トンネル接合を用いた低濃度 p 型 GaN 縦型 SBD 構造の作製

Vertical p-type GaN Schottky barrier diodes with bottom tunneling junction contacts 〇柴原啓太¹, 上野耕平¹, 小林篤¹, 藤岡洋^{1,2} ¹東大生研, ²JST-ACCEL 〇Keita Shibahara¹, Kohei Ueno¹, Atsushi Kobayashi¹, Hiroshi Fujioka^{1,2} ¹IIS, UTokyo, ²JST-ACCEL E-mail: shibahar@iis.u-tokyo.ac.jp

金属/GaN 界面のショットキー特性は素子応用上重要である。n型 GaN ではバルク GaN 基板上に高品質 な縦型ショットキーバリアダイオード(SBD)の作製が可能なため、その特性の解析は十分に進んでいる。 方、p型 GaN の場合、横型 SBD を用いてショットキー特性の評価が行われてはいるが、その理解は十分に 進んでいるとは言い難い。例えば、Ni/p型 GaN 界面のショットキー障壁高さの報告値は 0.49~2.87 eV と大 きくばらついている。[1,2]これは横型 SBD では寄生抵抗が大きいこと、また、従来の報告では p型 GaN 層 の Mg ドーピング濃度が 10¹⁸ cm³ 以上と高く、良好なショットキー接合が形成できないことに起因してい ると考えられる。我々のグループでは、これまでにスパッタ法を用いて、室温の正孔移動度が 30 cm²V¹s⁻¹ を超えるような高品質な低濃度 Mg 添加 p型 GaN ([Mg] =~1×10¹⁷ cm⁻³) の作製が可能であること、また、 MOCVD 法に比べ高濃度の n 型ドーピングが可能なため、良質なトンネル接合が形成できることを報告し てきた。そこで本研究ではスパッタ法により形成した低濃度 Mg 添加 GaN とトンネル接合を用いて、p型 GaN ショットキー特性を評価することを試みた。

まず、Mg添加濃度について検討を行った。ショットキー接合に流れる順方向電流は、大まかには熱電子 放出と電界放出の2種のプロセスに分けられ、特にドーピング濃度が高い場合には空乏層が薄く電界放出

によるトンネル電流が支配的になる。この両者の寄与は熱エネ ルギー $k_{\rm B}T \ge E_{00} \equiv q\hbar/2\sqrt{N/m^*\varepsilon_s}$ との大小関係から判断でき る。[3]ここでN、 m^* 、 ε_s はそれぞれ不純物濃度、有効質量、誘 電率であり、 $E_{00} \ll k_B T$ の場合には熱電子放出が、また、 $E_{00} \gg$ $k_B T$ の場合には電界放出が支配的になる。図1には、p型 GaN の Mg 濃度と E_{00} との関係を示す。図から、[Mg]=1×10¹⁷ cm⁻³で は室温付近において $E_{00} \ll k_B T$ が十分に満たされていることか ら、熱電子放出が支配的な良好なショットキー接合が形成可能 と考えられる。

一方、このような低濃度 Mg 添加 GaN 表面上には良好なオー ミック電極の形成が困難であり、従来の横型 SBD は作製でき ない。そこで本研究では、図 2 に示すような裏面からトンネル 接合を介してオーミック電極を形成する縦型 SBD 構造を新た に提案した。実際に素子を作製したところ、7 桁以上の整流比 をもつ I-V 特性を示し、理想係数は 1.1、順方向電流密度 1 kA cm²において微分抵抗は~2×10³ Ω cm² と p 型 GaN SBD とし ては極めて低い値が得られた。このような良好なダイオード特 性は、トンネル接合を用いた縦型 SBD 構造を実現することで 初めて得られたと考えられる。

【謝辞】本研究の一部は JSPS 科研費 JP16H06414、JST-ACCEL JPMJAC1405 の助成を受けて行われたものである。



Fig.1 The relationship between the E_{00} and [Mg]





【参考文献】[1] K. Shiojima *et al.*, Appl. Phys. Lett. **74**, 1936 (1999). [2] Y. J. Lin, Appl. Phys. Lett. **86**, 122109 (2005). [3] S. M. Sze *Physics of Semiconductor devices* (Wiley, New York)