

氏名	あさの たかし 浅野卓
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第1728号
学位授与の日付	平成10年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科電子物性工学専攻
学位論文題目	量子井戸のサブバンド間遷移の短波長化と超高速光制御光変調に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 藤田茂夫 教授 松波弘之 教授 松重和美

論文内容の要旨

半導体量子井戸のサブバンド間遷移は本質的にピコ秒程度という非常に短い緩和時間を持ち、超高速光変調などの光デバイスへの応用上の観点から注目を集めている現象である。本論文は、このようなサブバンド間遷移と通常のバンド間遷移の非線形な相互作用を利用することによって光通信速度が格段に優れた超高速の光制御光変調デバイスを実現することを目標に、AlGaAs系材料における長波長のサブバンド間遷移による変調原理を実証すること、さらに、より実用性を高めるために新しい材料系であるGaAs基板上のInGaAs/AlAs量子井戸構造の提案して遷移波長の短波長化を図ることを課題として実験的理論的研究に取り組んだ結果を纏めたもので、以下の7章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的、および本論文の概要がまとめられている。すなわち、時分割多重光通信方式による通信速度向上における超高速光制御光変調デバイスの必要性和サブバンド間遷移の同変調デバイスへの応用可能性、さらに実用化に向けての遷移波長短波長化の必要性について述べている。

第2章では、 $10.6\mu\text{m}$ に対応する長波長サブバンド間遷移を用いて光制御光変調の原理実証を行った結果について述べている。すなわち、GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As量子井戸のGaAs井戸層に形成されるサブバンド間遷移を用いた変調デバイス(サブバンド間遷移波長 $\sim 10.6\mu\text{m}$)を作製し、極短パルス光の発生可能な可変波長レーザである自由電子レーザを制御光源とした実験を行って、本変調方式において3ピコ秒程度の超高速変調が可能であることを実証している。

第3章では提唱している光制御光変調の実用化に向けて、より一般的な制御光源の利用を可能にするためにサブバンド間遷移の短波長化方法を検討した結果について述べている。半導体レーザの利用可能な $2\mu\text{m}$ 以下の実現を目指して、短波長化に必要な構造を詳しく検討し、GaAs基板上のInGaAs/AlAsという独自の系がデバイス応用に必要な多重量子井戸の作製に有利なことを示している。さらに詳細な理論計算により $2\mu\text{m}$ 以下の短波長化に必要な具体的構造を設計し、また設計した構造を実際に作製する方法および成長条件についても基礎的な検討を行っている。

第4章では第3章の結果をもとに実際にサブバンド間吸収の短波長化を追求した結果について述べている。種々の井戸幅のn型InGaAs/AlAs多重量子井戸試料を作製し、赤外光吸収スペクトル測定を行うことによってサブバンド間遷移の特性を調べ、半導体モードロックレーザが利用できる領域である $1.90\mu\text{m}$ までのサブバンド間遷移の短波長化を達成したことを示している。また、サブバンド間吸収スペクトル幅についても検討し、これが井戸幅の揺らぎに起因していることを明らかにしている。

第5章では、デバイス応用には十分な光吸収が必要であるとの観点から、短波長化サブバンド間遷移の吸収強度について検討している。吸収強度の構造依存性を調べ、井戸幅の減少に伴って吸収強度が急速に減少することを示し、その原因がAlAs障壁層への電子の漏出に起因することを明らかにしている。さらに、吸収強度の低下を抑制する方法を理論および実験の両面から検討し、低い成長温度の利用、井戸層In組成の増加および障壁層幅の低減により電子の障壁層への漏出を抑制する手法が有効であることを示している。この抑制手法によって吸収強度を最適化する前の12倍にまで増加させ得たこと

を述べ、性能向上を達成している。

第6章では、短波長サブバンド間遷移の超高速緩和特性について検討し、これまで報告例のない短波長化サブバンド間遷移の緩和時間を実際に測定する試みを行っている。すなわち、サブバンド間吸収飽和の過渡特性を100フェムト秒程度の高時間分解能で測定可能なポンプ・プローブ測定系を構築し、サブバンド間遷移波長が $2.5\mu\text{m}$ と短い場合において2.7から3.5ps程度という緩和時間の測定結果を得ている。これにより、短波長化サブバンド間遷移においても、これまで報告されてきた長波長サブバンド間遷移と同等の速い緩和が生じることを、初めて実験的に明らかにしている。さらに、光非線形効果の大きさを決める重要な特性であるサブバンド間遷移の電子分極の緩和時間についても実験的検討を行い、理論計算結果と対比させて検討を行うことで、障壁層に漏出した電子のクーロン遮蔽効果が大きな影響を持つことを示している。

第7章は本研究で得られた成果をまとめて述べ、さらに今後の研究課題および展望について議論している。

論文審査の結果の要旨

半導体量子井戸中のサブバンド間光学遷移は、本質的にピコ秒程度という非常に短い緩和時間を持つため、超高速光デバイスという応用上の観点から注目を集めている現象である。本論文はこのサブバンド間遷移と通常のバンド間遷移の非線形的相互作用を利用して、光通信速度の格段に優れたピコ秒程度の超高速光制御光変調デバイスを実現することを目的として、AlGaAs系材料における長波長のサブバンド間遷移による変調原理の実証と、より実用性を高めるための新材料系の導入による遷移波長の短波長化に関する研究結果をまとめたもので、得られた成果の主なものは以下の通りである。

1. AlGaAs/GaAs材料系量子井戸において、GaAs井戸層の伝導帯に生じる第一および第二のサブバンド間における遷移波長である $10.6\mu\text{m}$ の制御光に自由電子レーザーを利用し信号光の変調特性の実験を行って、ピコ秒程度の超高速で光変調が可能であることを実証している。
2. サブバンド間遷移を用いた光制御による超高速光変調デバイスの実用性を高めるため、GaAs基板上にエピタキシャル成長させたInGaAs/AlAsというInGaAsを井戸層とする新たな材料系の導入を提案し、サブバンド間遷移の制御光として半導体レーザーが利用可能な $1.9\mu\text{m}$ までの遷移波長の短波長化を達成している。
3. 短波長化に伴って生じたサブバンド間吸収量の減少が電子のAlAs障壁層への漏れに起因することを突き止め、これを阻止する種々の方法を検討して、吸収量を10倍以上増大させることに成功している。
4. 短波長化サブバンド間遷移($2.5\mu\text{m}$)において、初めてエネルギー緩和時間を直接測定し、2.7~3.3psという値を得ている。これにより、短波長化した場合においても超高速変調への応用が可能であることを示している。

以上を要するに本論文は、半導体量子井戸のサブバンド間遷移を用いることによってピコ秒程度の超高速変調が可能であることを実証し、またサブバンド間遷移を短波長化することでその応用性を高めることに貢献したものであり、得られた成果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また平成10年1月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。