

# NCRC NEWS

No.4

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

2005

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

通信波長帯において世界で初めて  
単一光子発生に成功

3次元フォトニック結晶による  
究極の光制御に成功

温度によって光出力が変化しない  
量子ドットレーザの開発に成功

### プロジェクトの活動報告

### プロジェクトへの期待

東京大学生産技術研究所  
所長 西尾茂文 教授

東京大学先端科学技術研究センター  
所長 橋本和仁 教授

2005.3.7 Mon ~ 8 Tue

### 量子ドットと フォトニック結晶に 関する国際シンポジウム

International Symposium on  
Quantum Dots and Photonic  
Crystals 2005 (ISQDPC 2005)

会場：東京・虎ノ門パストラル

奮ってご参加ください。詳細は、  
<http://www.isqdpc.iis.u-tokyo.ac.jp/>  
をご覧ください。



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

## ナノ技術の確立により 次世代情報通信素子の実現をめざします 新たに総務省との連携も始まりました

2002年4月に発足した本プロジェクトは、既に中間点を過ぎ3年を終了しようとしています。昨年7月には文部科学省により中間評価を受けましたが、幸い高い評価をいただくことができました。この結果はプロジェクトの推進において私どもを大変勇気付けるものでありました。

本プロジェクトは、量子ドットなど半導体ナノ技術の中核にして、未来情報通信ネットワークの基盤となる次世代素子の開発を目標としています。本プロジェクトは、発足以来経済産業省プロジェクト「フォトニックネットワークデバイス開発」と強い連携を図りながら研究開発を進めてきましたが、今年度から始まった総務省のプロジェクト「ナノITネットワーク」とも新たに連携することになりました。三つの省庁がそれぞれの役割分担のもとで次世代情報通信技術に向けて研究開発を推進することは、わが国の科学技術の発展にとりまして大変意義深いといえます。

今年度は多くの重要な成果を達成することができました。温度無調整量子ドットレーザの高速変動動作の実証、3次元フォトニック結晶の欠陥への光子閉じ込め効果の実証、通信波長帯で動作す

る単一光子発生素子の実現などが代表的な成果であり、マスコミにも広く報道されました。また、高均一な量子ドット結晶成長や量子ドットとフォトニック結晶の融合など、ナノ構造形成技術の確立においても大きな進展がありました。

大学の学術研究基盤力と産業界の研究開発力のビジョンを共有した融合は、新たな産業活力の創成と科学技術の発展をもたらします。私どもは、本プロジェクトをこのような連携の成功事例として社会に貢献することをめざしています。

今後、ナノフォトニック素子を切り拓き、未来の情報通信技術の確立をはかる所存ですので、皆様の一層のご支援・ご鞭撻を宜しく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

ナノ光電子デバイス技術基盤開発

通信波長帯において世界で初めて単一光子発生に成功

量子暗号は無条件安全通信を可能にする次世代技術として期待されている。実用化に向けた研究開発も盛んに行われているが、システム実用化の鍵を握るのは光ファイバ伝送に適した単一光子発生器の実現である。そこで我々は、量子ドットを用いた単一光子発生素子とその計測システムを開発し、世界で初めて通信波長帯における単一光子の発生に成功した[1][2]。

単一光子発生素子を作製する上で重要なのは、発生した光子を効率よく外部に放出できる光学構造と、内部に埋め込まれたInAs/InP量子ドット[3]にダメージを与えないデバイスプロセスを両立させることである。光学構造には様々なアプローチがあるが、今回は図1に示すメサ構造を採用した。

次に、作製した単一光子発生素子を10 Kまで冷却して波長780nmのパルスレーザで励起し、単一励起子遷移による光パルス(波長はOバンドに属する1277.1nm)を生成。シングルモード光ファイバで光パルスを光子検出器まで伝送した。検出器としてゲートモードInGaAsアバランシェフォトダイオードを2台使い、Hanbury-Brown and Twiss型に配置した上で強度相関測定を行った。データ解析によってノイズの影響を除いた強度相関関数を図2に示す。相関カウント数は時間原点でほぼ零であり、発生した光パルスが単一光子であることが確かめられた。

荒川 泰彦/東京大学  
白杵 達哉/富士通研究所

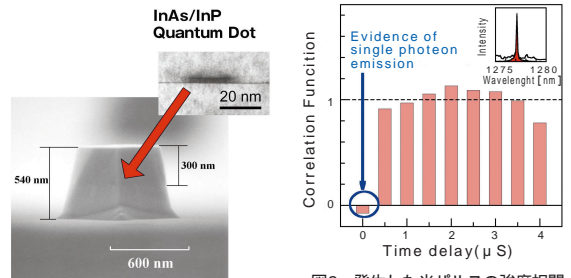


図1 単一光子発生素子。中にInAs/InP量子ドットが埋め込まれている。ダメージの少ないウエットプロセスを採用し、FDTD法による光学設計を基に作製した。

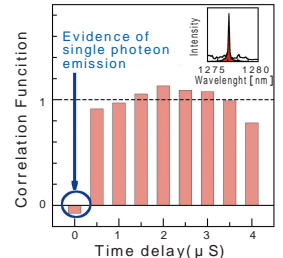


図2 発生した光パルスの強度相関関数。2台の検出器が光子を同時に測定した事象はほぼ零であり、光パルスが単一光子であることが分かる。

主要発表文献  
[1] K. Takemoto, Y. Sakuma, S. Hirose, T. Usuki, N. Yokoyama, T. Miyazawa, M. Takatsu and Y. Arakawa: "Non-classical Photon Emission from a Single InAs/InP Quantum Dot in the 1.3- $\mu$ m Optical-Fiber Band", Jpn. J. Appl. Phys. vol.43 (2004) pp.L993-L995.  
[2] K. Takemoto, Y. Sakuma, S. Hirose, T. Usuki, N. Yokoyama, T. Miyazawa, M. Takatsu and Y. Arakawa: "Ultrannarrow Photoluminescence Line in 1.3-1.55  $\mu$ m of Single InAs/InP Quantum Dots", The 27th International Conference on the Physics of Semiconductors, Arizona, US, 2004.  
[3] K. Takemoto, Y. Sakuma, S. Hirose, T. Usuki and N. Yokoyama: "Observation of Exciton Transition in 1.3-1.55  $\mu$ m Band from Single InAs/InP Quantum Dots in Mesa Structure", Jpn. J. Appl. Phys. vol.43 (2004) pp.L349-L351.

光子制御ナノ構造形成技術基盤開発

3次元フォトニック結晶による究極の光制御に成功

我々は、完全3次元フォトニック結晶を用いて、物質における発光現象を根本から抑制したり、逆に強めたりする、究極の発光制御の可能性を世界で初めて実証することに成功した。この成果は、フォトニック結晶の概念が登場してから、長く待たれていたもので、2004年6月3日付の米国科学誌『サイエンス』オンライン版(サイエンス・エクスプレス)で発表された。

光の波長程度の周期的屈折率分布をもつ3次元フォトニック結晶においては、全ての方向に対して、光の存在を禁止する「完全フォトニックバンドギャップ」が現れる。今回の成果の最大のポイントは、従来から期待され続けたが、これまで実証し得なかったフォトニック結晶による究極の発光制御の可能性を実験的に実証したことにあり、今後、フォトニック結晶の応用可能性を大きく広げるものと期待される。

開発した3次元フォトニック結晶の構造模式図および電子顕微鏡写真を図1に示す。3次元

結晶は、半導体ストライプを交互に重ねた積層ストライプ構造をもち、光通信域(波長1.5 $\mu$ m域)にバンドギャップをもつように設計されている。さらに、同図A・Bに示すように、結晶の中央部に、発光物質が導入されている。この発光物質は、フォトニックバンドギャップに相当する1.5 $\mu$ m帯に発光波長を持つ。同結晶の近傍には、参照用としてフォトニック結晶構造をもたない発光層のみの領域も設けられている。

まず、完全3次元フォトニック結晶の中央部の発光物質を外部光により励起し、発光可能な状態へと導いた場合、フォトニック結晶がその物質からの発光を抑制可能かどうかを調べた。その結果、1.45~1.6 $\mu$ m波長域では、最大、20dBもの発光の抑制が見られることが判明。この波長域は、結晶のもつ完全フォトニックバンドギャップ域に対応し、発光の抑制量も計算結果と非常に良く一致した。続いて、結晶中に、人為的に周期性を乱した領域、いわゆる「欠陥」

の導入を試み、発光の様子を微小領域で詳細に調べた。その結果、上述と同じく完全結晶部では発光が抑制されるが、欠陥部分では、極めて強い発光が起こるということを判明した。完全3次元フォトニック結晶により、物質からの発光は抑制され、一方、人為的な欠陥導入により、強い発光が可能となることを明確に示した。

野田 進/京都大学

なお、本研究は、JST CREST研究の一貫として行われているが、本ITプログラムとの密接な連携のもとに行われた。

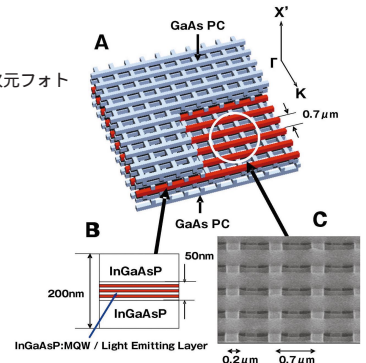


図1 本研究で開発した3次元フォトニック結晶  
A・B=構造模式図  
C=電子顕微鏡写真

主要発表文献  
[1] Shinpei Ogawa, Masahiro Imada and Susumu Noda, "Analysis of Thermal Stress in Wafer Bonding of Dissimilar Materials for the Introduction of an InP-based Light Emitter into a GaAs-based Three-dimensional Photonic Crystal", Appl. Phys. Lett. 82, 3406 (2003)  
[2] Shinpei Ogawa, Masahiro Imada, Susumu Yoshimoto, Makoto Okano and Susumu Noda, "Control of Light Emission by 3D Photonic Crystals", Science, 305(5681), 227-229 (2004)

ナノ光電子デバイス技術基盤開発

温度によって光出力が変化しない量子ドットレーザの開発に成功

電流調整せずに20 から70 で10Gbps動作を実証

光メトロ・アクセスシステムや高速光LANへの応用において、光源である半導体レーザには、小型化・低消費電力化・低コスト化のために、冷却器なしで高温まで高速な動作をすることが求められている。現在、歪量子井戸をレーザの発光部に用いることで、85 まで10Gbpsで高速動作をする半導体レーザ(以下、歪量子井戸レーザ)が実用化されている。しかし、この歪量子井戸レーザでは、周囲温度によって光出力が変化してしまうため、周囲の温度に応じて常に駆動電流を調整する必要がある。このため、周辺電子回路が必要になり、小型化・低消費電力化・低コスト化への対応には限界が存在した。

今回、光通信用波長である1.3 $\mu$ m帯におい

て、20 から70 の範囲で駆動電流を調整することなく10Gbpsで高速動作する量子ドットレーザを開発[1][2]。量子ドットレーザが温度に依存せずに動作することは、東京大学荒川らによって1982年に理論的に予測されていたが、これまでは低温での動作のみ実現されていた。今回、量子ドットを10層に多層化して高密度化するとともに[3] p型の不純物を量子ドットの極めて近い部分に導入することで増幅利得を高め、室温より高い温度で高速・温度無依存動作を実現することができた。

図1は、電流無調整10Gbps変調動作の波形と平均光出力を温度に対してプロットしたものである。歪量子井戸レーザでは温度の上昇とともに波形が乱れ、平均出力が30%も低下するのに対して、量子ドットレーザでは出力の低下は5%に抑えられ、消光比7デシベルのきれいな出力

パターンが得られている。

今後、実用化に向けた温度範囲の拡大や動作波長の単一化の検討を進め、2007年までに実用化技術の確立を目指す予定である。

菅原 充/東京大学

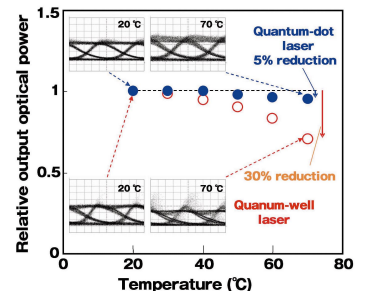


図1 量子ドットレーザの出力特性

主要発表文献  
[1] K. Otsubo, N. Hatori, M. Ishida, S. Okumura, T. Akiyama, Y. Nakata, H. Ebe, M. Sugawara and Y. Arakawa, "Temperature-Insensitive Eye-Opening under 10-Gb/s Modulation of 1.3- $\mu$ m P-Doped Quantum-Dot Lasers without Current Adjustments", Jpn. J. Appl. Phys. 43, L1124 (2004).  
[2] N. Hatori, K. Otsubo, M. Ishida, T. Akiyama, Y. Nakata, H. Ebe, S. Okumura, T. Yamamoto, M. Sugawara, and Y. Arakawa, "20 -70 Temperature Independent 10 Gb/s Operation of a Directly Modulated Laser Diode Using P-doped Quantum Dots" post deadline paper in 30th European Conference on Optical Communication, Stockholm (2004).  
[3] M. Ishida, N. Hatori, K. Otsubo, T. Akiyama, Y. Nakata, H. Ebe, M. Sugawara, and Y. Arakawa, "Design of High-Speed Directly-Modulated Self-Assembled Quantum-Dot Lasers Aiming at 40Gb/s Operation: Experiments and Model", Conference on Lasers & Electro-optics 2004 (CLEO2004), CThB1, San Francisco, USA (2004), (invited).

## 荒川センター長が榊教授と共同で 第一回江崎玲於奈賞を受賞

生産技術研究所の榊裕之教授と荒川センター長が、第一回江崎玲於奈賞を受賞されました。江崎玲於奈賞は、(財)茨城県科学技術振興財団とつくばサイエンス・アカデミーが、日本国内の研究機関においてナノサイエンスあるいはナノテクノロジー分野の研究に携わり、新分野の開拓が期待できるとともに世界的に高い評価を得た研究業績をあげた研究者に授与するものです。今回の受賞対象となった研究主題は「半導体

ナノエレクトロニクス素子の先駆的研究、特に、量子細線・量子ドット構造素子研究における先駆的貢献」であり、江崎博士も両人の「1982年の研究発表は大きなインパクトを与えた。第一回受賞者に最適な方々と確信している」とのコメントを出されています。授与式は平成16年7月23日につくば国際会議場で執り行われました。

現在NCR Cが進めている「光・電子デバイス技術の開発」はまさにこの成果がベースになって構築されているものであります。

(遠山嘉一)



授賞式の様子。左から、江崎玲於奈審査委員長、榊裕之教授、荒川泰彦センター長



賞状、盾

## 「生研公開」開催される

平成16年6月3日(木)および4日(金)の2日間わたり、毎年恒例の東京大学駒場リサーチキャンパスの一般公開が開催され、生産技術研究所、先端科学技術研究センターなどの各研究室が研究内容の展示やデモなどを行ないました。NCR Cも、研究テーマの詳細や最新の研究成果などに関するパネル展示を行い、メンバーが説明員を務めました。両日も天候にも恵まれ、多くの来場者の方々に立ち寄っていただき、とりわけ、当センターの展示は、キャンパス内でも一、二を争う盛況ぶりだったと自負しています。鋭い質問が飛び出したり専門的議論に発展することもあり、説明員自身にとっても大変有益な公開となりました。

(岩本 敏)

## 「最先端のITで 新たな未来を拓く」と題し、 ITプログラム中間成果 報告会が開催されました

平成16年文部科学省主催によるITプログラム中間成果報告会が、「最先端のITで新たな未来を拓く」と題して、去る平成16年7月16日、三田共用会議所で開催されました。本報告会は、科学技術・学術審議会関連の委員会として、一般にも開放した形で開催されたものです。ここでは、8つの研究開発プロジェクトについて、それらの中間成果についての報告と質疑応答が行なわれました。

荒川泰彦センター長は、「光・電子デバイス技術の開発」について、世界トップの研究成果が輩出しており、また社会への情報発信を強力に進めていることを報告しました。とくに、「MOCVD法としては最長波長の量子ドットレーザ」、「バイアス及び温度無調整量子ドットレーザ」、「世界で最も高均一な量子ドット」などレーザ技術の大きなブレークスルーになる技術開発、更には「通信波長帯で単一光子発生素子を初めて実現」、「世界最高のQ値を有するフォトニック結晶に成功」したことなど、当初の計画を前倒しする大きな成果を輩出していることに、参加者の皆様は感銘を受けたようです。

このように、本プロジェクトは、本中間評価で極めて高い評価をいただくことができました。

(遠山嘉一)

## 「フォトニック結晶と量子ドット」の 第2回合同成果報告シンポジウムが 開催されました



NCR Cでは、東北大学NICHeフォトニック結晶新機能デバイスプロジェクトと共催で、去る平成16年4月19、20日の両日、主婦会館プラザエフにおいて、「フォトニック結晶と量子ドット」と題し合同成果報告シンポジウムを開催しました。このシンポジウムは、荒川泰彦NCR Cセンター長がプロジェクトリーダーを務める2つのプロジェクトである文科省世界最先端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」と経産省高度情報基盤

プログラム「フォトニックネットワークデバイス技術開発プロジェクト」、および東北大学川上彰二郎教授がリーダーを務める文科省科学技術振興調整費「3次元フォトニック結晶の作製、解析法、デバイス展開の総合研究」の合同成果報告会であり、今回が2回目になります。

今回は、講演以外にポスター発表も加わり、前回にも増して活発な意見交換が行なわれました。このように、ナノエレクトロニクスの中心的な2つの分野であるフォトニック結晶と量子ドットに関するシンポジウムであることを反映して、予想を大幅に上回る350名の参加者が集まり、報告会は成功裏に終了しました

現在NCR Cが進めている「光・電子デバイス技術の開発」はまさにこの成果がベースになって構築されているものであります。

(遠山嘉一)



## 「NANO KOREA 2004」に出展

平成16年8月24日から27日の3日間にわたり、韓国・ソウル市で開催された「NANO KOREA 2004(第2回国際ナノ技術シンポジウム及び展示会)」に、当センターもジャパン・パビリオン10ブースの一つとして出展しました。NCR CとITプログラムの概要や研究テーマの紹介に加えて、最新の研究成果などをパネル展示しました。また当センター長 荒川泰彦 東京大学教授による講演も行われました。このNANO KOREA 2004は、ナノテク研究開発に対する韓国政府の積極的な支援の影響もあり、1万人を超える来場者を得た大変活気のある展示会でした。

(岩本 敏)

## プロジェクトへの期待

### 国際的評価を強く期待

近年多用されている「科学技術」という言葉は、エディソンなど天才的技術者個人により担われた技術が科学に課題を提供してきた「科学と技術」の時代から、極低温への挑戦など科学と技術とが相互作用を及ぼし合う「科学・技術」の時代を経て、半導体や遺伝子操作などのように優れて制御された人工的環境の中でのみ具現化し科学と技術との距離が近くなった「(先端)科学技術」に至る流れの中で生み出されてきたと考えられます。

科学技術は、記述性の高い科学に立脚し、それが故に科学は「国際共通語」としての側面を有し、また技術との距離が近いがために国際競争力の代表選手です。本プロジェクトはこの典型であり、国際的評価を得ることを強く期待します。



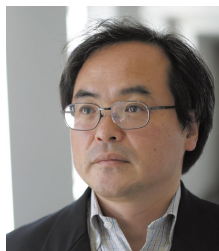
東京大学  
生産技術研究所  
所長

西尾 茂文 教授

### 新産業創成への展開を望む

第三期科学技術基本計画策定に向けてさまざまな議論がなされていますが、その中で経団連が「先端技術融合型COE」という新しい産学連携のあり方を提案しています。これは「大学を核として、10年先をにらんだ先端的で重要な技術分野を設定し、産学から優秀な研究者が集って研究を推進する研究拠点を創ろう」というもので、まさにナノエレクトロニクス連携研究センターの概念と一致するのではないのでしょうか。

また、東大内の位置づけにおいても本センターは、生産研と先端研という2部局にまたがる組織であり、法人化以後の新しい部局関連の形を先取りしているといえます。今後、光・電子デバイス技術プロジェクトの成果がさらに発展し、新産業創成に展開していくことを多いに期待しています。



東京大学  
先端科学技術研究センター  
所長

橋本 和仁 教授

## これまでの主な活動実績と予定

2004年4月19～20日	合同成果報告シンポジウム「フォトリソグラフィと量子ドット」を東京・四ツ谷主婦会館にて開催
2004年5月25日	第17回プロジェクト研究推進会議を開催
2004年6月3～4日	生研公開開催、研究開発成果を展示
2004年6月28日	第18回プロジェクト研究推進会議を開催
2004年7月16日	文部科学省ITプログラム中間成果報告会が文部科学省主催で開催、荒川センター長が成果報告を行なう
2004年8月24～27日	NANO KOREA 2004 (第2回国際ナノ技術シンポジウム及び展示会)に出展
2004年9月10日	第19回プロジェクト研究推進会議を開催
2004年10月14～16日	ソウル国立大学で開催された5th International Workshop on Semiconductor Quantum Structuresでプロジェクトの研究紹介
2004年11月1日	第20回プロジェクト研究推進会議を開催
2004年11月29日	第21回プロジェクト研究推進会議を開催
2004年12月17日	第22回プロジェクト研究推進会議を開催
2005年1月18日	第23回プロジェクト研究推進会議を開催
2005年2月18日	第24回プロジェクト研究推進会議を開催予定
2005年3月7～8日	量子ドットとフォトリソグラフィに関する国際シンポジウム「International Symposium on Quantum Dots and Photonic Crystals 2005 (ISQDPC 2005)」を東京・虎ノ門パストラルで開催予定

## 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いたします。



菅原 充 (すがわら みつる)  
東京大学生産技術研究所 特任教授

半導体量子ナノ構造光デバイスをテーマに研究を進めています。大学と企業が連携した本プロジェクトによって、量子ドットレーザと量子ドット光増幅器について世界最先端の研究成果が次々と生み出されています。いよいよプロジェクト後半ですが、実用化に向けて力を集中して行こうと考えています。プライベートでは、昨年からの研究仲間とピアノコンサートを企画しています。是非みなさん聴きにいらしてください。



館林 潤 (たてばやし じゅん)  
東京大学生産技術研究所  
ナノエレクトロニクス連携研究センター  
産学官連携研究員

大学院修士時代から現在に至るまで6年以上の間荒川研究室に所属し、主にMOCVD法による量子ドットの結晶成長に関する研究を進めてきました。本プロジェクト開始以降は富士通研究所と共同で量子ドットレーザの開発研究に従事しており、適度な緊張感と良い刺激の中、非常に貴重な経験を享受しております。今後はこういった経験や知識を基に、将来の基礎研究を担う新しいアイデアが提案できるよう更に切磋琢磨していきたいと考えています。

## プロジェクトメンバーの受賞報告 (2004年4月以降)

本プロジェクトメンバーは、今回御紹介しました江崎玲於奈賞受賞以外にも、数々の賞を受賞しております。お祝いを申し上げますとともに、ここに報告させていただきます。

2004年4月	樽茶清悟	紫綬褒章
2004年6月	遠山嘉一	日本女性科学者の会 第9回功労賞
2004年9月	渡邊克之	応用物理学会 第16回(2004年春季)講演奨励賞
2004年9月	太田 剛	応用物理学会 第16回(2004年春季)講演奨励賞
2004年9月	野田 進	電子情報通信学会 第7回 エレクトロニクスソサエティ賞
2004年11月	野田 進 (財)大阪科学技術センター	第22回 大阪科学賞
2004年11月	荒川泰彦	IEEE/ LEOS Williams Streifer Award

編集後記  
最近、数字を使ったパズルに凝っています。よく新聞の日曜版に掲載されていたり、書店で冊子になって売られているものです。結構考えさせられる問題も多く十分楽しめます。難しい問題が解けた時の達成感は研究におけるそれとなく似ていますが、解答が必ず用意されているのが違う点です。パズルでは、その解へ辿り着く過程(のみ)を楽しんでいるのです。解そのものを発見すること、そこに至る過程をともに楽しめるのが研究でしょうか。解のないこともよくあることですが。(岩本)

発行日 2005年1月31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