

Title	Coherent control of single nuclear spins in diamond for long-lived quantum bits with high operability
Author(s)	下岡, 孝明
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/55894">https://hdl.handle.net/11094/55894</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 下岡 孝明 )

論文題名

Coherent control of single nuclear spins in diamond for long-lived quantum bits with high operability  
(長寿命量子ビットの高速制御実現に向けたダイヤモンド中 単一核スピンの量子制御)

量子情報処理の実現向け長寿命量子ビットの高速ゲート操作は重要課題である。とりわけ、単一の核スピンは他の量子系に比べ桁違いのコヒーレンス時間を持つことから量子ビットの重要な候補として挙げられる。一方で、核スピンはゲート操作に時間を要するという課題を抱えている。この問題に対し、我々はダイヤモンド中の単一 nitrogen-vacancy (NV) の電子スピンと相互作用する核スピんに注目し研究を進めてきた。

実験的検証ではNV電子スピンと最近接の核スピンの超微細相互作用に注目し、その摂動の効果 (hyperfine enhancement) を利用した核スピンの高速制御を行った。最近接核スピンは他の核スピンの超微細相互作用が大きく、原理的には他の核スピンの超微細相互作用に比べ高速でのゲート操作が可能である。本研究ではNV電子スピンと最近接の<sup>13</sup>C 核スピンの3つを用いた3量子系、4量子系での量子操作を室温下で行った。

理論的提案ではNV電子スピンの相互作用を介した単一核スピンの高速位相制御を目指した。このゲート操作はいわゆる幾何学的量子ゲートと呼ばれるものであり、核スピンの位相シフトは電界の回転により電子スピンの幾何学的位相を制御することで起こす。ゲート時間は電界の回転速度に比例して速くなり、原理的には既存の手法に比べゲート時間に桁違いの改善が見込まれる。

この他にも電氣的制御により電子 - 核スピン間で共鳴励起を起こす方法を理論的解析により求めた。ゲート時間は同程度の実験条件における核スピン Rabi 振動に比べ桁違いの改善が見込まれる。また電氣的制御は局所操作の点で利点があることから、本手法は集積化の際に必要なナノスケールでの量子操作に向けて重要な成果である。

これらの成果は、集積回路上での高速高精度での量子情報処理向け重要な位置づけにあり、量子情報処理の実現に向けて本質的な意義を持つ。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 下 岡 孝 明 )		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授 鈴木 義茂
	副 査	教 授 井元 信之
	副 査	教 授 吉田 博
	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

ダイヤモンド中の窒素-原子空孔複合欠陥(NV中心)は室温で量子情報操作が可能な固体系として注目を集めている。NV中心にとらえられた電子スピンは光による初期化と読み出しが可能であり、かつ、比較的長いコヒーレンス時間を持つ。そこで、この電子とさらに長いコヒーレンス時間をもつ周辺の核スピンとの間の相互作用を用いることにより量子情報操作が可能となる。より大規模な量子情報操作を行うには高速なゲート操作を多数の量子ビットとの間で行う必要がある。そこで、申請者は最近接に $^{13}\text{C}$ 核スピンを多数持つNV中心を見出し、その量子操作を室温下で行うことを試みた。最近接に位置する核を用いることにより相互作用が大きくなり高速なゲート操作が可能となる。しかし、 $^{13}\text{C}$ の自然な存在比は1.1%に過ぎず、近接位置に3ないし4つの $^{13}\text{C}$ をもつNV中心を自然に見出すことは非常に困難なこととなる。そこで、申請者は $^{13}\text{C}$ を8%にまでエンリッチしたダイヤモンドを作製し、この困難を乗り越えた。このようにして見出された、多数の $^{13}\text{C}$ を近接位置に持つNV中心について申請者は量子トモグラフィを行い、3量子系、4量子系での量子情報操作が可能であることを示した。この結果は、室温における高速固体量子情報操作に一つの大きな進展をもたらすものである。

また、申請者はNV中心の電子が電界に対する応答を示すことに注目し、回転電界を用いた核スピンの高速操作を提案した。このゲート操作は幾何学的位相を巧みに利用しようとする野心的な提案であり提案者の創造力の高さを示す内容であるといえる。

申請者は以上の内容を的確に説明した。実験は明確なビジョンのもと根気強く進められている。理論的提案についてはまだ粗削りな部分もみられるが、提案者の研究意欲と創造性を示すものであると考えられる。質問についても論理的に答えた。以上より、本論文は博士(理学)の学位を与えるのにふさわしいものと判断した。