

電子線照射による Ib タイプダイヤモンド中での NV センター形成 Ensemble NV Centers in Type-Ib Diamond Created by High Fluence Electron Irradiation

量研¹ ○(P)石井 秀弥¹, 佐伯 誠一¹, 小野田 忍¹, 増山 雄太¹, 阿部 浩之¹, 大島 武¹
QST¹, Shuya Ishii¹, Seiichi Saiki¹, Shinobu Onoda¹, Yuta Masuyama¹, Hiroshi Abe¹ and Takeshi
Ohshima¹

E-mail: Ishii.shuya@qst.go.jp

【背景】ダイヤモンド中の NV (窒素・空孔) センターは、磁場や温度等の微小な物理量を計測するための量子センサーとして期待されている。量子センサーの高感度化には、NV センターを高濃度に形成することが重要である。ダイヤモンド中に NV センターを形成する方法の一つに電子線照射法があり、高濃度の NV センターを形成する有力な手法として知られている。電子線照射によって導入される空孔と P1 (置換窒素) センターを熱処理によって結合させると NV センターに変換することが出来る。より効率よく NV センターを形成するためにはその形成される過程を評価し、メカニズムを理解することが重要である。本研究では、P1 センターが高濃度に含まれるダイヤモンド試料に対して電子線を照射することによって NV センターを形成し、P1 センターの濃度変化や形成された NV センターの電荷状態・総量と照射量の関係を調べた。

【実験】HPHT (高温高压) 法により合成されたダイヤモンドを使用した。初期の P1 濃度は約 40-80 ppm の範囲であった。2 MeV の電子線を $8 \times 10^{18} \text{ e/cm}^2$ までの照射量で室温照射し、およそ $1 \times 10^{18} \text{ e/cm}^2$ の照射量ごとに 1000°C で 2 時間の熱処理を行い、P1 と空孔を結合させて NV センターを形成した。P1 および NV 濃度(図 1)は JEOL 製 JES-X330 の CW-ESR (電子スピン共鳴法) を用いて室温で測定した。NV センターのフォトルミネッセンス (PL) スペクトルは、HORIBA 製 LabRAM HR Evolution を用いて室温で測定した。

【結果及び考察】P1 センターは、照射量 $8.0 \times 10^{18} \text{ e/cm}^2$ まで照射量依存的に減少し続け、その減少率は、低照射量領域 ($\sim 4.0 \times 10^{18} \text{ e/cm}^2$) においては初期 P1 濃度に関係なくすべての試料で同様の傾向を示した。この照射量領域では P1 センターは導入された空孔に律速されて消費されていることを示唆している。その一方で、 $6.0 \times 10^{18} \text{ e/cm}^2$ から $8.0 \times 10^{18} \text{ e/cm}^2$ の高照射量領域では、特に初期 P1 濃度が低い場合、P1 センターが照射後に十分残留し NV センターのみが形成されているにも関わらず、P1 の減少率は低くなった。よって一定以上の照射量領域での P1 センターの消費プロセスは、残りの P1 センターの濃度に応じて変化することが示唆された。Ib タイプダイヤモンドへの電子ビーム照射の有用性は、P1 から NV センターへの高い変換効率(12~19%)によって確認された。さらに P1 センターの消費量と NV センターの形成量を比較した結果、形成された NV センターから逆算するよりも多く P1 センターが消費されており、P1 センターの一部が他の欠陥によって消費されたことが示唆された。

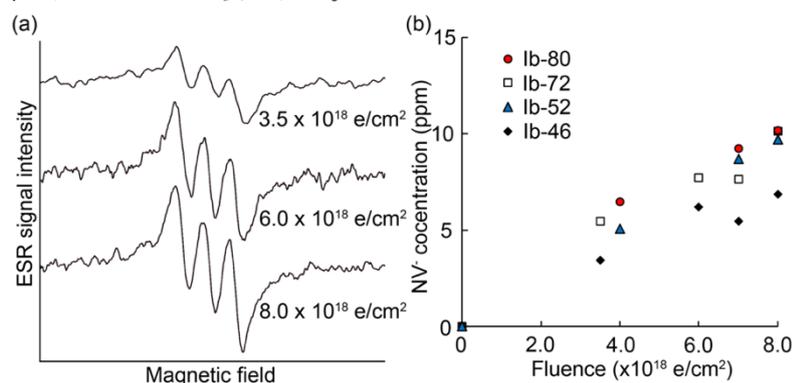


Figure. ESR measurement of NV⁻ center in type-Ib diamonds after irradiation and subsequent annealing. (a) Typical ESR spectra of a left most peak of NV⁻ center at the different irradiation fluence for Ib-46. ([111] // B₀) (b) Irradiation fluence dependence of NV⁻ center concentration ([NV⁻]) for Ib-80 (closed red circles), Ib-72 (open black circles), Ib-52 (closed blue circles), Ib-46 (closed black circles), respectively. (Ishii et al., *Quantum Beam Sci.* 2022)

【謝辞】本研究は、文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)JPMXS0118067395の助成を受けました。