

審査の結果の要旨

氏名 岡本浩一郎

GaN に代表されるⅢ族窒化物半導体は、その優れた光学および電気的特性から発光デバイスや電子デバイスへの応用が進められている。現在、これらの素子は熱的・化学的に安定なサファイア基板上に作製されているが、サファイアの低熱伝導率や絶縁性が素子性能向上を困難にしていた。これに対し、金属基板を利用できればこれらの問題が解決される。特に、工業的に重要な金属である Fe 基板は大面積単結晶が安価に得られるため、大面積光デバイスへの応用が期待できる。しかし、Ⅲ族窒化物の一般的な成長法である MOCVD 法や MBE 法では 700°C 以上の高温で反応性原料を用いるため、金属基板と原料との反応によりエピタキシャル成長が困難であった。そこで本論文では、界面反応を抑制するためにパルス励起堆積 (PXD) 法によるⅢ族窒化物の低温成長手法の開発と、熱力学的に安定な界面バッファ層 (AlN、HfN) の導入を検討している。本論文は、PXD 法と界面バッファ層の導入による単結晶 bcc 金属基板 (Fe、Mo) への窒化物成長、および理論計算による bcc 金属基板上窒化物薄膜成長の基本特性解明に関してまとめたものである。

第 1 章では、Ⅲ族窒化物について、基本的特性、デバイス応用、各種結晶成長法およびそれらの問題点が過去の報告例も交えて議論されている。これらの現状を背景として、本論文の目的が示されている。

第 2 章では、電子デバイス用バッファ層として有望な AlN を利用した bcc 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 Fe(110)、(100)および(111)基板上へ急峻な界面を持つ AlN 薄膜を実現している。Fe(110)上へは高品質 AlN(0001)がエピタキシャル成長し、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° 回転した AlN[11-20] || Fe[001]であった。さらに、この構造上へ高品質 GaN(0001)のエピタキシャル成長を実現した。一方、Fe(100)上 AlN(0001)膜は回転対称性に起因してダブルドメイン構造をとった。また、Fe(111)は AlN(0001)面と回転対称性を共有することから良質な AlN 成長が期待されたが、(111)面の不安定性に起

因して多結晶成長であった。

Mo 基板上の場合にも Fe 基板と同様の構造特性が得られ、さらに同じ bcc 金属である Ta 基板上でも同様の結果が報告されていることから、今回の結果は bcc 金属基板上 AlN 成長の一般的な傾向であることが示されている。

第 3 章では、HfN 導電性バッファ層を利用した bcc 金属基板上 III 族窒化物成長について述べられている。Mo(100)基板上へパルススパッタ堆積法を用いて HfN(100)エピタキシャル薄膜が得られたが、この構造上に成長させた GaN は結晶学的に等価なダブルドメイン構造であった。Mo(111)基板上においても、対称性から期待された HfN(111)面のエピタキシャル成長は実現せず、(111)表面の不安定性により結晶品質の低いトリプルドメイン構造であった。一方、Mo(110)基板上へは高品質 HfN(111)薄膜が成長し、これをバッファ層として高品質な GaN(0001)のエピタキシャル成長を実現した。HfN バッファ層を用いた場合についても、Mo(110)基板上に高品質 GaN の成長が可能であることが示されている。

第 4 章では、bcc 金属基板上 III 族窒化物成長における面内配向関係決定のメカニズムについて述べられている。各 bcc(110)基板上へ高品質 AlN のエピタキシャル成長が実現したが、その面内配向関係は格子不整によらず、いずれの基板上においても AlN[11-20] || bcc[001]であった。理論計算により Fe(110)表面への N および Al 原子の吸着エネルギーを求めたところ、N 原子が threefold-hollow サイトに吸着した場合に最も安定となった。この吸着を実現する配列から、実験で得られた面内配向関係が再現されることを明らかにしている。AlN/bcc(110)の面内配向関係が、格子不整に起因する歪みエネルギーではなく、AlN 成長初期における N 原子の吸着過程によって決定されることが示されている。

第 5 章では、本論文のまとめおよび今後の展開が述べられている。本論文は PXD 低温成長法および界面バッファ層の導入により bcc 金属基板上への III 族窒化物エピタキシャル成長を実現し、bcc 金属基板上への窒化物薄膜成長における基本特性を理論計算とともに明らかにした。

本論文で得られた知見は、今後金属基板上 III 族窒化物デバイスを実現し、金属基板の特性を活かして高出力化および高効率化を図るうえで重要な指針を与え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。