

T型微細ゲート GaN-HEMT の高性能化に関する研究

OKADA, Yutaro / 岡田, 裕太郎

(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

(巻 / Volume)

56

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

3

(発行年 / Year)

2015-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00011099>

T 型微細ゲート GaN-HEMT の高性能化に関する研究

THE GATE ELECTRODE LENGTH SCALING OF GaNHEMT WITH T-GATE ELECTRODE

岡田 裕太郎

Yutaro OKADA

指導教員 中村 徹

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

This paper describes method improvement of gate electrode formation and injector region formation of gallium nitride high electron mobility transistor on sapphire substrate by Electron Beam Lithography Exposure.

We archived gate electrode length of 30nm and $L_{sg}=0.4\mu m$ by changing the developing fluid ,development temperature and Dosetime (exposure time per dot) of Electron Beam Lithography.

Key Words: GaN, HEMT, Electron Beam Lithography

1. 序論

現在主流になっている半導体材料は Si や GaAs である。しかし、Si や GaAs では物性値に限界がきており近年発展している携帯電話や WiMAX などの無線通信技術の発展に要求される半導体デバイスの高周波化、高耐圧化は期待できない。そこでこれを解決する半導体材料として注目されているのが、化合物半導体の窒化ガリウム GaN である。GaN は従来の Si や GaAs に比べて大きな電子飽和速度、絶縁破壊電界を有している為、高周波で高耐圧、高音動作が期待され、高周波パワーデバイスとして近年研究や開発が進められている。GaN を用いた代表的なデバイスは GaNHEMT である。HEMT は二次元電子ガスにより従来の材料よりオン抵抗が低く、高移動度や高周波特性を実現している。そのため GaNHEMT は GaN の高物性値と、HEMT の高周波動作により高周波・高耐圧デバイスが期待されている。

GaNHEMT のデバイス性能を高性能化する為には、更なる高周波特性・高耐圧特性の向上が必要である。しかし、高耐圧特性と高周波特性にはトレードオフの関係がある為従来の構造では双方の性能を向上させるのは困難であった。そこで図 1 のような構造が提案された。図 1 のように、ゲート電極を微細化し、イオン注入によりオン抵抗を低減させ、T 型ゲート電極にすることでトレードオフの問題が解決され高周波・高耐圧のデバイスを実現することが出来る。

この高周波・高耐圧化を実現する為、高周波化に関してはゲート電極の微細化・ L_{sg} の微細化に関する研究を行った。ここで L_{sg} とは図 1 のゲート電極と Si イオン注入層間距離のことである。また高耐圧化に関してはゲート

電極を T 字型にすることで、一部にオーバーラップ形状を設け、フィールドプレート効果による電界集中の緩和化に関する研究を行った。

また、この研究では実際にデバイスを試作して測定を行っていないので、本研究の成果を活かしたデバイスを試作し、計測する必要がある。

本研究目的は、T 型微細ゲート GaN-HEMT 構造（図 1）を想定した際のゲート電極の微細化、 L_{sg} の微細化である。

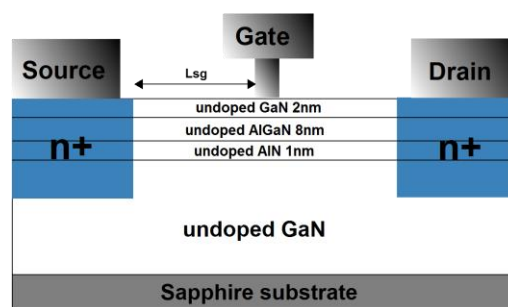


図 1、デバイス構造

2. 実験条件

（1）ゲート電極の微細化

ゲート電極や L_{sg} を微細化するにあたって、従来の現像液キシレンでは微細化に限界がきていた。そこで、キシレンとは異なる現像液を使う必要があった。本研究では、ポジ型レジストにアニソールを使っている。アニソールは樹脂レジストなので第一石油類（MEK や MIBK

等)で溶解することが分かっており、近年現像液としてもちいられている。しかし、この第一石油類(MEK と MIBK)だけでは現像力が強いため、これらの混合液 MEK:MIBK=1:1 に IPA (リンス剤)を加えることによって現像力を調整し、最適な現像液の選択をした。

この現像液を用いて、ゲート電極微細化の条件だしとして図 2 のように基板上に電極が出来るように電子線描画装置を用いて描画し、描画条件や現像条件の変更によって電極の微細化を図った。条件だしは、現像液の温度、DoseTime (1dot 当たりの露光時間)を主な対象にし、リソグラフィ工程のレジスト描画・現像の部分为主軸に行った。

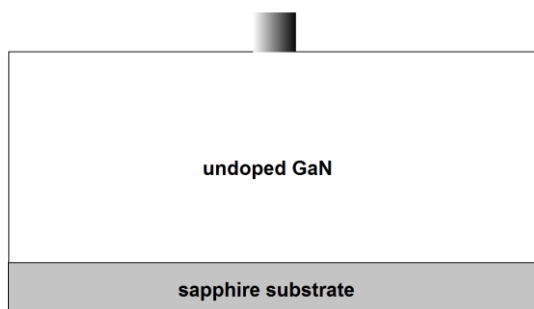


図 2、ゲート電極の微細化

(2) Lsg の微細化

Lsg の微細化条件だしとして図 3 のように基板上に LINE&SPACE パターンが出来るように電子線描画を用いて描画し、現像後のレジストによる SPACE パターンの微細化を描画条件や現像条件の変更によって図った。現像液は(1)の条件だしで選択したものを使い、DoseTime に関しての条件だしを行った。

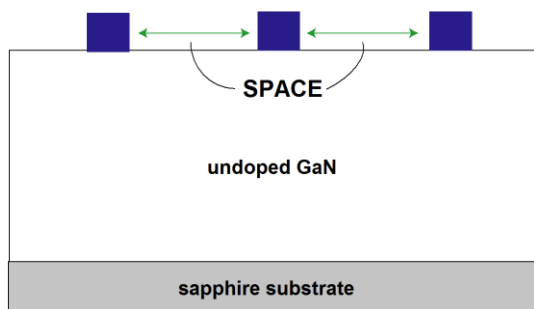


図 3、Lsg の微細化

3. 実験結果

(1) ゲート電極の微細化

今回ゲート電極微細化の条件だしに用いた現像液は IPA:MEK:MIBK=6:1:1 である。

図 4 に混合現像液とキシレンで形成される電極の長さが異なることを示す。グラフより混合現像液 (IPA:MEK:MIBK=6:1:1)の方がより微細化が出来る。

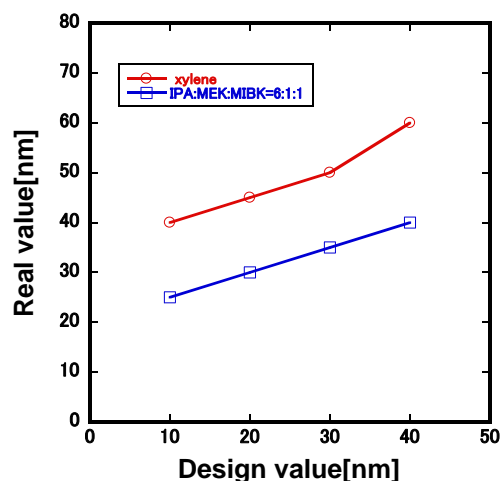


図 4、現像液とゲート電極長の関係

次に、現像温度とゲート電極長の関係を図 5 に示す。

図 5 を見ると、温度が低くなるほど微細化される傾向にあるが、14℃になるとリフトオフの失敗などにより実測値が大きくなる為、15℃が最適な現像温度であった。

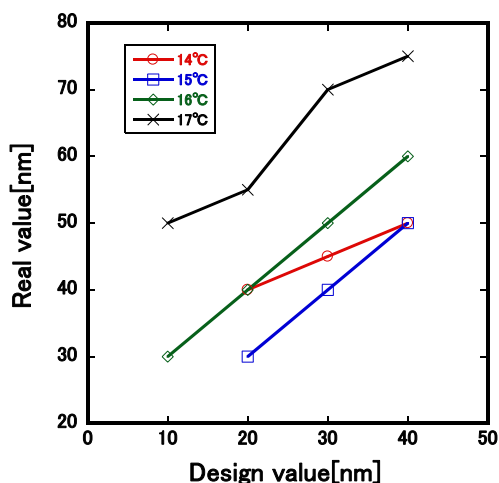


図 5、現像温度とゲート電極長

また、DoseTime とゲート電極長の関係を図 6 に示す。

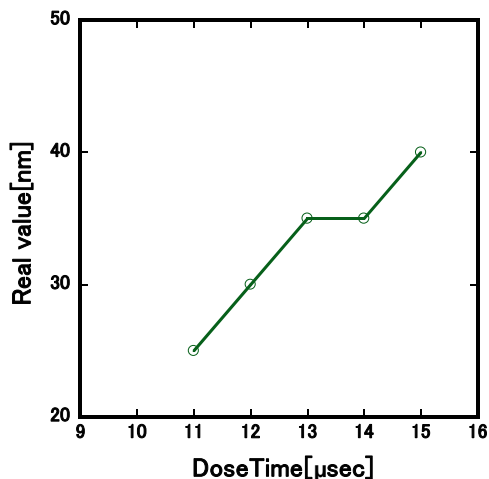


図 6、DoseTime とゲート電極長

図 6 を見ると DoseTime が小さくなればなるほどゲート電極長は微細化されていく傾向にあるのが分かる。

しかし、DoseTime が 11 μ sec 以下になるとリフトオフ等の失敗により電極が断線してしまうことが多く、電極の形成率が低かったことにより、DoseTime12 μ sec が最適である。

DoseTime 12 μ sec で描画することで、最小 30nm のゲート電極の形成に成功した。

(2) Lsg の微細化

図 7 は、DoseTime と SPACE パターン長の関係をグラフにしたものである。グラフから、DoseTime が大きくなればなるほど出来る SPACE パターンは微細化されていく傾向にあるのが分かる。

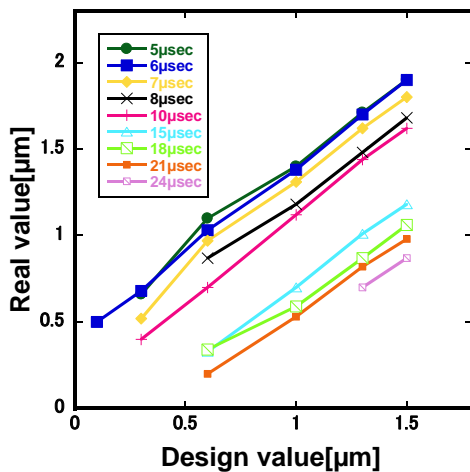


図 7、DoseTime と SPACE パターン長

しかし、実際は DoseTime が 15 μ sec を超えるあたりから現像後のレジストパターンが粗くなっていくことにより、デバイスには応用できない。

そこで、測定値と設計値のずれを分かりやすくするため、図 8 に SPACE パターン長の実測値を設計値で割ったものと DoseTime の関係のグラフを示す。

図 8 より、DoseTime10 μ sec で測定値が設計値に近くなるように収束しているので、DoseTime10 μ sec が最適であると考えられる。

DoseTime10 μ sec で描画をすることで 0.4 μ m の SPACE パターン形成が出来たので、Lsg=0.4 μ m を実現することが出来る。

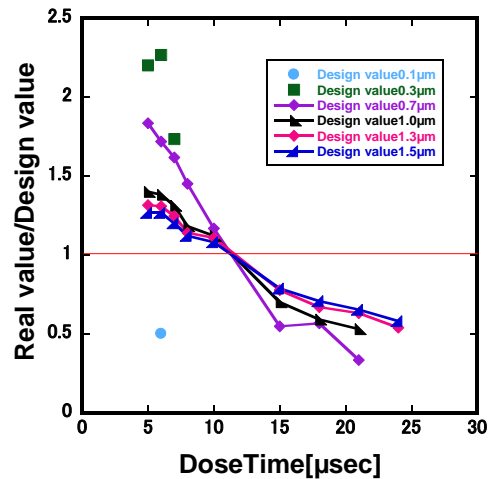


図 8、測定値/設計値と DoseTime

4. 結論

T 型微細ゲート GaN-HEMT を高性能化するために、ゲート電極長を 30nm に微細化することを成功した。

また、Lsg を 0.4 μ m に微細化することに成功した。

この結果により $F_t \approx 130$ [GHz] $F_{max} (UG) \approx 150$ [GHz] の高周波特性が見込まれる。

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、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、金澤翔氏、渡邊航氏、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。

r

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) S・M・ジョー著：半導体デバイス（第2版），産業図書
- 3) 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.
- 4) 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.