

ナノホールレジストマスクを用いたNVセンター配列の作製 II

Fabrication of nitrogen-vacancy center array using nano-hole resist mask II

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

○岡田拓真^{1,*}, 東又格¹, 加賀美理沙¹, 寺地徳之², 小野田忍³, 山田圭介³, 春山盛善^{3,5}, 稲葉優文¹, 山野颯¹, Priyadharshini Balasubramanian⁴, Boris Naydenov⁴, Liam McGuinness⁴, 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

○T. Okada^{1,*}, I. Higashimata¹, R. Kagami¹, T. Teraji², S. Onoda³, K. Yamada³, M. Haruyama^{3,5}, M. Inaba¹, H. Yamano¹, P. Balasubramanian⁴, B. Naydenov⁴, L. McGuinness⁴, F. Jelezko⁴, T. Ohshima³, T. Shinada⁵, H. Kwarada¹, W. Kada⁵, O. Hanaizumi⁵, J. Isoya⁷, T. Tani¹

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

【研究背景】NV(Nitrogen-Vacancy) センターは、ダイヤモンドの炭素を置換した窒素と、隣接する格子位置の原子空孔からなる発光センターである。NV⁻センターの電子スピンは室温でも比較的長いコヒーレンス時間を示す^[1]。さらに、NV⁻センターを近接して配列形成すれば^[2]、光での初期化・読出しが可能なマルチビット量子レジスタとしての応用を期待できる^[3]。前回の報告では、直径~10 nmのナノホールを介した窒素分子イオン注入によって、ナノホールの位置に異なる方向を持つ1から4個のNV⁻センターを形成できることを示した。今回は、コヒーレンス時間(T_2)の改善などを目的とし、イオン注入ドースを前回^[4]の $2.5 \times 10^{13} \text{ N}_2^+ \text{ ions cm}^{-2}$ から $2.5 \times 10^{12} \text{ N}_2^+ \text{ ions cm}^{-2}$ に下げ、NV⁻センターを形成した。

【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。水素終端表面上にポリメチルメタクリレート(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(加速電圧50 keV)を用いてナノホール(直径10-20 nm)を4 μm 間隔で配列形成した。各領域にはアドレッシング用の数字パターンを併せて形成した。ナノホールを介して10 keV ¹⁵N⁺イオンと20 keV ¹⁵N₂⁺イオンを注入し、有機溶媒と熱混酸によりレジストを除去後、1000°Cで2時間の熱処理を施してNV⁻センターを形成した。共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡(CFM)を用いて、1個のナノホールに対応する蛍光スポット内のNV⁻センターの個数分布を評価した。電荷安定性などを目的とし、CFM測定前に熱混酸処理とオゾン雰囲気への暴露を行い、Hahn echoによりコヒーレンス時間(T_2)を測定した。

【実験結果】図1のCFM像に示すように、NV⁻センターの配列スポットを作製した。スポットあたりのNV⁻センターの生成個数はポアソン分布(Poisson分布)に従っており(図2)、生成個数の平均値はドースを下げることによって低くなった。これは、ドースにより各スポット位置に含まれるNV⁻センターの数を制御できることを意味している。同じドースでは¹⁵N⁺注入より¹⁵N₂⁺注入の方が平均値は高くなった。今回の照射条件において、¹⁵N⁺を $2.5 \times 10^{12} \text{ ions cm}^{-2}$ でイオン注入した領域では、スポットあたりのNV⁻センターの数が1個であった(図2左)。比較的長い T_2 を示すスポットはほとんどが単一のNV⁻センターの場合であり、測定した T_2 には分布があるが、¹⁵N⁺注入領域では100 μs を越える長いものも見つかった(図3)。20 keV ¹⁵N₂⁺イオン注入ではブロードイオンビームで650 μs と長い報告もあるが^[3]、ナノホールレジストマスクを用いた注入では最長でも12 μs に留まっていた。今回の T_2 の向上はイオン照射量の低減に依るものと考えられる。なお、本研究は科研費(26246001, 25289109, 26220903, H1503980)の助成を受けている。[1] I. Aharonovich, et al., *Rep. Prog. Phys.* 74, 076501 (2011). [2] P. Neumann et al., *Science* 320, 1326 (2008). [3] T. Yamamoto, et al., *Phys. Rev. B* 88, 201201 (2013). [4] 東又格 他, 第76回 応用物理学会秋季学術講演会, 15p-4F-22, 2015年9月

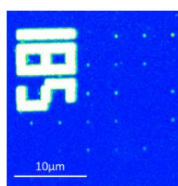


図1 NV⁻センター配列のCFM像



図2 1スポットあたりのNV⁻センター個数 (左:¹⁵N⁺イオン, 右:¹⁵N₂⁺イオン)

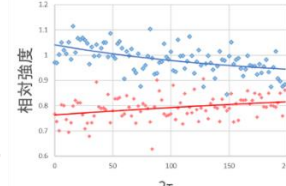


図3 Hahn echo測定結果