OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	MONBE法によるInP系化合物半導体の結晶成長と2μm帯レーザへの応用に関する研究
Author(s)	満原, 学
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3169621
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

氏名	満原 学（みつはら まなぶ）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 15577 号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	MOMBE法によるInP系化合物半導体の結晶成長と2μm帯レーザへの応用に関する研究
論文審査委員	（主査） 教授 権田 俊一 （副査） 教授 中井 貞雄　教授 西川 雅弘　教授 堀池 寛 教授 飯田 敏行　教授 三間 圀興　教授 西原 功修 助教授 朝日 一

論文内容の要旨

本論文は、MOMBE法を用いたInP系化合物半導体の結晶成長と、これを用いた2μm帯レーザに関する研究成果をまとめたもので、6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景、目的及び意義について述べ、InP系化合物半導体を用いた2μm帯レーザの現状と本研究の役割について概観すると共に、本論文の構成について述べている。

第2章では、MOMBE法の特徴について説明し、本研究で用いたMOMBE装置の改良点と成長膜の評価方法について述べている。

第3章では、バルク結晶のMOMBE成長について述べ、混晶であるInGaAs、InGaAsPの組成制御には、原料ガス供給量と基板温度の高精度な制御が必要なことを明らかにしている。また、固体Beを用いたドーピングにおける問題点を指摘し、これは成長表面におけるBeとⅢ族有機金属原料の分解により発生するアルキル基との反応に起因していることを明らかにしている。さらに、Beのガスドーパント原料（$Be(CH_3C_5H_4)_2$）を検討し、良好な正孔濃度の制御性、急峻なドーピングプロファイルが得られることを明らかにしている。

第4章では、多重量子井戸（MQW）における光学的・構造的特徴について説明し、成長したMQWでは急峻な界面や、設計通りの歪量を持つ井戸層が得られていることを断面の透過電子顕微鏡観察、X線回折パターン、及び低温フォトルミネセンスを用いた評価より明らかにしている。

第5章では、1.65%の圧縮歪のInGaAsを井戸層に持つ歪MQWの成長と、この歪MQWを用いた2μm帯レーザについて述べている。井戸数を増加させた場合、歪MQW内で膜厚の揺らぎが起こり、欠陥が発生するが、V族供給量を増加させることによりこの欠陥の発生を制御できることを明らかにしている。さらに、障壁層の歪量を検討し、引張歪の障壁層を用いた歪補償構造では、組成変調に起因した欠陥が発生するため、この歪MQWでは適用が困難なことを示し、その最適範囲を明らかにしている。この歪MQWを2μm帯レーザの活性層に応用し、ファブリペローレーザでは、井戸数増加に伴い、発振波長が長波長化することを明らかにしている。さらに、分布帰還型レーザ構造を用い、室温で発振波長が2.05μm、光出力が10mWを越える単一波長レーザを始めて実現している。

第6章では、本論文を総括し、本研究で得られた研究成果を要約して述べている。

論文審査の結果の要旨

環境問題に関連して、ガスセンサーなどの光源として2 μm帯半導体レーザを完成度の高いInP系材料を用いて実現することが望まれている。本論文は、MOMBE法によるInP系化合物半導体の結晶成長とこれを用いた2 μm帯レーザに関する研究をまとめたもので、その主な結果を要約すると次の通りである。

(1) 本研究で用いたMOMBE成長装置に関して、基板温度制御では、パイロメーターを用いて測定した基板表面温度において、基板回転による変動を補正することにより、正確な温度制御が可能になることを示し、基板ホルダーに関しては、InP基板用にピンでウエハを支持するインジウムフリーホルダーを検討し、これを用いて成長したInGaAsPについて良好な面内での組成均一性が得られることを明らかにしている。重要な結晶のパラメータである歪量に関して、X線回折を用いた評価方法について検討し、正確な歪量の評価のためには、エピタキシャル膜における残留歪を考慮しなければならないことを明らかにしている。

(2) InP系半導体混晶における組成制御について、MOMBE成長ではガス原料供給量の増減により良好な組成制御が可能であることを明らかにしている。たとえば、V族原料ガスにクラッキングセルを用いるため、分解温度が異なるPH_3とAsH_3を用いても、容易にInGaAsPのV族組成比を制御できることを示すとともに、成長温度による組成変化があるので正確な基板温度制御が必要であることを明らかにしている。$(MeCp)_2Be$を用いたBeドーピングを検討し、ガス供給量により正確な正孔濃度制御が可能で、酸素、炭素の混入が少ないこと、結晶中におけるBeは熱的に安定であることを示し、$(MeCp)_2Be$がMOMBE成長に適したガスドーパント原料であることを明らかにしている。

(3) MOMBE法を用いて成長した格子整合MQWおよび歪MQWについての評価を行い、急峻で平坦な界面が形成されること、設計通りの歪量の井戸層を持つ構造が成長できるなど、MOMBE法が優れたMQWの成長方法であることを明らかにしている。

(4) InGaAs井戸層の歪量と膜厚によるバンドギャップ波長の変化について計算し、2 μm帯レーザの活性層に必要な井戸層の条件について明らかにしている。InGaAs／InGaAs歪MQWにおいて、井戸数の増加を検討し、この歪MQWにおける劣化原因が、井戸層と障壁層の膜厚に揺らぎが起り、さらに欠陥が発生するためであること、この膜厚の揺らぎを低減するためには、障壁層成長時のAsH_3供給量の増加が有効であることを明らかにしている。障壁層の歪量を変えたInGaAs／InGaAs歪MQWについて、歪量+1.65%、膜厚115 ÅのInGaAs井戸層を持つ歪MQWでは、障壁層に引張歪が加わることにより、MQW領域における組成変調が増加し、さらにこの組成変調が欠陥を発生させるため、歪補償構造を用いることが困難であることを明らかにしている。

(5) InGaAs障壁層を持つ歪MQW活性層を用いて、ファブリペローレーザを作製し、歪MQW活性層における井戸数を増加させることにより、バンドフィリングの影響が低減され、発振波長が長波長側へとシフトすることを明らかにしている。井戸数が4の歪MQW活性層として用いたDFBレーザを作製し、発振波長が2.052 μm、副モード抑圧比が32dBという単一波長での発振が得られること、注入電流200mAにおける光出力は、ヒートシンク温度25℃で10.5mW、55℃においても4 mW以上で、光計測用の光源としては十分な光出力が得られることを示している。

以上のように本論文は、MOMBE法を用いてInP系混晶半導体の成長を行い、これまで実現が困難だった2.05 μmを越える発振波長で、高出力のレーザを実現するなど、MOMBE法がInP系化合物半導体の成長法として有用であり、特に歪MQWの成長法として重要であることを示したもので、光・電子材料工学および光素子工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。