

Title	Charge State Control of Single Nitrogen-Vacancy Centers in Diamond
Author(s)	土井, 悠生
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/55892
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (土井悠生)

論文題名

Charge State Control of Single Nitrogen-Vacancy Centers in Diamond (ダイヤモンド中の単一窒素-空孔複合体中心における電荷状態制御)

論文内容の要旨

近年、スピンを情報処理や通信に用いる量子情報が注目されている。当分野では量子情報処理の実現に向けて長いコヒーレンス時間 (T_2) を持つスピンの求められている。また量子暗号通信や量子ネットワーク形成のためにスペクトル拡散の小さい単一光子が要求される。ダイヤモンド中の窒素-空孔複合体中心 (NV 中心) は室温で比較的長い T_2 を持ち、単一光子源としての性質を持つことから研究が盛んに行われている。近年、光励起による NV 中心の電荷数 (電荷状態) の変化が NV 中心と結合した核スピンの T_2 を大きく延伸させることがわかった。この際、光励起による温度上昇がなければ理論上 1 分を超える T_2 が期待される。このようなスピンの関連から、光励起に代わる手法での電荷状態制御は大きな可能性を秘めている。また光励起は NV 中心におけるスピンの初期化と検出に欠かせないが確率的な電荷状態の変化を起こす。これは光励起後の量子制御におけるエラーの原因となる。また単一光子のスペクトルに不均一広がりを生じる。

本研究では光励起に代わる手法としてダイヤモンド中への電流注入により、単一 NV 中心の電荷状態を制御した。電荷状態の非破壊測定を通じて、変化レートが電流に比例すること等を解明した。現時点では、制御の方向が一方に限定されるが、光励起以外の手法であること、スピンの利用できる単一 NV 電荷状態を制御したこと、具体的なレート等が明らかになったことで将来的な研究の広がりが期待される。加えて本研究ではリンダーを添加した別のダイヤモンド薄膜中において、電荷状態が NV⁻へ安定化された単一 NV 中心を実現した。この NV 中心は光励起下 (波長 593 nm, 強度 1 μ W) においても電荷状態が変化しない。また強い光励起によって電荷状態の変化が引き起こされても、その後 0.28 ms^{-1} のレートで完全に NV⁻へと回復することがわかった。この成果は単一スピン操作の精度、並びに単一光子のスペクトルの安定性向上に繋がる。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (土 井 悠 生)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	鈴木 義茂
	副 査	教 授	松本 和彦
	副 査	教 授	冨田 博一
	副 査	教 授	水落 憲和 (京都大学化学研究所)

論文審査の結果の要旨

本論文は室温における量子情報処理や量子通信への応用が期待されているダイヤモンド中の窒素-空孔複合体中心(NV中心)の電荷状態の制御に関するものである。単一のNV中心を情報処理に用いる場合、その電子状態が安定であることが必要だが、NV中心は光の照射などによりNV⁻とNV⁰と呼ばれる二つの電荷状態の間で遷移を起してしまうことが問題となっている。その一方で、この遷移を高速に生じさせることにより近接する核スピンの緩和時間を桁違いに長くできるという提案もなされている。そこで、ダイヤモンド中のNV中心を用いた量子情報処理を実現していくにはその電荷状態の制御が非常に重要な課題となっている。

本研究では、まず、単一NV中心の電荷状態のシングルショット測定(非破壊測定)を実現し、次いで、その技術を用いることにより光照射や電流注入による生じる電荷のダイナミクスを明らかにした。特に電荷状態を電流の注入により制御できることを示したことは大きな意義を持つ。

また、ダイヤモンド薄膜にリンをドーピングすることによりNV⁻が安定化し、光照射後も高速にNV⁻の状態に復元することを見出したことも大きな成果である。

申請者は以上の研究内容を正確かつ分かりやすく発表した。実験は一つ一つ丁寧に行われており了解性の高い結果が得られている。質問に対する回答も的確であり、レート方程式による電荷状態の遷移に関する解釈も明確である。以上により、本論文は博士(工学)の学位を授与するのにふさわしいと判断した。