

## 審査の結果の要旨

論文提出者 平山 雄三

光通信システムは 10Gbps システムの実用化に続き、WDM (波長分割多重) システムの導入が盛んに進んでおり、今後、40Gbps を越える TDM (時間分割多重) システムが WDM システムと融合しながら発展していくと期待されている。本論文は、『長波長帯光半導体デバイスの多波長集積・超高速化に関する研究』と題して、こうした超高速大容量・長距離化の基軸となる各種光通信システムのそれぞれの萌芽期において、先駆的に行った光通信システムで用いられる長波長帯光半導体デバイスの多波長集積化、超高速化に関する研究をまとめたものであり、特に、WDM システムで用いる多波長集積化光源、TDM システムで用いる超高速半導体レーザ、全光スイッチングシステムで用いる超高速光スイッチについて論じている。6 章から構成されている。

第 1 章は序論として WDM, TDM, 全光スイッチングといった光通信システム及び光通信システム用光デバイスを概観した後、各光通信システムで使用されている、あるいは今後重要となるキー光半導体デバイスのシステム萌芽期における歴史的な研究開発経緯と本研究との関係について述べた。すなわち本論文の根幹をなす 3 つの柱の歴史的意義をまとめた。WDM システムの萌芽期には InP 系で初の異波長集積化 DFB レーザ光源を達成した。TDM システム向けには、歪量子井戸構造を独自の低寄生容量構造の超高速 DFB レーザに導入することにより初めて歪量子井戸による超高速・低チャープ特性を実証した。さらに、全光スイッチシステム向けに新しい光スイッチの研究を行い、量子井戸中のサブバンド間遷移を光通信波長帯で起こすことで超高速の光スイッチができる可能性を初めて提案したことを年表を用いて示した。

第 2 章では WDM システム, TDM システム, 全光スイッチシステムを対象として各光通信システム方式に必要なデバイス性能について基本的な課題の検討を行った。すなわち波長の異なる DFB レーザを同一基板上に集積化した多波長集積レーザ、直接変調方式で用いる超高速で変調可能な半導体レーザ、時間軸上での高速切り替えが可能な全光スイッチについて課題の検討を行い、課題解決のための方策をまとめた。

第 3 章では本論文の 1 つ目の柱である WDM 用多波長集積化レーザについて論じている。これは回折格子により発振波長を制御できる分布帰還型半導体レーザを基本構成要素とした集積化波長多重伝送用光源であり、InP 系における初の異波長集積 DFB レーザを達成することに成功した。さらに重要課題である DFB レーザの低しきい値化と波長の制御性に関し検討を加え、マストラנסポート法により DFB レーザの低しきい値化を達成し、ブラッグ波長と縦モードを制御することにより波長制御性を向上した。これらの技術は 5 nm の波長間隔で 5 素子同時連続発振を実現するのに貢献した。また、レーザ間のクロスト

ークや信頼性の点からもシステム適用上、大きな支障は無いことが示された。

第4章では本論文の2つ目の柱である超高速レーザについて論じている。歪量子井戸の超高速光通信への応用という観点から量子井戸平面内に圧縮歪を加えた  $1.5 \mu\text{m}$  帯の分布帰還型半導体レーザの試作、および評価結果について述べた。1991年、世界に先駆けて歪量子井戸を超高速光通信への応用という観点から低寄生容量構造のDFBレーザに導入し、線幅増大係数を評価した結果、約2という小さな値が得られた。これは主として微分ゲインの増大によるものである。強度変調特性は帯域 17 GHz と良好であり、特に波長チャープ特性について詳細に調べた結果 10 Gbps 変調時に於いて無歪量子井戸に比べて優れる  $0.4\sim 0.6 \text{ nm}$  の低チャープ動作を得た。さらにCRの影響が無いと仮定した場合の高速限界性能について見積もった結果、Kファクターの値として  $0.13 \text{ ns}$  を得、これに相当する限界帯域は 68 GHz と予想された。このように初の歪量子井戸の超高速応用を達成したことにより 10 Gbps を超えるシステムへの適用可能性を示し、その後の超高速光通信の進展に多大な影響を与えた。

第5章では、本論文の3つ目の柱である光スイッチについて論じている。特に光スイッチの基礎検討として、世界に先駆けて光通信波長帯でのサブバンド間遷移を利用した光デバイスを提案し、その後、遷移エネルギーやキャリア緩和時間の理論的検討をおこなった。すなわち、伝導帯のバンド不連続を大きくとれる InGaAs/AlAs 系の量子井戸構造に着目し、この系でのサブバンド間遷移を用いた新しい通信用光スイッチングデバイスの可能性を世界で初めて理論的、実験的に検討し、その結果、井戸幅の減少とともにサブバンド間エネルギーは増大し、世界で初めての  $1.55 \mu\text{m}$  でのサブバンド間遷移を3モノレイヤーの量子井戸層で観測した。ブレークスルー技術として新しい研究の流れを作りつつある光通信波長でのサブバンド間遷移研究の最初の第一歩と位置付けられる。

第6章では、21世紀の社会の姿、それを支える光通信システム技術の全体像を踏まえつつ、今後の超高速光デバイス技術を独自の視点から展望するとともに、本論文のまとめを行っている。

以上これを要するに、本論文は InP 系において多波長集積半導体レーザを初めて実現するとともに、歪量子井戸構造がレーザの高速化に有用であることを実験的に示し、さらに量子井戸におけるサブバンド間遷移現象を利用した  $1.5\mu\text{m}$  帯光デバイスを先駆的に提案したものであり、電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。