

Si イオン注入GaN HEMTの高性能化に関する研究

青柳, 拓也 / AOYAGI, Takuya

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

55

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

3

(発行年 / Year)

2014-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00010399>

Si イオン注入 GaN HEMT の高性能化に関する研究

HIGH BREAKDOWN VOLTAGE OF GaN HEMT WITH FIELD PLATE STRUCTURE

青柳拓也

Takuya AOYAGI

指導教員 中村徹

法政大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程

I fabricated the ion implantation GaN HEMT with field plate structure. Breakdown voltage of 320V was obtained breakdown voltage characteristics are improved by using a field plate structure in the device of Lgd=10 μ m. In addition, the breakdown voltage characteristics are deteriorated field plate edge is close to the ion implanted region. gFP=3~6 μ m was optimal in the device of Lgd=10 μ m

Key Words : GaN, ion-implanted, HEMT, field plate

1. 序論

現在最も多く用いられている半導体材料は Si や GaAs が用いられている。しかし、Si や GaAs では物性的に限界に近づいており、発展が急速な電気機器や交通機関や社会インフラ設備などのために、Si や GaAs 以上の高周波動作、高温動作、高電圧動作が可能な半導体材料が必要である。その次世代半導体材料として注目を浴びているのが GaN や SiC などのワイドバンドギャップ半導体材料である。GaN は Si や GaAs に比べて大きな電子飽和ドリフト速度、絶縁破壊電界を有し、高周波、高耐圧、高温動作が期待され、高周波高出力デバイスとして研究開発が進められている。その素晴らしいパフォーマンスを誇る GaN を用いた代表的なデバイスが GaN HEMT である。HEMT はその特徴である二次元電子ガスにより Si 材料を大きく下回る低オン抵抗と高移動度から高周波動作を実現している。そのため GaN HEMT は、GaN が有する高絶縁破壊電界と HEMT が有する高周波動作により高周波・高耐圧デバイスを実現することができる。

その GaN HEMT の性能を限りなく発揮するには高周波特性・高耐圧特性を共に向上させる必要がある。しかし、高周波化と高耐圧化はトレードオフの関係なため両立して性能を向上させるのは困難である。そこで図 1 のように、ゲート電極の微細化・イオン注入による低オン抵抗化・フィールドプレート構造を組み合わせることによってトレードオフ問題が解決され高周波化・高耐圧化

を両立させることができる。

GaN HEMT の高周波化・高耐圧化の実現のため、高周波化にはゲート電極の微細化・イオン注入による低オン抵抗化を行い、高耐圧化にはフィールドプレート構造を用いる研究をそれぞれ行ってきた。高周波化に関してはデバイスの作成・評価を行いデバイスの高周波化を実現してきたが、高耐圧化に関してはシミュレーション結果のみであるため、高耐圧化を実現できていない。そのため微細ゲートとフィールドプレートを組み合わせる前にフィールドプレート構造を用いたデバイスを作成・評価を行いシミュレーション結果に合致するのかわかめる必要がある。それと同時に、フィールドプレートを高周波化構造に組み合わせる場合のフィールドプレートの長さの最適化もする必要はある。

本研究目的はフィールドプレート構造を用いた Si イオン注入 GaN HEMT の作成・評価を行い耐圧特性の向上・最適化である。具体的に行うことはフィールドプレートによる高耐圧化・フィールドプレート長の最適化・シミュレーション結果との比較である。

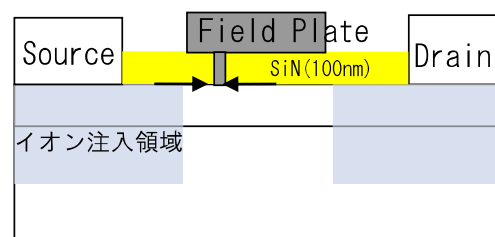


図 1 高周波化・高耐圧化構造

2. シミュレーション結果

デバイス構造を図に示す。サファイア基板上に GaN を $2\mu\text{m}$ 、Al の組成比が 25%の AlGaIn を 25nm、その上に SiN を堆積させ、ソース、ゲート、ドレイン電極を作成した構造をシミュレーション上で再現している。ソース電極及びドレイン電極長は $5\mu\text{m}$ 、ゲート電極長は $1\mu\text{m}$ とし、ゲート電極からフィールドプレートを伸ばしている構造となっている。各電極間距離は $4\mu\text{m}$ とし、ドレイン及びソース電極から $2\mu\text{m}$ の位置までを注入領域としている。また、二次元電子ガス層の設定は電子密度を $7 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 、移動度を $1000\text{cm}^2/\text{Vs}$ とし、注入領域中の二次元電子ガスは壊れていると考えているために注入領域を除く部分に設定している。動作電圧はドレイン電圧を 20V、ゲート電圧を 0V と設定した。

本研究ではフィールドプレートの長さを gFP として $0 \sim 3\mu\text{m}$ 、SiN の厚さを $30 \sim 150\text{nm}$ まで変化させて解析を行った。また、今回は sentaurus デバイスシミュレータを用いて行った。

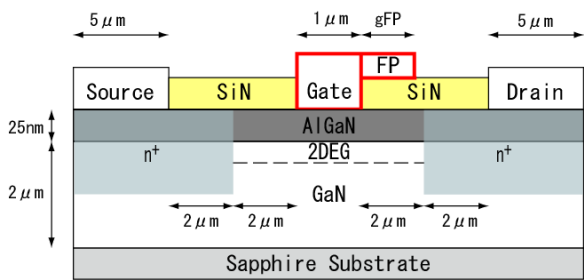


図2 ゲートフィールドプレート構造を用いたイオン注入 AlGaIn/GaN HEMT の断面構造図

図3は SiN が 100nm のシミュレーション結果である。縦軸は電界強度、横軸はフィールドプレート長 (gFP) のグラフである。gFP= $0\mu\text{m}$ (フィールドプレートなし) の時、ゲート電極端に電界が集中しデバイスに負荷が掛かっているのが確認できる。gFP= $0.5 \sim 2\mu\text{m}$ の時、gFP= $0\mu\text{m}$ と比較すると電界がフィールドプレートへと分散し電極端への集中が緩和されていることが確認できる。gFP= $2.5, 3\mu\text{m}$ の時、フィールドプレートを伸ばしすぎるとイオン注入領域との境界で電界が集中してしまいデバイスに負荷が掛かってしまうことが確認できる。これらの結果から、フィールドプレート長の最適化については $0.5\mu\text{m}$ 以上かつ $2\mu\text{m}$ 未満であることがわかった。また、SiN の厚さの最適化については 100nm 前後であることがわかった。このシミュレーション結果をもとにデバイスの作成を行った。

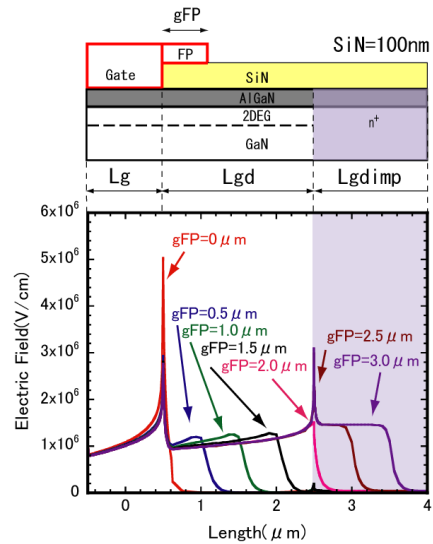


図3 AlGaIn 表面電界分布 (SiN= 100nm)

3. 実験条件

図4に試作したデバイスの断面構造を示す。基板はサファイア基板に undoped GaN $2\mu\text{m}$ 、undoped AlN 1nm 、undoped AlGaIn 8nm 、undoped GaN 2nm が成長されたものを使用した。ソースドレイン領域に Si イオンを注入エネルギー 80keV 注入量 $1.25 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 、 30keV $0.25 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ で注入し、 1200°C で 2 分間、窒素雰囲気中で活性化熱処理を行った。GaN への Si イオン注入はオン抵抗の低減に効果的である。ソース、ドレイン電極には Ti/Al を $50/200\text{nm}$ 蒸着し、 550°C で 1 分間の合金化熱処理を窒素雰囲気中で行った。ゲート電極には、Ni/Al を $50/150\text{nm}$ 蒸着した。SiN 保護膜を 100nm スパッタ装置で蒸着し、フィールドプレートを装着するためゲート電極上を BHF 混合液 (HF: $\text{CH}_3\text{COOH} : \text{NH}_4\text{F} = 1:20:7$) を用いてウェットエッチングを行い、その後フィールドプレートとして Ni/Al を $50/150\text{nm}$ 蒸着した。

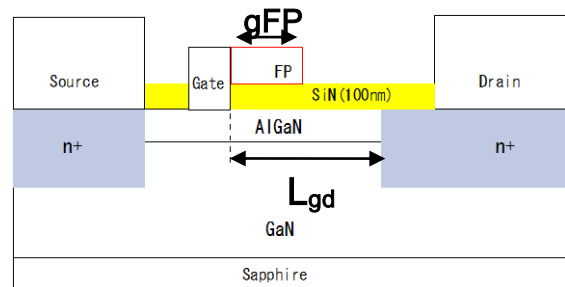


図4 試作デバイスの断面構造図

今回の実験で重要な実験条件を以下に示す。ゲート電極長は $5\mu\text{m}$ 、ゲート幅は $5\mu\text{m}$ とした。フィールドプレートの長さ gFP は $0, 3, 6, 9, 12, 15 \mu\text{m}$ とした。さらにゲート電極からドレイン側イオン注入領域までの距離 Lgd は $5, 10, 18\mu\text{m}$ とした。この gFP と Lgd の距離を変化させることにより、耐圧特性がどのように変化するか検討

を行った。

4. 実験結果

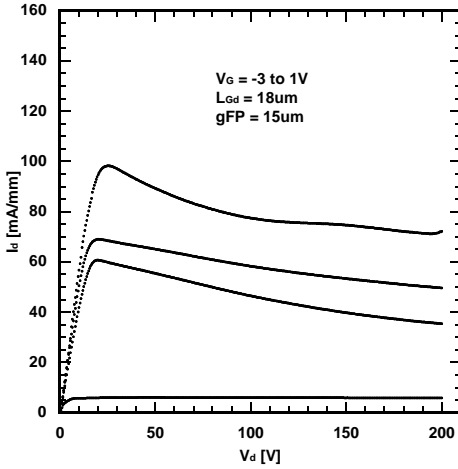


図5 ドレイン電流-ドレイン電圧特性

図5は試作した GaN HEMT のドレイン電流-ドレイン電圧 (I_d - V_d) 特性である。図5のデバイスではドレイン電圧が 200V という高電圧領域化でも通常動作することができ、ゲート電圧 1V の時、ドレイン電流 (I_{ds}) が 100mA/mm という結果が得られた。

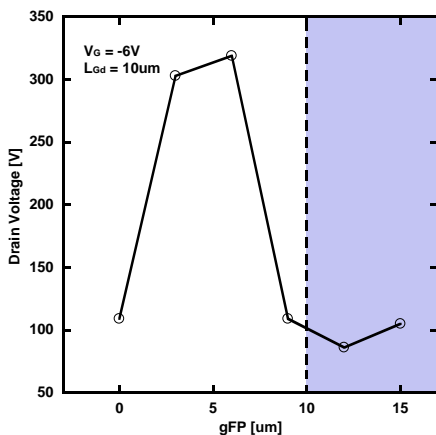


図6 耐圧特性

図6は L_{gd} を $10\mu\text{m}$ 一定にし、 gFP を 0, 3, 6, 9, 12, $15\mu\text{m}$ と変化させた場合の耐圧特性である。 $gFP=0$ (フィールドプレートなし) の時、耐圧が約 100V だったのに対して gFP を 3, $6\mu\text{m}$ と伸ばすと耐圧特性が 200V 以上向上し $gFP=6\mu\text{m}$ の時、耐圧が 320V という結果が得られた。そしてさらに、 gFP を 9, 12, $15\mu\text{m}$ とイオン注入領域へと伸ばすと、イオン注入領域上 (紫部分) で電界が集中し、耐圧が劣化しているのが確認できる。この結果から $L_{gd}=10\mu\text{m}$ のデバイスでは $gFP=3\sim 6\mu\text{m}$ が最適であることが確認できる。さらにシミュレーション結果とほぼ同様の結果が得られたことから、シミュレ

ーション結果の再現性も確認できた。

5. 結論

フィールドプレート構造を用いたイオン注入 GaN HEMT を作成した。

$L_{gd}=10\mu\text{m}$ のデバイスにおいてフィールドプレート構造を用いることによって 200V 以上耐圧特性が向上し 320V という耐圧が得られた。また、フィールドプレート端がイオン注入領域へと近づくと耐圧特性が劣化した。 $L_{gd}=10\mu\text{m}$ のデバイスでは $gFP=3\sim 6\mu\text{m}$ が最適であった。

謝辞：本研究を行うにあたってご指導頂きました法政大学理工学部、中村徹教授に深く感謝いたします。また、研究を支援していただいた法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター、野本一貴氏、法政大学イオンビーム工学研究所、西村智朗准教授、法政大学、外崎翔氏、小川弘貴氏、岡田裕太郎氏、中村研究室の皆様、日立電線株式会社、三島友義氏、株式会社ケミトロニクス、葛西武氏に感謝いたします。簡単ではありますが、これを謝辞とさせていただきます。

参考文献

- 1) 中村 徹・三島友義 共著, 「超高速エレクトロニクス」, コロナ社
- 2) 本城 和彦 著, 「マイクロ波半導体回路 基礎と展開」, 日刊工業新聞社
- 3) S・M・ジー 著 『半導体デバイス (第2版)』, 産業図書
- 4) Kazuki Nomoto et al., "Remarkable Reduction of On-Resistance by Ion Implantation in GaN/AlGaIn/GaN HEMTs With Low Gate Leakage Current", *IEEE Electron Device* vol.28, no.11, pp.939-941, 2007.
- 5) J. W. Chung, W. E. Hoke, E. M. Chumbes, and T. Palacios, "AlGaIn/GaN HEMT with 300-GHz f_{max} ," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 31, no. 3, pp. 195- 197, Mar. 2010.