

二種類の原子が交互に並んだ原子の鎖



千賀 亮典

せんが りょうすけ
ryosuke-senga@aist.go.jp

ナノチューブ応用研究センター
カーボン計測評価チーム
研究員
(つくばセンター)

原子一つ一つを直接「見る」ことは、材料を「知る」上で最も重要な技術です。私たちは世界最高峰の電子顕微鏡技術を通じて単原子レベルで起こるさまざまな物理現象を解き明かし、新たな材料の可能性を切り拓こうとしています。

関連情報：

● 共同研究者
劉 崢、末永 和知（産総研）

● 参考文献

R.Senga *et al.*: *Nature Materials*, 13, 1050-1054 (2014).

● 用語説明

* 環状暗視野 (ADF) 像：走査透過電子顕微鏡像の一種。軽い原子は暗く、重い原子は明るく見える。

● プレス発表

2014年9月16日「二種類の原子が交互に並んだ原子の鎖を初めて合成」

● この研究開発は、独立行政法人 科学技術振興機構 (JST) および、独立行政法人 日本学術振興会科学研究費助成事業の支援を受けて行っています。

電子デバイスの材料として現在期待が寄せられているのが、原子数個分の幅や厚みしかない低次元材料です。私たちは今回、カーボンナノチューブ内部にセシウム (Cs) とヨウ素 (I) が交互に一列に並んだイオン結晶性の原子鎖を合成することに成功し、これを高分解能電子顕微鏡で解析することで一次元特有の新たな物理現象を発見しました。

CsI 原子鎖の特異な物理特性

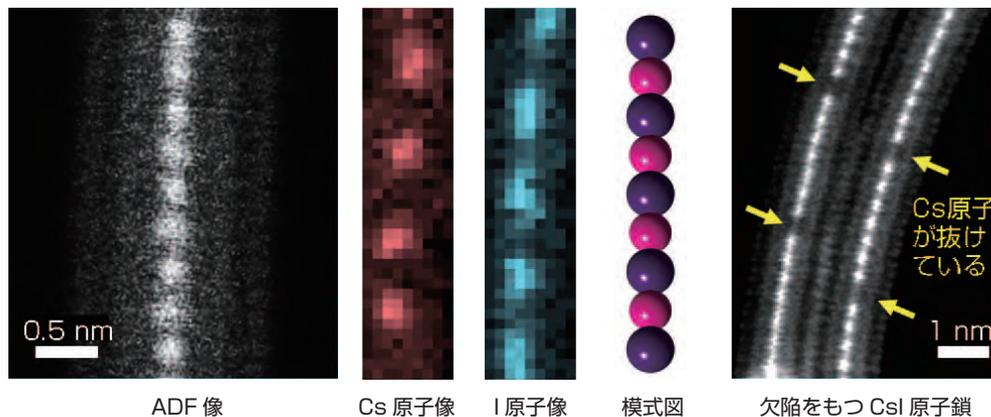
今回開発した技術は、カーボンナノチューブ内部の微細空間を利用することで原子が一列に整列した真の一次元物質を合成する技術です。これによりセシウム (Cs) とヨウ素 (I) の二種類の元素が交互に並ぶ原子鎖を合成しました。図は CsI 原子鎖の環状暗視野 (ADF) 像* と電子エネルギー損失分光法 (EELS) によって得られた Cs と I それぞれの元素マッピングです。このような単純で理想的な構造を実際に作製し、観察に成功したという報告はこれまでありませんでした。

通常、ADF 像では原子番号が大きいものほど明るく見えますが、今回の CsI 原子鎖では Cs (原子番号 55) より I (原子番号 53) の方が明るく見えています。これは陽イオンである Cs イオンがより活発に動いているため、大きな三次元の結晶の中では起こりえない陽イオンと陰イオンの動的な挙動の違いを示しています。また、Cs 原子一つ、あるいは I 原子一つが原子鎖から抜けた場所 (欠陥) があることもわかりました (図右)。

こうした CsI 原子鎖の特異な振る舞いや構造は、各種物理特性に影響を及ぼします。密度汎関数法を用いて CsI 原子鎖の光吸収スペクトルを計算したところ、量子化され離散的なピークをもつことや、光に対する応答が入射方向によって異なることがわかりました。また、欠陥をもつ CsI 原子鎖の電子状態として、I 原子が抜けた場所は電子を放出しやすいドナー準位を、Cs 原子が抜けた場所は電子を受け取りやすいアクセプタ準位をそれぞれもつことがわかりました。これら三次元の結晶では見られないユニークな物理特性を利用することで、例えば CsI 原子鎖中の欠陥一個からの発光を利用した微小光源や光スイッチなど、新規の電子光学デバイスへの応用が期待できます。

今後の予定

今後は応用に向けて、CsI 原子鎖の各種物理特性の詳細な検討を行っていきます。また、この技術を CsI だけでなくほかの材料系にも応用し、さまざまな元素を組み合わせた新たな材料の開発にも取り組んでいきます。



二層カーボンナノチューブ内部に合成された CsI 原子鎖

左から、ADF 像、Cs および I の元素マップ、構造模式図、欠陥をもつ CsI 原子鎖の ADF 像