

氏 名	なか しま き い ち 中 島 紀 伊 知
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3474 号
学位授与の日付	平 成 11 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	X 線回折による III-V 族混晶半導体超格子構造の構造評価に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 藤 田 茂 夫	教 授 松 波 弘 之	教 授 松 重 和 美
--------	----------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、光通信用光デバイスの基本構造である III-V 族半導体超格子の X 線回折による構造解析に関して、従来行われていた回折強度パターンを試行錯誤的にシミュレーションし、実験と比較することによって構造パラメータを決定するという複雑な解析手法に代わって、試行錯誤を経ることなく決定論的に行える新しい X 線回折解析法を考案するとともに、光デバイス作製のための結晶成長およびプロセス工程における重要な検討課題である熱的工程、拡散工程による超格子の歪みなどの構造変化の問題、さらに高い歪みを有する超格子構造の格子緩和の問題について、X 線回折による構造解析という立場から研究した結果を纏めたもので 7 章から成り立っている。

第 1 章は序論であり、光通信用デバイスとしての III-V 族半導体超格子構造または歪超格子構造において、X 線回折による構造評価の研究の歴史的背景を述べるとともに、従来法の問題点を抽出し、新しい解析法の必要性を述べて本論文の目的と位置付けを明確にしている。

第 2 章では、X 線回折測定及び解析の基礎となる運動学的理論と動力学的理論について述べるとともに、それを用いた結晶の歪み解析の基本原理解について述べている。

第 3 章では、超格子構造を実際のデバイスにプロセス加工する際に問題となる構造変化を取り上げ、InP 基板に格子整合した InGaAs/InP 超格子構造の熱アニールおよび Zn 拡散に対する安定性と相互拡散過程を X 線回折評価により検討した結果を論じている。とくに、この材料系における III 族原子と V 族原子の挙動の相関性の有無に注目して、熱アニールの場合 V 族原子、Zn 拡散の場合 III 族原子の相互拡散が顕著であり、いずれの場合にも III 族原子と V 族原子の挙動の相関性はないことを見出している。

第 4 章では、X 線回折による歪超格子の構造解析において、歪量を決定する上で重要となる 0 次サテライトピークを簡便に同定する方法を考案している。すなわち、反射指数 (hkl) を様々に変化させて測定して、そのサテライトピークの指数 (hkl) に対する依存性を求めることによって、0 次ピークを同定することが可能であることを示し、この手法が複雑な多層構造を解析する場合にも有効であることを明らかにしている。さらに、同手法の適用範囲の拡大と精度向上のために、任意の格子緩和率を持つ試料に適用可能な仮想格子定数差プロット法を新たに考案しその有効性を論じている。

第 5 章では、第 4 章で考案した指数 (hkl) に対する依存性を用いた解析をピーク半値幅の解析に適用することによって、半値幅そのものがモザイク結晶の生成に伴う局所的な軸傾斜の分布によって引き起こされたものであるかどうかの判定が簡単に行えることを明らかにし、従来の方法と比較してその有効性を論じている。

第 6 章では、InAsP/InGaAsP 歪超格子構造という新しい材料系における格子緩和過程に関して、X 線回折評価を用いて詳細に論じている。導入された転位により、もともと初期状態において高い歪みがかかっていた歪超格子層自体の格子緩和よりむしろ隣接層である緩衝層において大きな、かつ不均一な格子変形が生じていること、さらに、緩衝層中の格子変形は弾性論からの結果から予想されるものとは異なった特異な微視的塑性変形の性質を持つことなどを明らかにしている。これらの結果から、InAsP/InGaAs 歪超格子構造では、他の材料系とは異なる特異な格子緩和過程が生じていると結論づけている。

第7章は結論であり、本論文で得られた結果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、光通信用光デバイスにおける基本的構造である III-V 族混晶半導体超格子構造の X 線回折に関して、新しい解析法を考案するとともに、光デバイス作製のための結晶成長やプロセス過程で不可避免的な熱や拡散などによる超格子の歪みなどの構造的変化や歪超格子の格子緩和などの問題を、X 線回折による構造解析の立場から研究した結果を纏めたもので、その概要は以下の通りである。

1. 超格子構造を実際のデバイスにプロセス加工する際に問題となる超格子構造の構造変化の問題を取り上げ、InP 基板に格子整合した InGaAs/InP 超格子構造の熱アニールや Zn 拡散プロセスに対する構造安定性と相互拡散過程を X 線回折評価により検討し、熱アニールの場合 V 族原子、Zn 拡散の場合 III 族原子の相互拡散が顕著であることを明らかにしている。

2. 回折測定における反射指数 (hkl) 依存性を考察することにより、超格子からの回折における 0 次サテライトピークを簡便に同定できる解析方法を考案し、従来の歪解析法の問題点であった試行錯誤的パラメータの探索作業を含まない簡便な歪解析法としてその有効性を実験的に示している。

3. 反射指数依存性を用いた解析手法を回折ピークの半値幅解析に応用し、半値幅の広がりモザイク結晶に起因したものであるか否かを簡便に判定する新しい解析法を提案し、従来法との比較において本方法の有効性を明らかにしている。

4. 開発した解析法を光通信用デバイスの新材料系である InAsP/InGaAsP 歪超格子の格子緩和過程に対する解析に適用し、この材料系では緩衝層中における特異な微視的塑性変形による不均一格子変形が格子緩和の原因であることを示している。

以上を要するに本論文は、X 線回折を用いた新しい簡便な構造解析手法を考案するとともに、それを用いた超格子構造に対する構造評価の有効性を実証し、光通信用の超格子構造光デバイス設計に対する有用な情報を提供したもので、得られた結果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また平成 11 年 9 月 28 日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。