

AlN 基板上 AlN 縦型ショットキーバリアダイオードの作製

Fabrication of AlN vertical Schottky barrier diode on AlN bulk substrate

Takuya Maeda^{1*}, Ryan Page¹, Kazuki Nomoto¹, Masato Toita², Huili Grace Xing¹ and Debdeep Jena¹

¹Cornell University, Ithaca, NY, USA, ²Asahi Kasei, Tokyo, Japan

*e-mail: tm654@cornell.edu

窒化アルミニウム(AlN)は、極めて広いバンドギャップ(6.1 eV)、高い圧電係数、高い熱伝導性・熱安定性を有しており、GaN や InN と混晶・ヘテロ接合を形成可能である。その優れた物性から、超高電界や超高温環境に耐えうる電子デバイスへの応用が期待されている。近年、単結晶 AlN 基板が入手可能となり、AlN 基板上に AlN をエピタキシャル成長することで高品質な AlN を得ることができると予想されるが、現在入手可能な AlN 基板は半絶縁性であり、基板裏面に Ohmic 電極を有する縦型構造を用いることができない。そこで本研究では、ドリフト層下部に n 型 AlGaIn 電流拡散層を挿入し、エッチングにより露出させた AlGaIn 層上に Ohmic 電極を形成することで、擬縦型構造を用いることを提案する。AlN 基板上にエピ成長した高品質 AlN[1, 2]を用いてショットキーバリアダイオード(SBD)を作製し、その電気的特性および温度依存性を調べた。

図 1 に作製したデバイスの構造を示す。まず、AlN 基板上に分子線エピタキシー(MBE)により、AlN buffer, Si-doped Al_{0.9}Ga_{0.1}N, un-doped AlN ドリフト層を成長し、その後、ICP-RIE により AlGaIn 層に到達するまでエッチングを行ってメサ構造を形成した。露出された AlGaIn 層上に V/Al/Ni/Au を Ohmic 電極として蒸着し、850°C の窒素雰囲気中で 5 分間熱処理を施した。その後、AlN 層に Ni/Au を Schottky 電極として蒸着した。SIMS により不純物密度を調べたところ、AlN ドリフト層の Si 濃度は検出限界以下($<5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)、AlGaIn 層の Si 濃度は $6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であった。容量-電圧($C-V$)測定を行ったところ、拡散電位は 3V 程度であり、これまで報告されている Ni/AlN の障壁高さ($\sim 3 \text{ eV}$)[3, 4]から考えて妥当な結果が得られた。また、拡散電位付近より負側の電圧範囲ではほぼ一定の容量が得られた。これは AlN ドリフト層が完全空乏化しており、空乏層端が AlGaIn 層に到達していることを示唆している。1/ C^2 - V plot の傾きから得られた AlGaIn 層の実効ドナー密度は $4.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、Si 濃度よりかなり低いことが分かった。図 2 に測定した順方向電流-電圧($I-V$)特性の温度依存性を片対数プロットで示す。低電圧域(0 V-2.5 V)で温度にほぼ無依存な傾きを持ち、また、直列抵抗成分が非常に大きく、温度上昇につれて直列抵抗が減少していることが分かる。この大きな直列抵抗は AlGaIn 層上 Ohmic のコンタクト抵抗が支配的であることを TLM 測定により確認している。熱電子放出モデルを仮定して順方向 $I-V$ 特性から理想因子(n 値)および見かけの障壁高さを求めた。図 3 に理想因子および見かけの障壁高さの温度依存性を示す。室温で n 値は 5.0、見かけの障壁高さは 1.0 eV となり、温度上昇につれて n 値は減少し、障壁高さは微増している。これは、作製した AlN SBD の電流輸送が熱電子放出よりも大きい(温度依存性の小さい)リーク成分に支配されていることを示唆している。今後、 n 値が 1 に近い理想的な AlN SBD を用いることで、ショットキー特性や電流輸送機構を詳細に調べることができると考えられる。

本研究は、n-AlGaIn 電流拡散層を有する擬縦型構造を用いることで、AlN 基板上 AlN 縦型デバイスが作製可能であることを示す結果である。今後、AlN 基板・エピ層の結晶品質のさらなる向上および n-AlGaIn 層上 Ohmic 電極のコンタクト抵抗の低減が必要である。

[1] Y. J. Cho *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **116**, 172106 (2020). [2] K. Lee *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **116**, 262102 (2020).

[3] M. Hiroki *et al.*, 春応物 2021, 16a-Z16-3. [4] Y. Kurosaki *et al.*, 春応物 2020, 13a-B401-6.

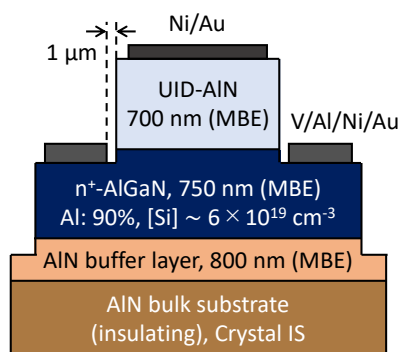


Fig.1. Schematic cross-section of an AlN quasi-vertical SBD on an AlN bulk substrate.

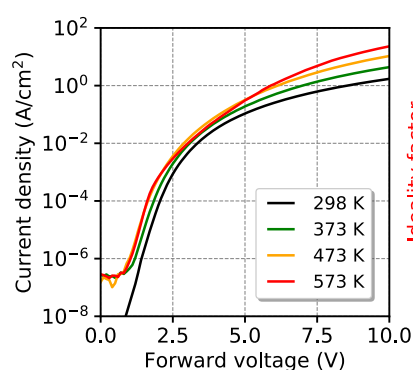


Fig.2. Forward $I-V$ characteristics of the AlN SBD at 298-573 K.

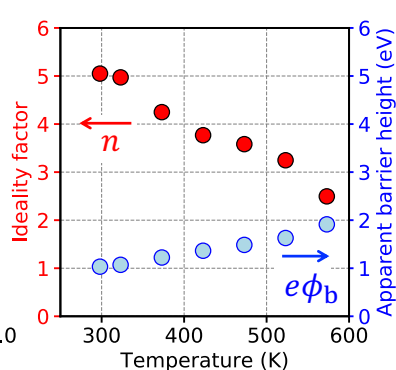


Fig.3. Temperature dependences of ideality factor and barrier height of the Ni/AlN Schottky interface.