

厳守

発表解禁日時

2008/ 10/ 17

AM 3:00

Science (10月17日号) に関するプレスリリース

平成20年10月14日

大阪大学 大学院工学研究科

独立行政法人 物質・材料研究機構

‘単原子ペン’によるナノパターニングに初めて成功

—ドーパントの単原子位置制御に道—

大阪大学大学院工学研究科の杉本 宜昭特任講師、阿部 真之准教授、森田 清三教授のグループと独立行政法人物質・材料研究機構の Oscar Custance グループリーダーは、科学技術振興機構など^{注1}と共同で、表面の特定の位置に異種の単原子を埋め込む技術を開発した。この技術は、鋭い針先端の単原子と表面の単原子との交換現象に基づいており、これを高精度に制御することにより、原子レベルのパターンを表面に自由に作製できるようになった。本研究は、室温環境下で行われており、半導体デバイスにおけるドーパント原子の精密な配置やナノデバイスを原子1つ1つから組み立てるボトムアップナノテクノロジーへ応用可能である。本研究成果は米国の科学雑誌 Science (10月17日号) に掲載される。

半導体微細加工技術に基づく高度なエレクトロニクスは、我々の生活に必要不可欠なものとなっている。現在では、ドーパント原子の分布がデバイスの特性に影響を与えるまでにマイクロ化が進行している。さらなるデバイスの向上のためには、ドーパントを単原子レベルで精密に配置する技術が必要となる。そこで本研究では、表面の個々の原子を画像化できる原子間力顕微鏡 (AFM) ^{注2}を用いて、**AFMの探針先端の原子を表面の特定の位置に埋め込む技術を開発した**。室温 AFM を用いて実験を行い、試料としてシリコン基板上に単原子層成長させたスズ表面、鉛表面、インジウム表面を用いた。

我々は、図1に示すように、AFMの探針を表面の目標の原子に精度よく近づけると、**探針先端の1個の原子と表面の1個の原子とが交換する現象を発見した**。これによって、探針先端の異種原子を表面へ高速で埋め込むことが可能になる。AFMでは、探針先端に作用する力を測ることができるため、探針を目標原子に近づける際、原子交換に伴う相互作用

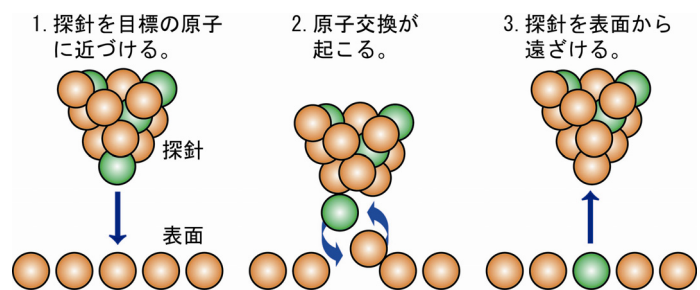


図1

力の変化を検出することによって、原子交換現象を制御できる。この原子交換に基づく新しい原子操作は、次に示す2つの技術によって初めて可能になった。

1. 探針の表面原子上での高精度な位置合わせ (水平位置精度: $\pm 0.1 \text{ \AA}$)
2. 探針先端と表面原子との間に働く相互作用力の高感度な検出 (力検出感度: 10 pN ^{注3})

この原子操作が再現性よく行えることを示すために、スズ (Sn) 表面に探針先端から1つずつシリコン (Si) 原子を埋め込むことによって、図2に示すように、シリコンの元素記号である「Si」という原子文字を埋め込んだ Si 原子を並べて作製した。探針先端に様々な原子を付着させることによって、様々な原子種を表面に埋め込むことができるため、半導体でのドーパント原子の精密な配置など^{注4}へ応用することができる。

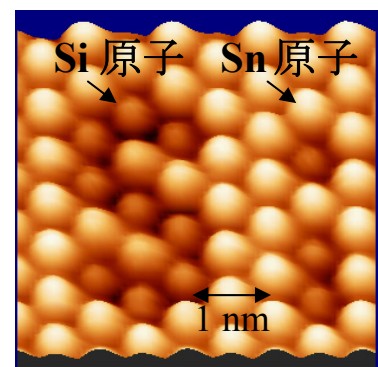


図2

<脚注>

- 注1 原子交換のメカニズム解明に関して、マドリッド自治大学の R. Perez、P. Pou とチェコ科学アカデミーの P. Jelinek と共同研究を行った。
- 注2 原子間力顕微鏡 (Atomic force microscope: AFM) は、絶縁体にも応用できる点で応用範囲が広い顕微鏡で、探針がついたテコと呼ばれる力センサーを用いて表面の上をなぞり、探針先端と表面原子との間に働く相互作用力を測定することによって、個々の原子を「見る」ことができる顕微鏡である。
- 注3 N (ニュートン) は力の単位。一円玉を手のひらに載せたときに手が受ける力が約 0.01 N であるので、10 pN はその力の 10 億分の 1 の大きさに過ぎない微小な力である。
- 注4 半導体の特定の原子サイトに異種原子を埋め込む技術は、以下に示すように様々な応用が考えられる。例えば、(1) トランジスタのチャンネル部分にドーパント原子を精密に配列することによって、その特性を飛躍的に向上させる応用、(2) スピントロニクスで重要な希薄磁性半導体中の磁性単原子を精密に配列することによって、スピン間の相互作用を制御する応用、(3) さらに、これまでの古典的コンピュータでは不可能であった超高速並列計算を可能にする量子コンピュータへの応用も考えられる。その有望な候補であるシリコン量子コンピュータ実現の鍵として、シリコン基板中に1つ1つのリン原子を原子レベルの正確さで配列することが挙げられているが、本研究によって、この最大の障壁を突破する可能性が高い。

<謝辞>

本研究は文部科学省の科学研究費補助金、科学技術振興機構さきがけ、アトミックテクノロジー創出事業、大阪大学大学院工学研究科附属フロンティア研究センター、大阪大学グローバル COE プログラム、大阪大学大学院工学研究科グローバル若手研究者フロンティア研究拠点、等の研究協力・支援を受けて行ったものです。

<掲載論文>

Complex patterning by vertical interchange atom manipulation using atomic force microscopy

Yoshiaki Sugimoto, Pablo Pou, Oscar Custance, Pavel Jelinek, Masayuki Abe, Ruben Perez, and Seizo Morita

Science Vol.322 (2008) issue 5900 (10月17日号)

<本件に関するお問い合わせ先>

大阪大学大学院工学研究科

特任講師 杉本 宜昭 E-mail: ysugimoto@wakate.frc.eng.osaka-u.ac.jp TEL: 06-6879-7763

准教授 阿部 真之 E-mail: abe@eei.eng.osaka-u.ac.jp TEL: 06-6879-7762

教授 森田 清三 E-mail: smorita@eei.eng.osaka-u.ac.jp TEL: 06-6879-7761

Homepage: <http://www.afm.eei.eng.osaka-u.ac.jp/jp/index.html>

独立行政法人物質・材料研究機構 ナノ計測センター (※CUSTANCE.Oscar は日本語での電話対応可)

グループリーダー オスカー クスタンス Oscar Custance E-mail: CUSTANCE.Oscar@nims.go.jp TEL: 029-859-2772

Homepage: <http://www.nims.go.jp/ancc/group/nanomechanics/Pages/index.html>

(不在時の対応)

ナノ計測センター長 藤田 大介 E-mail: FUJITA.Daisuke@nims.go.jp TEL: 029-859-2741