

GaNへのMgイオン注入によるp型層形成の検討

SAIJO, Yusuke / 西城, 祐亮

(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)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

3

(発行年 / Year)

2016-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013031>

GaN への Mg イオン注入による p 型層形成の検討

P-TYPE FORMATION OF GaN BY Mg-ION IMPLANTATION

西城 祐亮

Yusuke SAJO

指導教員 中村徹

法政大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程

A selective area doping technology is required for making high performance GaN devices. Usually, ion implantation is used as a method of the selective area doping, but formation of the p-type conductive layer by ion implantation has been difficult for GaN. Mg-ion implanted layers in n-GaN on a high quality free-standing GaN substrate show p-type conduction after high temperature annealing at 1230°C, but Implanted layer consisted of uniform p-type crystalline area and localized crystal defects having n-type conduction.

Key word: GaN, Mg, p-GaN

1. 序論

GaN は広いバンドギャップ、高い絶縁破壊電界、電子飽和速度が広いことなどから、パワーデバイスへの応用が期待されている材料である。[1]

この優れた物性値をより広い分野で用いるためには、結晶成長後の不純物ドーピング技術の開発が不可欠である。Si では、イオン注入法を用いて任意の場所に n 型および p 型層を形成し、パワーデバイスの開発が行われている。GaN への n 形不純物ドーピングは主にエピタキシャル成長で行われているが、イオン注入でも n 型は Si を用いて可能である。一方、イオン注入法による p 型層の形成は困難で、その原因の解明やデバイス試作の報告はほとんどないというのが現状である。そのため、p 型導電層の形成はデバイス製作技術における最大の重要課題である。

当研究室では、Mg のイオン注入での p 型層の形成を試みてきた。低温 PL 測定では 3.28eV 付近で Mg アクセプトア起因の発光であると考えられる donor-acceptor pair(DAP)[2]による発光を観測した。電気特性ではオーミック電極として Pd を、裏面の電極として Ti/Al を蒸着して縦型の Diode 構造にした時の順方向-逆方向特性では整流性を確認した。しかし、順方向-逆方向特性を解析した結果、2 段階の電流上昇が発生している事がわかった。そこで、注入層では p 型層が形成できた部分と何らかの原因による n 型領域が混在しているのではないかと考え、イオン注入層の微視的評価を行った。

2. 実験条件

本研究では n 型の GaN 基板に MOVPE 法で成長させた 2.5mm の undoped-GaN を用いた。注入条件を図 1 に示す。

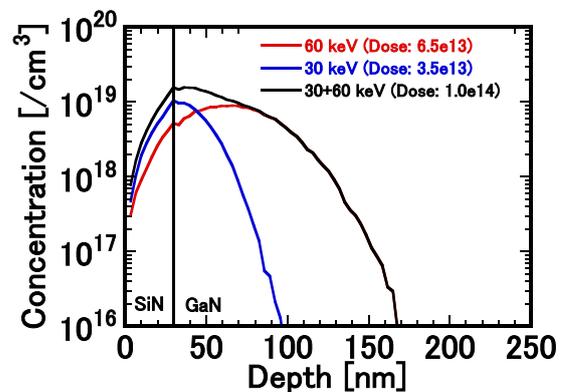


図 1 SRIM シミュレーションによる不純物分布

まず注入保護膜となる SiN をマグネトロンスパッタリング装置にて 30nm 堆積した。その後イオン注入装置にて Mg イオンを 30, 60 keV のエネルギーでそれぞれ 3.5×10^{13} , $6.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ のドーズ量で 2 重注入した。注入後、熱処理保護膜となる SiN を再度マグネトロンスパッタリング装置にて SiN 膜を 50 nm 堆積した。活性化熱処理は、窒素雰囲気中において 1 分間約 1230°C で行った。ダイオード特性の評価には表面に 60mm 径の Pd 電極(厚さ 200 nm)、基板裏面に Ti/Al 電極を形成した。

3.実験結果

Mg イオン注入を用いて作製した p-n 接合ダイオードの I-V 特性を図 2 に示す。

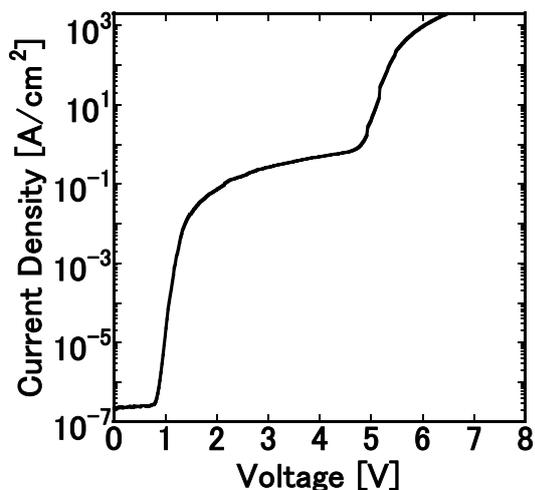


図 2 順方向-逆方向 I-V 特性

通常のエピタキシャル成長で作製した p-n 接合ダイオード異なり、2 段階の電流上昇を確認した。

図 3 に熱処理した試料の顕微鏡画像、図 4 に室温での Photoluminescence(PL) のマッピング画像を示す。



図 3 顕微鏡画像

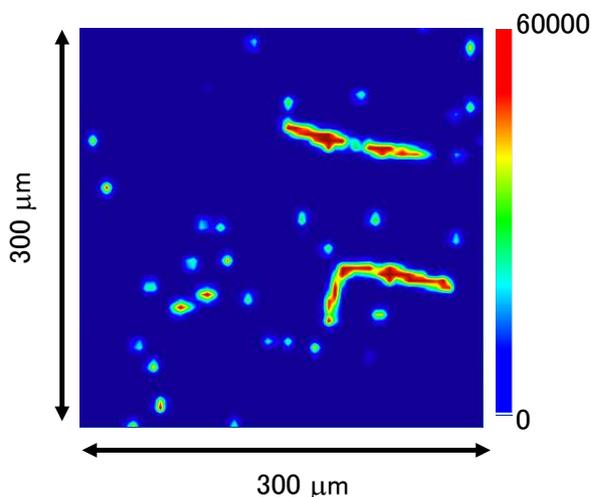


図 4 室温での PL マッピング

光学顕微鏡像の暗い筋に対応した部分や点において発光強度が強くなっている。これらの明るい領域の密度は 1cm^2 に対し 10^4 個程度であった。用いた GaN 結晶の転位欠陥密度は 10^6 乗台であるため、それより 2 桁以上少ない値で、転位欠陥が関係しているとは考えにくい。また、GaN 結晶の欠陥は貫通転移のみで筋状の欠陥が表面に存在することはない。

よって、これらは、SiN 膜のピンホールやクラックを通してアニール中に GaN から窒素抜けが生じ、窒素空孔によるドナーが生成されてドナー・アクセプタ起因の発光が強くなったためと推定される。この発光領域は n 型になっていると考えられる。

予想されるダイオードの断面図を図 5 に示す。

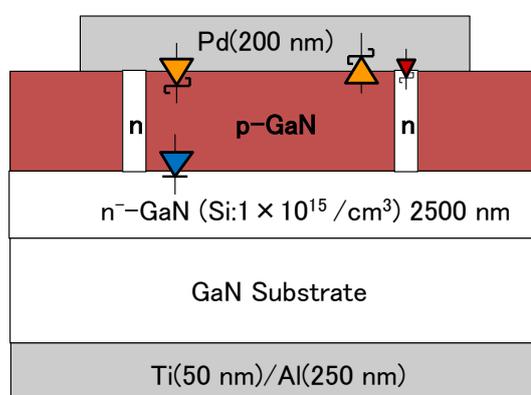


図 5 ダイオードの断面図

Mg のイオン注入で p 型化した領域の中に小さな n 型領域があり、赤で示したショットキーバリアダイオードが並列に存在し、青で示した p-n ダイオードには直列にショットキーダイオード存在すると考えられる。これは Pd が正孔濃度不足の p 型層に対してオーミック接続していないためである。

図 6 に回路図を示す。

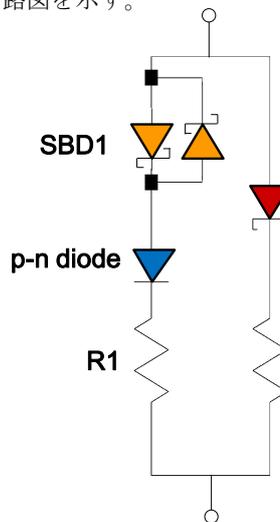


図 6 回路図

この単純化した等価回路で各パラメーターを調整し、不完全な電流-電圧特性をフィッティングしたグラフを図7に示す。

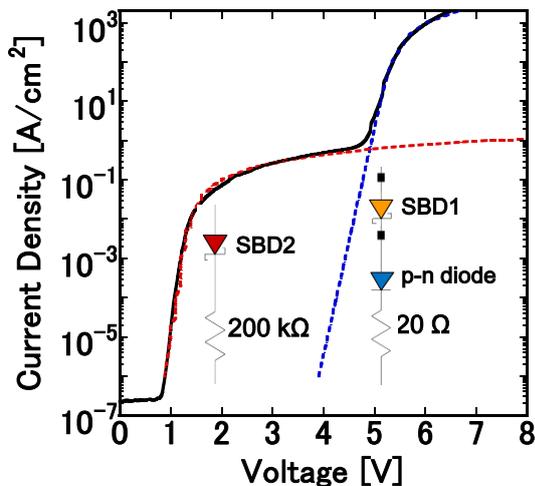


図7 フィッティング図

赤い点線がショットキーバリアダイオード、青い点線がp-nダイオードの成分である。これらのことから、理想ダイオードに近づくためには、微小なn型領域をなくし、p型層へのオーミック接合を形成することが必要である。n型領域ができた原因はSiN保護膜のピンホールやクラックにあると思われる。

4. 結論

PLマッピングによる明るい領域の生成原因は、高温熱処理でSiN膜のピンホールやクラックからN抜けによって生じたドナー形成の可能性が高く、この領域はn型になっていると思われる。これを第一に改善することが求められる。

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工学部、中村徹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、柘植博史氏、中村研究室の皆様、法政大学イオンビーム工学研究所、三島友義教授、西村智朗教授、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) Y. Yoshizumi, S. Hashimoto, T. Tanabe, and M. Kiyama, *J. Cryst. Growth*, 298 (2007) 875-878.
- 2) Michael A. Reshchikov, and Hadis Morkoc, *J. Appl. Phys.* 97, 061301 (2005)