

浅い単一 NV センターの規則的配列を用いた表面の水素核スピンの検出 Detection of surface hydrogen nuclear spin with a regular array of shallow NV centers

早大理工¹, 物材機構², 量研機構³, 群大⁴, ウルム大⁵, 東北大⁶, 筑波大⁷
○福田 諒介^{1,*}, 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^{3,4},
山田 圭介³, 稲葉 優文¹, 山野 颯¹, P. Balasubramanian⁵, F. Stuerner⁵, S. Schmitt⁵,
L. P. McGuinness⁵, F. Jelezko⁵, 大島 武³, 品田 高宏⁶, 川原田 洋¹, 加田 渉⁴,
花泉 修⁴, 磯谷 順一⁷, 谷井 孝至¹

Waseda Univ.¹, NIMS², QST³, Gunma Univ.⁴, Ulm Univ.⁵, Tohoku Univ.⁶, Univ. of Tsukuba⁷
○R. Fukuda^{1,*}, I. Higashimata¹, T. Okada¹, R. Kagami¹, T. Teraji², S. Onoda³, M. Haruyama^{3,4},
K. Yamada³, M. Inaba¹, H. Yamano¹, P. Balasubramanian⁵, F. Stuerner⁵, S. Schmitt⁵, L. P. McGuinness⁵,
F. Jelezko⁵, T. Ohshima³, T. Shinada⁶, H. Kawarada¹, W. Kada⁴, O. Hanaizumi⁴,
J. Isoya⁷, T. Tani¹

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

【研究背景】ダイヤモンド中の NV⁻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 T_2 を示し、光によるスピンの初期化・読み出し、マイクロ波によるスピンの操作が可能であるという優れた特長をもつ。近年、この NV⁻センターの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への応用が期待されている。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、NV⁻センターを標的に近接して配置・作製する必要がある^[1]。これを実現する方法のひとつに、低エネルギーイオン注入による浅い NV⁻センターの作製がある。また、電子線リソグラフィ等により作製したレジストマスクを介して窒素イオンを注入すれば、単一 NV⁻センターの生成位置を ~10 nm の精度で制御できる^[2]。本研究では、電子線リソグラフィと窒素イオン注入により、単一 NV⁻センターの規則配列を形成すること、さらに、このようにして作製された単一 NV⁻センターがダイヤモンド表面の水素原子の核スピン検出に活用できるかどうかについて実験的に検証した。

【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 $^{12}\text{C}99.998\%$ 濃縮ダイヤモンド薄膜を成長した。PMMA レジスト(膜厚~200 nm)を用いた電子線リソグラフィ(加速電圧 50 keV)により、ナノホールを 4 μm 間隔で配列形成した。このようにして PMMA レジスト中に形成されたナノホールの直径を FE-SEM により測長した。ナノホールを介して $^{15}\text{N}^+$ イオン(2.5 keV)を注入し、レジスト除去後の熱処理(1000 $^{\circ}\text{C}$, 2 h)により NV⁻センターを形成した。基板洗浄には熱混酸またはオゾン処理を用いた。イマージョンオイルを試料全面に塗布し、共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡(CFM)を用いて、NV⁻センターの特性を評価した。

【実験結果】Fig. 1 は PMMA レジストの電子線リソグラフィにおける電子線照射量とナノホール径の関係を示したものである。最小で ~20 nm のナノホールが作製でき、さらに計測されたナノホール径に基づいて、注入窒素原子数を正確に見積もることができる。Fig. 2 は NV⁻センター規則配列の CFM 像を示している。この CFM 像は、直径 18 nm のナノホールレジストマスクを介して窒素イオンを注入した場合で、1 スポットあたり平均で 2.6 個の窒素原子イオンが注入され、1 スポットあたり平均で 1.4 個の NV⁻センターを形成した。Fig. 3 は XY8-16 による測定結果の代表例である。イマージョンオイル中の水素の核スピンの由来するピークが観測されている。

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). [2] 東又格 他, 第 77 回 応用物理学会秋季学術講演会, 13p-A26-1, 2016 年 9 月

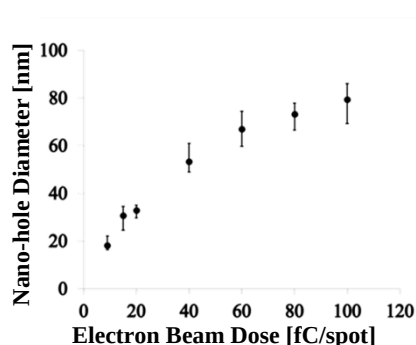


Fig.1. Relation between the electron beam dose and the nano-hole diameter



Fig.2. CFM image of a regular array of NV⁻ centers

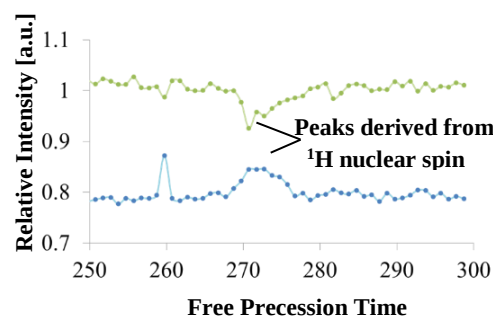


Fig.3. Detection of hydrogen nuclear spin by XY8-16 measurement at 432 G static field