

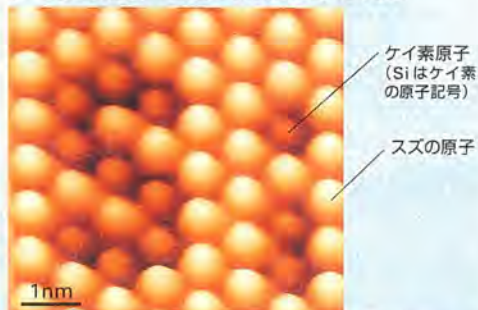
### ねらった原子を、別の原子と置きかえることに成功

特殊な顕微鏡を使うと、原子1個をつかみとり、ねらった位置に「置く」ことができる。ただし原子が熱による振動で飛びださないよう、低温に保つ必要があった。2008年10月、大阪大学の研究チームは、ねらった原子を取りだして、ほかの原子に「置きかえる」ことに成功したと発表した。周囲の原子と結合させてうめこむため、室温で安定して処理が進むという。応用が期待される「原子を組み立てる技術」を紹介しよう。

協力

森田清三 大阪大学大学院工学研究科教授  
阿部真之 大阪大学大学院工学研究科准教授  
杉本宜昭 大阪大学大学院工学研究科特任講師

### ケイ素の原子で書かれた「Si」の文字



### 原子をおきかえるしくみ

1. 針を近づける
2. 原子の間で斥力がはたらき、置きかわる

3. 二つの原子が、それぞれ周囲の原子と結合する



1990年、IBM株式会社は、ニッケルの平面の上にキセノンの原子を置き、字を書くことに成功した。ただしこのとき、表面は約マイナス269度Cに保たれていた。置いただけの原子は、わずかな熱の振動で、すぐに飛びだしてしまうからだ。

一方、私たちの身のまわりの固体中の原子も熱によって振動しているが、飛びだすことはほとんどない。これは、固体中の原子同士がたがいの電子を共有して結合しているためだ。このように、1個の原子を単に「置く」のではなく、まわりの原子と「結合させる」ことができれば、室温で原子を自由に並べることができる。

大阪大学の森田清三教授らは、スズの固体表面から、ねらったスズの原子を取りはずして、ケイ素の原子に置きかえる技術を開発した、とアメリカの科学雑誌『Science』10月17日号で発表した。置きかわったケイ素は周囲のスズと結合するため、室温で作業できるという。森田教授らは、スズの原子が並ぶ表面に、ケイ素の原子で「Si (ケイ素の元素記号)」と書いた画像を公開している。

### 原子と原子の間にはたらく力を感じとる

今回の技術には、「原子間力顕微鏡 (AFM)」という、原子1個まで探知できる顕微鏡が応用された。AFMは、観察したい表面に針を近づけて、針先の原子と表面の原子の間にはたらく力 (原子間力) を真空中ではかることで、原子の位置を探知する顕微鏡である。この針の先端には、わずか1個の原子しかない。

AFMが利用する「原子間力」は、

原子の間の距離によって2種類に分けられる。二つの原子を近づけていくと、まず、たがいに引き合う力 (引力) が強くなっていく。ところが近づけすぎると、今度は反発する力 (斥力) が生じはじめるのだ。

AFMで観察するときは、針先と表面の間の弱い引力を利用する。ところが森田教授らは、針先の原子をさらに表面の原子に近づけて、適度な斥力を生じさせた。すると、表面にあったスズの原子と、探針の先のケイ素の原子が入れかわったという。

### 動きまわる“暴れ馬”を乗りこなす

今回の成果に至るまでには、大きな問題があった。物質は、その温度の変化にあわせてわずかな膨張・収縮をくりかえしている。たとえば1立方センチメートルのスズの固体は、温度が1度C上がると約100ナノメートル (ナノは10億分の1) 膨張する。一方AFMは、1ナノメートルほどのスズ原子をとらえるほど視野がせまい。わずかな温度変化による膨張・収縮によって、見たい範囲がすぐに視野から外れてしまうのだ。この現象を「熱ドリフト」という。

森田教授らは、熱ドリフトのパターンにあわせて針を動かし、見たい範囲を追いかけつづける技術を開発した。こうして、きびしく温度を管理しない室温下でも、決まった範囲をとらえつづけ、ねらった原子を効率よく置きかえることに成功した。

「将来は、シミュレーションでみちびきだした新しい分子を、実際に組み立てる技術に発展させたいと考えています」(森田教授)。

(担当：編集部 市田朝子)

上は、スズ原子の平面で、一部のスズ原子をケイ素原子に置きかえて書いた「Si (ケイ素の元素記号)」の文字。原子間力顕微鏡 (AFM) で画像化した。下は、AFMの探針で原子を置きかえるしくみ。針を近づけ、針先の原子と表面の原子との間に適度な斥力が生じると、原子が置きかわる。