

### 自立 GaN 基板上縦型 p-n 接合 GaN ダイ オード形成に関する研究

柘植, 博史 / TSUGE, Hirofumi

---

(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)

2

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014187>

# 自立 GaN 基板上縦型 p-n 接合 GaN ダイオード形成に関する研究

FORMATION OF VERTICAL P-N JUNCTION GaN DIODE  
ON FREE-STANDING GaN SUBSTRATES

柘植博史

Hirofumi TSUGE

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

Mg ion implanted layers on free-standing GaN substrate were evaluated. Photoluminescence (PL) spectroscopy and I-V characteristics revealed that Mg-ion implanted layers consisted of uniform p-type crystalline area and localized crystal defects having n-type conduction. The Sample showed low-temperature PL spectra quite similar to this observed from Mg-doped MOVPE grown p-type GaN. p-n diodes fabricated by the Mg-ion implantation showed clear rectifying I-V characteristics.

**Key Words** : GaN, free-standing GaN substrate, Mg ion implantation

## 1. 序論

昨今のエレクトロニクス産業は目覚ましく発展してきた。その発展を促してきたのは、今現在最もメジャーな半導体材料であるシリコン(Si)である。Si は入手も容易であり、非常に安価である事からほとんどの半導体デバイスに利用されている。しかし、近年では地球温暖化対策等の観点から、より低いエネルギーで高い出力を行えるパワーエレクトロニクス分野の発展が必須となっている。パワーエレクトロニクス分野において注目されているのが窒化ガリウム(GaN)である。GaN は Si と比べ、高い飽和ドリフト速度や、高い電子移動度などの非常に優れた物性値を有している。このことから、GaN は高周波・高出力デバイスとしての応用が期待されている。しかし、幅広い範囲での利用には、解決しなければならない製造プロセスの課題がいくつかある。その一つが、p 型層の選択的領域形成である。CMOS デバイスに代表されるように同一基板内に n 型層と p 型層の形成は必須である。GaN の n 型層形成は Si 原子をイオン注入することで比較的容易に形成できる。GaN の p 型層の形成は Mg 原子をイオン注入することで可能であるが、アニール温度が高いことや、保護膜の最適化が難しいことから、p 型層の形成は非常に困難であり、形成が報告された例は少ない。

過去、我々はイオン注入法を用いて p 型層の形成が確認できたことを報告した。そこで、本研究では、p 型層が形成できるアニール温度の上限下限を検証した。

## 2. 実験条件

本実験では、高品質な自立 GaN 基板を用いた。イオン注入保護膜として、マグネトロンスパッタリング装置によって SiNx を 50 nm 堆積させた。

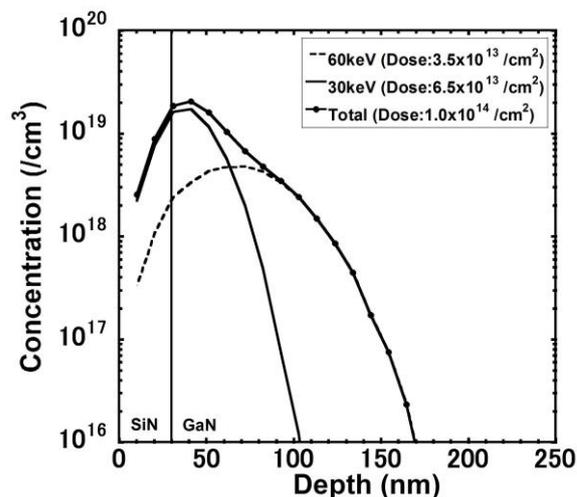


図1 SRIM シミュレーションによる Mg 分布

イオン注入は図 1 の条件で、30keV、60keV、注入量 3.5e13/cm<sup>2</sup>、6.5e13/cm<sup>2</sup> で 2 段階注入を行った。注入後、保護膜を除去し、マグネトロンスパッタリング装置を用いて、再度 SiNx を 100 nm 堆積させた。堆積後、アニール処理を 1230、1240、1250 °C、1 分間、窒素雰囲気中で行った。

### 3. 実験結果

図2に低温(77 K)でのフォトルミネッセンス(PL)測定結果を示す。代表的な3つのピークが観測された。3.45 eV 付近のピークは、正孔束縛励起子発光(ABE)と推察される[1]。この ABE 発光は良好な結晶性の場合のみ観測されることから、イオン注入によってダメージを受けた GaN 層がアニール処理によってある程度回復していると考えられる。3.25 eV 付近のピークは、ドナー・アクセプタ再結合発光(DAP)と推察される[1, 2, 3]。DAP は Mg イオンが起因で引き起こされる発光である。最後に、2.4 eV 付近のピークは、Yellow Luminescence (YL) であり、結晶欠陥などに励起されるピークである。この YL が大きいことから、イオン注入によって起きたダメージは、アニール処理によって多少回復はしているが、まだ残っているダメージが大きいと考えられる。Mg 起因の DAP 発光が最も強い発光を示すのは 1230 °C で、また欠陥を示す YL 発光が最も弱い温度条件は 1240 °C であることから、Mg の活性化は 1230 °C で十分だが、結晶欠陥の回復には温度が低いことが分かった。

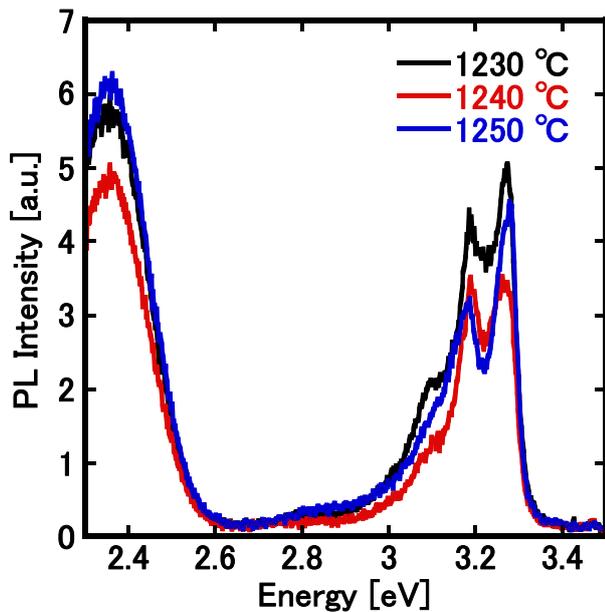


図2 Mg 注入 GaN 層の PL スペクトル

次に、アニール処理後のサンプルの表面にアノード電極として Pd を、裏面にカソード電極として Ti / Al を蒸着し、縦型ダイオードを形成した。図3に順方向の電流-電圧測定結果を示す。理想的な GaN p-n 接合ダイオードの立ち上がり電圧は約 3 V であるが、作成したダイオードの立ち上がり電圧は 7~8 V であった。これは、注入層の Mg の活性化が不十分であることから、p-n 接合層と直列に非常に高い抵抗が接続されたため、立ち上がり電圧が高くなっていると推察される。

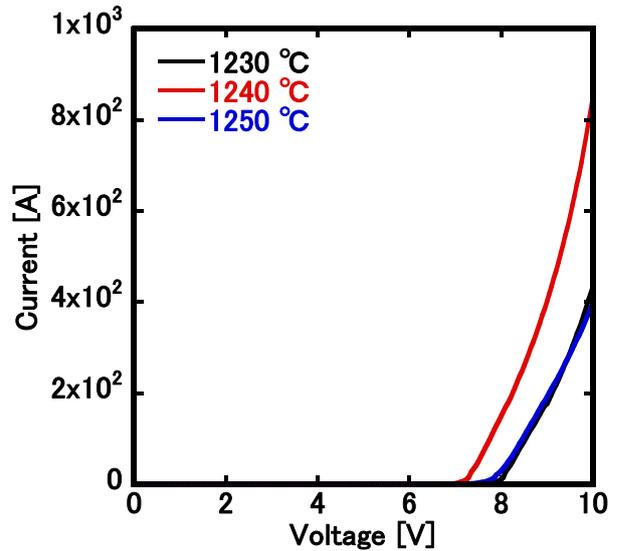


図3 電流-電圧特性

### 4. 結論

高品質な自立 GaN 基板上に成長させた n-GaN 層に Mg イオン注入を行い、フォトルミネッセンス(PL)測定と電気測定を用いて Mg 注入層の活性化率を評価した。1230~1250 °C の温度条件にて p 型層の形成を確認した。PL 測定では 1230 °C は結晶性の回復が不十分であり、1240 °C が最も結晶性が良く Mg の活性化も十分であった。しかし、全ての温度条件で立ち上がり電圧が 7~8 V と高く、p-n 接合層と抵抗の直列接続が形成されていると推察される。全てを比較すると、1240 °C の試料が結晶性の回復も見られ、抵抗値も低いことから、最も良い条件であると言える。

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、栗山一男教授、法政大学イオンビーム工学研究所、中村徹教授、三島友義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、旧中村研究室の皆様、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) Bo Monemar, Sergey Khromov, Galia Pozina, Plamen Paskov, Peder Bergman, Carl Hemmingsson, Lars Hultman, Hiroshi Amano, Vitaliy Avrutin, Xing Li, and Hadis Morkoc, Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) 08JJ03.
- 2) Geetha S. Aluri, Madhu Gowda, Nadeemullah A. Mahadik, Siddarth G. Sundaresan, Mulpuri V. Rao, John A. Schreifels, J. A. Freitas, Jr., S. B. Qadri, and Y.-L. Tian, J. Appl. Phys. 108 (2010) 083103.
- 3) E.V. Kalinina, A.S. Zubrilov, A.M. Strel'chuk, and V.A. Dmitriev, proceedings of the Third European Conference on High Temperature Electronics, (1999), pp.91-94.