水中パルスレーザアニールを用いた多結晶 GeSn への高濃度 n 型ドーピング

Heavy n-type doping for poly-GeSn by using pulsed laser annealing in water

¹名大院工,²学振特別研究員 (DC),³名大未来研,⁴JST さきがけ,⁵九大院シス情 ○高橋恒太^{1,2}, 黒澤昌志^{1,3,4}, 池上浩⁵, 坂下満男¹, 中塚理¹, 財満鎭明^{1,3} ¹Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ.,²JSPS Research Fellow (DC),³IMaSS, Nagoya Univ., ⁴PRESTO, JST, ⁵Grad. Sch. of ISEE, Kyushu Univ.

^OK. Takahashi^{1,2}, M. Kurosawa^{1,3,4}, H. Ikenoue⁵, M. Sakashita¹, O. Nakatsuka¹, and S. Zaima^{1,3} E-mail: ktakahas@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp

[はじめに] poly-Si に比べ高移動度および低温結晶化が期待される poly-Ge[1]や poly-GeSn[2]を チャネルに用いた junctionless (JL-) MOSFET の積層 CMOS 回路への応用が注目されている。高 性能な JL-nMOSFET 形成には、poly-Ge(Sn)に対する高濃度 (~10²⁰ cm⁻³) n型ドーピングが必要で ある。これまでに、フラッシュランプアニール (FLA) 法による P の活性化が提案されているが、 1×10¹⁹ cm⁻³程度でキャリア濃度が飽和する[3]。Ge の溶融結晶化においては、偏析による P の掃 き出しが知られており[4]、溶融・結晶化の短時間化が高濃度ドーピングの鍵と考えられる。そこ で、FLA 法に比べてアニール時間が 3 桁程度短く、高品質な poly-GeSn 形成に有利な水中パルス レーザアニール法[5]を検討し、FLA 法を超える高濃度 n型ドーピングに成功したので報告する。 [実験方法および結果] 熱酸化 Si 基板上に非晶質 GeSn:Sb 薄膜(膜厚:50 nm)を分子線エピタ キシー法により室温堆積した。設計 Sn 組成は 2%、Sb 濃度は 1×10²⁰ cm⁻³ とした。本試料を水中 に浸し、KrF エキシマレーザ(波長:248 nm、パルス幅:55 ns、照射エネルギー密度:250 mJ/cm²、 照射回数:20 pulse/location)を照射し非晶質 GeSn:Sb の結晶化を誘起した。

硬 X 線光電子分光測定 (SPring-8 BL47XU) により、 poly-GeSn:Sb 薄膜中の Sb の化学結合状態を評価した。Fig. 1 に Sb3d_{3/2} 光電子スペクトルを示す。電気的に不活性な Sb⁰、活性な Sb⁺、および酸化物 SbO_xの 3 成分へのピーク 分離を行った。その面積強度比 (Sb⁺/(Sb⁺+Sb⁰)) から活性 化率は 65%と見積もられ、FLA 法を用いた同濃度程度の Ge 中 P ドーピングにおける結果 (13%) [3]と比較しても、 優れた活性化率が見出された。パルスレーザを用いた極短 時間アニールにより Sb の偏析が抑制され、結晶中へ Sb が取り込まれた結果と考えられる。

マイクロホールバーを形成し、Hall 効果測定を行った結 果、poly-GeSn:Sb 薄膜の伝導型は n 型であった。Fig. 2 に キャリア 濃度と移動度を示す。比較のために、n 型 poly-Ge[3,6]と単結晶 n-Si[7]について合わせて示した。 poly-GeSn:Sb 薄膜のキャリア濃度は、FLA 法に比べ4 倍高 い 6.7×10^{19} cm⁻³であった。これは、Ge 中への Sb の固溶 限 (1.2×10^{19} cm⁻³)を大きく上回っている。また、移動度 は単結晶 Si を超える 120 cm²/Vs であった。すなわち、非 晶質 GeSn:Sb に対し水中パルスレーザアニールを用いる ことで、高移動度かつ高濃度な n 型 poly-GeSn 薄膜の形成 を実証できた。これは、JL-nMOSFET の高性能化に大きく 貢献する成果である。

[謝辞] 本研究の一部は、JSPS 科研費・基盤研究(S)(No. 26220605) および JST さきがけの研究助成により実施されました。

[1] Y. Kamata *et al.*, VLSI 2013, T94. [2] M. Kurosawa *et al.*, Ext. Abst. SSDM 2014, p.684. [3] M. Koike *et al.*, Ext. Abst SSDM 2015, p.1102.
[4] R. Matsumura *et al.*, ECS Solid State Lett. 2, 58 (2013). [5] M. Kurosawa *et al.*, Appl. Phys. Lett. 104, 061901 (2014). [6] H. -W. Jung *et al.*, J. Alloys and Compounds 561, 231 (2013). [7] S. M. Sze: "Semiconductor devices", Wiley (1985).



Fig. 1 Sb3d_{3/2} core level spectrum for the poly-GeSn:Sb layer formed by pulsed laser annealing in water.



Fig. 2 Electron Hall mobility versus carrier concentration for poly-GeSn, poly-Ge, and bulk-Si at RT. Our experimental result (star) and reported values by other groups (circles, triangles, and squares) are plotted for comparison.