

環境に優しい電子冷却モジュールの開発

電子情報部 ○的場彰成 化学食品部 豊田丈紫 宗本隆志

1. 目的

近年の電子機器の高機能化・小型化により、発熱が課題となっている。特に、AI用プロセッサは発熱密度が急増しており、冷却マネジメントが機器の性能の限界や寿命を左右するようになってきている。そして、電子機器の冷却方式として従来用いられてきた空冷や水冷方式ではこれらの機器を冷却することが困難になってきている。そこで、新たな冷却方式として熱電素子を用いた電子冷却技術が注目されている。この電子冷却方式は、素子の集合体の電子冷却モジュール(図1)を使うため、ファンや冷媒を使わず、小型軽量、温度応答性が良い(すぐ冷える)、フロン等の冷媒を使用しない等の特徴がある。一方で、現在実用化されている電子冷却モジュールには、ビスマスとテルルというレアメタルを用いた素子を使用されているため、大量供給が難しいことや毒性があることが課題となっている。この課題を解決するため、レアメタルを含まない代替材料(マグネシウム、シリコン、スズ)を使った電子冷却モジュールの開発を産学官連携にて実施した(戦略的基盤技術高度化支援事業(経済産業省)、榊白山(金沢市)、北陸先端科学技術大学院大学と共同)。この中で、工業試験場では①電子冷却モジュールの設計技術、②接合抵抗を低減可能な電極形成技術、③封止構造の設計技術開発を行ったので、以下にその内容を示す。

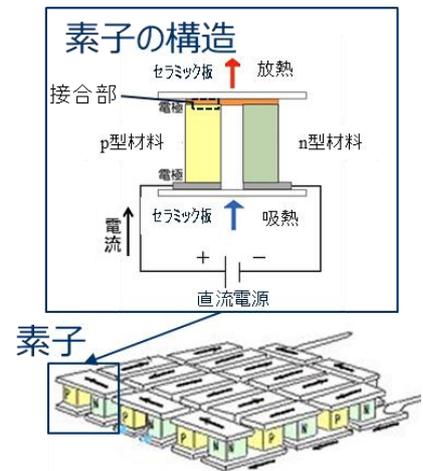


図1 熱電素子と電子冷却モジュールの模式図

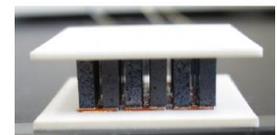
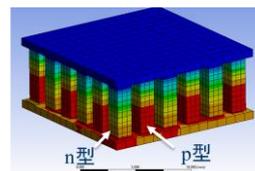
2. 内容

2.1 電子冷却モジュールの設計技術開発

電子冷却モジュールは、熱電素子の集合体であり、素子の面積、高さ、個数の組み合わせにより冷却性能が決まる。しかし、全ての組み合わせで試作すると、製品化までに時間を要する。そこで、CAE(computer-aided engineering)により、表1に示す3種類の素子断面積と、素子個数の組み合わせについて、素子高さを変えた全18モデルでの電子冷却モジュールの性能(基板間温度差: ΔT)を解析した。1.5×1.5mm×高さ5mm素子18対で構成した電子冷却モジュールのCAEによる温度分布結果を図2(a)に示す。素子高さ ΔT が比例関係にあることが示されたため、試作可能な高さ5mmについて、素子断面積、素子個数を変えた3モデルを選択し試作した。

表1 CAEで解析した熱電素子の組み合わせ条件に対する基板間温度差 ΔT (°C)結果

素子高さ (mm)	素子断面積、素子個数		
	1.5×1.5mm, 18対	2×2mm, 8対	3×3mm, 8対
1	11.2	6.5	2.6
2	18.1	11.1	4.1
3	21.9	13.8	5.1
4	24.4	15.6	5.8
5	26.1	16.8	6.3
6	27.4	17.8	6.7



(a) 温度分布結果 (b) 試作品外観
図2 1.5×1.5mm×高さ5mm素子18対の電子冷却モジュール

2.2 接合抵抗を低減可能な多層膜電極形成技術の開発

1.5×1.5mm×高さ5mmの素子の試作品外観を図2(b)に示す。このモジュールにおいて、基板端子間の抵抗(モジュール抵抗)を測定した結果、試作品の計測値が解析値よりも大きくなった(表2)。これは、熱電材料上に多層膜電極を作製して雰囲気炉で熱処理した際

や、はんだを加熱した際に、熱電材料-電極間の熱拡散が生じ、熱電材料及び電極の組成が変わり抵抗の増加につながったと考えられる。そこで、はんだ付け前の熱処理をラピッドサーマルアニール(RTA)処理とした。RTA処理は、表層のみを短時間で加熱ができることから、多層膜電極の結晶化を促し、熱拡散を防止でき、熱処理時の熱電材料への影響を抑えることが期待できる。

RTA処理の効果を検証するため、RTA処理前後の熱電材料の断面の元素及び結晶構造のマッピングを行った(図3)。RTA処理により、多層膜電極において、熱拡散の防止を担うNi及びPdの結晶が増加していることが確認された。

次に、熱電素子の抵抗率を計測した(図4)。従来の雰囲気炉での熱処理に比べて、RTA処理では抵抗率が1/3程度に低減しており、RTA処理の有効性を確認できた。

2.3 封止構造の設計技術開発

電子冷却モジュールの開発においては、熱電素子を保護し、耐久性を向上するための封止構造が必要であるが、封止構造を構成する材料の熱伝導の影響によって、 ΔT が減少することが懸念される。そこで封止材料の熱伝導率が ΔT に及ぼす影響についてCAEを用いて評価した。2種の基板材料及び3種類の封止材料候補について、封止材料の熱伝導率が ΔT に及ぼす影響を計算した(図5)。いずれの基板材料においても、封止材料を熱伝導率の低いエポキシにすることで、封止材料による熱伝達がない条件(空気の熱伝導率)と比較して ΔT の減少を5%以内にできることを明らかにした。

3. 結果

- CAEにより、電子冷却モジュールの試作数を18個から1/6の3個に縮小できた。
- p型熱電材料の電極接合において、RTA処理が多層膜電極作製に有効であると示した。
- CAEにより、電子冷却モジュールの性能低下を抑えた封止材料を選定することができた。

以上の成果を提案することで、産学官連携で実施した環境に優しい電子冷却モジュールの開発における性能向上に寄与した。

表2 モジュール抵抗
(1.5×1.5mm×高さ5mm 素子18対電子冷却モジュール)

モジュール抵抗(Ω)	
解析値	1.3
計測値	2.4

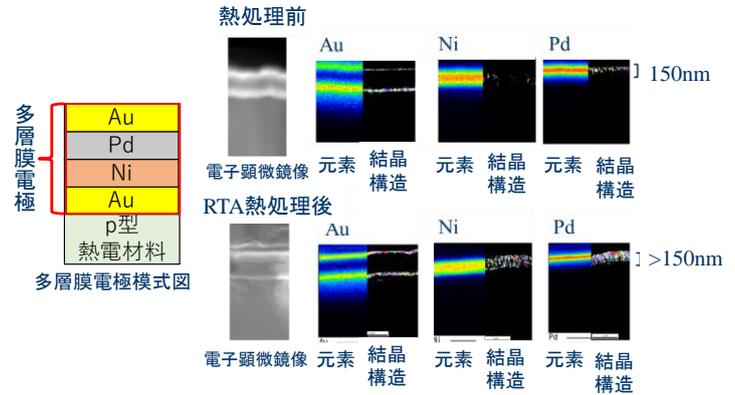


図3 元素及び結晶構造マッピング

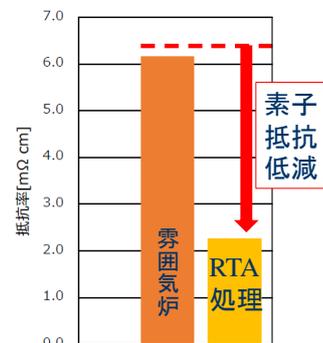


図4 熱処理後の素子抵抗率

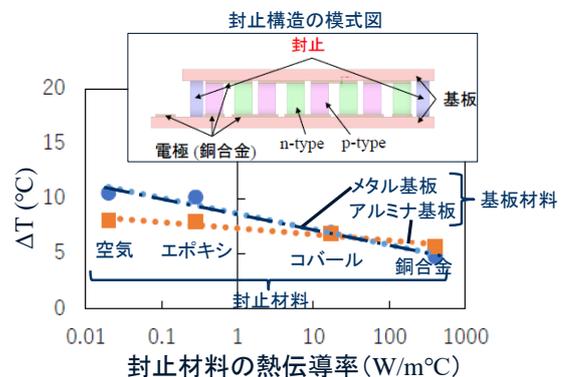


図5 2A印加時の封止材料の熱伝導率に対する ΔT の計算結果