

単分子量子磁石を用いた量子分子スピントロニクスの新展開

(東北大院理) 山下正廣

Perspectives in Molecular Spintronics Based on Single-Molecule Quantum Magnets
(Tohoku University) Masahiro Yamashita

Abstract: A single molecule memory device, Kondo peak, negative magnetoresistance, and field effect transistor (FET) have been examined by using scanning tunneling microscopy (STM) and scanning tunneling spectroscopy (STS) in single-molecule quantum magnets (SMMs) composed of multiple-decker type phthalocyanine Tb(III), Dy(III) and Y(III) complexes.

Keyword: Molecular Spintronics, Single-Molecule Quantum Magnets, Kondo Peak, Negative Magnetoresistance, Field Effect Transistor (FET), Quantum Computer

エレクトロニクスが電子の電荷の自由度に基づくのに対して、スピントロニクスは電子の電荷とスピンと軌道の自由度を使っており、21世紀のキーテクノロジーとして基礎と応用の両面から盛んに研究されている。これまでのスピントロニクスにおいては、磁石部分は遷移金属イオンからなる古典磁石(バルク磁石)が用いられており、スピン量子数は最高で $5/2$ であった。一方、我々の研究の特徴は磁石部分に「単分子量子磁石」を用いるところにある。「単分子量子磁石」は21世紀の新しい磁石として注目を集めている。これは多核金属クラスター錯体から構成されており、 DS^2 (D =一軸異方性、 S =スピン量子数)からなる2重井戸型ポテンシャルを持っており、ブロッキング温度以下で一方の井戸にスピンが凍結するために磁石のような振る舞いをし、非常に遅い緩和や量子トンネル効果が観測されることから、高密度記録素子や量子コンピューターへの開発が期待されている。この「単分子量子磁石」の特徴はスピン量子数を $S=10, 20, 30, 40, 50$ など自由に作る点である。このような「単分子量子磁石」を用いて、(1)単分子メモリー、(2)近藤効果、(3)負の磁気抵抗、(4)電界トランジスター(FET)、(5)DNA量子コンピューターの基礎、などの研究を行っている。

我々が取り扱う「単分子量子磁石」は、多層型フタロシアニン-ランタノイド(III)錯体である。中央の図はダブルデッカー型フタロシアニン Tb(III)単分子量子磁石の4.5KにおけるSTMであり、上下のフタロシアニンが 43° ずれているために8個の明るいスポットが観測される。この走査型トンネルスペクトロスコピー(STS)を測定すると、右端の図のようにフェルミレベル近傍に近藤ピークが観測される。中央図の分子にSTMで電子を注入すると上下のフタロ

シアニンのズレが 30° と小さくなり、近藤ピークが消滅する。このような近藤ピークの出現と消去は可逆的に起こるために、近藤ピークを 1 個の情報と考えると、1 個の分子に 1 個の情報の書き込みと消去を可逆的に起こすことが可能となったわけである[1]。つまり、単分子メモリーの作成に成功したわけである。

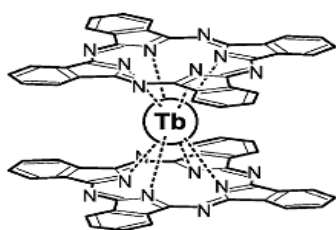


図 1. TbPc_2

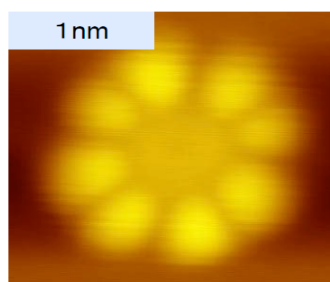


図 2. TbPc_2 の STM

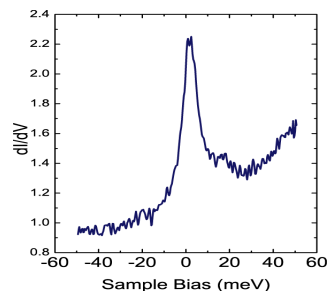


図 3. 近藤ピーク

この錯体を電解酸化すると、一次元構造を持つ $\text{TbPc}_2\text{Cl}_{0.6}$ が得られる。電気伝導度は室温で 17Scm^{-1} の高伝導性の半導体である。伝導経路は部分酸化されたフタロシアニン配位子の重なりによるものである。交流磁化率の周波率依存性からブロッキング温度は 47K であり、 10K 以下でヒステリシスが観測される。このヒステリシスの温度はこれまで報告された単分子量子磁石の中では最高である。これは高伝導性の単分子量子磁石と言える。そこで、磁気抵抗の温度変化を測定したところ、 10K 以上では通常の正の磁気抵抗であるが、単分子量子磁石になる 8K 以下では負の磁気抵抗が始めて観測された。 -2% と小さいが、これは $f-\pi$ 相互作用が小さいためである。

DyPc_2 の FET デバイスはアンバイポーラーな挙動 (p 型と n 型) をするのに対して、 TbPc_2 は p 型挙動をした。この違いはランタノイドイオン(III)の基底状態と第一副準位状態の差が Dy(III) では 30cm^{-1} であるのに対して、 Tb(III) で 300cm^{-1} であるために、前者では電子も正孔も入ることが出来るのでアンバイポーラーであるのに対して、後者では正孔しか入ることが出来ないために p 型である。このように金属イオンの違いにより FET 特性を制御することに成功した。

[1] T. Komeda, M. Yamashita, et al., **Nature Commun.**, 2, 217(2011)

[2] K. Katoh, M. Yamashita, et al., **J. Am. Chem. Soc.**, 131, 9967(2009)