

審査の結果の要旨

氏名 上野耕平

↑

近年、高効率・高出力紫外光源として AlN 系窒化物半導体を用いた紫外発光素子が大きな注目を集めている。しかしながら、サファイア基板上に成長した AlN 系窒化物半導体薄膜では、サファイアとの結晶構造の違いに起因する高密度の結晶欠陥が発生し、発光素子の高効率化を妨げていた。一方、サファイアに代わって AlN 系窒化物半導体に対して格子整合性の高い材料を基板として用いることで結晶の高品質化が期待できる。ところが、III 族窒化物の一般的な成長手法である MOCVD 法や MBE 法における成長温度は 700°C 以上と高いため、利用可能な基板材料は熱的・化学的に安定なものに限られてしまう。一方、PLD(Pulsed Laser Deposition)法においては III 族原料が高い運動エネルギー状態で供給されるため、基板温度を低減してもマイグレーションが促進される。本論文では、PLD 法による低温成長技術を用いることでサファイア代わる各種格子整合基板として窒化サファイア基板および ZnO 基板に着目し AlN 系窒化物半導体薄膜の高品質化、および紫外発光素子構造の検討に関してまとめたものである。

第 1 章では AlN 系窒化物半導体を用いた紫外半導体発光素子作製に関する問題点を挙げ、発光素子の高効率化には格子整合基板の利用による薄膜の高品質化および非極性・半極性面上への結晶成長が有効な手段として提案されている。格子整合基板上への AlN 系窒化物エピタキシャル成長には、PLD 法による精密なヘテロ界面制御が必要であることが述べられている。また、これらの現状を背景として、本研究の目的が述べられている。

第 2 章では、PLD 法による窒化サファイア基板上への AlN ホモエピタキシャル成長について論じられている。成長前の基板表面窒化処理により界面構造を制御することで、窒化サファイア基板の結晶性を引き継いだ高品質な c 面 AlN 薄膜が作製可能であることを明らかにしている。

第 3 章では、PLD 法による ZnO 基板上への AlN 室温エピタキシャル成長について論じられている。ZnO(000-1)基板上への AlN 薄膜成長では、成長温度を 300□

以下に低減することで、問題となっていた界面反応を抑制でき、原子レベルで急峻な界面を実現できることが述べられている。また ZnO 基板上 AlN 薄膜の低温成長は Layer-by-layer の 2 次元成長モードで進行することが明らかにされている。

第 4 章では、第 3 章で実現した ZnO 基板上への AlN 室温エピタキシャル成長技術を応用した非極性・半極性面 ZnO 基板上への AlN 薄膜のエピタキシャル成長について論じている。PLD 法による低温成長技術と ZnO 基板とを利用することで、任意の結晶方位を有する AlN 薄膜のエピタキシャル成長が可能であることが述べられている。

第 5 章では、ヘテロ界面における転位構造に着目し ZnO 基板表面に周期的ナノ構造を導入することで、半極性面 AlN 薄膜の結晶品質を改善するという新しい手法について論じている。

第 6 章では、半極性面 AlGaN/AlN ヘテロ構造の偏光特性に着目し光取り出し効率について論じている。高 Al 組成 AlGaN からの発光の電場ベクトルが c 軸方向に強く偏光しており、従来の c 面上に比べて半極性面上への発光素子構造の作製が有利であることが述べられている。

第 7 章では本論文を総括し、本研究で得られた知見を実用化させるための展望が述べられている。PLD 法によるヘテロ界面制御技術及び格子整合基板を利用した AlN 薄膜の高品質化により AlN 系窒化物半導体を用いた紫外発光素子の高効率化が可能であり、特に深紫外域においては、光取り出し効率の観点から非極性面・半極性面上への素子構造作製が有効であることが述べられている。以上のように、AlN 系窒化物半導体を用いた紫外発光素子の高効率化に必要な窒化物半導体薄膜の高品質化、非極性・半極性面上への結晶成長に成功しており、今後のオプトエレクトロニクスおよび光化学の発展に大きく寄与するものとして高く評価できる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。