

磁気量子振動によるフェルミ面の観測に成功

一種類の分子からなる結晶の金属性の証明

従来の分子性伝導体は電荷キャリアを発生させるために異なる分子間での電荷移動、もしくは部分酸化(還元)が必要であり、従って単一種の分子のみからできた結晶では通常の条件での金属状態は実現できないと長い間考えられてきた。しかし近年我々が設計・合成した単一種分子性金属[Ni(tmtd)₂] (図1)は、電気的に中性な1種類の分子からなる結晶であるにもかかわらず、室温で小さな抵抗率(0.0025 Ωcm)を持ち極低温(0.6 K)まで安定な金属状態を示している¹⁾。このような中性分子の結晶において電荷キャリアがいかにして発生しているのか、注目される点である。我々はこの結晶の金属性の証拠として、磁気量子振動によるフェルミ面の観測を試みた。

測定には、AFM (原子間力顕微鏡)用のマイクロカンチレバーを磁気トルク測定に転用した手法²⁾を用いた。この手法は市販のカンチレバーを用いるため簡易であり、また非常に高感度であるため、従来の手法に比べてごく微小な単結晶(本測定に用いた結晶は130X100X20 μm, 重さ0.5 μg)での測定が可能である(図2a)。実験は米国フロリダ州タラハシの高磁場実験施設で、45テスラのハイブリッ

ドマグネットを用いて行った。その結果、フェルミ面の存在を示す磁気量子振動(de Haas-van Alphen効果)の観測に初めて成功した(図2b)。また磁場の方向によって大きく変化する振動成分の角度依存性を詳細に測定した結果は第一原理法(LDA法)を用いた計算結果とよく一致しており、これにより求めたフェルミ面を図3に示す。このことから、この物質が三次元的な金属であることが判った³⁾。単一種分子性金属は、電気的に中性な分子の集合体である。分子間には共有結合のような強い結合はないが、通常ファンデルワールス結晶と異なり、金属結合の寄与により分子間の原子接触距離がファンデルワールス結合よりかなり短くなっている。その金属性の起源は、ごく小さなHOMO-LUMOギャップを持つ分子が図1のように稠密に積層することで十分な伝導バンドを形成するためと考えている。

本研究において、磁気量子振動の観測により単一種分子性金属[Ni(tmtd)₂]が紛れもない金属であることを実験的に証明することに成功した。今後はさらに分子設計に基づく合成を進めることにより、元素金属にない新機能の組み込みを実現したい。

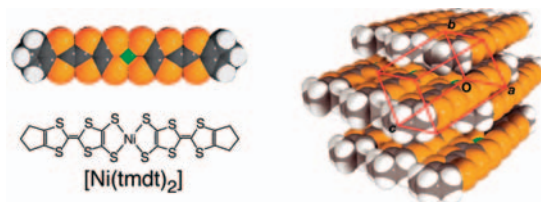


図1 [Ni(tmtd)₂] の分子構造、および結晶構造

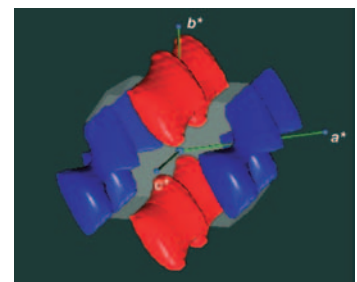


図3 実験と計算に基づいて求められたフェルミ面

赤と青の閉曲面がそれぞれ電子とホールのフェルミ面に対応し、この物質が三次元的な金属であることを示している。

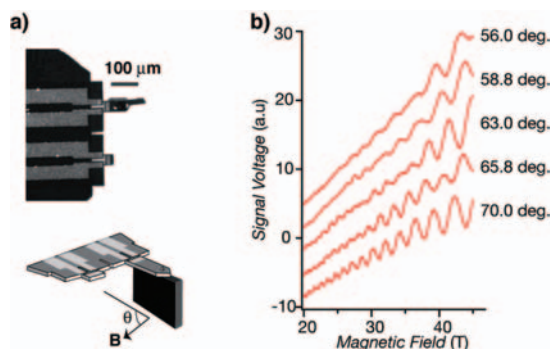


図2 試料を固定したAFM用マイクロカンチレバー(a)と観測された磁気量子振動(b)

関連情報

- 共同研究者: 徳本 圓(ナノテクノロジー研究部門), 石橋章司(計算科学研究部門), J. S. Brooks (NHMFL/FSU), 小林速男(分子科学研究所), 小林昭子(東京大学)。
- 1) H. Tanaka, Y. Okano, H. Kobayashi, W. Suzuki, A. Kobayashi: Science, 291, 285 (2001)。
- 2) E. Ohmichi, T. Osada, Rev. Sci. Instrum., 73, 3022 (2002)。
- 3) H. Tanaka, M. Tokumoto, S. Ishibashi, D. Graf, E. S. Choi, J. S. Brooks, S. Yasuzuka, Y. Okano, H. Kobayashi, A. Kobayashi: J. Am. Chem. Soc., 126, 10518 (2004)。
- 本研究は科学技術振興調整費・若手任期付研究員支援、CREST-JST、文科省科研費特定領域研究などの支援を受けて行われた。



たなか ひさし
田中 寿
hisashitanaka@aist.go.jp
ナノテクノロジー研究部門