

### GaN 基板上縦型 p-n 接合ダイオードの高耐圧化に関する研究

金澤, 翔 / KANAZAWA, Sho

---

(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)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014168>

# GaN 基板上縦型 p-n 接合ダイオードの高耐圧化に関する研究

Research vertical p-n junction diode with high breakdown voltage on GaN substrate

金澤 翔

Sho KANAZAWA

指導教員 栗山一男

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

Mesa-structured p-n diode on a GaN substrate was investigated. The breakdown voltage of the diode does not depend on the distance between the end of the mesa edge and that of the electrode. However, it was found that the distance over 2  $\mu\text{m}$  was necessary to prevent the damage of dry etching. Leakage current of the diode with KNN protection films and TiAl electrodes was drastically reduced when diode was annealed at a temperature of 300 C.

## 1. 序論

シリコン(Si)は大規模集積回路に用いる半導体材料で不純物を添加することにより p 型および n 型領域が選択的にまた安定して形成できるため、大規模集積回路以外の半導体デバイスにも広く用いられている。しかし、Si の絶縁破壊電界強度は  $3.0 \times 10^5 \text{ V/cm}$  であり、窒化ガリウム (GaN) や炭化シリコン (SiC) に比べて 1 桁程度小さい [1]。GaN は絶縁破壊電界強度だけでなく、飽和速度も Si に比べて高いので、高耐圧のパワーデバイスや高速デバイス用半導体材料として注目されている。

本研究では、GaN 基板上に形成した縦型 pn 接合ダイオードの高耐圧化を実現するため、デバイス構造、製造プロセスおよび絶縁体保護膜の電気特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、デバイス試作を行った。

## 2. 縦型 p n 接合ダイオード構造検討

GaN 縦型 p n 接合ダイオードは GaN 基板上に n 型および p 型層をエピタキシャル成長し、メサ型にエッチングすることによって形成される。このとき、メサ型形状、特に電極端部とメサ側面との距離はダイオードの諸特性に大きな影響を与えることが知られている [2]。図 1 は、試作した縦型 p n 接合ダイオードの構造である。

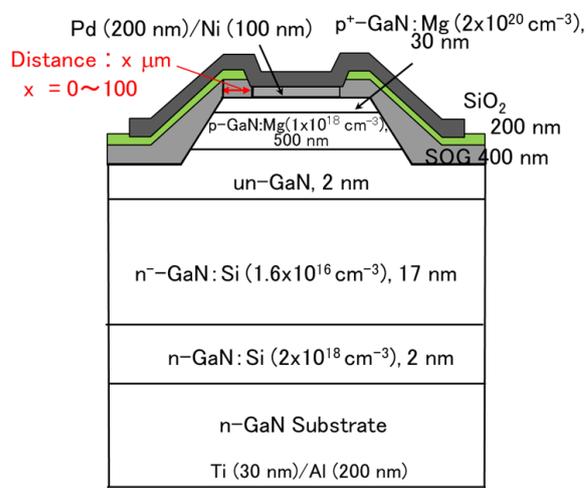


図 1 縦型 p-n 接合ダイオード

図 1 で示した Distance : x と表記された電極端からメサ端の距離を変化させたときのオン抵抗および DC 特性を測定した。本研究では、距離 x を、0~100  $\mu\text{m}$  へ変化させた。図 2 に順方向電圧 4V 時のオン抵抗の距離 x 依存性を示す。

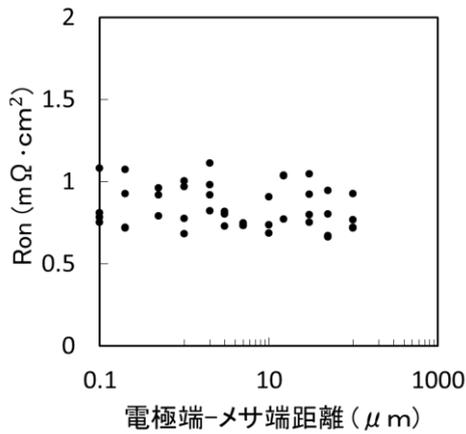


図2 電極端-メサ端距離に対するオン抵抗

図2より、電極端-メサ端距離  $x$  を変化させても、オン抵抗値は殆ど変わらなかった。これは、順方向電圧 4V の大電流領域では p-GaN の横方向の抵抗が大きく、p-GaN 内での電流の横方向拡がり非常に小さいためであると思われる。この結果から、少なくとも所望のオン抵抗を達成するダイオード構造を設計するためには、電流の横方向の拡がりをほとんど考慮せずにメサ構造 p-n 接合ダイオードの寸法を決定できるということが分かった。

### 3. プラズマエッチングによるダメージ

縦型ダイオード作成時にドライエッチングによってメサ構造を形成するとプラズマが照射された GaN 層の側面にダメージが入る。このダメージを介してダイオードのリーク電流が生じやすくなり耐圧が下がることが予想される。そのため、本研究ではドライエッチングによるダメージでのリーク電流を防ぐため、ダメージを DC 特性からメカニズムを解明し、ダメージの回復法を考察した。

図3は、DC 特性の距離  $x$  をパラメータとして測定した結果である。

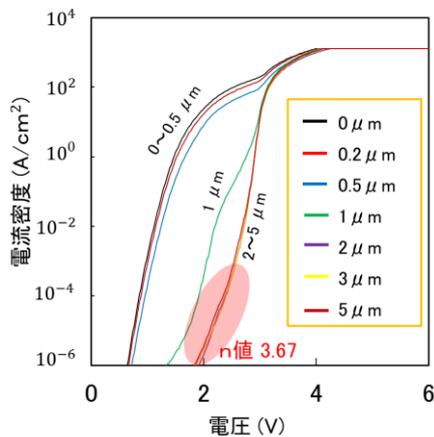


図3 順方向電流電圧特性

図3のグラフより、電極端-メサ端距離  $x$  が 0~0.5  $\mu\text{m}$  の場合、電圧 3V 以下で大きなリーク電流がみられ、距離

$x$  が大きくなるにつれてリーク電流は減少している。対して、電極端-メサ端距離  $x$  が 2  $\mu\text{m}$  以上ではリーク電流が小さく、電極端-メサ端距離  $x$  に依存せずほぼ一定の値となった。

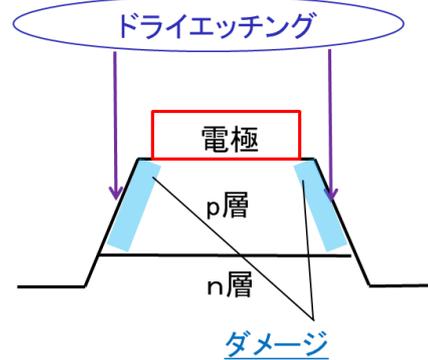


図4 メサ側壁部分のエッチングダメージ

この原因は図4に示すように、メサ側面がエッチングによりダメージを受けることにより p 層が一部 n 型化へし、その部分に直接 p 型オーミック電極である Pd が形成された場合、その部分はショットキバリアダイオードとなり、リーク電流の増大を招いていると考えられる。電極端-メサ端距離  $x$  が大きくなるにつれて、n 型化した部分と Pd との接触面積が減少し、ショットキバリアダイオードによるリーク電流の成分が減少する。さらに n 型化した部分と Pd が直接接触しなくなるとショットキバリアダイオードによるリーク電流の増大はなくなるため、それ以上の電極端-メサ端距離  $x$  では電流値はほぼ一定になると思われる。今回の検討では、エッチングダメージにより p 層が n 型化した部分は、メサ端から約 1  $\mu\text{m}$  程度と考えられる。したがって、電極端-メサ端の距離  $x$  は 2  $\mu\text{m}$  以上を必要とするといえる。

これに対し、図3の電極端-メサ端距離  $x$  が 2~5  $\mu\text{m}$  の電流電圧特性からは、電圧 2.5V 以下でリーク電流が原因と思われる n 値の増大が確認された。

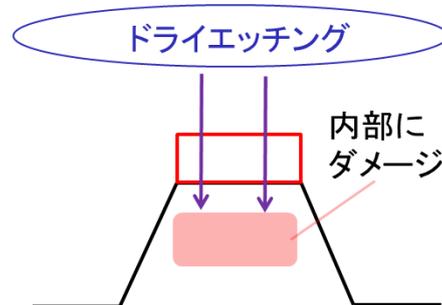


図5 メサ内部でのエッチングダメージ

このダメージは電極端-メサ端距離  $x$  の依存性がないため側面ではなく、図5に示したような、メサ形成時にエッチングマスクを、エッチング種であるイオン等が突き抜けて p 層内部で発生するダメージであると仮定した。

#### 4. プラズマエッチングダメージの回復プロセス

前述の図5で示したダメージはp層内部でのダメージであると仮定したため、p層に対する活性化アニールを行いエッチングダメージの回復をさせることを試みた。メサ形成エッチング後、エッチングマスクを除去し、保護膜としてSiNを堆積させ、850°Cで窒素雰囲気中30分間の活性化アニールを行った。その後のDC特性を図6に示す。

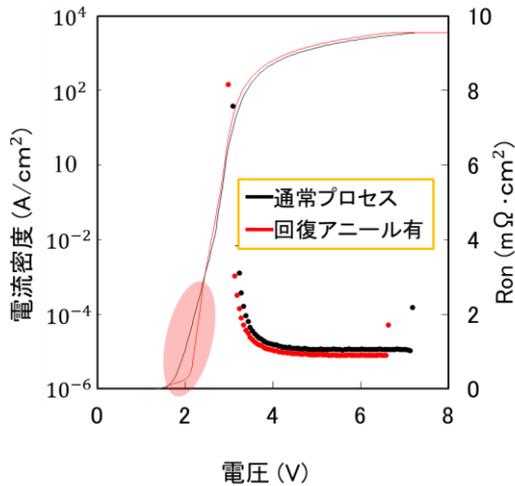


図6 アニールの有無による電流電圧特性比較

2.5V付近で比較した場合通常プロセスでの試料のn値は、3.6~4.6になった。対して、活性化アニールを行なうとn値は約2.21と低くなった。この結果から、活性化アニールをメサ形成後に行うことにより、p層内部でのダメージが回復したといえる。

#### 5. KNN保護膜を使用したリーク電流の低減

図2で示した構造のように、ダイオードの保護膜に本研究室ではSiO<sub>2</sub>を使用している。SiO<sub>2</sub>は比誘電率が3.9[3]と低い値をとるため、メサ側壁面部分のSiO<sub>2</sub>に電界集中が起こると絶縁破壊を起こし、ダイオードの耐圧が下がる要因になる。そこで、本研究では図7で示したように比誘電率が300~400の圧電材料[4]であるKNNの使用する場合の検討を行なった。

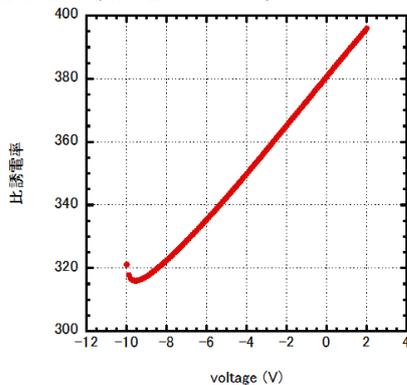


図7 KNN膜の比誘電率

評価した基板の構造は以下の構造を使用して行なった。



図8 KNN膜評価用基板構造

図8の構造を使用し、+電極にTi/Al(30nm/250nm)を用いてKNN膜の絶縁破壊電界を測定した。図9にKNN膜の絶縁破壊電界を示す。

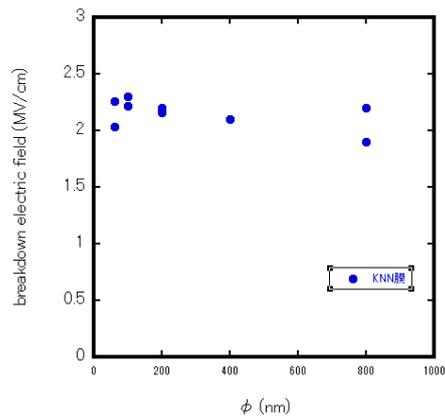


図9 KNN膜の絶縁破壊電界

従来、SiO<sub>2</sub>の絶縁破壊電界は0.25~0.4(MV/cm)である。対してKNN膜は約2~3(MV/cm)とSiO<sub>2</sub>と比較して高い絶縁破壊電圧を持つため、保護膜としてはSiO<sub>2</sub>よりも優れていると考えられる。

電極形成後に150~300°Cのベークを空气中で60分間行ない、リーク電流の減少を試みた。以下に、電流電圧特性におけるベーク温度依存性のグラフを示す。

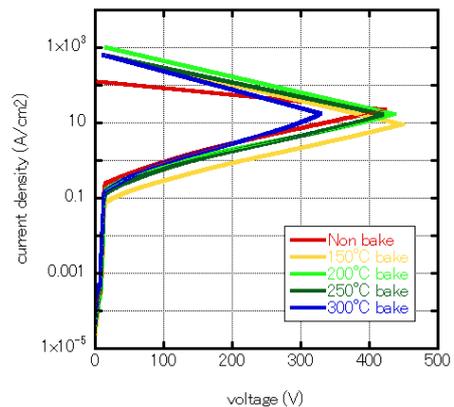


図10 KNN膜の電流特性

図10で示したように、KNN膜上に電極を形成後のベーク温度が高いほどリーク電流の減少がみられた。ただし、300°Cを超えると電極がショートしてしまうため、300°Cが最も適しているといえる。

## 6. 結論

GaN 縦型 p n 接合ダイオードのオン抵抗および製造プロセスのドライエッチングの電気特性への影響について検討した。電極端-メサ端距離  $x$  を変化させて静特性を測定した結果、距離  $x$  とオン抵抗には依存性がないことが分かった。しかし、縦型 p n 接合ダイオードのメサ形成を行う際のドライエッチングダメージによるリーク電流の影響を除去するためには、最小寸法でも  $2\mu\text{m}$  以上必要なことが分かった。さらに、縦型 p n 接合ダイオードの電流-電圧特性における理想係数  $n$  値増大を改善させる方法を検討した結果、メサ形成後に活性化アニールを窒素雰囲気中で  $850^\circ\text{C}$  の熱処理を 30 分間行なうことにより、アニールなしの場合の  $n$  値 3.6~4.6 に対し、アニールありの場合には  $n$  値が約 2.21 となることが分かった。また、ダイオード保護膜に使用される  $\text{SiO}_2$  の絶縁破壊電界が  $0.25\sim 0.4(\text{MV}/\text{cm})$  に対して、高誘電体膜 KNN は  $2\sim 3(\text{MV}/\text{cm})$  とかなり高い値を示した。

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、栗山一男教授に深く感謝いたします。また、本研究を支援していただいた法政大学、太田博氏、栗山研究室の皆様、三島友義氏、葛西武氏、堀切文正に感謝いたします。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) S. M. ジー: 半導体デバイス 基礎理論とプロセス技術 第2版 pp265
- 2) 浅野勝則: 高耐圧 SiCFET およびダイオードの電力変換回路への適用に関する基礎的研究, 京都大学 Dissertation, pp15
- 3) 畑野 舞子: 窒化物半導体トランジスタの高温動作に関する研究, 福井大学学位論文, pp. 98-99, 2014
- 4) 稲垣 友美: ニオブ系無鉛圧電結晶の合成と強誘電性分域構造に関する研究, 名古屋工業大学博士論文, pp1-6