

TiN/Ge コンタクトにおける低電子障壁発現機構の解明(Ⅱ)

Clarification of inducement mechanism of low electron barrier for a TiN/Ge contact (II)

九大・産学連携センター¹, 九大・総合理工学研究院², 九大・総合理工学府³○山本 圭介¹, 光原 昌寿², 吹留 佳祐³, 野口 竜太郎³, 西田 稔², 王 冬², 中島 寛¹KASTEC, Kyushu Univ.¹, Dept. of Electrical and Material Science, Kyushu Univ.², I-EggS, Kyushu Univ.³○K. Yamamoto¹, M. Mitsuhashi², K. Hiidome³, R. Noguchi³, M. Nishida², D. Wang², H. Nakashima¹

E-mail: yamamoto.keisuke@astec.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに 我々は、Ge 上に TiN を直接スパッタ堆積させることで、フェルミレベルピンニング (FLP) の変調が生じて、非常に低い電子障壁のコンタクト (最適条件下で $\Phi_{BN}=0.09$ eV) ができることを示してきた[1,2]。しかし、その発現機構は理解できておらず、解明に注力している。今回、Ti 以外の 4 族元素窒化物である ZrN 及び HfN に関して同様の調査を行った。また、これまでの結果を総括して、FLP 変調の発現機構について考察・モデル化した結果を報告する。

2. 実験 これまでの研究と同様に、HF洗浄したGe基板上に、ZrNないしHfNをrfスパッタリングによって成膜した。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。プロセスの条件はTiNターゲットの場合[2]と同一で、rfパワー: 200 W、成膜時圧力: 6 Pa、ターゲット-基板間距離: 5 cm、電極形成後熱処理 (PMA) 温度: 350°Cとした。電極はリフトオフ法にて ϕ 240 μ mに加工した。また、FLP変調の発現機構を明らかにするために、TiN及びTi/Ge界面近傍をSTEMによって観察した。

3. 結果と考察 Fig. 1に、ZrN及びHfN/p-Geコンタクトの電流密度-電圧特性を示す。比較として、TiN及びTi/p-Geコンタクトの特性も示してある[2,3]。Ti/Geコンタクトは、一般的な金属/Geコンタクトの特性 (p-Geに対してオーミック) を示した一方で、ZrN, HfNコンタクトはいずれもTiNと同様のFLP変調 (p-Geに対して整流性) が生じている。特に、ZrNのFLP変調はTiNより強い。TiNの場合[1]と同様に、ZrN, HfNともにこのFLP変調は600°C-PMAによって完全に消滅した。Fig. 2にTiN及びTi/Geコンタクトの350°C及び600°C-PMA処理時の断面STEM像を示す。TiN, Tiともに350°C-PMA試料では明るい灰色を呈する界面層が形成されているのに対して、600°C-PMA試料では界面層が消失している。EDX分析及び電子線回折パターンから、この界面層はGeを主成分とする非晶質層であることが分かった。電気特性と断面STEM像の比較から、FLP変調には界面の非晶質層とN原子の両方が必要であると考えられる。これらの結果をもとにモデル化した、FLP変調が生じているTiN/Geコンタクトの界面近傍のバンド図をFig. 3に示す。非晶質層/Ge界面でN原子に起因するダイポール (Ge側が+) が形成され、これによりGe本来のピンニング位置 (E_V 上約0.1 eV[4]) とは異なるダイポール由来の外因性ピンニング位置 ($E_{ex, PIN}$, E_C 下0.1 eV付近) が生じた結果、強力なFLP変調が引き起こされたと考えられる。

参考文献 [1] M. Iyota et al., APL **98**, 192108 (2011). [2] K. Yamamoto et al., JJAP **51**, 070208 (2012). [3] 山本 他, 第60回応用物理学会春季学術講演会 (2013・春) 28p-G6-7. [4] A. Dimoulas et al., APL **89**, 252110 (2006).

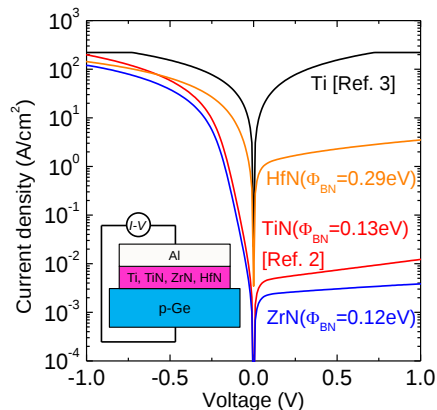


Fig. 1 J-V characteristics of ZrN and HfN/p-Ge contacts. Our previous results for TiN and Ti are also shown [2,3].

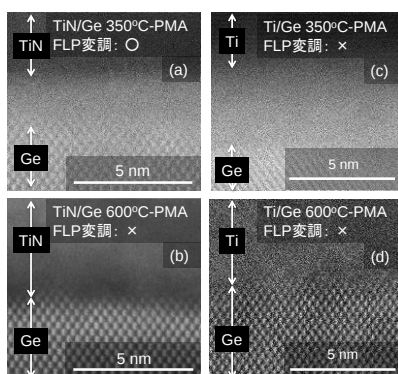


Fig. 2 HAADF-STEM images of interface in (a) TiN/Ge with 350°C-PMA (b) TiN/Ge 600°C-PMA (c) Ti/Ge 350°C-PMA and (d) Ti/Ge 600°C-PMA.

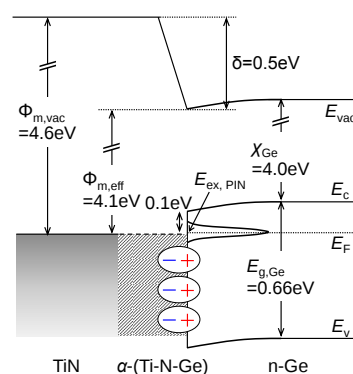


Fig. 3 Band diagrams of TiN/n-Ge contacts with a large number of dipoles at the amorphous IL/Ge interfaces.