

電子線誘起蒸着による 5nm 以下の任意形状ナノ構造の作製に世界で初めて成功

～ 世界最小の電子線によるナノ構造作製 ～

平成 15 年 3 月 24 日

独立行政法人物質・材料研究機構

1. 概要

独立行政法人物質・材料研究機構（理事長：岸 輝雄）の古屋一夫ディレクターらのグループは、有機金属ガスに収束した電子ビームを照射することで、5nm 以下の任意形状のナノ構造を作製することに世界で初めて成功した。

有機金属ガスに電子線を照射してナノ構造を作製する技術は古くから研究されているが、従来は 15nm 程度が最小であった。今回、使用する電子線の加速電圧¹⁾を、従来広く用いられていた 20～30kV から 200kV に大きく引き上げ、かつ電界放射型電子銃²⁾を用い、非常に収束した電子線を用いることで、これまでの限界を大きく下回る 5nm 以下のサイズを実現した。電子線を走査することで基板上に線幅 10nm 以下の任意の 2 次元的なパターンを描くことができるほか、空中に 3 次元的に成長させることも可能であり、微小デバイスの配線や、量子機能素子³⁾などの研究への応用が期待される。

この研究成果は、日本物理学会、日本応用物理学会、日本金属学会などで 3 月 28 日に発表される。

2. 研究背景と今回の研究成果

これまで、基板表面に有機金属ガスを流し、そこにイオンなどの粒子線や電子線を照射することで有機金属ガスを分解し、金属を局所的に蒸着する手法は様々な金属に対して広く研究されてきており、主に加速電圧が 30kV までの走査型電子顕微鏡を用いて行われてきた。しかし、それ以上の加速電圧を用いる場合は、電子線を発生、加速する電子銃の部分を高真空に保つ必要があるとともに、基板付近に流したガスが電子銃に影響を与えるという問題があったため、ほとんど行われてこなかった。また、これまで有機ガスの分解は、入射電子によって材料中で励起される 2 次電子によって起こると考えられており、その分布は 15nm 程度以下にはならないと考えられてきた。

今回、ごく微量のガスを試料近傍に導入できるようにガス導入系を改善した 200kV 電界放射型透過電子顕微鏡を用いることで、電子線の径を小さくし 2 次電子の広がりを押さえることにより、従来より小さなナノ構造を得ることに成功した。

今回の成果によりナノオーダーの構造をより容易に作製することが可能となり、微小デバイスや量子機能素子等のナノ研究全体に弾みがつくことが期待される。

3．研究成果の内容

シリコンの基板上有機金属ガスの一つであるタングステンカルボニル ($W(CO)_6$) を流し、200kV の電界放射型電子銃から得られた電子線を収束し、基板の任意の場所に照射する。図 1 に実施例を示す。一箇所に電子線を照射している時間を変化させながら走査し、様々なサイズのナノドットを位置制御しつつ蒸着した。図 1 (右) に得られたもっとも小さなナノドットの高分解能電子顕微鏡像を示す。基板のシリコンの結晶格子像の上に 5nm 以下のサイズのナノドットが観察された。

図 2 に 2 次元のパターンを描画した例を示す。写真は電子顕微鏡法の一つである、大角度走査透過暗視野法⁴⁾ という重い元素が非常に明るく写る手法で撮影したものである。

図 3 にカーボンメッシュ⁵⁾ 上に 3 次元的に作製されたナノ構造の例を示す。これは一筆書きに電子線を走査することで、空中に張り出た構造を作成することができるもので、このときの線の太さは最小 10nm 以下である。

4．波及効果と今後の展望

半導体において量子サイズ効果が顕著になる素子寸法は百 nm 以下程度であるのに対し、金属では数 nm でなければ量子効果が現れないが、このレベルでの加工技術が存在しなかったため量子機能素子の研究は半導体を用いて行われてきており、金属ベースでの量子機能素子の研究はあまり進んでいなかった。今回の成果は、金属ベースでの量子機能素子の研究の発展に大きく寄与するとともに、この手法を半導体素子の加工技術に応用していくことで、量子機能素子の研究全体に大きく貢献することが期待される。また、微小デバイスの配線や、ナノオーダーの機械などの様々な分野にも大きな波及効果をもたらすものと期待される。

今回得られたナノドットの構造はアモルファスであると考えられるが、今後、様々な照射条件や、ガスの種類、温度条件などによって構造がどのように変化するのかについて研究を行っていきたいと考えている。

用語説明

1) 加速電圧

電子顕微鏡において、どの程度小さなものが見えるかは電子線の波長に依存するが、電子線の波長は電子を加速する時の電圧に依存する。

2) 電界放射型電子銃

強い電場によって電子線を発生させる方式の電子銃であり、干渉性がよくかつ高輝度な電子線が得られる。

3) 量子機能素子

電子の量子力学的な振る舞いを利用した素子。

4) 大角度走査透過暗視野法

電子顕微鏡法の一つで、熱散漫散乱された電子により像を観察する手法で、材料中の原子種の違いを明確なコントラストの違いとして観察することができる。

5) カーボンメッシュ

粉末状試料の電子顕微鏡観察を行うときによく用いられるもので、3ミリ直径の銅の網に細かい穴の開いたカーボンの薄膜を貼り付けたもの。

(問い合わせ先)

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1 - 2 - 1

独立行政法人物質・材料研究機構

広報・支援室 TEL : 029-859-2026

(研究内容に関すること)

独立行政法人物質・材料研究機構

ナノマテリアル研究所ナノキャラクターゼーショングループ

ディレクター 古屋一夫 TEL : 029-851-3354 (内 5101) , E-mail : FURUYA.Kazuo@nims.go.jp

主任研究員 三石和貴 TEL : 029-851-3354 (内 5053) , E-mail : MITSUISHI.Kazutaka@nims.go.jp

主任研究員 下条雅幸 TEL : 029-851-3354 (内 5053) , E-mail : SHIMOJO.Masayuki@nims.go.jp

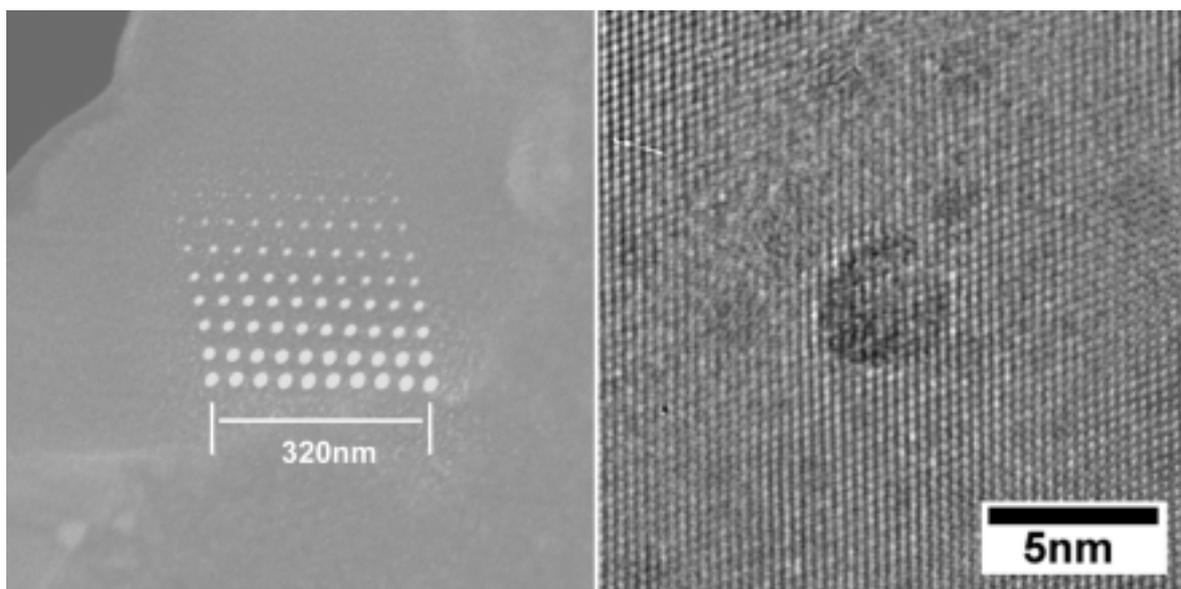


図 1

左：シリコンの基板の上に作製されたナノ構造の例。
一箇所に電子線を照射している時間を変化させながら
走査し、様々なサイズのナノドットを位置制御しつつ
蒸着した。

右：得られたナノドットの高分解能電子顕微鏡像。
基板のシリコンの結晶格子像の上に5nm 以下のサイズ
のナノドットが観察された。

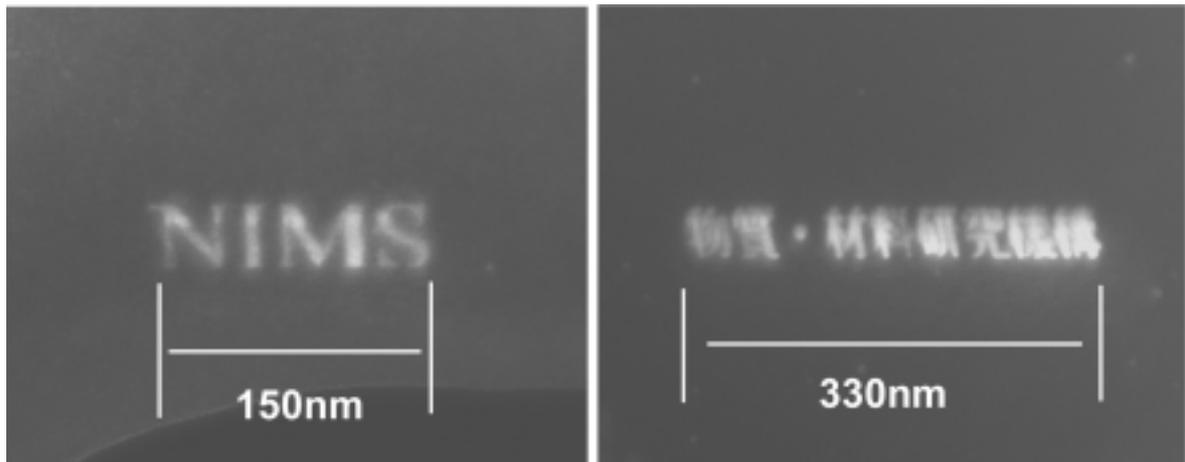


図2 2次元のパターンを描画した例。
大角度走査透過暗視野法という重い元素が非常に
明るく写る手法で撮影されたもの。

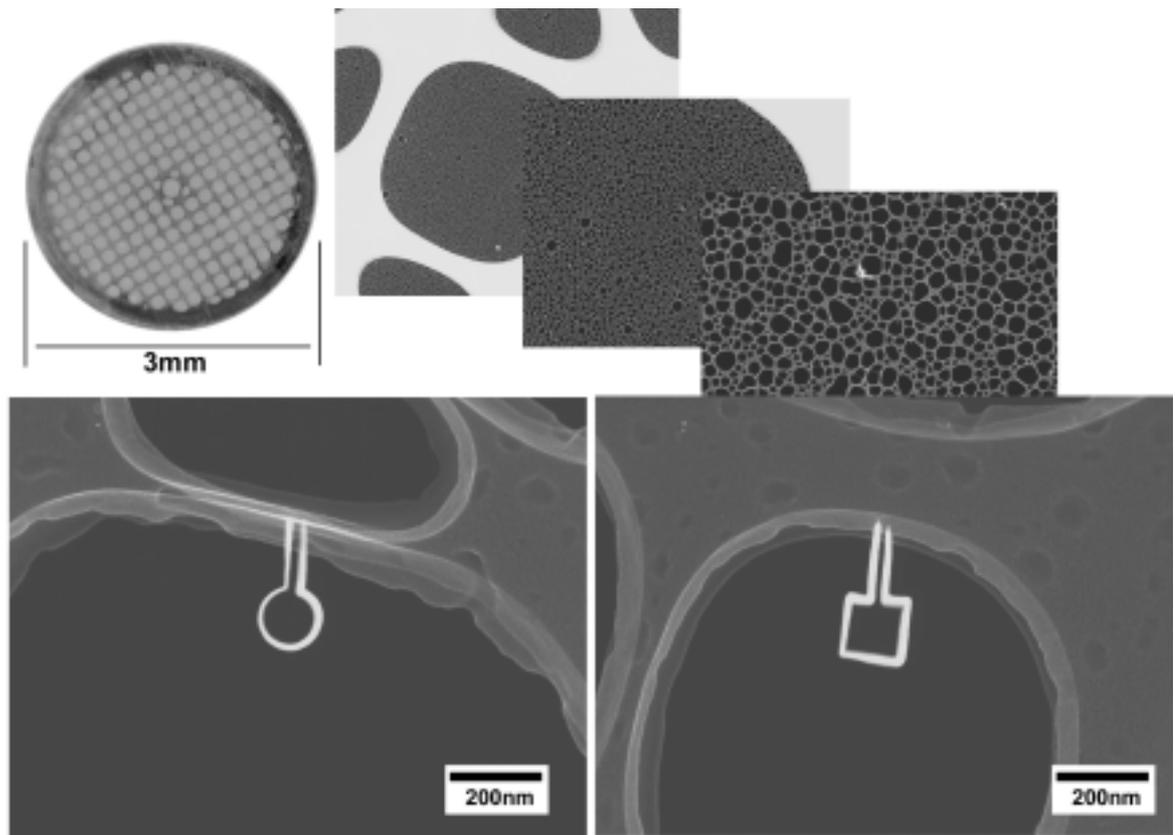


図3 3次元的に作製されたナノ構造の例。
一筆書きに電子線を走査することで、空中に張り出した構造を作成できる。