

p 型  $\text{MnSi}_{1.73}$  と n 型  $\text{FeSi}_2$  の接合Joint of p-type  $\text{MnSi}_{1.73}$  and n-type  $\text{FeSi}_2$ EE36 湯川 弦  
指導教員 加藤 雅彦

## 1. 序言

現在、世界的に温暖化が大きな問題となっている。その原因の 1 つに廃熱の放出があげられる。廃熱は蓄積することや運ぶことが困難である。そこで熱エネルギーを電気エネルギーに変換すると利用しやすく、廃熱を使用するためエネルギー効率もよくなる。そのため、熱電変換を行うものとして熱電半導体が注目されている。熱電半導体である  $\text{FeSi}_2$  の p 型は n 型に比べると熱電能と内部抵抗が大きく、電流が小さい。そこで  $\text{FeSi}_2$  の p-n 接合素子の p 型部を  $\text{MnSi}_{1.73}$  に置き換えられると素子の熱電能は小さくなるが、内部抵抗も減少するために電流が大きくなり優れた素子が作れる可能性が高い。 $\text{FeSi}_2$  と  $\text{MnSi}_{1.73}$  は異種材料であるためにこれまでの方法では接合させることができなかった。本研究ではこれらの材料を接合させる条件を見つけ、熱電特性を調べることを目的とした。

## 2. 実験方法

p 型  $\text{MnSi}_{1.73}$  と n 型  $\text{FeSi}_2$  の接合実験は次の(1)~(3)の方法で行った。なお、(1)と(2)の焼結条件は  $1125^\circ\text{C}$  で 3 時間とした。

(1) p 型  $\text{Mn}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{Si}_{1.73}$  および n 型  $\text{Fe}_{0.96}\text{Co}_{0.04}\text{Si}_2$  それぞれに銅を 1wt% 添加した粉末を用い、U 字型ダイスに p 型粉末と n 型粉末を先端部で分岐させた圧粉体を成型し焼結と同時に接合させる方法

(2) 長方形ダイスを用い、p 型粉末と n 型粉末を直接接触させないように、間に銅粉末を挟んでプレスし、焼結と同時に接合させる方法

(3) 別々に焼結した p 型  $\text{Mn}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{Si}_{1.73}$  および  $\text{MnSi}_{1.73}$  と n 型  $\text{Fe}_{0.96}\text{Co}_{0.04}\text{Si}_2+1\text{wt}\%\text{Cu}$  の間に銅箔や銅板を挟み  $1000\sim 1035^\circ\text{C}$  で 1~30 分間加熱する方法

接合部断面の X 線回折を行い、プロファイルの強度と回折角  $2\theta$  から生成物の分析を行った。

接合できた  $\text{MnSi}_{1.73}\text{-FeSi}_2$  素子の温度差特性と負荷特性を調べた。

## 3. 実験結果および考察

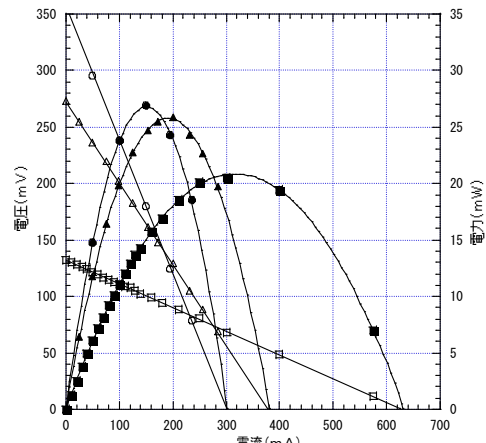
(1)の実験においては、接合することは出来ず、p 型部は U 字の先端から溶融・分裂していた。Cu の添加量を増やすことも考えられるが、1wt%以上の Cu 添加は熱電性能が悪くなるため、この方法では無理だと考えた。

(2)の実験においては、素子全体が若干溶けた状態になってしまったが、接合はされており、接合部の Cu は銀色に変化していた。

(3)の実験においては、加熱条件を変えて実験を重ねた結果、 $1011^\circ\text{C}$  で 1 分間の条件で、良好な p-n 接合素子を作製できることが分かった。接合部の X 線回折の結果では、 $\text{Cu}_3\text{Si}$  のピークが大部分を占めたことから、 $\text{MnSi}_{1.73}$  と  $\text{FeSi}_2$  の間に Cu を挟んで加熱すると焼結体中の Si が Cu 中に拡散して  $\text{Cu}_3\text{Si}$  を生成するため接合部の融点が下がり、溶融して接合したと考えられる。

接合が良好であった p-n 接合素子の特性測定結果を図 1 に示す。温度差  $800^\circ\text{C}$  のとき開放電圧  $270\text{mV}$ 、短絡電流  $380\text{mA}$  を示し、最大出力  $26\text{mW}$  が得られた。

$\text{MnSi}_{1.73}\text{-FeSi}_2$  素子は  $\text{FeSi}_2$  素子とほぼ同じ最大出力を示し、内部抵抗が小さいため短絡電流は約  $80\text{mA}$  大きくなった。 $\text{FeSi}_2$  素子は  $300\text{mA}$  で電力は得られなくなってしまうが、接合に成功した  $\text{MnSi}_{1.73}\text{-FeSi}_2$  素子では  $300\text{mA}$  においても  $17\text{mW}$  と最大電力の 65% が得られることが示された。



CrSi<sub>2</sub>-CoSi U 字型接合素子 V-I 特性 □ P-I 特性 ■  
FeSi<sub>2</sub> U 字型接合素子 V-I 特性 ○ P-I 特性 ●  
MnSi<sub>1.73</sub>-FeSi<sub>2</sub> 長方形 Cu 接合素子 V-I 特性 △ P-I 特性 ▲

図 1 温度差  $800^\circ\text{C}$  の負荷特性

## 4. 結言

p 型  $\text{MnSi}_{1.73}$  と n 型  $\text{FeSi}_2$  の接合に成功し、従来の  $\text{FeSi}_2$  素子より負荷特性に優れた素子であることが分かった。