

氏 名	いま いずみ まさ ゆき 今 泉 昌 之
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3376 号
学位授与の日付	平 成 10 年 9 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	MgZnSSe系Ⅱ－Ⅵ族半導体のガスソース分子線エピタキシャル成長と青 緑色レーザダイオードへの応用に関する研究

(主査)

論文調査委員	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

MgZnSSe系Ⅱ－Ⅵ族半導体はバンドギャップが広く、短波長で動作する光デバイス用材料として有望な材料系であるが、デバイスに応用可能な高品質結晶の生産性の高い実用的な成長法や成長した結晶の物性制御において、なお多くの問題が残されておりそれらを解決する技術の確立が求められていた。本論文はこのような問題を解決する方法として、エピタキシャル成長の制御性に優れたガスソース分子線エピタキシー法（ガスソースMolecular Beam Epitaxy法：ガスソースMBE法）を取り上げ、MgZnSSe系半導体のエピタキシャル成長層の高品質化と伝導型制御、およびそれらの結果を青緑色レーザダイオードの作製に応用した研究の成果を纏めたもので、以下の6章から成っている。

第1章は序論であり、青緑色半導体レーザに対する技術的意義を論じて本研究の動機を明らかにしている。次いで、そのようなレーザデバイスの実現を可能とするMgZnSSe系Ⅱ－Ⅵ族半導体の特長やレーザ応用を目指したこの材料系の研究の歴史的背景を述べるとともに、結晶成長や物性制御技術において、とくに実用性という観点からみた成長法の問題点を明らかにして本研究の目的と位置づけを明確にしている。

第2章では、本研究で用いたMgZnSSe系ガスソースMBE装置の構成、特長を述べている。また、この材料系のエピタキシャル成長層の高濃度p型化を可能とするために採用した高圧熱分解型ガスセルの構造、圧力制御による原料ガスの供給特性を述べている。さらに、ガスセルによるⅥ族ハイドライドガス原料の熱分解特性を、理論計算やビーム圧力、四重極質量分析を用いた実験により明らかにしている。

第3章では、基本材料であるZnSeのガスソースMBE成長について、成長速度、反射高エネルギー電子線回折パターンおよび表面モロロジーの成長条件依存性を系統的に調べ、高品質ZnSeエピタキシャル層の成長条件に関する知見を得ている。これらの結果をもとにした考察により、ガスソースMBE法によるZnSeの成長機構をモデル化し、Se種の相違がガスソースMBE法に固有の成長条件依存性の原因であることを明らかにしている。次に、ガリウムを不純物としたZnSeのn型伝導性の制御を行い、高品質のn型エピタキシャル層が得られる条件を得ている。さらに、プラズマ励起活性窒素を用いたZnSeのp型化の制御を行い、ハイドライドガス原料を用いたガスソースMBE成長で初めて 10^{18}cm^{-3} 台の正味のアクセプタ濃度をもつp型ZnSeを得ることに成功した結果を述べている。ハイドライドガス原料を用いた場合の水素パッシベーション効果によるアクセプタ不活性化機構に関しては、成長条件依存性をもとにした考察によりこれを否定し、未分解の H_2Se と活性窒素との反応によるアクセプタ不活性化の機構を提示している。これらの実験結果と考察から、ハイドライドガスの分解率を高められる高圧熱分解型ガスセルの使用が高濃度がp型化において極めて有力な手段であることを実証している。第4章では、レーザダイオードの光ガイド層、クラッド層として用いられるZnSSe、MgZnSSe混晶のガスソースMBE成長および評価について述べている。まず、これら混晶の組成の制御性、結晶性を、反射高エネルギー電子線回折、二結晶法X線ロックンギンカーブを用いて評価し、X線回折ピークの半値幅として22秒のものが得られるなど、結晶性の非常に優れた混晶エピタキシャル層が得られることを示している。また、透過型電子顕微鏡により構造評価を行い、本研究に用いたガスソースMBE法に

より得られる結晶の典型的な欠陥である、対になった積層欠陥の構造の詳細を明らかにしている。次に、これらの混晶に対し、ガス原料を用いた成長として初めてn, p型の伝導性制御を行い、ガイド層、クラッド層として用いられる組成に対し、レーザデバイスとして十分応用し得る電気的特性を持った成長層が得られることを示している。

第5章では、ガスソースMBE法により電流注入型青緑色レーザダイオードを作製し、ガス原料を用いて作製したものとして初めて、低温でのパルス発振に成功した結果について述べている。まず、ZnCdSe-ZnSe系多重量子井戸レーザの作製法、および、電気的・光学的特性を述べ、さらに、ZnCdSe-ZnSSe-MgZnSSe系分離閉じ込め型レーザに対して行った数値解析による構造設計の結果をもとに作製したレーザダイオードの評価結果を述べ、活性層の光学的品質についての考察を行っている。次に、通常用いられている固体ソースMBE法により得られたエピタキシャル層、レーザダイオードの評価結果と、本研究で得られた結果との比較を行い、ガスソースMBE法によるMgZnSSe系半導体成長の今後の課題、展望について論じている。

第6章は結論であり、ガスソースMBE法によるMgZnSSe系II-VI族半導体の成長、物性制御、および青緑色レーザダイオードの作製に関する研究結果を総括している。

論文審査の結果の要旨

MgZnSSe系II-VI族半導体のエピタキシャル成長技術としてのガスソース分子線エピタキシー法は、優れた混晶組成の制御性と高濃度p型ドーピングをとともに実現する可能性をもつため、この材料系によるデバイスの作製手段として期待されているが、デバイスの作製に必須のエピタキシャル層の高品質化と高濃度p型層の作製技術が未熟で、その確立が望まれていた。本論文はMgZnSSe系半導体の高品質化とp型層の高キャリア濃度化、およびそれらを基礎として青緑色レーザダイオードを作製して、ガスソース分子線エピタキシー法のデバイス作製手段としての有用性を実証することを目的に行った研究結果を纏めたもので、得られた結果の主なものは以下の通りである。

1. VI族ハイドライドガス原料の供給に高压熱分解型ガスセルを採用したガスソース分子線エピタキシー法を提案し、MgZnSSe系半導体の結晶成長を系統的に調べ、成長層の電気的、光学的、結晶学的特性を評価し、高品質のエピタキシャル層が得られる成長条件についての知見を得ている。
2. 高压熱分解型ガスセルの使用のもとで活性窒素ドーピングを行うことにより、原料中の水素に起因する補償が抑えられ窒素アクセプタの活性化率が大幅に改善されることを明らかにし、ガス原料を用いて初めて 10^{18}cm^{-3} 台の高濃度の正味のアクセプタ濃度をもつp型ZnSeを得ることに成功している。
3. ガスソース分子線エピタキシー法によるZnSSe, MgZnSSe混晶に対し初めてn, p型の伝導性制御を行い、レーザダイオードに用いる混晶組成域において 10^{17}cm^{-3} 台の電子濃度および正味のアクセプタ濃度を得ることに成功している。
4. 以上の結果を踏まえ、pn接合の形成を図って分離閉じ込め型量子井戸レーザを作製し、ガス原料によるものとして初めて電流注入による青緑色レーザのパルス発振を実現することによって、MgZnSSe系デバイスの作製に対する本ガスソース分子線エピタキシー法の有用性を示している。

以上を要するに本論文は、エピタキシャル成長の制御性に優れたガスソース分子線エピタキシー法により、MgZnSSe系エピタキシャル層の高品質化、高濃度p型層の実現と青緑色レーザダイオードの作製に成功し、デバイス作製のための基礎技術の確立に寄与したもので、得られた成果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よつて、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10年7月31日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。