

Title	ダイヤモンドNV中心プローブによる超常磁性粒子からの局所磁気センシング・イメージング
Author(s)	THITINUN, GAS-OSOTH
Citation	
Issue Date	2025-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/19944
Rights	
Description	Supervisor: 安 東秀, 先端科学技術研究科, 博士

氏 名	Thitinun Gas-osoth		
学 位 の 種 類	博士（マテリアルサイエンス）		
学 位 記 番 号	博材第 608 号		
学 位 授 与 年 月 日	令和 7 年 3 月 21 日		
論 文 題 目	LOCAL SENSING AND IMAGING OF MAGNETIC NOISE FROM SUPERPARAMAGNETIC PARTICLES VIA DIAMOND NITROGEN-VACANCY CENTER PROBE		
論 文 審 査 委 員	安 東 秀	北陸先端科学技術大学院大学	准教授
	赤堀 誠志	同	准教授
	鈴木 寿一	同	教授
	小矢野 幹夫	同	教授
	小野田 忍	量子科学技術研究開発機構	上席研究員

論文の内容の要旨

Biological separations and various medical applications have achieved the use of magnetic particles, especially superparamagnetic particle microbeads such as magnetite (Fe_3O_4) layer covering the shell of the particle. Magnetite nanoparticles can be used to generate heat to destroy exotic cells in biomedical applications. In addition, its single magnetic domain creates varying magnetic noise in the surrounding area. Although the average field of randomly diffusing magnetic noise is zero, the magnetic noise projected vertically in both constructive and destructive directions is not completely zero in a plane layer. One of the most promising sensors to detect this magnetic noise is the nitrogen-vacancy (NV) center in diamonds, which is one of the most effective quantum sensors for magnetometry on a nanoscale scale.

In this research, we demonstrated the relaxometry imaging of a super-paramagnetic core-shell particle, based on the longitudinal spin relaxation time T_1 measured at a proximal ensemble NV center in a diamond. The core-shell particle is covered by magnetite superparamagnetic materials over 200 - 300 nm thickness. The magnetic noise in GHz frequency is generated into the environment sample even without the external magnetic field. The NV spin populations reflected the unstable electron-phonon coupling, caused by the fluctuation noise in the environment, before relaxing to the thermal equilibrium of the mixed spin states. The relaxation imaging is achieved by a home-built confocal microscope which measures the fluorescence decay pixel by pixel. The different decay fluorescence is normalized revealing the contrast and mapping the relaxometry image of the magnetic noise around the core-shell particle. In the presence of the externally applied field, the magnetic field induced the magnetization of the particle along the axis of the NV. The local magnetic vector is analyzed to expose the stray field of a magnetic particle,

resulting in the measurement of the magnetic B-H curve.

Finally, the discussion in this prospective research is to pave the way to develop new insight into stochastic sensing with NV centers in diamonds and broaden the horizon in biomedical, especially in NMR imaging in the future.

Keywords— relaxation time, relaxometry image, superparamagnetic, magnetic noise, magnetic fluctuation, NV center, magnetometry.

論文審査の結果の要旨

本論文は、高感度磁気検出・イメージング法として近年注目されている、ダイヤモンド中の窒素-空孔(NV)複合中心を利用した光学的磁気共鳴(ODMR)法を用いて、室温にて超常磁性を示す市販のポリマー-マグネタイトナノ粒子の複合コア-シェル粒子が生成する磁気揺らぎの検出とイメージングを行ったものである。

第1章では、計測対象であるマグネタイトナノ粒子の生命科学への応用について(磁気ビーズとして用いる)紹介した。

第2章では、ダイヤモンド中の欠陥構造である、窒素-空孔複合中心(NV 中心)の基礎スピン物性とこの NV 中心の磁気状態を光学的に検出する光学的磁気共鳴(ODMR)法の原理とこの系に特有なスピン三重項状態の二準位間の電子遷移を制御するラビ振動の原理を解説した。

第3章では、ODMR 法と時間分解による NV 中心の量子準位の計測、制御による DC 磁場、AC 磁場計測の原理、方法について解説した。

第4章では、試料に用いたコアシェル型(直径約 3 ミクロン)の超常磁性粒子(磁性粒子径約 10 ナノメートル)の超常磁性物性について、また、超常磁性から生成される高周波磁気ノイズを NV 中心を用いて計測する原理について(NV 中心スピン状態の縦緩和時間 T_1 を計測する)解説した。

第5章では、実際の試料準備、計測装置の構築(光学機器、マイクロ波の組み立て、調整)、NV 中心を磁気センシングプローブとして用いるための予備実験の結果を示した。

第6章では、NV 中心をダイヤモンド表面下約 40 ナノメートルに用意し、厚さ約 50 ミクロン、面内形状を約数十ミクロンサイズの二等辺三角形のチップ形状に加工した試料を作製して、超常磁性コアシェル粒子をダイヤモンドチップ上に配置し磁気計測・イメージングを行った。得られた NV 中心のスピン縦緩和時間(T_1)の寿命が磁気粒子近傍では急激に小さくなることを確認し、続いてこの T_1 スペクトルの位置依存性を原理としたイメージング法により磁気粒子の漏洩磁場に関連するイメージング画像を得ることに成功した。得られた結果について、複数の磁気粒子からの漏洩磁場の関与と複数の NV 中心の信号を平均化したモデルを考案し、実験結果と同様の T_1 値を示すことを示した。本論文中では、さらに、局所位置での超常磁性粒子の外部磁場応答についても評価し矛盾のない結果を得た。

以上、本論文はダイヤモンド中の NV 中心により約 500 ナノメートル以下の空間分解能で超常磁性粒子からの DC、AC 漏洩磁場を計測・イメージング可能なことを実証し、今後の応用の可能性を示した点に大きな意義があり、学術的に貢献するところが大きい。よって博士(マテリアルサイエンス)の学位論文として十分価値あるものと認めた。