# FPGA 制御によるダイヤモンド NV 中心と AFM を複合した 磁気イメージング顕微鏡の開発

# Development of FPGA-based magnetic imaging microscopy combining AFM with NV-Center in diamond

北陸先端大¹ <sup>○</sup>林 都隆、(M2) 中下 賢一、(M2) 王 睿、安 東秀
JAIST¹, °Kunitaka Hayashi\*, Kenichi Nakashita, Rui Wang, Toshu An
E-mail: kuni-hys@jaist.ac.jp

#### 【はじめに】

ダイヤモンド中の NV (Nitrogen-Vacancy) 中心は室温・大気中で単一スピンを検出できる程の高い磁場感度と空間分解能(ナノメートルスケール)を有し、さらには、磁場(スピン)だけでなく、温度、電場も計測可能であり、近年、様々な分野で注目を集め、研究が広がっている[1]。

本研究の目的は、ダイヤモンド NV 中心を磁気センサーとして原子間力顕微鏡(AFM)プローブの先端に取付けた複合装置の開発による、ナノスケール磁気イメージングの実現である。このために先ず、比較的単純かつ安価な装置を構成し、室温・大気中で動作する複合装置の開発を行った。磁気センシングはダイヤモンド NV 中心からの光学的磁気共鳴(ODMR: Optically Detected Magnetic Resonance)を計測する光学系を整備して行う。磁気プローブは音叉型水晶振動子にタングステンワイヤを接着し、その先端に NV 中心を含有するダイヤモンドプローブを取り付けて使用する。

#### 【装置の概要】

Fig. 1 に示すように、装置は AFM 制御用機器 (水晶振動子型プローブ、3 軸ピエゾスキャナ等)、ODMR 測定用機器 (光学系、レーザー、APD(Avalanche Photodiode)、マイクロ波生成器等) からなり、コントロールユニット (NI USB-7845) により AFM 制御 (Z 軸フィードバック、熱ドリフト補正)・ODMR 計測 (蛍光カウンティング、マイクロ波周波数掃引) を行う。コントロールユニットには FPGA (Field Programmable Gate Array、最大クロック 200 MHz) が内蔵されており、統合されたアナログ/デジタル入出力と合わせて、AFM 制御と ODMR 計測を並列・高速・高精度に同期させて実行する。また、制御・測定用ソフトウェアは LabVIEW を用いて独自に開発することにより、将来的な拡張も可能とした。

### 【開発の実証】

基本的な PI 制御プログラム[2]と Z 軸ピエゾスキャナにより、水晶振動子の振幅変調 AFM プローブのフィードバック動作を実現 (Fig. 2) した状態で、ODMR 計測を行った結果について報告する。

### 【参考文献】

- [1] J.-P. Tetienne et al., Science 20, 344, 1366 (2014)
- [2] Jianghua Bai, 15, (2018), DOI: 10.13140/RG.2.2.34651.67365

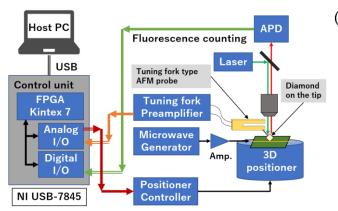


Fig. 1. Architecture of the FPGA-based scanning NV center magnetometer controlled by integrated FPGA module and analog/digital I/O.

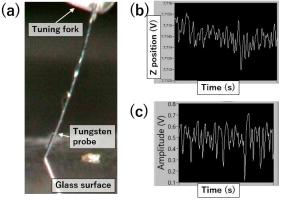


Fig. 2. (a) Tungsten probe approached on a glass surface. (b) Feedback control of Z position. (c) Tuning fork amplitude signal (setpoint 500 mV).