

博士論文（要約）

集積赤外フォトダイオード実現に向けた Si 上 InGaAs 選択成長プロセス

*(Selective area growth of InGaAs on Si
for integrated infrared photodiodes)*

平成 29 年 12 月 1 日 提出

指導教員 杉山 正和 教授

東京大学大学院 工学系研究科

電気系工学専攻

37-157083

渡邊 冬馬

要旨

本研究は、次世代集積回路を構成する材料候補の1つである III-V 族化合物半導体を、低価格・大面積な Si 基板上へ直接積層する微小領域選択領域成長技術を用い、Si 基板上 InGaAs 赤外フォトダイオードの実現を目指すものである。

III-V 族化合物半導体は、受光素子を始めたとした様々なデバイスの材料として広く用いられている。特に、赤外フォトダイオードに目を向けると、InP 基板上に格子整合した InGaAs を用いる例が多く見られる。この理由として、InGaAs が直接遷移半導体であることや、基板と格子整合するため転位密度の低い結晶が得られる事などが挙げられる。しかし、InP 基板を用いることから、高コスト化、基板サイズの小ささ、InP プロセスの難度や、外部回路との結合などの問題点が挙げられる。それらの問題点を解決する手法として、III-V 族化合物半導体を Si 基板上へ形成する手法が提案されている。

III-V 族化合物半導体を Si 基板上に作製する手法として、基板貼り合せと直接成長の2種類が考案されている。基板貼り合せは、基板同士を貼り合わせるため、界面の貼り合せ強度や酸化膜の影響や、基板サイズのミスマッチ等、加えて Si に比べ2桁程度高価な III-V 族化合物半導体基板の再利用手法等の問題があり、現在研究が盛んに行われている。一方直接成長に関しては、Nanowire の登場により、Si 基板上に無欠陥化合物半導体層を得ることに成功しており、近年はそのデバイス化例も多く報告されている。しかしその作製には電子線描画が必須となり、量産化には困難が残る。

そこで本研究では、拙研究室で提案された微小領域選択成長技術による Si 上 InGaAs の直接成長に着目し、大面積化に適したフォトリソグラフィを用いた赤外受光器の作製とその集積を行なった。微小領域選択成長法で得られる InGaAs 結晶は六角柱型の形状をもち、これを microdisc と称している。この InGaAs microdisc は、成長前プロセスによって任意の箇所に独立して配置することが出来るため、成長後の素子分離プロセスが不要である。このことから、InGaAs microdisc に pn 接合を作り込み、受光素子化することで、安価・大面積な Si 上 InGaAs イメージセンサが作成可能となる。

第1章では Si フォトニクスをはじめとした現代の半導体技術における III-V 族化合物半導体の必要性を述べ、本研究の背景となる化合物半導体赤外フォトダイオードについて述べた。第2章では、Si 基板上 III-V 族化合物半導体の成長手法について述べ、第3

章では本研究で使用する有機金属気相成長装置をはじめとした実験手法についての詳細を記す。

第4章では、フォトダイオードへの応用を目的とした Si 上 InGaAs microdisc の結晶成長と、microdisc 内部への pn 接合の作り込みについて述べる。通常の2次元成長と異なり、選択成長による InGaAs microdisc の結晶成長は3次元様式を取ることに由来し、ドーパントの microdisc への取込みに大きな異方性が確認できた。

第5章では、従来構造である Si/InAs/InGaAs 構造における大きな問題点であった逆バイアス動作におけるリーク電流の低減を行った。リーク電流の真因は、InAs/InGaAs 界面での貫通転位の発生であり、その除去によりリーク電流の低減を実現した。

フォトダイオードの要求として、素子ごとの特性均一性が求められる。従来手法では表面に電極をつけることで数十から十万程度の microdisc を並列接続していたため、microdisc 単体の特性は測定出来なかったことが問題点として挙げられていた。第6章では、東京大学生産技術研究所の荒川・岩本研究室の協力の下、光学顕微鏡マニピュレーション法を用いた InGaAs microdisc 単体 I-V 測定を実現し、microdisc の形状と I-V 特性の間に明確な相関を見出した。

最後に第7章にて本研究のまとめと今後の微小領域選択成長法とそのデバイス化への展望を述べる。