

CTLM 測定による MgNiO 薄膜と金属電極の 接触抵抗に熱アニールが及ぼす影響の検討

Study on Impact of Thermal Annealing on Contact Resistance between MgNiO thin film and metal electrode Studied by CTLM Measurement

秋葉 隆行¹⁾

指導教員 尾沼 猛儀¹⁾

研究協力者 石川 明人¹⁾, 村山 衛¹⁾, 佐々木 公平³⁾, 倉又 朗人³⁾, 山口 智広²⁾, 本田 徹²⁾

- 1) 工学院大学 工学研究科 電気・電子工学専攻 固体物性研究室
- 2) 工学院大学 先進工学部 応用物理学科
- 3) 株式会社ノベルクリスタルテクノロジー

キーワード: 半導体, 酸化マグネシウムニッケル, ベータ型酸化ガリウム, パワーデバイス, スパッタリング法

1. 背景

β -Ga₂O₃ はバンドギャップ(E_g)が 4.5 eV とワイドバンドギャップかつ大口径基板を融液成長させることが可能であり、安価なパワーデバイス用材料として注目されている[1]。しかし、p 型 β -Ga₂O₃ は未だ実現していない。そこで本研究では、ヘテロ p 型材料として、Mg_xNi_{1-x}O (酸化マグネシウムニッケル)を検討している。NiO は E_g が 3.7 eV で岩塩構造をとり、アンドープで p 型導電性を示す特徴を持つ[2]。一方、酸化マグネシウム(MgO)は E_g が 7.7 eV で岩塩構造をとるため、これらを混晶化させることで、Mg_xNi_{1-x}O は超ワイドバンドギャップ p 型酸化物材料としての利用が期待される。我々はこれまでに、RF マグネトロンスパッタリング法により c 面サファイア基板上に Mg_xNi_{1-x}O を成膜し、Mg 組成 $x \leq 32.1\%$ で p 型伝導を実現した。加えて、 x の増加に伴い抵抗率は単調増加し、20 ~ 425 m Ω ·cm の範囲に留まることを確認した。また、サファイア基板にスパッタ成膜し、XPS 測定により価電子帯のバンドオフセットが x の増加に伴い減少することを確認した[3]。高性能なダイオードを実現するために、順方向バイアス時の直流抵抗を減少させる必要がある。そこで今回は、p 型層にあたる Mg_xNi_{1-x}O と金属電極の接触抵抗について、アニール処理温度の影響

を Circular Transmission Line Model (CTLM)法により評価した。

2. 実験方法

RF マグネトロンスパッタリング法にて、c 面サファイア基板上に非加熱、純酸素雰囲気中で成膜した。ターゲットは、99.9 mol%の NiO ターゲットと、その上に 10 × 10 mm² 角の単結晶 MgO 基板を 7 枚配置し、同時スパッタにより Mg_xNi_{1-x}O を成膜した。RF パワー、成膜圧力、酸素流量はそれぞれ、150 W、0.75 Pa、5 sccm とした。成膜した試料を、エネルギー分散型 X 線分析 (EDX)、ゼーベック測定、ホール効果測定にて薄膜評価した。また、成膜した試料に対し、リフトオフプロセスを行った後、Ni(60 nm)/Ti(60 nm)/Au(20 nm) を電子ビーム (EB) 蒸着器により堆積し、CTLM 電極パターンを形成した。電極間距離は、5、10、15、25、75、100、150 μ m とした。その後、CTLM 形成後に 100、200、300、400°C でのアニール処理を酸素雰囲気中で 20 分間行った。

3. 結果と考察

成膜した試料は、膜厚 172 nm、Mg 組成 $x=0.34$ 、キャリアタイプは p 型であった。電極間距離が 100 μ m に

おける、IV 測定結果を図 1 に示す。ただし、電圧 0 V において、電流が 0 A として補正した。成膜した後の試料は、ショットキー接触となった。一方、アニール処理を行うことにより、オーミック接触を得られた(ただし、100°Cでは得られなかった)。この IV 測定結果に対して線形近似、抵抗値の補正を行い、補正抵抗を求めた[4]。そこから接触抵抗を求め、各アニール温度についてまとめたものを表 I に示す。200°Cアニールにおいて、最小値 783 Ωを示した。

図 2 に、 $Mg_{0.34}Ni_{0.66}O$ 薄膜の抵抗率のアニール温度依存性を示す。アニール温度の増加に伴い、抵抗率に増加傾向が観られた。これは、アニール温度増加により、キャリア密度が低減していると考えられる。接触抵抗は、半導体層のキャリア密度に依存していることが知られており[5]、200°C以上のアニール温度増加に伴った接触抵抗の増加は、 $Mg_{0.34}Ni_{0.66}O$ 薄膜のキャリア密度低減によるものであると考えられる。今後は、 $Mg_{0.34}Ni_{0.66}O$ 薄膜のキャリア密度のアニール温度依存性を測定し考察を行う予定である。

4. まとめ

RF マグネトロンスパッタリング法により成膜した $Mg_xNi_{1-x}O$ 薄膜に対して、Ni(60 nm)/Ti(60 nm)/Au(20 nm)電極の CTLM パターンを形成し、接触抵抗の評価を行った。その結果、200、300、400°Cアニールにてオーミック接触が得られた。また、接触抵抗は 200°Cアニールで最小値 783 Ωを示した。これは、アニール処理による $Mg_xNi_{1-x}O$ 薄膜のキャリア密度の変化に起因すると考えられる。以上より、ダイオードの高性能化へは 200°Cアニールが最も有効であることが示された。

謝辞

研究のご支援やご助言を頂いた相川慎也 准教授に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] M. Higashiwaki *et al.*, *Semicond. Sci. Technol.* **31**, 034001 (2016).
 [2] H. Sato *et al.*, *Thin Solid Films* **236**, 27 (1993).

[3] M. Murayama *et al.*, IWGO4, (2022), Pos 1-41.

[4] J. H. Klootwijk and C. E. Timmering, *Proc. IEEE 2004 Int. Conf. Microelectronic Test Structures* **17**, 247 (2004).

[5] S. M. Sze 著, 南日 康夫, 川辺 光夫, 長谷川 文夫訳, *半導体デバイス—基礎理論とプロセス技術—*, 産業図書 (2004).

表 I: $MgNiO$ 薄膜と金属電極の接触抵抗のアニール温度依存性

アニール温度 (°C)	接触抵抗 (Ω)
アニール未処理	非オーミック接触
100	非オーミック接触
200	7.83×10^2
300	4.26×10^4
400	3.28×10^5

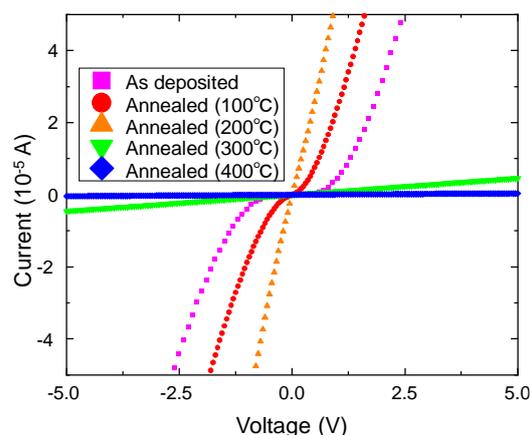


図 1. $Mg_{0.34}Ni_{0.66}O$ 薄膜の各アニール温度処理による I-V 特性の変化 (電極間距離 100 μm)

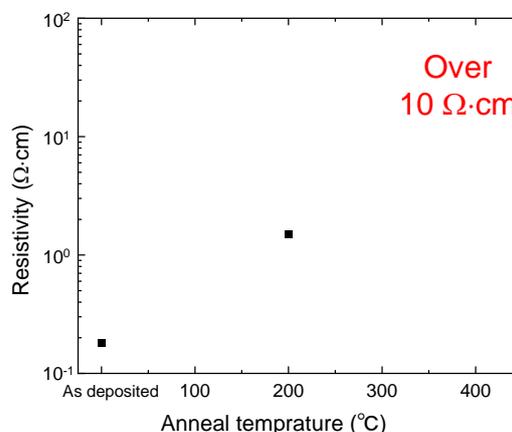


図 2. $Mg_{0.34}Ni_{0.66}O$ 薄膜の抵抗率のアニール温度依存性