## 分極電荷の広がりを考慮した Ga 極性・N 極性の実効ショットキー障壁高さモデル

Effective Schottky Barrier Height Model for Ga- and N-polar GaN by Polarization-

## Induced Charges with Finite Thickness

## 東北大<sup>1</sup>, 住友電工<sup>2</sup> <sup>0</sup>末光 哲也<sup>1</sup>, 眞壁 勇夫<sup>2</sup>

Tohoku Univ.<sup>1</sup> and Sumitomo Electric Industries<sup>2</sup>, <sup>o</sup>Tetsuya Suemitsu<sup>1</sup> and Isao Makabe<sup>2</sup>

## E-mail: t.suemitsu@tohoku.ac.jp

はじめに GaN 系高電子移動度トランジスタ(HEMT)は、高パワーおよび高周波応用に適した 素子として注目されている。中でも、窒素極性(N極性)GaN 結晶を用いた HEMT は、80 GHz を 超えるような超高周波領域でGa 極性 HEMT を上回るパワー密度を達成する[1]など、次世代移動 体通信システムの基地局用素子としての期待が大きい。こうした応用を念頭に、我々は SiC 基板 上に N極性 GaN HEMT を作製する研究を進めてきた[2]。その中で、N極性 GaN のショットキー 障壁高さが Ga 極性とは差があることを確認し、それを説明するモデルを考察したので報告する。

**実験** n型 SiC 基板の C 面に 1.2µm の N 極性 GaN を有機金属気相成長法により成長し、SiC 基 板裏面にオーミック電極(Ti/Pt/Au)を形成した後、電子線蒸着によって GaN 表面に Ni/Au のア ノード電極を形成してショットキーダイオードを作製した。また比較のため、同じ Ni/Au をアノ ード電極とした Ga 極性の GaN ショットキーダイオードを用意した。

結果 順方向の電流-電圧特性から求めたショットキー障壁高さ( $\phi_B$ )は、N 極性 GaN で 0.58 V、Ga 極性 GaN で 0.79 V であった。また、逆方向の容量特性から求めた $\phi_B$ は、N 極性、Ga 極性 でそれぞれ 0.83 V、1.04 V であった。いずれも N 極性の方が 0.21 V 低い $\phi_B$ を示した。同様の結果 は他機関からも報告されている[3,4]。

考察 両極性の間の $\phi_B$ の違いには、表面の分極電荷の符号の違いが影響していると指摘されて いる[5]。一方、理想的には $\phi_B$ は金属の仕事関数と半導体の電子親和力の差で決まるものであり、 半導体の面方位に関わらず一定であるはずである。両者を矛盾無く説明するために、図1のよう に分極電荷が表面からある程度の深さに分布しているモデルを考える。すなわち GaN の表面分極 電荷密度 P = 3.4 x 10<sup>6</sup> C/cm<sup>2</sup> を、表面から深さ $\delta$ の間の領域に一様な体積電荷密度 $\rho = P/\delta$ で分布 していると考える。図2 に $\delta$ を 5Å、10Åとした場合のN 極性、Ga 極性 GaN の伝導帯プロファイ ルの計算結果を示す。分極電荷の密度は、一般的に不純物ドープによって実現できる電荷密度に 比べて非常に大きい。この大きな電荷密度のため、Ga 極性では負の分極電荷のために分極電荷領 域の伝導帯が持ち上げられ、N 極性では正の分極電荷によって伝導帯が押し下げられる。その結 果、同じ $\phi_B$ を表面電位として与えても、表面近傍での急激な伝導帯エネルギーの変化によって実 効的な $\phi_B$ は Ga 極性の方が高くなる。この実効 $\phi_B$ の差は $\delta$ と共に大きくなり、両極性間の $\phi_B$ の差 の実験値(0.21 V)から、 $\delta$ は約5Å、即ち、GaN の c 軸方向の格子定数程度となることが分かる。

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結 果得られたものである。また、本研究の一部は科研費 19H02165の支援を受けた。 [1] S. Wienecke, *et al.*, IEEE EDL **38** (2017) 359. [2] Hotta, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 58 (2019) SCCD14. [3] U. Karrer, *et al.*, APL **77** (2000) 2012. [4] H.W. Jang, *et al.*, APL **80** (2002) 3955. [5] O. Ambacher, *et al.*, J. Appl. Phys. **85** (1999) 3222.



Fig. 1: Model of polarization charges with finite thickness.

Fig. 2: Calculated band profiles using polarization-charged layer thickness of 5 Å (left) and 10 Å (right).