

平成 17 年 1 月 12 日

電子・情報工学専攻	学籍番号	009009
申請者氏名	文 秀 榮	

指導教官氏名	米津 宏雄 教授 朴 康司 助教授
--------	----------------------

論 文 要 旨 (博士)

論文題目	無転位 III-V-N 混晶を用いた Si 基板上の発光ダイオードの作製に関する研究
------	--

(要旨 1,200 字程度)

光通信技術を支えるフォトニクスとエレクトロニクスをつなぐ新機能デバイスは、Si-LSI と化合物半導体光デバイスをワンチップ化した光電子集積回路(OEIC)によって実現される。Si 基板上に、GaAs や InP などの化合物半導体が成長できれば、Si デバイスの高集積性と化合物半導体デバイスの電氣的・光学的優位性・高速性との融合により、新しいモノリシックデバイスへの応用範囲の拡大が期待できるからである。しかし、Si 基板上の GaAs 成長 (GaAs-on-Si) に見られるように Si と化合物半導体のヘテロエピタキシーには解決すべき問題が多く存在する。最大の問題は大きな格子不整合率である。格子不整合率が大きいと、成長層には高密度の貫通転位が発生する。それらの貫通転位は、レーザダイオード (LD) や発光ダイオード (LED) などの少数キャリアデバイスにおいて、経時劣化や発光効率の低下を引き起こす。そこで本研究では、Si に格子整合する III-V 族化合物半導体を成長して、無転位の発光デバイスを作製することを目的とした。

まず、Si との格子不整合率が 1.4% と小さい  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x/\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{P}$  歪み量子井戸(QW)構造の LED を Si 基板上に作製し、その発光特性を調べた。作製した  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x/\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{P}$  QW LED のフォトルミネセンス (PL) のピーク波長は 680nm であった。注入電流の増加にともない、光出力は線形的な増加を示した。しかし、注入電流密度が  $100 \text{ A/cm}^2$  以下の小さい領域において、光出力は指数関数的に増加した。低電流注入するとヘテロ界面のミスフィット転位と貫通転位による、非発光センターの欠陥にキャリアが捕獲されてこのような特性が発生したと考えられる。作製した LED のエレクトロルミネセンス (EL) のピーク波長は 705nm で観察された。LED からの光出力は動作開始して数時間以内に初期の光出力の半分に急減した。その劣化原因は、成長中に形成された結晶内のミスフィット転位と貫通転位であると考えられる。通電によってこれらの転位が成長し、ダークライン (Dark Line Defect) と呼ばれる転位網に成長し、徐々に発光強度が減少したと考えられる。

次に、Si と格子整合が可能な GaPN 混晶に着目した。III-V-N 混晶の問題として窒素 (N) 組成が増加するとともに構造的・光学的な結晶性が著しく劣化する。また、GaPN 混晶は N と P の原子半径の違いが大きく、窒素の非混和性が大きいために、非平衡な成長条件を必要とする。そこで、GaP 基板上に  $\text{GaP}_{1-x}\text{N}_x/\text{GaP}$  ダブルヘテロ構造 (DH) の LED を作製し、発光特性と発光効率の N 濃度依存性について調べた。N 組成がそれぞれ 1.8%, 2.1% と 2.6% の LED の EL ピーク波長は 645, 647 と 653 nm で観察された。N 組成の増加とともに発光ピーク波長は長波長側にシフトした。N 組成が 2% を超えると発光強度の低下が見られた。

これらの結果をもとに、Si 基板上に格子整合した  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}_{1-y}\text{N}_y/\text{GaP}_{1-z}\text{N}_z$  ダブルヘテロ構造 LED を作製した。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}_{1-y}\text{N}_y$  層と  $\text{GaP}_{1-z}\text{N}_z$  層の構造的な特性は、XRD と TEM によって評価した。XRD 測定結果から、 $\text{GaP}_{1-z}\text{N}_z$  層の N の組成は 1.8% であった。また、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}_{1-y}\text{N}_y$  層の In および N の組成は、それぞれ 4.0% および 3.8% であった。また、TEM 観察結果から、無転位であることが確認された。LED の EL ピーク波長は 665nm であった。したがって、ミスフィット転位と貫通転位のない III-V 族化合物半導体の LED を Si 基板上に実現できることが明らかになった。