

## GaAsの液相エピタキシャル成長と静電誘導デバイスへの応用に関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-03-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 神谷, 俊幸 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/1245">http://hdl.handle.net/10297/1245</a>

氏名・(本籍)	神谷俊幸(愛知県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第 138 号
学位授与の日付	平成 8 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・専攻の名称	電子科学研究科 電子応用工学
学位論文題目	GaAsの液相エピタキシャル成長と静電誘導デバイスへの応用に関する研究

論文審査委員	(委員長)		
	教授 福家俊郎	教授 畑中義式	
	教授 助川徳三	助教授 田中昭	

## 論文内容の要旨

静電誘導(SI)デバイスは、高速、高耐圧、低損失といった高性能なパワーデバイスとして注目されているが、そのほとんどがSiを材料として作製されている。一般にパワーデバイスにおいては、その内部電力損失を可能な限り低減する必要があり、スイッチングモードで使用される。そのため、オフ時に高耐圧でありインピーダンスが十分に高いこと、オン時にオン抵抗ができる限り小さいこと、スイッチング時間が極めて短いこと等が要求される。また、複数の素子を直列に動作させる場合には、個々の入力電気が電気的にアイソレートされていることが必要となり、光制御が重要となっている。このような観点において、Siと比較して、直接遷移型、広禁制帯幅、高電子移動度、短キャリア寿命等の物性上の特長をもつGaAsは、パワーデバイス材料として優れており、SIデバイスをGaAsで作製すれば、より一層の高速化、低損失化ができ、また高感度光制御やオン時の発光が得られ、高性能・新機能パワーデバイスが実現できる。そのため、その実用化が緊急課題であるが、最適設計ならびにプロセス技術が確立されていない。本研究では、GaAsパワーSIデバイスの実用化を目指し、数値解析により最適設計値を得て、それを指針としてGaAs SIデバイスの作製技術となる新しい液相エピタキシャル成長技術の開発を行っている。

最初に、数値解析によって、高耐圧で大電流・低損失であるGaAsパワーSIデバイスの最適設計値を得た。その結果、活性層として厚さが20~30 $\mu\text{m}$ 、不純物濃度が $10^{13}\text{cm}^{-3}$ 以下で、キャリア寿命が $10^{-8}\text{sec}$ 以上である高純度・高品質GaAs層が要求されることがわかった。現在、そのようなGaAs層を活性層に持つデバイスを作製する技術はなく、高純度GaAs層の成長はもちろんであるが、オン抵抗の低減に対する要求から基板領域へ高濃度に不純物を添加して低抵抗率にすることが不可欠であり、その

ためには格子補償効果や逆エピタキシー等のデバイス作製技術の確立が必要である。

そこで、まず素子の基本構造である高濃度不純物添加領域(H領域)と低不純物濃度領域(L領域)とのH-L接合部で生ずる格子不整合の問題を解決するために、各種不純物を添加したGaAsをLPE成長して、GaAs格子定数の不純物に対する依存性を調べ、さらにTeとSiの同時添加によりGaAsにおける格子補償効果の確認実験を行った。その結果、TeドープおよびSeドープGaAsの格子定数はアンドープGaAsに比べて大きく、Siドープでは逆にアンドープの格子定数より小さくなるが、GeドープGaAsの格子定数はアンドープGaAsの格子定数とほぼ等しいことがわかった。また、TeとSiの同時添加により高不純物濃度エピタキシャル層の格子定数を制御して、アンドープ基板との格子整合を得ることができるとのことがわかり、GaAs LPE成長における格子補償効果が確認できた。

つぎに、高不純物濃度の基板上に素子の活性領域となる低不純物濃度層を成長させる通常の方法ではオートドーピングが問題となるので、それを解決するために低不純物濃度の基板上に高濃度不純物添加の厚い結晶層を成長させ、逆にこの高不純物濃度の成長層をデバイスを支持する基板とし、また元の低不純物濃度の基板側をデバイスの活性領域とする逆エピタキシーの概念を導入する実験をおこなった。すなわち、アンドープGaAs基板上へのGeドープGaAs厚膜のLPE成長をおこなって $p^+i$ 接合を形成した。その結果、900℃から600℃までの1回の徐冷成長により、素子の基板とするのに十分な、300  $\mu\text{m}$ 以上の厚さをもち且つ高キャリア濃度で均一な低抵抗率の $p^+$  GaAs層が得られ、さらにキャリア濃度変化が急峻で格子整合性の良い接合が形成できた。しかし、この格子整合 $p^+i$ 接合を用いて作製したpinダイオードを評価した結果、 $i$ 層とした半絶縁性の成長用基板が熱変性して導電性の $p$ 型となっており、高温かつ長時間の成長中にAs抜けが起こっていることがわかり、逆エピタキシーをより低温・短時間に行うことが必要であることがわかった。

そのため、逆エピタキシーの低温化・短時間化の方法として、新たに逆エピタキシーの機能である接合の形成およびデバイス基板の形成という二つを分けることを提唱し、Ge/GaAs構造の使用とGa-As-Ge三元溶液の性質を利用した「Ge/GaAs連続液相エピタキシャル成長」を提案し、その成長実験と評価を行った。その結果、厚い $p^+Ge/p^+$  GaAsヘテロエピタキシャル成長層が比較的低温・短時間に得られた。成長後においても基板は半絶縁性を示しており、低温化・短時間化の効果が表れていた。また、試料の湾曲に対するGaAs層厚の依存性を測定した結果、GaAs層厚が約15  $\mu\text{m}$ で曲率が零となり、10  $\mu\text{m}$ 程度の活性層を持つGaAs SIデバイスの作製法として使用可能であることがわかり、SIデバイスの基本構造となるH-L接合の形成技術の基礎が確立できた。

そこで最後に、高性能なGaAs SIデバイス活性層領域に要求される高純度・高品質なGaAsの成長法の確立を目的として、従来のLPE成長法で不純物汚染源となっていた高温合成のGaAs原料結晶を使用しない、全く新しいLPE成長法である「溶質“その場”合成LPE法」を提案し、実験による原理確認を行った。この方法は、金属Asから蒸発させたAs蒸気を、溶媒かつ溶質原料となるGaに低温で直接反応させてGaAsを合成し、それを結晶成長の溶質として低温でLPE成長を行うので高純度化に有利である。今後、高純度化のための検討を行えば、GaAs SIデバイス活性層に要求される $10^{13}\text{cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で、 $10^8\text{sec}$ 以上のキャリア寿命をもつGaAs層の成長が期待できる。

## 論文審査結果の要旨

現在、パワーデバイスには、主にSiが用いられているが、その性能は物性値と動作機構に制限され限界にきた。そのため、適切な材料を用いた新型デバイスの開発が急務である。本研究はこの問題解決を目的としてなされた。

静電誘導(SI)デバイスは、高速、高耐圧、低損失といった特徴をもち、高性能パワーデバイスとして注目されている。GaAsは、Siに比べて、直接遷移型の広い禁制帯幅をもち、高い電子移動度と短いキャリア寿命が得られるので、光信号で制御できる高性能SIデバイスの構成材料として適している。しかし、そのデバイスの最適設計法および製作プロセス技術は未だ確立されていない。本研究では、GaAsパワーSIデバイスの実用化を目指して、まず数値シミュレーションにより最適設計法を検討し、その結果に基づきGaAsSIデバイスを実現するための新しい液相エピタキシャル成長(LPE)技術を開発した。

本論文は7章から構成されている。第1章には本研究の背景と目的が記述されている。

第2章では、研究対象であるGaAsバイポーラモード静電誘導トランジスタ(BSIT)とGaAs静電誘導サイリスタ(SIThy)の数値シミュレーションを行い最適設計の指針を得た。その結果、高耐圧で大電流・低損失のGaAsパワーSIデバイスを実現するためには、活性層として厚さが20~30 $\mu\text{m}$ 、不純物濃度が $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ 以下で、キャリア寿命が $1 \times 10^{-8}$ 秒以上の高純度、高品質のGaAsが必要ことがわかった。しかし、現在そのような高純度、高品質のGaAs層の成長技術は確立されていない。また、オン抵抗の低減のために基板領域に高濃度の不純物添加が不可欠であるが、活性層との界面に急峻な不純物濃度勾配による転位が生じ、デバイスの動作に悪影響を及ぼす。

第3章では、不純物無添加のGaAs基板上に、Teのような共有イオン半径の大きな不純物とSiのような共有イオン半径の小さな不純物をそれぞれ所定の濃度で同時に添加したGaAs層を成長することにより、基板と格子整合した高濃度不純物添加層が得られ、転位の問題を解決した。

第4章では、不純物無添加の基板上に厚い高濃度不純物添加層を成長し、通常とは逆にこの成長層をデバイスの基板にし、不純物無添加の基板側をデバイスの活性領域とする逆エピタキシーの技術を確立した。

第5章では、逆エピタキシーを低温・短時間で行える技術として、Ge/GaAs連続液相エピタキシャル成長法を開発し、GaAsSIデバイスの新製作プロセス技術を確立した。

第6章では、高純度・高品質なGaAs層の低温成長を目的として、「溶質“その場”合成LPE法」を提案し、実験により原理を確認した。第7章は結論である。

以上を要約すると、本研究により、GaAsSIデバイスの実現の見通しが得られたことは、大きな成果である。審査の結果、本論文は博士(工学)の学位に相当する十分な内容を有するものと認定する。