

氏 名	たけはら ゆうじ 竹 原 優 志
学位(専攻分野)	博 士 ( 工 学 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 4 6 3 号
学 位 授 与 の 日 付	平成 19 年 3 月 26 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 3 条第 3 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 论 文 題 目	発振波長の温度依存性の小さい半導体レーザ用材料 GaNAsBi 混晶のエピタキシャル成長と格子歪の研究 (主査)
審 査 委 員	教授 更家淳司 教授 吉本昌広 教授 尾江邦重

### 論文内容の要旨

光ファイバ通信網の通信容量増大のために、波長分割多重通信方式が検討され、一部で実用化されている。光通信の光源に利用されている半導体レーザ（LD）はその発振波長が正の温度依存性を持っているので、温度の変動に伴って隣接するチャネルとの間で混信を生じる可能性がある。このため、現在の多重通信では、LD の温度を一定に保つ装置が組み込まれている。システムの簡略化、低コスト化、省エネルギー化、より一層の多重化などのためには、発振波長の温度依存性の小さい LD の開発が望まれている。

本研究では、このための LD の活性層（発光層）材料として、擬 3 元混晶 GaNAsBi を取り上げている。GaAs 基板上にまず擬 2 元混晶 GaNAs、GaAsBi のエピタキシャル成長を試み、その組成と格子歪を調べている。この結果に基づいて GaNAsBi 混晶のエピタキシャル成長と格子歪を検討し、GaAs に格子整合する組成を実験的に明らかにし、この混晶の発光波長の温度依存性を測定している。

第 1 章は序論であって、研究背景と GaNAsBi 混晶を LD の活性層材料として注目した発想について述べている。

第 2 章では GaAs を基板とする分子線エピタキシャル法による結晶成長方法について、第 3 章では、成長層の表面状態、膜厚、混晶組成、発光特性などの評価方法について記述している。

第 4 章では、擬 2 元混晶 GaNAs の結晶成長と、XPS、XRD、SIMS による組成評価を行い、N 組成がプラズマセルの発光強度によって制御できることを示した。GaAsBi の結晶成長を念頭に、260°Cまでの低温でエピタキシャル成長を試み、表面モフォロジーの良好な成長層を得た。各組成の成長層の格子歪を測定した。

第 5 章では、GaAsBi 混晶のエピタキシャル成長において、Bi を成長層に取り込ませるには As の分子線圧力に関するウインドウが非常に狭いことを確認し、適切な As の分子線圧力を実験的に確立した。Bi はある程度以上の分子線を供給すると、混晶の Bi 組成は飽和し、その場合の Bi 組成は成長温度を低くすると大きくなること、すなわち、成長温度によって Bi 組成を制御できることを明らかにした。GaAsBi の格子

歪を GaNAs のそれと総合し、両混晶の格子歪が格子不整合率という共通のパラメータで記述できることを示した。

第6章では、まず GaNAsBi 混晶の成長条件を、GaNAs と GaAsBi の成長結果に基づいて検討し、高品質の成長層が得られる条件を見出している。GaNAsBi 成長層の Bi 組成を決定し、同じ条件下では、N の供給の有無にかかわらず、同じ Bi 組成となることを明らかにした。次いで N 組成を決定し、同じプラズマセルの動作条件下で GaNAs 混晶の場合よりも N 組成が大きくなる傾向があることを示し、その原因を考察している。最後に、光ファイバ通信に使用される波長  $1.3\text{ }\mu\text{m}$  付近で発光し、かつ GaAs 基板に格子整合する GaNAsBi 混晶を成長し、その発光特性を測定した。その発光波長の温度依存性は、現用の材料の  $1/3$  程度であり、GaNAsBi 混晶が、当初の期待通り、発振波長の温度依存性の小さい LD の活性層材料として有望であることを示した。

第7章は本研究の結論である。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、光ファイバ通信の波長分割多重通信の光源として、発振波長の温度依存性の小さい半導体レーザの開発が望まれていることに鑑み、バンドギャップの温度依存性の小さい活性層材料として GaNAsBi 擬 3 元混晶に着目した。GaBi が半金属であること、Bi のイオン殻ポテンシャルが大きいことから、GaAsBi のバンドギャップの温度依存性が小さいことが期待され、実験的報告もなされていた。これらを発展させて、光ファイバ通信に適した発光波長  $1.3\text{ }\mu\text{m}$  を得るために GaNAs の巨大ボウイング効果を利用し、また GaAs 基板に格子整合させて高品質のエピタキシャル成長層を得る目的で、GaAsBi に N を加えた GaNAsBi 混晶のエピタキシャル成長を試みた。結晶成長方法は GaAs を基板とする分子線エピタキシャル法で、N 源としてはプラズマセルを用いている。

まず GaNAs のエピタキシャル成長を行い、プラズマセルの発光強度によって N 組成を制御できることを示し、組成の異なる成長層の格子歪を測定した。GaAsBi の成長温度のこれまでの報告を考慮して、 $260^\circ\text{C}$ までの低温成長を試み、表面モフォロジーの良好なエピタキシャル層を得ている。次いで、GaAsBi のエピタキシャル成長を行い、ある程度以上の Bi 供給量の元では混晶中の Bi 組成が飽和すること、その飽和組成は成長温度によって制御できることを明らかにした。また Bi 組成と格子歪の関係を調べ、GaNAs の格子歪の結果と総合し、両混晶の格子歪は、格子不整合率という共通の物理的パラメータで記述できることを明らかにした。これらの擬 2 元混晶の成長条件を踏まえて GaNAsBi の成長条件を検討し、得られたエピタキシャル成長層の組成を測定した。その結果、Bi 組成は N の有無に影響されること、一方、N 組成は Bi の供給によって少しきくなることを示し、この原因について考察している。光ファイバ通信に必要な波長  $1.3\text{ }\mu\text{m}$  付近で発光し、GaAs 基板に格子整合する GaNAsBi をエピタキシャル成長させ、その発光波長の温度依存性を測定した結果、現用の半導体レーザの活性層材料 InGaAsP の  $1/3$  程度の小さい温度依存性であることを示した。

このように、本研究は、波長分割光多重通信用の発光材料としての GaNAsBi のエピタキシャル成長に成功し、その格子歪を基礎的に研究した。GaAs 基板に格子整合し、光通信の波長で発光する GaNAsBi 混晶が、当初の期待通り、発振波長の温度依存性の小さい半導体レーザの活性層材料として有望であることを示したこの研究は、独創性に富み工学的に高く評価できる。

なお、本論文の一部は、レフェリ一制のある学術雑誌に掲載された以下の論文に基づいている。

- 1) Y.Takehara, M.Yoshimoto, W.Huang, J.Saraie, K.Oe, A.Chayahara and Y.Horino, "Lattice distortion of GaAsBi alloy grown on GaAs by molecular beam epitaxy", *Jpn.J.Appl.Phys.*, **45**(2006)67.
- 2) M.Yoshimoto, W.Huang, Y.Takehara, J.Saraie, A.Chayahara, Y.Horino and K.Oe, " New semiconductor GaNAsBi alloy grown by molecular beam epitaxy", *Jpn.J.Appl.Phys.*, **43**(2004)L845.