

公益財団法人 立松財団 御中

様式 2021A1,A2,B

2024年 4月 5日

所属: 東海国立大学機構 名古屋大学

工学研究科 電子工学専攻

氏名: 堀田 昌宏



2022年度助成

研究終了報告書

※ゴシック文字で記入下さい。

研究テーマ	窒化ガリウムにおける真性欠陥の物性解明と形成メカニズム究明
研究の結果	<p>ワイドギャップ半導体である窒化ガリウム (GaN) のパワーデバイス応用には、真性欠陥の理解が必要不可欠である。我々は、ホモエピタキシャル成長した低転位 GaN に対して、低エネルギー (~150 keV) の電子線 (EB) を照射することで、導入される欠陥種を制限し、点欠陥の純粋な性質を評価することを試みてきた。窒素(N)原子変位に限定して導入した GaN 中に存在する準位の観測において、N 原子変位に関連する真性欠陥のみならず、他の欠陥と真性欠陥の複合欠陥の存在が明らかになっている。N 原子変位に関連する準位の詳細を、深い準位過渡容量分光 (DLTS) 法で実験的に調べるとともに、理論計算によって複合欠陥の準位を予測し、実験と理論の両面から、N 原子変位関連の真性欠陥と複合欠陥の準位を切り分けることを目指した。</p> <p>DLTS 法において、研究開始以前より E_C-1 eV 以深の準位(電子トラップ)の存在は明らかになっていたが、評価デバイスとしてショットキーバリアダイオードを用いていたため、トラップ濃度が正確に評価できず、考察が困難であった。そこで、評価デバイスとして、トラップ濃度が正確に評価できる pn ダイオードを作製し、これの評価を行った。 E_C-1 eV 以深には、新たに 4 つの電子トラップが観測され合計 5 つのトラップが存在することが明らかになった。そのうち、エネルギー準位 $E_C-1.1$ eV と $E_C-1.8$ eV のトラップは、EB 照射量に比例して濃度 1:1 で変化することがわかった。理論計算による予測との比較より、この欠陥の起源が格子間 N であることが示唆された。また、これらの準位は、熱処理によって濃度 1:1 で減少することが分かった。さらに、熱処理による挙動を詳細に評価することで、アニールレートの活性化エネルギーを算出し、理論計算による格子間 N のマイグレーションバリアと比較した。これらの結果を総合的に検討した結果、エネルギー準位 $E_C-1.1$ eV と $E_C-1.8$ eV のトラップの起源が格子間 N であり、それぞれ荷電状態(0/-)と(+/0)であると結論した。これらトラップの起源を特定し、諸特性を得たことは、デバイスプロセス中に誘起される欠陥を熱処理によって低減する場合の指針を与えるものであり、GaN の真性欠陥解明の研究において重要な成果である。</p>
研究発表 (実績)	<p>【学術論文】1件</p> <ul style="list-style-type: none"> Endo, M., Horita, M., Suda, J., "Nitrogen-displacement-related recombination centers generated by electron beam irradiation in n-type and p-type homoepitaxial GaN layers", Applied Physics Express, vol. 17, p. 011007 (2024) <p>【国際学会】4件(以下3件と他1件)</p> <ul style="list-style-type: none"> Endo, M., Horita, M., Suda, J., "Thermal annealing behavior of nitrogen-displacement-related defects in homoepitaxial n-type GaN", The 32nd International Conference on Defects in Semiconductors, Gallium nitride (II)-4, Sep. 14th, 2023, Rehoboth Beach, Delaware, USA [Invited] Horita, M., Suda, J., "Characterization of nitrogen-displacement-related traps in GaN", 14th International Conference on Nitride Semiconductors, CH7-1, Nov. 17th, 2023, Fukuoka, Japan Kojima, C., Horita, M., Suda, J., "Hall-effect Measurement of Homoepitaxial N-type GaN with Nitrogen-displacement-related Point Defects Formed by Electron Beam Irradiation", 14th International Conference on Nitride Semiconductors, CH15-6, Nov. 17th, 2023, Fukuoka, Japan <p>【国内学会】5件(以下3件と他2件)</p> <ul style="list-style-type: none"> [招待講演] 堀田昌宏, 須田淳; 「GaN 中の N 変位関連欠陥が形成するトラップの評価」, 第 15 回ナノ構造・エピタキシャル成長講演会, Fr-I02, 2023/6/16, 山形テルサ 遠藤慧, 堀田昌宏, 須田淳; 「ホモエピタキシャル成長 n 型 GaN において電子線照射により E_C-1 eV 付近に形成される窒素変位関連トラップの熱アニール挙動」, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-52A-3, 2024/3/24, 東京都市大学 遠藤慧, 堀田昌宏, 須田淳; 「ホモエピタキシャル成長 n 型 GaN 中の格子間窒素が形成する 2 つの準位の特定」, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-52A-4, 2024/3/24, 東京都市大学

提出期限: 研究期間終了後、すみやかに助成金の「必要経費使途明細書」「領収書」と合わせて提出下さい。

年度をまたぐ場合は毎年3月末日までに、途中経過をご記入の上、報告願います。