

## ZrN, HfN/Ge コンタクトの電気特性と界面微細構造解析

## Electrical Characteristics and Microstructural Analysis of ZrN and HfN/Ge Contacts

九大・総理工 (院生)<sup>1</sup>, 九大・総理工<sup>2</sup>, 九大・産学連携センター<sup>3</sup>, 物質・材料研究機構<sup>4</sup>野口 竜太郎<sup>1</sup>, 光原 昌寿<sup>2</sup>, 山本 圭介<sup>3</sup>, 西田 稔<sup>2</sup>, 中島 寛<sup>3</sup>, 原 徹<sup>4</sup>Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu Univ.<sup>1</sup>, Dept. of Engineering Sciences for Electronics and Materials, Kyushu Univ.<sup>2</sup>, KASTEC, Kyushu Univ.<sup>3</sup>, NIMS.<sup>4</sup>R. Noguchi<sup>1</sup>, M. Mitsuhashi<sup>2</sup>, K. Yamamoto<sup>3</sup>, M. Nishida<sup>2</sup>, H. Nakashima<sup>3</sup>, T. Hara<sup>4</sup>

E-mail: 2ES13036G@s.kyushu-u.ac.jp

**【1. 緒言】** 当グループはこれまでに、スパッタ堆積で形成した TiN/Ge コンタクトがフェルミレベルピンニング (FLP) を変調し、非常に低い電子障壁のコンタクトができることを示してきた<sup>[1]</sup>。また、その発現機構として、非晶質界面層と N 原子に起因する、界面ダイポールおよび外因性準位の形成モデルを提唱している<sup>[2]</sup>。今回、このモデルをより深く検証するために、TiN 以外の 4 族遷移金属窒化物である ZrN と HfN について電気特性と界面構造の調査を行った。

**【2. 実験方法】** HF 洗浄した p-Ge(100)基板上に、ZrN ないし HfN を rf スパッタリングにより成膜した。スパッタリングのターゲットには、金属と N の組成比が 1:1 の窒化物ターゲットを用いた。成膜・電極パターンニング後に Postmetallization annealing (PMA) 処理を低温 (350 または 450 °C) もしくは高温 (600 °C) で行った。詳細なプロセスの条件を Table 1 にまとめた。試料には、電流密度-電圧 ( $J$ - $V$ ) 特性評価と界面近傍の STEM 観察 (加速電圧: 200 kV) を行った。

**【3. 結果および考察】** Fig. 1(a, b)にそれぞれ、低温 PMA と高温 PMA を施した ZrN, HfN および TiN/p-Ge コンタクトの  $J$ - $V$  特性を示す<sup>[2]</sup>。ZrN, HfN とともに TiN とよく似た特性、すなわち低温 PMA で FLP 変調 (p-Ge に対して整流性) が生じ、高温 PMA でその変調が解除 (同、オーミック性) されている。これらの PMA 条件に対応する TiN および ZrN/Ge コンタクト界面の高角度環状暗視野 (HAADF-STEM) 像を Fig. 2 に示す。大きな FLP 変調を示した(c) ZrN 450 °C PMA 試料は、界面層 (電子線回折パターンより非晶質相であることを確認) が形成されており、(a) TiN 350 °C PMA 試料と極めて良く似た界面構造を有している。一方で、FLP 変調を示していない(b) TiN 600 °C PMA 試料, (d) ZrN 600 °C PMA 試料には非晶質界面層が確認されなかった。この結果に加え、窒素を含まない Ti/Ge, Zr/Ge コンタクトは FLP 変調を示さないことから<sup>[3]</sup>、「非晶質界面層」と「N 原子」が FLP 変調に必要であることが裏付けられた。当日は、HfN/Ge の断面構造も示し、界面構造と電気特性の関連性についてより詳細に議論する。

Table 1 Detail conditions for sample preparation.

|                 | ZrN | HfN | TiN <sub>[2]</sub> |
|-----------------|-----|-----|--------------------|
| Ar流量(sccm)      | 30  |     |                    |
| 成膜時圧力(Pa)       | 6.0 |     |                    |
| rf power(W)     | 200 | 100 | 200                |
| ターゲット-試料間距離(cm) | 5   |     |                    |
| 低温PMA温度(°C)     | 450 | 350 |                    |
| 高温PMA温度(°C)     | 600 |     |                    |

**【参考文献】** [1] Iyota et al., APL **98**, 192108 (2011). [2] Yamamoto et al., APL **104**, 132109 (2014). [3] Nishimura et al., APL **91**, 123123 (2007).

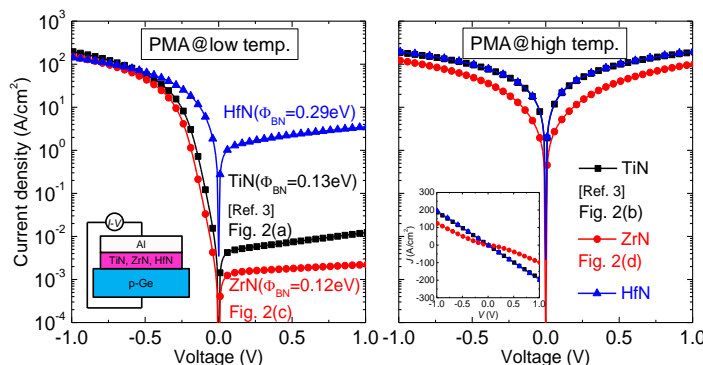


Fig. 1  $J$ - $V$  characteristics of ZrN, HfN and TiN/p-Ge contacts. (a) with PMA at low temperature (350 or 450 °C) and (b) with PMA at high temperature (600 °C.)

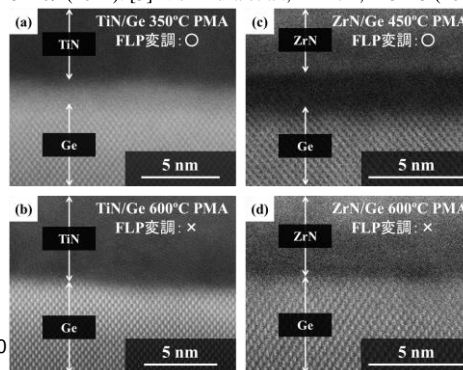


Fig. 2 HAADF-STEM images of interface in (a) TiN/Ge with 350 °C PMA (b) TiN/Ge 600 °C PMA (c) ZrN/Ge 450 °C PMA and (d) ZrN/Ge 600 °C PMA.