

## シリコン廃材を用いた $Mg_2Si$ 素子の ドーピング特性比較および評価

日大生産工(院) ○小松 大介 日大生産工 清水 耕作

### 1 まえがき

現在、エネルギーハーベットの観点より太陽光発電に注目が集まっている。太陽光発電では太陽光を太陽光パネルに吸収させる際、余剰フォトン効果により太陽光パネルの温度が上昇する。この熱はエネルギーとして利用できないだけでなく、太陽光パネルの効率を下げる要因となっている。

本研究では、シリコンインゴットからシリコンウェファを切り出す際に生じるシリコンの廃材を用いて熱電変換素子を作製し、それを太陽光パネルと組み合わせることで太陽光発電システムの高効率化を図ることを目的としている。

### 2-1 実験方法

まずシリコン切粉(きりこ)の洗浄を行う。シリコン切粉をRCA洗浄法にて洗浄する。RCA洗浄法は有機物、金属、金属酸化物、非金属酸化物からなるパーティクルを段階に分けて取り除く洗浄方法である。洗浄後したSiはMgとmol比にしたがって混合し、同時にドーピング材料も混ぜ合わせる。このほかドーピング材料にはアルミニウム(Al)とマンガン(Mn)を使用した。合成には管状炉を使用し、不活性ガスであるArを流通しながら600°Cで合成を行った。その後、プレス機を用いてペレットを作製した。プレスの際の荷重は3tに設定した。また、合成を確認するためにX線回折装置を使用し $Mg_2Si$ のシグナルの確認を行った。

素子の特性パラメータとして導電率、キャリア密度、熱伝導率、ゼーベック係数がある。

各物性の目標値は、現状の実用ラインを考慮に入れてキャリア密度: $1.0 \times 10^{20}$  [1/cm<sup>3</sup>]、熱伝導率: 8.0 [W/mK]、導電率: $1.0 \times 10^3$  [S/cm]、ゼーベック係数は0.10 [V/K]とした。

### 2-2 無次元性能指数ZT

熱電変換素子の性能を表す指標として無次元性能指数ZTがある。これは $ZT > 1$ であれば実用可能と考えられている。式(1)によって与えられる。

$$ZT = \frac{S^2 \sigma}{\kappa} T \quad \dots(1)$$

ここに、S:ゼーベック係数  $\sigma$ :導電率  
 $\kappa$ :熱伝導率 T:サンプルの最大特性温度

式(1)から、導電率 $\sigma$ を上昇させ、熱伝導率 $\kappa$ を低下させることにより、無次元性能指数を上昇させることが出来る。現在、ナノ粒子を使用したナノ構造を用いることによりフォノン散乱を起こすことにより熱伝導率が低下するという報告がある。本実験においてもナノ粒子を用いたナノ構造を用いることにより熱伝導率の低下を図る。

### 2-3 熱伝導率測定

図1に熱伝導率測定概念図を示す。直径30mmの円形状に成形して作製した試料を熱伝導率が既知であるCu柱とSUS柱で挟み、チャンバ内に置き、チャンバ内を真空にする。下部には50°Cの定熱源が設けられており、上下で温度差が生じる。この温度差から熱流束 $q(t)$ を求める。熱伝導率と温度差の関係を式(2)に示す。

$$\kappa = \frac{q(t) \cdot L}{T_{HL}} \quad \dots(2)$$

$q(t)$ :熱流束 L:素子の厚さ  $T_{HL}$ :温度差

これにより熱伝導率 $\kappa$ を求めることが出来る。

さらに試料と柱の間に電極を設けることで試料の両端に発生する電位差も測定し、ゼーベック係数の評価もあわせて行う。

---

Doping characterization and comparison of  $Mg_2Si$  device with Si grinding sludge

Daisuke KOMATSU Kousaku SHIMIZU

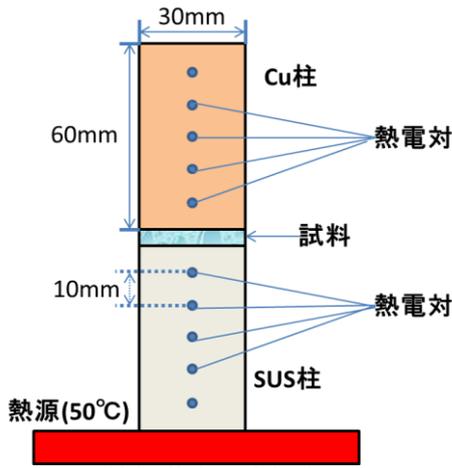


図1 熱伝導率測定概念図

### 3 結果

表1にAl5%をドーピングした際の焼結温度による導電率の変化を示す。620°Cにて焼結を行った際の導電率が600°Cと比較して6桁上昇している。また、650°Cと比較しても3桁近く高いことが分かる。620°C付近で合成することで導電率が高くなることが分かった。

また、図2にX線回折の結果を示す。620°Cで合成した試料はMg<sub>2</sub>Siであることが分かり、MgとSiが合成できていることが分かった。しかしMgOのシグナルも同時に得られており、これは管状炉での焼結の際にO<sub>2</sub>とMgが反応したと考えられる。

図3にAlを5mol%ドーピングした試料のゼーベック係数の測定結果を示す。温度差が上昇するとそれに比例して電圧が上昇していることが分かる。図の傾きより、測定試料のゼーベック係数は $4.14 \times 10^{-4}$  [V/K]となった。目標値の240分の1程度である。

### 4 まとめ・今後の方針

洗浄したSiとMgを合成して得られた試料がMg<sub>2</sub>Siであることは確認できたが、MgOのシグナルも確認できた。合成時のMg比を減らすか、管状炉内の酸素を取り除く必要がある。

Alを5%ドーピングした試料は620°C付近で導電率が上昇することが確認できたが、ピーク位置の確認はできていないので、今後はより細かく温度を振り検討を行う。

今回の試料で得られたゼーベック係数は $4.14 \times 10^{-4}$  [V/K]と高い値ではなかった。キャリア密度を下げることでゼーベック係数を上げることができると考えられるが、導電率は逆に下がってしまうので、性能指数が最大となるキャリア密度を検討する必要がある。

「参考文献」

- 1) 梶川武信, 熱電変換技術ハンドブック, NTS p336-341.

表1 導電率-焼結温度特性

Sintering temperature [°C]	600	620	650
Press pressure[t]	3	3	3
Doping element	Al	Al	Al
Doping concentration [mol%]	5	5	5
weight[g]	1.1	1.0	1.1
thickness[cm]	0.14	0.12	0.14
Density[g/cm <sup>3</sup> ]	1.11	1.17	1.11
Conductivity [S/cm]	$1.18 \times 10^{-7}$	$1.73 \times 10^{-1}$	$2.83 \times 10^{-4}$

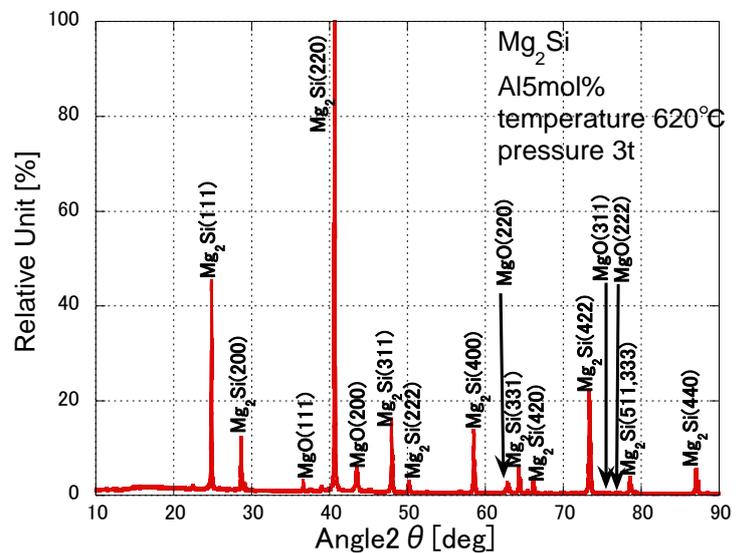


図2 Al5%ドーピングMg<sub>2</sub>SiX線回折

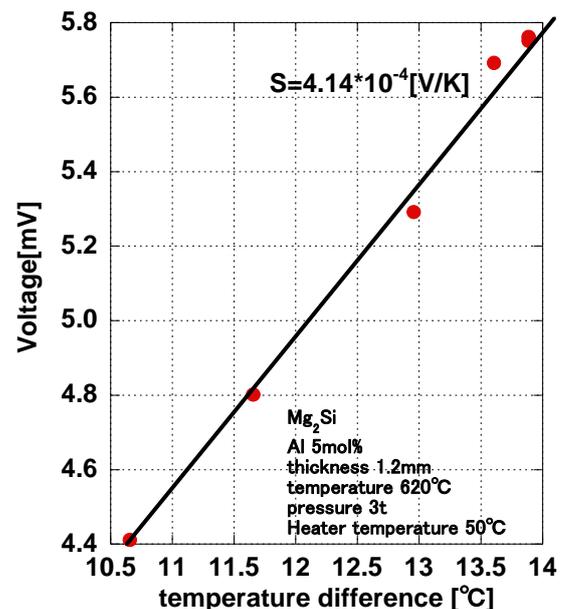


図3 ゼーベック係数測定結果