# サブバンドギャップ光照射 ICTS による n 型 GaN 中電子トラップの光イオン化断面積比の評価

## Characterization of photoionization cross section ratios of electron traps in n-type GaN by optical ICTS using sub-bandgap-light irradiation

名大院工 [1]，名大未来研 [2]，○遠藤彗 [1]，堀田昌宏 [1,2]，須田淳 [1,2]

Nagoya Univ. [1], Nagoya Univ. IMaSS[2], ◦Meguru Endo[1], Masahiro Horita[1,2], Jun Suda[1,2]

E-mail: meguru.endo@nagoya-u.jp

半導体デバイス作製プロセスにおいて半導体結晶中に様々な点欠陥が導入され，デバイス特性に悪影響を及ぼすことから，点欠陥が形成する深い準位について理解することは重要である．深い準位の重要なパラメータの一つに光イオン化断面積がある．光イオン化断面積を求める手法の一つとして，光照射中の過渡応答測定がある．この手法では複数の準位からのキャリアの光励起過程を検出してしまうため，定性的にトラップの存在は観測できても，単一トラップの光イオン化断面積の評価は難しい．本研究では，サブバンドギャップ光照射 ICTS (OICTS)測定において，光パルス，電気パルス印加を工夫した 2 種類の測定シーケンスの結果を比較することによる，半導体中の単一電子トラップの光イオン化断面積比の評価手法を考案し，n 型窒化ガリウム(GaN)中の電子トラップ E1，E3 をモデルケースに評価を行った．

実験には，GaN 自立基板上に MOVPE 法により成長した n-GaN(実効ドナー密度 $3.5\times10^{16}$ $cm^{-3}$)の表面に Ni ショットキー電極，裏面にオーミック電極を形成したショットキーバリアダイオードを用いた．照射光源としては中心波長 390 nm の LED を用いた．Fig. 1 に本実験で用いた 2 種類のパルス印加シーケンスを示す．Fig. 1 (a)に示すシーケンス 1 では，電圧 $V_P$ 印加によるトラップ準位での電子の捕獲後に光照射を行うため，E1 または E3 の電子の放出過程，およびより深い準位での電子の捕獲・放出過程が観測される．Fig. 1 (b)に示すシーケンス 2 では，逆バイアス $V_R$ の印加によるトラップ準位からの電子の熱放出後に光照射を行うため，E1 または E3 の電子の捕獲過程，およびより深い準位の電子の捕獲・放出過程が観測される．したがって，2 種類のシーケンスで得られたスペクトルの差分からは，E1 または E3 のみの光励起過程スペクトルのみが得られる．Fig. 2 に，温度 230 K におけるシーケンス 1 から得られたスペクトルを白四角，2 種類のシーケンスの差分スペクトルを青丸で示す．シーケンス 1 から得られたスペクトルは，E3 だけでなくより深い準位の光励起過程を観測しており，単一準位による OICTS スペクトルの理論曲線(赤破線)に対してブロードであった．一方，差分スペクトルは理論曲線と一致しており，E3 の光励起過程のみ観測できていることがわかる．

光励起スペクトルと ICTS 測定から得られた熱的放出スペクトルと比較することで，光照射中の電子の占有率を求めることができ，そこからトラップから伝導帯への光励起，価電子帯からトラップへの光励起の比である光イオン化断面積比 $\sigma_n^o/\sigma_p^o$ が求めることができる．E3 では電子占有率がほぼ 0 であることがわかった．このことは，励起光 390 nm における E3 の $\sigma_n^o/\sigma_p^o$ が非常に大きいことを意味する．E3 の起源は鉄であり[1]，第一原理計算の結果によれば価電子帯上端からの電子の励起には 3.38 eV (~367 nm)以上の光が必要である[2]ことから，本実験の結果は妥当である．

[1] M. Horita, *et al.*, Appl. Phys. Express **13**, 071007 (2020) [2] J. Lyons, *et al.*, J. Appl. Phys. **129**, 111101 (2021)

【謝辞】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。

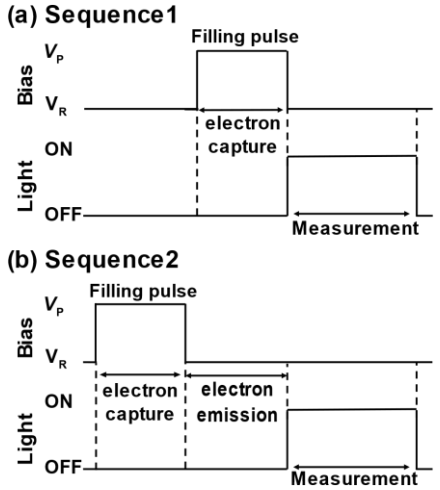


Fig. 1. Pulse sequences of OICTS measurement.

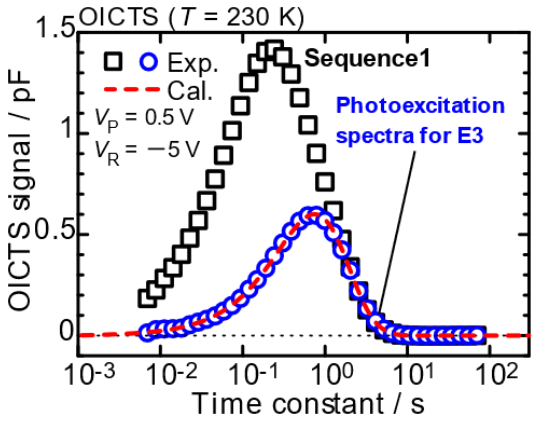


Fig. 2. OICTS spectra obtained by double pulses and the difference between OICTS spectra obtained by double and triple pulses.