

希土類元素添加Ⅲ－Ⅴ族半導体を基盤とした光情報通信ネットワーク用 波長超安定新規半導体レーザの開発に関する研究 (031306001)

Fabrication of extremely stable wavelength laser diode for optical telecommunication network
based on rare-earth doped III-V semiconductor

研究代表者

竹田 美和 名古屋大学大学院工学研究科

Yoshikazu Takeda Graduate School of Engineering, Nagoya University

研究分担者

田淵 雅夫[†] 宇治原 徹[†] 淵 真悟[†]

Masao Tabuchi[†] Toru Ujihara[†] Shingo Fuchi[†]

[†]名古屋大学大学院工学研究科

[†]Graduate School of Engineering, Nagoya University

研究期間 平成 15 年度～平成 19 年度

本研究開発の概要

本研究開発では、「電流注入による希土類元素発光準位を介する誘導放出」を用いた波長超安定新規半導体レーザを世界に先駆けて開発することを目的とした。その作製にあたり、高い発光効率を示す Er-2O 発光中心を GaAs 中に選択的に作りこんだ GaAs:Er,O を活性層に用いた。そして、レーザの基本構造となる GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH 構造について発光特性の評価をおこなった。GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH 構造は発光強度の増大に有効であることを示した。また、GaAs:Er,O 発光中心の有効励起断面積は、Er 添加ファイバー増幅器よりも大きいことを明らかにした。キャリアの拡散長を考慮し、分離閉じ込め構造を採用することによって、さらに発光強度を 3 倍増大することに成功した。また、光 VSL 法により、GaAs:Er,O が光利得を有する材料であることを明らかにした。

Abstract

In this project, using Er-2O as a high efficiency luminescence center, GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH structures were fabricated to realize the extremely stable wavelength laser diode. Increase of luminescence intensity was observed from GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH structures. It was revealed that Er excitation cross section of GaAs:Er,O was higher than that of Er-doped fiber amplifier. The luminescence intensity increased by introducing the separate confinement structure. The optical VSL method revealed that the GaAs:Er,O layer have optical gain.

1. まえがき

Er 添加 GaAs は 1.5 μm 帯での発光を示し、且つ、発光波長の周辺環境温度依存性が極めて小さいという特徴を有している。その温度依存性は、GaInAsP レーザのようなバンド間遷移の発光と比べて 1/1000 以下である。したがって、Er 添加 GaAs は温度制御が不要な光情報通信帯域での「基準光源」と成りうる。さらに、GaAs に Er と O (酸素) を共添加することにより、Er 原子の周辺に 2 つの O が配置した Er-2O 中心の選択的形成が可能となる。このような Er-2O 中心の形成により、Er の発光強度が 100 倍以上増大することを示して来た。

そこで、本研究開発では、GaInP/GaAs:Er,O/GaInP ダブルヘテロ (DH) 構造を用いたレーザの実現を目指した。

2. 研究内容及び成果

2. 1 GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH 構造の発光特性

レーザダイオードの基本構造となる GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH 構造を作製した。活性層となる GaAs:Er,O の厚さを 300 nm、1200 nm と変化させ、発光素子の光-電流特性、電流注入による Er 発光中心の有効励起断面積とその活性層厚さ依存性を調べた。

まず、GaAs:Er,O 活性層の各厚さにおける発光強度の電流密度依存性を図 1 に示す。活性層厚が 1200 nm の場合、活性層厚 300 nm の試料と比べて約 20 倍、GaAs:Er,O

ホモ成長試料と比べて約 50 倍の発光強度が得られた。DH 構造を作製すると発光強度が飛躍的に増大し、その様子は GaAs:Er,O 活性層厚に依存することがわかる。GaAs:Er,O 活性層厚 1200 nm と 300 nm とを比較すると、光閉じ込め係数は約 2 倍、活性層中に含まれる Er の数は約 4 倍となる。そのため、単純に考えると 8 倍程度の発光強度増大が見込めるが、得られた結果はそれよりも大きな約 20 倍である。このことは、Er の数や光閉じ込め係数の他に、光増幅などの発光強度の増加要因が存在していることを

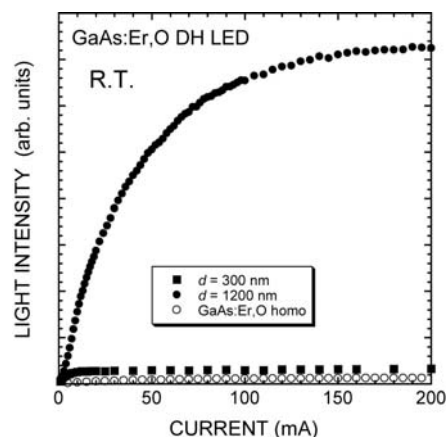


図 1 各活性層厚における発光強度の電流密度依存性

示している。

次に、GaAs:Er,O活性層中のErの有効励起断面積を、レート方程式と、パルス応答特性の解析によりおこなった。その結果、GaAs:Er,O活性層の膜厚が300 nm、1200 nmの場合、Erの有効励起断面積は、それぞれ $1.4 \times 10^{-15} \text{ cm}^2$ 、 $1.1 \times 10^{-17} \text{ cm}^2$ であった。これらの値は、Er添加ファイバ増幅器の $10^{-21} \sim 10^{-22}$ に比べて5~6桁ほど高く、効率よくErが励起されていると言える。しかしながら、有効励起断面積は、GaAs:Er,O活性層厚の増加に対し減少する。本来、Erの励起断面積は、添加母体の材料やEr原子周辺局所構造によって決まる物性値であるため、この変化は見かけの変化であると考えられる。Er添加GaAsではキャリアの拡散長は100~200 nm程度であり活性層厚さよりも小さい。そのため、活性層内で電子と正孔が出会う確率が減少し、有効励起断面積が小さく見えているものと考えられる。

2. 2 分離閉じ込め構造の採用

GaAs:Er,O 活性層中のキャリアの拡散長が、活性層厚と比較して短いことから、電子と正孔の捕獲される確率は低いと思われる。そこで、電子と正孔の捕獲確率を上げるためには、活性層厚を小さくしなければならない。一方、活性層中での光閉じ込めを効率的におこなうためには、活性層は1 μm 程度の厚さが必要となる。このように相反する条件を両立させるために、分離閉じ込め構造を採用し、GaInP/無添加 GaAs/GaAs:Er,O/無添加 GaAs/GaInP DH構造を作製した。このとき、無添加 GaAs/GaAs:Er,O/無添加 GaAs 層の合計の厚さを1 μm に固定し、GaAs:Er,O 活性層の厚さを900 nm、200 nm、100 nm、50 nm と変化させた。

図2に、各活性層厚さにおける光出力結果を示す。GaAs:Er,O 活性層の厚さが900 nm、200 nmの時は0.8 nW程度の光出力であるが、活性層の厚さを100 nmとすることによって、2.4 nWの光出力が得られた。これは、電子と正孔の再結合確率が上昇したためであると考えられる。活性層の厚さを50 nmにすると、光出力は1.5 nWまで減少した。これは、活性層に含まれるEr-2O構造が減少したためであると考えられる。このように、分離閉じ込め構造は、光出力の増大に有効であることが明らかとなった。

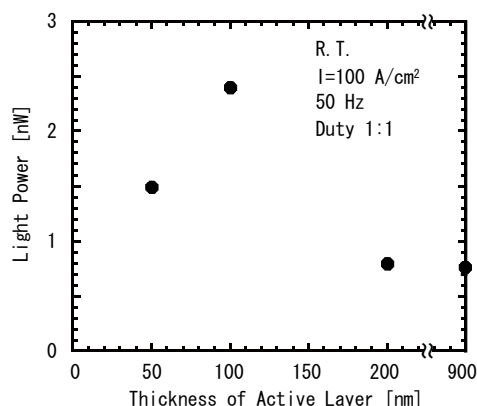


図2 活性層厚さに対する光出力の変化

2. 3 光 VSL 法による光利得の測定

GaAs:Er,O 層が光学利得を有していなければ、レーザ発振をおこなうことは困難である。そこで、室温での光VSL(variable stripe length)測定により、GaAs:Er,Oの光利得を求めた。なお、光VSL法は、矩形に成型した励起

光を試料に照射し、その照射面積の変化に対する発光強度の変化から光利得を求める方法である。

図3に、Er濃度が $1.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のGaAs:Er,O層に対する光VSL測定結果を示す。励起長に対して発光強度が指数関数的に増大していることがわかる。光利得が無い場合は、発光強度は励起長に比例する。また、吸収がある場合は、励起長に対して発光強度の増加率は減少する。したがって、図4の結果は、GaAs:Er,O層が光利得を有していることを示している。また、理論式との比較の結果、室温における光利得は $g=46 \text{ cm}^{-1}$ であった。

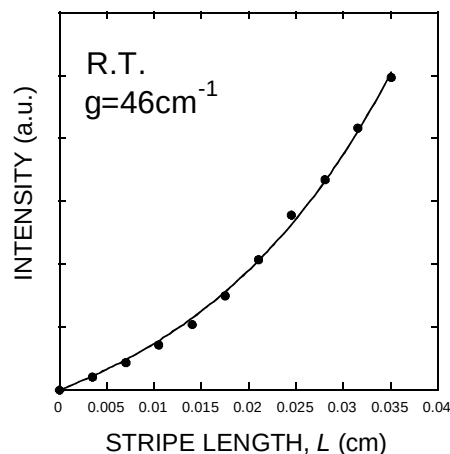


図3 発光強度の励起長依存性

3. むすび

本研究開発では、GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH構造を作製することにより、GaAs:Er,Oホモ成長試料と比較して約50倍の発光強度増大を確認した。さらに、分離閉じ込め構造を採用することによって、発光強度は約3倍増加した。そして、光VSL法によってGaAs:Er-2Oは光利得を有する($g=46 \text{ cm}^{-1}$)材料であることを明らかにした。これらの結果は、電流注入による希土類元素発光準位を介する誘導放出実現への可能性示すものである。

【誌上発表リスト】

- [1] A. Koizumi, Y. Fujiwara, A. Urakami, K. Inoue, T. Yoshikane, and Y. Takeda, "Room-temperature electroluminescence properties of Er,O-codoped GaAs injection-type light-emitting diodes grown by organometallic vapor phase epitaxy," Applied Physics Letters, Vol. 83, No. 22, pp. 4521-4523 (December 1 2003)
- [2] 竹田美和、藤原康文、田淵雅夫、大淵博宣、"希土類元素発光中心の形成と光デバイスへの展開—結晶成長による原子配置の制御とデバイス作製—," までりあ、Vol. 43, No. 4, pp. 312-317 (2004年2月)
- [3] T. Yamaguchi, Y. Takemori, H. Ohnishi, A. Koizumi, T. Ujihara, and Y. Takeda, "Room-temperature optical gain at 1.54 μm from Er,O-codoped GaAs with laser pumping", Abstracts of 13th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, pp. 566-567 (May 22-26 2006)

【申請特許リスト】

- [1] 竹田美和、宇治原 徹、淵 真悟、宇木大輔、山口岳宏、田中雄太、"分離閉じ込め構造を用いた発光素子用希土類元素添加半導体積層構造、それを用いた発光ダイオード、半導体レーザダイオード、光増幅器"、日本、平成19年8月7日