

水中パルスレーザーアニールを用いた多結晶 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ への高濃度ドーピング

Heavy doping for poly- $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ using pulsed laser annealing in water

¹名大院工, ²学振特別研究員, ³JST さきがけ, ⁴九大院シス情ギガフoton共同部門, ⁵名大未来研

○高橋恒太^{1,2}, 黒澤昌志^{1,3}, 池上浩⁴, 坂下満男¹, 中塚理¹, 財満鎮明^{1,5}

¹Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ., ²JSPS Research Fellow, ³PRESTO, JST,

⁴Dept. of Gigaphoton Next GLP, Grad. Sch. of ISEE, Kyushu Univ., ⁵IMaSS, Nagoya Univ.,

○K. Takahashi^{1,2}, M. Kurosawa^{1,3}, H. Ikenoue⁴, M. Sakashita¹, O. Nakatsuka¹, and S. Zaima^{1,5}

E-mail: ktakahas@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp

【はじめに】 高移動度および低温結晶化が期待される多結晶 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ をチャネルに用いた MOSFET の積層 CMOS 回路への応用が注目されている[1]。多結晶 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ n-MOSFET の高性能化には、高濃度 ($\sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) n 型ドーピング技術の確立が重要である。本研究では、不純物偏析抑制の観点から、熔融・結晶化の短時間化のために、熱処理時間が 55 ns と非常に短く、高品質な多結晶 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ 形成が可能な水中パルスレーザーアニール法[2]を検討した。その結果、多結晶 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x\text{:Sb}$ 薄膜において、従来手法を上回る高濃度 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 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x\text{:Sb}$ 薄膜 (膜厚: 50 nm) を分子線エビ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 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とした。超純水の流水に本試料を浸し、KrF エキシマレーザ (ギガフoton社製、波長: 248 nm、パルス幅: 55 ns、レーザーパワー: $E=110\sim 320 \text{ mJ/cm}^2$ 、照射回数: 20 pulse/location) を照射し非晶質 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x\text{:Sb}$ 薄膜の結晶化を誘起した。

マイクロホールバー構造を形成し、Hall 効果測定を行った結果、多結晶 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x\text{:Sb}$ 薄膜の伝導型は n 型であった。Fig. 1 に Hall 電子濃度および Hall 電子移動度のレーザーパワー依存性を示す。Hall 電子濃度、移動度共に、 $E=230 \text{ mJ/cm}^2$ で顕著な増加がみられる。電子線後方散乱回折法により結晶粒を評価したところ、 $E=230 \text{ mJ/cm}^2$ で平均結晶粒径が $0.56 \mu\text{m}$ と 10 倍以上に増大していた。Hall 電子濃度および移動度の増加は、結晶粒界の減少によるキャリアトラップおよびキャリア散乱の低減に起因すると推察される。

本研究で得られた多結晶 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x\text{:Sb}$ 薄膜の Hall 電子濃度および Hall 電子移動度について、n 型単結晶 Si[3]および多結晶 Ge[4,5]における報告値との比較を Fig. 2 に示す。 $E=250 \text{ mJ/cm}^2$ でレーザー照射した多結晶 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x\text{:Sb}$ 薄膜の電子濃度は、Ge 中の Sb の最大固溶限 ($1.2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) を大きく上回り、FLA 法[4]に比べ 4 倍高い $6.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。硬 X 線光電子分光法により Sb の活性化率を求めたところ、65% と非常に良好であった。極短時間熱処理に伴う偏析抑制により結晶中へ Sb が取り込まれ、高い電子濃度に結実したと考えられる。また、移動度についても単結晶 Si を超える $120 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と、本手法を用いた高品質・高濃度 n 型ドーピングを実証できた。当日の講演では、本手法を他の不純物に適用した例についても述べる予定である。

【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] M. Kurosawa *et al.*, Ext. Abstr. SSDM 2014, p.684. [2] M. Kurosawa *et al.*, Appl. Phys. Lett. **104**, 061901 (2014). [3] S. M. Sze, "Semiconductor devices," Wiley (1985). [4] M. Koike *et al.*, Ext. Abstr. SSDM 2015, p.1102. [5] H. -W. Jung *et al.*, J. Alloys and Compounds **561**, 231 (2013).

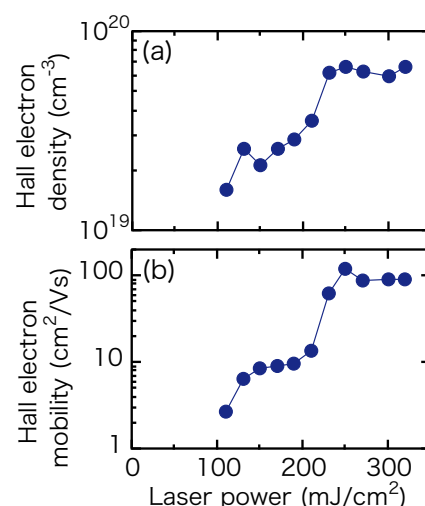


Fig. 1 (a) Hall electron density and (b) Hall electron mobility of poly- $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x\text{:Sb}$ layers as a function of laser power.

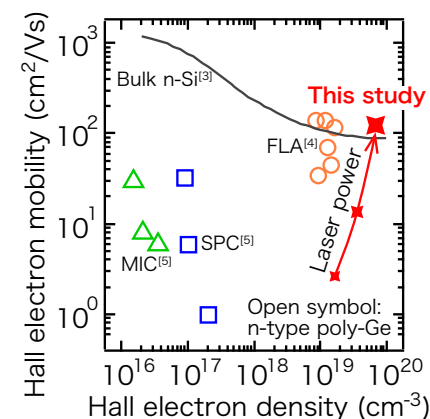


Fig. 2 Hall electron mobility and Hall electron density of poly- $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ layers with $E=110, 210$, and 250 mJ/cm^2 (stars), poly-Ge (circles [4], triangles, and squares [5]), and bulk n-Si [3].