

窒化物半導体電子デバイスの電気的特性に対する結晶欠陥の影響に関する研究

檜木 啓宏

本論文は、次世代の高出力・高周波用電子デバイスへの応用が期待されているAlGaIn/GaN ヘテロ構造電界効果トランジスタ(Heterostructure Field Effect Transistor; HFET)の高性能化・実用化に向け、AlGaIn/GaN HFET中の結晶欠陥がデバイス特性に与える影響について検討したものである。AlGaIn/GaN HFETのさらなる高性能化・実用化にむけての課題としては、「ショットキー逆方向ゲートリーク電流の低減」、「電流コラプスの低減」、「ソース・ドレインリーク電流の低減、耐圧向上」があるが、本論文では、「ソース・ドレインリーク電流の低減・耐圧向上」に注目している。ソース・ドレインリーク電流は、GaNバッファ層リーク電流とも呼ばれ、AlGaIn/GaN ヘテロ構造においてGaN層の結晶性と密接に関連した課題である。そこで本論文では、GaN層中の結晶欠陥である転位がGaNバッファ層リーク電流およびGaNバッファ層耐圧に与える影響を、実験結果に基づき物理的モデルを適用しながら明らかにしている。

第一にAlGaIn/GaN ヘテロ構造エピウエハにおいて、GaNバッファ層リーク電流を非破壊でかつ迅速・簡便に推測できる手法として、「簡易フォトルミネッセンス(Photoluminescence; PL)像観察」を提案している。この手法を用いて得られたPL像からエピウエハ成長後すぐにGaNバッファ層リーク電流を推測することができることを示している。また、そのPL像の光学的特性と貫通転位密度との相関を調べ、GaNバッファ層リーク電流に貫通転位がおよぼす影響を検討している。

第二に、光学的特性および電気的特性と貫通転位の相関を検討した結果、貫通転位が発光特性とリーク電流特性に大きな影響を与えていることを明らかにしている。さらに、結晶欠陥である貫通転位の影響を詳しく検討する為に、AlGaIn/GaNヘテロ構造におけるGaN層薄層化の検討を行っている。その結果、GaN層を薄層化することにより、GaN層中の貫通転位密度は増加しているが、リーク電流を低減させることができ、またオフ耐圧を向上させることに成功している。

第三に、GaN層リーク電流特性を空間電荷制限電流(SCLC)伝導でうまく説明できることを示し、GaN層薄層化によって耐圧が向上した原因を「トラップをともなったSCLC伝導機構」を用いて解析を行っている。その結果、GaN層薄層化によって、貫通転位密度が増加し、それとともに形成される電子トラップ密度も増加することを明らかにしている。そして、そのトラップ密度が急激に電流の増加する電圧、すなわち、AlGaIn/GaN HFETのオフ耐圧を決めていることを示している。

このように、本論文は、AlGaIn/GaN HFETの高性能化および実用化に向けて、学術的・産業的知見を与えるものである。