

アルミナ製放熱素子の性能評価及び設計環境構築に関する研究

坪 井 瑞 輝*

【要 旨】

機器の電子回路基板や筐体には、機器から発生する熱を効率よく放出することが求められる。西村陶業株式会社では放熱素子として放射率の高いアルミナ(Al_2O_3)に注目し、当センターの設備も利用して開発を進めている。今後さらに効率的に開発を進めるため、熱伝導シミュレーションを用いて放熱の性能予測を行うことに取り組んだ。

1 はじめに

電子回路基板には回路や電子部品を保持するだけでなく、使用時に発生する熱を放出することが求められる。素子の高密度化や IC の高集積化が進み、単位面積あたりの発熱量が増大している昨今ではさらに高い放熱性能が求められるようになっている。また、大電力を取り扱うパワーエレクトロニクス分野でも放熱性能は重要である。

西村陶業株式会社では放熱素子の材料としてアルミナ(Al_2O_3)に注目し、従前より当センターでアルミナ製放熱素子の性能測定を実施している。アルミナ製放熱素子の一例を図1に示す。通常の金属筐体やアルミフィンの放熱素子では周囲の空気に熱を伝えて放熱するのに対し、アルミナ製放熱素子は熱を赤外線として放射する性能に優れており、熱伝導性も高い材料である。

現在、アルミナ製放熱素子の試作品を様々な条件で使用し、熱源や放熱素子の温度を熱電対で測定することで放熱性能を確認している。これまでは単純な形状の放熱素子について性能の測定を行ってきたが、今後、電子回路基板や筐体など具体的な製品開発を進めていくにあたり、より効率的に性能の評価や予測を行うことが求められる。



図1 ダイオード(T0220 パッケージ)に取り付けたアルミナ製放熱素子(20mm×40mm×6mm)

放熱素子開発の効率化にはシミュレータを用いた熱伝導解析が有効である¹⁾。シミュレータを用いることで放熱素子の試作や測定を行う前にあらかじめ性能を予想することができる。また、センサーを取り付けた箇所だけでなく全体の温度を把握したり、直接測定できない内部の温度や熱流束といったパラメータも求めることができ、開発に有用なデータを得ることができる。

そこで今回、シミュレータを使用して放熱性能の見積もりができる環境の構築に取り組んだ。

本研究では、電流を印加して発熱させた SiC ダイオードをアルミナ製放熱素子により冷却し、熱電対により実際に測定した温度とシミュレータを使用して熱解析で求めた結果について比較した。さらに、シミュレータを用いてアルミナ製放熱素子の面積や厚みを変えたときの放熱性能への影響を検討した。

* 応用技術課 副主査

2 実験方法

2. 1 熱電対による温度測定

シミュレータによる解析結果と比較するため、電流印加により発熱させたSiC ダイオード単体の場合とアルミナ製放熱素子を装着した場合について熱電対により温度を測定した。温度測定にはK型熱電対を用い、ダイオードや放熱素子の裏側に接触させた上で、カプトンテープにより固定した。SiC ダイオードには定電流源を用いて2A、3A、4Aの電流をそれぞれ20分ずつ印加した。4Aを印加した時ダイオード両端の電圧は1.5Vであり、消費電力は6Wであった。

2. 2 シミュレータによるアルミナ(Al_2O_3)放熱素子の性能計算

熱伝導解析のソフトウェアにはムラタソフトウェア株式会社のFemtet²⁾を使用した。Femtetは有限要素法を用いたシミュレーションソフトであり、熱伝導解析の他にも応力解析や電磁界解析にも対応している。Femtetは過渡状態と定常状態のどちらの解析も可能であるが²⁾、本研究では十分に時間が経過し、温度分布が一定となる定常状態について解析を行った。

解析に使用したモデルの一例を図2に示す。

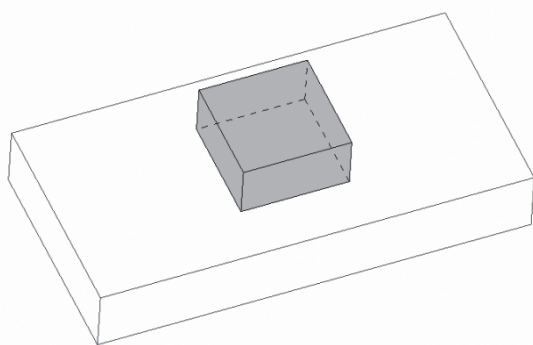


図2 熱解析シミュレータ上に作成したダイオード（黒）とアルミナ製放熱素子（白）

アルミナ製放熱素子は20mm×40mm×6mmの平板形とし、ダイオードの位置は放熱素子の中央とした。

ダイオードの大きさはT0220パッケージのサイズに合わせて10mm×10mm×5mmとし、熱伝導率は石英ガラスの値($1.38\text{W/m}\cdot\text{K}$)³⁾を採用した。

熱伝導解析のためには各素子の大きさに加えて、発熱源の位置と発熱量、各素子の熱伝導率と放射率の値などのパラメータが必要になる。

発熱源の位置はダイオードの高温部分が金属タブ側に位置していることから、アルミナ製放熱素子とダイオードの境界面に設定し、発熱量は6Wとした。

アルミナ製放熱素子の熱伝導率は西村陶業社のHPに記載されている値($39\text{W/m}\cdot\text{K}$)⁴⁾を使用した。

アルミナの放射率については京都市産業技術研究所の設備を使用して測定された分光放射率スペクトルを用いた。そのアルミナの分光放射率スペクトルを図3に示す。

ダイオードの放射率についてもアルミナ製放熱素子と同じ値を設定した。

Femtetは温度依存性のある放射率を扱えるため、放射率の温度依存性を踏まえて解析した。

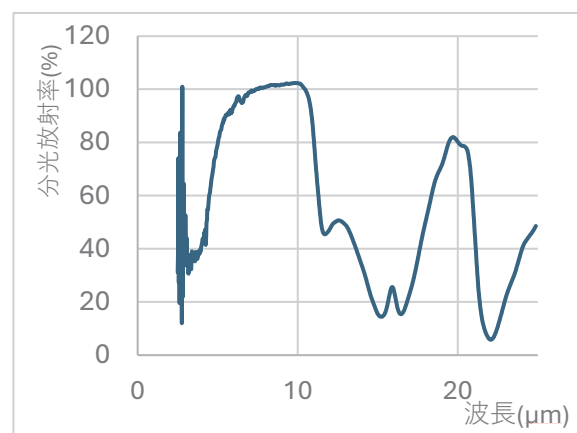


図3 西村陶業製アルミナ(N-9H)の分光放射率放射率スペクトル

放熱素子から空気への熱伝達率は空気の流れ方により変わる。空気の流れは、熱せられた空気の浮力により生じる自然対流によるものと空調など外部からの強制対流によるものがあるが、シミュレーションでは空気の流れは自然対流によるもののみとし、強制対流による流れは無い条件で計算した。また、自然対流による放熱効果は素子を置く向きによっても変わるが、今回はアルミナ製放熱素子を空气中に水平に置いた条件の元で解析した。なお、周囲温度は25度とした。

3 結果

3. 1 温度の測定結果

SiC ダイオードに電流 2A、3A、4A (6W) を印加した際の SiC ダイオード単体及びアルミナ製放熱素子 (20mm×40mm×6mm) の温度の測定値を図 4 に示す。

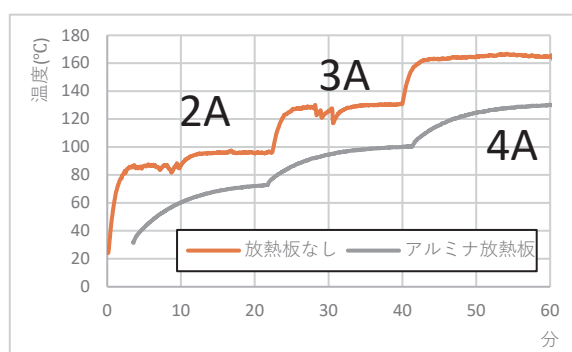


図4 SiC ダイオード及びアルミナ製放熱素子の温度

放熱素子を何も取り付けでないダイオード単体の場合は 4A の印加により温度が約 160℃となり、放熱素子を取りつけた場合、30℃程度温度が下がり、約 130℃となった。

3. 2 熱伝導解析の結果

発熱量を 6W とした時の定常状態での温度分布をシミュレータで解析した結果を図 5 に示す。

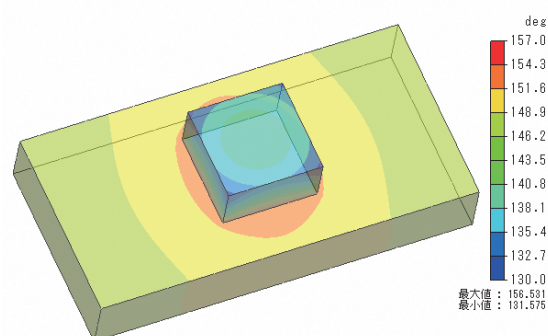


図5 6W 印加時のダイオードおよびアルミナ製放熱素子の温度分布

シミュレーションからは放熱素子の最大温度はおおよそ 150℃程度という結果が得られた。

また、温度の分布も確認でき、ダイオードでは約 30℃、アルミナ製放熱素子では約 20℃の温度の差が生じている。さらに温度の把握の難しいダイオードと放熱素子の接触箇所の温度も予測可能である。

シミュレーションの結果より、熱電対による実測定にも重要な知見が得られる。熱電対の取り付けが可能な箇所のうち、発熱源の温度に最も近い位置は放熱素子の裏面であった。したがって、実測定においては熱電対はこの位置に設置することが適切であると考えられる。

ここでシミュレーション条件を変更し、熱伝達または放射による冷却をなくしたところ、いずれの場合も最高温度は 200℃を超えた。したがって、冷却には熱伝達と放射の双方が重要な役割を果たしているといえる。

次に、同解析から求めた素子内部の熱流束を図 6 に示す。

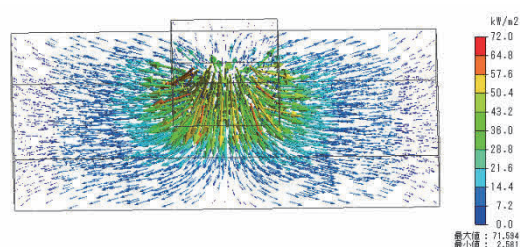


図6 6W 印加時のダイオードとアルミナ製放熱素子内の熱流束

上部がダイオードであり、下部がアルミナ製放熱素子である。熱流束はダイオード及びアルミナ製放熱素子の内部では描画されており、素子の外側(空気中)では描画されていない。熱は素子の表面に達した後、空気への熱伝達又は放射により外に放出されている。

ダイオードとアルミナ製放熱素子の境界で生じた熱の大半は放熱素子の方に流れている様子が確認できる。これはダイオードよりもアルミナの方が熱伝導率が高いことに対応している。また、熱は厚み方向だけでなく面方向にも流れて、アルミナ製放熱素子全体に広がっている。

次に、シミュレータを用いて、アルミナ製放熱素子の厚みや面積を変えた場合の冷却性能に与える影響について検討した。

アルミナ製放熱素子の面積を $30\text{mm} \times 30\text{mm}$ に固定し、厚みを変化させた場合の温度を図7に、厚みを 6mm に固定して面積を変化させた場合の温度を図8にそれぞれ示す。温度の値は発熱元の最大温度を採用している。

厚みを 6mm からさらに厚くする場合、また、面積を $20\text{mm} \times 40\text{mm}$ (8cm^2) からさらに大きくする場合のどちらでも更に 50°C 以上の温度を下げられる可能性があることを確認できた。

計算した範囲では、厚みは大きいほど温度は低くなったが、厚みを 1mm から 20mm にすると温度が 80°C 程度下がるのに対し、 20mm から 40mm にしても 20°C 程度しか変わっておらず、厚みを増しても得られる効果は上がらなくなってしまっている。

厚みを 6mm に固定して面積を変えた場合についても面積を大きくするほど温度は下がっているが、 25cm^2 あたりからは面積を増やしても温度の下がり方は緩やかになっている。

シミュレータを用いることで温度をどの程度まで下がるのか、また、どの程度のサイズの

放熱素子が必要になるのかといった事を、予測できることが確認できた。

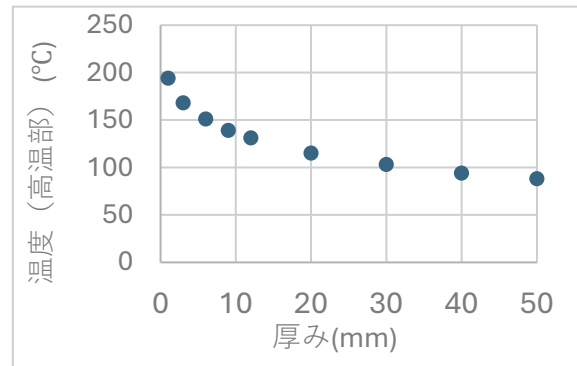


図7 面積 ($30\text{mm} \times 30\text{mm}$) を一定にして厚みを変化させた場合の最大温度

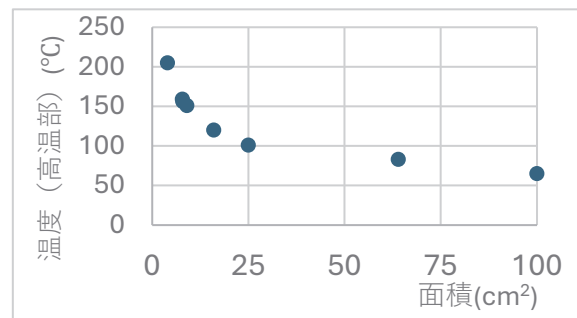


図8 厚み (6mm) を一定にして面積を変化させた場合の最大温度

4 まとめ

シミュレータの使用によって、アルミナ製放熱素子の測定値と近い値が得られることが確認できた。厚み 6mm の放熱素子を使用する場合、熱源に最も近い温度が測定できる箇所は放熱素子の裏側が有望である。

$20\text{mm} \times 40\text{mm} \times 6\text{mm}$ のアルミナ製放熱素子については、 6W 印加時には厚みや面積を増やすことでさらに 50°C 以上温度を下げられる可能性がシミュレーションにより確認できた。

これらの知見は今後の開発の促進に役立てられることが期待される。

(謝辞)

西村陶業株式会社 副会長の西村元延様にはアルミナ製放熱素子をご提供いただくとともに、測定にも多大なるご協力を賜りました。

また、京都市産業技術研究所の高山卓之様、杉浦和明様、荒川裕也様にはアルミナの分光放射率スペクトルをご提供いただくとともに、貴重なご助言を賜りました。

ここに記して深く感謝申し上げます。

(参考文献)

- 1) 国峰 尚樹：エレクトロニクスのための熱設計完全制覇，日刊工業新聞社
- 2) ムラタソフトウェア HP
“<https://www.muratasoftware.com/femtet/>”
- 3) 科学便覧 基礎編Ⅱ 改定5版，p.74 (2005)
- 4) 西村陶業株式会社 HP
“<https://nishimuratougyou.co.jp/wp/wp-content/uploads/tokusei.pdf>”