

## 金ナノワイヤ伝導特性と機械的性質の相関

金ナノワイヤは、断面を構成する原子の数がおよそ 10 個以下になると、室温でも量子化された電気伝導を示すことが最近の研究で明らかになってきた。ただし、このような量子伝導を示す金ナノワイヤは、そのワイヤ軸方位が面心立方晶である金結晶の  $\langle 110 \rangle$  方位であることがわかっている。一方、他の方位のワイヤ軸をもつ金ナノワイヤの電気伝導については、明らかにされていなかった。最近、東京工業大学の 大島義文氏、久留井慶彦氏（現、株東芝）、高柳邦夫氏は、 $\langle 111 \rangle$  および  $\langle 001 \rangle$  方位のワイヤ軸をもつ金ナノワイヤが量子伝導を示さないことを明らかにするとともに、金ナノワイヤの伝導特性と機械的性質にある相関があることを見出した。この研究成果は、日本物理学会発行の英文学術誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2010 年 5 月号に掲載された。

本実験では、金ナノワイヤの構造を原子レベルで観察すると同時に、その電気伝導を計測するため、超高真空透過型電子顕微鏡に小型の走査型トンネル顕微鏡 (Scanning Tunneling Microscopy) を組み込んだ装置を用いている。顕微鏡内は、炭素や酸素などの分子やガスなどによる影響を排除するため、 $10^{-7}$  Pa (パスカル) 台という超高真空に保たれている。

$\langle 111 \rangle$  方位のワイヤ軸をもつ金ナノワイヤは、図(a)に示すように、ワイヤ軸に沿って  $\{111\}$  格子が積層した構造で、くびれをもつ。このワイヤは、対称性を考慮すると、4 つの  $\{111\}$  面からなる四角錐の 2 つの頂点を結合した形状である (図(b))。このワイヤを引っ張る過程を調べると、 $0.24\text{nm}$  引っ張る毎に電気伝導が階段状に変化することを見出している (図(c))。同時に観察した TEM 像より、この階段状変化と同時にワイヤ軸に垂直な  $\{111\}$  格子が 1 層導入することを見出している (図(d))。一方、階段状変化の間 (弾性変形の領域に相当する)、電気伝導がゆるやかに減少している。したがって、 $\langle 111 \rangle$  方位のワイヤ軸をもつ金ナノワイヤは、明瞭な量子化伝導を示さないと結論した。

さらに、 $0.24\text{nm}$  がちょうど  $\{111\}$  格子間隔に相当することから、 $\langle 111 \rangle$  方位のワイヤ軸をもつ金ナノワイヤは、その断面のサイズに関係なく、 $\{111\}$  格子 1 層が入る空間ができるまで弾性変形すること、そして、 $\{111\}$  格子 1 層が入ることで塑性変形するという機械的性質をもつことを見つけた。この機械的性質は、量子化伝導を示す  $\langle 110 \rangle$  方位のワイヤ軸をもつ金ナノワイヤと異なる。 $\langle 110 \rangle$  の場合、塑性変形は、周期的に起こらず、およそ  $0.05\text{ nm}$  以下という小さな引っ張りでも起きているからである。したがって、金ナノワイヤの伝導特性が機械的性質と相関をもつことを結論している。

金属ナノワイヤは、室温量子伝導など新しいデバイスの要素として注目されているが、その物性の解明が遅れているため、制御することができないという問題点を抱えている。特に、磁性ナノワイヤの場合、実験するグループによって異なる結果が示されており、

混沌とした状況にある。一方、本論文は、これまでほとんど議論されていなかったワイヤ軸方向によって機械的性質が異なることを明らかにした点、そして、この機械的性質が伝導特性と相関があることを示している点で特筆すべき成果である。今後、このような構造物性と電子物性の相関に着目した金属ナノワイヤ研究が展開することで、金属ナノワイヤの物性が明らかになると期待している。

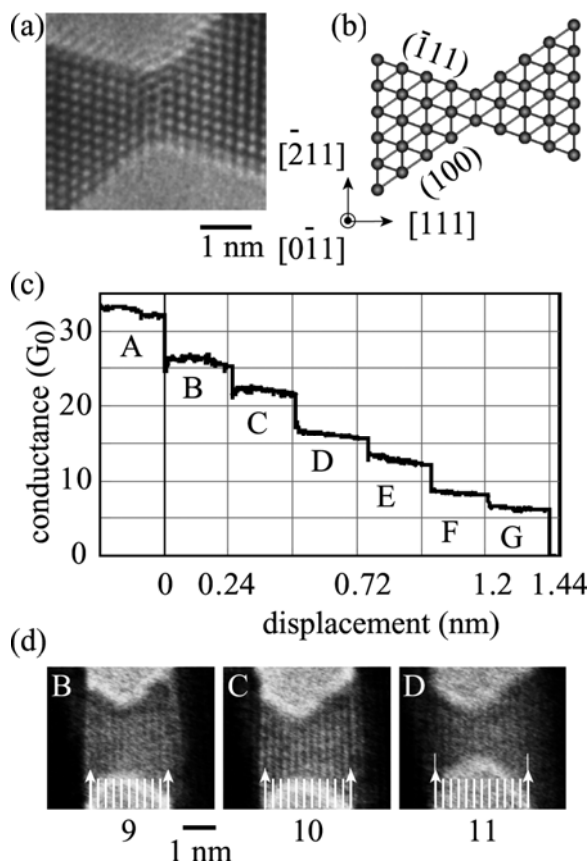


図1 (a)  $\langle 111 \rangle$  方位のワイヤ軸をもつ金ナノワイヤの典型的なTEM (透過型電子顕微鏡) 像。ワイヤ軸に垂直な格子縞は、 $\{111\}$  格子である。(b) 電子線照射方向から見たときの金ナノワイヤの模式図。(c)  $\langle 111 \rangle$  方位のワイヤ軸をもつ金ナノワイヤの引っ張り過程における電気伝導変化。 $G_0$  は、コンダクタンス量子数 ( $=2e^2/h$ ) である。(d) グラフ(c)のB, C, Dから得られたTEM像。白矢印で示すくびれの中に、それぞれ、白線で示した9, 10, 11本の $\{111\}$ 格子縞を見ることができる。

論文掲載 J. Phys. Soc. Jpn., Vol.79, No.5, p. 054702

電子版: <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/79/054702/> (4月26日公開)

<情報提供: 大島義文 (東京工業大学)、高柳邦夫 (東京工業大学)>