

## 第7章 結論

本研究における目的は、RF-MBE を用いて窒化物半導体成長の各段階における原子状水素導入の諸効果(各種有効性)の検討とそれらの機構解明である。本研究により以下の結論を得た。

原子状水素を導入した低温サーマルクリーニングにより、原子的に平坦なサファイア基板表面を短時間に得ることが可能である。また、この基板上に成長させた GaN 結晶は、一般に行われているサーマルクリーニング手順のものより明らかに良質であることを確認した。

GaN 成長における原子状水素導入による成長速度増加に関して詳細を検討した結果、成長速度の増加が原子状水素導入により生成された成長に寄与する窒素種によるものであることを確認した。また、これまで明らかでなかった成長速度増加の効果に、原子状水素導入量に依存する領域と飽和領域が存在することを明らかにした。

GaN 成長における原子状水素導入により、これまで報告されていない PL による光学特性, XRD による巨視的な結晶性, AFM による表面平坦性が大幅に改善されることを確認した。SIMS 等による確認が必要であるが、アニール後の PL 測定から結晶膜内の残留水素は多くないことが予想される結果を得た。膜質の改善は、III 族原子の表面マイグレーション増加が要因であると考えられる。

InGaN 成長における原子状水素導入により、In 取込みの増加を確認した。これは、GaN の成長速度増加と本質的に同じであり、成長に寄与する窒素種の増加によるものと考えられる。

に関連して、原子状水素の変調導入により、他の成長条件を変えることなく In 組成の制御の可能であることを示した。

InGaN 成長において原子状水素導入が ordering を促進することを確認した。これは、第 1 原理計算による指摘、また原子状水素を導入した GaN 成長後の AFM 像に見られるスパイラル成長の痕跡とを考慮合わせると、水素による III 族原子の表面マイグレーションの増加に起因していると考えられる。

以上のうち、窒化物半導体成長における原子状水素の効果は、成長に寄与する窒素種の増加と III 族原子の表面マイグレーションの増加によりすべて説明可能である。また、一般に III 族原子の表面マイグレーションを促進させる MEE 法の場合は成長速度が犠牲となるが、原子状水素の導入は成長速度の増加と III 族原子の表面マイグレーションの促進を同時に行う効果があるといえる。