

ダイヤモンド蛍光飛跡検出器における NV センター形成効率の窒素濃度依存性

Dependence of Nitrogen Concentration on Creation Efficiency of
NV Center in Diamond Fluorescent Nuclear Track Detector群馬大学¹, 量研機構², 物材機構³, 筑波大学⁴°(M1)立見 和雅^{1,2}, 春山 盛善^{1,2}, 小野田 忍², 寺地 徳之³,磯谷 順一⁴, 加田 渉¹, 大島 武², 花泉 修¹Gunma Univ.¹, QST², NIMS³, Univ. of Tsukuba⁴Kazumasa Tatsumi^{1,2}, Moriyoshi Haruyama^{1,2}, Shinobu Onoda², Tokuyuki Teraji³,Junichi Isoya⁴, Wataru Kada¹, Takeshi Ohshima², and Osamu Hanaizumi¹E-mail: t161d060@gunma-u.ac.jp

【はじめに】

30年以上にわたり、固体飛跡検出器は宇宙、生物、医療など様々な分野で応用され続けている。2000年代に入り、飛跡を蛍光として検出する蛍光飛跡検出器が報告された[1]。一方、我々はダイヤモンド中のカラーセンターであるNV(Nitrogen Vacancy)センターが蛍光飛跡検出器として利用できることを提案してきた[2]。ダイヤモンドにイオンが照射されると、飛跡に沿って多量の原子空孔が導入される。熱処理によって原子空孔を拡散させ、ダイヤモンド中の窒素不純物と結合させることで NV センターが飛跡に沿って形成される。我々は、この NV センターからの蛍光を読み出すことでイオン飛跡の可視化に成功した。しかし、イオン飛跡の全長を検出するには至っておらず、検出感度の向上が必須である。検出感度を向上させるために、飛跡に沿って導入された原子空孔を効率よく NV センターに変換することが求められる。NV センターへの変換効率の向上のためには、イオン照射により導入された原子空孔とダイヤモンド中の窒素不純物の結合の特性を明らかにする必要がある。本研究では、窒素不純物濃度の異なる様々なダイヤモンドを使用し、重イオン照射により形成されるイオン飛跡の長さ等を評価した。また、導入される原子空孔数から NV センターに変換される効率の関係を調べた。

【実験及び結果】

本研究では HPHT(High Pressure High Temperature)法により合成された平均窒素濃度が 1-650 ppb の単結晶ダイヤモンドを使用した。ダイヤモンド中の窒素不純物濃度は EPR(Electron Paramagnetic Resonance)測定により決定した。このダイヤモンドに対して AVF サイクロトロンからの高エネルギーの重イオンを基板表面に対して斜めに照射した。照射イオンには ¹⁹²Os-490 MeV を使用した。イオン照射後に真空中にて、1000°C で 2 時間の熱処理を施すことで原子空孔を拡散させ NV センターを形成した。イオン飛跡の観察には共焦点レーザ走査型蛍光顕微鏡を利用した。励起光として、532 nm の連続発振レーザを使用し、試料からの微弱蛍光をアバランシェフォトダイオードにより検出した。

図 1 に、ダイヤモンド中の窒素不純物濃度に対する検出されたイオン飛跡の長さを示した。図中の黒の点線は SRIM (The Stopping and Range of Ions in Matter)モンテカルロシミュレーションコードにより求めた ¹⁹²Os-490 MeV の飛程 $18.2 \pm 0.2 \mu\text{m}$ である。窒素濃度が 3.8 ppb のダイヤモンドでは、イオン飛跡が $15.0 \pm 0.4 \mu\text{m}$ まで可視化された。窒素濃度が 650 ppb のダイヤモンドでは、イオン飛跡は計算値の 96.7% となる $17.6 \pm 0.2 \mu\text{m}$ まで可視化することができた。このことから、窒素不純物濃度が高くなると、検出されるイオン飛跡が長くなるという結果が得られた。当日は、測定したイオン飛跡の長さや、NV センターの変換効率を示し、ダイヤモンド蛍光飛跡検出器の検出特性を議論する。

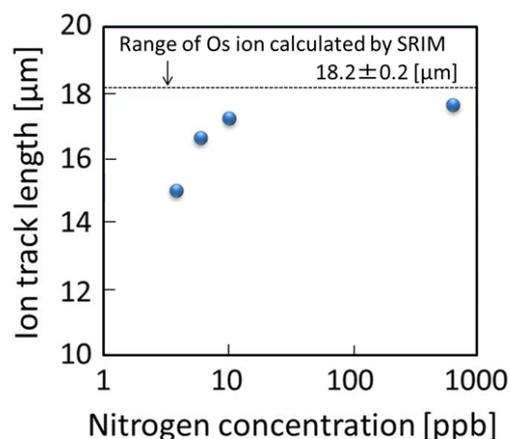


図 1: ダイヤモンド中の窒素不純物濃度に対する検出されたイオン飛跡の長さ

【参考文献】 [1] G. M. Akselrod, et al., Nucl. Instr. Meth. B 247, p. 295 (2006).

[2] S. Onoda et al., Phys. Stat. Sol. A 212, No. 11, p. 2641 (2015).

【謝辞】

本研究の一部は科研費・基盤 (C) 26420877 により実施された。本研究で用いた HPHT 結晶は、住友電工の角谷均博士が合成したダイヤモンドを使用した。