

量子センシングのためのマイクロ波アンテナ作製

Fabrication of microwave antennas for quantum sensing

ユーザー氏名 / User's Name :

佐々木健人, 小河健介, 塚本萌太, 西村俊亮, 中村祐貴, 顧豪, 山本航輝, 小林拓, 須田涼太郎, 原田怜, 小林研介 / Kento Sasaki, Kensuke Ogawa, Moeta Tsukamoto, Shunsuke Nishimura, Yuki Nakamura, Hao Gu, Kouki Yamamoto, Taku Kobayashi, Ryotaro Suda, Rei Harada, Kensuke Kobayashi (東京大学 / The University of Tokyo)

実施機関担当者 / Person in Charge of ARIM :

豊倉敦, Eric Lebrasseur, 天谷諭, 水島彩子, 太田悦子, 落合幸徳, 三田吉郎 ほか 武田クリーンルーム支援チーム / Atsushi Toyokura, Eric Lebrasseur, Satoshi Amaya, Ayako Mizushima, Etsuko Ota, Yukinori Ochiai, Yoshio Mita & Takeda SCR executive team (東京大学 / The University of Tokyo)

KEY WORDS

量子計測(量子センシング) / ダイヤモンドNV中心 / 光検出磁気共鳴 / 単一スピン制御 / マイクロ波アンテナ / 超高精度磁場イメージング

概要 / Overview

ダイヤモンド中の窒素空孔中心(NV中心)を使った磁場の精密計測は、量子力学の原理を応用した量子センシングの代表例である。我々はNV中心を利用してさまざまな物質に対して高精度な磁場イメージングを可能にする量子スピン顕微鏡を開発している。この技術の中核となるのは、広範囲かつ広帯域にマイクロ波を照射できるアンテナである。しかし、このようなマイクロ波アンテナ技術はまだ確立しておらず、シミュレーションと作製したアンテナの特性評価を繰り返す試行錯誤が必須である。我々はUVプリント基板加工装置(ProtoLaser U4)・レーザー直接描画装置(DWL66⁺)を活用して様々なアンテナを作製し日々の研究で使用している。

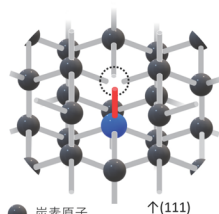
Precise measurement of magnetic fields using nitrogen-vacancy centers (NV centers) in diamonds is a representative "quantum sensing" that applies the principles of quantum mechanics. We are developing a "quantum spin microscope" that uses NV centers to enable high-precision magnetic field imaging of various materials. The core of this technology lies in an antenna that can irradiate microwaves over a wide range and bandwidth. However, such microwave antenna technology has yet to be established, and trial and error, repeating numerical simulations, and evaluation of the characteristics of the fabricated antennas are essential. We use a UV laser processing tool (ProtoLaser U4) and a laser direct-write lithography tool (DWL66⁺) to fabricate various antennas and use them in our daily research.

ダイヤモンドNV中心

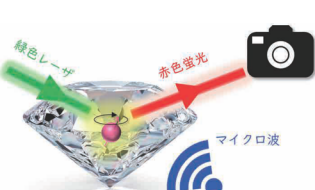
Diamond NV centers

●ダイヤモンドNV中心と磁場計測

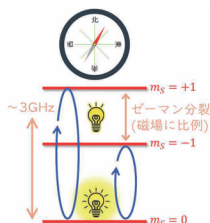
ダイヤモンドNV中心とはダイヤモンド結晶の中に安定して存在する格子欠陥の一種である。隣接した2個の炭素原子が窒素と空孔のペアに置き換わった構造をしており、内部に独特の量子準位を持つ。マイクロ波を照射しながらその発光強度を測定することでNV中心の感じる磁場を精密に計測できる。光学的に電子スピン共鳴を検知するため光検出磁気共鳴と呼ばれる。



ダイヤモンドNV中心



光検出磁気共鳴



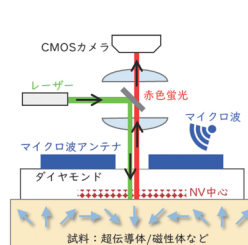
磁場センシングの原理

量子スピン顕微鏡

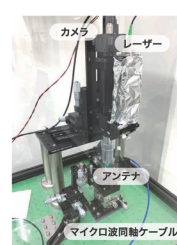
Quantum spin microscope

●量子スピン顕微鏡の開発

基板表面に多数のNV中心を有するダイヤモンドを写真フィルムのように用いて、磁性体や超伝導体などの測定対象に密着させる。広視野(典型的には数 μm -100 μm 四方)で多数のNV中心を同時に測定すれば、測定対象から生じる磁場をイメージングできる。可視光でダイヤモンドが透明であるからこそ可能な技術である。我々はこの原理を利用して量子スピン顕微鏡を独自開発している。



量子スピン顕微鏡の概念図



自作の量子スピン顕微鏡

マイクロ波アンテナ

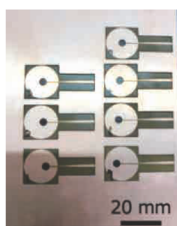
Microwave antenna

●マイクロ波アンテナ

通常の電子スピン共鳴では共鳴周波数が高いQ値を持つアンテナを用いるが、NV中心の場合は磁場によって共鳴周波数に変化するため、広帯域のアンテナが望ましい。またイメージングにはマイクロ波を空間的に均一に照射することも重要である。さらに、1mm角程度のダイヤモンド結晶の直近にアンテナを置く必要があると同時に、NVセンタからの蛍光を測定するために視野を遮らない工夫も必要である。結果として、用いるダイヤモンド結晶の形状やサイズ、測定対象、測定環境に適したアンテナをその都度作製する必要がある。我々は様々なアンテナを作製し実験に用いてきた。



UVプリント基板加工装置(ProtoLaser U4)でアンテナを作製



テフロン基板上的の光学測定用開口付ループギャップ共振器



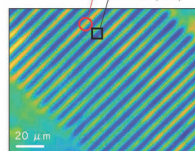
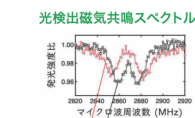
アルミナ基板上的のストリップライン

広視野磁場イメージング

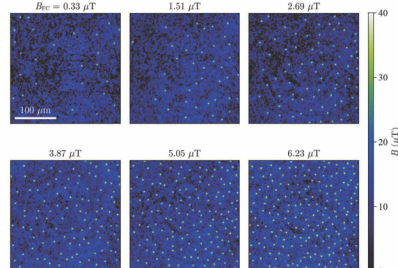
Wide-field magnetic field imaging

●磁場イメージングと将来展望

左図に量子スピン顕微鏡で撮影されたフロッピーディスクの磁気記録パターンを示す。磁気力顕微鏡でも類似の結果が得られるが、この手法では漏れ磁場の値が定量的に得られることに特色がある。右図は超伝導体における量子渦(磁束量子)のイメージングである。それぞれの量子渦から出てくる磁場がどれも同程度であることは量子化した永久電流が存在することを示す。今後、本手法を発展させ原子層物質や高圧物性などへと適用していく予定である。



フロッピーディスクの漏れ磁場イメージング



超伝導量子渦

CONTACT

小林 研介, 佐々木 健人 / Kensuke Kobayashi, Kento Sasaki 東京大学大学院理学系研究科 / Graduate School of Science, The University of Tokyo
URL: <https://meso.phys.s.u-tokyo.ac.jp/>