

# 博士論文(要約)

III-V CMOS フォトニクス・プラットフォームにおける

量子井戸インターミキシングによる能動・受動素子

集積に関する研究

**Study on Active-passive Integration by Quantum Well**

**Intermixing on III-V CMOS Photonics Platform**

東京大学大学院

工学系研究科 電気系工学専攻

関根 尚希

2020年12月1日

指導教官: 竹中 充 教授

## 要約

情報通信技術の発展に伴いより多くの情報がやりとりされるようになり、情報通信に費やされるエネルギー消費は年々増加傾向にある。大容量かつ長距離な通信には光通信が効率的であるが変調速度の増大とともに数十 m 程度の短距離通信でも光通信が用いられるようになってきている。このような中でより小型、省電力、低コストな光素子として Si フォトニクス技術を用いたものが急速に発展している。従来の半導体素子とは異なり Si フォトニクスは SOI 基板を用いることで基板垂直方向にも強く光を閉じ込めるマイクロメートルスケールの導波路デバイスが作製できることに特徴がある。しかし間接遷移半導体である Si は通信波長帯での受発光素子には不向きである。我々は SOI 構造と同様の III-V-OI 構造を利用する III-V CMOS フォトニクス・プラットフォームを提案し、様々な素子が実証されている。従来の III-V 族半導体光素子と異なり基板に垂直な光閉じ込めが可能のため小型かつ省電力な光素子の実現が可能である。このような III-V-OI 基板上に能動受動素子を集積することでチップスケールの光集積回路が実現可能となり様々な応用が期待される。能動受動素子集積には異なるバンドギャップをもつ材料を同一基板に集積する必要がある。本論文では  $P_2$  分子の高温ステージ上での低エネルギー注入による量子井戸インターミキシングを行うことで能動受動素子集積が可能であることを示した。まず初めに基板貼り合わせプロセスの開発により貼り合わせ基板の耐熱性を向上させた。量子井戸インターミキシングによる能動受動素子集積を実現する上で III-V-OI 基板の熱耐性を向上は不可欠であり、真空環境での貼り合わせと昇温速度の低速化により熱耐性を向上できることを示した。第二にこの手法で作製を行った貼り合わせ基板に対して量子井戸インターミキシングを行うことにより 140nm 程度のフォトルミネッセンスピーク波長のシフトが可能であることを明らかにした。この 140nm のシフトを得ることで元のピーク波長帯でバンドエッジ吸収がないことが確認でき、貼り合わせ基板上においても量子井戸インターミキシングを行った領域に受動素子を作製可能であることを明らかにした。第三に同様の手法を用い能動素子である受光器と受動素子である導波路の集積を世界で初めて実証した。集積された受光器の感度は 0.4 A/W を示した。次にスロット型変調器を III-V-OI 構造に適用することで低損失・高速な変調器が実現可能なことを数値計算により示した。こ

れまで III-V CMOS フォトニクス・プラットフォームは pin 接合によるキャリア効果や電界効果を用いた変調器が主であったが化合物半導体の場合は p 型の低い移動度に起因する電気抵抗と光損失が変調器の性能を律速している。N 型半導体だけで動作可能な EO ポリマーを埋め込んだスロット型変調器を III-V-OI 構造に適用することで低損失・高速な変調器が実現可能であることを提案した。この変調器は化合物半導体変調器で主要な QCSE を用いる変調器と異なり変調原理がバンドギャップに依存しないため量子井戸インターミキシングプロセスとも親和性がある。最後に有機材料である EO ポリマーではなく強誘電体  $\text{Hf}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2$  をスロット型変調器に適用することを提案し、Si 導波路上に  $\text{Hf}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2$  を堆積し電界を印可することで電気光学効果を持つことを示した。 $\text{Hf}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2$  は ALD によって堆積することが可能なため、安定かつ均質なデバイスの作製が可能であり、量子井戸インターミキシングを用いた集積光回路応用に有望であると考えられる。