



Title	固体核スピン量子ビットの初期化、操作、観測に関する研究
Author(s)	根来, 誠
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58252
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【69】

氏 名	ね ころ 根 来	まこと 誠
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	
学 位 記 番 号	第 2 4 6 3 7 号	
学 位 授 与 年 月 日	平 成 23 年 3 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	固体核スピン量子ビットの初期化、操作、観測に関する研究	
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 教 授 白石 誠司 准教授 小芦 雅斗	

論文内容の要旨

本研究は、「光励起三重項電子スピンを用いた動的核偏極 (triplet-DNP)」によって高偏極化可能な「固体核スピン量子ビット系」における量子情報処理実験のための要素技術である初期化、操作、観測に関する研究である。

Triplet-DNPで初期化を行う方法では、ホスト物質の部分的重水素化が、初期化 (高偏極化) 手続きの高速化に大きく貢献することが知られている。本研究では、部分的重水素化サンプルにおいて、重水素デカップリング照射を行うことで、プロトンスピン拡散が促進され、初期化手続きがさらに高速化されることを示す。

ベンタセンを用いるtriplet-DNPでは、これまでごく限られたホスト物質の高偏極化しか達成されていない。本研究では、ホスト物質にベンタセンと共に第三分子をドーブした単結晶サンプルでの、第三分子内量子ビット系の初期化実験について述べる。また、triplet-DNPでさらに任意の分子を高偏極化するスキームをいくつか提案する。

Triplet-DNPが可能な系は、現在のところ固体に限られている。固体核スピン量子ビット系では、分子間同核双極子相互作用がデコヒーレンスの大きな原因となっている。本研究では、Lee-Goldburg照射によって同核双極子相互作用をデカップリングしながら、ユニバーサルな量子ゲート操作が可能であることを示す。

核スピンの磁気モーメントは非常に小さいので、検出感度は低く、状態の観測が難しい。もし、ある核スピンの一つの成分を周囲の多くの核スピんに転写することができれば、信号を増幅することが可能である。この方法はスピン増幅と呼ばれる。本論文ではこのスピン増幅をスケラブルに実装する方法を提案する。そして、その方法を用いたゲイン140の実験について述べる。

本研究で得られたこれらの成果は、核スピン量子ビット系を用いた量子情報処理実験に大きな進展をもたらすのみならず、核磁気共鳴分光の測定感度の飛躍的向上をもたらすであろう。

論文審査の結果の要旨

本論文は、固体分子の核スピン量子ビットの初期化、演算、観測の研究について述べている。核スピンは、核磁気共鳴 (NMR) による量子演算が可能で、デコヒーレンス時間が長いという利点を持つ。一方、核スピン1個のNMR信号は微弱で、単一核スピンの量子状態は観測できない。さらに、室温の熱平衡状態は純粋状態からほど遠い。また、固体では同格核スピン間の双極子相互作用がデコヒーレンスとなり量子演算を妨げる。

初期化については、光励起三重項状態を用いた動的核偏極 (DNP) の高速化と量子ビットの高偏極化について述べている。ベンタセンをナフタレンまたはp-テルフェニルの結晶にドーブした系では、ホスト結晶の部分的重水素化によるDNPの高速化が知られていた。本論文では、重水素を照射によりデカップルし、スピン拡散を促進することによって、さらに高速化が可能であることを実験的に示している。また、(ジ)フルオロナフタレンをベンタセンとともにナフタレン結晶にドーブし、DNPの後、弱磁場通過によって、プロトンからフッ素核スピン量子ビットに偏極を移動し、初めてホスト以外の分子の高偏極化を実現している。

固体中で分子間の同核双極子相互作用をデカップルしながら量子演算を行う、Lee-Goldburg照射に基づく新たな方法を提案し、1および2量子ビットの量子ゲートのコヒーレンス時間が延びることを実験的に示している。

一つのスピンの情報を多くのスピんに制御NOTでコピーするスピン増幅は、個々のスピンを識別して演算する必要があるため、数倍の利得しか実現していなかった。本論文は、スピン増幅、および、一つのスピンの情報を多くのスピんに移動して蓄積する広義のスピン増幅を、スケラブルに実現する方法を提案し、140倍の高利得を実現し、分光への応用を示している。

以上のとおり、本論文に述べられた成果は、いずれも独創的であり、量子情報処理のみならずNMR分光の新たな応用に道を拓くものである。特に、広義のスピン増幅のスケラブルな実装による高利得の実現は画期的である。よって、本論文を博士 (理学) の学位論文として価値のあるものと認める。