

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14057 号
------	---------------

氏 名 大西 一生

論 文 題 目

高耐圧縦型GaNp-n接合ダイオード作製に向けたハライド気相成長に関する研究

(Study on halide vapor phase epitaxy for vertical GaN p-n junction diode with high breakdown voltage)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	未来材料・システム研究所	教授	天野 浩
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	須田 淳
委員	名古屋大学	未来材料・システム研究所	特任教授	磯 憲司
委員	名古屋大学	未来材料・システム研究所	准教授	本田 善央
委員	東京農工大学	工学研究院応用化学部門	准教授	村上 尚

論文審査の結果の要旨

大西一生君提出の博士学位論文“高耐圧縦型GaNP-n接合ダイオード作製に向けたハライド気相成長に関する研究”は、縦型GaNパワーデバイスの高耐圧化を目指し、高純度GaNの高速成長が可能であるため、従来の有機金属化合物気相成長(MOVPE)法と比較して低コストでデバイス用ウェハの提供が可能であるハライド気相成長(HVPE)法に着目し、HVPEによるデバイス構造成長技術の確立に向けた結晶成長条件の探求やp型伝導制御に関する研究をまとめたものであり、6章で構成されている。

第1章では、窒化物半導体の歴史およびパワーデバイス材料としてのGaNの特徴を述べた後、GaNパワーデバイスの現状とその課題について説明している。特に、高耐圧GaNパワーデバイス作製に向けて結晶成長手法を確立することの必要性を述べ、本論文の目的と位置づけを明確化している。現在世間で使用されるSi系パワーデバイスの性能は、既にSiの物性限界に達しており、飛躍的な性能向上は困難であることから、更なる省エネルギー化に向けて新材料の使用が望まれている。GaNはその優れた物性から、Siと比べて高耐圧・低オン抵抗のパワーデバイスへの応用が期待されている。しかしながら、高耐圧化に必須である低ドーピング濃度を有するGaN厚膜ドリフト層の成長技術が未確立であることから10 kV以上の高耐圧パワーデバイスは研究開発さえ進んでいなかった。従来、デバイス構造の成長手法としてMOVPE法が広く用いられているが、成長速度が数 $\mu\text{m}/\text{h}$ 程度である点や、伝導帯自由電子を補償する不純物である炭素が1立方センチあたり15乗以上原料ガスから混入する点から、縦型パワーデバイス構造の成長手法として課題を抱えていた。本論文では、数十～数百 $\mu\text{m}/\text{h}$ の成長速度を有し、原理的に炭素を含まず高純度なGaNが成長できるHVPE法に着目し、高耐圧の縦型GaNパワーデバイスの作製に向けたHVPE成長技術の確立を目指していることを述べている。

第2章では、本研究で用いたHVPE装置の概要、典型的な成長条件、および成長させたGaN中の残留不純物について述べている。異なる成長温度にてHVPE成長させたGaNの成長速度は成長温度に大きく依存していないことから、本論文にて行った結晶成長条件は原料輸送によって律速されていることを確認している。

第3章では、Siドーピングによるn型GaN中のドナー濃度制御と結晶成長時における供給V/III比と基板オフカット角度がn型GaNドリフト層の表面モフォロジーに与える影響について述べ、高供給V/III比または低オフカット角度においては、高密度なスパイラルヒロックが、低供給V/III比または高オフカット角度においては、平坦な表面がそれぞれ形成することを見出している。実験結果に対して熱力学解析と古典的な結晶成長モデルであるBarton, Cabrera, Frank (BCF) モデルを適用し、臨界オフカット角度の気相過飽和度はBCFモデルを用いて説明可能であることを示している。

第4章では、HVPE法によるp型GaNの作製に関して、Mg原料として蒸気圧が低く石英との反応性の低いMgOに着目してMgドーピング技術を確立し、HVPE法によって初めてp型GaNが作製できることを実証している。また、HVPE法によって作製されるp型GaNの電気的特性を明らかにし、その特性は従来のMOVPE法によって作製されるp型GaNと同様であることを確認している。

第5章では、HVPE法による縦型p-n接合ダイオードを作製し、その電流-電圧特性を評価している。順方向電流-電圧特性から算出した理想因子の最小値は1.6と妥当な値であった。また、温度範囲25-200度において逆方向高電圧印加に対するアバランシェ耐性を実証した。これは、HVPE法が縦型パワーデバイスの成長手法として高いポテンシャルを有することを示す結果となった。

第6章は、本論文の総括である。各章で得られたHVPE法による高耐圧縦型パワーデバイスの作製に関する知見をまとめ、残された課題と今後の展望について述べている。

以上のように、本論文はGaNを用いた高耐圧縦型デバイスを低コストで提供できるHVPE法によるウェハ製造プロセスの構築を実現しており、また世界で初めてHVPE法によるpn接合ダイオードのアバランシェ耐性を示した点で、学術的な価値は勿論、今後の我が国の半導体産業を左右する非常に重要な知見を得ていることから、産業上の価値も極めて高く、博士(工学)を受けるに充分値する内容であると判断した。