

氏 名	やま だ ひろ ひと 山 田 博 仁
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 62 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電子工学専攻
学 位 論 文 題 目	Coaxial Transverse Junction 形発光素子に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 稲場 文男
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 稲場 文男 東北大学教授 御子柴宣夫 東北大学教授 大見 忠弘 東北大学助教授 伊藤 弘昌

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 総 論

光通信，光情報処理，光計測などの分野で，高性能の半導体発光素子と受光素子，あるいは変調器などの光デバイスをモノリシックに集積化し，より高度の機能動作を，より高速かつ安定に実現したいという要求が高まっている。ところが通常の半導体レーザーは，へき開による方法で作製しているので，他の素子とのモノリシックな集積化はむずかしく，光学素子に要求される 2 次元アレイ化は困難である。また光デバイスの集積化では，Si 電子集積回路に比べて，光の波長オーダー以下の微細なパターンの形成や滑らかで垂直な端面の形成など，より高度で特殊な加工技術も要求されてくる。

本論文ではこのような背景のもとに，2 次元アレイ集積化が容易で，基板面に垂直方向に光出力を取り出す新しい発光素子 Coaxial Transverse Junction (CTJ) 形発光素子を提案し，その試作および動作特性の評価を行うものである。

第 2 章 半導体発光子に関する基礎的考察

本章は，CTJ 形発光素子を設計，試作する上で必要となる，Ⅲ-V 族化合物半導体材料およびこれらを用いた光デバイスについての基礎データを与えるもので，半導体中における発光メカニズム，発光効率，半導体材料，基本的な半導体光デバイスについて述べている。さらに光集積回路の概念

とその現状について示し、将来の本格的な光集積回路を目指した積層形の2次元アレイ光集積回路についてその有用性を明らかにする。さらに、このような2次元アレイ集積化に適した発光素子として開発が進められている、面発光形半導体レーザーの現状を述べている。

第3章 Coaxial Transverse Junction (CTJ) 形発光素子の基礎的検討

本章では、2次元アレイ集積化に適した新しい発光素子としてCTJ形発光素子を提案し、その概念、具体的構造、動作原理、設計方針、製作プロセス等について検討を行っている。

GaAs CTJ形発光素子はFig. 1, Fig. 2にその基本構造を示すように、基板面に垂直に長い円筒形の活性領域を有するもので、従って基板面に垂直方向に利得を有し、光出力を取り出す面発光形の発光素子で、光共振器を設ければ面発光レーザーとしての動作も可能となる。基礎的素子構造としては、Fig. 1に示す様に円柱形状の内部に円筒形の活性領域を有するColumn type CTJ (C-CTJ) 形発光素子と、Fig. 2に示す様に基板に穴を開けて、その周りに活性領域を形成するHole type CTJ (H-CTJ) 形発光素子が考えられる。

その製作工程は、C-CTJ形発光素子についてはFig. 3に示す様に、10 μm 以上という比較的厚

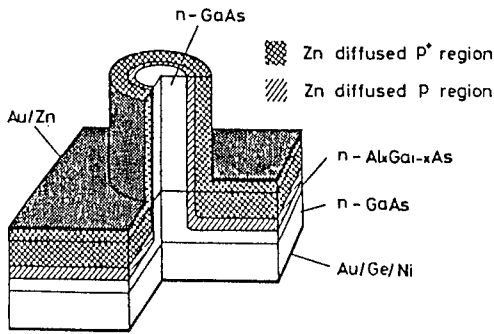


Fig. 1 Column type CTJ 形発光ダイオードの構造

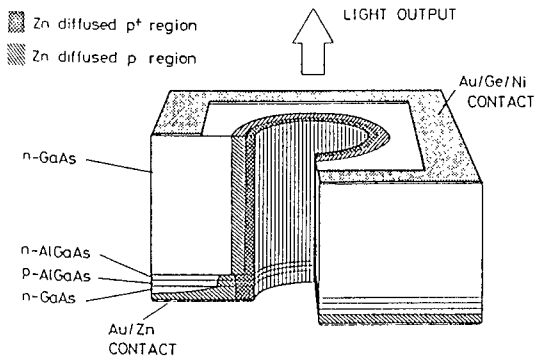


Fig. 2 Hole type CTJ 形発光ダイオード / 半導体レーザーの構造

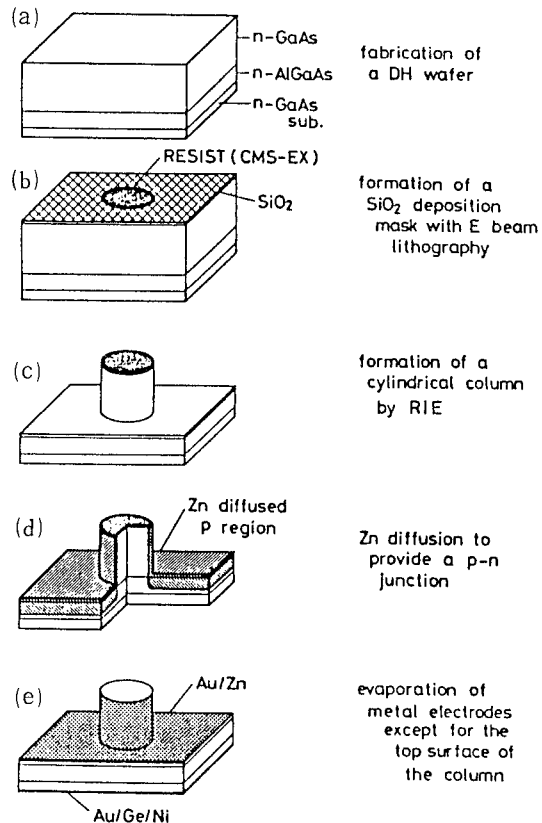


Fig. 3 C-CTJ 形発光素子の製作プロセス

い成長層を得るための液相エピタキシャル成長法(LPE)と、基板上に垂直な円柱形状を形成するためのリアクティブ・イオン・エッチング(RIE), さらにその円柱内部に円筒形のpn接合を得るためのZn拡散工程などによって特徴づけられている。H-CTJ形発光素子についてもこれとほぼ同様のプロセスに基づいて製作されるが、この場合にはホール形状をRIEによって形成するため、ポジ形のレジストマスクを用いる。

第4章 液相エピタキシャル成長法によるウェハの作製

本章は、CTJ形発光素子の製作プロセスの中で基本となる、LPEによるウェハ作製において、特にCTJ形発光素子の場合に均一で厚い(>10 μ m)成長層を得ることが重要となることから、その方法について述べている。まず、過冷却法に基づくLPEにおいて成長膜厚の制御方法について述べ、過飽和度を5 $^{\circ}$ C、冷却速度0.1 $^{\circ}$ C/minにおいて成長を行うことによって、Fig.4に示す様に15 μ mという比較的厚い活性層と、nnp構造からなる電

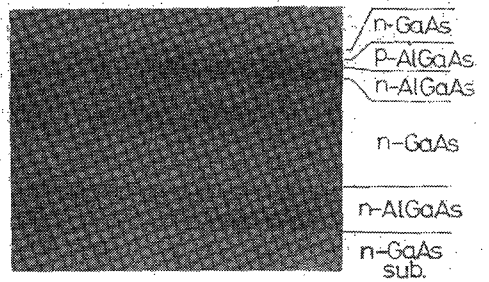
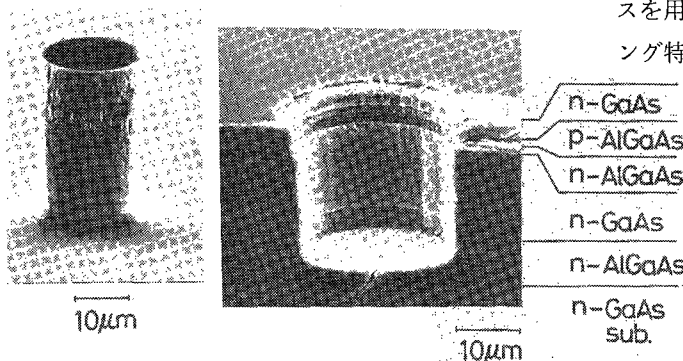


Fig.4 試作したH-CTJ形発光素子用ウェハの断面のSEM写真

流ブロック層を有するH-CTJ形発光素子用ウェハを製作した。また、活性層に適切なキャリア密度を実現するために、Teのドーピング特性についても実験的に調べており、再現性良く適切なドーピングが行えることを示した。最後に、ウェハ表面のモフォロジーや成長層の結晶性についても検討を加えている。

第5章 リアクティブ・イオン・エッチング(RIE)および不純物拡散に基づくCTJ形発光素子の作製法

本章では主に、CTJ形発光素子の製作プロセスの中では最も特徴あるRIEによる素子形状の加工法と、Zn拡散によるpn接合の形成法について述べている。CTJ形発光素子の加工はCl₂-Ar混合ガスを用いたRIEにより行い、異方性エッチング特性に基づく垂直加工を行った。Fig.5



(a) C-CTJ形発光素子用GaAs円柱 (b) H-CTJ形発光素子用ウェハの断面

Fig.5 RIEにより加工したCTJ形発光素子用ウェハSEM写真

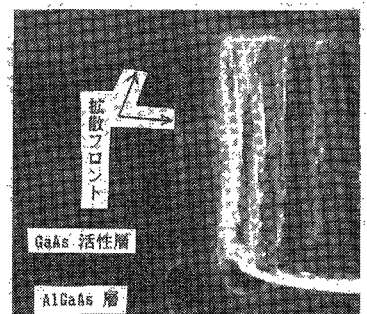
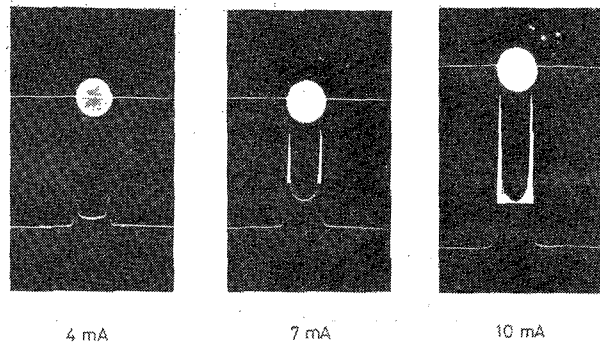


Fig.6 Znを拡散したH-CTJ形発光素子用ウェハの断面

はRIEによってC-CTJおよびH-CTJ形発光素子用ウェハに加工を施したもので、それぞれ基板面に垂直に円柱形状およびホール形状が形成されている様子を示す。また、RIEに引き続いて行うZn拡散工程では、Fig.6に示す様に基板に垂直に形成された側壁内部に平坦なpn接合が形成される。

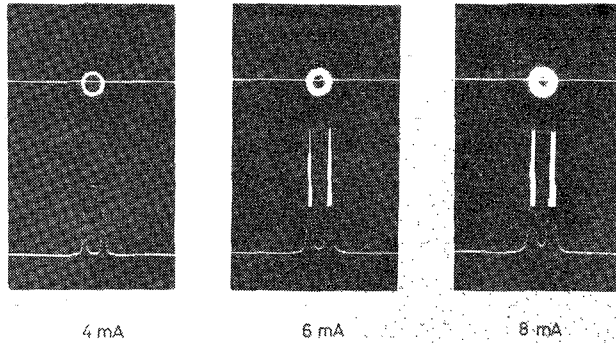


4 mA 7 mA 10 mA

Fig.7 C-CTJ形発光ダイオードの近視野発光プロフィール

第6章 CTJ形発光ダイオードの動作特性

本章では、前章までに述べてきた製作プロセスに基づいて、C-CTJおよびH-CTJ形発光ダイオード(LED)を試作し、その動作特性の測定および評価、検討を行っている。Fig.7, Fig.8はC-CTJおよびH-CTJ形LEDの近視野発光プロフィールの電流依存性を示したもので、それぞれリング状の発光パターンが得られていることが分かる。なお図中にはリング状の発光部分を横切るライン上での発光強度プロフィールも同時に示す。また、Fig.9は発光部分のサイズがほぼ等しいこれら2種類のCTJ形LEDについて電流-光出力特性の比較を行ったもので、H-CTJ形LEDの方がC-CTJ形LEDに比べ、発光効率、最大光出力とも高い値が得られている。この理由は、2つのタイプのCTJ形発光素子において、活性領域の放熱効果の違いによる活性領域の温度上昇の度合が異なるためと考えられる。



4 mA 6 mA 8 mA

Fig.8 H-CTJ形発光ダイオードの近視野発光プロフィール

第7章 CTJ形半導体レーザーの動作特性

本章では、H-CTJ形半導体レーザーの低温(10 K)パルス励起における発振動作実験について述べている。Fig.10は代表的な試作レーザー素子の電流

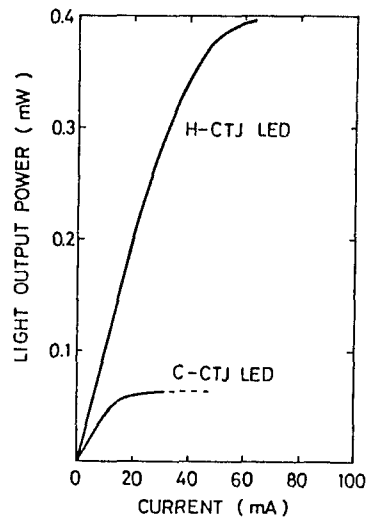


Fig.9 C-CTJ形発光ダイオードおよびH-CTJ形発光ダイオードの電流-光出力特性の比較

—光出力特性を示すもので、この素子の場合発振しきい値は約90mAとなっている。また本章では、室温動作の可能性についても計算による検討を行っており、Fig. 10に示した素子の場合、室温における発振しきい値は約1Aと推量された。より低しきい値動作を実現するためには、Zn拡散プロセスや電極プロセス等の改善や、素子サイズの最適化などの問題が今後の課題として残されている。

第8章 結 論

本章は結論であり、第2章から第7章までの主要な結果を総括したものである。

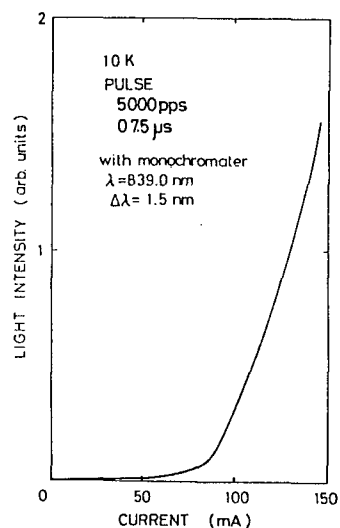


Fig. 10 CTJ形半導体レーザーの電流—光出力特性

審 査 結 果 の 要 旨

大容量通信や超高速情報処理に対する需要は、情報化社会の発展と共に急速に拡大し、それゆえレーザーを用いた光通信や光エレクトロニクスの実用化が世界的に進展している。それに伴って高性能で安定な半導体光源を中心とした光集積化機能素子の実現のために、その目的によく適した新しい半導体発光素子の研究開発が強く要望されている。

著者はこのような観点から、2次元アレイ集積化に適したCoaxial Transverse Junction (略してCTJ)構造の半導体発光素子を新たに考案し、その製作プロセスの研究開発と設計試作を行って、動作特性を明らかにした。本論文はその研究成果をとりまとめたもので、全編8章よりなる。

第1章は総論である。第2章では、半導体発光素子に関する基礎的考察を行い、2次元アレイや光機能素子などの集積化に適した発光素子の構成や具体的条件を明示している。

第3章では、前章の考察に基づいて、基板面に対して垂直方向に活性領域を形成し、その方向に光出力をとり出すことのできる新しいCTJ構造の発光ダイオードおよびレーザーダイオードを考案し、その設計法や特徴を論じている。その内容は高く評価される。

第4章では、CTJ形GaAs発光素子の試作のための基盤となる液相エピタキシャル成長法を詳しく検討し、この素子の場合に必要な均一な厚膜の成長層を得る方法ならびに制御性の良好なドーピング技術を開発している。

第5章は、GTJ形GaAs発光素子の製作プロセスにおいて重要な、基板に垂直な円柱面を形成するためのCl₂-Ar混合ガスを用いたリアクティブ・イオン・エッチング法とZn拡散による同心円柱状のpn接合の作製法を具体的に記述し、考察を加えたものである。

第6章では、以上の手順に従って試作したColumn形とHole形の2種類のCTJ形発光ダイオードの発光特性を明らかにすると共に、その比較、評価を行って、高性能化の具体的方針を論じている。これらは有用な知見である。

第7章では、前章の結果に基づいて設計、試作したHole形のCTJ構造半導体レーザーの低温パルス発振特性を述べ、さらに室温連続発振を実現するための素子構造の最適化や製作プロセスの改良に関する方策の検討を行っている。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、2次元アレイ化や光集積化に適した構造の新しい半導体発光素子の試作開発を行い、それらの製法ならびに動作特性を明らかにして、幾つかの重要な知見を得たものであって、電子工学ならびに光エレクトロニクスの発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。