

本論文は、パルスレーザー堆積法(PLD 法)による SiC 基板上への窒化物半導体薄膜の成長と評価に関して述べられたものである。Ⅲ族窒化物(AlN, GaN, InN)半導体は、直接遷移型のバンドギャップや優れた電氣的性質を持つことから、光デバイスやハイパワー電子デバイス用の材料として大きな注目を集めている。通常、Ⅲ族窒化物半導体の単結晶薄膜はバルク単結晶基板の作製が極めて困難であるため、サファイアや SiC などの異種基板材料上へのヘテロエピタキシャル成長によって作製される。特に SiC 基板は GaN や AlN との面内格子不整合がそれぞれ 3.4 %、0.9 %と非常に小さく、良質なヘテロエピタキシャル成長が可能になると考えられる。しかし、従来の成長手法である有機金属気相成長法(MOCVD 法)や分子線エピタキシー法(MBE 法)では、高温でⅢ族窒化物薄膜の成長が行われるため、成長初期から 3 次元成長が進行し、表面形状や結晶性の精密な制御を行うことは困難であった。一方、PLD 法では、レーザーによってアブレーションされた粒子が大きな運動エネルギーを持っているため、低温エピタキシャル成長が可能になることが知られている。従って、PLD 法を用いれば SiC 基板上への GaN や AlN 薄膜の低温エピタキシャル成長が可能となる。本論文では PLD 法を用いて SiC 基板上へ III 族窒化物薄膜の低温エピタキシャル成長を実現し、その成長メカニズムを解明している。

第一章では、社会的及び学問的な観点から III 族窒化物半導体の必要性和問題点、そして本研究の目的が述べられている。

第二章では、本研究で用いられた PLD 装置の原理、基本構造、および III 族窒化物薄膜の成長方法、解析手法について記されている。

第三章では、Si-面 6H-SiC 基板上への GaN 薄膜成長について述べられている。原子レベルで平坦化された SiC 基板を用いて GaN 薄膜の成長を行い、700°C から室温までの全ての温度領域で GaN のヘテロエピタキシャル成長を確認している。300°C 以上の高温では 3 次元モードで成長するのに対し、室温では層状モードで成長することを見出している。これらの結果は、従来考えられなかった室温での GaN 結晶成長を実現したもので、高く評価される。

第四章では、Si 面 SiC 基板上への AlN 薄膜成長について述べられている。積層構造が異なる 6H-及び 4H-SiC 基板を用いて AlN 薄膜の成長を行い、いずれの場合でも AlN 薄膜は層状成長モードで成長していることを見出している。また、AlN 薄膜表面上には、正三角形の 2 次元核が形成されており、隣り合うテラス上の 2 次元核の向きは 6H-SiC 基板上では 60°**回転しているのに対して**、4H-SiC 基板上では同一方向である、という興味深い結果を得ている。さらに、C-面 6H-SiC 基板を用いて AlN 薄膜成長を行い、高温では Stranski-Krastanov(SK)モードで進行するのに対し、室温では層状モードで進行することを見出している。また、AlN 薄膜における面内及び面外歪みを調べ、710°C 成長 AlN 薄膜では格子歪みの約 60%が緩和されているのに対して、室温成長 AlN 薄膜では格子歪みの緩和がほとんど起きていないこと、また室温成長 AlN 薄膜は極めて高い結晶性を持っていることを見出している。これは高効率深紫外発光デバイスの開発を行う上で極めて重要な知見であると判断される。

第五章では、C-面 SiC 基板上へ AlN 薄膜を成長させ、膜厚に依存した歪みの挙動や転位密度を解明した結果について述べられている。700°C 成長 AlN 薄膜では、膜厚 52 nm 以上から AlN の面内格子定数が 60%歪み緩和しているのに対し、室温成長 AlN 薄膜では、膜厚 260 nm まで成長しても歪み緩和が起こらないこと、また X 線ロックアップカーブの半値幅から算

出した転位密度は従来の AlN エピタキシャル層に比べて一桁小さいこと、という驚くべき結果を見出している。

第六章では、本論文の結論および今後の展開が述べられている。

以上、本論文ではパルスレーザー堆積法による SiC 基板上への窒化物半導体薄膜の成長と評価について興味深い知見が得られている。

本研究で開発した結晶成長技術と解析手法はゲート絶縁膜/シリコン界面のみに限らず、薄膜材料一般に対しても応用できるため、デバイスプロセスへのフィードバックだけに留まらず、基礎科学の立場からも幅広い研究展開が期待される。また、高効率深紫外発光デバイスの開発によって、生命科学、環境科学、エネルギー科学の分野にも大きな貢献が出来るものと期待される。

したがって、本審査委員会は博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。