

Ni(Ge_{1-y}Sn_y)/高濃度 Sb ドープ n-Ge_{1-x}Sn_x 接合のコンタクト抵抗率評価 Evaluation of Contact Resistivity of Ni(Ge_{1-y}Sn_y)/Heavily Sb-doped n-Ge_{1-x}Sn_x Contact

全 智禧¹、鈴木 陽洋^{1,2}、高橋 恒太^{1,2}、中塚 理^{1,3}、財満 鎮明⁴

¹名古屋大院工, ²学振特別研究員, ³名古屋大未来研, ⁴名古屋大未来社会創造機構

°Jihee Jeon¹, Akihiro Suzuki^{1,2}, Kouta Takahashi^{1,2}, Osamu Nakatsuka^{1,3}, and Shigeaki Zaima⁴

¹Grad. Sc. of Eng., Nagoya Univ., ²Research Fellow of JSPS, ³IMaSS, Nagoya Univ., ⁴IIFS, Nagoya Univ.

E-mail: jjeon@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp, nakatuka@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp

【はじめに】半導体集積回路の基本構成素子である MOSFET の電流駆動力向上および省電力実現に向けて、Sn 組成 5% を越える Ge_{1-x}Sn_x をソース/ドレインストレッサとする歪 Ge 高移動度チャネルが提案されている[1]。その実用化に向けては、寄生抵抗、特に金属/n-Ge_{1-x}Sn_x 界面のコンタクト抵抗率の低減が課題である。半導体技術ロードマップ上、2018 年に要求されるコンタクト抵抗率は $6 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{cm}^2$ だが、既報の金属/n-Ge_{1-x}Sn_x のコンタクト抵抗率は $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 台にとどまっており、更なる低減が必要である[2]。コンタクト抵抗率低減には、ショットキー障壁の高さ (SBH) の低減とキャリア濃度の増大が有効だが、金属/Ge 界面におけるフェルミレベルピンギング現象や Ge 母相へのドナー不純物の低い固溶限界など、解決すべき課題がある。また、コンタクト形成時の熱処理に伴い、Ge_{1-x}Sn_x 層における Sn やドーパントの偏析による結晶性劣化やキャリア濃度低下の懸念もある。これまでに我々は *in-situ* Sb ドーピングによって優れた結晶性と $1.5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ の高電子濃度の n-Ge_{0.94}Sn_{0.06} 形成を達成し、400 °C までの層の熱安定性を報告した[3]。今回、低抵抗率かつ低温形成 (350 °C) 可能な NiGe 電極に着目し[4]、高濃度 n-Ge_{1-x}Sn_x 層を用いて、Ni(Ge_{1-y}Sn_y)/n-Ge_{1-x}Sn_x コンタクトにおける電気伝導特性を測定し、コンタクト抵抗率を評価した。

【試料作製】化学洗浄および超高真空中の熱処理で清浄化した p-Ge(001) 基板表面に分子線エピタキシー法で Ge_{1-x}Sn_x:Sb 層を成長した。Sn 組成は 5.2–6.5%、Sb 濃度は $10^{19-20} \text{cm}^{-3}$ 台とした。Ge_{1-x}Sn_x:Sb 層の膜厚および基板温度はそれぞれ 80–140 nm および 150 °C とした。膜厚 10 nm の Ni 層を真空蒸着し、窒素雰囲気中 350 °C で 30 秒間の熱処理を施した。最後に Al 電極を真空蒸着し、円形 Transmission line model (TLM) 法によるコンタクト抵抗測定のため電極構造を形成した。

【実験結果および考察】Fig. 1 に示すような円形 TLM 構造試料の SEM 画像から、電極の内側半径および電極間隔を実測した。Sb 濃度 10^{19} および 10^{20}cm^{-3} 台の Ge_{0.935}Sn_{0.065}:Sb 試料における TLM 測定の抵抗値と SEM で測定した電極間隔の相関を Fig. 2 に示す。Sb 濃度増大に伴って抵抗値は低減され、それぞれの試料の抵抗値は TLM 法の理論曲線 (破線) によってよくフィッティングできる。

TLM 法によって評価されたコンタクト抵抗率のキャリア濃度依存性を Fig. 3 に示す。半導体層のキャリア濃度はマイクロ四探針法によって評価された。様々な SBH におけるコンタクト抵抗率の依存性の予測を Fig. 3 に示す[5]。キャリア濃度の増加に伴ってコンタクト抵抗が減少する。Sb ドープ Ge_{1-x}Sn_x 試料は固溶限界を超える 5% の高 Sn 組成においても、Sb ドープ Ge および P ドープ Ge_{1-x}Sn_x 試料よりも低いコンタクト抵抗を達成した。コンタクト抵抗率測定結果は変動を示し、SBH 0.6 eV の理論予測とも差を見せた。Sb ドープ Ge_{0.935}Sn_{0.065} 試料においては、最小で $6 \times 10^{-10} \Omega \cdot \text{cm}^2$ の低いコンタクト抵抗率を観測できた。これはロードマップの要求値 (2018 年に $6 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{cm}^2$) やこれまでの最小報告値 ($10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 台) よりも低い値である。低温 *in-situ* Sb ドーピングによるキャリア濃度向上により、n⁺-Ge_{1-x}Sn_x 接合においてコンタクト抵抗率を相応に低減できることが実証された。

【参考文献】[1] R. Loo *et al.*, J. Electrochem. Soc. **157**, H13 (2010). [2] VSS. Srinivasan *et al.*, Semicond. Sci. Technol. **31**, 08LT01 (2016). [3] J. Jeon *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 04EB13 (2016). [4] S. Gaudet *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. **A24**, 474 (2006). [5] 実線部は H. Miyoshi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **53** 04EA05 (2014) による。点線部は外挿により予測した。

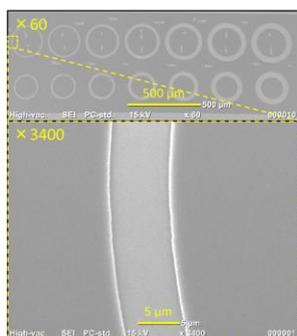


Fig. 1. The SEM image of Ni(Ge_{1-y}Sn_y)/Sb-doped Ge_{0.935}Sn_{0.065} sample.

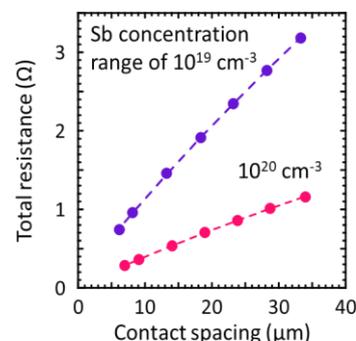


Fig. 2. Total resistance as a function of the gap spacing for Ni(Ge_{1-y}Sn_y)/Ge_{0.935}Sn_{0.065} samples with Sb concentration range of 10^{19} and 10^{20}cm^{-3} .

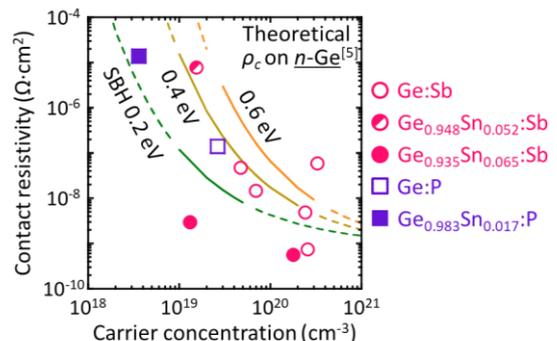


Fig. 3. The electron concentration dependence of the contact resistivity for Ni(Ge_{1-y}Sn_y)/n-Ge_{1-x}Sn_x samples with various Sb and P-doping.