

Japan Nanonet Bulletin 第8号：2003年 3月4日

■ ナノネットインタビュー：

東京工業大学量子効果エレクトロニクス研究センター 教授 小田 俊理 氏

ネオシリコン

～ 超微粒子がシリコンの常識を変える～

粒径わずか10nmのシリコンのボール。それが小田氏の創り出したナノクリスタルシリコン量子ドットだ。球体内部に見られる干渉縞は、全く欠陥のないシリコン単結晶の証し。周囲を囲むのはアモルファスのシリコン酸化膜だ。この酸化膜がトンネル電流を遮断し、電子が閉じ込められる。小田氏はこのボールを用いて、単一電子で動作する素子やメモリ等のデバイス開発を目指している。

実はこのボールは偶然の産物だ。1979年に物理学で博士号を取った小田氏は、化学の研究室に助手として着任し、アモルファスシリコンと出会う。当時、アモルファスシリコンは未解明な分、魅力的な研究対象だった。「アモルファスを作ろうという立場からすると、結晶はできてはいけないもの。それが、どうしてもアモルファスに結晶が混ざってしまうんです。この場合、アプローチの仕方は二つ。一つはどうしたら結晶ができないようになるか。もう一つは逆に、その結晶を何かに使えないか」。小田氏が選んだのは後者。まず手始めに、アモルファスに混じる結晶の成長を制御する手法を探った。そして、プラズマを使ってシリコンの材料となるシランガスを分解する過程で、時間の間隔を空けて水素を供給する手法を考え出した。結晶核の形成と結晶成長とを、時間的に分けてコントロールすれば、アモルファス中に望む大きさの結晶ができると考えたのだ。しかし、できてきたのは予想もしないもの。基板上には、大小様々なシリコンボールが降りつもっていた。その後の研究で、粒径や膜厚のコントロールが可能になった。現在、粒径は1nmのばらつきがあるものの、平均8nm、20Kという



小田 俊理（おだ しゅんり）氏

1974年 東京工業大学理学部物理学科卒業

1979年 東京工業大学大学院博士課程修了 工学博士

1979年 東京工業大学工学部像情報工学研究施設助手

1982 マサチューセッツ工科大学物理学科博士研究員 -83年

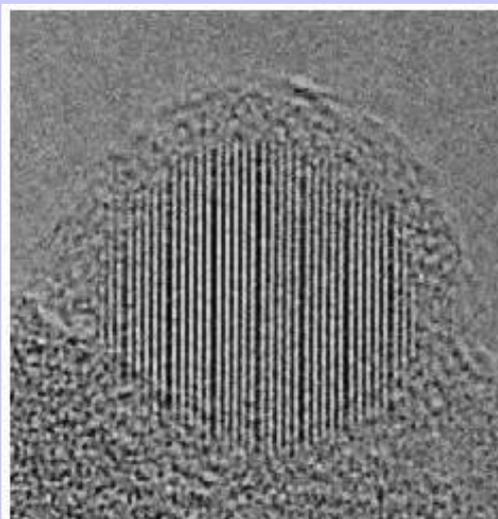
1986年 東京工業大学工学部電子物理工学科助教授

1995年 東京工業大学量子効果エレクトロニクス研究センター教授 -現在

低温下では、単一電子の制御に成功している。ただし、常温での量子効果を実現するには、次世代のシリコンボール、ネオシリコンを実現させなければならない。ターゲットとする粒径は3～4nm、周囲の酸化膜の膜厚は0.5～1nm。それを5nm程度の間隔で並べ、粒子間の相互作用をコントロールする必要がある。粒径や膜厚の制御以上に難しいのが、位置の制御だ。これほど小さなボールを並べるには、電子ビームで加工した基板では粗すぎる。現在、基板の化学修飾など複数の手法を検討中だ。

ナノクリスタルシリコン量子ドットのメリットは、結晶成長時に高温加熱が不要なこと。これほど完全な結晶を作るには、通常600℃以上の高温が必要だが、この場合、加熱はせいぜい100℃。現在は基板にシリコンウエハを使っているが、ガラスやプラスチックも可能だ。加えて、このボールは光る。一般にシリコンは光りにくいものだが、ナノクリスタルシリコン量子ドットは電子の閉じ込め効果により発光の確率がこれまでより桁違いに高い。「現在は赤い光が出るのですが、もう少し小さくすると緑や青の光が出るようになります。基板がプラスチックなら曲げられますから、色々な新しい用途が考えられます。例えば非常に安い使い捨てのディスプレイとか」。ただし、ナノクリスタルシリコン量子ドットの実用化にはまだ少し時間がかかると小田氏は言う。「むしろ、ネオシリコンを研究していく中で得た、極微細構造における酸化の特性等を、今のシリコンテクノロジーに反映させたいと考えています。10年20年先まで何も世の中に出ないというのではなく、2～3年くらいでフィードバックさせていきたい」。

小田氏の研究のスタートは物理学。「学生時代は、物理学さえ分かれば、何でも解決できるという信仰のようなものを持っていました。経済や心理学まですべてが解決できると。あらゆるものをエレガントな形で解決できるような体系を作りたいと思っていました」。それが次第に応用にも興味を引かれるようになり、大学院では応用物理、助手の時には化学、そして現在は電気と、少しずつ進路は変わってきている。「分野を移る時に必



10nm

図1 拡大

ナノクリスタルシリコン量子ドット直径10nmの球状シリコン単結晶、周囲は酸化膜で覆われている。単電子デバイスや高効率可視光発光、電子放出などの新機能を発現する。

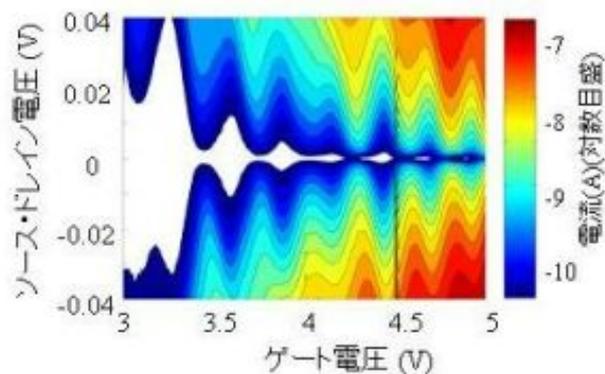
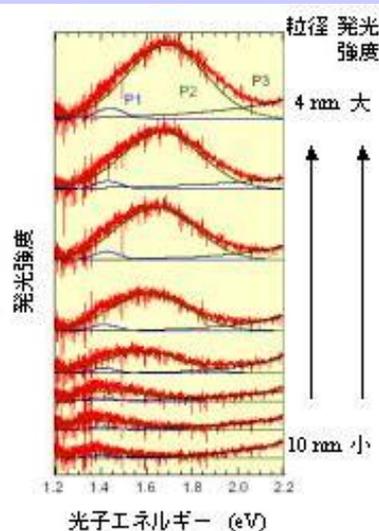


図2 拡大

電子1個で動く単電子トランジスタ
直径8nmのシリコン量子ドットを使った微細トランジスタ。波模様は電子が1個1個注入されることにより大きく電流を変調できることを示している。



ずしも明確な動機があったわけではないのですが、それまでと同じ方向に行くことは考えていなかったんです。とって、90度以上違う方向は大変なので、60度くらい違う角度から見てみたいと」。その経験が視野や守備範囲を広げたと感じている小田氏は、若い研究者にも研究室を移ってみてはと薦める。「ドクターでやってきたこととは、別の場所で別の分野に飛び込んで欲しい。そうすると、本人は新しい研究ができるし、受け入れた方も視野を広げることができる。どちらにとってもラッキーだと思うんです。一つの分野に浸っているのは、その分野の常識からなかなか抜けられません。シリコンのボールにしても、最初から作ろうと思っただけでは、とても作れなかったと思うんです。失敗は新しい発見の元です。失敗というのは今までの常識に合わないだけで、そこには今までの理論では説明できない新しい現象が隠れている。固定観念に囚われていては、失敗は失敗のまま。むしろ失敗の原因は何なのかを、更に追求してほしいですね」と語る。

(聞き手：コスモピア 石黒邦子)

図3 拡大

ナノクリスタルシリコンからの発光

粒径の縮小化により量子効果を反映して可視光発光強度が増大。シリコンベースの光デバイス、光集積回路の可能性。

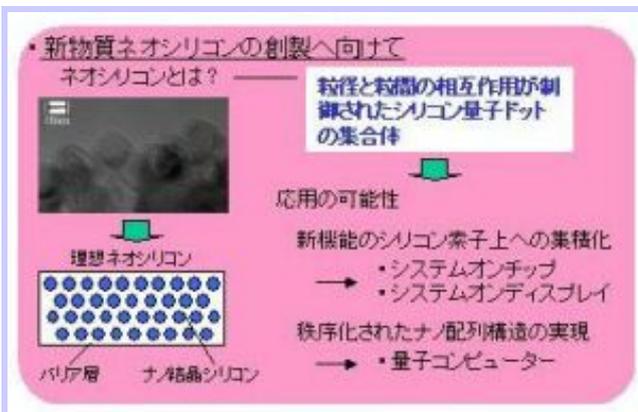


図4 拡大

新物質ネオシリコンの創製へ向けて

ナノ結晶シリコンの粒径と量子間隔を原子スケールで制御した「ネオシリコン」は、粒子内での量子サイズ効果と粒子間の量子トンネル効果により、電子輸送、光放出、電子放出特性などにおいて、従来の単結晶やアモルファスシリコンを超える新物質が期待できる第3のシリコン材料。

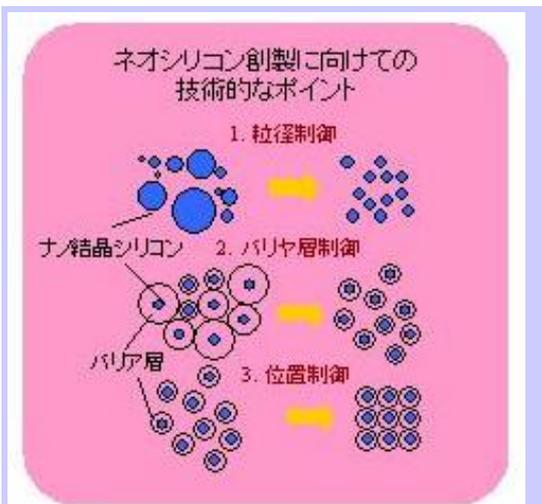


図5 拡大

ネオシリコン創製へ向けての技術的なポイント

[キーワード]

ナノクリスタルシリコン量子ドット

寸法が10ナノメートル以下のシリコン超微粒子結晶。3次元方向とも電子を閉じこめる量子効果のため、ふつうのシリコン単結晶とは全く異なる性質を示す。例えば、紫外線を当てると明るい可視光を出す。電圧をかけると電子を放出する。また、電荷の量子化のため、1個の電子のやりとりでトランジスタのスイッチやメモリ動作をさせることができる。ナノクリスタルシリコンの作製プロセスは、通常のシリコン集積回路製造設備を少し改造したものでよい。自由空間でシランガスをプラズマやレーザーで分解すると球状ナノクリスタルを形成できる。基板上でシランガスを熱分解すると、半球状のナノクリスタルができる。

Copyright(c) 2003, Nanotechnology Researchers Network Center of Japan, All Rights Reserved.

[ページの先頭へ▲](#)

当サイトに掲載の記事・写真・カット・画像等の著作権は当センターに帰属します。
運営：独立行政法人 物質・材料研究機構

[| お問合せ |](#)