リンドープダイヤモンドにおける NV 中心の電荷安定性とスピン特性

Stabilization and spin characterization of NV center in Phosphorus doped diamond

阪大基礎工 [1]、産総研 [2]、CREST[3]、金沢大工 [4]、京大化研 [5]　○丸山 祐一 [1]、加藤 宙光 [2,3]、徳田 規夫 [4]、牧野 俊晴 [2,3]、山崎 聡 [2,3]、下岡 孝明 [3,5]、森下 弘樹 [3,5]、藤原 正規 [3,5]、水落 憲和 [3,5]

Osaka Univ.[1] AIST[2], CREST[3], Kanazawa Univ.[4] Kyoto Univ.[5] ○Y. Maruyama[1], H. Kato[2,3], N. Tokuda[4], T. Makino[2,3], S. Yamasaki[2,3], T. Shimo-Oka[3,5], H. Morishita[3,5], M. Fujiwara[3,5], N. Mizuochi[3,5]

maruyama@dia.kuicr.kyoto-u.ac.jp

ダイヤモンド中の NV 中心は超高感度センサや量子情報等への応用が期待される。NV 中心には保有する電子数に応じた電荷状態があり、一価の負に帯電した NV^-ではそのスピン状態の制御と検出が可能である。しかし NV 中心の電荷状態は光励起によって変化し、例えば 532 nm の光励起の後には NV^-と中性状態の NV^0 の比率が約 7 : 3 の割合になってしまう。NV^0 ではスピン状態の制御と検出ができないため、NV 中心の応用では NV^-の安定化が求められる。更にセンサに関しては表面から数 nm 付近の NV 中心における電荷状態の不安定化や、スピンコヒーレンス時間（T_2）の数十 μs 以下への短時間化が課題としてある。

それらの課題解決方法の一つとしてドナー不純物ドープによる NV 中心への電子供給が考えられ、我々のグループではリンドープによる n 型ダイヤモンド中の単一 NV 中心では、NV^-と NV^0 の比率がほぼ 10 : 0 になることを示した[1]。その研究では比較的低いリン濃度 10^{15}～10^{16} cm^{-3} の試料を用いており、レーザーによる初期化後の NV^0 から NV^-へ回復する時間が 10ms 程度であった[1]。また、そのような低リン濃度下では、高品質ノンドープ試料で観測される数百 μs の T_2 が期待されたが、T_2 が 50 μs 程度と短かった。本研究では CVD 法により合成した更なる高濃度（[P] ~ 10^{17} cm^{-3} ）の n 型ダイヤモンド試料を研究した。シングルショット電荷状態測定では観測した単一 NV 中心のすべてにおいて、既報[1]と同様に NV^-と NV^0 の比率がほぼ 10 : 0 であった。電荷状態の安定性について調べ、NV^0 から NV^-へ回復する時間が 2 ms 未満と、期待通り従来の報告より短い結果を得た[1]。また図 1 に示したように 150 μs 程度の T_2 を持つものを観測し、リンドープ下でも高品質ノンドープ試料の長い T_2 に近づけられる可能性を示した。

更に比較としてドーピングの容易な窒素をドープしたダイヤモンド試料において、電荷測定を行った。これまで表面付近の NV 中心等でも窒素ドープにより NV^-の電荷状態が安定化したとする報告例もあったが、シングルショット電荷状態測定では、ノンドープ試料と同程度の NV^-と NV^0 の比率が約 7 : 3 であり、NV^-の安定化の効果が十分には得られなかった。これはダイヤモンドのフェルミ位置に関する重要な知見と考えられる。詳細は講演会で述べる。本研究は科研費、CREST の支援を得ている。

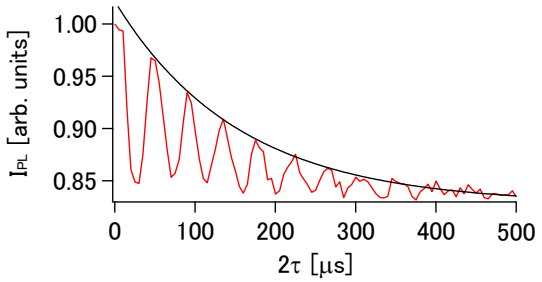

図 1　リンドープ試料中の単一 NV 中心のハーンエコー。包絡線を関数 exp($2\tau/T_2$)でフィッティングし、T_2=154±5 μs を得た。

[1] Y. Doi, H. Kato, T. Makino, S. Yamasaki, N. Mizuochi, et. al. Phys. Rev. B, 93, 081203 (R), 2016.