

УДК 620.1.051

Сравнительный анализ проходных камер

П.Н. Сёма 

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва, Россия

Современные тенденции в электронной промышленности характеризуются неуклонным ужесточением требований к эксплуатационным характеристикам и безотказности электронных компонентов, в первую очередь – интегральных микросхем. Для минимизации вероятности досрочного выхода из строя радиоэлектронных устройств в производственный цикл внедряются специализированные процедуры тестирования полупроводниковых элементов. В рамках данного исследования выполнен сравнительный анализ эксплуатационных параметров современных моделей проходных термокамер, представленных на рынке. Основное внимание уделено возможностям оборудования в части проведения статических и функциональных испытаний интегральных схем в условиях экстремальных температурных воздействий с последующей классификацией изделий по группам качества. На основании проведенного анализа выявлены преимущества проходной термокамеры с винтовым механизмом подачи (модель ПКВ-2), что может служить основой для дальнейших исследований по её модернизации.

Ключевые слова: микросхема, проходная камера с винтовым накопителем, интегральная микросхема, тепловая камера, температурный режим.

Comparative Analysis of Pass-Through Chambers

P.N. Sema 

National Research University of Electronic Technology (MIET), Moscow, Russia

Modern trends in the electronics industry are characterized by increasingly stringent requirements for the operational performance and reliability of electronic components, particularly integrated circuits. To minimize the likelihood of premature failure in radio-electronic devices, specialized semiconductor testing procedures have been integrated into the production cycle. This study presents a comparative analysis of the operational parameters of contemporary pass-through thermal chambers available on the market. The main attention is paid to the equipment capabilities in terms of static and functional testing of integrated circuits under extreme temperature conditions with subsequent classification of products into quality groups. The analysis highlights the advantages of the screw-fed pass-through thermal chamber (model PKV-2), which may serve as a foundation for further research into its modernization.

Keywords: microcircuit, pass-through chamber with screw accumulator, integrated circuit, thermal chamber, temperature regime.

Современная электронная промышленность сталкивается с постоянным ужесточением норм качества и надежности полупроводниковых компонентов, что особенно актуально для интегральных микросхем (ИМС). Производственный процесс данных элементов сопровождается существенными технологическими сложностями. Дефекты изготовления представляют особую опасность для электронных устройств, так как малейшие отклонения от норм могут вызвать полную неработоспособность конечного продукта. Источниками таких дефектов могут служить как субъективные

причины (ошибки персонала), так и объективные факторы (ограничения производственного оборудования).

В целях предотвращения преждевременных отказов в радиоэлектронной отрасли применяются специальные методы тестирования микросхем. Данные методы предполагают проведение ускоренных испытаний на износ, включающих термоциклирование – комплекс статических и функциональных проверок интегральных схем в экстремальных температурных условиях. Подобные процедуры позволяют отбраковать потенциально ненадежные экземпляры и повысить эксплуатационную стойкость годных изделий. В результате, прошедшие испытания микросхемы демонстрируют значительно меньший процент отказов, что положительно сказывается на общей надежности радиоэлектронных систем [2, 4].

Современные испытательные комплексы для термоциклирования и сортировки находят применение на всех этапах производственного цикла – от изготовления до входного контроля. Они активно используются на микроэлектронных предприятиях и в сертификационных центрах. Данное оборудование соответствует требованиям стандартов по испытаниям на безотказность (ОСТ 11 073.013 методы 700-1, 700-2.1) и проверкам при повышенных температурах (ОСТ 11 073.013 для проходных камер). Многие современные установки имеют модульную архитектуру, что позволяет адаптировать их конфигурацию под конкретные требования заказчика [3, 5].

Основной задачей настоящего исследования является сравнительный анализ существующих моделей проходных термокамер для выявления их преимуществ и недостатков. Для достижения этой цели требуется провести анализ рыночных аналогов от различных производителей. Сравнительная оценка технических характеристик по установленным параметрам позволит определить оптимальные значения ключевых показателей и выявить перспективные конструктивные решения для модернизации оборудования. В процессе анализа будут учитываться следующие критерии:

- рабочий температурный диапазон (°C) – определяет предельные значения нагрева и охлаждения тестируемых образцов;
- точность поддержания температурного режима (°C) – характеризует стабильность условий в рабочей камере;
- продолжительность выхода на стационарный тепловой режим – временной интервал достижения заданных температурных параметров;
- период стабилизации температурных условий после замены тестируемого образца – показатель оперативности восстановления рабочих параметров;
- потребляемая мощность;
- интерфейс;
- масса, кг.

Проходная камера с винтовым накопителем ПКВ-2 (АО «НИИПМ» (Россия) (рис. 1), состоит из камеры, через которую проходит 224 спутника-носителя и позволяет проводить термотренировку партии микросхем и сортировать их по группам годности. Характеристики данного комплекса приведены в таблице.



Рисунок 1. Проходная камера с винтовым накопителем ПКВ-2

Основу конструкции комплекса составляет универсальная камера, которая способна выдерживать от -65 до 150°C . Универсальность камеры заключается в её конструкции. Через пенал для спутников-носителей и механизм загрузки проходят ИМС прямым в винтовой накопитель, который равномерно вращается с загруженными микросхемами. После проведения термотренировки ИМС попадают в механизм выгрузки и сортируются по группе годности. Достаточно увеличить винтовой накопитель для накопления спутников-носителей, что существенно увеличит эффективность изделия.

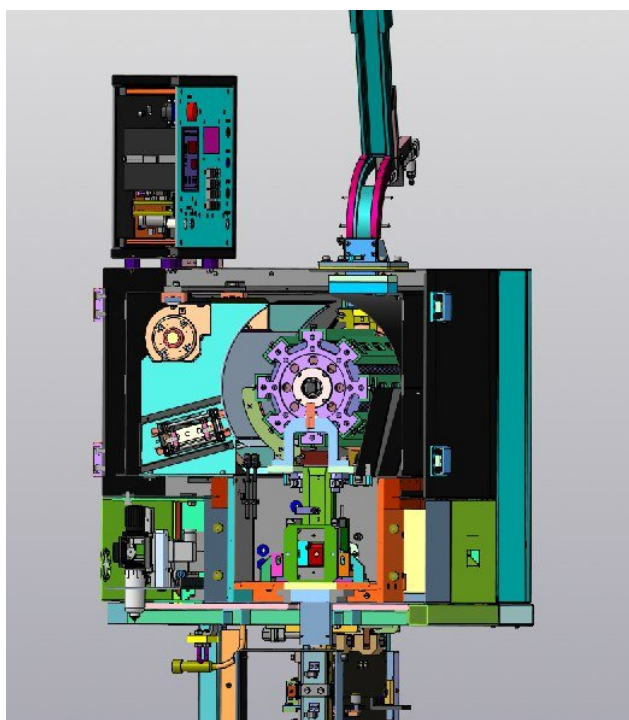


Рисунок 2. ПКВ-2 в сечении

Другим примером современных комплексов является проходная камера ЗАО «ПКК Миландр» (Россия) (рис. 3). Характеристики изделия приведены в таблице [8]:



Рисунок 3. Проходная термокамера производства «ПКК Миландр»

Конструкция данного оборудования ориентирована на применение в исследовательских лабораториях и условиях опытного производства, где осуществляется выпуск малых партий полупроводниковых изделий. Ограниченная вместимость рабочей камеры делает данную модель непригодной для масштабных серийных испытаний.

Особое внимание следует уделить специализированным устройствам – хендлерам (от англ. Handler). Эти автоматизированные манипуляторы выполняют ключевую функцию классификации интегральных схем по параметрам качества. Ведущие производители, включая Multitest, Exatron, Rasco, Microtec, Seiko-Epson, Chroma, JHT и Advantest, предлагают решения для высокоточного тестирования электронных компонентов в экстремальных температурных условиях при промышленных объемах производства. Технические характеристики указанного оборудования систематизированы в таблице.



Рисунок 4. Автоматизированные тестовые хендлеры моделей 3110 и 3160

Анализ технических характеристик демонстрирует существенные различия между оборудованием по показателям производительности, что непосредственно отражается на их рыночной стоимости.

Критически важным аспектом является температурный диапазон тестирования. Из всего модельного ряда лишь две указанные модификации поддерживают полный спектр рабочих температур от -55°C до $+150^{\circ}\text{C}$. Однако следует учитывать, что для

российских оборонных и аэрокосмических компонентов установлены более жесткие требования, предусматривающие нижний температурный предел в -60°C . Особенностью работы в криогенном диапазоне (ниже -40°C) является обязательное применение системы подачи жидкого азота, позволяющей достигать минимальной температуры -55°C .

Основные технические особенности:

- различия в производительности оборудования;
- ограниченная поддержка требуемых температурных режимов;
- необходимость криогенного охлаждения;
- специфические требования для военной и космической электроники;
- технологические ограничения тестового оборудования.

Таблица

Сравнение камер термотренировки [7–9]

Параметр оценки	Ручные системы	Автоматизированные решения	Проходные камеры	Хендлеры		
Производитель/ Модель	УИК.ИМ1-019 (АО «ЭлТест»)	ThermoJet (США), ATS-710-MT (США)	ПКВ-2 (НИИПМ, Россия)	Проходная камера ПКК «Миландр» (Россия)	Модель 3110/3160 (Chroma, Тайвань)	Colley-301HC/E xseed-8808 (JHT, Китай)
Рабочий диапазон температур ($^{\circ}\text{C}$)	от -110 до $+150$	от -80 до $+225$	от -65 до $+150$	от -60 до $+150$	от -55 до $+150$	от -55 до $+130$
Точность поддержания температуры ($^{\circ}\text{C}$)	± 2	± 1	± 3 ($-60...+100^{\circ}\text{C}$), ± 5 ($+100...+150^{\circ}\text{C}$)	$\pm 1,5$	± 2	$\pm 1-3$
Время выхода на режим (мин)	10–20	10–15	30	20	30–50	5–10/ 15–30
Время восстановления после замены образца	1 мин	10–15 с	Не требуется	Не требуется	Не требуется	Не требуется
Использование криогенного охлаждения	4 кг/ч жидкого азота	Не требуется (хладагент)	6 л/ч	2 л/ч	До -40°C (без азота), до -55°C (с азотом)	Не требуется (хладагент)
Пропускная способность (шт/ч)	До 60	До 60	До 1344	До 1800	500–3200	600–6600
Количество тестируемых образцов	1	1	1	1	1–8	1–8
Энергопотребление (кВт)	0,3	6,6	1,2	–	3–10	До 6,6
Интерфейс управления	USB	IEEE (GPIB), RS-232	RS-232	RS-232	RS-232	RS-232

Таблица (Продолжение)

Параметр оценки	Ручные системы	Автоматизированные решения	Проходные камеры	Хендлеры		
Производитель/ Модель	УИК.ИМ1-019 (АО «ЭлТест»)	ThermoJet (США), ATS-710-MT (США)	ПКВ-2 (НИИПМ, Россия)	Проходная камера ПКК «Миландр» (Россия)	Модель 3110/3160 (Chroma, Тайвань)	Colley-301HC/E xceed-8808 (JHT, Китай)
Масса оборудования (кг)	8,1	193–236	150	–	750–1650	300–1500

В результате сравнительного анализа, уникальность и преимущества ПКВ-2 по сравнению с другими устройствами из таблицы проявляются в нескольких аспектах:

Высокая производительность при умеренном энергопотреблении: ПКВ-2 демонстрирует значительно большую производительность (до 1344 шт/час) по сравнению с большинством неавтоматизированных устройств, при этом потребляемая мощность в установившемся режиме (0,6 кВт) существенно ниже, чем у многих автоматизированных систем. Это делает ее экономически эффективной.

Компактность: Габаритные размеры ПКВ-2 (814×540×1670 мм) значительно меньше, чем у многих автоматизированных систем (например, ThermoJet или ATS-710-M), что экономит пространство и упрощает установку. Эта компактность напрямую влияет на сокращение времени выхода на режим.

Точность поддержания температуры: Отклонение температуры в рабочей зоне у ПКВ-2 ($\pm 1-3^{\circ}\text{C}$ в зависимости от диапазона) сравнимо с точностью автоматизированных систем, что гарантирует надёжность результатов тестирования.

Сбалансированные характеристики: ПКВ-2 не является лидером по каждому параметру, но демонстрирует хорошее сочетание производительности, точности и энергоэффективности, что делает её конкурентоспособной на рынке. В отличие от некоторых устройств, она не требует высокой мощности и не использует большие объёмы жидкого азота.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о конкурентоспособности модели ПКВ-2 на рынке проходных термокамер. Полученные результаты могут быть использованы в качестве основы для дальнейших исследований, направленных на разработку технических требований к модернизации данного оборудования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горлов М.И. Обеспечение и повышение надёжности полупроводниковых приборов и интегральных схем в процессе серийного производства / М.И. Горлов, Л.П. Ануфриев, О.Л. Бордюжа. – Минск: Интеграл, 1997. – 390 с.

2. Отбраковочные испытания как средство повышения надёжности партий ИС / М. Горлов, А. Строгонов, С. Арсентьев [и др.] // Технологии в электронной промышленности. – 2006. – № 1 (7). – С. 70–75.

3. Строгонов А. Технологические тренировки интегральных схем / А. Строгонов, Д. Шацких, М. Горлов // Компоненты и технологии. – 2009. – № 4 (93). – С. 196–199.

4. Строганов А.В. Долговечность субмикронных БИС и ПЛИС / А.В. Строганов // Микроэлектроника. – 2005. – Т. 34, № 2. – С. 138–158.
5. Строгонов А. Оценка долговечности БИС по результатам ускоренных испытаний / А. Строгонов // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – № 3 (15). – С. 90–96.
6. Synergie-Cad: Semiconductors services: IC Packaging // Synergie-Cad. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.synergie-cad.com/activities#semiconductors-services> (дата обращения: 04.01.2024).
7. Packaged Parts Test and Burn-in Solutions // Aehr Test Systems [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.aehr.com/solutions/packaged-parts-test-and-burn-in-solutions/> (дата обращения: 04.01.2024).
8. ГОСТ Р 53711-2009. Изделия электронной техники. Правила приемки: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 г. № 1161-ст: введен впервые: дата введения 2010-09-01 / Разработан Открытым акционерным обществом «Российский научно-исследовательский институт «Электронстандарт» (ОАО «РНИИ «Электронстандарт»). – Москва: Стандартинформ, 2010. – 13 с.
9. ОСТ В 11 073.012-87. Микросхемы интегральные. Специальные общие технические условия.
10. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 декабря 1981 г. № 5297: дата введения 1982-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 22 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сёма Пётр Николаевич, студент, Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва, Россия.

e-mail: petya-sema@mail.ru