

Title	GaAs Surface Passivation with Molecular Beam Epitaxy grown GaS Film
Author(s)	岡本, 直哉
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43165
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	岡本直哉
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 16428 号
学位授与年月日	平成13年5月17日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	GaAs Surface Passivation with Molecular Beam Epitaxy grown GaS Film (分子線エピタキシー成長 GaS 膜による GaAs 表面パッシベーションに関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 冷水 佐壽 (副査) 教授 中島 尚男 教授 伊藤 正

論文内容の要旨

本論文では、GaAs 系デバイス (HEMT) の高性能化のため、ターシャリブチル・ガリウムサルファキュベン [(t-Bu)GaS]₄ を用いて MBE 法で作製した GaS 膜による GaAs 表面パッシベーションについて初めて調べられている。

TEM と電子線回折により GaAs 上に MBE 成長した GaS 膜の結晶構造を調べ、エピタキシャル GaS 膜が GaAs と同じジंकブレンド構造であることを初めて明らかにした。さらに分光エリプソメトリーと XPS により、GaS/GaAs 構造のバンドラインナップはエピタキシャル GaS で Type-I 構造、アモルファス GaS で Type-II 構造であることを初めて明らかにした。結晶構造により ΔE_v は大きく変化するが、 ΔE_c は変化なく約 1 eV と大きい値を示すことが明らかになった。

次に、GaS パッシベーションにより増加した GaAs の PL 強度を 4 年間調べることにより、GaS が長期的に安定なパッシベーション膜であることを明らかにした。また、界面準位密度低減のため新しい有機 As 原料を用いた GaAs 表面クリーニングを開発し、界面酸素濃度を従来と比べて 2 桁以上低減することに成功した。さらに、GaS パッシベーション前の最適な GaAs 表面再構成が As 終端 c (4×4) 構造であることを示し、最終的に界面準位密度を Si MOS 構造に近い値 ($5 \times 10^{10} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$) まで低減することに成功した。これにより GaAs 表面ポテンシャルがフラットバンド化することが明らかになった。

GaS パッシベーションによりフェルミレベルピンニングを解除した n^+ -GaAs へのノンアロイオーミックを初めて実現した。まず、as-deposited 金属/GaS (~10nm)/ n^+ -GaAs 擬似 MIS 構造の電流-電圧特性を調べた結果、ピンニング解除により金属の仕事関数 (Ti < Al < Au) が小さくなるとともにオーミック接合に近づくことを明らかにした。さらに Ti/GaS/GaAs 構造の低温アニール (300°C) により従来のアロイ系 AuGeNi と同程度のコンタクト抵抗率を得ることに成功した。TEM-EDX により GaAs 上に TiGaS 層が形成されていることを明らかにし、ノンアロイオーミック接合が GaAs 表面ポテンシャルをフラットバンド化し、Ti を GaS/GaAs 界面に近づけることにより実現できることを示した。

最後に超薄膜 GaS (~2nm) を InGaP/InGaAs/GaAs HEMT の表面パッシベーションに適用した結果、GaS パッシベーションしていない場合と比べてトランスコンダクタンスの著しい増加が得られた。さらに、ゲートドレイン間 2 端子耐圧のリセス長依存性を調べることにより、リセス領域の界面準位密度が低減していることを示し、GaS パッシベーションが HEMT プロセスに適用できることを明らかにした。これらの結果は、GaAs 系 HEMT で更な

る高性能化が可能となるデバイス構造を実現できることを示唆している。

論文審査の結果の要旨

本論文では、GaAs系 HEMT デバイスの高性能化のために、ターシャリブチル・ガリウムサルファキュベン [(t-Bu)GaS]₄ を用いて MBE 法で作製した GaS 膜による GaAs 表面パッシベーションについて初めて調べられている。HEMT の高速化には、界面準位密度を低減する表面パッシベーションとノンアロイオーミックコンタクトを同時に行うことが重要であり、これを GaS パッシベーションにより実現している。論文の内容は以下の 4 つからなる。

- (1) GaAs 上に MBE 成長した GaS 膜の物性について調べている。TEM と電子線回折により GaAs 上に MBE 成長した GaS 膜の結晶構造を調べ、エピタキシャル GaS 膜がジंकブレンド構造であることを初めて明らかにした。さらに分光エリプソメトリーと XPS により、GaS/GaAs 構造のバンドラインナップはエピタキシャル GaS で Type-I 構造、アモルファス GaS で Type-II 構造であることを初めて明らかにした。結晶構造により ΔE_v は大きく変化するが、 ΔE_c は変化なく約 1eV と電子障壁として十分大きい値を示すことが明らかになった。
- (2) GaS パッシベーションにより増加した GaAs の PL 強度の長期観測（4 年間）により、GaS が非常に安定なパッシベーション膜であることを明らかにした。一方、更なる界面準位密度低減のためには、GaS パッシベーション前の GaAs の表面クリーニングと表面再構成の制御が重要であることを示した。このため、新しい有機 As 原料を用いた GaAs 表面クリーニングを開発し、界面酸素濃度を従来と比べて 2 桁以上低減することに成功した。さらに、GaS パッシベーション前の最適な GaAs 表面再構成が As 終端 c(4×4) 構造であることを示し、ミッドギャップ付近の界面準位密度を Si MOS 構造と同程度の $5 \times 10^{10} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ まで低減することに成功した。これにより、GaAs 表面ポテンシャルがフラットバンド化し、表面空乏層が消失することが明らかになった。また、欠損 As ダイマーによる界面準位形成モデルを提案している。
- (3) GaS パッシベーションによりフェルミレベルピンニングを解除した n^+ -GaAs へのノンアロイオーミックを初めて実現した。従来、GaAs では高いショットキー障壁が形成されるため、ノンアロイオーミックの実現は非常に難しかった。まず、as-deposited 金属/GaS (~10nm)/ n^+ -GaAs 擬似 MIS 構造の電流-電圧特性について調べた結果、ピンニング解除により仕事関数差 ($Ti < Al < Au$) が小さくなるとともにオーミック接合に近づくことを明らかにした。さらに Ti/GaS/GaAs 構造の低温アニール (300°C) により従来のアロイ系 AuGeNi と同程度のコンタクト抵抗率を得ることに成功した。TEM-EDX により GaAs 上に TiGaS 層が形成されていることを明らかにし、ノンアロイオーミック接合が GaAs 表面ポテンシャルをフラットバンド化し、Ti を GaS/GaAs 界面に近づけることにより実現できることを示した。この低温処理でのノンアロイオーミック実現はデバイスプロセスにとって非常に有益である。
- (4) 超薄膜 GaS 膜 (~2nm) を InGaP/InGaAs/GaAs HEMT の表面パッシベーションに適用し、GaS パッシベーションが HEMT プロセスに適用できることを実証した。まず、GaS パッシベーションなしの場合と比べて、GaS パッシベーションした場合、トランスコンダクタンス (gm) を 40% 以上増加させることに成功した。デバイス解析により gm 増加の要因の一つが GaS パッシベーションによるリセス領域のシート抵抗低減であることを示した。さらに、リセス領域の界面準位密度低減によりゲートドレイン間 2 端子耐圧がゲートドレイン間リセス長に依存しなくなることを実験的、理論的に示した。以上の結果は、HEMT の更なる高性能化が可能となるデバイス構造を実現できることを示唆している。

本論文では、ソース材料として [(t-Bu)GaS]₄ を使った MBE 成長による GaS 膜を用いた GaAs 表面パッシベーションについて、詳細に調べられ、GaS/GaAs ヘテロ構造の物性、及び、GaS を利用したデバイスプロセスに関する新しい知見が得られている。本論文が博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。