

### Mgイオン注入によるGaNのp型層形成に関する研究

OIKAWA, Takuya / 及川, 拓弥

---

(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)

4

(発行年 / Year)

2015-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00011092>

# Mg イオン注入による GaN の p 型層形成に関する研究

P-TYPE FORMATION OF GaN BY Mg-ION IMPLANTATION

及川拓弥

Takuya Oikawa

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

P-type conversion of n-GaN by Mg-ion implantation was successfully performed using high quality GaN epitaxial layers grown on free-standing low-dislocation-density GaN substrates. These samples showed low-temperature PL spectra quite similar to those observed from Mg-doped MOVPE-grown p-type GaN, consisting of Mg related donor-acceptor pair (DAP) and acceptor bound exciton (ABE) emission. P-n diodes fabricated by the Mg-ion implantation showed clear rectifying I-V characteristics and UV and blue-green light emissions were observed at forward biased conditions for the first time. Van der Pauw measurements for the Mg-implanted GaN layers showed positive Hall coefficients.

**Key Words** : GaN, p-type, Mg

## 1. 序論

近年のエレクトロニクスに関するテクノロジーは驚異的なスピードで進歩してきた。その大きな要因として Si を中心とした半導体材料と、これに基づく情報・通信技術の進歩が挙げられる。しかし、その Si は物性的限界が近づいており、それを解決する材料として GaN が現在注目されている。GaN は優れた飽和ドリフト速度、熱伝導度、電子移動度等の物性値を有しており特に高周波・高出力デバイスの半導体として活用が期待されている。[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。通常、半導体に不純物ドーピングを行う場合、イオン注入法が用いられる。GaN の n 形不純物ドーピングには Si 原子が適していることが明らかにされており、イオン注入法を用いて様々なデバイスが試作されている。しかしこのイオン注入法を用いて p 型層を形成することは困難とされており、それを実証した報告は国際的にも非常に少ないのが現状となっている。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す。

これまでの研究では比較的欠陥密度の多い、異種基板上 GaN を用いて p 型層の形成が検討されてきた。[2,3] しかし、基板自身が持っている欠陥密度が高いためか p 型層にはならず、高抵抗化もしくは n 型になることが確認されている。そこで本研究ではより結晶性の優れた GaN 基板上 GaN へ Mg イオン注入を行い、p 型層形成を

目指した。

## 2. 実験条件

本研究ではサファイア基板上に成長させた 2 μm の undoped-GaN と n 型の GaN 基板上に成長させた 2.5 μm の undoped-GaN を用いた。サファイア基板上に成長させた GaN の場合、欠陥密度は  $10^8$  /cm<sup>2</sup> 程度とされているが自立基板の場合  $10^6$  /cm<sup>2</sup> 以下と 2 桁以上小さくなる。

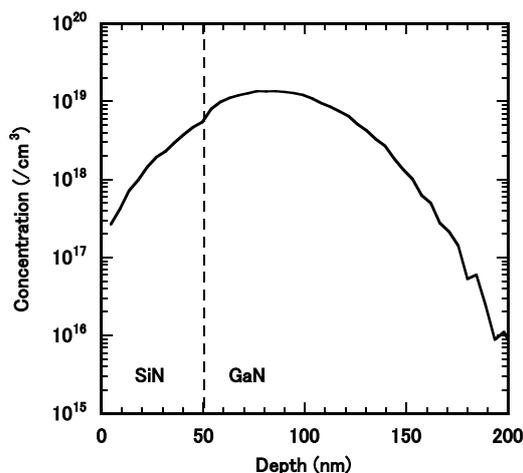


図 1 SRIM シミュレーションによる不純物分布

注入条件を図 1 に示す。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 50 nm 堆積した。

その後イオン注入装置にて Mg イオンを注入エネルギー 60 keV、注入量  $1.0 \times 10^{14} / \text{cm}^2$  で注入した。注入後、保護膜をウェットエッチングにより除去し、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 50nm 堆積した。活性加熱処理は、窒素雰囲気中において 1 分間、1230 °C で行った。

### 3. 実験結果

まず図 2 に 1230°C で熱処理した試料の 77K での Photoluminescence(PL)を示す。サファイア基板上 GaN と GaN 基板上 GaN を比較すると GaN 基板の方は全体的に発光強度が強くなるという結果が得られた。また 3.28 eV 付近のピークが観測された。この発光はエネルギー値から Mg-related donor-acceptor pair(DAP)であると考えられる。[2,3,4]また GaN 基板からは 3.47 eV 付近に発光を観測した。これはピークの形状とエネルギー値からアクセプタ束縛エキシトン(ABE)の発光であると思われる。[4]束縛エキシトンによる発光は結晶性の優れていなければ観測されないことから、熱処理温度を 30 °C 上昇させることで結晶性は大きく改善することが解った。

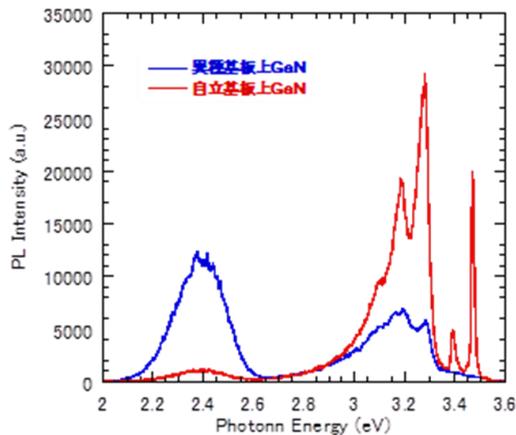
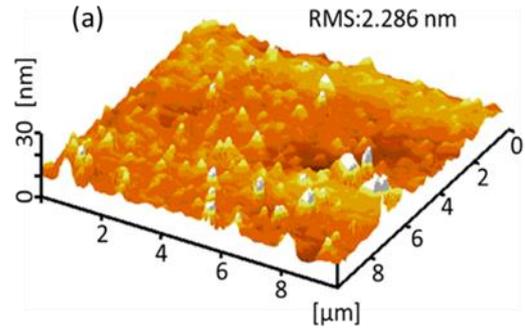
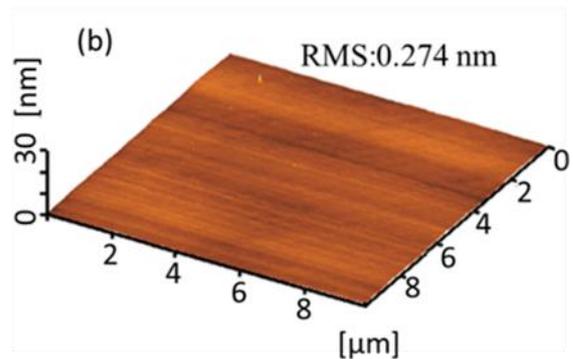


図 2 Mg 注入層の PL スペクトル

次に 1230°C 熱処理後の GaN の表面 AFM 像を図 3 に示す。GaN は高温で熱処理を行った場合、貫通転移などの欠陥から窒素が抜けたことによる、窒素空孔が原因で表面が荒れる事がある。実際にサファイア基板上 GaN の AFM 像(a)からは凹凸が見られ、RMS も 2.29 nm と大きい値をとった。しかし GaN 基板上的 GaN の AFM 像(b)では、表面は荒れておらず RMS も 0.27 nm と非常に小さい値をとった。以上の事より GaN 基板を用いることで、高い温度でも安定した熱処理を行うことが出来る事が解った。



(a)サファイア基板上 GaN



(b)GaN 基板上 GaN

図 3 熱処理後 AFM

次に TLM&HALL 測定を行い Mg 注入層の電気特性評価を行った。1230°C でアニールした試料の測定を行うための P 層とのオーミック電極として Pd を蒸着し測定した。図 4 に電極間 3μm の際の TLM 測定結果を示す。サファイア基板上 GaN の場合、表面が高抵抗な電流はほとんど流れなかった。しかし、GaN 基板上 GaN の場合オーミック特性にはならなかったが、3V 付近で  $2 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-5}$  A の電流が流れた。

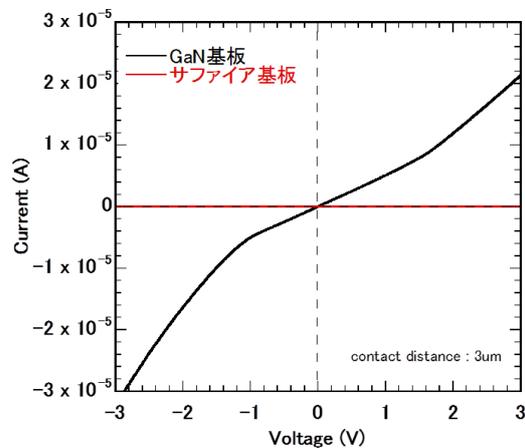


図 4 電極間 3μm の時の電気特性

Hall 測定の結果、サファイア基板上 GaN の場合測定結果を得ることが出来なかったが、GaN 基板上 GaN の場合では+の Hall 係数を得ることが出来たため注入層は p 型導電層を有していると考えられる。ただし、オーミック電極を形成できていなかったため、移動度やキャリア濃度など信頼性のある結果を得られることはできなかった。以上の結果より、p 型導電層の形成を困難としている要因として結晶性が関係していると考えられる。

次に GaN 基板上 GaN の 1230°C でアニールした試料の表面との電極として Pd を裏面との電極として Ti/Al を蒸着し、縦型の Diode 構造とした時の順方向-逆方向特性を図 5 に示す。順バイアスを印加した場合 5V 程度で電流が立ち上がっている。逆バイアスを印加した場合は-20V 程度までは電流はほとんど流れなかった。これらの結果から今回作成した diode には整流作用があると考えられる。

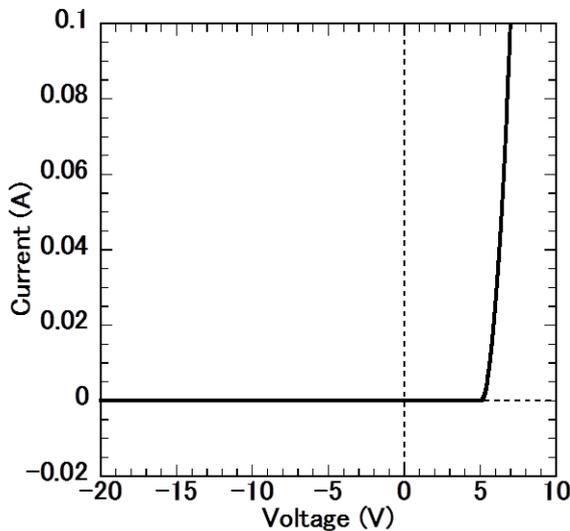


図 5 順方向-逆方向 I-V 特性

また、約 6V 以上の順方向バイアス時に青緑色の発光を観測することが出来た。発光の様子を図 6 に示す。ショットキーダイオードは金属と半導体による整流作用であるので発光は起きないため、この発光からも注入層は p 型導電層を有していることが解った。

また、発光を確認した事から Electroluminescence (EL) スペクトル測定を行った。図 7 に EL スペクトル測定の結果を示す。EL スペクトルからは 3.1 eV と 2.4 eV 付近から 2 つのピークを観測することが出来た。3.1 eV 付近の発光はエネルギーの値から Mg 起因の DAP 発光であると考えられる。[5]また、2.4 eV 付近の発光は Mg-O が関係した発光であると考えられる。[5]以上の事より Mg がアクセプタとして働いている事が解った。



図 6 順方向バイアス時の発光の様子

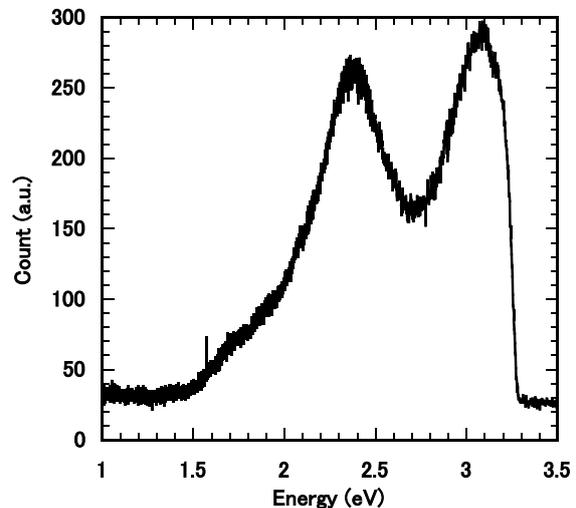


図 7 EL 発光時のスペクトル

#### 4. 結論

GaN 基板とサファイア基板上 GaN の Mg 注入層の比較を行ったところ、GaN 基板上 GaN の Mg 注入層の方が光学的、電気的に良好な結果を得ることが出来た。格子欠陥はイオン注入による p 型層形成の妨げになることがわかった。以上の事よりイオン注入により p 型層を形成する為には GaN 基板を用いることと、注入後の熱処理として 1230°C 以上で行う必要がある事が解った。

**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、本研究を支援していただいた法政大学、西城祐亮氏、柘植博史氏、中村研究室の皆様、日立金属株式会社、三島友義氏、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) 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, 083103 (2010)
- 3) E.V.Kalinina, A.S.Zubrilov, A.M.Strel'chuk, and V. A. Dmitriev, published in HITEN 99.
- 4) 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
- 5) Michael A. Reshchikov, and Hadis Morkoc, J. Appl. Phys. 97, 061301 (2005)