

## 審査の結果の要旨

氏 名 井 上 茂

近年、結晶成長技術の進歩により、GaNに代表されるⅢ族窒化物半導体を利用した青色発光ダイオードおよびレーザーダイオードが実用化した。しかしながら、Ⅲ族窒化物薄膜の成長用基板として用いられているサファイアは熱伝導率が33 W/mKと低く、放熱性が悪いため、高出力動作時の効率低下を引き起こすことが問題となっている。一方、CuやAgなどの金属基板は熱伝導率が>400 W/mKであるため極めて高い放熱性を示すと期待される。また鏡面状のAgは可視全域で高い反射率を示すことから光取り出し効率の向上も期待できる。このような特徴から、単結晶金属基板上へⅢ族窒化物を直接エピタキシャル成長させる技術の開発が強く望まれている。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、金属基板とⅢ族原料が反応し、エピタキシャル成長が困難であることが知られている。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。したがって、PLD法による低温成長法を用いることで金属基板上へのⅢ族窒化物のエピタキシャル成長が期待できる。本論文はPLD法を用いたfccおよびhcp金属基板上へのⅢ族窒化物エピタキシャル成長、および第一原理計算を用いた面内配向関係の解明に関してまとめたものである。

第1章ではⅢ族窒化物半導体の概要が述べられ、その成長方法に関する問題点を挙げ、発光素子の放熱効率および光取り出し効率向上には金属基板の利用が有効な手段として提案されている。金属基板上へのⅢ族窒化物エピタキシャル成長には、PLD法による低温成長技術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、fcc金属基板上へのⅢ族窒化物成長について述べられている。PLD法による低温成長技術を用いてCu、Ag、Rhの各fcc基板上へAlNのエピタキシャル成長を初めて達成し、成長温度依存性および耐熱性について述べられている。従来の成長手法が必要とする高温では界面反応に起因してエピタキシャル成長は不可能であるが、PLD法による低温成長技術を適用することで急峻な界面を持つⅢ族窒化物のエピタキシャル成長に成功している。また、面内配向関係は、歪みエネルギーから有利な配向ではなく、それから30度回転したAlN[11-20] // fcc-metal [1-10]が実現していることが明らかとなっている。このように、AlN/fcc金属基板の面内配向関係決定には共通の成長メカニズムの存在が示唆される。それが結晶成長初期過程に起因すると考え、第4章で第一原理計算を用いてメカニズム解明を試みている。

第3章では、hcp金属基板上へのⅢ族窒化物成長について述べられている。PLD法による低温成長技術を用いてHf、Ruの各hcp基板上へⅢ族窒化物のエピタキシャル成長を初めて達成し、成長温度依存性および耐熱性について述べられている。Hf基板上へは、成長温度を室温にまで低減することでGaNの直接エピタキシャル成長に成功している。この構造は垂直伝導型光学デバイスに有利な構造であり、その他の金属基板においてもPLD法の低温成長技術を用いることでGaNの直接エピタキシャル成長が可能になると述べられている。

第4章では、第一原理計算を用いたAlN/fcc金属基板の面内配向関係の解明について述べられている。Cu(111)表面へのAlおよびNの吸着エネルギーを計算した結果、Nがhollowサイトに吸着した場合に最も安定であることが明らかにされている。この吸着を実現する配置から、実験結果と同様の配向関係が再現されることを確認している。fcc金属基板上へのAlNの面内配向関係は、歪みエネルギーではなく、結晶成長初期の吸着過程で決定されることが述べられている。

第5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。Ⅲ族窒化物を用いた発光素子の放熱効率および光取り出し効率改善には金属基板の利用が有効であり、PLD法による低温成長技術を用いることで初めてⅢ族窒化物のエピタキシャル成長が可能となると述べられている。また、fcc金属基板上のAlNの面内配向関係は結晶成長初期の吸着過程で決定されることが明らかとなっている。

以上のように、Ⅲ族窒化物半導体発光素子の放熱効率および光取り出し効率向上に必要な金属基板上へのエピタキシャル成長に成功しており、今後の窒化物半導体結晶成長及びエレクトロニクス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。