

平成13年1月15日

電子・情報工学専攻	学籍番号	943333	指導教官氏名	米津 宏雄 教授 吉田 明 教授
申請者氏名	藤本 康弘			

論文要旨(博士)

論文題目	Siに格子整合するIII-V族化合物半導体の創成と 無転位量子井戸構造の形成に関する研究
------	-------------------------------------------------

Si基板上に高品質なIII-V族化合物半導体を成長する技術は、将来の光電子集積回路(OEIC)の実現のための基盤技術として認識されている。しかし、Si基板上のGaAs成長(GaAs-on-Si)に代表される、この種のヘテロエピタキシーには解決すべき問題が多く存在し、その中でも大きな格子不整合率は最大の問題である。大きな格子不整合率に起因して、成長層には高密度の貫通転位が発生する。そこで本研究では、Siに格子整合するIII-V族化合物半導体を創成して、無転位量子井戸構造をSi基板上に形成することを目的とした。

最初に、これまでのGaAs-on-Siに比べ、Nを含まずSi基板と格子不整合率の小さい量子井戸構造をSi基板上に形成し、貫通転位密度の低減を図った。ここでは、Si基板との格子不整合率を1.4%に減らしたGaP/Si基板上のGaAs_xP_{1-x}/In_{0.13}Ga_{0.87}P量子井戸構造を提案した。このGaAs_xP_{1-x}/In_{0.13}Ga_{0.87}P量子井戸構造は、LDに用いることを想定して、室温連続発振が可能な伝導帯のバンド不連続を持つように理論的に最適化を行った。

次いで、Si基板上にGaAs_xP_{1-x}/In_{0.13}Ga_{0.87}P量子井戸構造の形成を試みた。その結果、GaAs_xP_{1-x}/In_{0.13}Ga_{0.87}P/GaP/Si構造の形成において、Si基板上の各層は2次元的に成長した。また、貫通転位密度をこれまで報告されているSi基板上の発光デバイス構造の中で、最も少ないレベルにまで低減できることが明らかになった。また、GaAs_xP_{1-x}混晶の品質および急峻性は、As供給量を短時間に素早く切り替えることによって著しく改善された。その結果、強いバンド端発光がGaAs_{0.68}P_{0.32}量子井戸層から室温において観察された。また、SIMS分析から比較的急峻なヘテロ界面を形成できることがわかった。

次に、Si基板との格子不整合率をさらに零に近づけるために、Siに格子整合する量子井戸構造の形成を目指してGaAs_{1-x}N_x混晶の成長機構と結晶欠陥の発生機構について調べた。その結果、As/Ga比はGaAs_{1-x}N_x混晶の表面モフォロジーに非常に大きな影響を与え、GaAsの成長におけるGaリッチ状態は、2次元成長を維持し、表面が平坦で鏡面のGaAs_{1-x}N_x混晶を得ることができた。GaAs_{1-x}N_x混晶のN組成比は、基板温度を下げる、およびrf-powerを上げるによって線形的に増加し、比較的容易に制御できることがわかった。約3%以下のN組成比では、均質なGaAs_{1-x}N_x混晶が形成され、格子定数はN組成比の増加と共にSiに近づくことが明らかになった。また、GaAs_{0.978}N_{0.022}/GaAsのミスフィット転位密度は、同じ格子不整合率を持つGaP/Siのそれに比べ、非常に少ないことがわかった。同様な結果は、臨界膜厚にも現れた。その結果、窒素の添加によって、転位の伝搬が阻止されるという優れた物性が見いだされた。

最後に、以上の得られた知見をもとに、Siに格子整合する量子井戸構造をSi基板上に形成し、無転位化を試みた。その結果、GaAs_yP_{1-x-y}N_x/GaP_{0.98}N_{0.02}/GaP/Si構造の形成において、Si基板上の各層は2次元的に成長した。TEM観察より、設計通りに量子井戸構造は形成され、観察範囲内においてミスフィット転位と貫通転位は観察されないことがわかった。また、その量子井戸構造はSiに格子整合していることを確認した。したがって、Si基板上にGaAs_yP_{1-x-y}N_x/GaP_{0.98}N_{0.02}量子井戸構造を形成することにより、ミスフィット転位と貫通転位のないIII-V族化合物半導体の量子井戸構造をSi基板上に実現できることが明らかになった。