

—戦略プロジェクト研究—

熱輻射活用型放熱部材の開発

環境・機能材料科 山口典男

要 約

炭化ケイ素を用いた電力変換用パワーモジュールの小型軽量化を目標とし、小型軽量化に貢献できる輻射を活用した放熱部材の開発を行なった。輻射を高めるために、放熱部材であるアルミニウム表面をセラミックス化し、その放熱特性を評価した。その結果、膜厚の増加にしたがい輻射率が向上した。また、輻射率が高くなるにしたがい、放熱部材の温度上昇は抑制され、放熱特性の改善が確認された。

キーワード：放熱、輻射、表面処理、電力変換、パワーデバイス

1. はじめに

近年の環境・エネルギー問題意識の高まりの中で、再生可能エネルギーを有効利用するための電力変換装置の高効率化が重要となってきた。電力変換素子の半導体として、既存のシリコン(Si)では理論限界値に近づいてきており、さらなる高効率化を達成するためには炭化ケイ素(SiC)への置換が必要となってきた。さらに、SiCはSiよりも高温動作が可能、電力変換装置の小型化が可能であるといった特長などがある。

一方、電力変換時の損失は装置の発熱に繋がり、過度な発熱は装置の安定的な動作を阻害するため、放熱フィンや冷却用ファンなどを装備し冷却が行われる。一般的に放熱機構は熱伝導、対流、輻射の3つがあるが、これまでの多くの製品においては、熱伝導の高いアルミニウムを用い、対流により熱が移動しやすいように空気との接触面積の大きなフィン形状が主たる構造であった。さらには、強制的な空気の移動を行なうために、ファンの併用なども行われている。しかしながら、フィンやファンなどを装備することで、装置の体積は大きくなり、既存的手段では小型・軽量化には適さない。これまで積極的な利用がなされていない放熱機構の「輻射」も利用することで、フィンやファンを利用せず、装置の小型・軽量化に貢献できると期待される。

アルミニウムは金属であるため輻射率は低く、そのままでは輻射による放熱が十分ではないことから、本研究ではアルミニウム表面をセラミックス化することで高輻射材とし、輻射を最大限活用した新規な放熱部材の開発を目的としている。平成25年度は表面処理による膜厚と輻射率の関係および表面処理材の放熱特性について検討した。

2. 実験方法

2.1 表面処理

純アルミニウム(1050材)を専用の処理剤に浸漬することで表面処理を行なった。浸漬時間等の処理条件を変更することで、膜厚と輻射率の異なるサンプルを作製した。膜厚は、渦電流式膜厚計(サンコウ製、SWT-9000)を用い、輻射率は分光輻射率測定装置(日本電子製、JIR-E500)を用い評価した。なお、輻射率は波長3.33~25.42 μ mの積分値(積分輻射率)とした。

2.2 放熱特性

作製したサンプルの放熱特性を評価するために、図1に示すアクリル製の放熱評価装置(内寸W400mm×H300mm×D300mm)を試作した。熱源には50mm角のシリコンラバーヒータを用い、直流安定化電源により電力を供給した。電圧は80V

とした。なお、このときの電流は119mAで投入電力は9.52Wであった。ヒータ側からの放射が少なくなるように、ヒータをアルミニウムのテープで覆った。サンプルは、シリコンラバーヒータを取り付けたアルミニウム板($t=1\text{mm}$)に厚さ0.5mmの熱伝導性ゲル(熱伝導率: 2.1W/mK)を介しネジで固定した。測定時は蓋をし、密閉された状態にて行なった。

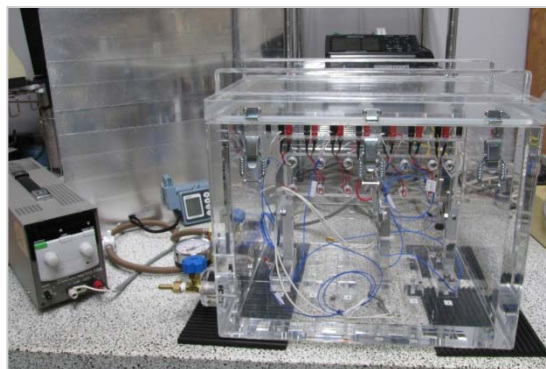
温度は、系(ボックス内)の雰囲気温度(T_a)、サンプルの温度(T_s)、シリコンラバーヒータの温度(T_h)

をK熱電対により測定した。2時間以上測定し、温度が平衡となった際の5分間の平均温度を各温度とした。放熱特性を評価するために、図2に示すようにヒータ加熱による温度上昇($T_s - T_a$)を算出した。また、サンプルに対向する位置に放射量センサ(50mm角)を配置し、サンプルから放射されセンサに到達したエネルギー量を計測した。なお、サンプルとセンサの間隔は100mmとした。

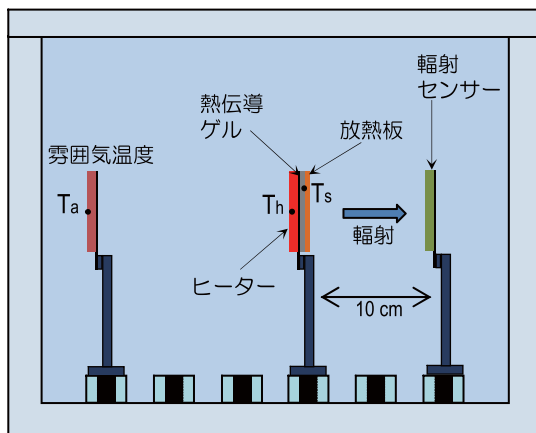
3. 結果及び考察

3.1 膜厚と放射率の関係

膜厚と放射率の関係を図3に示す。膜厚が増加するにつれ急激な放射率の増加が確認され、膜厚 $10\mu\text{m}$ で放射率が約80%となり、膜厚 $10\mu\text{m}$ 以上では、放射率の増加は緩やかとなっている。表面処理状態の違いによる放射率パターンの変化を図4に示す。未処理に比べ、処理することで放射率は波長 $10\mu\text{m}$ 以上で著しい増加が見られた。波長 $10\mu\text{m}$ 以下



(a) 装置外観



(b) ボックス内概略図

図1 放熱特性評価装置

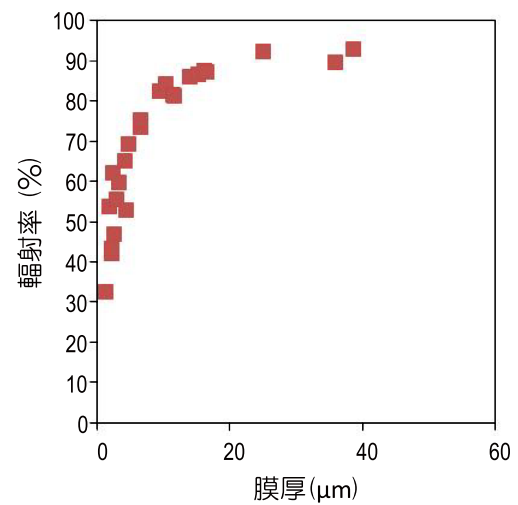


図3 膜厚と放射率の関係

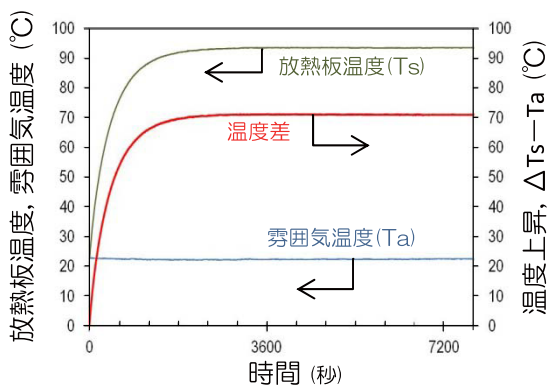


図2 温度測定の場合

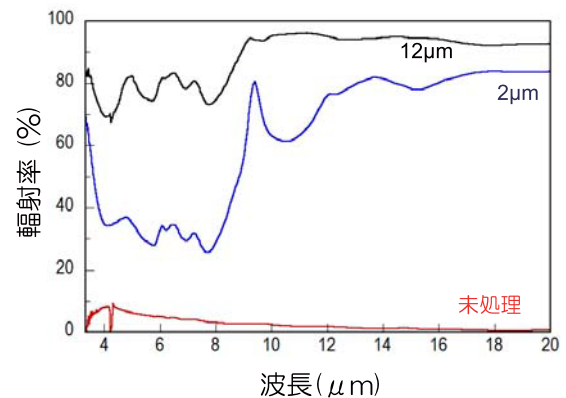


図4 膜厚の違いによる放射率パターンの変化

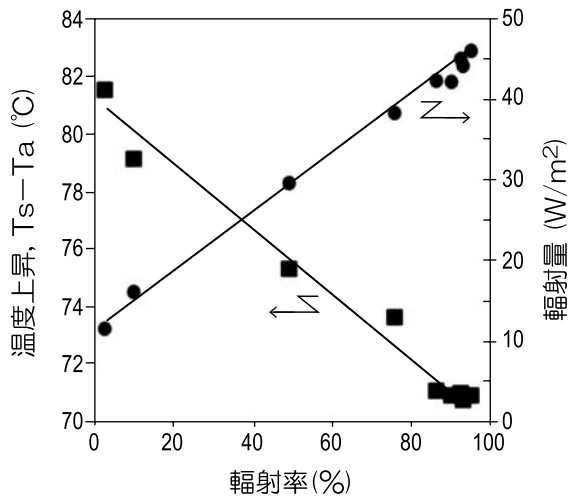


図5 輻射率の違いによる放熱特性と輻射量

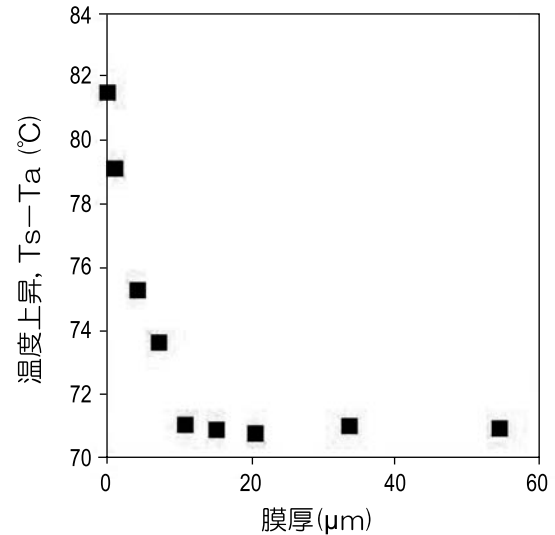


図6 膜厚の違いによる放熱特性

では処理状態(膜厚の違い)により劇的な変化を示しており、膜厚が薄い状態で輻射が低い要因として、 $10\mu\text{m}$ 以下の波長における輻射率が影響していることが明らかとなった。

3.2 表面処理材の放熱特性

輻射率と放熱特性の関係を図5に示す。輻射率が高くなるにしたがい、温度上昇は低下し、放熱効果が表れていることが確認された。輻射率が約90%の処理材と未処理のアルミニウムを比較すると、表面処理した試料は約 10°C 以上の温度が低下した。また、センサに到達する輻射量も輻射率の増加に伴い高くなっており、放熱特性の向上の要因として、輻射による熱エネルギーの放散が確認された。

膜厚と放熱特性の関係を図6に示す。既述のように膜厚の増加により輻射率が高くなるため、放熱特性が向上(温度上昇の低下)していることがわかる。輻射率が約80%以上となる膜厚 $10\mu\text{m}$ 以上では、温度上昇が約 71°C でほぼ同じである。膜厚が増加することで熱伝導の低下による放熱特性の低下(温度上昇の増加)が懸念されたが、本研究で測定した膜厚 $60\mu\text{m}$ までは著しい影響を及ぼさないことが明らかとなった。

4. まとめ

アルミニウムの表面処理を行なうことで、輻射による放熱特性について検討し以下のことが明らかとなった。

- (1) 約 $10\mu\text{m}$ 以上の膜厚により輻射率は80%以上となった。
- (2) 輻射率の増加により放熱特性が向上した。また、未処理に比べ表面処理することで約 10°C の温度低下につながった。
- (3) 約 $60\mu\text{m}$ の膜厚までは、表面被膜層による熱伝導が阻害されることはほとんどなかった。

付 記

本研究は、長崎県戦略プロジェクト研究「ワイドギャップ半導体パワーデバイス導入による高効率かつ小型・軽量の電力変換装置の開発」の一部として行なったものである。