

電子線照射による NV センター形成への P1 濃度による影響

Influence of P1 Concentration on NV Center Formation by Electron Irradiation

量研¹, 物材機構², 東工大³, 筑波大⁴ ○小野田忍¹, 佐伯誠一¹, 増山雄太¹, 石井秀弥¹, 宮川仁²,

谷口尚², 渡邊賢司², 寺地徳之², 上坪優希³, 関口武治³, 波多野睦子^{1,3}, 磯谷順一⁴, 大島武¹

QST¹, NIMS², Tokyo Inst. Tech.³, Tsukuba Univ.⁴, Shinobu Onoda¹, Seiichi Saiki¹, Yuta Masuyama¹,

Shyuya Ishii¹, Masashi Miyakawa², Takashi Taniguchi², Kenji Watanabe², Tokuyuki Teraji²,

Yuki Kamitsubo³, Takeharu Sekiguchi³, Mutsuko Hatano^{1,3}, Junichi Isoya⁴, Takeshi Ohshima¹

E-mail: onoda.shinobu@qst.go.jp

【背景】ダイヤモンド中の NV (窒素・空孔) センターは、微小な物理量を計測するための量子センサとして期待されている。その感度を向上させるためには、NV センターを高濃度に形成することや、同じ方向に揃える配向制御等が重要である。ダイヤモンド中に NV センターを形成する方法は、結晶合成法と放射線照射法とに大別できる。後者の放射線 (電子線) 照射法は、高濃度 NV センターを形成する手法として有力である。電子線によって導入される原子空孔と窒素不純物を熱処理によって結合させると、P1 (置換窒素) センターを NV センターに変換でき、NV/P1 比の向上 (つまり、高濃度化) が容易に実現できる。本研究では、初期の P1 濃度の違う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、NV センターの電荷状態や総量と照射量の関係を調べた。

【実験】HPHT (高温高压) 法及び CVD (化学気相成長) 法により合成されたダイヤモンドを使用した。初期の P1 濃度は数十 ppb~100ppm の範囲であった。2 MeV の電子線を 1×10^{18} e/cm² までの照射量で室温照射した。照射後には 1000°C で 2 時間の熱処理を行い、P1 と原子空孔を結合させて NV センターを形成した。P1 濃度は 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】照射前の P1 濃度が約 0.8 ppm である HPHT ダイヤモンド (NIMS 製) に電子線を照射した時の P1 濃度と照射量の関係を図 1(a) に示す。 1.5×10^{17} cm⁻² まで照射した時、P1 濃度は約 0.3 ppm に減少した。約 0.5 ppm の P1 センターが他の欠陥形態 (NV センター等) や他の電荷状態へと変化することが示唆された。図 1(b) に 1.5×10^{17} cm⁻² 照射後の PL スペクトルを示す。NV⁰ 及び NV⁻ が検出されたことから、P1 センターの減少は、(1) NV センターの形成、及び (2) 電子を失って ESR 不活性になった、ことが主要因と考えられる。NV/NV⁰ 比は照射量の増加とともに減少し、0.70 (1.0×10^{17} cm⁻² 照射後) 及び 0.53 (1.5×10^{17} cm⁻² 照射後) であった。図 1(a) 及び (b) から、NV センターに電子を供給し得る P1 センターが残留しているにもかかわらず、NV⁰ が形成されていることが分かる。

照射前の P1 濃度が約 100 ppm と高い Ib 型の HPHT ダイヤモンド (住友電工製) に電子線照射を行った場合、 1×10^{18} cm⁻² の高照射量でも NV センターが NV⁻ として存在し、NV⁰ が存在しないことが PL 測定から分かった。これは、残留する P1 センター濃度が高いことに起因し、NV⁰ に電子が供給されて NV⁻ のみが検出されたためである。

NV⁻ の効果的な形成には、初期の P1 濃度に応じた適切な照射量の電子線が必要であると結論される。

【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、JPMXS0118068379 の助成を受けました。

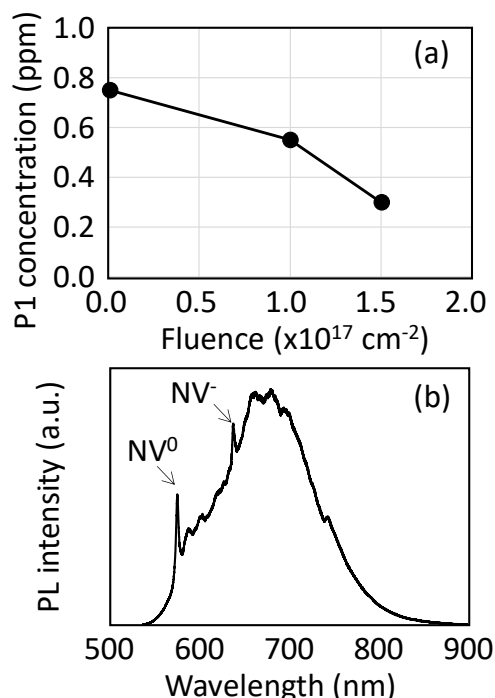


Fig.1: (a) P1 concentration as a function of 2MeV electron fluence. (b) PL spectrum at 2MeV electron fluence of 1.5×10^{17} cm⁻².