

窒素分子・炭素イオン共注入による室温ダイヤモンドスピン量子ビット Room-temperature diamond spin qubits by co-implantation of molecular nitrogen and carbon ions



物質・材料研究機構¹, ウルム大学², 日本原子力研究開発機構³, シュツットガ
ルト大学⁴, 筑波大学⁵, ^{○(PC)}山本卓^{1,3}, C. Müller², L. P. McGuinness², 寺地徳
之¹, B. Naydenov², 小野田忍³, 大島武³, 小泉聡¹, J. Wrachtrup⁴, F. Jelezko², 磯谷順
一⁵

NIMS¹, Ulm univ.², JAEA³, Stuttgart univ.⁴, Tsukuba univ.⁵, ^{○(PC)}T. Yamamoto^{1,3}, C. Müller², L. P.
McGuinness², T. Teraji¹, B. Naydenov², S. Onoda³, T. Ohshima³, S. Koizumi¹, J. Wrachtrup⁴, F.
Jelezko², and J. Isoya⁵

E-mail: yamamoto.takashi@nims.go.jp

ダイヤモンド中の負に帯電した窒素空孔欠陥 (NV) の電子スピンは室温大気環境下で動作可能なほぼ唯一の固体量子ビットである[1]。窒素イオン注入は NV 量子ビットを生成する有効な手法であるが、低エネルギー注入の場合、数%程度の低い生成効率と短いコヒーレンス時間 (最長は 0.35 ms) の改善が課題である。

本研究では、長いコヒーレンス時間を達成するためにマイクロ波プラズマ化学気相堆積法で成長した ¹²C 同位体濃縮ホモエピタキシャルダイヤモンド薄膜 (¹²C-99.998%, [N_s] < 0.1 ppb) を用いて ¹³C 核スピンの影響を除いた。成長薄膜中の不純物として存在する ¹⁴N (天然存在比 99.63%) から生成される ¹⁴NV と区別するために、¹⁵N 窒素分子イオン (20 keV-¹⁵N₂⁺, ~10⁷ cm⁻²) を注入し、¹⁵NV の生成収率 (注入した ¹⁵N イオンの数に対する生成した ¹⁵NV の数の比) を改善するために ¹²C⁺ イオン (20 keV, ~10¹¹ cm⁻²) も加えて注入した。イオン注入した試料を真空中 1000°C で熱処理することで NV を生成した。NV は 532 nm の励起光を用いたレーザー共焦点蛍光顕微鏡で観察した。

NV には異なる電荷状態 NV⁰ と NV⁻ が存在するが、単一 NV のフォトルミネッセンススペクトルから負の電荷状態 (638 nm ゼロフォノン線) であることが分かった[図 1(a)]。光検出磁気共鳴測定による ¹⁵N 超微細構造から観測された NV が ¹⁵N イオンから生成された ¹⁵NV (分裂幅 3.1 MHz) であることを確認した[図 1(b)]。共注入による ¹⁵NV の生成収率は 36% と分かり、窒素分子イオンのみを注入した場合の 20% と比較して約 2 倍に改善されることが明らかとなった[2]。また、コヒーレンス時間 (T_2) は室温で ~0.8 ms と長いことが分かった。興味深いことに、共注入で生成された NV の T_2 の平均値は、窒素分子イオン注入のみで生成された場

合の平均値と同程度であることが分かった。この結果は T_2 を短くする要因である残留する常磁性空孔クラスター欠陥が 1000°C の熱処理によって効果的に低減[3]されていることと符合する。以上、長いコヒーレンス時間を持つ NV を高効率で生成することに成功したが、最近、一つの窒素分子イオンから生成された二つの NV 量子ビット間の強い磁氣的結合 (二量子ビット化) にも成功している[2]。

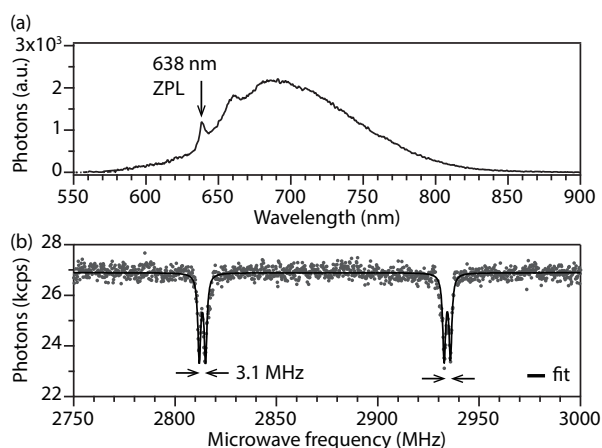


図 1. 単一 NV のフォトルミネッセンススペクトル(a)と光検出磁気共鳴スペクトル(b): 532 nm の励起光を使用

[謝辞] 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的国際科学技術協力推進事業「日独研究交流」の助成のもと遂行された。

[1] F. Jelezko and J. Wrachtrup, Phys. Status Solidi A **203**, 3207 (2006).

[2] T. Yamamoto et al., Phys. Rev. B **88**, 201201(R) (2013).

[3] T. Yamamoto et al., Phys. Rev. B **88**, 075206 (2013).