法政大学学術機関リポジトリ HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-01-15

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きている。 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 より結晶性の優れる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 μ m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10⁸ / cm² 程 度とされているが自立基板の場合10⁶ / cm² 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 × 10¹⁴ / cm²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 ℃で行った。



3. 実験結果

図2に1230 ℃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)サファイア基板上のGaNへのMgイオン注入 (b)GaN自立基板上のGaNへのMgイオン注入

次に1230 \mathbb{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 板上の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 \mathbb{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3 μ m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、3 V付近で2 × 10⁵~3 × 10⁵ 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







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 ℃以上で行う必 要がある事が解った。

参考文献

- 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).
- E. V. Kalinina, A. S. Zubrilov, A. M. Strel'chuk and V. A. Dmitriev, published in HITEN.
- 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).
- M. A. Reshchikov and H. Morkoc, J. Appl. Phys. 97, 061301 (2005).