OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	ダイヤモンド量子センサの感度向上と試料最適作製条件の評価
Author(s)	林, 寛
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/69627
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、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

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　林 寛　）	
論文題名	ダイヤモンド量子センサの感度向上と試料最適作製条件の評価

論文内容の要旨

ダイヤモンドNVセンターを用いた量子センシングの研究が盛んに行われている。現在、10^{11}個のNVセンターを用いて0.9 pT/$\sqrt{\text{Hz}}$ の感度を達成している。また温度センシングなどにおいても複数のNVセンターを用いる事により、mKオーダーの感度を達成しており、生体内の温度変化の評価なども行われている。しかし、心磁測定や、生体温度測定などを行うためには、更なる感度が要求される。NVセンターを用いたセンシング感度は$\propto 1/\sqrt{NT_c}$(N:測定で用いるNVセンターの個数、T_c:NVセンターのスピンのコヒーレンス時間)で表すことができる。T_cは主にT_2^*, T_2などであるが、NVセンターの濃度を増やすことにより、NVセンタースピンの感じるノイズ(不均一磁場、不均一歪み、均一広がりなど)が増える事で、T_cが短くなる。このため、Nには最適値があると考えられるが、これまで調べられていない。

本研究では様々なNV濃度の試料を作成し、ノイズ、T_2のNVセンター濃度依存性を調べた。まず、高温高圧合成法の触媒にTiを使用することにより、ダイヤモンド中のP1センター濃度の制御を実証した。また、電子線照射量を変える事によりNVセンター濃度の制御が可能である事が示唆された。次にこれらの試料のT_2を評価した。その結果、T_2とダイヤモンド中スピン数(NVセンターとP1センター)との間に正の相関があることが分かった。さらにノイズとNVセンター濃度の関係を、実験値とシミュレーションを比較して調べた。この結果、不均一磁場と均一広がりはダイヤモンド中のスピン数に、不均一歪みはNVセンター濃度に比例することが分かった。これにより、NVセンター濃度からODMR信号をシミューレートすることが可能となり、高温高圧合成法と電子線照射により作成したNVセンターを使った量子測定における、最適な試料作成条件を予測する事ができる。今回、理論計算から、温度感度、磁気感度共に更なる大幅な感度向上の余地があることが示された。また、磁場感度とは違い、温度感度にはNVセンター濃度に対して最小感度を実現する最適な濃度が存在することが初めて示された。本研究成果は今後のダイヤモンドNVセンターを用いた量子センシングの発展につながる。

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（林 寛）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教 授	鈴木　義茂
	副 査　教 授	井元　信之
	副 査　教 授	北川　勝浩
	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

内部の散逸が非常に小さく、長い緩和時間を持つ量子系は量子情報計算に適すると同時にこれまでにない超高感度な量子センシングにも適している。申請者は、ダイヤモンド中の複合格子欠陥であるNVセンターを用いた量子センシングについての研究を行った。NVセンターはダイヤモンド中の窒素(N)不純物原子と原子空孔(V)が結合した複合欠陥でありS=1の量子状態を形成する。この系は室温で量子操作が可能な系としてよく知られている。

NVセンターについては既に磁界などの超高感度センサーとしての優れた特性が報告されている。例えば、現在、10^{11}個のNVセンターの集合(アンサンブル)を用いることにより$0.9\ \mathrm{pT}/\sqrt{\mathrm{Hz}}$ の磁場感度を達成したことが報告されている。単純に考えると、感度をさらに良くするためには測定に用いるNVセンターの数を増やすのがよいと思われるが、実際にはNVセンターを作るために導入したNのスピンがノイズ源になるなどの問題がある。そこで、最高性能を示すセンサーを作るにはNVセンターの濃度の最適化を図る必要がある。このために申請者はまず窒素濃度をコントロールしたダイヤモンド試料の作製から始めた。窒素濃度の制御には溶媒にチタンなどの窒素吸引物質を混ぜるとよいと言われていたが、実際の研究は行われていなかった。申請者は実際にチタン濃度の異なる溶媒からダイヤモンドを作製し、ダイヤモンド中のスピン濃度(P1センターの濃度)が系統的に変化することを見出した。さらに、この試料に電子線を照射することによりNVセンターを形成した。NVセンターはP1濃度に依存して変化した。以上が第一の成果である。

申請者は、次いで横緩和時間T_2とNVセンターの濃度との関係を調べた。その結果、予想通りNVセンター濃度の小さな試料が長い横緩和時間T_2を示すことが分かった。特に混酸処理を施した試料では10μsに達する長い緩和時間を得ることに成功した。

NVセンター濃度と横緩和時間T_2の関係が明らかになったので、次にシミュレーションを用いてこの関係を再現することを試みた。このことによりモデルを構築し、最終的にシミュレーションを使って磁場感度とNVセンター濃度との関係を明らかにした。この結果、3×10^{17}程度のNVセンター濃度の時にセンサー感度が最大となることを明らかにした。

本論文はダイヤモンド中のNVセンター濃度の制御が超高感度量子センシングのために重要であることを明らかにしただけでなく、その製造法と感度の理論解析法も具体的に示した優れたものである。よって、博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。