

平成 11 年 3 月 24 日

電子・情報工学専攻	
申請者氏名	辻 正芳

紹介教官氏名	米津 宏雄 教授
--------	----------

論文要旨 (博士)

論文題目	MOVPE 法による高品質 InAlGaAs 成長とその受光素子への応用に関する研究
------	--

現在まで、光デバイスの構成材料としては、InP 基板に格子整合する InGaAsP 系材料が用いられてきた。これは、バンドギャップエネルギーが光通信で利用される  $1 \mu\text{m}$  帯に一致するためである。この InGaAsP 材料を用いて、半導体レーザー、光変調器、受光素子等が作製されており、近年では、異なるマスク幅を用いた選択成長により、同一基板上に複数の素子を形成した光集積素子が開発されている。

一方、同じく InP 基板に格子整合する InAlGaAs 系材料は、その物性上、InGaAsP 系材料を越えるポテンシャルを主に二点有していると考えられる。一つは、InAlAs/InGaAs ヘテロ界面の伝導帯不連続エネルギー ( $\Delta E_c$ ) が  $0.5 \text{ eV}$  あり、InP/InGaAs の  $0.2 \text{ eV}$  より大きい点である。この大きな  $\Delta E_c$  は、デバイス設計において、電子の閉じ込め強化、あるいは、電子へのエネルギー供給に利用することができる。もう一つは、単一 V 族組成であり、III 族原料ガスの切り換え (制御) のみにより、急峻なヘテロ界面、あるいは、組成傾斜層を作製できるという点である。これらの物性上の特長は、デバイス特性を改善し、さらに新デバイスの創出に寄与できると考えられる。

しかしながら、この InAlGaAs 系材料は、高活性な Al を含むため、従来、高品質結晶を得ることが難しく、また、選択成長も困難と考えられたため、光デバイスへの応用はもちろん、その成長報告もわずかしかなかった。本論文は、有機金属気相成長 (MOVPE) 法による InAlGaAs 結晶成長の高品質化、選択成長技術の開発、歪超格子構造や組成傾斜多重層等のバンドエンジニアリング技術の開発についてまとめたものである。さらに、これらの技術のデバイス応用として、二種類の新型の受光素子を実現し、その基本特性を実証した。

まず、InAlGaAs 結晶の高品質化において、膜中の残留不純物濃度が Hall 測定値と C-V 測定値で異なることを指摘し、高不純物濃度の原因が、酸素に起因した電気的に不活性な深い準位の形成にあることをつきとめた。InAlGaAs 成長の高純度化の手法として、高 V/III 比、高温成長等の成長条件の最適化が有効であることを見だし、不純物濃度  $n < 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  の高純度化結晶を実現した。また、InAlGaAs:Zn の特性を検証し、Al 組成の増加に伴い、Zn アクセプタレベルの位置が変化することを明らかにした。

次に、InAlAs の選択成長技術を確立した。成長基板の前処理、及び、成長条件の最適化により、選択成長厚  $1 \mu\text{m}$  程度に対し、マスク幅  $100 \times 200 \mu\text{m}$  上においても全く多結晶が析出しない、高選択比な成長を実現した。さらに、InAlAs/InGaAs MQW の選択成長において、成長面内でのバンドギャップ制御量として、InP/InGaAs MQW のレコードである  $253 \text{ meV}$  を大きく越える、 $354 \text{ meV}$  のシフトを実現し、 $\Delta E_c$  の大きなこの材料系の特長を実証した。

InAlGaAs 材料系の特長を利用した、二種類の新型の受光素子を実現し、その基本的特性を明らかにした。一つは、軽い正孔質量の寄与による素子の高速特性の改善を目的に提案した歪超格子 APD である。歪導入により、利得帯域幅積の改善が確認された。もう

一つは、組成傾斜多重層を増倍層に適用した Staircase APD である。高品質な InAlGaAs 組成傾斜多重層の成長技術を構築し、長波長系の Staircase APD を初めて実現した。また、バルク層、超格子構造、組成傾斜多重層におけるイオン化率比を光増倍特性から導出、比較し、電子に対する障壁がなく、且つ、 $\Delta E_c$  でのエネルギー付加が得られる、組成傾斜多重層の優位性を実験的に初めて明らかにした。