金属/高濃度 Sb ドープ n-$Ge_{1-x}Sn_x$ コンタクトの電気伝導特性
Electrical Conduction Property at Metal/Heavily Sb-doped n-$Ge_{1-x}Sn_x$ Contact

全 智禧 [1]、鈴木 陽洋 [1,2]、髙橋 恒太 [1,2]、中塚 理 [1,3]、財満 鎮明 [3]
([1] 名古屋大院工, [2] 学振特別研究員, [3] 名古屋大未来研)
J. Jihee[1], A. Suzuki[1,2], K. Takahashi[1,2], O. Nakatsuka[1,3], and S. Zaima[3]
[1]Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ., [2]Research Fellow of JSPS, [3]IMaSS, 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 6×10^{-9} Ω·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} Ω·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、キャリア濃度の増大が有効であるが、n 型ドーピングにおいては、一般に Ge 母相へのドーパント元素の固溶限界が低く、高濃度化が難しい。また、コンタクト形成には熱処理も伴うため、$Ge_{1-x}Sn_x$ 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 1.5×10^{20} cm^{-3} の高電子濃度の n-$Ge_{0.94}Sn_{0.06}$ 形成を達成し、400 ºC 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 ºC）可能な NiGe 電極に着目し[4]、高濃度 Sb がドープされた n-$Ge_{1-x}Sn_x$ 層を用いて、NiGeSn 電極/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。

【実験方法】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 0%および 6%、Sb 濃度は 10^{19} および 10^{20} 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 100 nm および 150 ºC とした。一部の試料に対して、N_2 雰囲気中、300 ºC で 1 分間熱処理を施した。更に試料表面を化学洗浄後、室温で膜厚 10 nm の Ni 層を真空蒸着し、窒素雰囲気中 350 ºC、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の電極構造をフォトリソグラフィー法により形成した。

【実験結果および考察】Sb濃度10^{19}および10^{20} cm^{-3}台のas-grown $Ge_{0.94}Sn_{0.06}$:Sb試料におけるTLM測定の抵抗値と電極間隔の相関をFig. 1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法の理論曲線でよくフィッティングできる。Fig. 2は、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である。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。10^{19} cm^{-3}台の低Sb濃度の$Ge_{0.94}Sn_{0.06}$試料は10^{-5} Ω·cm^{2}台のコンタクト抵抗率を示すが、10^{20} cm^{-3}台までのキャリア濃度増大に伴って、Geおよび$Ge_{0.94}Sn_{0.06}$試料ともに、それぞれ1.7×10^{-7}および4.7×10^{-7} Ω·cm^{2}の低いコンタクト抵抗率が得られる。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^+-$Ge_{0.94}Sn_{0.06}$接合においても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。また、$Ge_{0.94}Sn_{0.06}$試料においては、300 ºC熱処理後のコンタクト抵抗率も、未熱処理試料とほぼ同一であり（5.0×10^{-7} Ω·cm^2）、安定した低抵抗率を示すことがわかった。

[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. A**24**, 474 (2006).

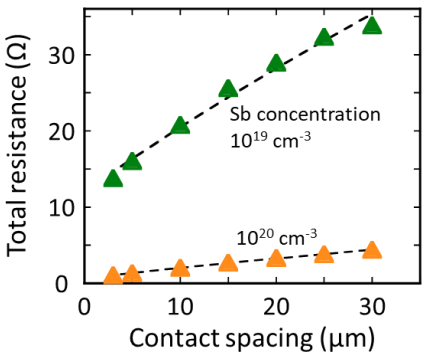

Figure 1. Total resistance plotted versus gap spacing of as-grown $Ge_{0.94}Sn_{0.06}$ samples with Sb concentration range of 10^{19} and 10^{20} cm^{-3}.

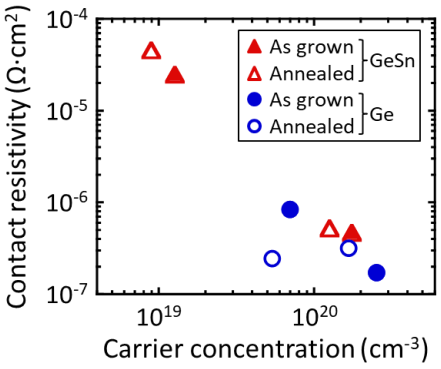

Figure 2. Contact resistivity of metal/n-$Ge_{1-x}Sn_x$:Sb as a function of carrier concentration.