T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ダイヤモンド量子センサの集積化に向けたデバイス技術に関する研究
Title(English)	A Study on Device Technologies for Integration of Diamond Quantum Sensors
著者(和文)	室岡拓也
Author(English)	Takuya Murooka
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11976号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岩﨑 孝之,宮本 恭幸,山田 明,波多野 睦子,小寺 哲夫,川原田 洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11976号, Conferred date:2021/3/26, 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

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（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		室岡　拓也	
論文審査 審 査 員		氏　名	職　名		氏　名	職　名
	主査	岩﨑　孝之	准教授	審査員	波多野　睦子	教授
	審査員	川原田　洋	早稲田大教授		小寺　哲夫	准教授
		宮本　恭幸	教授			
		山田　明	教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、“A Study on Device Technologies for Integration of Diamond Quantum Sensors”（ダイヤモンド量子センサの集積化に向けたデバイス技術に関する研究）と題し、英文 5 章から構成されている。

第 1 章“Introduction”（序論）では、ダイヤモンドを用いた量子センサの実用化をターゲットとした集積化について、デバイス技術の研究背景と目的を述べている。ダイヤモンド中の窒素-空孔欠陥（NV センター）は様々な物理量に対して感度を持ち、特に室温で動作可能な高感度磁気センサとして期待されていると述べている。ダイヤモンド磁気センサの実用化にはセンサシステムの集積化が必要であり、その実現に向けたデバイス技術の研究が本論文の目的であると述べている。本論文では、ダイヤモンド p-n 接合デバイスの開発、p-n 接合デバイス中に形成した NV センターの電子スピン状態の光電的検出、ヘテロエピタキシャルダイヤモンドの電子デバイス応用を具体的な研究対象としていることを述べている。

第 2 章“Development of p–n Devices for Photoelectrical Readout of NV Center”（NV センターの光電的検出に向けた p-n 接合デバイスの開発）では、実際に NV センターを形成し、その電子スピンの状態を読み出すために用いる p-n 接合デバイスの開発について述べている。具体的なデバイス構造として、擬似縦型ダイヤモンド p-n ダイオードが作製され、逆バイアス印加時のリーク電流の増加が課題となっていることを説明している。電子線誘起電流（EBIC）と導電性原子間力顕微鏡（C-AFM）を用いた測定によって、このリーク電流の起源となっている欠陥の存在を示している。続いて、横型構造を持つダイヤモンド p-i-n ダイオードの作製および電気的評価を行い、作製した p-i-n ダイオードはリーク電流が低くなるという結果が得られたことを述べている。

第 3 章“Photoelectrical Readout of NV Center Utilizing Lateral p–i–n Diode”（横型 p-i-n ダイオードを用いた NV センターの光電的読み出し）では、第 2 章で実現した低リーク電流の横型 p-i-n ダイオード中に NV センターを形成し、その電子スピンの状態を光電的に読み出す手法について述べている。p-i-n ダイオード中に形成された NV センターから、2 段階の光励起プロセスに基づいた光電流検出を行い、その中に NV センター由来のスピン依存成分が含まれることを示す結果が得られたと述べている。光電流の測定位置依存性から光キャリアの拡散長を見積もり、NV センターの形成条件および測定深さに依存することを見出したと述べている。光電検出磁気共鳴（PDMR）による NV センターのスピン状態の検出を行い、連続波測定において 10%以上の信号コントラストが得たと述べている。光電的読み出しによって DC 磁気感度として約 6 $\mu T/Hz^{1/2}$ の値を得たと述べている。また、アバランシェ動作による光電流の増大を目的とした、高逆バイアス下でのデバイス動作について述べている。デバイスの破壊を伴った測定において、キャリア増倍の可能性を示唆する結果が得られたことを説明している。

第 4 章“Device Application of Heteroepitaxial Diamond”（ヘテロエピタキシャルダイヤモンドのデバイス応用）では、将来的な集積化センサシステムの大面積プロセスに向けたヘテロエピタキシャルダイヤモンドのデバイス応用について述べている。3C-SiC/Si 基板上に形成したヘテロエピタキシャルダイヤモンドを用いてショットキーバリアダイオードを作製し、評価した結果について説明している。ショットキーバリアダイオードへの印加電圧±5 V の範囲において 10^8 を超える整流比が得られ、500 K での高温動作を実現したことを述べている。また、ヘテロエピタキシャルダイヤモンド薄膜中に存在する欠陥を分類し、ショットキーバリアダイオードのリーク電流との相関を調べることによって電流リークを引き起こしている欠陥を同定したと述べている。リークが低いデバイスについては、NV センターを形成することで電子スピン状態の光電的検出に応用できる可能性があると説明している。

第 5 章“Conclusion and Outlook”（結論および展望）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、本論文では、ダイヤモンド量子センサの集積化に向けたデバイス技術の研究を行い、その中で p-n 接合デバイスの開発、開発したデバイス中に形成した NV センターの電子スピン状態の光電的検出の実証、光励起によって発生した光キャリアの拡散長に NV センター形成条件および測定深さが与える影響の検証、光電流のアバランシェ増倍に向けた高逆バイアス下でのデバイス動作、ヘテロエピタキシャルダイヤモンド上への電子デバイスの作製および評価が行われた。以上の内容は、将来的な高感度ダイヤモンド量子センサの実用化に向けた集積化を実現するために重要な要素技術となるものであり、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。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。