

組成変換法によるGaInPおよびGaInAs混晶の液相へ  
テロエビタキシーに関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 元垣内, 敦司 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/1550">http://hdl.handle.net/10297/1550</a>

氏名・(本籍)	元 垣 内 敦 司 (岐阜県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博甲第 176 号
学位授与の日付	平成10年 3 月 21 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻の名称	電子科学研究科 電子応用工学
学位論文題目	組成変換法によるGaInPおよびGaInAs混晶の液相ヘテロエ ピタキシーに関する研究

論文審査委員	(委員長)		
	教授	栗 原 弘	教授 熊 川 征 司
	教授	福 家 俊 郎	助教授 田 中 昭
	教授	助 川 徳 三	

## 論 文 内 容 の 要 旨

近年の半導体デバイス工学の発展は情報通信分野の発達を促した。今後、さらに高度情報化を進めるために、半導体デバイス自身の性能の向上および多機能化が求められている。このように多様化する半導体デバイスの要求に応えるには、Ⅲ-V族化合物半導体混晶を自由に組み合わせてヘテロ接合や超格子構造を作り、所望のバンド構造を実現させ、デバイスの高性能化、新機能化をはかることが重要課題となる。しかしながら、定まった格子定数を持つ元素半導体もしくは化合物半導体基板しか実用的に存在していない現状では、成長技術の問題から基板と同じ格子定数を持つ結晶しか成長できず、任意の化合物半導体(混晶)同士を組み合わせたヘテロ構造デバイスを実現するには至っていない。

本研究はこのような問題点を克服し、格子不整合下でのヘテロエピタキシー技術を確立し、混晶の持つ特長を最大限に活かした新機能デバイスの実現を目的としたものである。具体的にはⅢ-Ⅲ-V族混晶であるGaInP及びGaInAs混晶の成長法の確立を目的として研究を行った。これらの混晶は光デバイスや超高速電子デバイス用材料として有望な材料である。しかしながら、現在のところGaAs基板やInP基板に格子整合する組成の混晶しか利用されていない。それ以外の組成の混晶が成長できるようになれば、デバイス設計の自由度が拡大できるが、現実には格子整合する基板が存在しないため、格子不整合下での結晶成長技術の確立が急務である。

LPE (Liquid Phase Epitaxial)法では格子不整の大きな混晶成長は困難とされてきたが、近年組成変

換法が開発された。本研究ではこの組成変換法を用いて任意組成のGaInP及びGaInAs混晶の成長法の開発を行った。

組成変換法は2段階のステップから成り立つ。(1)格子不整が7.5%と非常に大きな化合物半導体の直接成長(GaP基板上へのInP層、GaAs基板上へのInAs層)を行う。(2)成長しようとする混晶より融点の低いこれらの成長層に、組成変換に必要な混晶成長用溶液(Ga-In-P溶液、Ga-In-As溶液)を一定温度で一定時間接触することにより、溶液から成長層側へGaが拡散してInP層をGaInP混晶層に、InAs層をGaInAs混晶層に変換する。従って各ステップでの成長条件の確立が必要となる。本論文は、以上の観点から行った研究をまとめたもので、8章から構成されている。

第1章では本研究の背景について概説し、研究の目的と意義を明らかにした。第2章には組成変換を開発した経緯と組成変換の成長技術の概要が記述されている。第3章では本研究に用いた実験装置、材料、相図と実験方法及び評価方法について述べている。

第4章では組成変換の第1段階であるGaP基板上のInP層及びGaAs基板上のInAs層の成長について述べている。格子不整が7.5%と大きく、基板と溶液が非平衡であるため、良好な単結晶層を成長させるための条件を確立する必要がある。高い温度で成長を行うことにより、この問題を解決することができた。

第5章では第4章で得られた成長層を用いた組成変換について述べた。変換条件として温度、時間、成長層の厚さを検討した。これらの諸条件を考慮して実験を行った結果、高い温度で薄い成長層を用いた変換を行うことで、比較的良好な変換層を得ることができた。また、溶液組成を変えることで、全ての組成範囲で層状でかつ単結晶の変換層を得ることができた。

第6章ではSolid-Liquid Diffusion Modelを用いた組成変換機構の数値解析について述べた。InP層中のGaの拡散係数を実験的に見積もり、これをパラメータとして解析を行った。解析結果から溶液を接触後30分で組成変換は完了することが判明した。また、溶液組成を変えて最終的な混晶組成を計算し、実験結果とよい一致が得られ、溶液組成で混晶組成を制御できることがわかった。これらの解析結果から組成変換条件の最適化に関して有効な情報を得ることができた。

第7章では高品質のGaInP混晶層を得る目的で組成変換層上への同一組成の混晶のホモ成長について検討している。組成変換層を種子結晶とし、それと同じ組成の混晶をホモ成長させることで組成変換層よりは結晶性が改善されたGaInP混晶層を得ることができた。

最後に第8章では今までの研究成果を総括して、本研究で得られた結論について述べている。本研究では従来結晶成長が困難であった基板との格子不整合の大きな半導体混晶のLPE成長において、組成変換法を適用することで任意組成のGaInP及びGaInAs混晶をGaP及びGaAs基板に層状成長させることに成功した。さらに組成変換法で得られた混晶を種子結晶として用い、高品質の混晶層のホモエピタキシャル成長層を得るための見通しを得たことは、今後、混晶の持つ特長を最大限に活かした新機能デバイスの実現に寄与できるものと考えられる。

## 論文審査結果の要旨

二種以上の化合物半導体の混晶は、構成する化合物の組成比を変えることによって禁制帯幅や物性を任意に制御できるため、高性能・高機能デバイスの構成材料として重要である。この半導体混晶のもつ特長を最大限に活かすためには、種子結晶基板との格子整合条件にとらわれないヘテロエピタキシー技術の開発が必要不可欠である。しかるに、これまで大きな格子不整合基板上への混晶成長は困難であり、混晶の利用できる組成範囲が制限されていた。本研究は、この問題を解決して所望の格子定数をもつ高品質混晶層を成長するための液相ヘテロエピタキシー技術の開発に関するものである。

従来の液相成長法では、例えば、GaP基板上へのInGaP混晶の成長の場合に、基板との大きな格子不整合に起因してInPとGaPとの中間組成領域の混晶の成長は困難であった。これは、3成分溶液には成長温度で自由度1があるため、格子不整合により析出混晶組成が基板側に引き込まれ易く、固液界面で溶液が熱力学的に不安定になる結果と考えられる。本研究では、GaP基板上にIn-P二元溶液からInPが層状成長できることに着目し、まずInPをヘテロエピタキシーした後、そのInP成長層に目的の混晶組成のGaInPと平衡する組成を持つIn-Ga-P溶液を接触して熱処理する組成変換法を採用した。この方法においてはIn-Ga-P溶液とInP層との熱力学的な非平衡に基づき、GaがIn-Ga-P溶液側からInP層に高速拡散し、Inと所定の割合で置換する。その結果、InP層はGaP基板と同一面方位をもち、且つ目的の組成をもつGaInP混晶層に変換される。同様にして、GaAs基板上にGaInAs混晶層が得られる。

本研究ではこの成長技術を確立するために、まず基板と成長層との間に格子不整合が7.5%もあるGaP基板上へのInP層およびGaAs基板上へのInAs層の高品質化のための成長条件について検討した。特に重要な回転双晶の発生を抑えるための成長条件について究明した。その結果、成長温度を高くする程低減化できることを明らかにした。さらに、組成変換機構を解明するために、Solid-Liquid Diffusion Modelによるシミュレーションを行い、実験結果と比較検討した。その結果、組成変換機構が拡散モデルでよく説明できることが判明した。

組成変換法によって所望の組成の混晶が成長できる見通しが得られたので、次にこの変換層を種子結晶基板として、その基板と同一組成の混晶をホモエピタキシャル成長させることを検討した。マスクを用いて横方向の選択成長を行うことにより、変換層より結晶性が改善されたGaInP層が成長できることが分かった。

以上を要約すると、従来困難だった格子不整合の大きな基板上に所望の混晶組成をもつGaInPおよびGaInAsを成長させる技術が確立できたことは、今後の電子工業に貢献するところが少なくない。審査の結果、本論文は博士(工学)の学位にふさわしい内容をもつものと認定する。