## Sn/Ge 界面の結晶構造およびショットキー障壁高さの Ge 面方位依存性

Ge orientation dependence of crystalline structure and

Schottky barrier height of Sn/Ge contacts

名大院工<sup>1</sup>, 学振特別研究員<sup>2</sup>

<sup>0</sup>鈴木陽洋<sup>1</sup>, 鄧云生<sup>1</sup>, 柴山茂久<sup>1,2</sup>, 黒澤昌志<sup>1,2</sup>, 坂下満男<sup>1</sup>, 中塚理<sup>1</sup>, 財満鎭明<sup>1</sup> <sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Nagoya University, <sup>2</sup>JSPS Research Fellow, <sup>°</sup>A. Suzuki<sup>1</sup>, Y. Deng<sup>1</sup>, S. Shibayama<sup>1,2</sup>, M. Kurosawa<sup>1,2</sup>, M. Sakashita<sup>1</sup>, O. Nakatsuka<sup>1</sup>, S. Zaima<sup>1</sup> E-mail: asuzuki@alice.xtal.nagoya-u.jp

研究背景>パソコンやスマートフォン等の性能を司る半導体デバイスの高性能化は、その最小素子である金属-酸化膜-半導体電界効果型トランジスタ(MOSFET)の微細化技術が主となって支えてきた。しかし現在は、微細化の物理的限界を迎えつつあり、新規構造や材料の開発等、微細化のみに依存しない高性能化技術の確立が急務である。なかでもGeは、それ自身が持つ高いキャリア移動度から、Siに代わるMOSFETのチャネル材料として注目を集めている。しかし、金属/Ge界面において発生するフェルミレベ

ルピニング (FLP) は、n型コンタクトのショットキー障壁高さ (SBH、  $\Phi_{Bn}$ ) およびコンタクト抵抗の増大を引き起こし、Ge チャネル MOSFET の性能を下げる原因となりうる問題である。これまでに、界面への極 薄絶縁体の挿入[1]、Ge 上のエピタキシャル金属形成[2]、および TiN 電 極形成[3]等による FLP の軽減と低 SBH の実現が報告されており、界面 構造の制御や電極材料の選択が FLP 解消の重要なファクターといえる。 我々はこれまでに、Sn/n型 Ge(001)コンタクトによる、0.35 eV の低 SBH 実現を報告した[4]が、SBH と Sn/Ge 界面構造の相関は明らかになって いない。今回は、様々な面方位の Ge 上に Sn/Ge コンタクトを形成し、 SBH と Sn/Ge 界面構造の相関性について調べた。

**実験方法>**n型 Ge(001)、Ge(110)、Ge(111)基板を希フッ酸および超純水 を用いて化学洗浄後、10<sup>-4</sup> Pa 以下の高真空下、室温において膜厚 50 nm の Sn を堆積した。Sn の成長過程を反射高速電子回折(RHEED)によっ て調べた。その後、表面に Au 電極、裏面に Al 電極を形成し、ショットキ ーダイオードを作製した。ダイオードの電流密度-電圧(*J-V*)特性から、SBH を見積もった。

特色と独創的な点〉本研究では、すべての面方位において Sn/Ge 界面において Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>の形成を示唆する結果が得られ、SBH も Ge の面方位に依存しない値となった。この結果は、Sn/Ge コンタクトがプレーナー型 MOSFET だけでなく、立体型 MOSFET など、幅広い応用の可能性をもった構造であることを示唆している。

**研究成果〉***J-V*特性からの SBH の見積もりの結果、どの面方位の Ge に 対しても、0.3 eV 前後の低 SBH を観測した(Fig.1)。この理由を考察す

 $\begin{array}{c} 0.8 \\ (30) \\ (30$ 

Orientation of Ge substrate Fig. 1 Sn/n型 Ge(001)、Ge(110) および Ge(111)における SBH。



Fig. 2 Ge(001)上の Sn (膜厚: 1 nm)の RHEED パターン。

るため、各面方位の Ge 上の Sn の成長過程を RHEED によって観察した。成長初期の段階(Sn 膜厚:1 nm) では、Ge(001)上において多結晶に由来する回折パターンがみられ(Fig. 2)、Ge(110)、Ge(111)においても 同様の回折リングがみられた(*not shown*)。これらの面間隔を求めたところ、いずれの面方位においても Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>の形成が示唆される回折パターンであることがわかった。この極薄 Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> が Sn/Ge の極界面に 存在することによって、どの面方位の Ge においても低 SBH が実現される可能性が考えられる。

参考文献> [1] T. Nishimura *et al.*, APEX. 1, 051406 (2008). [2] T. Nishimura *et al.*, Microelectron. Eng. 88, 605 (2011). [3] M. Iyota *et al.*, APL 98, 192108 (2011). [4] A. Suzuki *et al.*, JJAP 53, 04EA06 (2014). キーワード> ゲルマニウム、錫、フェルミレベルピニング、ショットキー障壁