



Title	高周波GaAs系ヘテロ接合電界効果トランジスタ用エピタキシャルウェハのMOVPE成長技術に関する研究
Author(s)	坂口, 春典
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/27626">https://hdl.handle.net/11094/27626</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

【23】				
氏 名	坂 口 春 典	さか	ぐち	はるのり
博士の専攻分野の名称	博 士（工 学）			
学 位 記 番 号	第 2 3 3 6 5 号			
学 位 授 与 年 月 日	平 成 21 年 9 月 25 日			
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻			
学 位 論 文 名	高周波GaAs系ヘテロ接合電界効果トランジスタ用エビタキシャルウェハのMOVPE成長技術に関する研究			
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授 藤原 康文  （副査） 教 授 掛下 知行 教 授 山下 弘巳			

論 文 内 容 の 要 旨

高周波化合物半導体デバイスは携帯電話、衛星放送受信機などの無線機器の高周波送信素子として必須のデバイスであり、マルチメディアの波とともに大きな発展を遂げている。この高周波化合物半導体デバイスの主要デバイスであるヘテロ接合電界効果トランジスタ（H F E T）は化合物半導体の超薄膜多層エビタキシャルウェハを用いて作製される。本研究は、GaAs、AlGaAs、InGaAsの超薄膜多層構造からなるH F E Tエビタキシャルウェハの有機金属気相エビタキシャル（MOV P E）成長におけるn型ドーピング、プレーナドーピング、低リーク高純度バッファ層成長、低温成長、大口径多数枚量産技術について論じたものである。

本論文は以下の7章で構成されている。

第1章では、本研究の目的と意義を述べた。

第2章では、Si とSeのドーピングの性状、振る舞いを系統的に調べ、Si とSeがそれぞれⅢ族サイトとⅤ族サイトを占有するドーパントである観点からドーピングメカニズムを考察し、ドーピング特性がドーパントとⅢ族原料及びⅤ族原料との競合吸着モデルにより理解できることを明らかにした。その結果として、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を用いたSiドーピングによりシュードモルヒック高電子移動度トランジスタ（PHEMT）構造などの超薄膜ドーピング制御を可能とした。

第3章では、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>によるプレーナドーピングの支配要因を考察し、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>のプレーナドーピングがAsH<sub>3</sub>による気相でのSi<sub>x</sub>H<sub>x</sub>の生成促進と表面からのシリコンの脱離促進との競合によって成り立つモデルを提案し、実証した。これらの理解に基づいたドーピング制御技術により、良好な特性のプレーナドーPHEMT（PD－PHEMT）エビタキシャルウェハを開発した。

第4章では、H F E Tエビのバッファ層には、良質な能動層（チャネル層）を成長する下地としての役割と能動層からの電流リークを防ぐバリアとしての役割があり、線形動作に優れるH F E Tの実現にはリーク電流や、キックやヒステリシスのないことが必要であることを示した。この解決法として、ディープレベルのない高純度のAlGaAs、GaAsをベースに、浅いアクセプタ準位である炭素不純物を制御し、ヘテロ障壁を有する高純度n型AlGaAs/GaAsヘテロバッファ層を提案した。この具現化のために、ディープレベルの低減技術を開発し、H F E Tの相互コンダクタンスやドレイン電流の変化を用いた評価法の考案、AlGaAsの混晶比との関係解明などにより高純度低リークヘテロバッファ層を開発した。

第5章では、オートドーピングの抑止や高抵抗バッファ層の実現を目的に、表面欠陥が多発する従来の問題をGaA

s の成長メカニズムに立ち返って考察し、表面欠陥発生が成長律速の遷移（輸送律速から表面反応律速への遷移）に伴う現象であると仮定し、成長温度を更に低温の500℃にすることで表面欠陥のない安定したエビ<sup>®</sup>成長を実現した。さらに、低温では炭素が取り込まれやすくなる問題を高AsH<sub>3</sub>分圧下での成長により解決し、高純度鏡面低温成長を実現した。

第6章では、大口径HFETエビウェハの多数枚成長技術実現のため、フェースダウンMOVPEを提案し、これにより高純度AlGaAs成長、in-situ cleaningによるパッファ層／基板界面の高純度化を実現した。さらに、パッファ層／基板界面の高純度化の効果として薄膜パッファHEMTエビタキシャルウェハの高移動度化を達成した。また、大口径多数枚成長のため、成長リアクタ内での原料分解制御のコンセプトを提案し、これに基づいて開発したフェースダウンMOVPE炉により、4インチ及び6インチDHPHEMTエビタキシャルウェハの高均一高再現量産技術を開発した。

第7章では、本研究で得られた成果を総括した。

## 論文審査の結果の要旨

高周波化合物半導体デバイスは携帯電話や衛星放送受信機などの無線機器の高周波送受信素子として必須のデバイスであり、マルチメディアの波とともに大きな発展を遂げている。この高周波化合物半導体デバイスの主要デバイスであるヘテロ接合電界効果トランジスタ(HFET)は化合物半導体の超薄膜多層エビタキシャルウェハを用いて作製される。本論文は、GaAs、AlGaAs、InGaAsの超薄膜多層構造からなるHFETエビタキシャルウェハの有機金属気相エビタキシャル(MOVPE)成長におけるn型ドーピング、プレーナドーピング、低リーク高純度パッファ層成長、低温成長、大口径多数枚量産技術について纏めたものであり、以下の知見を得ている。

- (1) Si と Se のドーピングの性状、振る舞いを系統的に調べ、Si と Se がそれぞれⅢ族サイトとⅤ族サイトを占有するドーパントである観点からドーピングメカニズムを考察し、ドーピング特性がドーパントとⅢ族原料及びⅤ族原料との競合吸着モデルにより理解できることを明らかにしている。その結果として、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を用いたSiドーピングによりシュードモルヒック高電子移動度トランジスタ(PHEMT)構造などの超薄膜ドーピング制御を実現している。
- (2) Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>によるプレーナドーピングの支配要因を考察し、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>のプレーナドーピングがAsH<sub>3</sub>による気相でのシリルアルシンの生成促進と表面からのシリコンの脱離促進との競合によって成り立つモデルを提案し、実証している。これらの理解に基づいたドーピング制御技術により、良好な特性のプレーナドープ PHFET (PD-PHEMT)エビタキシャルウェハを開発している。
- (3) HFET エビのパッファ層には、良質な能動層（チャネル層）を成長する下地としての役割と能動層からの電流リークを防ぐバリアとしての役割があり、線形動作に優れる HFET の実現にはリーク電流や、キंकやヒステリシスのないことが必要である。その方策として、ディープレベルのない高純度の AlGaAs、GaAs をベースに、浅いアクセプタ準位である炭素不純物を制御し、ヘテロ障壁を有する高純度 n 型 AlGaAs/GaAs ヘテロパッファ層を提案している。この具現化のために、ディープレベルの低減技術を開発し、HFET の相互コンダクタンスやドレイン電流の変化を用いた評価法の考案、AlGaAs の混晶比との関係解明などにより高純度低リークヘテロパッファ層を実現している。
- (4) オートドーピングの抑止や高抵抗パッファ層の実現を目的に、表面欠陥が多発する従来の問題を GaAs の成長メカニズムに立ち返って考察し、表面欠陥発生が成長律速の遷移（輸送律速から表面反応律速への遷移）に伴う現象であると仮定し、成長温度を更に低温の 500℃にすることにより表面欠陥のない安定したエビタキシャル成長を実現している。さらに、低温では炭素が取り込まれやすくなる問題を高 AsH<sub>3</sub> 分圧下での成長により解決し、高純度鏡面低温成長を可能としている。
- (5) 大口径 HFET エビタキシャルウェハの多数枚成長技術実現のため、フェースダウン MOVPE を提案し、これにより高純度 AlGaAs 成長、in-situ cleaning によるパッファ層／基板界面の高純度化を実現している。さらに、パッファ層／基板界面の高純度化の効果として薄膜パッファ HEMT エビタキシャルウェハの高移動度化を達成している。また、大口径多数枚成長のため、成長リアクタ内での原料分解制御のコンセプトを提案し、これに基づいて開発したフェースダウン MOVPE 炉により、4 インチ及び 6 インチダブルヘテロ PHEMT (DHPHEMT)エビタキシャルウェハの高均一高再現量産技術を開発している。

以上のように、本論文は GaAs、AlGaAs、InGaAs の超薄膜多層構造からなる HFET エビタキシャルウェハの MOVPE 成長を取り上げ、成長や不純物ドーピングに関するメカニズム解明を通じて新しい知見を与えるとともに、それらを集積して大口径多数枚量産技術を開発する等、材料工学分野に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。