

GaN/ScAlN/GaN ヘテロ接合バリアダイオードの電気的特性評価

Electrical characterization of GaN/ScAlN/GaN heterostructure barrier diodes

Takuya Maeda*, Joseph Casamento, Kazuki Nomoto, Huili Grace Xing and Debdeep Jena

Cornell University, Ithaca, NY, USA

*e-mail: tm654@cornell.edu

Scandium Aluminum Nitride (ScAlN)は、高い圧電係数および高い Curie 温度を有しており、高温用圧電センサーや RF フィルターの材料として期待されている[1, 2]. また、近年、明瞭な強誘電性を示すことが複数の機関より報告されている[3, 4]. これらの魅力的な物性を持つ ScAlN を GaN と組み合わせることで、例えば、ScAlN/GaN 界面において分極誘起 2DEG の増強/スイッチングが期待されるなど、圧電・強誘電性を活かした新機能デバイスが作製できる可能性がある[5]. しかし、ScAlN の物性や GaN とのヘテロ接合の特性についてまだ詳細な研究がされていない. そこで、本研究では、GaN/ScAlN/GaN ヘテロ接合の容量特性とキャリア輸送特性を調べたので報告する.

図 1 に作製したデバイスの構造を示す. 分子線エピタキシー(MBE)法により、GaN(0001)基板上に n^+ -GaN, アンダーペース(UID)-GaN, ScAlN, UID-GaN, n^+ -GaN を成長した. ScAlN 層の Sc 組成は 18% である. X 線回折(XRD)測定より、ScAlN の膜厚は 25 nm であり、GaN に格子整合していることを確認した. 素子分離のため、Ar ion milling によりメサ構造を形成し、メサ表面に Ti/Au, 基板裏面に Ti/Al 電極を形成して、縦型ダイオードを作製した.

まず、このヘテロ接合に対して、1D Poisson [6]を用いて Poisson 方程式と Schrödinger 方程式を自己無撞着に解くことにより、エネルギーバンド構造、電界分布を求めた. 図 2 に電圧無印加時のヘテロ接合のバンド図を示す. エピ構造は対称的であるにも関わらず非対称的な構造となり、5.7 eV 程度の大きなエネルギーバリアが存在し、また、上部 UID GaN が空乏化していることがわかる. 上部 UID GaN および ScAlN バリア層における電界強度はそれぞれ 0.7 MV/cm, -2.0 MV/cm と高い値となった. これらは、ScAlN/GaN 界面の分極電荷に起因している. 次に、作製したデバイスの容量-電圧(C - V)特性したところ、一定(電圧無依存)の容量値($0.134 \mu\text{F}/\text{cm}^2$)が得られた. シミュレーションの結果より、上部 UID GaN 層と ScAlN 層の直列接続容量 $C_{\text{GaN}}C_{\text{ScAlN}}/(C_{\text{GaN}} + C_{\text{ScAlN}})$ が測定されていると考え、それぞれの膜厚、GaN の誘電率($10.4\epsilon_0$)を既知として、MBE 成長 $\text{Sc}_{18}\text{Al}_{82}\text{N}$ の誘電率は $14.5\epsilon_0$ と求まり、GaN や AlN より大きな値であることが分かった. 反応性スパッタリング成長 ScAlN においても Sc 組成の増加につれて誘電率が増加することが報告されており[1, 7], 妥当な値と考えられる. 図 3 に電流-電圧(I - V)測定結果を示す. 立ち上がり電圧は -5 V, +7 V と非対称であることが分かった. 分極効果に起因していると考え、ヘテロ接合における電荷分布を考慮して、上部 GaN および下部 GaN から見た障壁高さとその電圧依存性をモデル化し、熱電子放出による電流を計算した結果を図 3 に点線で示している. 熱電子放出から予想される立ち上がり電圧は -8 V, +16 V であり、立ち上がり電圧は順方向より逆方向の方が小さいという実験結果を定性的には説明するが、輸送特性を定量的には説明できない. 実験値は計算値よりも大きく、トンネル輸送や組成ゆらぎによる微小障壁部の Percolation 輸送[8]などの存在を示唆している.

[1] M. Akiyama *et al.*, *Adv. Mater.* **21**, 593-596 (2009). [2] T. Yanagitani and M. Suzuki, *Appl. Phys. Lett.* **105**, 122907 (2014).

[3] S. Fichtner *et al.*, *J. Appl. Phys.* **125**, 114103 (2019). [4] S. Yasuoka *et al.*, *J. Appl. Phys.* **128**, 114103 (2020).

[5] D. Jena *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **58**, SC0801 (2019). [6] G. Snider, <https://www3.nd.edu/~gsnider/>

[7] G. Wingqvist *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **97**, 112902 (2010). [8] D. N. Nath *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **103**, 022102 (2013).

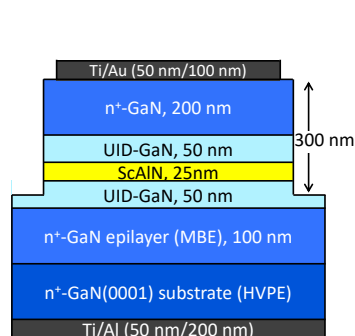


Fig.1. Schematic cross-section of an MBE-grown GaN/ScAlN/GaN heterostructure barrier diode.

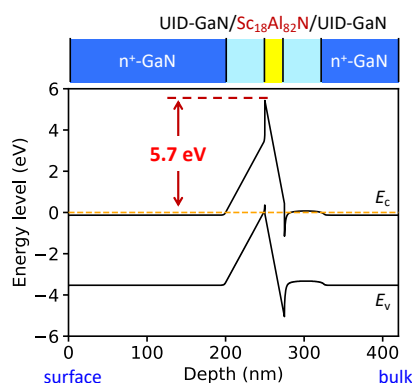


Fig.2. Energy band diagram of the GaN/ScAlN/GaN heterostructure.

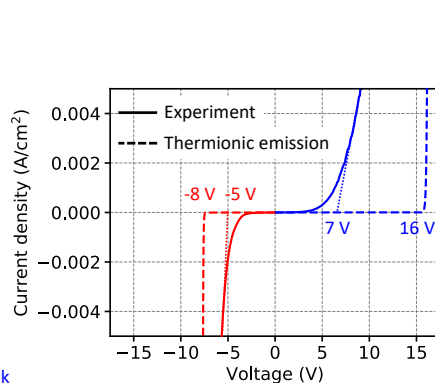


Fig.3. I - V characteristics in the device. The calculated thermionic emission is also plotted as the broken line.