



研究課題名 量子情報処理に向けた時間と原子空間分解能を持つ スピニコヒーレンス顕微鏡の開発

こめだ ただひろ
東北大学・多元物質科学研究所・教授 米田 忠弘

研究課題番号：19H05621 研究者番号：30312234

キーワード：ナノ顕微鏡技術、スピントロニクス、薄膜エレクトロニクス、量子情報処理

【研究の背景・目的】

量子コンピューターは次世代の情報処理の中心を担うと考えられ、信頼性のあるハードウェア開発は喫緊の課題である。情報の単位は量子ビット(qubit)とよばれ現行のビットと異なりその量子的重ね合わせが計算の根幹であるため、量子ビット間の相互作用の精密な制御が求められ、それがハードウェア構築の技術的困難となっている。分子のスピンを量子ビットとして用いる手法は、量子コンピューター開発の初期から注目され Shor アルゴリズムの実証など大きな成果を収めたが、そこには分子の均一性を利用した分子集団の利用、および精密測定が可能な ESR や NMR といった測定手段が利用可能であったことが大きな理由である。しかしながら、開発が求められるナノスケールデバイスにおいては ESR/NMR では感度不足で用いることができない。単一分子単位でのスピンの検出手法や量子ビットとしての特性を見極める分析手法の確立が急務である。

【研究の方法】

本研究の主眼は量子コンピューター開発における量子ビットの効率的な構築に資する、原子空間分解能を持つスピン検出と、スピン操作によるスピン動的過程解析を可能とする顕微鏡の開発である。検出の対象として特に分子に注目する。最近、核スピンの多重性を利用することで、必要な qubit の個数を減少させハードウェア構成を簡素化する研究が進んでおり、ランタノイド原子を中心金属とする錯体分子を用いることでこの技術が実現可能である。特に、フタロシアンニン (Pc) を配位子とした多層型

ランタノイド錯体 (TbPc₂, DyPc₂ 等) は、大きな磁気異方性を持ち単一分子でも磁石の性質を持ちうる磁性分子であり、本研究に最適である。

原子分解能をもつスピン検出にはトンネル電流を用いその磁気抵抗効果を利用した手法を用いる (図1)。ランタノイド原子の 4f 電子のスピント、トンネル電子スピンの平行・反平行の関係からトンネル電流が増減する現象を利用し、さらに核スピンの検出にはその微細構造を用いる。また周辺にマイクロコイルを配置しパルス磁場を発生させることでスピンの操作を行い、コヒーレンスについて検証する。

【期待される成果と意義】

本プロジェクトで開発される技術を組み合わせることによって、単一原子・スピンを対象に、スピンのダイナミクスやコヒーレンス測定が可能となり、現在 ESR や NMR を用いて分子の集合体に行われている精度のスピン測定を単原子・単分子単位で可能とする。さらにその装置を用いることにより、単一分子を対象にした量子コンピューターの基本動作検証が可能となり、qubit あるいは qudit の評価装置として発展させ、量子コンピューターのハードウェア発展に貢献できる。同時に、原子レベルの空間分解能を持ったスピン顕微鏡開発の波及効果として、生物学や医療の分野で酵素活性や化学反応の可視化などに用いられる予想される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Observation and electric current control of a local spin in a single-molecule magnet, T. Komeda, H. Isshiki, J. Liu, Y.-F. Zhang, N. S. Lorente, K. Katoh, B. K. Breedlove, M. Yamashita: Nat. Comm. 2, (2011) 217.
- Spatially Resolved Magnetic Anisotropy of Cobalt Nanostructures on the Au(111) Surface, P. Mishra, Z. K. Qi, H. Oka, K. Nakamura, T. Komeda: Nano Lett. 17, (2017) 5843-5847.

【研究期間と研究経費】

令和元年度～令和5年度
147,100 千円

【ホームページ等】

<http://db.tagen.tohoku.ac.jp/php/forweb/outline.php?lang=ja&no=1020>

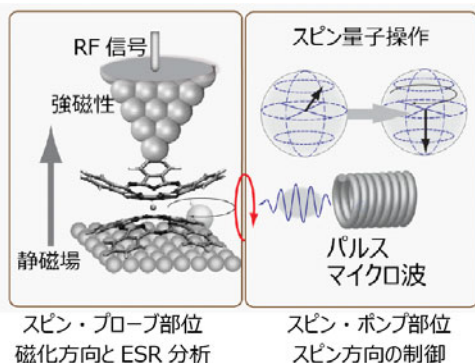


図1 開発するスピン顕微鏡の構成。左に示したスピン検出部分と、右のスピン操作部を組み合わせることで原子分解能を持ったスピン分析を可能とする。