

ホモエピタキシャル成長 p 型 GaN 中の 窒素原子変位関連欠陥により形成されるホールトラップ Nitrogen-displacement-related hole traps in homoepitaxial p-type GaN

名大院工¹, 名大未来研², [○]遠藤 慧¹, 堀田昌宏^{1,2}, 須田 淳^{1,2}

Nagoya Univ.¹, Nagoya Univ. IMaSS², [○]Meguru Endo¹, Masahiro Horita^{1,2}, Jun Suda^{1,2}

E-mail: endo.meguru@c.mbox.nagoya-u.ac.jp

窒化ガリウム(GaN)は次世代パワーデバイス材料として期待されている。デバイス作製プロセスにおいて GaN 中に様々な点欠陥が導入され、デバイス特性に影響を及ぼすことから、点欠陥と形成される深い準位について理解することは重要である。我々はこれまでに、電子線照射により N 原子変位を意図的に発生させ、n 型 GaN 中に形成される電子トラップおよびホールトラップを DLTS 測定により評価することで、N 原子変位関連欠陥が形成される照射エネルギーしきい値が 100~137 keV の間であることを明らかにしてきた^[1,2]。一方で、p 型 GaN 中の N 原子変位関連欠陥により形成されるホールトラップについての報告はない。本研究では、137 keV の電子線照射により p 型 GaN 中の N 原子変位関連欠陥により形成されるホールトラップを p⁻n⁺接合メサ型ダイオード(PND)を用いて評価した。さらに、PND に対して順方向バイアスを印加することにより、電子線照射により形成されたホールトラップの特異な変化を観測したので報告する。

実験に用いたメサ型 PND は、GaN 自立基板上に MOVPE 法により成長した p⁺/p⁻/n⁺構造を用いて作製した。SIMS 分析により測定した p⁻層 Mg 濃度および n⁺層 Si 濃度は、それぞれ 8×10^{15} , 6×10^{18} cm⁻³であった。オーミック電極は、p⁺層に対し Ni/Au を蒸着し、550°C 5 分の条件で熱処理することにより形成した。その後、GaN 表面での照射エネルギーを 137 keV、フルエンスを 5×10^{15} , 2×10^{16} cm⁻²とし、電子線照射を行った。ホールトラップの評価は DLTS および ICTS 測定により行った。Fig. 1 に温度 300 K における ICTS スペクトルを示す。電子線照射を行ったすべてのサンプルにおいて、MOVPE 成長した p 型 GaN に存在する炭素起因の準位 Hd^[3]に加えて、ホールトラップ EHa が観測された。さらに、PND に対し順方向電流が 20 Acm⁻² となるように順方向バイアスを 500 s 印加すると、EHa ピークの減少と共に新たなトラップ Ehb が出現した。Ehb 出現の原因を調べるために、順方向バイアスを印加していない PND に対し、530 K 2 時間のアニール実験および波長 390 nm の光照射を行ったが、変化は観測されなかった。このことから、順方向電流によるジュール熱による加熱や電子正孔対の再結合発光による光照射の影響ではないと言える。Fig. 2 に示すアレニウスプロットより得られた EHa および Ehb の活性化エネルギーは、それぞれ、0.52, 0.50 eV であった。第一原理計算による予測によれば、V_N (3+/+), N_I (2+/+)の準位はそれぞれ、 $E_V + 0.54$, $E_V + 0.51$ eV^[4]である。これらの値は EHa の活性化エネルギーに近いことから、EHa の起源は V_N または N_I であると考えられる。一方、Ehb の出現と EHa の減少が同時に起こることから、Ehb は V_N または N_I と他の欠陥が複合欠陥を形成することにより生じると考えられる。

[1] M. Horita, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **118**, 012106 (2021), [2] 遠藤 他, 第 67 回春季応用物理学科会 14a-B401-1 (2020)

[3] T. Narita, *et al.*, J. Appl. Phys. **124**, 215701 (2018), [4] J. L. Lyons, *et al.*, npj Comp. Mat. **3**, 12 (2017)

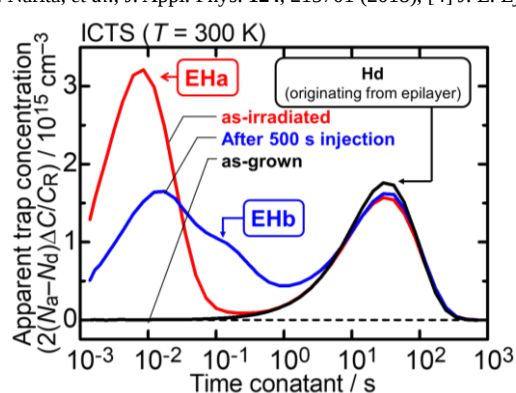


Fig.1. ICTS spectra obtained from p-GaN epilayers; as-grown sample (black line), sample irradiated with 137-keV electron beam (red line), which is the sample before applying forward bias voltage to PND, and after applying forward bias for 500 s (blue line).

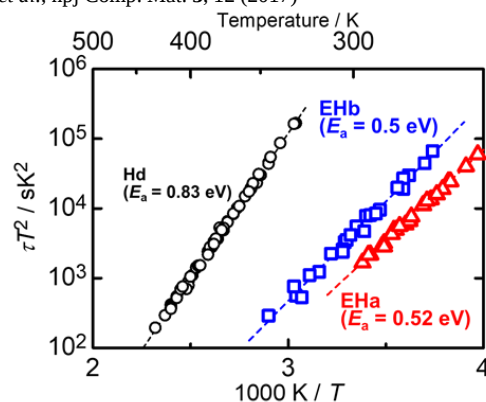


Fig.2. Arrhenius plots for hole trap levels EHa and Ehb obtained from DLTS measurements for samples after 137 keV EB irradiation. A hole trap level Hd observed in as-grown samples is shown for reference.