

テストレー上で BI テストを低消費コスト、省スペースで実現する手段の研究開発

—自己発熱型デバイス対応温調プレートの温度分布評価—

橋口智和*・大塚裕俊*・水江宏*・清水慎吾*・宮川末晴**

*機械・金属担当・**合同会社 PLESON

Development of Burn-in Test Stage Unit with Low Cost and Space-Saving Design

—Temperature Distribution Assessment of the Plate used to Self-Heating Type Device—

Tomokazu HASHIGUCHI*・Hirotohi OTSUKA*・Hiroshi MIZUE*・Shingo SHIMIZU*・Sueharu MIYAKAWA**

*Mechanical and Metallurgical Engineering Group・**PLESON LLC

要 旨

自己発熱型デバイスに対応した温調プレートの形状・材質の検討に CAE (Computer Aided Engineering) による伝熱解析を用い、その結果から試作した温調プレートの温度分布評価を行なった。その結果、温調プレートの温度分布を目標範囲に収めるデバイス発熱量の許容値は 2.5W/device 程度であり、プレート全体を均一に冷却することができれば更に高い発熱量のデバイスに対応できる可能性が示された。また、デバイスの発熱バラツキによる温度分布への影響についても調査した。

1. はじめに

大部分の半導体デバイスはバーンイン (以後、BI と呼ぶ) テストを行なって出荷されている。このテストは、専用の装置により出荷前のデバイスに温度や電圧などの環境負荷をかけ、初期不良品を取り除く非常に重要な評価試験である。しかし、従来の BI テスト装置ではソケット起因の実装数の制限、温度分布精度の低さによる試験時間の増大、長い昇・降温時間による装置稼働率の低さ等、消費コストが多大であることが課題であった。

そこで、H23 年度から合同会社 PLESON は上記課題を解決するために、テストレー上で BI テストを低消費コスト・省スペースで実現する手段の開発を行い、従来の BI テストにおける温度分布精度 $125 \pm 3^\circ\text{C}$ を満たす試作機を完成させた。昨年度に試作機であるテストステージユニットの性能評価を基に、いくつかの課題や新たな製品価値が抽出されたため、本年度はこれら問題の解決を目的に研究開発を進めた。センターでは、自己発熱デバイス対応として試作した温調プレートの温度評価を担当したので、本報ではこれらの結果について報告する。

2. 最適なプレート材質および形状の設定

2.1 プレート材質と形状の検討

温調プレートの最適な材質と形状を検討するために、Computer Aided Engineering (以降、CAE と呼ぶ) を用いた。ここで、試作した温調プレートの構成図を Fig.1

に示す。温調プレートは側面図の上から、トレーベース板、プレート、ヒーター、押さえ板の順となっている。この温調プレートを基礎に、今回検討した材質と形状の模式図を Fig.2 に示す。プレートの材質は熱伝導性の高いアルミニウムと銅を、そして形状はプレートとヒーターの間に 10mm のアルミ板を挟み込んだものとし、これらの組み合わせ 4 つのモデルを検討した。

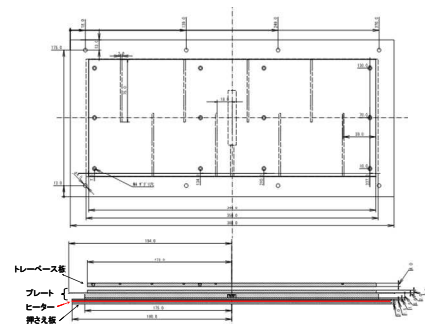


Fig. 1 温調プレートの構成

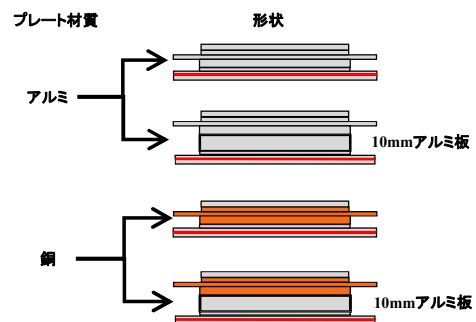


Fig. 2 検討したプレート材質と形状

2.2 伝熱解析

伝熱解析を行うソフトには ANSYS 11.0 を用いた。解析モデルの俯瞰図を Fig. 3 に示す。

モデルはプレートがほぼ対称形であるので、1/2 モデルとした。また、チャンバー枠、基盤を取り付け、そして自己発熱デバイス (30mm×30mm×4mm) をトレーベース板上に等間隔で 12 個配置した。

ANSYS の伝熱解析には定常応答と過渡応答 (時刻歴) の 2 種類あるが、発熱によるプレートの温度履歴を見るために、過渡応答にて検討した。デバイスと温調プレートの熱量は、材質と形状の特性を顕著に表すため、Fig. 4 で示す発熱パターンとして入力した。

解析に必要な材質の物性値 (熱伝導率, 比熱, 密度) は、ソフトウェア内の材料データを利用した。輻射率はモデルと同種のアリミ材 (A 5052 番) と銅材 (無垢銅) をサーモグラフィ (日本アビオニクス (株) 製 TVS-8200MK) と K 熱電対 (理化学工業製 ST-60K) で計測した温度補正により求め、それぞれ $Al=0.09$ と $Cu=0.02$ の値を用いた。雰囲気温度は $21^{\circ}C$ とした。熱伝達率は、空気とプレートが接触する部分に設定し、以下の①チャンパー内部、②プレート-床間の空気にふれる部分、③それ以外の部分に分けて入力した。熱伝達係数は以下の式 (1) で求められる。

$$h_{out} = \frac{Nu_l \lambda}{L} \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 L は代表長さ、 λ は空気の熱伝導率、 Nu_l は平均ヌセルト数である。1) の熱伝達は自然対流と仮定し、(2)~(4) の式¹⁾により平均ヌセルト数を求めた。

$$Nu_l = 0.60 Ra_l^{1/5} \quad \dots\dots(2)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad \dots\dots(3)$$

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_w - T_{\infty}) L^3}{\nu} \quad \dots\dots(4)$$

Pr はプラントル数=0.7、 g は重力加速度= $9.81m/s^2$ 、 ν は空気の動粘性係数、 β は体膨張係数、 T_w はプレートの温度、 T_{∞} は空気の温度である。②、③の熱伝達については、当てはまる経験式が見あたらなかったため、ソフトウェア内にある空気の熱伝達データを用いた。

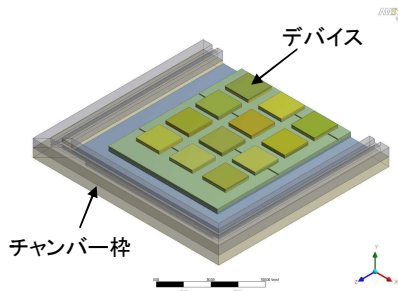


Fig. 3 解析モデル

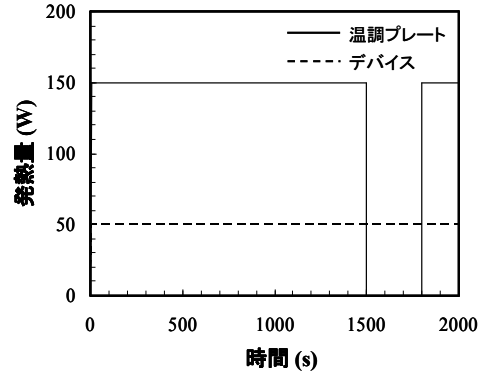


Fig. 4 ヒーターおよびデバイスの発熱パターン

2.3 解析結果

過渡応答の結果を Fig. 5 に、発熱後 2000s の 4 つのモデルにおけるプレート表面温度を Table 1 に示す。ここでプレート表面温度はトレーベース板の最大温度である。

過渡応答では発熱に対する応答性はアルミプレートのみが最も良く、プレート銅+10mmアルミ板の温調プレートが最も悪いことがわかった。また、急な外乱 (温調プレートのヒーター熱量を 0 とした部分) を加えた時も同様な傾向となった。プレートの温度分布幅は、アルミより銅の方が小さく、10mmアルミ板を加えたものはさらに温度分布が小さくなっている。

以上の結果から、自己発熱型デバイスに対応できる温調プレートの材質・形状は銅のプレートに 10mmアルミ板を追加すると良いことがわかった。しかしながら、銅はアルミより高価で加工性も悪く、なおかつ重さもアルミの約 3 倍あるため、実用的ではない事から、アルミのプレートに 10mmアルミ板を加えたものを試作することにした。

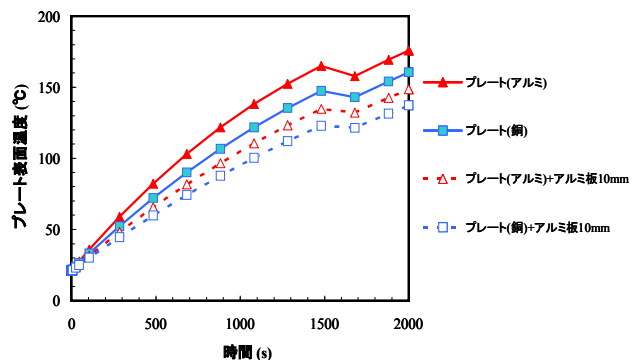


Fig. 5 各プレートの過渡応答 (プレート表面温度)

Table 1 各プレートの温度分布幅 (2000s 後)

材質・形状	プレートのみ (アルミ)	プレートのみ (銅)	プレート(アルミ)+10mmアルミ板	プレート(銅)+10mmアルミ板
温度分布幅	2.3°C	1.4°C	1.5°C	1.1°C

3. 試作機の温度分布評価

3.1 試作機の評価方法

試作した温調プレート評価の様子を Fig. 6 に示す。ヒーター端部は温度コントローラを介して電源と繋がっている。温度制御は通常 BI テストを行なう 125℃に保持するよう設定した。また、制御用温度センサーはプレート中央部に設置してある。

自己発熱型デバイスは、実際の製品を用いることが評価の性質上困難であった。そこで、30mm×30mm×2mm のアルミ板 2 枚の間に 30mm×30mm×0.2mm のフィルムヒーターを挟みデバイスの発熱構造と近い発熱体を作成し、これを用いた(以降、デバイスと呼ぶ)。なお、デバイスは発熱量を変化できるよう安定化電源につないだ。プレートの温度分布測定には、K 熱電対(理化学工業製 ST-55K)をトレーベース板へ Fig. 6 に示す 8 カ所に取り付け、ロガー(キーエンス製 NR-TH8)にて読み取った。なお、温調プレートの温度分布精度の目標値は、従来 BI テストと同等の 125±3℃とした。

3.2 評価手順

自己発熱型デバイスをテストした場合の試作機の温度分布精度に与える影響を評価するために、以下の 2 つの手順で評価を行なった。

まず、温調プレートに設置した全てのデバイスの 1 個当たり発熱量を 0, 1.6, 1.9, 2.2, 2.5, 2.7W/device と段階的に上昇させて評価を行なった。そして、デバイスの個体差による発熱バラツキの影響を調べるため、デバイスを其々 A, B, C, D の 4 つのグループに分け、1 グループをデバイス 1 個当たり発熱量 1.7W/device に、その他のグループは 2.2W/device として評価を行なった。グループにした理由は、発熱のバラツキ量を顕著にするためである。例に、A グループ 1.7W/device-その他グループ 2.2W/device の模式図を Fig. 7 に示す。

3.3 評価結果

Fig. 8 にデバイス発熱量をそれぞれ 0, 1.6, 1.9, 2.2, 2.5, 2.7W/device と変化させた場合の評価結果を示す。プレート表面温度はデバイス発熱量が上昇するにしたがって増加している。また、温度分布幅も発熱量の増加に伴い僅かに広がる傾向となることがわかった。目標の温度許容範囲 125±3℃に収まるデバイス発熱量は 0~2.5W/device までであった。また、2.7W/device では目標範囲を超えて急激に温度上昇した。これは、解析から予測された発熱に対する速い応答性が要因と考えられる。

また、プレート表面の温度分布幅は発熱量の増加に伴って微増しているが、約 2℃以下に収まった。以上の結

果から、温度分布精度を保持するデバイス発熱量は 2.5W/device までである。温度分布幅は許容値よりもまだ余裕があることから、プレート全体を均一に冷却することができればさらに高い発熱量のデバイスに対応できる可能性が示された。

Fig. 9 にグループ毎に発熱量を変化させた場合の評価結果を示す。許容範囲は、すべてのグループにおいて収まっていることがわかる。また、温度分布幅はグループ A, D=1.7W/device のものは、他のグループを 1.7W/device にしたものより若干広がる傾向が見られたが、ほとんど影響は無い。したがって、この試作機はこの程度の発熱バラツキでは、温度分布精度に支障は出ないことがわかった。今回は温調プレートの表面温分布が最も悪くなるデバイス発熱パターン(中央部分デバイスのみ発熱)を行っていない。温調プレートに冷却機能を取り付けた評価も含めて、今後実施したい。



Fig. 6 評価の様子

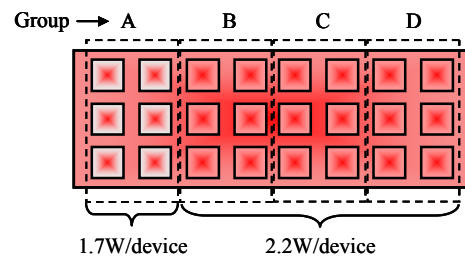


Fig. 7 デバイスのグループ分け模式図

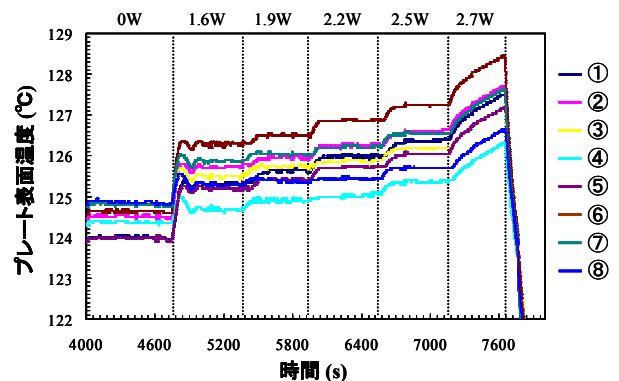


Fig. 8 デバイス発熱量を変化させた評価結果

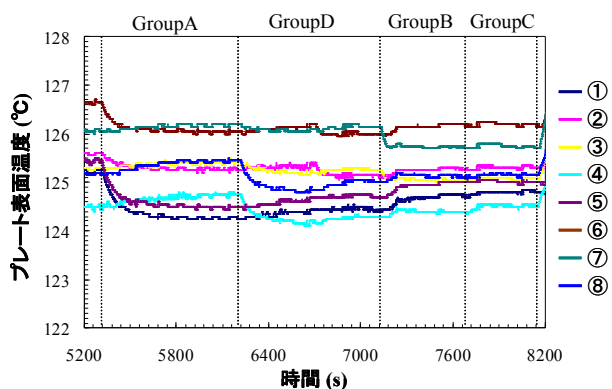


Fig.9 デバイスの発熱バラツキを考慮した評価結果

4. おわりに

CAE による伝熱解析を用いて仕様の検討，試作した自己発熱デバイス対応温調プレートの温度分布評価を行ない，以下の結論を得た．

- 1) 試作機のデバイス発熱量の許容値は約 2.5W/device である．プレート全体を均一に冷却することができれば，更に高い発熱量のデバイスに対応できることを示唆した．
- 2) 試作機は 0.5W 程度の発熱バラツキでは，温度分布精度に支障が出ないことがわかった．

追記

本研究は，平成 24 年度大分県 LSI クラスター研究開発事により実施しました．

参考文献

- (1) 日本機械学会：伝熱資料第 5 版，丸善(株)，2009