

2003 年 2 月 21 日

電子・情報工学専攻	学籍番号	963342
申請者氏名	百瀬賢治	

指導教官氏名	米津 宏雄 教授
	吉田 明 教授
	石田 誠 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 基板上光電子集積回路の基本構造に関する研究
------	---

(要旨 1,200 字程度)

フォトンクスとエレクトロニクスは、化合物半導体光デバイスと Si-LSI を 1 チップ化した光電子集積回路(OEIC)によって融合される。しかし、材料間の格子定数差および熱膨張係数差に起因して成長層内に導入される結晶欠陥(転位)と、Si-LSI 形成後に化合物半導体光デバイス層を成長する難しさがその実現を阻んできた。これまでに、 $\text{GaP}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 混晶を Si に格子整合させ無転位で成長できることを実証した。そこで、本研究では、無転位で Si 基板上に成長できる III-V-N 混晶の範囲を広げると共に、新たな OEIC の構造を考案することを目的とした。

$\text{GaP}_{1-x}\text{N}_x$ 混晶を Si 基板上に無転位で成長できる窒素組成と膜厚の範囲を推測するためには、窒素による結晶の力学的性質の変化を捉える必要がある。同程度の歪み量に加わるヘテロ構造を作製し臨界膜厚を比較した結果、GaP 層、 $\text{GaP}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 混晶層、 $\text{GaAs}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 混晶層の順序で大きいことが明らかになった。さらに、 $\text{GaP}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ および $\text{GaAs}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 混晶層の成長膜厚の増加に対するミスフィット転位密度の増加傾向は、GaP 層に比べて著しく抑制されることが明らかになった。これらのことから、III-V-N 混晶は一般的な III-V 混晶よりも硬く、転位の伝播が抑制される優れた特性を有することが明らかになった。その変化を支配する機構は、窒素原子によるアロイハードニング効果とピンニング効果によることを解明した。

窒素組成を 2%以上に増加することにより、 $\text{GaAs}_y\text{P}_{1-x-y}\text{N}_x$ あるいは $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{P}_{1-x}\text{N}_x$ 混晶を Si に格子整合することができるため、 $\text{GaP}_{1-x}\text{N}_x$ 混晶では不可能な高特性・高機能を実現する多様なバンド構造を OEIC に搭載することができる。そこで、良好な結晶性を維持したまま 2%以上の高い窒素組成を有するこれらの III-V-N 混晶を成長する技術を探索した。III-V-N 混晶の成長において未踏の領域であった 350°C 以下まで成長温度を下げることによって、窒素組成を 7%以上に増やすことができた。さらに、成長中に原子状水素を照射することによって、構造的な結晶性を著しく改善できることが明らかになった。成長温度を下げたことに伴って発生する過剰 V 族原子は、原子状水素照射によって除去できた。これらのことから、構造的に良好な結晶性を持つ高窒素組成 III-V-N 混晶を成長する手法として、原子状水素照射下における低温成長が有用であることを見出した。

最後に、新しい OEIC の基本構造として Si/ $\text{GaP}_{1-x}\text{N}_x$ /Si 構造を提案した。この構造では、最表面の Si 層に、LSI に留まらず微細加工技術を生かした光回路・マイクロオプティクスを形成することが可能である。造り込まれた III-V-N 混晶層を光デバイスとして用いるため、光デバイス形成のための再成長を必要としない。Si と $\text{GaP}_{1-x}\text{N}_x$ 層の界面形成時に成長中断を導入することによって、Si/ $\text{GaP}_{1-x}\text{N}_x$ /Si 構造を無転位で成長できることに成功した。さらに、成長温度と室温における X 線回折(XRD)から、Si と $\text{GaP}_{1-x}\text{N}_x$ 混晶の熱膨張係数差に起因する歪みは、転位を発生させない程度の格子定数差によって補償できることが明らかになった。