

THz トランジスタに向けた要素技術開発とその応用に関する研究 (0212004)
Development and Application of Fundamental Technology
For Metal-Insulator-Semiconductor Gate Compound Semiconductor Transistor

高宮三郎 (金沢大学大学院自然科学研究科)

Saburo Takamiya (Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University)

飯山宏一、猪熊孝夫 (金沢大学大学院自然科学研究科)

Koichi Iiyama and Takao Inokuma

(Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University)

研究期間 平成 14 年度～平成 16 年度

概要 : THz トランジスタに向けた要素技術開発並びにその応用として Metal-Insulator-Semiconductor(MIS)ゲート化合物半導体電界効果トランジスタの研究開発を行なった。永く未解明であった絶縁膜/半導体界面近傍の結晶秩序については、第一原理計算による理論解析を行ない、酸素と III 族元素の最安定結合距離が短過ぎることが原因であることを明らかにした。GaAs 表面を酸化後に窒化することで界面近傍の結晶秩序が良好な MIS 構造ができた。これを用いて空乏型並びにエンハンスメント型 GaAs-MISFET を試作評価し、良好な特性を実現できた。Al をレジスト代わりに用いる新プロセスを開発し、超高速化に必要な微細 T 型ゲートに対しても酸窒化を適用可能にした。

Abstract : Field-effect-type compound semiconductor transistors with metal-insulator-semiconductor (MIS) gates were studied. It was clarified by first principles calculations that the essential problem of the insulator-semiconductor interface is caused by the too short bond length between oxygen and group III elements. Oxidation followed by nitridation enabled a high quality interface to be formed on a GaAs surface. Based on this result, both of the depletion mode and the enhancement mode GaAs-MISFETs with respectable performances were successfully fabricated. A new process technique utilizing Al layer as a resist was developed in order to prevent ashing effect and to make fine patterning compatible with oxinitridation

電界効果型トランジスタ (FET) をスケールリング則に沿って高速化する場合に、半導体が表面まで正常であることとゲートの電流洩れが許容範囲内であることが必要である。化合物半導体 FET では Schottky ゲートが使われているが、これを金属/絶縁体/半導体 (MIS) ゲートに置き換えることでゲートの洩れ電流を抑制し、微細化による高速化限界を伸ばすことが期待できる。しかしながら、MIS ゲートを形成する間に界面近傍の半導体の結晶が劣化するため、化合物半導体では MIS ゲートデバイスは未だ実用化には至っていない。また、何故うまくいかないのかも分っていない。本研究では高速限界伸長を最終目的として、化合物半導体 MIS-FET に関する要素技術開発とその応用の研究を行った。

GaAs を紫外線とオゾンで酸化すると、酸化時間の平方根に比例して数~10 数 nm の厚さの酸化膜ができる。この酸化膜はある程度の洩れ電流抑制機能を有するが、酸化によって界面近傍の結晶の劣化が起こる。界面近傍を断面 TEM で調べると、図 1 のように欠陥やすべり面、格子不整合等の結晶秩序の乱れが生じていることが分かる。酸化後に窒素プラズマ処理を行うと、結晶秩序が回復する。これを反映してホトルミネッセンス強度の増加や MIS 構造の電気特性の向上が起こることも確認することができた [1]。この現象を利用して n チャネル GaAs-MISFET を試作した結果を図 2 に示す。酸化膜ゲート FET の場合には結晶の劣化に対応して特性にピンチオフ不良、相互コンダクタンスの異常、大きな

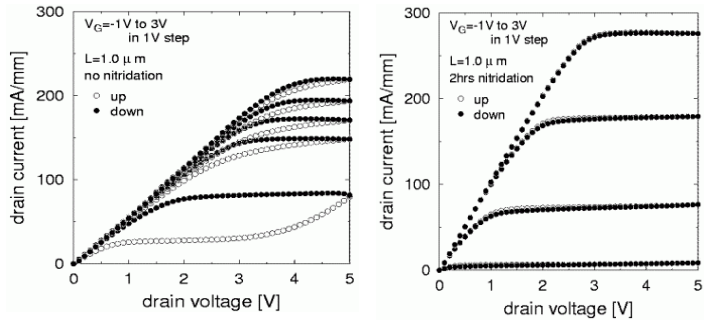
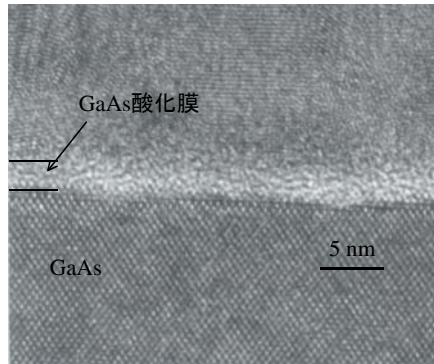


図 1. 酸化した GaAs 表面近傍の断面 TEM 画像 図 2. 酸化膜ゲート FET (a) と酸化窒化膜ゲート FET の直流特性

ヒステリシスが見られるが、酸化後に窒素プラズマ処理を行った酸化窒化膜ゲート FET では結晶秩序の回復を反映して、これら全ての特性が大幅に向上している [2]。図 3 は酸化後の窒素プラズマによる相互コンダクタンスの変化を示す図であるが、界面近傍の結晶が正常で絶縁膜や界面近傍に余分な電荷が無い場合に期待される理想的な特性（フラットバンド電圧で相互コンダクタンスが最大になる）に近付いていることが分かる。エンハンスメント型 GaAs-MISFET についても酸化窒化膜ゲートを適用し、従来報告されているものと比較すると 10~100 倍の大きな相互コンダクタンスが得られることを示した。界面近傍の結晶が正常であることは超高速 FET における必須の要件であり、この点でも酸化窒化が有効に作用していることが分かる。

酸化が何故界面近傍の結晶秩序を乱すのか、窒素プラズマ処理で何故それが回復するのかについて第一原理計算によるストレス解析を行った。酸素や窒素と III 族元素との結合に伴うストレスが原因と考え、これらの現象のみならず報告されている多くの実験結果が矛盾なく理解できることを明らかにした [3]。InAlAs についても計算と実験を行ったが、酸化や窒化の効果は格子定数や結合距離に依存し、InAlAs の場合には酸化窒化は結晶秩序の回復に繋がらない。窒素プラズマはレジストをアッシングするが、Al をレジスト代わりに利用することで、これに対処できることを実験で示した。残る大きな問題点は GaAs の酸化窒化膜は、界面の結晶品質を良くするものの絶縁膜としての機能が弱く、MISFET として実用化するためには追加の絶縁膜を必要とすることである。

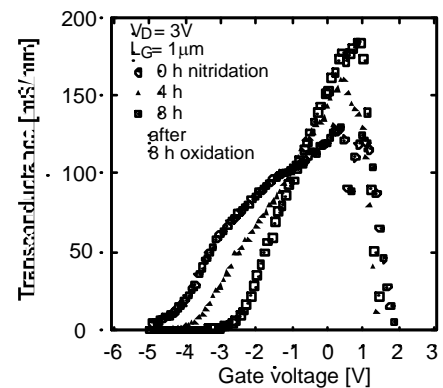


図 3. 相互コンダクタンスに対する窒化の効果

誌上発表リスト

- [1] N. C. Paul, K. Nakamura, M. Takebe, A. Takemoto, T. Inokuma, K. Iiyama, S. Takamiya, K. Higashimine, N. Ohtsuka and Y. Yonezawa, "Structural and electrical characterization of oxidated, nitridated and oxynitridated (100) GaAs surfaces", Jpn. J. Appl. Phys., 42, 7A, pp.4264-4272 (2003)
- [2] M. Takebe, K. Nakamura, N. C. Paul, K. Iiyama and S. Takamiya, "GaAs-MISFETs with insulating gate films formed by direct oxidation and by oxynitridation of recessed GaAs surfaces", IEEE Trans. Electron Devices, 51, 3, pp.311- 316 (2004)
- [3] H. Seto, S. Miyamura, T. Inokuma, K. Iiyama and S. Takamiya, "Mechanical stress caused by adsorption of O or N on Ga-terminated (100) GaAs surface and InAl-terminated (100) InAlAs surface: Degradation of insulator/semiconductor interface", Jpn. J. Appl. Phys., 44, 5A, in press (2005)