HASTおよびAir-HAST評価技術と課題

岡本 秀孝*, 吉田 隆久**

Evaluation Technique and Problem of HAST and Air-HAST

Hidetaka OKAMOTO* and Takahisa YOSHIDA**

* 一般財団法人日本電子部品信頼性センター (〒104-0041 東京都中央区新富1-7-4 阪和別館ビル5階)

** 株式会社平山製作所 (〒344-0014 埼玉県春日部市豊野町2-6-5)

*Reliability Center for Electronic Components of Japan (Hanwa annex Bldg., 1-7-4 Shintomi, Chuo-ku, Tokyo 104-0041)

**Hirayama Manufacturing Corporation (2-6-5 Toyono-cho, Kasukabe-shi, Saitama 344-0014)

1. はじめに

半導体デバイスの耐湿性評価の加速試験として古くからHAST (Highly-Accelerated Temperature and Humidity Stress Test)¹⁾が使用されてきたが、当初の半導体のアルミ配線の腐食を評価する試験から、プリント配線板などの有機材料にも適用されるようになり、その適用限界に対する検証が必要になってきた²⁾。また、この装置には残留空気に対する規定がないことや、100℃以下の環境槽での加速試験との関連を検証する必要があるが課題となっていた³⁾。さらに、最近になって、この装置に積極的に空気分圧を加味したAir-HASTが腐食を伴う評価に検討されるようになってきた^{4),5)}。

このような背景から、まずHASTの発展経緯を述べる。次いで、Air-HASTについての解説をする。最後にこれらHASTならびにAir-HAST装置の構造や信頼性試験における注意点や課題についてまとめた。

2. HASTの発展経緯

HAST試験の発展経緯について調査した結果を基に説明する。HAST試験の基は、プレッシャークッカー試験(PCT)である。PCTは、アメリカのRCA社がソリッド抵抗器の耐湿特性の加速試験に採用したのが始まりらしく⁶⁾、その後、樹脂封止半導体の耐湿試験に広く利用されるようになった。これは、樹脂封止半導体の欠点である吸湿によるアルミ配線の腐食の信頼性を短時間で評価したいという要求に合致したためである。

PCTは、当初、医用に用いられるオートクレーブ(高压蒸気滅菌器)を利用して行われていた。オートクレーブは、通常、密閉空間の温度を121℃に上昇させ飽和蒸気圧を2気圧にして、煮沸よりも滅菌を効率的に実施するものである。PCTは、同様な高压蒸気環境で樹脂被覆中に水蒸気を無理やり押し込むことで水分の浸透を加速しようとしたものである。オートクレーブの目的は滅菌であり、

121℃、2気圧の飽和蒸気雰囲気中で20分程度の運転でその目的は達成されたが、PCTとして、寿命評価に使用するために、今まで運転時間の短い用途であったものを、長時間運転の機能が付加され、また後に結露防止の機能も追加され専用機として製作されるようになった。

PCTでは、100%の飽和蒸気圧、121℃で2気圧に達し、試験治具の損傷が激しいことや結露しやすく市場故障との相関を求めることが困難であった。このようなこともあって、1997年EIAJにおいては廃止の扱いとなっている。しかしながら、一部ではまだこの試験が行われていることにも留意する必要がある。

HASTは、上述したPCT装置をもとに、Sinnadurai⁷⁾、戒能⁸⁾らによってPCT装置を改造して始められたものである。その構造は、図1に示すように、飽和温度槽(外釜)の内部にもう1つの温度槽(内釜)を設け、そこに設置したヒーターによりこの中の温度を周囲の飽和温度槽よりも高温にすることで内部の温度槽内に不飽和領域を実現し、PCTの結露しやすい欠点を解消しようとしたものである。当初は、発展経緯から不飽和PCTと呼ばれていた。図1から、試験槽となる内釜の水蒸気圧は外釜の飽和水蒸気と等しいので、この時の相対湿度は、

$$\text{相対湿度 (\%RH)} = \frac{\text{外釜の飽和水蒸気圧}}{\text{内釜の飽和水蒸気圧}} \times 100$$

図1. 不飽和型PCT装置⁴⁾

となることは明白である。その後、Gunn¹⁾らにHAST装置と呼ばれるようになって、名称が定着した。

3. HAST装置について

一般に使用されているHAST装置は構造の違いにより2種類に分類される。一槽式と二槽式である。図2に代表的な一槽式と二槽式の装置構造を示す。

3.1 一槽式の構成

圧力容器内部に仕切壁を設け、その仕切壁により、試料を設置する試験空間と加湿水を保持し蒸気を供給する蒸気発生部とに分離された構造となっている。槽内奥には蒸気発生部から試験空間への蒸気の流れを生み出すためにファンが設けられており、そのファンの外側と蒸気発生部とにそれぞれヒーターが配置されている。装置を構成する圧力容器が1つのため一槽式と呼ばれている。この方式はチャンバー奥に設置したファンによって強制的に蒸気の流れを作るため、空調方式と呼ばれる場合もある。特長としてチャンバー（圧力容器）が1つでよいため装置本体を比較的小コンパクトに設計しやすいという点が挙げられる。

3.2 二槽式の構成

試料を設置する試験槽と、加湿水を保持し蒸気を供給する蒸気発生槽の2つの異なる圧力容器により装置が構成されている。そのため二槽式と呼ばれている。試験槽および蒸気発生槽の2つの容器内にそれぞれヒーターが配置されている。水蒸気は加湿水を保持した蒸気発生槽から試験槽へと沸騰した水蒸気圧力により送り込まれ、結露水となった分は蒸気発生槽へと戻っていく。試験槽内には内円筒が設けられ外側に加熱ヒーターが設置されており、ヒーター

の熱は内円筒に伝えられ、試験空間全体の温度を一定に保持している。その蒸気の循環にファンを必要としないため自然対流方式とも呼ばれている。特長としては、試験槽と蒸気発生槽が別々の圧力容器で構成されているので、2つの槽間の温度干渉が少ないという点がある。

図2に示した構造図はJIS規格の引用だが、(b)二槽式の構造図で、蒸気発生槽への戻り配管の記載がないなど、現状と若干異なるので、後述のAir-HASTの構造図(図3)を参照されたい。ただし、湿球パンおよびウィック温度センサ、圧力調節器はAir-HASTの場合のみ設置されている。

4. HASTの注意事項

プリント配線板の絶縁劣化試験やソルダーレジスト評価の試験では、一般的に85°C、85%の高温高湿条件の試験が実施されている。プリント配線板やソルダーレジストの性能向上に伴い、故障発生に至るまでの時間が数千時間に及ぶ時代となった。このような状況で信頼性評価時間の短縮が期待できるHASTを適用する動きは必然であろうと考える。

HASTのJIS規格(JIS C 60068-66)の適用範囲および目的によると、『この規格は、小形電子部品、主としてハーメチックシールされていない部品を対象にして、高温高湿が特性劣化に与える影響を加速して評価する標準的な試験方法を規定する。この試験は、腐食または変形といった供試品の表面で起きる影響を評価することを目的としてはいない。』との記述がある。

また、同規格の文中に、『供試品の最大定格温度及び/又は供試品の封止材料の臨界温度に達しないように注意する。例えば、ガラス転移温度は、臨界温度の代表的な例である。』との記述もあるので、HASTの適用には注意が必要である。HASTは、温湿度定常試験と比較して過酷な試験のため、実使用時には発生しないような故障を誘発する可能性がある。したがって、HASTを適用して寿命時間を算出して問題ないことの確認には、(1)例えば、85°C 85%RHの温湿度定常湿度試験とHASTで得られた故障時間のワイブル分布を求めて、傾きが同等であること、(2)定常試験とHASTでの故障モードが同一であることの確認が必要である。

5. Air-HASTとは

HASTは試験槽内の温度が100°Cを超えると水蒸気が1気圧を超えることを利用して、空気を水蒸気により槽外へ放出するのに対し、Air-HASTは空気をすべて槽外に放出せず一部を残すものである。そのため、Air-HASTと呼ばれている。HASTでは残留空気がなく試験槽内が水蒸気で満たされた空間なのに対し、Air-HASTは水蒸気にAir（空気）が含まれた状態となっている。HASTとAir-HASTにおいては、温度が同一であれば水蒸気圧は同じであるが、

PV: 圧力容器(試験槽及び蒸気発生器)	SV: 安全弁
DO: 扉	AV: 排気弁
WS: 試験空間	S1: 水蒸気用温度センサ
PV1: 試験空間用圧力容器(試験槽)	S2: 加湿水用温度センサ
PV2: 加湿水用圧力容器(蒸気発生器)	F: 送風機(ファン)
WA: 加湿水	HM: 水蒸気加熱器
PG: 圧力計	HW: 加湿水加熱器

(a) 一槽式

(b) 二槽式

図2. HAST装置

空気の有無による空気分圧に差が生じるため、空気が残留している Air-HAST 雰囲気の方が当然のことながらゲージ圧力が高くなる（その温度における水蒸気圧+残留空気分圧となる）。

6. Air-HAST装置の構造

Air-HASTは、従来のHASTと違い槽内に空気を残す必要がある。その残留空気量が試験結果に大きく影響する可能性を考えると、空気量を正確に制御することが必要となってくる。HASTで空気を含んだ環境を作るには、立ち上げ時に一定量の空気を残しておく方法と、空気をすべて槽外へ排出した後、所定量の空気を注入する方法とがある。技術的にはどちらも可能である。今回、平山製作所が製作した Air-HAST の構造を図3に示す。従来の二槽式 HAST 装置の試験空間に、湿球パンおよびウィック温度センサを設けその温度で加湿水加熱器（蒸気発生槽）を制御する機構となっている。空気を残留させる方法に関しては現在試行錯誤の段階であるが、今回は空気量の制御が比較

図3. Air-HAST装置の構造

的容易であり、実験がしやすいという理由から、空気をすべて排気して定常状態まで立ち上げた後、所定量の空気を加圧口より注入する方法を採用した。残留した空気は圧力コントローラーにより制御され、常に一定の分圧を保持できるようにになっている。

7. HASTおよびAir-HASTの湿度計測について

100°C以上の高温高圧領域において、湿度を直接測定する標準的な方法は、水蒸気環境ではまだ確立されていない。したがって、この領域での湿度は温度の測定値から理論的に算出し決定している。

直接測定が困難な理由として、①高温高圧領域（特に高圧蒸気）に対応できる湿度計（湿度センサ）がない。②湿度計のセンサ部分に結露が生じると正確な値を示さない。などが挙げられる。以前に結露防止用のヒーターが内蔵された高温用湿度センサを、HAST装置で使用可能か実験を行ったことがある。結果は2～3回程度の運転で測定値に誤差が生じた。メーカーに問い合わせたところ補正が必要との回答があり、採用を見送った経緯がある。

8. Air-HASTの適用例と課題

Air-HASTを適用した事例を2つ紹介する。1例目は、鉛フリーはんだウィスカに適用した事例を紹介する。HAST試験では短い期間ではウィスカの発生が見られなかったが、Air-HASTではウィスカの発生が見られたのは、空気の有無による試験環境の違いで、空気の存在しないHAST試験に対し、Air-HASTは存在する空気（特に酸素）がウィスカの成長に関与していること、30°Cの環境に対し110°C Air-HASTでは1,000倍も加速されているとの報告がある⁹⁾。また、2例目は筆者らが参加しているJIEPのECM（エレクトロケミカルマイグレーション）研究会では、空気量を制御したAir-HASTをECM試験に適用して研究を進めている。130°C 85%RHで実施したAir-HAST試験結果例を示す。空気の存在しないHAST環境、空気圧が0.001 MPa、0.008 MPa、0.023 MPaのAir-HAST環境で試験を実施した。空気量によって、表1に示すように基板表面の色調に大きな差があること、空気量によって平均故障時間

表1. 試験条件 130°C 85%RHの空気量による試験結果の違い

試験条件 項目	試験前	HAST (0MPa)	Air-HAST (0.001MPa)	Air-HAST (0.008MPa)	Air-HAST (0.023MPa)
色調の違い					
平均故障時間		101h	105h	98h	218h

(各試験のサンプル数は8個)に差が生じることが明確になってきた。

Air-HASTを実施した条件がどの程度の空気量かという
と、計算から求めると0.001MPa, 0.008MPa, 0.023MPaの
空気圧は空気密度でそれぞれ9, 69, 199g/m³に対応する。
ただし、本計算では、試験槽内には水蒸気と空気以外に
ゲージ圧に影響を与えるものが存在しないことを前提とし
ている。空気量と基板表面の変色、空気量と平均故障時間
の関係や空気の有無によるECMのメカニズムの違いなど
の詳細な検討はこれからである。Air-HASTに着目するの
は、空気が存在しないHAST空間が特殊な試験空間ではな
いのか、空気がある方が自然ではないのかということから
来ている。しかしながら、Air-HASTは、従来の通常の
HASTと違い空気濃度や酸素濃度の制御が可能のため、濃
度によって試験結果に違いが生じるのか、空気分圧のため
当然、試験槽内で試料が受ける圧力も高いためその影響の
有無などが十分に検討されてはいない。また、高温高湿試
験、HASTとの故障モードの比較や加速性についての検討
も十分になされておらず、今後の課題である。

(2012.5.14-受理)

文 献

- 1) J. E. Gunn and S. K. Malik: "Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test Technique (HAST)," 19th Annual Proceedings Reliability Physics, pp. 48-51, 1981
- 2) 加速寿命試験法検討研究会編: "HASTによる加速劣化試験結果とその課題," JIEP, 2002
- 3) ECM評価法研究会: "高密度プリント配線板絶縁性の加速試験法の研究," JIEP, 2009
- 4) 鈴木 聡, 小林晶子, 戸井恵子, 梶原隆志, 鈴木智也, 竹内 誠, 高橋邦明: "実装化におけるウイスカ評価試験," 第19回RCJ信頼性シンポジウム発表論文集, No. 19S-02,

pp. 149-153, 2009

- 5) 佐々木喜七: "導電接着剤実装と部品接合湿度加速試験の検討," 第21回電子デバイスの信頼性シンポジウム, No. 21S-06, pp. 197-204, 2011
- 6) 三根 久 (編): "プレッシャー・クッカー・テストに関する文献調査報告書," 関西電子工業振興センター, 1983
- 7) F. N. Sinnadurai: "The Accelerated Aging of Plastic Encapsulated Semiconductor Devices in Environments Containing High Vapour Pressure of Water," Microelectronics and Reliability, Vol. 13, pp. 23-27, 1974
- 8) 戒能俊邦, 荒木 進: "プラスチック封止半導体部品の耐湿信頼性," 第10回日科技連信頼性・保全性シンポジウム論文, pp. 411-416, 1980
- 9) 津久井 勤, 岡本秀孝, 竹内義博, 上島 稔, 竹内 誠, 竹中順一, 神山 敦: "はんだウイスカの発生と加速試験法の検討," 第20回RCJ信頼性シンポジウム発表論文集, No. 20S-03, pp. 173-180, 2010

著者紹介

岡本秀孝 (おかもと ひでたか)

1977年 電気通信大学 修士課程修了。同年日本電信電話公社入社。現在、日本電子部品信頼性センター勤務。JIEP会員

吉田隆久 (よしだ たかひさ)

1977年 日本工業大学 機械工学科卒業。同年、(株)平山製作所入社。新規事業HAST装置の主に販売に従事。JIEP会員