

走査ナノダイヤモンド磁気検出器プローブによる単一スピンの検出

研究代表者

安 東秀 独立行政法人理化学研究所

共同研究者

Carlos A. Meriles City College of New York



1. 研究の背景と達成目標

背景:ダイヤモンド中の窒素-空孔複合体中心(ダイヤモンド NV 中心)は周りの環境に存在するスピンをセンシングするプローブとして高い性能を秘めていることが判ってきた。

達成目標:ダイヤモンド NV 中心を探針として用いた新奇なダイヤモンド NV 中心付走査スピンプローブ顕微鏡(ダイヤモンドスピンプローブ顕微鏡)を開発し、これを用いた単一電子スピンの検出を実現する。さらには、核スピンの検出も視野に入れた研究に取り組む。

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

・ダイヤモンドロッド中の NV 中心(窒素空孔複合体中心)に存在する単一スピンを読み出す共焦点顕微鏡装置と、このダイヤモンドロッドを探針として用いた水晶振動子型原子間力顕微鏡(AFM)装置を融合した走査ダイヤモンドスピンプローブ顕微鏡を開発した。

本研究で開発したスピンセンサー走査プローブは、性能を追求してゆけば究極には単一電子スピンや単一核スピンの感度と空間分解能で周りの環境に存在するスピンのダイナミクスの局所計測を実現できる。これより電子スピン共鳴(ESR)、核磁器共鳴(NMR)等の技術において試料中の平均的な情報として得られていたスピンドイナミクスの情報を単一スピンレベルで明らかにできる可能性を秘めており、磁性体中のスピンの微視的なスピン状態の計測や1細胞中の核磁気共鳴(NMR)計測の実現などスピントロニクスデバイスや生命科学分野に貢献できる有用なツールとなる。

3. 研究成果

まず、走査磁気共鳴顕微鏡の高周波プローブ(RF プローブ)先端に NV 中心ダイヤモンドを装着して用い、マイクロ波源とダイヤモンドプローブの蛍光スピン検出器を一体化した NV 中心ダイヤモンドプローブ顕微鏡装置を開発した(図1)。本装置では、まず NV 中心を含有するダイヤモンド基板からレーザカッティングによりロッドとして取り出す(図2)。その後、表面近傍に調整された NV 中心を、集束イオンビーム(FIB)を用いて先鋭化して取り付ける方法を確認した(図2)。

本装置において、磁気共鳴励起用の高周波磁界は高周波プローブの同軸線から直接 NV 中心に照射されるため、試料表面に蒸着やリソグラフィ法を用いて高周波印加用の配線をする必要がなくなり、試料位置を選ばずに高周波を試料表面に印加できること、試料の高

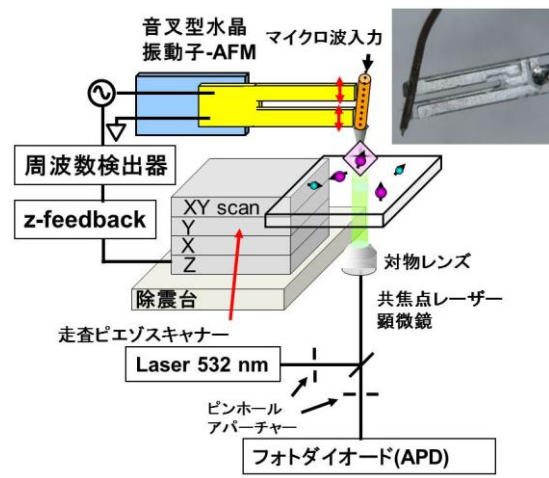


図1. 走査ダイヤモンド NV 中心プローブ機構

温加熱が可能になること等、試料作成の自由度が増大する。さらに、プローブは水晶振動子に接着され、原子間力顕微鏡として動作し、絶縁体試料においても試料-探針間距離の精細な制御が可能となる。以上のような、共焦点レーザー顕微鏡、高周波同軸線、水晶振動子を用いたAFM機構の融合した装置の開発例は無く本提案の独創的な点である。

上記のダイヤモンドNV中心走査プローブを用いて、先ずYIG（イットリウム鉄ガーネット）磁性体の磁気ドメイン（図3）からの漏洩磁場の観測を試みたが研究期間内にこの磁気ドメインからの漏洩磁場の2次元像を得るには至っていない。その前段階の実験として、NV中心ダイヤモンドナノ粒子をYIG磁性体の磁気ドメイン表面上に分散させ磁気ドメインからの漏洩磁場を検出する予備実験を行った（図3）。この際に、NV中心ナノダイヤモンドから観測された漏洩磁場に相当する磁気共鳴スペクトルはマイクロ波の入力パワーを高くするとブロードニングを起こすことが観測され、これは磁気ドメインの動的な運動を捉えていると考えられ興味深いデータが得られている。

4. 今後の展開

ダイヤモンドNV中心は周りの環境中の漏洩磁場をセンシングすることより、室温・大気中で高性能なスピンセンシング能力を示すことが注目され、単一スピンの計測が可能なのではないかと期待されてきた。一方で、最近、このダイヤモンドNV中心プローブが高性能な電場や温度センサーとしても有用であることが示され、スピン計測以外にも局所センサーとしての比類の無い性能を多く有することが判ってきた。これより、磁場、電場、温度等、多機能な局所センサーとしてスピントロニクスデバイス、生命科学、半導体デバイス、量子情報等の様々な分野へ応用が展開されると考えられる。本研究では、このダイヤモンドNV中心プローブを走査プローブとして用いることより、**3次元に狙った局所位置で計測をすること**やプローブから磁場や電場、電流といった刺激を試料に印加して観測対象の**機能を積極的に制御すること**もできると期待される。

5. 発表実績

講演

- 1) (発表予定) T. An, A. Laraoui, N. Mizuochi, T. Makino, E. Saitoh, Y. Kim, C. A. Meriles, "Development of scanning spin-sensing diamond probe based on quartz atomic force microscopy", 17th International conference on non-contact Atomic Force Microscopy, 4-8th, August, 2014, Tsukuba, Japan
- 2) (発表予定) 安東秀, A. Laraoui, 水落憲和, 牧野俊晴, 齊藤英治, 金有珠, C. A. Meriles, "ダイヤモンドスピンセンサー付き走査プローブ顕微鏡の開発", 2014年第75回応用物理学会秋季学術講演会, 9月17-20日, 北海道大学

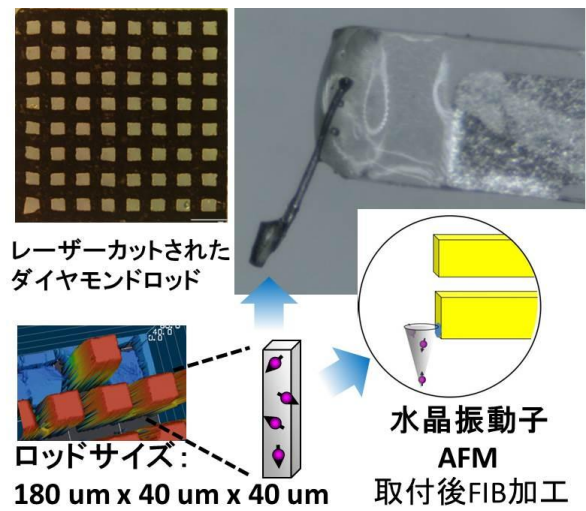


図2、作成したダイヤモンドNV中心付プローブ

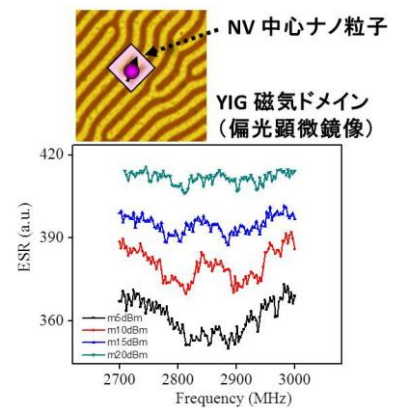


図3、磁気ドメイン上で表面に分散したNV中心含有ナノダイヤモンド粒子において観測された磁気共鳴スペクトルのブロードニング