わされました。終了の時間が来ててもブースごとになお熱心な討論が行われており、聴衆の関心の大きさを表していました。初日の夕方には、駒場エミナースにてレセプションが行われました。なおこのシンポジウムは次年度以降も開催を予定しています。



荒川センター長の開会の挨拶



来賓挨拶をされる文部科学省 石川局長



発表に聞き入る参加者

「日経ナノテクフェア2003」に出展しました

平成15年10月8～10日の3日間にわたり東京ビックサイトで日経ナノテクフェア2003（主催：日本経済新聞社）が開催されました。当センターも東京大学先端科学技術研究センターブースの一つとして出展し、本プロジェクトの概要・活動状況などを紹介しました。天候にも恵まれフェア全体では2万人余り、先端研ブースには4000名程度の来場者がありました。

当日は、量子ドットレーザーチップやフォ

トニック結晶などの展示を行いました。顕微鏡越しの観察ではあるものの、来場者からは最新の技術に接する良い機会となったとの感想が多く寄せられました。また、多くの来場者から本プロジェクトの進行・研究内容および今後の展開などに関する質問やコメントも寄せられました。本プロジェクトに対する各方面からの期待の高さが窺われ、当センターのメンバーにも大変良い刺激となるフェアとなりました。



「先端研フォーラム」に出展しました

平成15年10月30日・31日の両日、虎ノ門ホテルオークラにて文部科学省技術振興調整費・戦略的研究拠点育成事業「先端研フォーラム」が開催され、NCRCも展示を行いました。学外の参加者は両日で約1000人、延べ人数にすると約1700人という賑わいとなりました。

NCRCは、主に高品質量子ドットの成長手法、量子ドットレーザー、フォトニック結晶の光通信への応用、単一量子ドットの量子情報への応用についてポスター発表を行いました。また、NCRCにて作製したフォトニック結晶、SOA（半導体増幅器）を展示し、両日をおして常時、満席となる賑わいぶりでした。フォーラム中、また終了後、大学・企業からの資料請求、問い合わせも多く、法人化を控えた大学の産学連携に対する社会の関心と期待の高さを改めて強く感じた催しとなりました。

プロジェクトへの期待

産学連携について思うこと

国立大学の法人化を間近に控え、産学連携の推進と大学における知財活動の強化への取組みが真剣に行われています。産学連携で最も重要なことは、社会や産業界のニーズを学が認識することにあります。学の中の産学への早期の結実を目指して時の流行を追うものが散見されることに一抹の懸念を感じています。当連携研究センターで実施されている光・電子デバイス技術の開発プロジェクトのように時流を追わずに、地味であっても電子産業の次世代の礎になるような堅実で骨太のテーマを期待します。また、このようなテーマを評価する度量、研究テーマの多様性を許容する風土を醸成していきたいものです。そのためにも、また産学連携をやりあるものとするためにも、産業界は学に対してしっかりとした情報を発信していかなければならないと思います。



三菱電機株式会社
上席常務執行役
開発本部長

尾形 仁士氏

産業につながる知の創出を

日本を世界最先端のIT国家とすることを目標に、e-Japan計画が国家戦略として推進されています。「光・電子デバイス技術の開発」は、その重点研究開発プロジェクトの一つであり、ユビキタス情報化社会に向けた革新的なフォトニックデバイスの創出を目指すものです。既にプロジェクトが発足して1年半を経過し、デバイス原理の検証から、結晶成長、プロセス技術など基盤技術の確立、蓄積も進められています。新たなデバイスが、便利、安全で低電力な情報通信ネットワーク実現の先導役となることに大きな期待をしています。これらの技術は、さらに幅広い産業の基盤として展開されるはずで、産学連携のモデルとなり、人材が育つ土壌となることを願っています。



日本電信電話株式会社
NTTフォトニクス研究所長

小松 一彦氏

プロジェクト参加研究者の紹介

プロジェクトには各方面から多彩な経歴を持つ人が参加しています。このコーナーでは順次研究者を紹介します。



遠山 嘉一(とよやま よしかず)

ナノエレクトロニクス連携研究センター
プロジェクトマネージャー

レーザーの黎明期、シャロウが光メーザーの論文を出し、メイマンがルビレーザーを発振させた時期に大学時代を過ごしました。修士ではルビー、ガラスレーザーの発振特性を研究しました。昭和39年富士通に入社、研究所でミリ波導波管伝送用40～90GHz帯半導体素子の開発を行い、ついで光通信用半導体レーザー、LED、検出器の開発に移りました。平成になって衛星通信など宇宙開発を担当し、現在に至っています。当時のキャリア周波数がシグナル周波数に変わった技術の進歩に驚きながら、NCRCのお手伝いをさせて頂いています。



岩本 敏(いわもと さとし)

東京大学先端科学技術研究センター講師

東京大学先端科学技術研究センターの岩本です。現在は、フォトニック結晶と量子ドット、MEMSの融合をテーマに研究を進めています。本プロジェクトには企業の研究者の方も多く参加されており、大変良い刺激のなか、自分を磨き研究を進めたいと思っています。先日10年ぶりに中学時代の水泳部の友人たちと再会したのですが、お酒の勢いもありついでOB戦での勝負を約束してしまいました。夏に向けて、ちょっと鍛えなおしておかないと。

これまでの主な活動実績と予定

- | | |
|----------------|--|
| 2003年7月3日 | アドバイザーボードミーティング開催 |
| 2003年7月11日 | 日米ナノ科学技術ワークショップ開催、東大先端科学技術研究センターにて |
| 2003年7月14～18日 | 第11回半導体超構造国際会議(MSS11)開催、奈良新公会堂にて |
| 2003年7月22日 | 第10回プロジェクト研究推進会議開催 |
| 2003年9月12日 | 第11回プロジェクト研究推進会議開催 |
| 2003年9月29日 | 第12回プロジェクト研究推進会議開催 |
| 2003年10月8～10日 | 日経ナノテクフェア2003に出展、東京ビックサイトにて |
| 2003年10月23日 | 第13回プロジェクト研究推進会議開催 |
| 2003年10月30・31日 | 文部科学省技術振興調整費・戦略的研究拠点育成事業「先端研フォーラム」に出展、虎ノ門ホテルオークラにて |
| 2003年11月17・18日 | 国際シンポジウム「量子ドットとフォトニック結晶2003」QDPC2003開催、東大駒場キャンパス、数理科学研究所にて |
| 2003年12月25日 | 第14回プロジェクト研究推進会議開催 |
| 2004年1月22日 | 第15回プロジェクト研究推進会議開催 |
| 2004年2月27日 | 第16回プロジェクト研究推進会議開催 |
| 2004年3月17～19日 | 国際ナノテクノロジー総合展(nano tech2004)に出展。東京ビックサイトにて |
| 2004年4月19・20日 | 合同成果報告シンポジウム「フォトニック結晶と量子ドット」開催予定、東京・四ツ谷主婦会館にて |
| 2004年5月14日 | 第17回プロジェクト研究推進会議開催予定(以降、毎月開催予定) |

編集後記

11月8日(土)立川市にある昭和記念公園に於いて、ナノエレクトロニクス連携研究センター合同バーベキューパーティーが開かれました。快晴に恵まれた中、荒川先生のご家族を含めた41名の参加者が心暖まる一時を過ごすことができました。あざやかな紅葉の中、普段はなかなか話すことのできない面々が、家族同士、また思い思いのスタイルで、酒を酌み交わし、バーベキューを楽しみながら、親睦を深める良い機会となりました。子供達とはいえず、石田助手が持ってきてくださったラジコンで遊んだり、大人も混じってドッチボールをしたり、犬のナノちゃんも遊んだり、それなりに楽しかったみたいです。幹事をしてくださった勝山先生ご夫妻をはじめ、準備にご協力いただいた皆さま、ご苦労さま、そして、ありがとうございました。(塚本)



ナノちゃんと一緒に



夕日を浴びて集合。少しまぶしい

発行日 2004年4月1日

Nanoelectronics Collaborative Research Center

NCRC NEWS

編集・発行 / 東京大学生産技術研究所 東京大学先端科学技術研究センター

ナノエレクトロニクス連携研究センター事務局

編集責任 / 遠山嘉一、勝山俊夫

〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 FAX:03-5452-6246

E-mail: nrcr@iis.u-tokyo.ac.jp

Web http://www.nrcr.iis.u-tokyo.ac.jp