



## УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ. ОЦЕНКА ВЛАГОСТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ. HAST-МЕТОД

Артем Иванов

test@ostec-group.ru

Современная радиоэлектронная промышленность постоянно ищет способы улучшения качества и надежности готовой продукции. Чтобы проверить качество типовых изделий, производители обычно используют испытательные камеры, которые позволяют моделировать жесткие эксплуатационные режимы. Например, один из самых распространенных методов испытаний интегральных микросхем (ИС) – метод ТВВ (Температура/Влажность/Вибрация), который предполагает испытания при температуре 85°C и 85% относительной влажности с воздействием вибрации. В последние годы было значительно улучшено качество корпусов ИС, и, чтобы достичь результата, испытания необходимо проводить в течение 1000 часов. Очевидно, что инженеры-испытатели не могут ждать месяцы, чтобы убедиться в высоком качестве партии компонентов. Компания Espec Corp. (Япония) с 1980 года разрабатывает и производит камеры серии EHS (рис. 1) для реализации ускоренных испытаний по методу HAST (Highly Accelerated Stress Test), который позволяет сократить в 4-5 раз время выдержки образца в жестких климатических условиях. Эти испытания проводятся при более высоких температурах: до 100°C, относительной влажности 98% и атмосферном давлении до 392 кПа. Такие режимы испытаний применяются для оценки влагостойкости электронных компонентов и оценки герметичности корпуса ИС в условиях высокой влажности. Камеры, реализующие HAST-метод, ускоряют проникновение влаги сквозь поры материала корпуса или места выводов контактов ИС. Серия EHS воссоздает параметры температуры, влажности и давления в соответствии со стандартом IEC60068-2-66. Помимо этого, камеры ускоренных испытаний соответствуют стандартам EIAJED 4701, JEDEC, EIA/JESD22-A110-A. Компания ESPEC также принимала участие в разработке стандарта IEC60068-2-66: при его выпуске использовались технические решения и данные измерений инженеров компании.

### МЕХАНИЗМ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА

Количество водяного пара, проникающего через пластиковый корпус ИС, зависит от физико-химических свойств полимера и давления пара, процесс проницаемости через материал корпуса зависит от размера имеющихся пор. Пар может также проникать в местах соединения материала корпуса и контактов. Процесс идет довольно активно уже при 50% относительной влажности воздуха и температуре более 80°C.

В целом количество проникающего водяного пара определяется материалом корпуса, его типом и параметрами внешней среды.

В камерах HAST испытываются четыре основных типа корпусов:

1. Имеющие защитные органические покрытия (на оксидной и других полимерных основах, в т.ч. кремнийорганической), полученные окунанием или распылением под давлением.
  2. Сплошные формованные корпуса из пластмасс на основе эпоксидных смол.
  3. Металлические корпуса с герметизацией органическими полимерными материалами (обычно пластмасса или резина).
  4. Металлические корпуса с герметизацией керамикой или стеклом.
- При безупречных сочленениях эти корпуса считаются полностью герметичными.

Для 1-го, 2-го и 3-го типов водяной пар обычно проникает внутрь корпуса, диффундируя по системе микропор, которые присутствуют в полимерном материале. Пар также может проникать вдоль контактов в корпусах 2-го и 3-го типа. Для 4-го типа корпуса проникновение возможно с помощью молекулярного механизма (абсорбция молекул воды).

### ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ КАМЕРА

Серия EHS позволяет реализовать параметры температуры и влажности в диапазонах, которые представлены на рис. 2. Диапазон параметров испытаний: 75-100% относительной влажности и температура от 105 до 145-163°C (в зависимости от модели).

На рис. 3 представлена конструкция камер серий EHS. Вентилятор направляет воздух по периферии рабочего объема, где он насыщается влагой. Затем насыщенный влагой воздух поступает к нагревателю. Нагреватель создает нужную температуру воздуха, предотвращая его 100% насыщение влагой и, соответственно, конденсацию влаги.

Климатические камеры данной серии обладают функциональностью и простотой в использовании. Корпус камеры имеет цилиндрическую форму и, вследствие более равномерного распределения давления, обладает большей прочностью благодаря перераспределению давления во внутреннем объеме (рис. 4). Рабочая зона камеры максимально увеличена для облегчения загрузки ИС и прочих образцов. Форма камеры позволяет легко и свободно производить загрузку образцов, более того, возможно индивидуальное исполнение полок для упрощения подключения ИС или образцов к разъемам питания. По желанию заказчика выполняются скользящие полки – для еще более легкой установки, подсоединения к управляющим выводам и сокращению количества проводов. Также в камерах реализована возможность использования дополнитель-



Рис. 1 Камеры серии EHS

ных разъемов подключения образцов. Стандартная комплектация: 12-канальный разъем подключения образца. В случае сдвоенной камеры (тип MD, который позволяет одновременно проводить независимые испытания) – по разъему на каждую камеру. Конструкция моделей EHS-211 и EHS-411 предусматривает использование до пяти дополнительных разъемов по 12 каналов каждый, а в случае с моделью EHS-221 – до шести разъемов по 12 каналов каждый.

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ. ФУНКЦИОНАЛ КАМЕРЫ

Встроенный контроллер камеры позволяет задать до 10 различных программ по 30 шагов в каждой. Простота программирования и задания значений параметров температуры, влажности и давления реализуется с помощью клавиш «верх»/«вниз» (рис. 5).

Специальная кнопка управляет механизмом закрывания двери. Данный механизм предупреждает открывание двери от внутреннего избыточного давления.

В камере предусмотрена система автоматической подачи увлажняющей воды из бака. Для простоты слежения за уровнем увлажняющей воды на передней панели напротив бака сделана прорезь. Стандартная комплектация включает устройство управления питанием образца (обеспечивает функционирование образца при испытании). При возникновении неисправности предпринимаются меры: выключается питание образца, включаются механизмы защиты от перегрева и закипания. Для обеспечения исправности системы и нужной степени целостности образца предусмотрены следующие защитные механизмы:

- защита от закипания;

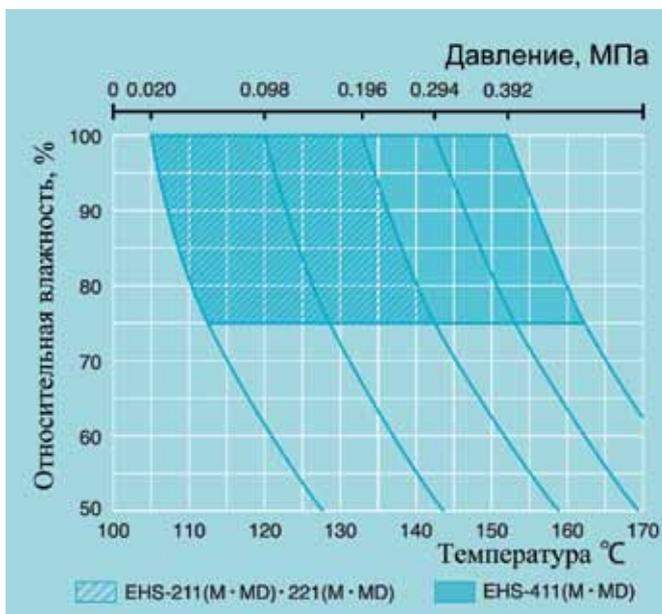


Рис. 2 Диаграмма распределения параметров

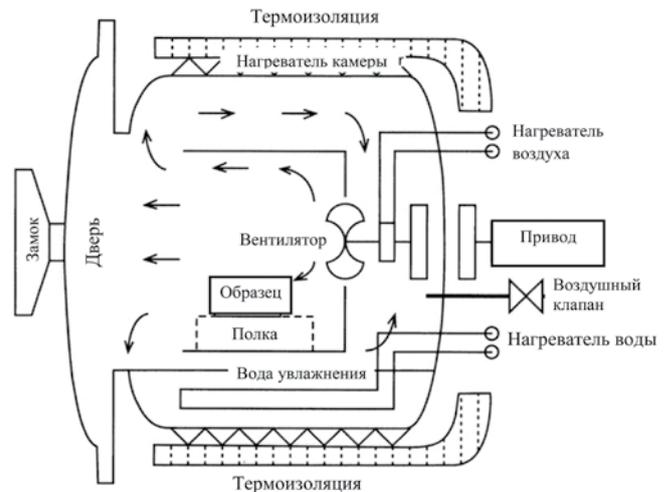


Рис. 3 Конструкция камеры

- датчик сбоя в подаче воды;
- датчик неплотного прилегания двери;
- защита по току;
- защита от неисправности датчика температуры.

Предусмотрено использование внешнего защитного устройства со световым и звуковым сигналами для мгновенного оповещения персонала.

В соответствии со стандартом IEC60068-2-66 в камерах М-типа доступно управление ходом испытаний по температурам сухого и мокрого термометров. Данное решение обеспечивает высокоточное задание параметров процесса испытаний: от состояния рабочей зоны во время испытаний до восстановления параметров к нормальным условиям в конце испытаний. Процесс восстановления занимает некоторое время. В режиме ожидания камера поддерживает определенную атмосферу до момента открывания двери и выборки образца. Тем самым дана возможность выдерживать образец в заданных условиях и не допустить подсушивания при уменьшении давления до атмосферного.

Система управления обеспечивает плавное изменение температуры и давления и позволяет избежать подсушивания образцов после испытаний. Во всех режимах работы резкие скачки давления и температуры выравниваются с помощью устройств постепенной декомпрессии и прекращения подачи воды и воздуха. Это мера позволяет избежать испарения влаги, содержащейся в образце, и обеспечить корректные результаты испытаний.



Рис. 4 Испытательный отсек



Рис. 5 Контроллер камеры

### УПРАВЛЕНИЕ ХОДОМ ИСПЫТАНИЙ

Различают два типа камер серии EHS с различными режимами управления.

Стандартные камеры

1. Управление по состоянию насыщенных паров.
2. Управление по состоянию ненасыщенных паров.

Камеры М-типа

1. Управление по значениям температур сухого и мокрого термометра (рис. 6):

- возможность управления скоростями изменения температуры и влажности до и после испытаний;
- после завершения испытаний, при достижении давлением значения 0,01 МПа, сбрасывается только воздух, а подача воды продолжается;
- в процессе выдержки температура и влажность в камере поддерживаются на заданном уровне (от 50 до 95 °С, от 75 до 95%).

2. Управление по состоянию насыщенных паров (рис. 7):

- управление камерами производится посредством измерений температуры нагревателя увлажнителя (температура нагревателя увлажнителя равна температуре камеры);
- по завершению испытаний камера естественным образом остывает и производит декомпрессию до того момента, как давление достигнет 0,01 МПа. После этого сбрасывается только воздух, а подача воды продолжается.

3. Управление по состоянию ненасыщенных паров (рис. 8):

- в процессе увеличения температур, когда на стороне образца, противоположной нагревателю, может начаться процесс конденсации водяных паров, автоматически подогревается увлажняющая вода, так чтобы ее температура была на 30 °С ниже температуры камеры;
- по завершению испытаний камера естественным образом остывает и автоматически производит декомпрессию до того момента, как давление внутри достигнет 0,01 МПа. После этого производится сброс давления (воздуха), и прекращается подача увлажнения.

### ФУНКЦИЯ AIR-HAST

Самой последней разработкой японских инженеров стала функция Air-HAST, которая максимально приближает условия испытаний к реальным. Данная функция отключает отвод воздуха из камеры через соответствующий клапан (рис. 9) и реализует испытания в условиях атмосферного давления 130 кПа, воздушного пара с влажностью 85% и температурой 110 °С.

В таблице 1 в качестве примера эффективности использования



Рис. 6 Управление по значениям температур сухого и мокрого термометра

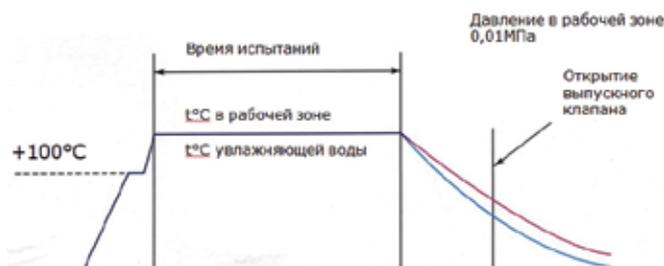


Рис. 7 Управление по состоянию насыщенных паров

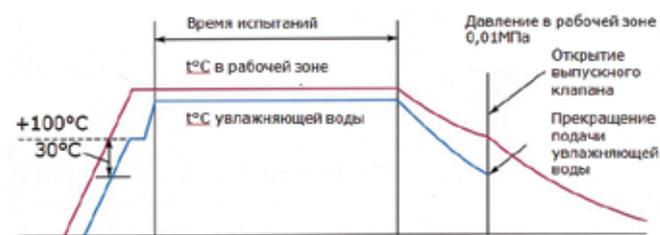


Рис. 8 Управление по состоянию ненасыщенных паров

функции Air-HAST приведены показатели испытаний на обнаружение игольчатых металлических кристаллов на припое.

Таблица 1 Показатели испытаний на обнаружение игольчатых металлических кристаллов на припое с использованием функции Air-HAST

| Тип испытания  | Условия       | Время до обнаружения, ч |
|--|---------------|-------------------------|
| Термоциклирование  | -40°C ↔ +85°C | 3000                    |
| Высокая температура/<br>Высокая относительная<br>влажность | 55°C / 85%    | 3000                    |
|  | 85°C / 85%    | 1000                    |
| Режим Air-HAST   | 110°C / 85%   | 200                     |

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ HAST- МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ РАБОТЫ ИЗДЕЛИЙ

Во многих случаях, когда время функционирования ИС зависит от давления водяного пара, оно может быть определено с помощью ускоренного испытания на воздействие повышенной влажности. В этом случае существует линейная зависимость обычного и ускоренного испытаний.

Зависимость скорости реакции от других параметров выведена на основе сотен экспериментов и известна как формула Аррениуса:

$$K = A \times \exp(-E_a / (kT)) \quad (\text{формула 1})$$

где A – это определяемый коэффициент ускорения, k – постоянная Больцмана, T – температура в градусах по Кельвину, E<sub>a</sub> – энергия активации в эВ (максимальная температура, при которой можно определить точное время работы изделия, выраженная в эВ).

Коэффициент AL определяется из отношения времени работы в нормальных условиях - LN, ко времени работы при ускоренном испытании - L и также равняется обратному отношению скоростей реакций - K и KN, где KN определяется при ужесточении параметров испытаний.

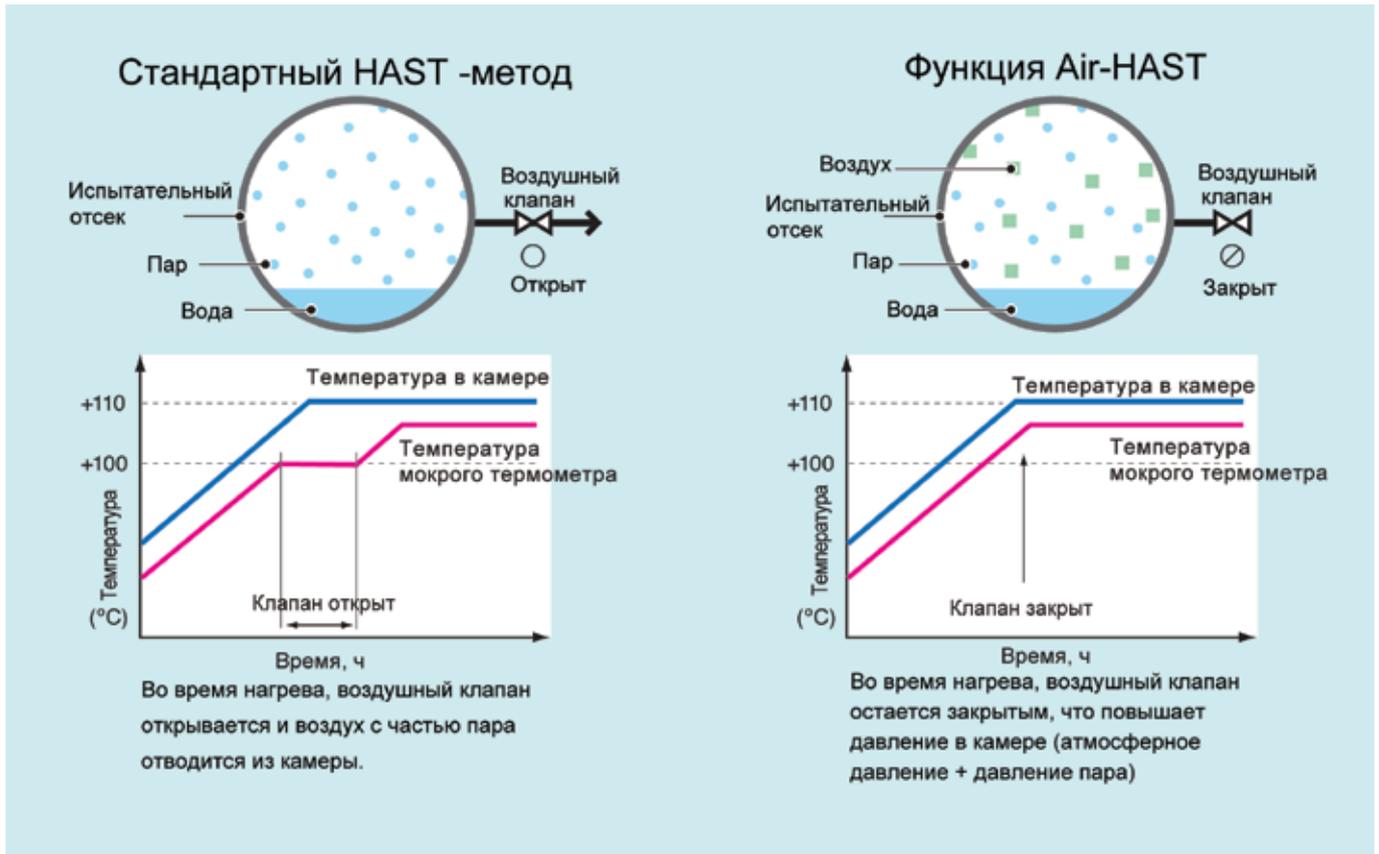


Рис. 9 Функция Air-HAST

$$AL = L_N / L = K / K_N \quad (\text{формула 2})$$

Величины без индекса – более жесткие параметры испытаний, с индексом N – нормальные параметры. На основе этих формул выведена зависимость для определения коэффициента ускорения испытания AC:

$$AC = L_N / L = \exp((-E_a / k) \times ((1 / T) - (1 / T_N))) \quad (\text{формула 3})$$

Исходя из этой формулы, логарифм времени работы пропорционален обратному отношению абсолютных температур. Модель ускорения для HAST-метода по сравнению с TBV может быть найдена с помощью формулы 3. Приведенный ниже расчет сделан для процесса коррозии алюминиевого катода.

$$AC = \exp(1,16 \times 10^4 \times E_a \times ((1 / 273 + 85) - (1 / 273 + T))) \quad (\text{формула 4})$$

где  $E_a$  – энергия активации для испытания и T – температура в камере HAST. Иными словами, когда  $E_a = 0,8$  эВ, коэффициент ускорения равен 18,07 при температуре 130°C и относительной влажности 85%.

Значения AC для других параметров можно посмотреть в таблице 2.

Таблица 2 Коэффициенты ускорения для HAST по сравнению с традиционным TBV

| $E_a$ (эВ) | 0,6  | 0,8  | 1,0  | 1,2  | 1,5  |
|------------|------|------|------|------|------|
| 110°C      | 3,56 | 5,43 | 8,29 | 12,7 | 23,9 |
| 120°C      | 5,65 | 10,1 | 17,9 | 31,9 | 75,8 |
| 130°C      | 8,77 | 18,1 | 37,3 | 76,8 | 228  |
| 140°C      | 1,3  | 31,6 | 74,8 | 177  | 647  |

Вычисление предполагаемого времени работы испытываемых

изделий – основное предназначение этой формулы. Например, стандартные для летней погоды значения, равные 35°C и 85% относительной влажности, в сравнении с обычным испытанием в камере HAST при температуре 130°C и относительной влажности 85% дают следующий результат:

При  $E_a = 0,8$

$$\bullet AC = \exp(1,16 \times 10^4 \times 0,8 \times ((1 / 273 + 35) - (1 / 273 + 130)))$$

$$\bullet AC = 1200$$

Иными словами, если в камере HAST изделие проработало 50 часов, предполагаемое общее время работы составит:  $50 \times 1200 = 60\,000$  часов.

Таким образом, это изделие может непрерывно работать приблизительно семь лет в условиях жаркого и влажного климата. Конечно, самая важная часть этого расчета – определение энергии активации.

## Выводы

Испытания по методу HAST дают возможность достигать большего ускорения, чем традиционные методики испытания на надежность. В ходе этих испытаний образцы подвергаются усиленным воздействиям температуры и влажности, что способствует выявлению скрытых дефектов, которые практически невозможно обнаружить с помощью традиционных методик испытаний.

Современные производители добились высокого качества и надежности электронных компонентов. Однако несмотря на это, проблема возникновения скрытых дефектов все еще существует, и даже несколько тысяч часов традиционных испытаний могут их не выявить. Испытания, проводимые по HAST-методу, позволяют выявить скрытые дефекты в разумные сроки. ■■