

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	磁性材料とダイヤモンド量子センサのハイブリッド系による量子スピントロニクスの研究
Title(English)	Study on quantum spintronics with hybrid systems of magnetic materials and diamond quantum sensors
著者(和文)	北川涼太
Author(English)	Ryota Kitagawa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12761号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:波多野 睦子,中川 茂樹,山田 明,小寺 哲夫,岩崎 孝之,水落 憲和
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12761号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	北川 涼太	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	波多野 睦子	教授	小寺 哲夫	准教授
	審査員	水落 憲和	京都大教授	岩崎 孝之	准教授
		中川 茂樹	教授		
山田 明		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、”Study on quantum spintronics with hybrid systems of magnetic materials and diamond quantum sensors”(磁性材料とダイヤモンド量子センサのハイブリッド系による量子スピントロニクスの研究)と題し、英文 7 章から構成されている。

第 1 章”Introduction”(序論)では、量子とスピントロニクスの融合領域である量子スピントロニクスの工学的な応用に関して、背景と目的を述べている。量子スピントロニクス技術を用いたダイヤモンド中の窒素-空孔中心(NV センタ)の応力感度の向上、及び磁性材料の特性評価への応用の開拓が目的であると述べている。その対象は、磁歪材料-NV センタのハイブリット構造による応力イメージング、及びパワーエレクトロニクス用軟磁性材料の DC から MHz までの広周波数帯域の磁化応答のイメージングであると述べている。

第 2 章”Physical properties”(物性)では、NV センタを用いた磁場イメージングの原理、本論文に関連する磁気物性、磁性材料とダイヤモンド量子センサのハイブリッド系について説明している。

第 3 章”Home-built widefield magnetic imaging system with Nitrogen-Vacancy centers in diamond”(ダイヤモンド中の NV センタを用いた広視野磁気イメージングシステムの構築)では、本研究で用いる広視野磁気イメージング系の要件と具体的な構成を述べている。広視野で均一なイメージングを行う光学系の構築、及び交流イメージングに必要な装置間のタイミング制御方法を述べている。

第 4 章”Pressure sensor using a hybrid structure of a magnetostrictive layer and Nitrogen-Vacancy centers in diamond”(磁歪層とダイヤモンド中 NV センタを用いたハイブリット構造による応力センサ)では、磁歪材料-NV センタのハイブリット構造による NV センタの応力感度向上、さらに細胞重量イメージングなど新たな応用への可能性を説明している。応力感度の向上効果は磁歪層中の磁区構造に依存することを見出し、NV センタのみの応力感度と比べ最大 550 倍になることを実証した。より高精度な応力イメージングに向け、単一磁区の磁歪ディスクアレイを用いた方法を提案した。

第 5 章”Wide-field imaging of the DC magnetization process in soft magnetic-thin film using diamond quantum sensors”(ダイヤモンド量子センサを用いた軟磁性薄膜の直流磁化過程の広視野イメージング)では、ダイヤモンド量子センサを用いた磁場イメージングの従来法と比べた特徴を説明し、軟磁性 CoFeB-SiO₂ 薄膜をイメージングした。磁気光学カー効果イメージングと一貫した結果と共に、膜中の磁場計測が可能なことによる磁極の分布など、ダイヤモンド量子センサのイメージングに特有な結果も示した。

第 6 章”Imaging AC magnetization response of soft magnetic thin film using diamond quantum sensors”(ダイヤモンド量子センサを用いた軟磁性薄膜の交流磁化応答のイメージング)では、パワーエレクトロニクスの省エネルギー化につながる、軟磁性材料の広周波数帯域での低損失材料の開発が重要であるが、現状ではイメージングによる評価法が未開拓であると述べている。その実現に向け、DC から kHz の帯域に有効なマイクロ波 FM 変調による Qubit frequency track (Qurack)法、並びに MHz 以上の帯域に有効な量子技術(ダイナミカルデカップリング法)と古典技術(ヘテロダイン測定)を合わせた Quantum heterodyne (Qdyne)法の適用を提案している。これらの方法で軟磁性 CoFeB-SiO₂ 薄膜を測定し、2.3 MHz まで損失がゼロであることを示した。また、軟磁性 CoFeB-SiO₂ 薄膜の損失は磁気異方性に依存し、周波数に対して増加することを検証した。

第 7 章”Conclusion and outlook”(結論と展望)では、本論文の結論と今後の展望をまとめている。

以上を要するに、本論文は、ダイヤモンド量子センサの新規なイメージング技術と磁性体を融合した量子スピントロニクス分野の工学的な応用を開拓した。磁歪材料とダイヤモンド量子センサのハイブリット構造による高感度な応力イメージングを実証し、単一磁区の磁歪ディスクアレイを用いた精度向上法を提案した。さらに DC から MHz までの広周波数帯域の磁化応答のイメージング技術を構築し、広帯域での軟磁性薄膜の損失評価に有効であることを示した。以上の内容は、ライフサイエンスの発展、カーボンニュートラルの実現に向けた重要な要素技術であり、工学上、貢献するところが大きい。よって、我々は本論文が博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認める。