

GaN 縦型パワーデバイスにおける点欠陥制御の重要性

Importance of Point Defect Control for GaN Vertical Power Devices

須田 淳^{1,2,3}, 堀田 昌宏³

Nagoya Univ.¹, Nagoya Univ. IMASS², Kyoto Univ.³

◦Jun Suda^{1,2,3}, Masahiro Horita³

E-mail: suda@nagoya-u.jp

GaN は大きな絶縁破壊電界と高い電子移動度を持つため次世代パワーデバイス材料として期待を集めている。特に近年、高耐圧化、低オン抵抗化、アバランシェ耐性に優れる GaN 基板上 GaN 縦型パワーデバイスの研究が国内外で活発化している。

縦型パワーデバイス実現のためには、高電圧を支える低ドーパ($<5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$)かつ厚膜($>10 \text{ }\mu\text{m}$)の n 型ドリフト層の成長技術、縦型デバイス構造や電界集中緩和構造を形成するためのイオン注入による選択的ドーピング技術、トレンチ構造を形成するためのイオンエッチング技術などのエピ・プロセス技術が必要であり、これらは過去の GaN 系発光デバイスや高周波デバイスで開発された技術とは大きく異なるため、新規の研究開発が必要となる。

これらのエピ・プロセス技術の鍵となるのが点欠陥である。点欠陥を正確に把握（評価）し、その起源や生成メカニズムを明らかにし、点欠陥が生じないプロセスあるいは点欠陥を消滅あるいは不活性化するプロセスを確立する必要がある。

例えば低ドーパのドリフト層の成長を考える。意図的に添加したドナー不純物以外にバンドギャップ中に何も準位がなければ、リアクター設計により不純物添加の再現性、均一性を追い求めるだけで良いが、実際には、例えば、MOVPE 成長の場合は原料に起因して炭素不純物の混入がある。窒素サイトを置換した炭素は深いアクセプタ準位を形成することが知られており、ドナーを補償してしまう。また、不純物の影響を排除できたとしても、真性点欠陥、空孔(V_{Ga} , V_{N})や格子間原子、アンチサイトやそれらの複合欠陥などが存在する。実際に、転位の影響がほぼ無視できる GaN 基板上に MOVPE 法で成長した高品質 Si ドープ n 型 GaN の特性をホール効果測定で詳細に調べると、残留 C 濃度と同程度の補償アクセプタの存在が確認され、Si ドープを増やしてゆくと、Si ドープ量の 10~20%、残留 C 濃度よりも格段に多い未知の補償アクセプタが確認された。Si の複合欠陥あるいは前述の真性点欠陥の存在を示唆する結果が得られており、点欠陥を意識したエピ技術の開発が極めて重要であることを示している。

イオン注入では、高エネルギーのイオンが結晶格子と衝突して、非常に多くの点欠陥を形成する。その後のアニールによっていかに結晶を回復させるかが主要な課題となる。p 型イオン注入は成田らにより最近 Mg/H 共注入と窒素極性面の活用による進展が報告されているが、まだまだ課題がある。この克服には、点欠陥の挙動を一つ一つ明らかにする取り組みが重要となる。上殿・秩父らは陽電子消滅法とフォトルミネセンス法を併用することで、Mg イオン注入後のアニール過程を詳しく調べている。我々は、数百 keV の電子線照射により空孔、格子間原子を選択的に生成して現象を切り分ける研究を行っている。

本講演では、エピ、イオン注入を中心 GaN 縦型パワーデバイス実現に向けた点欠陥の研究状況、今後取り組むべき課題について述べたい。