

## 審査の結果の要旨

論文提出者 王 宏波

本論文は "Reduction of dislocations in gallium nitride grown by metal organic vapor phase epitaxy using novel seed layers and controlled nucleation (新規シード層と核発生制御による有機金属気相成長 GaN の転位低減)" と題し、物理気相堆積法 (PVD) による窒化アルミニウム (AlN) を核形成層とし、初期成長過程を制御することにより、サファイア基板、シリコン基板、およびパターン形成サファイア基板上に高品質な窒化ガリウム (GaN) 成長を可能にした研究成果について英文で纏めたもので、8 章より構成されている。

第 1 章は序論であって、研究の背景、動機、目的と、論文の構成が述べられている。

第 2 章は "GaN epitaxy in MOVPE" と題し、有機金属気相エピタキシー (MOVPE) による GaN 成長の現状が述べられている。まずサファイア上の高温 GaN 成長に用いられる二段階成長法について論じた後、GaN 中に生じる転位、それがデバイスに与える影響、転位密度同定に用いる X 線回折技術、転位低減法について、主にこれまでの知見が整理されている。

第 3 章は "GaN deposition on LT GaN and LT AlN in MOVPE" と題し、核形成層としての MOVPE 低温成長 GaN と MOVPE 低温成長 AlN の比較検討を行っている。低温 GaN 層の最適化を行った後、同層上の高温 GaN 初期成長過程を論じ、次に最適化された初期成長層上に厚い GaN を成長したことについて論じている。さらにサファイア基板上に MOVPE 低温 AlN 層を形成し、その上に高温 GaN 成長を行ったことについて述べている。最後に低温 AlN と高温 AlN を重ねた二重核形成層上の GaN 成長を行った結果を示している。

第 4 章は "GaN deposition on 40 nm PVD AlN nucleation layer" と題し、本論文で中核となる、成長炉外で PVD により形成した AlN を核形成層として用いることについて論じている。初期に発生する島上核の密度と、その上に成長される GaN 層の刃状転移密度が関連していること、さらに核同士が融合する前の 3 次元成長時間を長くすることが刃状転移の低減に結びついていることを明らかにしている。これらの知見に基づき成長を最適化した結果、 $1.4 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$  程という低い転位密度を得ることに成功している。これは、従来手法による値の約 1/2 である。

第 5 章は "GaN deposition on PVD AlN on Si" と題し、サファイアに代えてシリコンを基板とした場合の、PVD AlN 核形成層の効果について論じている。サファイア基板上で用いたのと同じ手法を適用することによって、 $3.1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$  という低い転位密度が得られることを示している。この値は、パターン基板を使わないで得られるこれまでの転位密度最小値に比べて約 1/3 である。

第 6 章は "GaN deposition on PVD AlN seed layer" と題し、前章までに観測された PVD AlN 核形成層による刃状転位の低減について、そのメカニズムを論じている。

第 7 章は "GaN growth on PVD AlN on patterned sapphire substrate" と題し、パターンを形成したサファイア基板上に PVD AlN 下地層を設け、GaN 成長を行った実験結果について述べている。この場合、前章までに見られたような初期成長と 3 次元成長時間がその後の高温 GaN 成長に与える影響は、必ずしも明瞭に見られていない。ここでは、転位密度として、 $1.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$  程度の値が得られている。

第 8 章は結論であって、得られた成果を総括するとともに、さらなる改善の方向性を示している。

以上のように本論文は、有機金属気相エピタキシーによる窒化ガリウム成長において、物理気相堆積窒化アルミニウムを核形成層として用い、初期成長過程を最適に制御することで、サファイア基板、シリコン基板、及びパターン形成サファイア基板のそれぞれにおいて、高品質な結晶成長が可能であることを示し、世界最小レベルの転位密度を実証した。同時に窒化アルミニウム核形成層自体の転位と表面モフォロジーが窒化ガリウム成長層に与える影響を明らかにしたもので、半導体材料工学への貢献が少なくない。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。