

1. 研究目標及び研究成果の概要

課題名：短時間微小重力下におけるプレート状高品質結晶熱電半導体材料の製造及び熱電特性に関する研究

研究機関名：産業技術総合研究所

任期付研究員氏名：折橋正樹

【研究目標】

高温域(800~1100 K)において優れた熱電性能を持つといわれるSi-Ge化合物半導体を微小重力施設を用いて作製し、評価を行う。

(1) 微小重力下における Si-Ge 半導体の作製

微小重力設備を用いて Si-Ge 半導体プレートを作製し、最適作製条件を明らかにする。

(2) Si-Ge 半導体の熱電特性

作製された材料に対して、Si と Ge の固溶化によるキャリア濃度や熱伝導率などの関係や明らかにする。また、p 型および n 型不純物の添加により熱電特性の向上の可能性を探る。

【研究成果】

Si-Ge (シリコン-ゲルマニウム) 合金は、高温域(800~1100K)熱電発電材料として期待されている材料である。本研究は、微小重力環境下において、溶融凝固による高品質 Si-Ge 半導体合金の作製を行い、次にプレートの作製を行い、熱電特性を明らかにするとともに、高性能化手法を確立することを目的としている。

微小重力下で維持されている均一な Si-Ge 融液を 5000K/s 以上の冷却速度が得られるスプラット凝固法によって凝固することによって、Si, Ge およびドーパントが均質に分散した微細組織を持つ Si-Ge 合金が得られることがわかった。このようにして得られた Si-Ge 合金試料からスパークプラズマ焼結法によってプレート状 Si-Ge 熱電半導体を製造した。これらプレート状試料を用いて熱電特性を評価した結果、組織の微細化によって低熱伝導度化が実現されており、ドーパント量とともに熱電特性が単調に増加することがわかった。また、更なる低熱伝導度化を目的として、ZrO₂粒子が分散した Si-Ge 融液を微小重力下でスプラット凝固した試料では、ZrO₂粒子が均一に分散した試料が得られ、低熱伝導度化が達成された。

2. 研究実施計画

課題名：短時間微小重力下におけるプレート状高品質結晶熱電半導体材料の製造及び熱電特性に関する研究
研究機関名：産業技術総合研究
任期付研究員氏名：折橋正樹

①研究の意義・目的・必要性

エネルギーの有効利用や地球環境の保全の観点から廃熱利用などの省エネルギー技術の必要性が増してきており、その一つとして、炉壁などから失われる廃熱を電気へ直接に変換する熱電材料の利用が考えられている。本研究では、短時間微小重力環境を利用して高品質結晶が製造できることを利用して、デバイス作成に有利なプレート状半導体の製造法の確立および熱電材料の性能向上を目的とする。

②研究計画・内容（方法も含む）

熱電変換素子は機械的な可動部分を含まず、熱を電気へ直接に変換するために、メンテナンスフリーであり、従来は捨てられていた廃熱を有効に活用することが可能である。熱電変換材料は、材料間に温度差をつけることにより熱起電力が発生するため、閉回路を組むことにより電を取り出すことが可能である。しかし、現在の技術では3~9%の発電効率しか得られていないため、さらなる熱電材料の性能の向上が不可欠である。熱電材料は使用温度によって用いられる材料が異なり、低温域(250~450 K)ではビスマス-テルル系(Bi-Te)化合物半導体、中温域(450~850 K)ではテルル化鉛(PbTe)、高温域(850~1200 K)においてはSi-Geおよびケイ素化鉄(FeSi₂)などが知られている。カルノーサイクルにより高温で動作するほど、熱電変換効率は高い。なお、熱電材料が高い性能を得る条件としては、ゼーベック係数及び電気伝導率が大きく、かつ熱伝導率が小さい程良いと考えられている。これらのパラメータはいずれもキャリア濃度に依存する。Si-Ge系半導体は融点が高いため、良質な結晶の作製が難しいが、SiとGeの固溶化により熱伝導率を低減することが可能である。

これまでの研究では球状Si単結晶の作製に成功しており、その技術を用いてSi-Geの組成を変えてプレートの作製を行う。また得られた材料に対して、Si/Ge組成比が熱電特性に与える影響を明らかにする。また急冷で結晶成長を行うことにより、結晶中に均一に添加不純物が存在することが考えられるため、p型およびn型添加不純物を加え、キャリア濃度の制御を行う。具体的には以下の研究を行う。

- (1) Si-Geプレートの最適作製条件を明らかにする。
- (2) 同様に組成を変えたSi-Geプレートの作製を行い、キャリア濃度や熱伝導率などの熱電特性を明らかにする。
- (3) 最適なSi-Ge組成においてpおよびn型不純物を添加したプレートの作製を行い、不純物添加量と熱電特性の関係を明らかにし、性能向上の可能性を探る。

③研究の目標

高温域(800~1100 K)において優れた熱電性能を持つといわれるSi-Ge化合物半導体を微

小重力施設を用いて作製し、評価を行う。

(1) 微小重力下における Si-Ge 半導体の作製

微小重力設備を用いて Si-Ge 半導体プレートを作製し、最適作製条件を明らかにする。

(2) Si-Ge 半導体の熱電特性

作製された材料に対して、Si と Ge の固溶化によるキャリア濃度や熱伝導率などの関係や明らかにする。また、p 型および n 型不純物の添加により熱電特性の向上の可能性を探る。

3. 所要経費の推移

課題名：短時間微小重力下におけるプレート状高品質結晶熱電半導体材料の製造及び熱電特性に関する研究

研究機関名：産業技術総合研究所

任期付研究員氏名：折橋正樹

(単位:百万円)

11年度	12年度	13年度	合計
15	14	15	45

(四捨五入の関係で、合計額が合わないことがある。)

5. 研究成果公表等の状況

課題名：短時間微小重力下におけるプレート状高品質結晶熱電半導体材料の製造及び熱電特性に関する研究

研究機関名：産業技術総合研究所

任期付研究員氏名：折橋正樹

1. 研究発表等

(1) 研究発表件数

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合計
国内	0	0	5	5
国外	1	0	2	3
合計	1	0	7	8

注) 件数は既発表分及び投稿中のものを合計した数を記入

(2) 原著論文による発表の内訳

1) 国内[発表題名、発表者名、発表誌名等(雑誌名、巻、号、頁、年等)]

(計 0 件)

2) 国外[発表題名、発表者名、発表誌名等(雑誌名、巻、号、頁、年等)]

(計 1 件)

"Synthesis of Si-Ge Alloy by Rapid Cooling in Short-Duration Microgravity", Hideaki Nagai, Yoshinori Nakata, Hideaki Minagawa, Keiji Kamada, Takashi Tsurue, Masataka Sasamori and Takeshi Okutani, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.41, pp.749-753, 2002.2.

(3) 原著論文以外による発表の内訳

1) 国内[発表題名、発表者名、発表誌名等(雑誌名、巻、号、頁、年等)]

(計 0 件)

2) 国外[発表題名、発表者名、発表誌名等(雑誌名、巻、号、頁、年等)]

(計 0 件)

2. 特許出願等[件名、出願者氏名、出願年月日、特許番号等]

(計 3 件)

1) 「自由落下液滴の衝突凝固による高品質結晶材料の製造方法」奥谷 猛、永井秀明、皆川秀紀、中田善徳、鶴江 孝、折橋正樹、特 3087964、2000.7.14。

2) 「自由落下液滴の衝突凝固による均質組成組織材料の製造方法」、永井秀明、中田善徳、皆川秀紀、奥谷猛、特願 2001-269413、2001.9.5。

3) 「落下塔を利用する衝突凝固による均一組成・均一組織材料の製造方法」、奥谷猛、中田善徳、皆川秀紀、永井秀明、特願 2001-269387、2001.9.5。

3. 受賞等[件名、受賞者氏名、受賞年月日 等]

(計 0 件)