

SEMI G46-88

試験方法 集積回路素子取付け評価用熱過渡試験

免責事項: この SEMI スタンダードは、投票により作成された英語版が正式なものであり、日本語版は日本の利用者各位の便宜のために作成したものです。万が一英語と日本語とに差異がある場合には英語版記載内容が優先されます。

1 序文

1.1 目的 — 電氣的試験方法によって熱試験チップ又は能動デバイスに施される熱過渡技術を用いて半導体素子取付け完全度の評価を行う。

1.2 原理説明 — 個々の半導体デバイス及び集積回路の定常熱反応 (又は熱抵抗)、及び熱過渡反応は、半導体チップ及びパッケージ間の素子取付け材料におけるボイドの存在によって影響を受けやすい。これらのボイドは、チップから基盤 (パッケージ) への熱の流れを妨げる。チップとパッケージの熱時定数における差のために、熱過渡反応の測定は、安定状態熱反応の測定よりも、ボイドの存在による影響を受けやすい。これは、一般的にチップの熱時定数がパッケージの熱時定数より数桁小さいためである。従って、チップの熱時定数よりはいくらか大きい、基盤の熱時定数よりは小さいパルス幅を使用することによって、加熱力パルス幅をそのパルスの間、チップ及びチップ — 基盤間のインタフェースのみが熱されるように、選択することができる。

10~400 ms の範囲にある加熱力パルス幅がこの基準を満足することがわかっている。これによって、試験中のデバイスに熱シンクが不要であるという利点に加わるとともに、ボイドの検出率が大きく増加する。

このように、熱過渡反応技術は、素子取付け完全度評価のための製造スクリーン、工程管理又は受入れ検査の測定に使用する場合熱抵抗による測定よりも、測定時間を短縮できる。

1.3 参考及び試験方法の標準的説明理解のため、以下の文書を推奨する。

SEMI G32 — Unencapsulated Thermal Test Chip

MIL-STD-883C — Method 1012, Thermal Characteristics

2 定義

以下の記号及び用語は、本試験方法の目的に適用する。

2.1 V_F — 接合部温度感知に使用する被試験デバイス (DUT: Device Under Test) 内部のダイオード接合部順バイアス電圧

2.2 V_{Fi} — 加熱力付加前の V_F 初期値

2.3 V_{Ff} — 加熱力付加後の V_F 最終値

2.4 ΔV_F — DUT への加熱力付加による、温度感知パラメータ V_F の変化

2.5 V_H — 電力消費をもたらすための、加熱時間中に DUT に印加される電圧

2.6 I_H — DUT への V_H 印加によって生じる加熱電流

2.7 P_H — 加熱パルスの大きさ: V_H と I_H の積。

2.8 t_H — P_H の持続期間 (DUT に印加される)

2.9 I_M — V_F 測定のための温度感知ダイオード接合部の順バイアスに使用する測定電流

2.10 t_{MD} — 測定遅延時間は 2 通りに定義できる。

2.10.1 加熱力 (P_H) 除去開始から、最終 V_F 測定終了までの時間又は、

2.10.2 加熱力 (P_H) 除去開始から、 t_{sw} で表される最終 V_F 測定時間の開始までの時間

2.11 t_{sw} — 最終 V_F の測定が行われる。サンプルウィンドウ時間: 2.2 の t_{MD} 定義を用いる時のみ適用される。

2.12 K — °C/ミリボルト表示の I_M で測定される温度感知パラメータの温度係数

2.13 CU — 比較ユニット。 ΔV_F を I_H で割ったもので、電力消費の変動に対する熱過渡反応を標準化するのに使用する。単位は mV/A。

2.14 T_J — DUT 接合部温度

2.15 ΔT_J — t_H に等しい時間 P_H を付加することによって生じる T_J の変化

2.16 σ_{Δ} — 与えられた試験条件に対する ΔV_F の結果の標準偏差

2.17 σ_{CU} — 与えられた試験条件に対する CU の結果の標準偏差

3 試験作業

以下の段落では、集積回路熱反応のための試験作業を概念的に細かく説明する。

注: SEMI による書面での了承なき場合は、本書の全部もしくは一部の転載を禁じる。

©Semiconductor Equipment and Materials International (<http://www.semi.org/>)

©SEMI ジャパン 〒102-0074 東京都千代田区九段南 4-7-15 健和ビル 7 階

3.1 装置 — 図 1 に能動デバイス又は熱試験チップの試験に必要な装置を示す。図 1a は、TSP が接合部分離のダイオード順バイアス電圧である場合のものである。接合部分離のダイオードがない場合又は温度感知に適さない場合の熱試験チップ及び試験 IC は図 1b に示す装置を使用する。

3.2 装置 — 図 1 のいずれの装置を備えるためには、以下の装置が必要である。

3.2.1 V_H を所望の値に調整でき、DUT から得られる I_H 値を供給できる定電圧源

3.2.2 TSP 接合部を完全にオンするのに十分な電圧の追従が可能な I_M を供給する定電流源

3.2.3 スwitchング中の DUT 冷却を避けられる程度の短い時間枠で加熱時間状態と測定状態を切り換えることのできる電気スイッチ。即ち、マイクロ秒値域の切り換えが必要となる。

3.2.4 ミリボルト分解能で t_{MD} 時間枠 (又は、前述の定義によっては $t_{MD} + t_{SW}$) の範囲内で正確な V_H の測定が可能な電圧測定回路

3.3 作業及び波形 — まず最初に、 I_M 及び V_H を所望の値に調整する。次に、電気スイッチを位置 1 にセットして V_{Fi} の値を測定する。次に、 t_H と同じ長さの時間だけ、スイッチを位置 2 に移し、 I_H の値を測定する。そして最後に、 t_H の終わりに、スイッチを再度位置 1 に戻し、 t_{MD} 時間 (又は、前述の定義によっては $t_{MD} + t_{SW}$) の範囲内で、 V_{Fi} 値を測定する。試験終了時には電圧源及び電流源を切断する。図 1 の 2 タイプそれぞれの電圧・電流波形を図 2 に示す。

4 試験手順

下記の手順は、上述の装置及び定義を使用して素子・取付け評価用熱過渡試験を行うための試験条件の設定法及び許容限度の決定法について説明したものである。

4.1 初期デバイス試験手順 — 以下の段階は、様々な集積回路デバイスの適正な試験を行うための前述した装置の設定法について詳しく説明する。

第 1 段階 — 10~15 々の被試験集積回路サンプルから、1 つのデバイスを取り上げ、設定を開始する。試験装置を次のように設定する。

$V_H = 5.0 \text{ V}$ (又は、被試験デバイス (DUT) 標準動作電圧に近い、他の所望の値)

$t_H = 200 \text{ ms}$

$t_{MD} = 15 \text{ } \mu\text{s}$

$I_M = 1.0 \text{ mA}$ (又は、特定の DUT に適した他の値: 80 μA ~ 9.9 mA の範囲内の値が望ましい)

第 2 段階 — 試験装置にデバイスを挿入して試験を開始する。(最良の結果を得るためには、何らかの形の放熱をもたらす試験装置が望ましい。)

第 3 段階 — ΔV_F が 20~40 mV の範囲内にあれば、次の段階へ進む。この範囲は、およそ 10~20°C の接合部温度変化に対応し、初期の比較目的には十分な値である。

ΔV_F が 20 mV 以下の場合には、第 1 段階に戻り、 V_H を増加させるか、DUT を接続しなおして電力消費を高めるか、又は、その両方を行うかによって、デバイスに対する加熱力を増加する。

ΔV_F が 80 mV 以上 (40°C 以上の接合部温度変化に対応) の場合には、第 1 段階に戻り V_H を低減するか、DUT を接続しなおして電力消費を削減するか、又はその両方を行うかによって加熱力を低減するのが望ましい。 V_H を低減する方が、よりよい方法である。

2 つの異なるデバイスは、同様の接合部温度上昇を示すので、たとえ P_H の値が異なっても、CU 値を用いれば、デバイスの比較は完璧に実現できる。前記の第 2 節で定義したように、CU は、設定した試験条件 V_H に対する異なるデバイスの I_H 値を考慮に入れた比較単位を提供するものである。

第 4 段階 — 各サンプルデバイスを試験し、図 3 に示すように ΔV_F と CU のデータを記録する。

第 5 段階 — CU の最大値及び最小値を示すデバイスを選び出し残りのデバイスは、除外する。

I_H の測定値が平均値周辺に密集している場合には、CU の代わりに ΔV_F 値を使用する。

第 6 段階 — 図 4 に示す加熱時間 (t_H) シーケンスに従って、第 5 段階の 2 つのデバイスがそれぞれの ΔV_F 及び CU 値を読み取り記録する。

第 7 段階 — 前段階のデータを用いて、図 5 に示す例と同じように、2 つのデバイスの加熱曲線を作成する。

第 8 段階 — 次の段階は、加熱曲線の解釈である。加熱時間 (t_H) がチップの熱時定数より小さいか又は等しいならば、同一のチップの熱特性は等しいということを理解すれば、2 つの曲線は、低い値の t_H と同じになるはずである。非同一のチップ (すなわち、断面が薄かったり小さかったりする場合は、小さい方の t_H 値でさえも、全く異なる曲線を描くことになる。 t_H 値が増加するにつれて、それによってチップ熱定数を越えることになるが、熱がチップを通して素子取付け領域に伝播したことになる。第 5 段階の加熱曲線デバイスは、その差異のために特に選定されたものであるため、図 5 の曲線は、 t_H が素子取付けずれが、デバイス接合部温度に影響を与える値に到達すると、分岐する。 t_H をどんどん

増加すると、熱がデバイスパッケージに伝播することになる。曲線は平坦化することになる。デバイスパッケージに熱の集まりがほとんどなく、かつ/又はデバイスパッケージが良好な熱シンクにうまく組み込まれていない場合には、曲線はさほど平坦化はしないものの、傾きに明らかな変化を示すことになる。図 6 に加熱曲線の主要要素を示す。

第 9 段階 — 加熱曲線を用いて、チップ内熱及びパッケージ内熱間の過渡領域における屈曲点に対応する適当な t_H 値を選定する。

熱流通経路チップ、素子取付け、基盤、基盤取付け、及びパッケージにいくつかの異なる要素がある場合には、(例えば、ハイブリッドにおいて)加熱曲線にいくつかの高平部及び過渡部があらわれるであろう。適当な t_H を選定することにより、他の取付け領域に対する評価感度を最適化することができる。

第 10 段階 — 装置に戻り、 t_H を第 9 段階で決定した値に設定する。

第 11 段階 — 選定した t_H 値は、熱平衡の t_H よりはるかに小さいため、デバイスを損なうことなく加熱力を高めることができる。被試験デバイス内の電力消費を高めることによって、 ΔV_F 値及び/又は CU 値が高くなり、それによって、認可及び非認可デバイスの決定がたいへん容易になる。

第 12 段階 — 合格/不合格限度、即ち認可/非認可デバイスの区切り点は、様々な方法で設定できる。

a) 素子せん断及び/又は X 線のような他の素子取付け評価法との相互作用:これら 2 つの方法は熱の観点から言えば、実際の値はほとんど提示しないが、MIL 規格で述べているように、標準化された方法を代表するものである。

b) デバイス間の最大許容接合部温度変化: ΔT_J と ΔV_F 間の関係はおおよそ $0.5^\circ\text{C}/\text{mV}$ であるため、デバイス間の接合部温度伝播は容易に決定できる。 T_J は、信頼性を予測させるものである。逆にいえば、信頼性プロジェクションを満足するのに必要な T_J 伝播は、定常熱平衡条件との相互関係に基づいて、合格/不合格の基準となる ΔV_F 及び/又は CU 値に変換することができる。

この方法を最大限に利用するためには、デバイスを、 T_J - V_F 特性の正確な値に合わせて校正する必要がある。通常、 K 係数と呼ばれる特性の傾きは、図 7 に示すように、能動デバイスでも熱試験チップでも、ボルトメータ、環境チャンバ、温度インジケータ及びフォーシング用電源装置を使用して、サンプル単位で容易に測定できる。 K 及び ΔV_F の値がわかれば、簡単な式で接合部温度を求めることができる。

$$\Delta T_J = |(K)(\Delta V_F)|$$

$$T_J = T_A + \Delta T_J$$

ここで T_A は周囲温度又は基準温度である。

c) 適当な数のデバイスサンプルから統計学的に ΔV_F 又は CU 値の分布は、不良デバイスは通常の範囲外となる正規分布であるのが望ましい。図 8 に集積回路サンプルロットの ΔV_F 分布を示す。ヒストグラム包絡線の左側はたいへん輪かくがはっきりとしている一方反対側は右にひどくゆがんでいることに注意せよ。これは、左側は与えられたチップ組立て材料及び工程によって得られる最高の熱流によって制約を受けているためである。反対側には、そのような制約はない。なぜならば、チップ組立ての稚拙さについては限度がないからである。

ΔV_F 又は CU の最大限度値設定のための通常の実験法では、分布平均値と 1 つの標準偏差 σ を使用する。即ち、

$$\left. \begin{array}{l} (\Delta V_F) \\ \text{最大限度値} \end{array} \right| = \overline{\Delta V_F} + X \sigma_{\Delta}$$

$$\left. \begin{array}{l} (CU) \\ \text{最大限度値} \end{array} \right| = \overline{CU} + X \sigma_{CU}$$

ここで、たいていの場合 $X=1$ である。

必要な統計データは、第 11 段階の条件下で 40 ヶ以上のデバイスを試験することによって得られる。

第 13 段階 — 試験条件及び可否限度が決定したら、将来の同型パッケージ同型デバイスの試験要領として、この情報を記録しなければならない。装置が正しくセットされていれば、それらを使用する不合格限度選定者も含めて、作業者は、ただデバイスを挿入し、試験を開始し、 ΔV_F 又は CU 表示値を読み取るか又は、適当な合格/不合格表示を監視するだけである。

ここまで挙げた段階は、図 9 に要約してある。これらの試験段階実行所要時間は、かなり作業者に依存するものであるが、一般的に、第 12 段階 c) の統計学的アプローチによるならば約 1 時間である。

4.2 日常的デバイス試験手順

既定の製造工程又は販売者からの特定名デバイスタイプについて一度適当な管理設定を決定すると、そのデバイスタイプの試験は、前に決定したものと同一試験条件を使用して簡単に繰り返すことができる。

新たなデバイスタイプ又は異なる工程によって製造された同型デバイスについては、4.1 項を繰り返さなければならない。

4.3 異なる販売者のデバイスの比較

各デバイスタイプは、既定の一連の手順に沿って製造されたある特定のチップとして定義される。複数の販売者又は、デバイスを再設計したり、その構造を改造したりする製造者から、ある特定の部品を購入する集積回路ユーザは、すべての販売者のデバイスについて加熱力及びほとんど同値の t_H 値を使用できるが、それぞれの販売者について別々の ΔV_F 又は CU 合格/不合格限度を使用しなければならない。というのは、異なる販売者によって製造される部品の K 係数はおそらく異なるであろうからである。その差異は、第 12 段階 b) で述べたように K 係数の校正を行い図 7 で説明した装置を使用することによって決定される。

5 試験条件仕様

試験装置を正しくセットし、反復可能な測定を保証するために、以下の試験条件を完全に設定しなければならない。

- a. V_H
- b. t_H
- c. I_M
- d. t_{MD} (必要ならば t_{SW} も)
- e. DUT/装置インタフェース(すなわち、配線)
- f. ΔV_H 又は CU データ必要条件

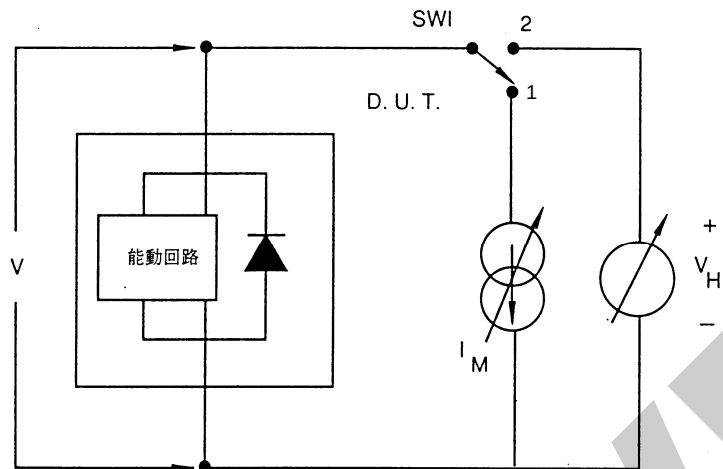


図 1.A

接合部(分離)ダイオードデバイス用

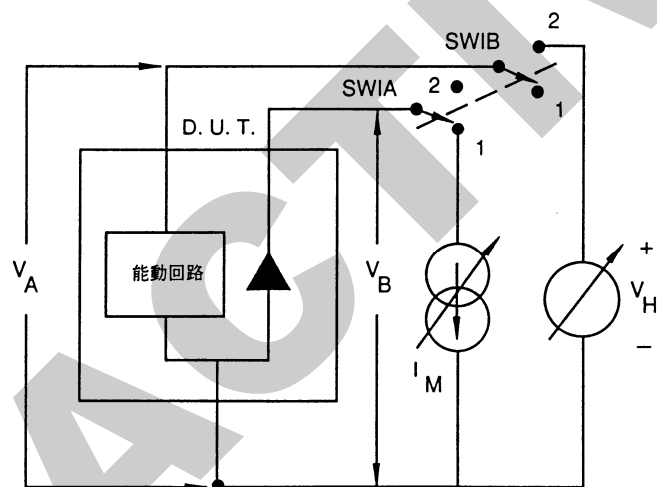


図 1.B

寄生ダイオード又は熱試験チップ温度感知用

図 1

集積回路熱過渡試験装置概念図