

修士学位論文要約（平成29年 3 月）

プラズマ損傷の低減による GaN 系高電子移動度トランジスタの 高性能化に関する研究

邊見 ふゆみ

指導教員：尾辻 泰一， 研究指導教員：末光 哲也

Study on Performance Improvement in GaN High Electron Mobility Transistors by Suppressing Plasma-Induced Damages

Fuyumi HEMMI

Supervisor: Taiichi OTSUJI, Research Advisor: Tetsuya SUEMITSU

AlGaIn/GaN high electron mobility transistors (HEMTs) are attractive for both high-power and high-frequency applications such as the wireless communication systems in microwave and millimeter-wave bands, as well as the high-voltage switching devices. Although those advantages, there are many issues in the fabrication processes which can induce plasma damages on the GaN surface such as ICP (Inductively Coupled Plasma) etching process. The plasma-induced damages are closely related to the degradation of the device characteristics. Therefore, it is necessary to suppress these damages in order to achieve higher and more reliable GaN device performances. In this research, the author introduced neutral beam (NB) etching to the AlGaIn/GaN HEMT fabrication process to improve the device characteristics. In the NB etching system, a carbon aperture array between the ICP chamber and the etching chamber filter our ions and UV photons which cause damages at etched surface. Thus NB becomes almost electrically uncharged and realizes damage-free and accurate etching. We applied NB to the device isolation process and gate recess etching process respectively and suggested that NB etching will pave the way to achieve an advanced integration of GaN devices and pushing the performance limits of present GaN devices.

1. はじめに

GaN 系高電子移動度トランジスタ(HEMT)はミリ波・マイクロ波帯の無線通信デバイスや高耐圧スイッチング素子として注目されている。一方で、近年 GaN HEMT 作製工程中におけるプラズマプロセスが GaN 表面や界面にダメージを与え、デバイス性能を劣化させることが問題視されてきている[1]。こうしたダメージはプラズマ中の電子やイオンによる電荷蓄積や紫外光による欠陥生成が主なものであるが、その欠陥生成機構については研究途上であり、具体的な解決策も示されていないのが現状である。そこで本研究では、プラズマダメージの抑制に有効となる中性粒子ビームエッチング[2]を AlGaIn/GaN HEMT の作製工程に適用してその有効性を検証した。

2. 中性粒子ビームエッチングの導入

中性粒子ビームは従来のプラズマプロセスに含まれる荷電粒子や放射光の基板への入射を抑制し、運動エネルギーを持った中性粒子のみを照射できることから、ダメージフリーの高精度表面反応プロセスが可能であるとして期待されている。中性粒子ビームには数種類の生成方式が報告されているが、ビームの中性度が高く、実用性煮も優れるものは図 1 に示

す寒川らによって開発された装置である[2]。この装置は ICP チャンバーとエッチングチャンバー、および両チャンバーの間に設置されたカーボン電極の 3 つからなっている。ICP チャンバーでは従来の誘導結合型プラズマが生成され、プラズマ中で加速されたイオンは直径 1 mm、厚さ 10 mm のカーボン電極(アパーチャ)を通過する過程で中性化される。本研究では、AlGaIn 層 15.6nm のサファイア基板上 AlGaIn/GaN

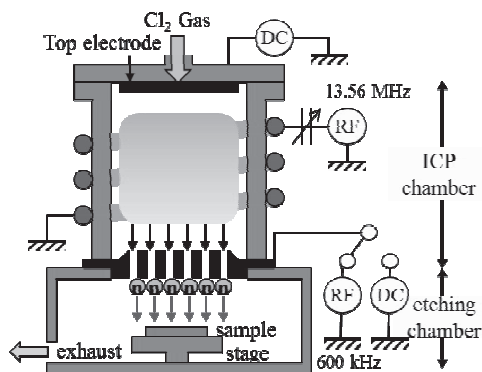


図 1 中性粒子ビームエッチング装置。

HEMT の作製工程において、素子間分離およびゲートリセス構造形成に中性粒子ビームエッチングを適用し、デバイス性能向上への有効性を検討した。

3. 素子間分離工程における中性粒子ビームエッチングの適用効果

AlGaIn/GaN HEMT 基板上に2端子素子を形成し、リーク電流や素子間耐圧を測定した。図1のエッチング装置において、カーボン電極のアスペクト比を変更することによって従来のプラズマ (PB: Plasma-like Beam) エッチングおよび中性粒子ビーム (NB: Neutral Beam) エッチングを実施し、素子間を分離した2端子素子を作製した。エッチング深さは90 nmとした。素子間隔70 nmの2端子素子に10~50 Vの電圧を10 V 間隔で10分ずつステップ状に印加し、リーク電流を測定したところ、図2のような結果を得た。NBでエッチングを行うとPBの場合に比べてリーク電流を抑制できることがわかる。PBサンプルについて、電圧をかけ始めてすぐのリーク電流が大きいことから、GaN の表面欠陥数が多いと考えられ、また、電圧を上げた直後の電流が大きいことから、エネルギー準位のより深い方向に電子をトラップする欠陥が多いと考えられる。

素子間耐圧について、2端子間に1 mA/mm が流れた電圧をソフトブレイクダウンと定義して測定したところ、PB サンプルでは30 V 程度だったのに対し、NB サンプルでは測定限界の210 V 以上の耐圧があることがわかった。以上により、中性粒子ビームエッチングは GaN 表面へ与えるダメージが小さいと推測することができ、将来的な GaN HEMT の高度集積化に貢献できる可能性があると期待される。

4. ゲートリセス構造作製工程における中性粒子ビームエッチングの適用効果

AlGaIn/GaN HEMT は AlGaIn/GaN ヘテロ界面に発生する2次元電子ガスによってノーマリーオン型であるが、高耐圧スイッチング素子としての利用を考えた際にはノーマリーオフ化が求められるため、デバイス構造の工夫等の研究が進められている。その一つ

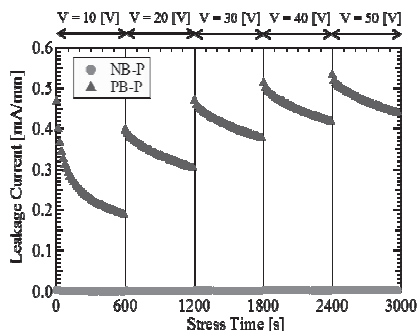


図2 2端子素子へのステップストレス印加時の電流値の時間変化。

がゲート直下の AlGaIn 層を薄層化するゲートリセス構造である。しかし、従来のプラズマエッチングではリセス深さの制御や GaN 表面へのダメージ等の問題があった。本研究では PB または NB を30秒間ゲート直下に照射することでリセスを形成し、デバイス特性を測定した。図3にリセスなし(Reference)、NBリセス、PBリセスの各サンプルで I_d - V_d 測定および Pulse I_d - V_d 測定を行った結果を示す。Pulse 測定では、ゲートに幅0.5 ms, 周期10 msのパルス電圧をかけ、電流応答を見た。PBリセスサンプルでは、Pulse 測定時にドレイン電流が減少する電流コラプス減少が観測されたが、NBリセスサンプルではReferenceと同様、その兆候は見られなかった。また、図3の I_d - V_g 特性の比較により、リセスを形成したサンプルはともに閾値が約+0.6 V シフトしたことがわかる。以上により、中性粒子ビームエッチングはプラズマエッチングに比較してデバイス特性に影響を与えず閾値の正方向シフトに一定の効果を示す可能性があると考えられる。

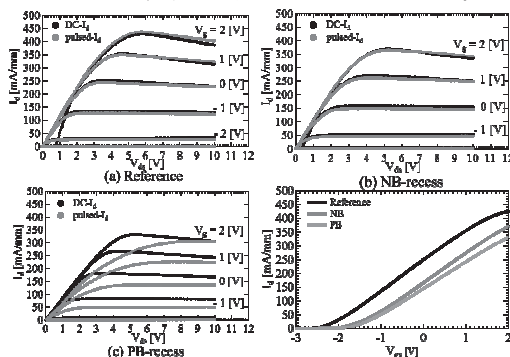


図3 Reference, NB-recess, PB-recess サンプルの DC I_d - V_d 特性と Pulse I_d - V_d 特性の比較、および I_d - V_g 特性の比較。

5. まとめ

AlGaIn/GaN HEMT の素子間分離工程およびゲートリセス構造作製工程に中性粒子ビームエッチングを適用し、従来のプラズマエッチングと比較したところ、素子間リーク電流の抑制や素子間耐圧の向上、および電流コラプスの抑制や閾値電圧の正方向シフトに中性粒子ビームエッチングが一定の効果を示すことが実験的に示唆された。今後、GaN 系 HEMT の高密度集積化やノーマリーオフ化の実現に向けて、中性粒子ビームエッチングの有効性が実証されるものと期待される。

文献

- 1) Z. Liu, J. Pan, T. Kako, K. Ishikawa, K. Takeda, H. Kondo, O. Oda, M. Sekine, and M. Hori, Jpn. J. Appl. Phys., **54**, 06GB04 (2015).
- 2) S. Samukawa, K. Sakamoto, and K. Ichiki, J. Vac. Sci. Technol. A, **20**, 1566-1573 (2002).