

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	量子ネットワークノードに向けたダイヤモンド中の鉛 - 空孔センター
Title(English)	Lead-vacancy centers in diamond for quantum network nodes
著者(和文)	WANGPeng
Author(English)	Peng Wang
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12703号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岩崎 孝之,山田 明,波多野 睦子,小寺 哲夫,荒井 慧悟,岩本 敏
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12703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	WANG PENG	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	岩崎 孝之	准教授	小寺 哲夫	准教授
	審査員	岩本 敏	東京大学教授	荒井 慧悟	准教授
		山田 明	教授		
波多野 睦子		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、“Lead-vacancy centers in diamond for quantum network nodes” (量子ネットワークノードに向けたダイヤモンド中の鉛-空孔センター) と題し、英文 7 章から構成されている。

第 1 章“Introduction” (序論) では、量子ネットワークについて量子もつれを生成するための量子ネットワークノードの構成および量子光源に求められる特性を述べている。量子ネットワークノードとして期待されているダイヤモンド中の量子光源について、窒素-空孔センターおよび IV 族-空孔センターの特徴を述べ、光学特性およびスピンの観点から重い IV 族元素である Pb 元素を用いた鉛-空孔センターが応用に向けた重要な量子光源として期待されることを述べている。本論文の目的は鉛-空孔センターの光学特性を明らかにすること、長いスピンコヒーレンス時間に向けた評価をすること、さらにフーリエ限界線幅の発光を観測することであることを述べている。

第 2 章“Basic properties of lead-vacancy centers in diamond” (ダイヤモンド中の鉛-空孔センターの基礎特性) では、ダイヤモンド中の鉛-空孔センターの原子レベル構造、エネルギー準位、フォノンとの相互作用等の基礎特性を述べている。電子-フォノン相互作用の理論から IV 族-空孔センターのスピンの特性の制限要因を議論し、基底状態のエネルギー分裂幅が大きいことが期待される鉛-空孔センターではフォノン吸収によるスピンの特性劣化が抑制される可能性があることを述べている。また、これまでに報告されている鉛-空孔センターのゼロフォノン線が一致しておらず、その原因について考察を述べている。

第 3 章“Sample fabrication and experiment setups” (試料形成および実験装置) では、鉛-空孔センターの形成方法、試料の表面形状、光学測定の実験系について述べている。高品質な鉛-空孔センターの形成のためにはダイヤモンドが安定となる高圧下での処理が必要であり、本論文では高温高圧加熱装置を用いて温度 2100°C、圧力 7.7 GPa の条件下において加熱処理したと述べている。共焦点顕微鏡を用いた、単一光子放出、発光励起分光、偏光測定等の計測原理および実験装置の構成について述べている。

第 4 章“Spectroscopic investigation on lead-vacancy center” (鉛-空孔センターの分光学的研究) では、第 3 章で形成した鉛-空孔センターの分光学的な特性評価について述べている。室温および低温での発光スペクトル、発光の温度依存性、さらに単一鉛-空孔センターの偏光特性から波長 550 nm 付近に観測される 2 本の発光線が鉛-空孔センターのゼロフォノン線であると述べている。2 本のゼロフォノン線のエネルギー差から基底状態分裂は約 3900 GHz であり、鉛-空孔センターは約 9 K において長いスピンコヒーレンス時間が期待できると述べている。

第 5 章“Fourier transform limited photon emission from lead-vacancy center” (鉛-空孔センターのフーリエ限界光子放出) では、鉛-空孔センターからのフーリエ限界線幅を有する発光の観測について述べている。励起状態寿命の計測から見積もられた鉛-空孔センターのフーリエ限界線幅と発光励起分光によって観測した実際の線幅が非常に近いことを述べている。複数の鉛-空孔センターからフーリエ限界線幅に近い線幅の発光を観測したと述べている。スペクトル拡散および電荷状態の遷移について説明している。磁場下では分裂したエネルギー準位からスピン保存遷移に対応する発光線が観測され、温度によって発光強度が変化すると述べている。

第 6 章“Phonon relaxation induced line broadening in group-IV vacancy centers” (IV 族-空孔センターのフォノン緩和による線幅の広がり) では、IV 族-空孔センターのエネルギー準位間のフォノンによる遷移によって線幅の広がりが発生すると述べている。鉛-空孔センターでは 2 本のゼロフォノン線の線幅が 4 桁異なっており、基底状態のエネルギー準位間でのフォノン吸収と放出の影響を受けているためであると述べている。鉛-空孔センターは基底状態分裂幅が大きいこと、他の IV 族-空孔センターに比べ高い温度においてもフーリエ限界線幅が得られると述べている。

第 7 章“Summary and Outlook” (まとめと展望) では、本論文のまとめと今後の展望を述べている。

以上を要するに、本論文では、量子ネットワークノードに向けたダイヤモンド中の鉛-空孔センターに関する研究を行い、その中で高温高圧加熱による高品質鉛-空孔センターの形成、分光学的研究によるゼロフォノン線の観測、高い温度での優れたスピン特性の予測、フーリエ限界線幅の発光の観測、フォノンの影響による線幅の広がりの解明が行われた。以上の内容は、将来的な量子ネットワークの実用化に向けた量子中継器を含むノード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。