

## 新任教員紹介

# 材料科学科・准教授 高尻雅之

### 略歴

1967. 7 石川県生まれ  
1986. 3 石川県立大聖寺高等学校 卒業  
1991. 3 福井大学 工学部 応用物理学科 卒業  
1993. 3 九州大学 大学院 総合理工学研究科 高エネルギー物質科学専攻 修了  
1993. 4 (株)小松製作所 入社  
2002. 3-2003. 9 米国マサチューセッツ工科大学 機械工学科 客員研究員  
2007. 3 九州工業大学 大学院 生命体工学研究科 生体機能専攻(社会人博士課程) 修了 博士(工学)  
2012. 4 現職



### 担当科目

材料科学ゼミナール、入門ゼミナール、材料科学実験、金属材料科学、材料科学基礎特論

### 研究活動内容

#### 1. はじめに

平成24年4月1日付けで材料科学科に着任いたしました。私は平成5年に(株)小松製作所に入社以来、太陽電池や熱電半導体などのエネルギー変換材料、ディーゼルエンジンの排ガス浄化に使用される触媒の研究開発に携わってきました。本稿では、東海大学でメインに研究する予定の熱電半導体と今後の活動テーマについて紹介します。

#### 2. 熱電半導体の概要

近年、クリーンエネルギーに対する期待が一段と高まってきています。世の中には多様なエネルギー源が存在しますが、熱はその主要なもの1つです。熱電半導体とは直接、熱エネルギーを電気エネルギーに、また、反対に電気エネルギーを熱エネルギーに変換できる半導体です。熱エネルギーから電気エネルギーへの変換をゼーベック効果といい、1821年に発見されました。また、電気エネルギーから熱エネルギーへの変換をペルチェ効果といい、1834年に発見されました。この熱電半導体を利用したモジュールの特長は可動部の無い固体装置であるため、故障が少なく、信頼性の高いことです。また、固体素子であるため、モジュールの微細化が容易です。ゼーベック効果を利用した熱電発電を利用した商品として、最近、注目を集めているものの1つに腕時計があります。腕時計の内部に微細な熱電半導体モジュールを搭載し、体温と外気温の温度差を利用して、時計の駆動に必要な電力を発電しています。一方、ペルチェ効果の用途として、最も普及しているのは光通信用レーザーダイオードの温度制御を目的とした商品です。長距離・大容量の光通信が成り立つためには、レーザーダイオードが発振する赤外線波長を一定の範囲内に制御する必要

があり、熱電半導体モジュールは重要な役割を担っています。

このように熱電半導体を利用した優れた応用商品は既に存在しますが、熱電半導体の特長である電気エネルギーと熱エネルギーの可逆変換は、もっと数多くの応用商品を生み出す可能性を秘めています。その可能性を高めるためには、熱電半導体の性能向上とモジュールの小型化・薄膜化が必要です。熱電半導体の性能を示す主な指標はパワーファクターP.F.と性能指数ZTであり、 $P.F. = \alpha^2 \sigma$ 、 $ZT = \alpha^2 T \sigma / \kappa$ で示されます。ここで、 $\alpha$ はゼーベック係数、 $\sigma$ は電気伝導率、 $\kappa$ は熱伝導率、 $T$ は絶対温度です。

熱電半導体の性能を向上させるには、まず、キャリア濃度を最適な値にする必要があります。図1に熱電半導体特性のキャリア濃度依存性を示します。電気抵抗率の逆数である電気伝導率はキャリア濃度と比例し、キャリア濃度が高くなるほど電気伝導率は増加します。一方、ゼーベック係数はキャリア濃度に反比例し、キャリア濃度が低いほどゼーベック係数は高い値を示します。熱電半導体の性能を

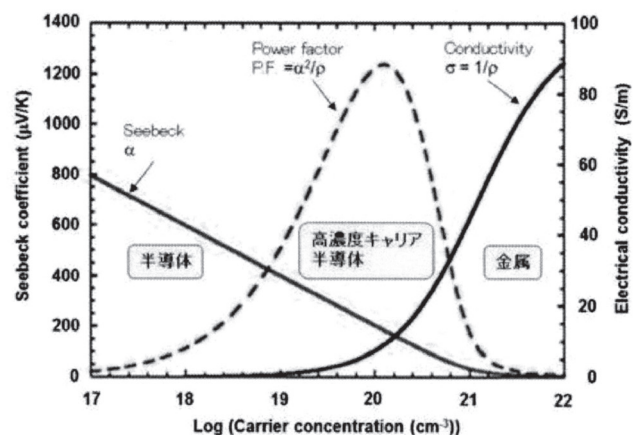


図1 熱電半導体特性のキャリア濃度依存性

示す指標の1つであるパワーファクターが高い値を持つには、材料のキャリア濃度を最適な量にする必要があります。一般的には、キャリア濃度が $10^{20}\text{cm}^{-3}$ 程度の高濃度キャリア半導体が望まれています。この量のキャリア濃度において、熱伝導率を低く抑えることができれば、高い性能指数 ZT を得ることができ、高性能な熱電半導体が得られます。熱伝導率は電子熱伝導率 $\kappa_e$ と格子熱伝導率 $\kappa_{ph}$ の2つの要素から構成されています。電子熱伝導率はキャリア濃度に依存しており、電気伝導率と強い相関があります。一方、格子熱伝導率は一般的には材料固有の物性値ですが、結晶粒径の大きさや結晶粒界の状態によって変化します。よって、格子熱伝導率を低減することが、高性能な熱電半導体を得るための必要不可欠な研究課題です。

そこで私は、結晶粒径をナノサイズにまで微細化する方法で格子熱伝導率を低減させ、高性能な熱電半導体を開発するための研究を行っています。

### 3. 熱電半導体のナノ構造化による熱伝導率の低減

熱電半導体の材料はビスマステルライド系合金を使用しました。この合金は室温付近で最も高い熱電性能を示すことで知られています。ナノ結晶薄膜の製作にはフラッシュ蒸着法を用いました。フラッシュ蒸着法の原理は2000℃以上に加熱したタングステンボートの上に材料粉末を投入し、蒸発させてボート真上に設置した基板に薄膜を堆積させるというものです。特長は投入した材料が瞬時に蒸発するので、合金材料の場合は組成ずれを抑制し、且つ、高速での成膜が可能なこと。私は投入する材料粉末の粒径とボート-基板間距離を最適化することで、ボイドが無い薄膜を形成することができました[1]。但し、成膜された薄膜は瞬時に基板に堆積するため、アモルファルに近い構造を持つ薄膜が形成されます。そこで、薄膜を結晶化させるためにアニール処理を実施しました。薄膜の構造はX線回折による配向性と電子顕微鏡による表面・断面観察を行いました。これらの構造分析結果から、非常に配向性が高いナノ結晶薄膜が製作できたことが確

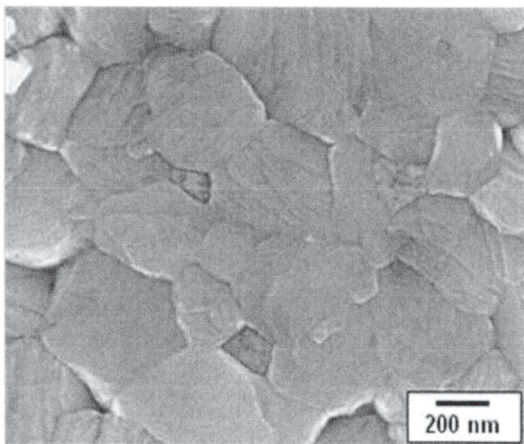


図2 高配向ナノ結晶ビスマステルライド系熱電半導体薄膜の表面SEM写真

認されました(図2)[2]。

薄膜の熱電特性として、電気伝導率、ゼーベック係数、熱伝導率を評価しました。特に、熱伝導率の評価には3 $\omega$ 法を用いました[3]。測定されたナノ結晶薄膜の熱伝導率はバルク単結晶の値の約50%となり、ナノ構造化による熱伝導率の低減を実現することができました[4]。しかし、同時に電気伝導率も低下したため、性能指数 ZT はバルク単結晶の性能を大きく上回ることはできませんでした。

この他、熱伝導率と結晶粒径の依存性を調べるため、単純化したフォノン輸送モデルから格子熱伝導率の結晶粒径依存性を導出し、私の実験結果および他の研究者による実験結果との比較を行いました。この結果、ナノ結晶薄膜の熱伝導率は数値計算ともほぼ一致していることから、ナノ結晶における熱伝導率として信頼できる値であることが判明しました。

### 4. 今後の活動テーマ

近年、環境にやさしいエネルギー源が注目されており、環境エネルギー材料の研究が重要になってくることが予想されます。私はこれまで培ってきた①熱電半導体、②太陽電池、③触媒を有機的に結び付けてハイブリッド環境デバイスを製作し、その用途を探索していきたいと考えています。まず、当面の研究目標は熱電半導体と太陽電池のハイブリッドデバイスの開発です。世の中には多種多様なエネルギー源がありますが、その中で熱と光は非常に大きな割合を占めており、両者は密接な関係にあります。この両者を有効に利用することでより多くのエネルギーを電気に変換することが可能になります。アメリカでは既にこの分野の研究に巨額な研究資金が投入されており、プロジェクトが推進されています。日本ではまだ熱電半導体と太陽電池の両方に精通した研究者は少なく、今後飛躍が期待できる研究分野であると考えられます。

私は熱電半導体と太陽電池のそれぞれが持つ長所を引き出し、性能を高めることで従来にはないハイブリッド環境デバイスを製作したいと考えています。特に熱電半導体の性能を高めるためには、ナノ構造化による格子熱伝導率の低減が熱電半導体の性能を向上させる主要技術になっています。そこで私はこれまでの研究で培ったナノ構造体の製作技術、熱伝導率の測定技術を高度化させ、さらにフォノン輸送解析により熱伝導率を予測することで、熱電性能が最大になる構造を導き、高い性能を持つ熱電半導体を製作したいと考えています。

### 参考文献

- [1] Takashiri et al. J Alloy Compd. 441 (2007) 246.
- [2] Takashiri et al. Thin solid films 516 (2008) 6336.
- [3] Takashiri et al. J. Appl. Phys. 104 (2008) 084302.
- [4] Takashiri et al. Thin solid films 519 (2010) 3525.