

ナノホールレジストマスクを用いた低エネルギーイオン注入による 量子センシングのためのNVセンター配列の作製

Fabrication of NV center array for quantum sensing by low-energy ion implantation with nano-hole resist mask

早大理工¹, 物材機構², 量研機構³, ウルム大⁴, 群大⁵, 東北大⁶, 筑波大⁷

○東又格^{1,*}, 岡田拓真¹, 加賀美理沙¹, 寺地徳之², 小野田忍³, 春山盛善^{3,5}, 山田圭介³,
稲葉優文¹, 山野颯¹, Priyadharshini Balasubramanian⁴, Liam P McGuinness⁴, Boris Naydenov⁴,
Fedor Jelezko⁴, 大島武³, 品田高宏⁶, 川原田洋¹, 加田渉⁵, 花泉修⁵, 磯谷順一⁷, 谷井孝至¹

Waseda Univ.¹, NIMS², QST³, Ulm Univ.⁴, Gunma Univ.⁵, Tohoku Univ.⁶, Univ. of Tsukuba⁷

○I. Higashimata^{1,*}, T. Okada¹, R. Kagami¹, T. Teraji², S. Onoda³, M. Haruyama^{3,5}, K. Yamada³,
M. Inaba¹, H. Yamano¹, P. Balasubramanian⁴, L. P. McGuinness⁴, B. Naydenov⁴,
F. Jelezko⁴, T. Ohshima³, T. Shinada⁵, H. Kawarada¹, W. Kada⁵, O. Hanaizumi⁵, J. Isoya⁶, T. Tani¹

*E-mail: higashimata@tanii.nano.waseda.ac.jp

【研究背景】NV⁻(Nitrogen Vacancy)センターの電子スピンは室温で比較的長いコヒーレンス時間を示し、光によるスピンの初期化や読み出しが可能なため、光検出パルス磁気共鳴を基軸とした量子センシングのプロブとして注目を集めている。標的分子中の電子スピンや核スピンを読み出すためには、形成したNV⁻センターを標的に近接して配置する必要がある^[1]。基板中のNV⁻センターを活用する場合にはNV⁻センター直上の表面に標的分子を配置する必要があり、特に1分子検出に向けてはNV⁻センターと標的分子との位置の精密制御が重要になる。このためには良質のNV⁻センターを1個ずつ規定された位置(深さ方向には10 nm以下、水平方向には数μm間隔)に形成できると便利である。今回、電子線リソグラフィと低エネルギー窒素イオン注入を組み合わせることでNV⁻センターを形成し、その生成収率(1個ずつNV⁻センターを形成するための条件だし)とコヒーレンス時間を計測したので報告する。

【実験方法】マイクロ波プラズマCVD法により、Ib(100)基板上に約20 μmの¹²C99.998%濃縮ダイヤモンド薄膜を成長させた。表面を水素で終端した後、PMMAレジスト(膜厚~200 nm)をスピン塗布し、電子線リソグラフィ装置(加速電圧50 keV)を用いてナノホール(直径約50 nm)を4 μm間隔で配列形成した。続いて、ナノホールを介して¹⁵N⁺イオンを加速エネルギー 5 keV、イオン注入ドーズ $4.0 \times 10^{11} \text{ N}^+ \text{ cm}^{-2}$ で注入し、有機溶媒および熱混酸によりレジストを除去した後、熱処理(1000 °C、2 h)を施すことで、NVセンターの発光スポットを配列状に形成した。洗浄後、共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡(CFM)を用いてイオン注入領域および未注入領域の室温フォトルミネッセンス(PL)測定、ODMR測定を行い、形成したNV⁻センターの特性を評価した。

【実験結果】図1にCFM像を示すように、NV⁻センターの発光スポットが配列状に形成されている。配列化により所望のスポット位置にアプローチできるため、標的分子の位置制御に便利であるだけでなく、磁場・電場を位置の関数として測定できる点や、位置が時間とともに変化する信号源を追跡できる点でも有用である。図2は各スポット位置に含まれるNVセンターの個数分布で、本実験のイオン注入条件において、ほぼ1個ずつNV⁻センターが形成することが分かった。図3は作製したNVセンターのT₂の代表例で、測定した3つのスポットでは1.7~29.2 μsと分布があった。イオン注入により導入されるダメージやP1センターの影響、また不対電子が存在する表面に近いこと(平均注入深さ8 nm)を考慮すれば妥当な値を示している。なお、本研究は科研費(26246001、25289109、26220903、15H03980)の助成を受けている。[1] T. Staudacher *et al.*, Science **339**, 561 (2013).

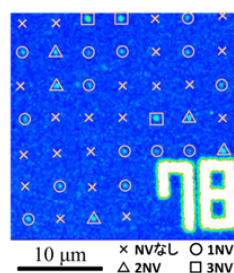


図1 NV⁻センター由来の発光スポットのCFM像

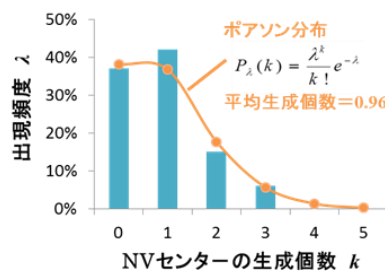


図2 各スポット位置に含まれるNV⁻センターの個数分布

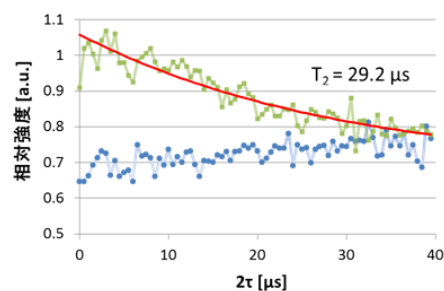


図3 スポット内のNV⁻センターのスピネコー測定(代表例)