

高エネルギー粒子線照射により窒化ガリウム中に形成される 電子トラップの生成レートと NIEL の相関

Correlation between non-ionizing energy loss and production rates of electron traps
formed by various energetic particles in gallium nitride

名大院工¹, 名大未来研² °青島 慶人¹, 堀田 昌宏^{1,2}, 須田 淳^{1,2}

Nagoya Univ.^{1,2}, °Keito Aoshima¹, Masahiro Horita^{1,2}, Jun Suda^{1,2}

e-mail: aoshima.keito.b3@s.mail.nagoya-u.ac.jp

陽子線や電子線、ガンマ線、イオンビーム等の高エネルギー粒子線によって物質中に形成されるトラップの生成レート(production rate = trap concentration / irradiation fluence)は、粒子線による電子デバイスの特性劣化を予測するために必要なパラメータである。これまでに、窒化ガリウム(GaN)に対して様々な粒子線が照射され、DLTS法を用いたトラップ評価が多数報告されてきた。例えば、n型GaNに対する様々な種類の粒子線では $E_C - (0.12-0.20)$ eVの準位にトラップの形成が報告されており^{[1]-[7]}、エネルギー準位の観点から同種の変位関連欠陥によるトラップであると推察されている。ところで、高エネルギー粒子線が結晶原子のはじき出しにより損失するエネルギーはnon-ionizing energy loss (NIEL)により定量化される。シリコンやガリウムヒ素などを用いた光デバイスでは、放射線によるデバイス特性劣化とNIELとは相関を持つことが知られている。本研究では、様々な粒子線照射によってn型GaN中に形成されたトラップの生成レートをNIELの観点から比較することで、トラップの起源の特定および粒子線の種類やエネルギーによらない生成レートの予測を目指した。

電子線、陽子線、 α 線のGaN中におけるNIELはscreened-relativistic法により計算した。ガンマ線は物質中でコンプトン散乱を引き起こし、コンプトン電子が、遮蔽物質中でエネルギーを減衰させながらGaNに到達することで原子変位を引き起こす。遮蔽物質としてアルミニウムとポリスチレンを用いた際の電子のエネルギー減衰過程をGEANT4により計算し、得られた結果を用いてガンマ線のNIELを計算した。トラップの生成レートを得るために、自立基板上n型GaNショットキーバリアダイオードに対して⁶⁰Coガンマ線(1.25 MeV)^[1]と電子線(137 keV-2 MeV)^{[2],[3]}を様々なフルエンスで照射し、DLTS測定によりトラップ密度を測定し、生成レートを得た。今回は、形成されるトラップのうち $E_C - (0.13-0.14)$ eVの準位に着目した。また、先行研究によるn型GaNに対する電子線^{[4],[5]}、陽子線^[6]、 α 線^[7]照射で形成された $E_C - (0.12-0.20)$ eVの準位についても生成レートを調査し比較検討に用いた。

計算した各粒子線のNIELと生成レートは8桁の範囲で比例関係が得られた。以上の結果は、これらの粒子線によるトラップが同一起源であることを改めて示す結果である。図1に様々な粒子線・エネルギーに対するNIEL計算結果と電子トラップの生成レートを示す。本研究によりNIELと生成レートの1:1対応が得られたため、今後は、任意の粒子線・エネルギーでのトラップ生成レートが予測可能になると言える。

[1] K. Aoshima, *et al.*, AIP Adv. **10**, 045023 (2020). [2] M. Horita, *et al.*, APL **118**, 012106 (2021). [3] M. Horita, *et al.*, IWN2018, CR11-2 (2018). [4] T. T. Duc, *et al.*, APL **105**, 102103 (2014). [5] Z.-Q. Fang, *et al.*, APL **72**, 448 (1998). [6] F. D. Auret, *et al.*, APL **74**, 407 (1999). [7] F. D. Auret, *et al.*, APL **73**, 3745 (1998).

本研究は、文部科学省 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業JPJ009777の助成を受けたものです。

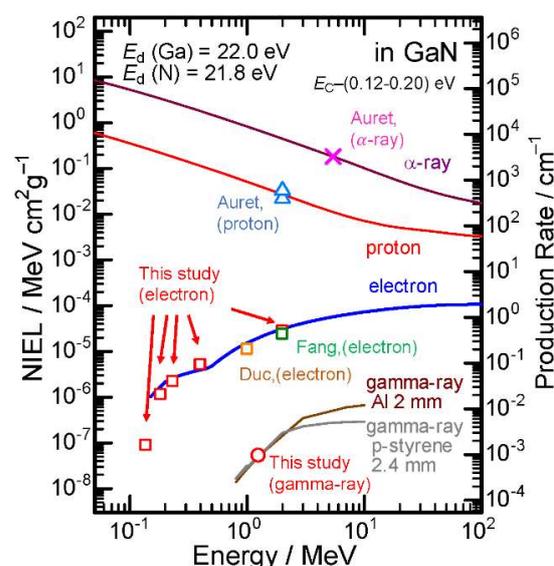


Fig. 1: Correlation between NIEL and production rates of a trap at $E_C - (0.12-0.20)$ eV.