

実験をはじめる前に

1. 熱電変換について学ぼう！

◇ 熱を電気に変換！ ～ゼーベック効果～

私たちの身の回りにあるすべての物質は、多かれ少なかれ電気を流します。この電気を運ぶ役割を担っているのが、負の電荷を持っている電子や、正の電荷を持っている正孔です。これらは総称してキャリアと呼ばれています。

物質に熱を加えると、このキャリアがたくさん発生し、逆に温度が低くなると少なくなります。そこで図1のように、同じ物質の両端に温度の差を与えると、暖かい側では多くのキャリアが発生し、冷たい側では少ししかキャリアが存在しない不均質な状態が生まれます。この不均質な状態を解消するために、暖かい方から冷たい方へキャリアが移動し(キャリアの拡散)、電圧が生じます。つまり、物質に温度差をつけることで電気を取り出すことができます！この効果は、発見者の名前にちなんでゼーベック効果(Seebeck effect)と呼ばれています。

温度差に対して発生する電圧は物質によって異なっていて、この電圧が大きい物質は熱電変換材料と呼ばれています。半導体は発生電圧が高いため、熱電変換材料として多くの研究がされています。今回の実験では、半導体であるシリコンを使って、熱電変換モジュール(素子)を作製します。

◇ 電気を熱に変換！ ～ペルチェ効果～

ゼーベック効果では、物質に温度差(熱)を加えると電圧を生じることがわかりました。では逆に、物質に電圧をかけると温度差が得られるのでしょうか？

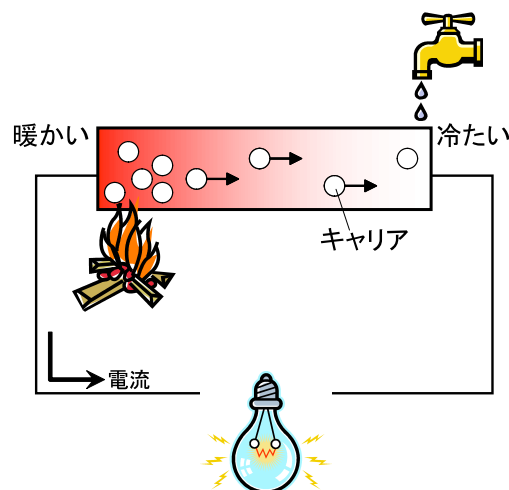


図1 ゼーベック効果の模式図。

図2 n型熱電変換材料におけるペルチェ効果の概略図。

その答えは“Yes”でもあり、“No”でもあります。電気を熱に変換するペルチェ効果(Peltier effect)は、図2のように、熱電変換材料と電極（金属）の接合面で起こる現象で、キャリアが流れ込む側の接合部では熱が吸収され、逆にキャリアが流れ出る側では熱が放出されて温度差がつく現象です。熱電変換材料をモジュールにするためには必ず電極をつけなければなりません。そのため、必ず接合面が形成されます。従って、熱電変換モジュールは電気を熱に変換できるので“Yes”ですが、熱電変換材料だけでは変換できないので“No”となるのです。

このペルチェ効果は、卓上冷蔵庫やパソコンのCPUを冷却する電子冷却素子などに用いられています。また、名古屋大須の電気パーツ店に行けば、1~3千円程度の値段でペルチェ素子を購入することもできます。

◇ 電子と正孔とは？

シリコン(Si)は4つの価電子を持つので、シリコンの原子同士は互いに価電子を提供し合って共有することになります。この結合を共有結合と言います。

シリコンなどの4価の元素に、不純物として砒(ひ)素(As)などの5価の元素をごくわずか混ぜた場合を見てみましょう。砒素は5価の元素ですので、シリコンの原子と結合するときに1個の電子が余ることになります。この过剩の電子は自由電子と呼ばれ電気伝導に寄与します。このような半導体をn型半導体(negative)と呼びます。

一方、ホウ素(B)などの3価の元素をごくわずか混ぜた場合を見てみましょう。ホウ素は3価の元素ですので、シリコンの原子と結合するときに1個電子が足りなくなって、穴ができます。

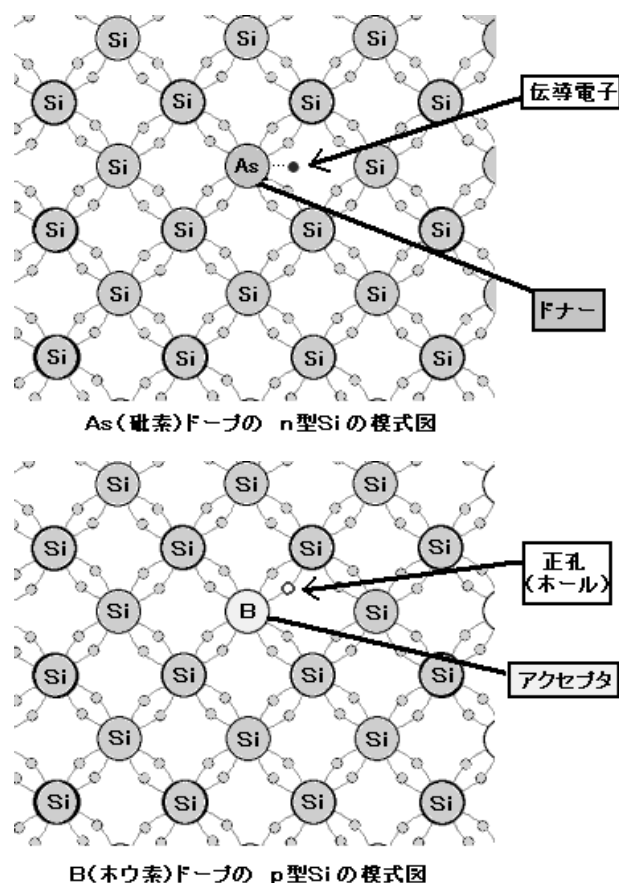


図3 シリコン半導体の中の電子と正孔

す。この穴を正孔あるいはホール(hole)と言います。正孔に、他から来た電子が入ると安定な構造となるため、正孔に向けて電子が移動しようとしてます。そこで、例えば隣の電子が移動して正孔に入ったとします。すると、電子が抜けたことで正孔が生成され、また隣から電子が供給されます。このように次々とこの穴を電子が満たしていくことによって、電子の移動と逆方向にホールは移動します。正孔とは電子の飛び出した後のぬけがらのことなのです。このぬけがらは、マイナス電荷の電子が飛び出したのでプラスの電荷の性質を示すため、自由電子の場合と逆の性質の電気伝導が観測されます。このような半導体を **p 型半導体 (positive)** と呼びます。

2. 熱電変換モジュールについて学ぼう！

◇ 熱電変換素子 (p, n 型熱電変換材料)

ここまでで、熱電変換の原理を簡単に紹介しました。それでは、実際の熱電変換素子はどうのような構造なのでしょう？

半導体のキャリアには電子と正孔の二種類があります。そのため、キャリアが電子である場合は **n 型熱電変換材料**、そして正孔である場合は **p 型熱電変換材料** と区別されています。図4のように、熱電変換素子はこの二つの熱電変換材料を直列に接続し、なおかつ温度差がある方向に対して平行に熱電変換材料を並べることで構成されています。

電流の流れの向きは正孔と同じ向きで、なおかつ電子と反対向きです。つまり、p 型と n 型を直列につなぐことで、図4のように回路に電流が流れます。このように、p 型と n 型の両方の熱電変換材料を用いることで、単体よりも大きな電力を得ることができます。実際には、この対を多数直列接続することで、より大きな電力を得ることが出来ます。また、図4ではゼーベック効果による発電を示していますが、豆電球を電池に変えるだけで、ペルチェ効果を利用した電子冷却素子となります。

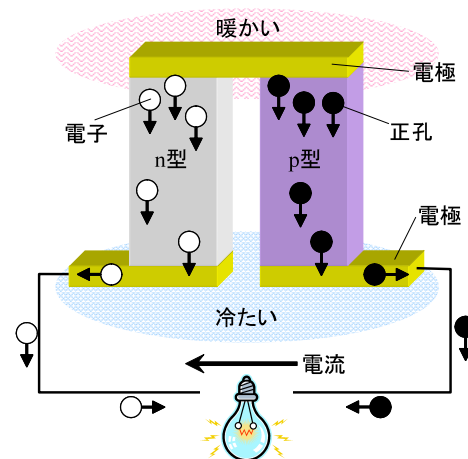


図4 熱電変換モジュールの模式図。

◇ 様々な熱電変換モジュール

熱電変換素子は、p型とn型の二種類の熱電変換材料を直列接続し、温度差方向に平行に並んでいる構造であることがわかりました。これらのことを念頭に、実際に作られている熱電変換モジュールがどんな構造をしているのかを紹介します。

「 Π (パイ)型熱電変換モジュール」

図4の熱電変換素子を図5のように複数個直列接続したモジュールは Π 型モジュールと呼ばれています。熱電変換モジュールの発電能力は、p, nの対が多いほど高くなります。 Π 型素子は、少ない面積にたくさんの対を形成することができるため、市販の熱電変換モジュールに多く採用されています。

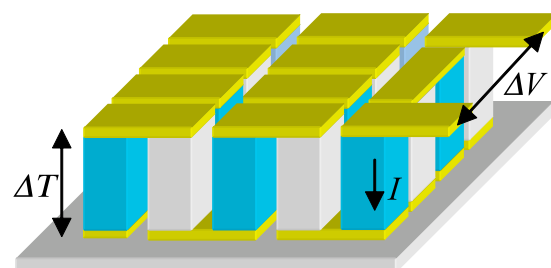


図5 Π 型熱電変換モジュールの概略図

「プレーナー型熱電変換モジュール」

図6にプレーナー型熱電変換モジュールの概略図を示します。このモジュールは、 Π 型モジュールを横にのばしたような構造をしています。この形状は、IC（集積回路）などを作る薄膜プロセスを用いて作製することが可能で、小型化し易いという特徴を持っています。

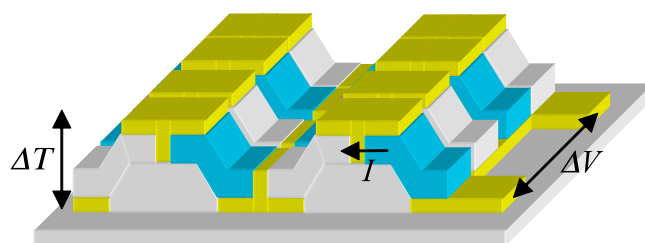


図6 プレーナー型熱電変換モジュール

「くし型熱電変換モジュール」

Π 型やプレーナー型と違って、熱電変換材料を横に並べた構造をしています。モジュールとしては最も単純な形状で、容易に作製することが出来ます。今回の実験では、ABS樹脂の土台の上にシリコンの板を並べて、この

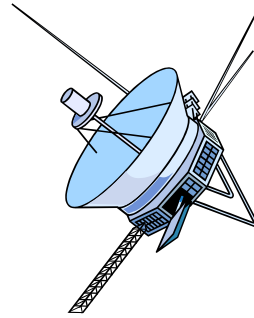
図7 くし型熱電変換モジュール

くし型熱電変換モジュールを作製します。

◇ どんなところで使われているの？



卓上温冷蔵庫。ペルチェ効果で暖めたり冷やしたりできます。

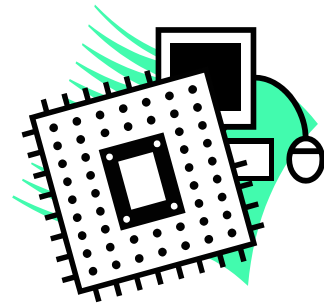


深宇宙探査衛星（ボイジャー）の電源。原子炉の熱を使って熱電発電しています。



東芝が開発したペルチェモジュール。温度の厳密な制御が必要な機器などに使用。

http://www.toshiba.co.jp/efort/product/bluetopaz/index_j.htm



パソコンの CPU をペルチェ効果を使って冷却。

図 8 熱電変換装置の様々な用途。

2. どんな実験をするの？

ここまでで、熱電変換モジュールはキャリアの種類が異なる材料を直列接続した構造をしていることがわかりました。そこで、今回は次のような実験を行います。

1. 市販の熱電発電モジュールを使った発電実験

市販モジュールにお湯などを使って温度差を加え、発光ダイオードを光らせたり、モーターを回転させる実験を行います。また、その起電力を測定します。

2. p型とn型のシリコンウエハーをつなぎ合わせたくし型熱電発電モジュールの作製

短冊状に切断された p 型と n 型のシリコンウエハーを ABS 樹脂板上にならべて、くし型熱電変換モジュールを作ってみます。

3. 自作くし型熱電発電モジュールを使った発電実験

自作した発電モジュールの起電力を測定して、さらに大きな起電力を生み出すにはどうすれば良いか？考えてみます。