

Mgイオン注入によるGaNのp型層形成に関する研究

三島, 友義 / 中村, 徹 / 及川, 拓弥

(出版者 / Publisher)

法政大学イオンビーム工学研究所

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Report of Research Center of Ion Beam Technology, Hosei University / 法政大学イオンビーム工学研究所報告

(巻 / Volume)

35

(開始ページ / Start Page)

18

(終了ページ / End Page)

20

(発行年 / Year)

2016-02-15

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030317>

4. Mgイオン注入によるGaNのp型層形成に関する研究

及川 拓弥*、三島 友義**、中村 徹*

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、Siは物性的限界が近づいており製造されたデバイスの特性も大きな性能向上が期待できなくなっている。それを解決する材料としてワイドバンドギャップ半導体で直接遷移型材料の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が、GaNではエピタキシャル成長中に不純物をドーピングする方法が一般的であり、あまり広くは応用されていない。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ある。

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基板上の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型の自立GaN基板に成長させた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 $10^8 / \text{cm}^2$ 程度とされているが自立基板の場合 $10^6 / \text{cm}^2$ 以下と2桁以上小さくなる。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50 nm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 $^{\circ}\text{C}$ で行った。

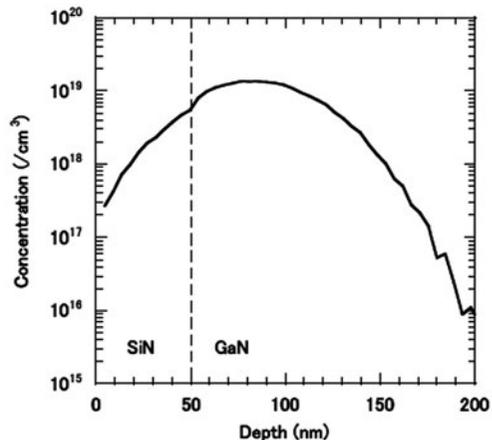


図1 イオン注入されたMgの分布 (SRIMシミュレーション)

3. 実験結果

図2に1230 $^{\circ}\text{C}$ で熱処理した試料の77 K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

*法政大学大学院理工学研究科、**法政大学イオンビーム工学研究所

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²⁻⁴⁾。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℃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。

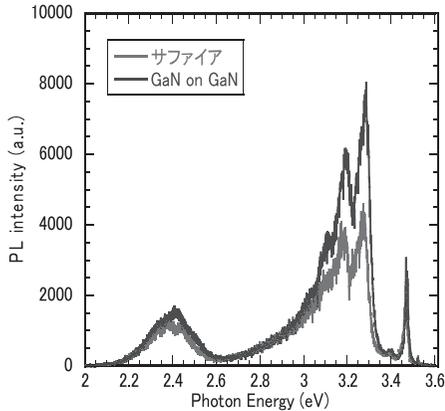


図2 Mgイオン注入層のPLスペクトル

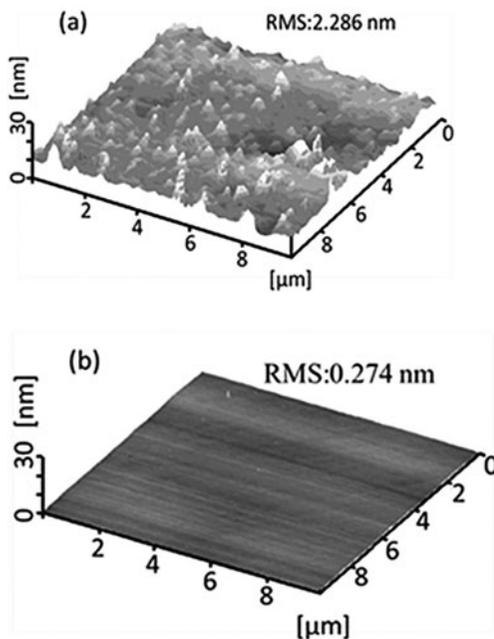


図3 熱処理後の表面粗さ (AFM像)
(a)サファイア基板上的GaNへのMgイオン注入
(b)GaN自立基板上的GaNへのMgイオン注入

次に1230℃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。

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℃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。

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℃でアニールした試料の表面の電極として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

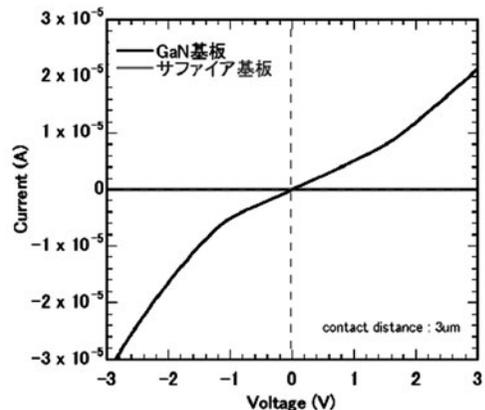


図4 Mgイオン注入層のオーミック特性 (電極間3ミクロン)

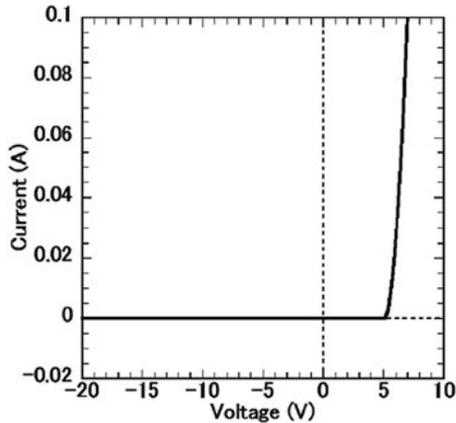


図5 Mgイオン注入層で形成したpn接合ダイオードの電流電圧特性

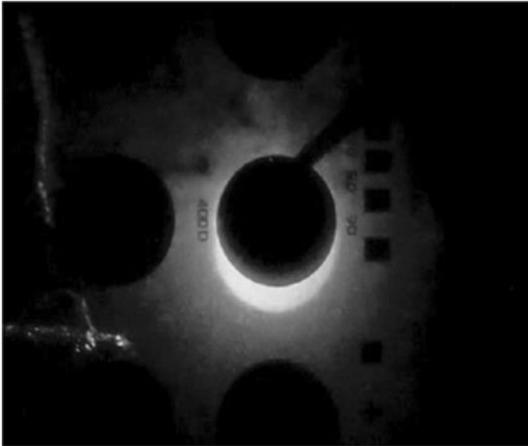


図6 順方向電圧印加時の発光

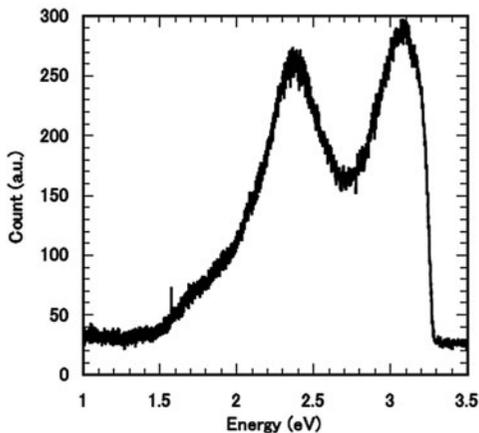


図7 EL発光スペクトル

向-逆方向特性を図5に示す。順方向バイアス電圧を印加した場合5 V程度で電流が立ち上がっている。逆方向バイアス電圧を印加した場合は-20 V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。また、約6 V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。

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。

参考文献

- 1) Y. Yoshizumi, S. Hashimoto, T. Tanabe and M. Kiyama, *J. Cryst. Growth* **298**, 875-878 (2007).
- 2) G. S. Aluri, M. Gowda, N. A. Mahadik, S. G. Sundaresan, M. V. Rao, J. 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.
- 4) B. Monemar, S. Khromov, G. Pozina, P. Paskov, P. Bergman, C. Hemmingsson, L. Hultman, H. Amano, V. Avrutin, X. Li and H. Morkoc, *Jpn. J. Appl. Phys.* **52** (2013).
- 5) M. A. Reshchikov and H. Morkoc, *J. Appl. Phys.* **97**, 061301 (2005).