

## 「総論：ナノテクノロジーと次世代情報通信技術」

荒川 泰彦 (東京大学先端科学技術研究センター・生産技術研究所 教授  
ナノエレクトロニクス連携研究センター長)

ただいまご紹介にあずかりました荒川でございます。本日は、かくも多数お集まりいただきまして、ありがとうございます。きょう、午後いっぱいナノテクノロジーの関係で、各先生にご講演をしていただきますが、そのトップバッターとして総論的なことも含めてお話をさせていただきますと思っています。

(スライド)

国の重点科学技術分野が、ここにあります4分野であるということは皆さんご承知のとおりであろうと思います。IT、バイオ・医療、環境、そしてナノテクノロジー、この4分野で国家施策がとられているわけでございます。ただ、全体の位置付けとしましては、むしろナノテクノロジーというのは、IT、バイオ、環境というこの三つの分野のベースにあるものであるといえるのではないかと思います。すなわち4分野は独立ではなくて、むしろナノテクノロジーが全体を木の根っこのように結ぶような技術あるいは分野として位置付けることができるのではないかと考えているわけでございます。もちろん、IT、バイオ、環境、それぞれの間でも大変強い関係があるということは申すまでもございせん。この科学技術政策につきましては、私のあとに石田客員教授がお話になられますので、私が細かく申し上げることはございせん。

(スライド)

1998年頃、私もは、電子情報技術産業振興協会におきまして企業の研究開発のトップの方々と、めざすべき技術社会は何であるかということをずいぶん議論しました。その結果、「ユビキタス情報化社会」というのがめざすべき社会目標の一つであると提言しました。この先には、安心して過ごすことができる社会の実現があります。

このユビキタス情報化社会をめざすことの意義は多々あります。一つは、このユビキタス情報化社会を実現することは、様々な技術の総合化ということを不可欠としていることです。すなわちユビキタス情報化社会を実現するためには、まだまだ大きなバリアがあります。しかし、これらのバリアを乗り越えることにより、新しい技術力の創出が

期待できます。

また、こういうユビキタス情報化社会技術は、わが国がこれまで得意とするゲーム、携帯など、個人機器を出発点としておりまして、日本が力を発揮できるものです。したがって、このような社会技術をわれわれの産業競争力を強化する技術目標とすることは、大変適切なものではないかと考えることができます。ユビキタス情報化社会は、ひとことでいえば、ブロードバンドとワイヤレスのインフラに立脚した情報バリアフリー社会ということになります。

(スライド)

ユビキタス情報化社会は、いま申し上げましたように非常に総合的なものでありまして、様々な階層があります。その中の一つの重要な階層としてインフラを位置付けることができます。このようなインフラにおいて、われわれがユビキタス情報化社会を実現するためには、すべてをナノテクノロジーに立脚させる必要があります。

(スライド)

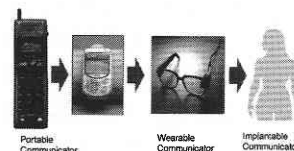
これは通信ネットワークのインフラを模式的に示してお

### ユビキタス情報化社会に向けた技術戦略

いつでも、どこでも、誰とでも、バリアなしでコミュニケーションできる社会。安心社会の実現。

セキュリティ、ヒューマンインターフェースからコンピューター、ブロードバンド・ワイヤレス技術まであらゆる技術の総合化。

わが国が得意とする個人機器を出発点にして、産業競争力を強化する。



ユビキタス情報化社会：ブロードバンドとワイヤレスにもとづいた情報バリアフリー社会、1998年電子情報技術産業協会が提唱。

図1 ユビキタス情報化社会に向けた技術戦略の考え方。ユビキタス情報化社会の概念は、1998年電子情報技術産業協会が提唱

りますけれども、ここにおきます光源、ルータ、大容量記録装置、あるいはコミュニケーターは、すべてナノテクノロジーに立脚したうえで展開が図られるものと考えられます。情報通信に不可欠な両輪であるネットワークデバイスとコンピュータがナノテクに立脚します。

(スライド)

さて、ナノテクノロジーは、ここに書いてありますように二つの側面を持ちます。一つはダウンサイジングであります。これはどんどん小さくするというで量の変化であります。しかし、量もしかるべき量になれば質の変化をもたらします。そういう意味で大変大きな役割を果たします。LSIテクノロジーのメモリー容量などはこれに対応するものです。

もうひとつは、イノベーションです。これは質の変化をもたらすものです。イノベーションにおきましては、構造に関するイノベーションがあります。それから材料に関するイノベーションが考えられます。これらのナノテクノロジーにより、技術の進歩に不連続性をもたらすということが大変重要なポイントであります。

(スライド)

まず、材料のイノベーションですが、代表的なものとしてはカーボンナノチューブ、それからバイオ、DNA配線などがあります。これらについては私が語る資格はなくて、後ほど松本先生あるいは川合先生がお話になられます。

(スライド)

もうひとつの構造のイノベーションの例として、量子ドットを挙げたいと思います。これは私と後ほど講演される榊先生が1982年に世界で初めて提案し、以来ずっと研究し続けている半導体三次元微小構造です。この写真はガリウム砒素から成る半導体膜の上に形成されたインジウム砒素、あるいはインジウム・ガリウム砒素の量子ドットです。この構造の大きさは15ナノメートルから20ナノメートルぐらいのものであります。これらの構造の中に電子が閉じ込めることにより、その性質を制御することができます。

(スライド)

このような量子ドットを形成するためには、分子線エビタキシ法、有機金属気相成長法というような超薄膜技術を形成するための半導体テクノロジーが駆使されております。これらは、相当高価な設備であります。高性能ネットワークデバイスを実現するためには、不可欠なものであります。われわれは、国の支援をいただきながら、産業界と協力してこういう財政的に重たいものを背負って次世代デバイスを開発しています。

(スライド)

ただ、量子ドットという概念は、もうちょっと広くてここにありますようにコロイダル状の量子ドットがケミカルなプロセスとして形成することができます。この写真は、

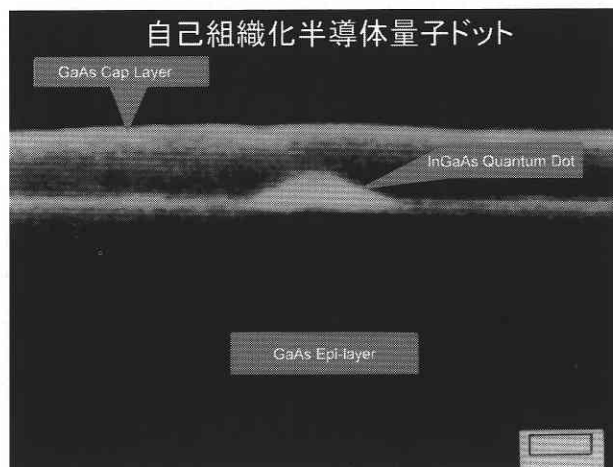


図2 自己組織化手法で作製された量子ドットの断面SEM写真。横寸法が20ナノメートルのピラミッド状の形状をしている。

#### Multidimensional quantum well laser and temperature dependence of its threshold current

Y. Arakawa and H. Sakaki

Division of Material Science, University of Tokyo, Minamiosaka, Tokyo 116, Japan

Received 19 January 1982; accepted for publication 23 March 1982

A new type of semiconductor laser is studied, in which injected carriers in the active region are quantum mechanically confined in two or three dimensions (2D or 3D). Effects of such confinements on the laser characteristics are analyzed. Most important, the threshold current of such laser is predicted to be far less temperature sensitive than that of conventional lasers, reflecting the reduced dimensionality of electronic state. In the case of 3D-QW laser, the temperature dependence is virtually eliminated. An experiment on 2D quantum well laser is performed by placing a conventional laser in a strong magnetic field (B) and has demonstrated the predicted increase of  $I_0$  value from 0.44 to 0.15 W.

PACS numbers: 42.55.Fa, 73.60.Fw, 78.45.+h, 78.30.Lb

The two-dimensional (2D) nature of electron motion in the quantum well (QW) structure introduces several unique features to semiconductor lasers. For instance, the threshold current  $J_{th}$  of QW lasers is found less temperature sensitive than that of conventional double heterostructure (DH) lasers.<sup>1,2</sup> Such improved behavior of  $J_{th}$  is ascribed to the change in the state density  $\rho_c(E)$  of electrons, which is brought forth by the decreased dimensionality of the free-electron motion from 3D to 2D. Consequently, further improvements are expected if one modifies the form of  $\rho_c(E)$ . In this letter, we propose and analyze a new type laser, "the multidimensional (1D or 2D) quantum well (MD-QW) laser" as an extension of the conventional QW laser, which we call 1D-QW laser, hereafter. The most remarkable feature to be shown is that  $J_{th}$  of MD-QW laser is much less temperature sensitive than that of the 1D-QW laser. We show, further, that a conventional DH laser placed in a strong magnetic field behaves as a 2D-QW laser and the observed temperature sensitivity beyond discussion in accordance with our theoretical prediction.

Figure 1(a) shows an illustration of the active layer in conventional DH lasers, in which the  $x$  axis is taken normal to the active layer. 1D-QW lasers are realized by reducing the thickness  $L_z$  of the active layer to the order of the de Broglie wavelength  $\lambda_d$  of carriers, as shown in Fig. 1(b). MD-QW lasers are defined as lasers, in which not only the thickness  $L_z$  but also the length  $L_y$  and/or the width  $L_x$  are reduced down to the order of  $\lambda_d$ , as shown in Figs. 1(c) and 1(d). Although the fabrication of such structures as present is still technically difficult even with the most advanced device technology, 1D-QW or 2D-QW structures can be effectively achieved if we place conventional DH lasers or 1D-QW structures in a strong magnetic field, in which the electron motion is confined in two dimensions, as will be discussed later. To achieve the efficient population inversion and thus the efficient optical confinement, a number of mutually isolated quantum wells should be stacked in practice, so that the group of QW occupies the volume identical with the active layer of the conventional DH laser.

As the dimension of QW increases from 1D to 2D or 3D, the degree of freedom in the free electron motion de-

creases, leading to a change in  $\rho_c(E)$ . For the (3-D) dimensional electron gas in the  $i$ -dimensional QW,  $\rho_c(E)$  is expressed as follows:

$$\rho_c^{(3D)}(E) = \frac{(2m/\hbar^2)^{3/2}}{(2\pi)^3} \sqrt{E}, \quad (1)$$

$$\rho_c^{(2D)}(E) = \frac{m}{\pi \hbar^2 L_z} H(E - \epsilon_0), \quad (2)$$

$$\rho_c^{(1D)}(E) = \frac{(m/\hbar^2)^{1/2}}{2L_z L_y L_x} \sum_{n=1}^{\infty} \delta(E - \epsilon_n), \quad (3)$$

$$\rho_c^{(0D)}(E) = \frac{1}{L_z L_y L_x} \sum_{n=1}^{\infty} \delta(E - \epsilon_n), \quad (4)$$

where  $m$  is the electron effective mass,  $\epsilon$  is the energy measured from the conduction-band edge  $E_c$ ,  $\hbar$  is Planck's constant,  $H(E)$  is a unit step function with  $H(E < 0) = 0$  and  $H(E > 0) = 1$ , and  $\delta(E)$  is the delta function.  $\epsilon_0$ ,  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ , and  $\epsilon_3$  denote the quantized energy levels with the quantum numbers  $n=1, 2$ , and  $3$ , respectively, over which summation should be carried out. In case the potential barrier is sufficiently high, the quantized levels are given by  $\epsilon_0 = (\hbar^2 \pi^2 / 2m) (L_z / L_z)^2$ ,  $\epsilon_1 = (\hbar^2 \pi^2 / 2m) (L_z / L_z)^2$ , and  $\epsilon_2 = (\hbar^2 \pi^2 / 2m) (L_z / L_z)^2$ . Note that  $\rho_c^{(2D)}$ ,  $\rho_c^{(1D)}$ , and  $\rho_c^{(0D)}$  are very different from the parabolic state density  $\rho_c^{(3D)}$ ; similar behavior is also expected for the hole density  $\rho_v(E)$ .

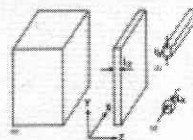


FIG. 1. Illustration of heterostructure layers for the conventional DH laser, 1D-QW laser, 2D-QW laser, and 3D-QW laser.

0003-6951/82/0000-0000\$01.00 © 1982 American Institute of Physics

図3 荒川、榊により提案された量子ドットに関する最初の論文 (Applied Physics Letters, vol. 40, 939, 1982年)。現在この論文の引用回数は1100回を越えている。

カドニウムセルナイドの量子ドットです。黒い粒が量子ドットですが、これは大変安価にできます。応用は、ここにありますようにライフサイエンス、あるいはバイオへの応

用という、どちらかというとソフトマテリアルとしての応用が期待されます。

(スライド)

最近、「量子ドット」という会社が米国にできております。この会社では、今のコロイダルの量子ドットに他の物質を重合させています。これを生体内に入れ、例えばがん細胞のところの組織に付着させ、外から光を当てると量子ドットの量子化レベルに相当した色の光が出るということで、がん細胞のマーカーを開拓しています。一番右のここが発光しているところであります。

このように量子ドットは、単にネットワークデバイスあるいはエレクトロニクスをのみの展開ではない広がりを持っているわけですが、ここでは、やはりエレクトロニクス応用に絞りたいと思います。

(スライド)

先ほど不連続性ということを申し上げましたが、この図が一つの例です。これは半導体レーザの閾値電流密度の変遷を年でプロットしています。閾値電流密度は低ければ低いほどいいわけでありです。

1970年にダブルヘテロ接合という構造が導入されています。これは薄膜をサンドイッチ構造したものであります。ただし薄膜といっても100ナノメートルぐらいの厚さでありますけれども、これによって閾値電流が大きく下げることが出来ます。これによって半導体レーザの室温連続発振が可能になりました。

さらに、いくつか不連続な変化があります。1980年には、量子井戸という10ナノメートル程度の薄膜構造を半導体レーザに取り入れたとたんに、一気に下がりました。今、量子ドットを半導体レーザに取り込むことにより、さらに大幅に閾値電流を下げることが出来ます。実際、世界最低閾値電流を達成しているのは量子ドット構造を有するレーザです。このように、ナノ構造を用いることによって、半導体レーザの発展に不連続な進歩がもたらされたわけですね。

(スライド)

さて、ナノテクを情報通信デバイスへ展開し、デバイスの革新をはかることを目的として、昨年度から文部科学省の大型プロジェクトを生産技術研究所を中心に発足させていただきました。推進母体としましては、ナノエレクトロニクス連携研究センターがあります。その詳細につきましては、お手元にパンフレットを配布させていただいておりますので、そちらを後ほど参考にしていただきたいと思います。このプロジェクトは、次世代のナノフォトニックデバイスの開発を重点的に行うものでありまして、経済産業省のプロジェクトとの連携により、産業界と緊密な協力のもとで展開を図っております。

このプロジェクトでは、ナノ構造、具体的には量子ドッ

文部科学省プロジェクトおよび経済産業省プロジェクトの集中研として、  
産学連携で次世代ナノフォトニックデバイスを開発 (2002-2006)

- ①量子ドット形成技術開発
- ②フォトニック結晶形成技術開発
- ③光・電子物性制御技術
- ④ナノフォトニックデバイス技術開発

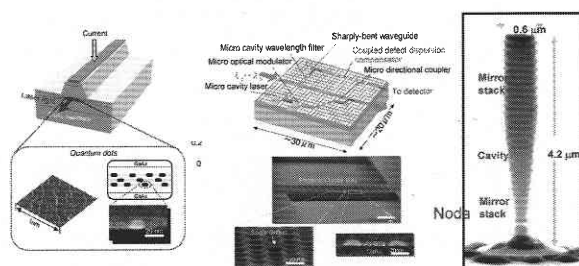


図4 ナノエレクトロニクス連携研究センターにおいて推進される文部科学省・RR2002・ITプログラム・世界最先端IT国家実現重点研究開発プロジェクト「光電子デバイス技術の開発」の概要。

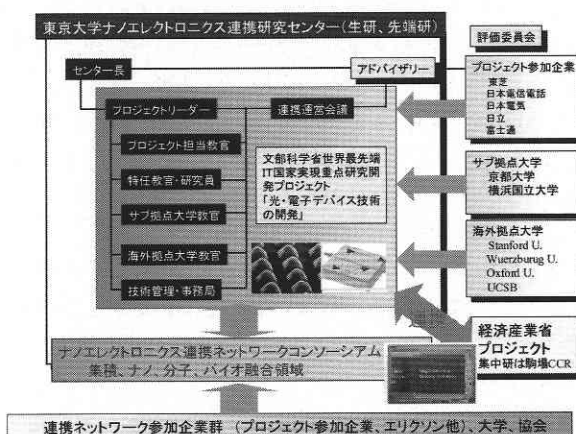


図5 ナノエレクトロニクス連携研究センターの構成図

トとフォトニック結晶ですが、これをきちんとつくりあげる技術の開発、そしてそれらを駆使して光と電子の性質を制御し尽くすための物性制御、さらには、これに基づいてナノフォトニックデバイス技術開発を行うことを目標としています。

本プロジェクトは、富士通、日立、東芝、NTT、NECなどの産業界、京大、横浜国大などの国内大学拠点、Wuezburg大、Oxford大、Stanford大など海外拠点との緊密な連携のもとで推進されています。本プロジェクトを通じて、20年前に東京大学で生まれた量子ドットについて、基礎研究をさらに行うとともに、実用化に向けてその創始者として責任を果たしたいと考えています。

いまちょうど1年が終了したところでありまして、報告書を書き始めているところでありますが、すでに重要な成果がいくつか出ております。例えば東京大学と富士通との

共同研究として、実用・量産化で大変重要な有機金属気相成長法で量子ドットレーザを作製し、この方法としては世界最小の閾値電流を達成しております。また、量子ドットとフォトリソ法を組み合わせたとような構造などもつくっております。次世代のデバイスの開発に向けて着々と1年目の所要の成果は達成したと考えております。

(スライド)

いまデバイスをつくったと申し上げたのですが、実はまだまだ基礎的なところで私ども解決をしていかないといけない問題があります。例えばこの図は、横軸が立方体状の量子ドットの寸法の揺らぎ率です。縦軸は微分利得というものでありまして、この値の平方根にレーザの変調帯域幅、厳密に言えば緩和振動周波数が比例します。したがって、この値が大きい方が望ましいことになります。揺らぎが0のときは、量子ドットレーザ (QWB) の変調帯域幅が、量子井戸レーザ (QW) と比べて圧倒的に大きくなります。そういう意味で量子ドットレーザはわけでレーザの高速化に重要な役割を果たしますが、いったん寸法の揺らぎがあると、その効果が大幅に低減されます。したがって、寸法をそろえるというのは大変重要な技術になっております。そういうことで、むしろ結晶の素過程をきちんと把握したうえで、われわれこの問題を解決していくということを考えております。

これにつきましては、物質材料機構から来られた塚本客員助教授が大変がんばっております。いま新しい装置のもとで展開を図っているところであります。

(スライド)

そういうことで、様々な技術の解決をこのプロジェクトの中で図りながら、最終目標であります量子ドットデバイスの実用化に向けた実証をきちんとこの5年間でやりとげていきたいと考えているわけでありまして。

(スライド)

こういうプロジェクトのなかで、私どもは次のナノフォトリソデバイスの中に組み込むデバイス群の基本的な要素として、量子ドット、フォトリソ法、そしてマイクロメカニカルシステムを融合するというのが一つ重要な要素技術になるであろうということを確信として持っております。その意味で現在、この三つの要素の融合につきまして鋭意研究を進めているところであります。

残り時間で、このような視点に立脚した研究について具体的な研究成果の一端をご説明したいと思います。

これは、オブティカル MEMS といわれるものがありまして、フォトリソネットワークにおいて、ミラーを動かすことのより光スイッチングを行うというものであります。一方、フォトリソ法と MEMS あるいは NEMS (ナノ・エレクトロ・メカニカル・システム)、これを組み合わせるということでフォトリソ NEMS という分野がありう

るのではないかと思います。最近一生懸命研究を進めています。また量子ドットと組み合わせることによりまして、量子制御 MEMS (NEMS) ということによって位置付けられるのではないかと考えております。

(スライド)

皆さんご承知のとおり、フォトリソ法は、フォトリソネットワークにおけるルータ等で大変重要な役割を果たします。具体的にはここで光のスイッチングを行って光信号の通るパスを変更する機能の実現をはかることが重要な課題になっています。

(スライド)

これは NEC で作製されたフォトリソ法結晶を上から見たものであります。これがフォトリソ法結晶の部分で、これはライン・ディフェクトと呼ばれる導波路であり、ここに入りますとフォトリソ法結晶の周期を感じます。ただし、このような構造をスイッチング素子に応用するためには、どのようにスイッチング機能をつけるかということが大きな課題でありました。従来は、電圧をかけたりするというような技術が主流で、それに対する試みがあるわけですが、まだ成功しているわけではありません。

(スライド)

私どもは、助手の岩本君と一緒に MEMS を使ってフォトリソ法結晶のスイッチを行うことを提案して、そして実験を行ってきております。原理は極めて簡単で、それだけに実用性も高いものです。フォトリソ法結晶の上に板を近づけてやりますと、等価屈折率が変わるために、フォトリソ法結晶の性質が変化し、その結果スイッチング動作が可能になります。実際この図が示しますように、距離を変えてきますと、透過率が急に変化します。この手法は、キャピティとして共振器の性質を制御するためにも用いることが可能です。

(スライド)

最近、東大と NEC の共同研究としてこの動作原理を最近実験的に示すことができました。この図が示しますように、スイッチング動作の確認ができておりまして、これはフォトリソ法結晶における最初の光スイッチング動作の実験であると思います。

(スライド)

これにつきましては、私どもの生産技術研究所の年吉先生と藤田先生のグループとさらに集積化をめざして構造を現在開発しているところであります。そういうことで、いま一例としてフォトリソ法結晶と MEMS との組み合わせをご紹介します。

(スライド)

さて、次に量子ドットと MEMS の組み合わせ、すなわち量子制御 MEMS について述べたいと思います。この写真は、先ほどの量子ドットと井戸型ポテンシャルを示して

います。このような量子井戸では、量子化により量子化準位が形成されます。このような量子状態を外部から制御しようとしめると、従来電場や磁場をかけたりすることが考えられます。私どもはこれを、MEMSあるいはNEMSで制御することをアイデアとして持ち、実験的にも実証することができました。

(スライド)

ナノ構造の量子状態のMEMSによる制御は、助手の中岡君が主に担当している仕事です。

この図のように梁を設けます。梁の中で上のほうに量子ドットがあると、引っ張り応力を受けます。一方、量子ドットが下のほうにありますと、圧縮応力を受けます。すなわち応力が、場所によって違って来るわけですが、いずれにしても、このような梁のもとでは、歪を受けることになり、それにより量子状態が変化します。さらに、これにMEMS構造を取り入れることにより、歪の状態の変化を通じて量子状態を制御しようというのが基本的な発想です。

(スライド)

具体的にはここにありますように、MEMSの構造を作製します。具体的には、ガリウム砒素層の上にアルミ砒素層をつけて、そしてここに量子ドットの層をつけます。この状況で、ウェットな化学エッチングでパターン化されたアルミ砒素層の部分だけを取り除きますと、図のような梁の構造ができます。ここに電圧をかけると、静電気力によりこの梁が曲がり、新たな歪が誘起され、それに伴い量子ドット中の電子状態が変化します。

(スライド)

これまで作製を試みてきたいくつかのMEMS構造のSEM写真を示します。例えば、これは片方だけ固定されながら変形を受けていますが、梁の先端でもちゃんと量子ドットからの発光をみることができます。

これは、いわゆるエアブリッジ構造です。ここに量子ドットがあつて、ここを動かすようなものです。実際の実験は、この構造を使っており、これからお見せする結果は、この構造から得ています。

(スライド)

これはマイクロ・フォトルミネセンスという手法を用いて、100ナノメートル四方より狭い領域にレーザ光を照射し、そこからの発光を観測します。

(スライド)

これは発光スペクトルです。たくさんのピークがありますが、このピークの一つひとつの量子ドットからの発光に対応します。このスペクトルは、ある波長域を拡大したもので、このピークは一つの量子ドットから発光していることを示しています。このとき、MEMS構造に電圧を印加すると、このピークが少し動きます。これは5.5ボ

ルト印加して高エネルギー側にシフトさせ、また0ボルトに戻すと、ピークも長波長側にシフトします。

(スライド)

これは時間領域でパルス電圧を印加したとき、ピーク波長のシフトする様子を示している。最初は塑性変形も伴うが、最終的には、定常状態入り、パルスの繰り返しのしたがつて、量子状態も繰り返される。これにより、マイクロ・メカニカルなシステムにおいて、量子状態の制御できるということを実証しました。

(スライド)

実際、われわれ計算で比較しておりまして、ここの梁の力、そしてそれに変位などを計算しております。この変位に対して、量子ドットの電子状態が受ける効果をkp法にもとづくシュレディンガー方程式により解き、エネルギーシフトを計算しました。図に示しますように実験と計算がかなりよく合っています。

(スライド)

以上、MEMSと、あるいは力とフォトンと電子を融合させて、そして新しい量子状態をつくりあげるということをめざす一つの試みをご紹介したわけでございます。これまでMEMSと量子ドットあるいはフォトニッククリスタルの組み合わせだったのですが、もちろん量子ドットとフォトニック結晶の組み合わせについても鋭意取り組んでいます。要は、われわれのゴールというのは、いろいろな量子、すなわち電子、フォノン、光子、これら制御をNEMSを通じて行うということにあります。これにより量子と情報の融合を図っていくというのが大きな方向でございます。

以上、大変駆け足でございますけれども、ナノエレクトロニクス連携研究センターのこれまでの成果の簡単なレビューのごく一部と、それから少し具体的に力と量子の融合を図る試みの一端をご紹介させていただきました。今後、ナノエレクトロニクス連携研究センタにおける研究の推進により、ナノテクノロジーのIT分野での社会への還元を積極的にはかっていく所存です。皆さんの支援を期待しています。

ご清聴ありがとうございました。

#### □質疑応答

○質問 がんの治療にも効くとか。医学で言うと、コバルト60のガンマー線なんかがんの効果があるといいますが、どんなテクニックを使うと……、関連性というか。

○荒川 先ほどお見せしたのはカリフォルニア大学の実験の仕事ですが、要は、量子ドットという非常に小さな微粒子があるわけですが、これを体内に入れる。しかもその周りにある種の文章をつけておくと、がんとかある特定の場所と結合するような結果になります。その状態で外から光

を照射しますと、光を照射したときに量子ドットのサイズで決まる光のエネルギーに対応する発光を観測する側で確認することができるわけです。それを二次元的なイメージで見ていると、こちら辺ががんであるとか、そういうような認識ができるであろうということです。

もちろんこれはまだまだ開発の途中であると聞いておりますが、量子ドットのバイオ応用のひとつとして、あるいは医療応用としては大変興味深いものだと考えることができます。

○質問 NEMS で量子状態をコントロールするという話、とても興味深く聞かせていただきました。昔、機械から電子になんで変わったかという、機械的な強度が疲弊するから電子デバイスに変わって、それで電子に変わったわけ

です。それがもう一度 MEMS に変わった場合、疲労の問題とかそういう心配はないのですか。

○荒川 よく MEMS のデバイスで疲労の問題がいろいろ議論されていますけれども、オプティカル MEMS など見ていると、ほとんど問題がないようです。私どもの実験はいま化合物をやっておりますので、うまくいったりうまくいかなかったりしますが、シリコンの MEMS ですと大変安定してデバイスなどできているようです。実際プロジェクターで例のミラータイプの TI のプロジェクターが市販になっていますが、あれが壊れやすいという話はあまり聞きませんので、そういう意味では大丈夫だと思います。

(了)