

審査の結果の要旨

論文提出者 田中 拓也

光通信網の発展は目覚ましく、通信容量の大容量化の要求は止まるところを知らない。大容量化の基本は変調速度の高速化であるが、使用波長を分割し同時に複数の信号を送る波長多重伝送方式が、高速化に並行して長く研究されてきた。この方式のキーとなる技術は多波長で発振するレーザ光源を開発することにある。現状では、単体のレーザを単に多数集めて並べただけであるが、1台のデバイスで多波長のレーザ光が得られれば、そもメリットは大きい。本論文の著者は長年にわたって、石英系平面光回路を用いた外部共振器レーザの開発、および、その多波長化に取り組んできた。本論文は、波長分割多重通信に不可欠な多波長光源に関する著者の研究成果をまとめたものである。

本論文は7章と付録からなる。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的が述べられる。これまで研究されてきた各種多波長光源について概観した後、著者が行ってきた石英系平面光回路を用いた外部共振器レーザの特徴がまとめられている。

第2章「石英系 PLC の概要」では、本研究の基礎をなす石英系平面光回路の概要が記述されている。はじめに、作製方法について簡単に触れられた後、これを応用したデバイス例として、平面導波路型回折格子、熱光学スイッチ、加入者用光送受信モジュールが紹介される。続いて、光回路設計に必要な実効屈折率の計算法が述べられる。

第3章「ハイブリッド集積型外部共振器レーザの原理」では、半導体レーザと石英系平面光回路を複合した外部共振器型レーザの原理が議論される。平面光回路上の光導波路内部には紫外線照射でグレーティングが形成され、外部共振器の反射鏡の役割を担う。はじめに、紫外線レーザを用いたグレーティング作成技術と屈折率変化の物理的起源について述べられる。続いて、グレーティングの反射・透過特性の詳しい計算法が紹介され、さらに、デバイスとしての信頼性が、温度特性や継時変化の測定値に基づいて論じられる。

本デバイスは半導体レーザと平面光回路を別々の部品として作製し、それらを集積化して一つの複合デバイスとする。従って、両者の接合技術は大変重要になる。ここでは、平面光回路の作製プロセスと、半導体レーザを接合するときの調整法が論じられる。

最後に、外部共振器型レーザの基本特性を進行波型レート方程式に基づいて議論し、スロープ効率と閾値電流が解析的に導かれる。

第4章「外部共振器レーザの基本特性」では、石英系平面光回路を用いた外部共振器型半導体レーザの基本特性が記述されている。外部共振器を備えることにより、単一モ

ード発振が容易に実現するが、同時に温度による発振波長の変化が低く抑えられることを実証した。さらに、4台の半導体レーザを並べ、発振波長の間隔が2 nmの4波長レーザを作製し、動作特性を測定した。しかし、この段階では、およそ5度の温度間隔でモードホッピングが生じ、通信エラーを引き起こす原因となる。一つ一つの半導体レーザがモードホッピングを起こす温度を制御するのは難しく、多波長レーザを安定に動作させるのはほとんど不可能であること、従って、何らかの方法でモードホッピングそのものの抑制が不可欠であることが明らかにされた。

第5章「温度に依存したモードホッピングの抑制」では、前章で通信特性劣化の原因となるモードホッピングの抑制法が述べられる。温度変化によって引き起こされるモードホッピングは、半導体レーザの温度係数と、石英光導波路中に作られたグレーティングのブラッグ波長の温度係数が異なることに原因がある。よって、両者の温度係数が等しくなるように調整できれば、モードホッピングを抑制できる。著者は、平面光回路上に、半導体レーザとは逆の温度係数を持つシリコン樹脂を挿入し、半導体レーザの温度特性を打ち消せば、モードホッピングを抑制することに思い至り、実現を試みた。シリコン樹脂の部分は導波路構造を持たず、光の閉じ込め効果が失われる結果、導波損失が生じる。この問題は、シリコン樹脂の部分を分割することにより解決した。以上のアイデアに基づきデバイスを設計製作し、特性を測った。その結果、室温の広い温度範囲でモードホッピングが抑制できることを実証した。

第6章「多波長光源」では、前章の方法を拡張し、8波長で並列発振するモードホッピングの抑制された多波長レーザを試作した結果が報告されている。試作したレーザは、波長1546.85 nmから1552.57 nmの範囲でほぼ等間隔で発振し、10°Cから40°Cの温度範囲でモードホッピングが認められなかった。さらに動作特性の測定では、変調速度2.5 Gb/sにおいて良好な動作特性を得た。

第7章「結論」では、本論文の総括に充てられている。

付録では、本論文中で必要となる計算法がまとめられている。

以上を要するに、本論文は、波長分割多重通信に不可欠な多波長レーザについて、著者が行った研究成果をまとめたものである。多波長レーザはいろいろな方式が研究されているが、本論文の著者は、半導体レーザを石英系平面光回路に集積化するハイブリッド型多波長レーザを最善のものと考え、その開発研究に従事してきた。特に、信頼性を高めるため、シリコン樹脂を使った温度補償法により、モードホッピングを抑制することに成功した。このように長年にわたる研究の結果、著者は技術的に実用化可能なデバイスを完成させた。よって、本論文は物理工学に対し寄与するところ大であり、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。