

異方性カスタム冷熱デバイス

前嶋 聡* 寺西正俊**

* パナソニックセミコンダクターソリューションズ株式会社；主幹(〒621-0018 亀岡市大井町小金岐 4-24)

** パナソニック株式会社生産技術本部生産技術開発センター；部長

Customized Thermoelectric Device Using Anisotropic Material; Satoshi Maeshima* and Masatoshi Teranishi** (*Panasonic Semiconductor Solutions Co., Ltd., Kameoka. **Production Engineering Laboratory, Production Engineering Division, Panasonic Co., Ltd., Kadoma)

Keywords: Peltier, thermoelectric, crystal growth, small tube

2015年6月19日受理[doi:10.2320/materia.54.505]

1. はじめに

近年、電子デバイスの高性能化に伴いデバイスの発熱量が増加している。性能を担保するため各デバイスの熱対策の重要性が高まっており、高い熱伝導性を有するペーストやヒートシンクなどの高放熱構造材といった、材料物性から構造設計まで幅広い分野で熱ソリューション技術の開発が進められている。

中でも本稿における異方性カスタム冷熱デバイスとは、前記の受動的に熱を制御するデバイスではなく、能動的に熱を制御するデバイスの総称である。本稿では特に、材料物性と構造設計、さらには熱流体と電気伝導を同時に最適設計しなければならない熱電変換デバイス(ペルチェデバイス)について着目する。

ペルチェの原理は、19世紀前半に発見された歴史の古い技術であり、その技術を用いた冷熱デバイスは、小型で可動部がなく長寿命という特長を持つ。その吸熱量 Q は、式(1)のように表すことができる。

$$Q = \alpha T_c N I - \frac{1}{2} \rho \frac{L}{S} N I^2 - \kappa \frac{S}{L} \Delta T N \quad (1)$$

α : ゼーベック係数, T_c : 冷却面温度, N : 素子数, I : 電流

ρ : 電気抵抗率, κ : 熱伝導率, S : 断面積, L : 高さ, ΔT : 温度差

式(1)の第1項がペルチェ効果に関する項であり、第2項は、デバイス自体の抵抗発熱、第3項が熱伝導に関する項である。つまり、ペルチェデバイスが電子デバイスであるがゆえに第2項の抵抗発熱により、第1項のペルチェ効果による熱輸送を加えた熱量を、放熱面で処理しなければならない。したがって、ヒートポンプなどの熱交換による逆カルノーサイクルを利用した冷却手段に比べ、その効率が悪いといったデメリットがある。一方で、電子デバイスなどの局所的な熱対策においては、その小型で稼動部が無い冷却デバイスといったメリットが活かされている。このペルチェデバイスのメリットを最大限活かすためには、個々の発熱源に対し、材料・構造の最適化カスタム設計が重要である。具体的に

は、式(1)に含む α , ρ , κ といった材料物性に関する最適化、また S , L といった形状・構造に関する最適化設計である。これら最適化カスタム設計に基づく熱と電気の最適化により、ペルチェ性能の最大化が実現できる。このように、冷熱デバイスは、個々の熱源に合わせた最適化カスタム設計が求められる一方で、柔軟なカスタム対応が出来る効率的なもののづくりスタイルも合わせて確立することが必要である。

本稿では、このペルチェ冷熱デバイスのカスタム設計および実証事例として長距離の光通信に使用される半導体レーザー(以下 LD)の温調用の小型ペルチェデバイスの省電力設計および小型カスタム化を実現する異方性結晶形成ものづくりについて論じる。

2. 小型ペルチェの省電力設計

LDの小型、高性能化に伴い温調に使用するペルチェデバイスの省電力化が強く求められている。ペルチェデバイスは電流駆動型のデバイスであり、投入電流と吸熱量は比例する。

一方で投入電流に比例し自己発熱も増加するため、最終的な吸熱性能は式(1)の関係に従い、極大値をとる。

本来ペルチェデバイスの省電力化は、熱電材料そのものの高効率化が必要であるが、顧客ニーズにしたがって考えた場合、その省電力化の方策は異なるアプローチとなる。LDの温調といった顧客ニーズにおいては、ペルチェデバイスの駆動制御回路を含め顧客仕様が決まっており、最大限吸熱をするわけではなく、顧客使用環境にあわせてLDの熱を吸収すればよい。つまり、駆動回路にかかる電力を含め考えると、如何に低電流で駆動させるかがポイントになる。図1にペルチェデバイスの形状に対する投入電流と温度差の関係を示している。図1よりペルチェデバイスのアスペクト比を大きくすると、温度差が最大となる点が低電流側にシフトすることが分かる。さらに、高温環境下においてペルチェデバイスの放熱面が90℃と想定し、LDを50℃以下に制御したい場合、温度差として40℃になればよい。温度差40℃にペルチェデバイスを制御するための電流は、アスペクト比を現行品の3倍にすると1/2以下で済むことが分かる。あるLDモジ

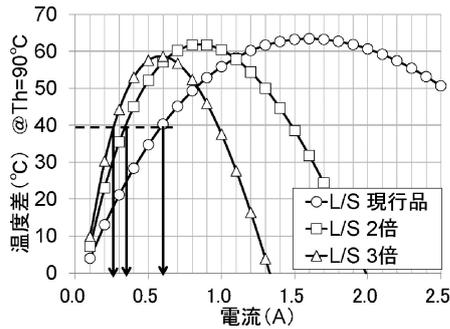


図1 素子形状に対する投入電流と温度差の関係。

ジュールにおいては、消費電力として40%低減できることが分かっている。現在、LD温調用の小型ペルチェデバイスの省電力化および更なる小型化に対して、高アスペクト形状の熱電素子の実用化を検討している。

3. カスタム対応ものづくり

先に述べた最適化設計されたデバイスを実現するとともに様々な熱源に柔軟にカスタム対応できるものづくりを確立しなければならない。特に、ホットスポットに適用する冷却デバイスとしてのペルチェデバイスでは、小型高密度化に対応したものづくりである。国家プロジェクトSIPプログラムにおいて産業分野におけるカスタム対応ものづくりテーマの位置づけと材料異方性による高性能化の位置づけで取り組む。

現在ペルチェデバイスに用いられている素子材料 Bi_2Te_3 は、図2に示す構造であり、Te-Te結合部がファンデルワールス力で結合した非常に脆弱な材料である。さらに、一般的な素子製造方法は、 Bi_2Te_3 のインゴット結晶材を作製し、切り出す工法である。このため、前述の材料物性により小型化が困難であるとともに、材料利用効率の面においても小型化に対して、柔軟なカスタム対応が困難である。

(1) 高効率小型素子形成法

これまでの素子形成法は、効率的に画一的な形状の素子を作り出すため、インゴットから大量に素子を取り出すバッチ処理工法である。本稿では、様々なホットスポットに対応した様々な形状かつ小型の素子を効率的につく出すため、図3に示すガラス管吸上げ法の検討を行った。特に、素子断面積が現状の 1.2 mm^2 から 0.5 mm^2 に小型化した場合、材料の利用効率で約5倍向上する。また、ガラスで保護されていることより、材料の脆弱性の問題も回避できる。

(2) 異方性結晶形成

Bi_2Te_3 の結晶構造(図2)より、その電氣的、熱的物性は異方性を有している。結晶のa軸とc軸とその物性を比較した表を図4中に示す。熱電(ペルチェ)性能を総合的に判断する性能指数 $Z = \alpha^2 \times \rho / \kappa$ の関係式より、a軸方向に温度差を取る方がよいことが分かる。ここで図4中の棒グラフは、上述のガラス管吸上げ工法においてガラス管長手方向に温度勾配を取るよう設計した局所冷却部を通過させ結晶成長させ

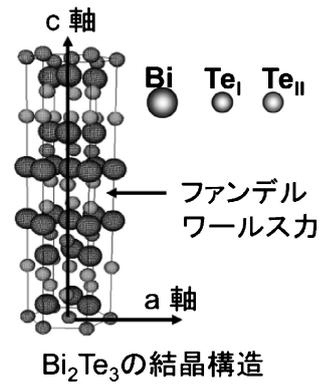


図2 Bi_2Te_3 の結晶構造⁽¹⁾。

従来工法



開発工法

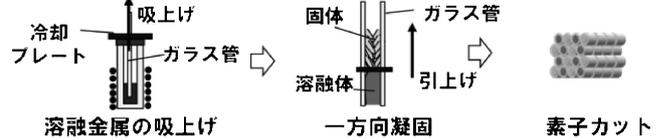


図3 素子形成工法(一般工法と開発工法の比較)。

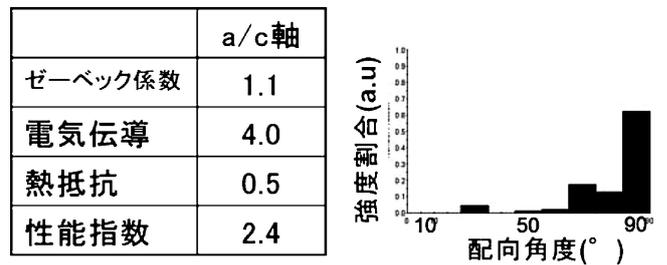


図4 結晶配向と性能の関係。

た際の長手方向への結晶方向分布をSEM-EBSD法により解析した結果を示す。 Bi_2Te_3 結晶はa軸が優先結晶成長方向であることに起因し、図4に示すように本工法により結晶成長させた際の長手方向へのa軸の結晶配向分布を揃えることができ、最適な熱電特性を引き出したデバイスが創成可能であることを我々は明らかにした。

4. おわりに

今回、冷熱デバイスに対してカスタム設計の指針を示し、そのカスタム対応ものづくりの方針と異方性結晶形成による性能最適化を示した。今後、様々な発熱源に対し、異方性冷熱デバイスをカスタム設計することで効果検証を進めていく。

文献

(1) 坂田 亮 編：熱電変換—基礎と応用—, (2005), 89 and 183.