

課題番号 : F-20-NU-0005
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : Si-Ge-Sn 系薄膜熱電材料および素子の創製
Program Title (English) : Development of Si-Ge-Sn thin-film thermoelectric materials and devices
利用者名(日本語) : 竹内恒博, 彭英, 頼華俊
Username (English) : T. Takeuchi, Y. Peng, H. Lai
所属名(日本語) : 豊田工業大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Toyota Technological Institute
キーワード/Keyword : 膜加工・エッチング, 熱処理, イオン注入, 熱電材料, エネルギー関連技術

1. 概要(Summary)

本利用課題では, スパッタ法により作製した Si-Ge-Sn 系薄膜に対してキャリアを導入する目的で, 名古屋大学微細加工 PF で提供されているイオン注入装置を利用して B および P を注入する加工を行った。また, 注入したイオンを活性化させる目的で, 急速加熱処理装置にて, 熱処理を行った。試料組成の探索も併せ, これらの作業により, 熱電材料として最高性能を発現する条件を特定することを目指した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

イオン注入装置(日新電機社製 MH-20SR-WMH) , 急速加熱処理装置(AG Associates 社 Heatpulse610)

【実験方法】

Si-Ge-Sn 系薄膜は表面に 1 μm の SiO_2 膜がついた 0.4 mm 厚の Si 基板上に, マグネトロンスパッタ法によって製膜した。Si-Ge-Sn 系薄膜の膜厚は 100 nm とした。Sn の固溶域はそれ程広くないため, 作製した試料はダイヤモンド構造の Si-Ge-Sn 化合物に微量に Si や Ge を含有する Sn の固溶体が析出した混相試料である。母相は半導体であるため, 大きなゼーベック係数を示し, 析出した(Sn)が電気伝導度を大きくする役目を果たしている。また, 最上部には試料の参加を防ぐ目的で 15 nm の SiO_2 を堆積させてある。上記試料は, 金属析出相である(Sn)を含むものの, 母相となるダイヤモンド構造 Si-Ge-Sn が絶縁体であるため, 熱電材料としての性能は高くない。熱電材料としての性能を高めるためには, B や P をイオン注入することで, キャリアとしてホールあるいは電子を導入する必要がある。また, ドープした B や P を活性化させるためには, フラッシュアニーリングを施す必要がある。

そこで, 本利用課題において, 名古屋大学微細加工

PF で提供されているイオン注入装置および急速加熱処理装置を用いて, イオンの導入と, 導入したイオンの活性化を行い, Si-Ge-Sn 系薄膜の熱電性能の向上を目指した。具体的には, 様々な組成の試料において, $0.25 \sim 8 \times 10^{15} \text{ atoms cm}^{-2}$ のイオンを注入した。また, 窒素雰囲気化において, 1000~1100 度で, 2~10 秒間の急速加熱処理を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

ゼーベック係数 S と電気伝導度 σ はキャリア濃度の関数であり, 導入されたイオン量と活性化率により大きく値を変化させる。様々な条件で実験を行った結果, 特定の条件で出力因子 $PF = S^2\sigma T$ が著しく増大することを見出した。最大の値は 約 $2 \times 10^{-3} \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-2}$ にも達し, これまでに報告されている Si-Ge 系熱電材料の室温における出力因子としては最大値を観測することに成功した。

物性を調整できるパラメータを全て網羅できている訳ではないことから, さらなる性能の向上が見込める。また, Si-Ge 系材料であることから, 既存の半導体加工プロセスを利用することで, デバイス化も容易であると考えている。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) Y. Peng *et al.*, Appl. Phys. Lett. **117**, 053903 (2020).
- (2) H. Lai *et al.*, J. J. Appl. Phys. **60**, SA0803 (2021).

6. 関連特許(Patent)

なし。