

電子・情報工学専攻	学籍番号	033309	指導 教員	若原昭浩教授 古川雄三准教授
申請者 氏名	梅野和行			

論文要旨 (博士)

論文題目	直接遷移型無転位量子井戸を用いた Si 上発光デバイス形成に関する研究
------	-------------------------------------

(要旨 1,200 字程度)

直接成長による Si 上 GaP 系 III-V 族化合物半導体を基礎とした高効率な発光素子の形成により、Si 系モノリシック光電子集積回路の実現が期待される。しかしながら、GaP のバンド構造が間接遷移型のため活性層への直接遷移型材料の適用が必須である。直接遷移型半導体として(In)GaAs や In(Ga)P 系の III-V-N 混晶を低次元量子井戸活性層とすることにより、0.6~1 μ m の広い波長帯で発光素子を作製できると予想される。本研究では、これらの直接遷移型 III-V-N 混晶を低次元量子井戸活性層とした発光デバイスの形成を目的とした。

全ての結晶成長には低次元量子井戸形成に優れた分子線エピタキシーを用いた。はじめに、結晶成長が最も容易である In 組成 27%以上の直接遷移領域 InGaPN/GaPN 歪量子井戸を形成し、そのバンド・アラインメントを検討した。その結果、効率的に電子を量子閉じ込め可能な 300 meV 以上の伝導帯バンド・オフセットを得るためには InGaPN 井戸層の N 組成を GaPN 障壁層のそれよりも 3%増加させる必要性が明らかになった。続けて、In 組成が多い場合に N 組成が増加可能かを検討するために、InPN 混晶のエピタキシャル成長を行った。その結果、Ga 系 III-V-N 混晶と比較して、InPN 混晶では N 組成を 0.5%以上にすることが極めて困難であることを示した。これは、III 族窒化物の中で最も弱い In-N の結合エネルギーと InN の熱分解温度が 500 $^{\circ}$ C 近傍と低温であることに起因すると考えられる。以上のことから、活性層を全て P 系の III-V-N 混晶にすることは現在の成長技術では困難であるという結論に達した。

III-P-N 混晶よりも III-As-N 混晶の方が小さいバンドギャップ・エネルギーを有する。そこで次に、GaAsN 混晶(歪量子井戸)および InGaAsN 混晶(自己形成量子ドット)を検討した。III-As-N 量子井戸構造を GaP(N)で埋め込む際に As/P 置換反応の発生、および意図しない As/P 混入層の形成という問題が生じる。そこで、これらの二つの問題を解決しうる成長プロファイルを開発した。GaAsN 混晶の成長条件を最適化した後に、この成長プロファイルを用いて急峻なヘテロ界面を有する GaAsN/GaP(N)歪量子井戸を形成した。そこでは、伝導帯バンド・オフセットを 300 meV 以上得るためには、GaAsN 歪量子井戸層の N 組成は 3.5%とすべきことを示した。くわえて、Si 基板上へ直接成長した 0.8 μ m 帯 GaAsN/GaP 歪量子井戸帯発光ダイオードの作製に成功した。

量子井戸の更なる低次元化は、発光デバイスの高効率化に有望である。そこで最後に、As/P 置換反応を抑制することにより高密度 InGaAsN 島を GaP に埋め込み、自己形成 InGaAsN/GaP 量子ドットを多積層することに成功した。この自己形成量子ドットに対して、室温において波長 1 μ m 帯のフォトルミネッセンスをはじめて観測した。自己形成 InGaAsN/GaP 量子ドットは、Si 基板上光デバイスの活性層としてまた有望であることを示した。