

氏名(本籍)	佐藤具就(群馬県)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第4922号		
学位授与年月日	平成21年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	高歪量子井戸構造のMOVPE成長と2μm帯半導体レーザへの応用		
主査	筑波大学准教授	博士(工学)	末益 崇
副査	筑波大学教授	工学博士	村上 浩一
副査	筑波大学教授	理学博士	関口 隆史
副査	筑波大学教授	理学博士	黒田 眞司
副査	筑波大学教授	理学博士	秋本 克洋
副査	筑波大学准教授	工学博士	上殿 明良

論文の内容の要旨

波長可変半導体レーザ吸収分光法を用いた環境負荷ガスのセンシング技術は、分子種選択性や感度に優れることに加え、半導体レーザの特長である指向性や小型で低消費電力駆動が可能であることを活かし、可搬型遠隔検出器としての応用が期待されている。本論文は、二酸化炭素や亜酸化窒素、一酸化炭素などのセンシング用光源として有望な、波長2μm以上で発振する半導体レーザと、その要素技術であるInP基板上InGaAs歪量子井戸構造の有機金属気相成長法(MOVPE法)による結晶成長についてまとめたものである。ガスセンシング用の半導体レーザには、発振波長の他に、単一モード動作、数mWの光出力、数nmの波長可変性が求められる。これらの特性を満たすには、光通信用レーザで培かれた成熟した作製技術があるInP基板を用いたInP系分布帰還型レーザが有望である。しかし、一般的なInP系半導体レーザの発振波長は1.3-1.7μmであり、2μm以上に発振波長を伸ばすことは困難である。発振波長を伸ばすためには、In組成の大きいInGaAs量子井戸を活性層に用いる必要があるが、In組成の増加に伴い量子井戸層に加わる圧縮歪が大きくなる。この圧縮歪が量子井戸構造の結晶劣化を引き起こす。そのため、In組成の大きなInGaAs量子井戸層を高品質に結晶成長することが困難であった。これまでにも、InGaAs歪量子井戸構造を用いた2μm帯半導体レーザの報告は幾つかあるが、その発振波長は2.05μm程度であった。本研究では、2μm帯での発光を得ることを目的として、InP基板上のIn_xGa_{1-x}As歪量子井戸構造のMOVPE成長について、サーファクタントを用いることを検討し、さらに、この歪量子井戸構造を用いて2μm帯半導体レーザを作製した。

まず、InP基板上のInGaAs歪量子井戸構造のMOVPE成長において、Sbをサーファクタントとして用いることで、歪に起因した欠陥の発生を抑制することを試みた。Sbがサーファクタントとしての効果をもつことは、分子線エピタキシー法では良く知られた事実であったが、気相成長であるMOVPE法ではサーファクタント効果は得られていなかった。本研究では、分解温度が低いトリシジメチルアミノアンチモンをSbの原料として用い、さらに、成長温度を高く設定することでサーファクタント効果を実現した。その結果、2.0%の圧縮歪を有するInGaAs歪量子井戸構造の作製に成功し、発光波長約2.2μmでのPL発光を得た。また、

歪量子井戸層の膜厚増加に伴う欠陥の発生と進展に与えるサーファクタントの効果、カソードルミネッセンス法を用い、発光強度の2次元マッピングを行って調べた。その結果、Sb照射の有無により結晶欠陥が導入される量子井戸膜厚に差は無いが、サーファクタントが歪に起因した3次元成長を抑制することで、結晶欠陥の発生を抑制することを示す結果を得た。

次に、発光波長をさらに長波長化するために、InGaAsP系材料の中で最もバンドギャップが小さいInAsを量子井戸層に用いたInAs歪量子井戸構造のMOVPE成長について検討した。InP基板上的InAsには3.2%の圧縮歪が加わることになるが、MOVPE成長温度を460℃から510℃の範囲まで低減し、さらに、InAs量子井戸層の成長速度を速くすることで、構造的および光学的特性に優れるInAs歪量子井戸構造を実現した。また、InAs量子井戸層膜厚の制御によって、2.5μmまで発光波長を長波長化することができた。InAs膜厚の増加に伴って結晶欠陥が発生したものの、膜厚5nmで発光波長2.3μmまでは結晶の劣化が無いことを確認した。最後に、これらのMOVPE成長した高歪量子井戸構造を活性層に用いて2μm帯分布帰還型半導体レーザを作製し、特性を評価した。Sbサーファクタントを用いて作製したInGaAs(Sb)歪量子井戸レーザ、低温成長したInAs歪量子井戸レーザにおいて、それぞれ波長2.1μm、2.3μmでのレーザ発振を得た。特に分布帰還型レーザにおいては、それぞれの波長で単一モード動作を実現し、光出力、波長可変幅などの特性も良好であった。これらの結果から、MOVPE成長した高歪量子井戸構造が2μm帯半導体レーザの活性層として有用であることを確認した。さらに、作製した2μm帯半導体レーザがガスセンシング用光源として実用的な特性を有することを示した。

審 査 の 結 果 の 要 旨

波長可変半導体レーザ吸収分光法を用いた環境負荷ガスのセンシング技術は、分子種選択性や感度に優れることに加え、半導体レーザの特長である指向性や小型で低消費電力駆動が可能であることから注目されてきた。そのためには、波長2μm以上で発振するだけでなく、単一モード動作、数mWの光出力、数nmの波長可変性が求められる。この研究では、従来は困難であったInP基板上的高歪InGaAs量子井戸層の高品質結晶成長を、Sbをサーファクタントとして用いることで実現した。その結果、分布帰還型半導体レーザにおいて、発振波長を2.10μmまで拡張することに成功した。さらに、より長波長を実現できるInAsについて、460℃から510℃の狭い温度範囲で高品質に結晶成長できることを見出し、波長2.33μmの分布帰還型半導体レーザを実現した。以上の結果から、InGaAsおよびInAsは、環境負荷ガスのセンシング用の半導体レーザの活性層材料として、今後の実用化が大いに期待されるといえる。

よって、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。