

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 佐藤 文彦

本論文は、「自己整合型 SiGe 合金ベースヘテロ接合バイポーラトランジスタの研究」と題し、エピタキシャル成長によって形成されたシリコン・ゲルマニウム ($\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$) 合金膜をベースとするバイポーラトランジスタの自己整合化技術を考案、実現するとともに、バンドプロファイルの影響、リンク・ベース抵抗の低減の効果等を明らかにし、さらにこれらの技術の高速光通信用集積回路への応用可能性の検討について述べたものであり、全6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景となる従来技術とその課題、本研究の目的と論文の構成を述べている。バイポーラトランジスタの性能指標である遮断周波数および最大発振周波数を向上させるために、ベース幅、ベース抵抗、ベース・コレクタ間容量の3要素を低減する必要があり、ベース浅接合化技術と微細加工技術による寄生成分の低減が重要であること、半導体エピタキシャル成長技術の進歩により可能となった SiGe をベースとするヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)は、上記性能向上に有利であるが、従来の Si バイポーラトランジスタでは標準である自己整合構造を実現することが困難だったことなどの背景を述べた上で、これらの問題を解決してバイポーラトランジスタの動作の高速化を実現することが本研究の目的であることを述べている。

第2章では「エピタキシャルベースの自己整合化技術」と題して、ベースの浅接合化技術として有望なエピタキシャル成長技術を用いたトランジスタの自己整合化について述べている。選択的エピタキシャル結晶成長法(SEG)を用いた独自開発の自己整合化技術、「自己整合型選択成長ベース技術」(SSSB)と名付けた手法を考案し、超高真空化学気相成膜(CVD)装置を用いて、2層ポリシリコン自己整合型 SiGe 合金ベースヘテロ接合バイポーラトランジスタを実現した。

第3章では「SiGe/Si プロファイル検討による電気特性改善」と題して、SiGe エピタキシャル膜/Si 基板界面性状がバイポーラトランジスタの電気特性に与える影響を論じている。結晶成長後の工程における熱処理によってベース層からコレクタ領域へホウ素拡散が生じると、寄生エネルギー障壁が形成されるために、*p* 型 SiGe から *p* 型 Si へと走行する電子の流れが阻害され、遮断周波数が著しく低下する。この現象を抑制するために、拡散スペーサー用 SiGe 層の採用、およびプロセスの低温化によるホウ素拡散の低減を提案し、最大 63GHz の遮断周波数を得ることに成功することによりその有効性を実証した。また選択的エピタキシャル成長(SEG)において前処理法の改善によりヘテロ界面のホウ素量を低減することにも成功している。

第4章では「エピタキシャルベース・バイポーラのリンクベース抵抗の低減検討」と題して、エピタキシャル成長によって形成されたベースの抵抗低減に関して述べている。極浅接合ベースとして形成した SiGe 膜は膜厚が 100nm 以下と薄いために

シート抵抗が数 10K Ω と高い。この問題を解決するために、ホウ素含有シリコン酸化(BSG)膜からのホウ素の固相拡散法によるベース抵抗低減を提案し、シート抵抗を数 100 Ω へ低減することに成功した。また、極薄 SiGe ベース形成後、エミッタ・ベース分離用 BSG 側壁構造を形成し、2 ステップアニールを行うことにより、トランジスタ動作特性として、遮断周波数 51GHz、最大発振周波数 50GHz、ゲート遅延時間 19 psec がという優れた性能を得た。

第 5 章では「光通信システム用トランジスタ技術とその回路応用」と題して、新規開発した自己整合型 SiGe 合金ベースヘテロ接合バイポーラトランジスタを用いた光通信システム用集積回路について述べている。トランジスタ構造として、回路動作の高速化のためのコレクタ・シリコン基板間容量の低減、および回路間の干渉現象低減の観点から、張り合わせシリコン・オン・インシュレーター (SOI) 基板に BPSG 埋設トレンチを使って素子分離する構造を採用した。トランジスタの最小加工寸法を 0.4 μm と微細化している。本研究のトランジスタを用いることにより、基幹系光通信システムにおける電気回路部において、20Gb/s の高速動作が可能なこと、2.4Gb/s 受信部集積回路のワンチップ化が可能なることを実証した。

第 6 章は本論文の総括であり、本研究で明らかにされた、エピタキシャル成長 SiGe 合金膜をベースとするバイポーラトランジスタの高速動作化に関する知見および実証された成果に関する要約が述べられているとともに、更なる高性能化へ向けての課題とその解決への展望が述べられている。

以上をまとめると、本論文ではエピタキシャル成長によって形成する SiGe 合金膜をベースとするバイポーラトランジスタの高速動作化の要因と有効な方法が詳細にわたり明らかにされている。それにより本トランジスタを光通信用集積回路として実用に供する上での物理的・技術的課題を解決している点で、物理工学への寄与は非常に大きい。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。