

Title	電子スピン量子ビットの制御に関する研究
Author(s)	田淵, 豊
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59854
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。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"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

【37】

氏 名	た ぶち ゆたか 田 淵 豊
博士の専攻分野の名称	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	第 2 5 6 8 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 24 年 9 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科システム創成専攻
学 位 論 文 名	電子スピン量子ビットの制御に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 北川 勝浩 (副査) 教 授 占部 伸二 教 授 井元 信之

論 文 内 容 の 要 旨

分子中の不對電子スピン量子ビットは分子外からの影響を受けにくく、長いコヒーレンス時間が期待されており、

高速な量子情報処理デバイスとして研究が行われている。電子スピン量子ビットの状態制御や量子ゲートの実装は、数十GHzのマイクロ波磁場を用いて電子スピン共鳴により実現される。忠実度の高い量子ゲートを実装するためには電子スピンを正確に制御する必要があり、実験装置によるマイクロ波の波形歪みや、電子スピンと核スピンの結合などを抑圧する必要がある。本研究では電子スピン量子ビットを自由度高く制御することが可能な広帯域の電スピン多重分光装置を構成し、ピラジカル分子を用いて動的デカップリング法による制御位相ゲートを実装した。また波形歪みの改善に取り組み、実験装置に線形応答理論を適用することで、波形歪みを打ち消すような制御入力波形を計算する手法を提案している。この手法を用いて核磁気共鳴による水の水素核スピンの章動実験を行い、正確にスピンを制御できることを示した。さらに量子ビットをユニタリ回転することで緩和の抑制が可能な動的デカップリング法の構成法に関する研究を行い、動的デカップリング波形を数値的に自動構成する手法を提案している。従来の動的デカップリング法の開発には近似が多く、実際の実験においては仮定から逸れるにつれて誤差が生じる。本研究では最適制御理論の枠組みにおいて動的デカップリング波形を生成し、数値最適化を用いることで実験上の制約を取り込むことを可能にした。本研究では電子スピンの位相緩和問題と複数量子ビット間の結合の抑制問題を取扱い、シミュレーションによってその有効性を示した。

論文審査の結果の要旨

分子中の不対電子スピンは、比較のコヒーレンス時間が長く、磁気共鳴による操作・観測が可能で、極低温下でほぼ完全に偏極可能なため、量子ビットの候補として有望である。しかし、量子情報処理を実現するためには、電子スピン量子ビットを精密に制御し、エラーの小さな量子ゲートを実現する必要がある。本論文は、電子スピンを制御するマイクロ波磁場の誤差、および、電子スピンと環境との結合によるデコヒーレンスと緩和の問題を解決して、電子スピン量子ビットを精密に制御する方法を明らかにしている。

本論文では、100mK以下の極低温下で複雑な波形のKu帯マイクロ波磁場を正確かつ強力に照射できる電子スピン共鳴装置を、任意波形発生器と誘電体共振器を用いて開発し、実験を行っている。

スピんに強い振動磁場を照射し、スピンからの微弱な信号を高感度に観測するために高Qの共振器を用いると、共振器の過渡現象による入射波形と共振器内振動磁場波形の顕著な違いのために、スピンの操作に誤差を生じる。本論文では、共振器などによる線形歪みを測定してそれを補償するパルス波形を生成することによって、所望の磁場パルスを精密にスピんに照射する方法を開発している。

本論文では、量子ビットに振動磁場を印加して環境との結合を切ってデコヒーレンスを抑制する動的デカップリングの波形を最適制御理論に基づき数値的に生成する方法を開発している。本方法では、波形生成を非線形計画問題に帰着し、コスト関数をリー代数上に構成することで、最適制御理論では必須であった結合係数の詳細な分光を不要にし、数値最適化により磁場強度や帯域幅など実験的制約に柔軟に対応可能としている。2つの例についてシミュレーションによりこの手法の有効性を示している。

以上のとおり、本論文は、電子スピンを量子ビットとして精密に制御するための新たな手法として、共振器などの分散を予め補償したパルスの生成法、および、系の詳細に依らない動的デカップリング波形の数値的生成法を開発しており、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。