Крылов М.К., Нарыкина А.С.**Разработка и исследование стенда электротермотренировки с модульными камерами***Национальный исследовательский университет «МИЭТ»**(Россия, Москва)**doi: 10.18411/sr-10-06-2021-23***Аннотация**

Предложена новая концепция контрольно-испытательного оборудования. Был проведен практический опыт по исследованию термических характеристик теплоизоляционных материалов, входящих в состав камеры тепла исследуемого оборудования. На основании результатов опыта был проведен тепловой расчет в САПР с проектированием камеры тепла в различных конфигурациях. Получены оптимальные варианты компоновки теплоизоляционных материалов в стенках камеры, позволяющие дальнейшее конструкторское проектирование оборудования.

Ключевые слова: электротермотренировка, теплоизоляционные материалы, камера тепла.

В век информационных технологий человечество окружено высокотехнологичной электронной аппаратурой, будь то бытовая техника, мобильные устройства связи, которыми мы пользуемся каждый день, специальное электронное оборудование. Каждое электронное устройство в той или иной степени работает в определенно сложных условиях эксплуатации. В практически идеальных условиях работает лабораторное оборудование: не подвергается резким перепадам температур, нормализованная влажность воздуха, стабильное электропитание и, как правило, стационарная установка без частых перемещений. Хотя при этом, не смотря на все созданные благоприятные условия работы, рассеиваемая в кристалле полупроводникового прибора мощность часто нагревает его до предельно высокой температуры, составляющей от плюс 70 °С до плюс 120 °С и выше в зависимости от типа прибора.

Чего нельзя сказать об устройствах мобильной связи, ведь это высокотехнологичный прибор, в составе которого применяется масса полупроводниковых комплектующих. Среднестатистический человек ежедневно эксплуатирует свое мобильное устройство в разных целях, подвергая как сильным аппаратным нагрузкам, так и разнообразным условиям работы в окружающей среде. Постоянные встряски, вибрации, перепады температур, все эти неблагоприятные факторы влияют на работоспособность и долговечность, как отдельных компонентов, так и устройства в целом.

Наиболее тяжелые условия эксплуатации электронного оборудования в военной технике. Например, в самолете, при подъеме на высоту в несколько километров температура за короткое время может измениться с плюс 40 °С до минус 55 °С. Такие резкие перепады температуры создают значительную нагрузку на конструктивные элементы полупроводниковых приборов, особенно на металlostеклянные спаи и спаи кристалла с кристаллодержателем. Эксплуатация военной техники в условиях высокого атмосферного давления, повышенной влажности, критически высоких температурах или постоянной тряски требует от электронной аппаратуры повышенной надежности.

Поскольку условия эксплуатации в таких целях являются наиболее жесткими, повысились требования к работоспособности и долговечности полупроводниковых элементов, так как выход из строя полупроводникового элемента влечет за собой ущерб, который может исчисляться сотнями тысяч и даже миллионами рублей.

За активно развивающимся процессом создания более совершенных электронных приборов, стоит проблема надежности – одна из самых серьезных и важных проблем в электронике, а так как электроника почти полностью стала полупроводниковой, то надежность электронных устройств в значительной мере зависит от надежности полупроводниковых элементов [1].

Выпуск заводом-изготовителем большинства современных полупроводниковых приборов ежедневно исчисляется десятками и даже сотнями тысяч. В связи с несовершенством оборудования и сложностью технологического процесса изготовления, вполне ожидаемо, что среди такого огромного количества изготовленных приборов будет не малый процент, имеющих по той или иной причине дефекты. Одни приборы имеют явно выраженные дефекты и их легко вычислить и забраковать на каком-либо из этапов технологического процесса, а другие обладают так называемыми скрытыми дефектами, их можно выявить только с помощью специального оборудования. Скрытые дефекты могут быть тоже слабо или резко выраженными.

Важно понимать, что в основе задачи испытаний лежит не обеспечение, а проверка уровня качества. Испытания проводятся по завершению полного технологического цикла производства на уже готовой продукции [2].

Большая часть механизмов отказа изделий электронной компонентной базы ускоряется при воздействии повышенной температуры и больших токах, поэтому в процессе тестирования оборудование работает при максимальном напряжении и максимальной температуре. Электротермотренировка является одним из самых эффективных инструментов совершенствования оперативных механизмов отказа. Этот метод тренировки микросхем дает массу информации в короткие сроки, но достоверные результаты могут быть получены только в том случае, если электрическая и тепловая нагрузка заданы правильно, а также определены типы и механизмы отказов, которые соответствуют фактическим условиям и статистической обработке полученных результатов. Температуры для проведения тренировки микросхем выбираются из ряда: плюс 70 °C, плюс 85 °C, плюс 100 °C, плюс 125 °C, плюс 150 °C. Электротермотренировка проводится в специальных стендах при строгом соблюдении температуры [3].

В данной статье отображен процесс исследования и проектирования стенда электротермотренировки с модульными камерами. Концепция модульности камер выбрана не случайно, в ходе изыскательных работ было выявлено современное оборудование зарубежного и отечественного производства и путем аналитических исследований вынесены основные конструкторские решения ключевых узлов проектируемого оборудования. Модульные камеры в составе испытательных стендов – нечто новое для Российского потребителя, ведь каждая камера, вместимостью до двух плат загрузки может производить тренировку микросхем по определенным заданным оператором параметрам. Такая реализация оборудования дает возможность проводить одновременную тренировку различных микросхем в различных условиях на одном оборудовании. Стенд имеет варианты исполнения от одной до четырех камер тепла, что позволяет проводить тренировку от двух до восьми плат загрузки.

Концепция модульного мобильного стенда электротермотренировки подразумевает собой исполнение с минимальными габаритными размерами, что возможно достичь лишь с применением современных материалов. Так, например, каркас оборудования выполнен из легких алюминиевых конструкционных профилей и специальных стыковочных элементов, что упрощает сборку узла и облегчает оборудование в целом. Что касается основного узла проектируемого стенда – камеры тепла, то здесь тоже не обошлось без применения специализированных современных теплоизоляционных материалов с наилучшими характеристиками, ведь за

компактностью и технологичностью камеры стоят отличные технические характеристики.

Для начала был проведен опыт с доступными к приобретению и подходящими по конструкционным характеристикам теплоизоляционными материалами.

В качестве образцов для теплового опыта были выбраны:

- фольгированная суперсилика
- стеклотекстолит конструкционный КАСТ-8
- гетинакс
- вспененное стекло
- базальтоволоконный материал

Кубы равных небольших размеров из каждого материала были помещены на равномерно нагретую до 180 °С поверхность. Датчики термосопротивления установлены на верхней грани каждого куба и спустя 90 минут нагрева были зафиксированы температурные значения, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Результаты замера температур

Теплоизоляционный материал	Температура верхней грани испытуемого образца, °С
Суперсилика	38,4
Стеклотекстолит	53,2
Гетинакс	54,5
Вспененное стекло	44,8
Базальтоволоконный материал	43,9

В связи с тем, что кубы из испытуемых теплоизоляционных материалов находились на открытой поверхности, что не затрудняло рассеивание горячего воздуха сквозь материал под воздействием естественной конвекции в окружающую среду, суперсилика и базальтоволоконный материал показали наименьшие температурные значения за счет низкой плотности. Данное предположение было решено подтвердить, проведя дополнительный опыт. Дабы условия проведения опыта были более реальными, были установлены дополнительные слои теплоизоляции, чтобы ограничить естественную конвекцию воздуха. Результаты дополнительного опыта приведены в таблице 2.

Таблица 2

Температурные значения дополнительного опыта.

Теплоизоляционный материал	Температура верхней грани испытуемого образца, °С
Суперсилика	97,3
Стеклотекстолит	96,7
Гетинакс	103,6
Вспененное стекло	84,2
Базальтоволоконный материал	110,3

По результатам испытания вспененное стекло показало наилучшие тепловые характеристики, а значит, необходимо провести дополнительные расчеты и принять решение о целесообразности использования данного теплоизоляционного материала в конструкции камеры тепла.

Следующим этапом исследования теплоизоляционных материалов является тепловой расчет в САПР. Для этого в программе Creo Parametric был спроектирован упрощенный вариант камеры тепла: исключены мелкие детали и элементы, лишь косвенно влияющим на распределение температур. В данной программе можно успешно провести сложный тепловой расчет и наглядно посмотреть на весь градиент

распределения температур, но для этого необходимо построить упрощенную, но с точными характеристиками камеру тепла проектируемого стенда. Внутренняя часть камеры исполнена из листа нержавеющей стали 1,5 мм, представляет собой прямоугольный короб с воздуховодами внутри для равномерного распределения горячего воздуха от нагревательного модуля. Следующий слой теплоизоляции основной – в базовом исполнении камеры это лист базальтоволокнистого материала толщиной 50 мм, задача данного слоя максимально сдерживать температуру внутри камеры. Затем листы стеклотекстолита толщиной 8 мм и внешний корпус камеры образует кожух из нержавеющей стали Десо-8 «Кожа». Он имеет определенный рисунок с одной стороны листа, выступает внешним корпусом камеры тепла и имеет декоративный и защитный функционал. Крышкой является плита из тех же слоев, что стенка камеры.

Этапов выполнения данного теплового расчета несколько:

1. Построили модель в базовом исполнении.
2. Увеличили толщину стеклотекстолита до 16 мм.
3. Увеличили толщину базальта до 100 мм.
4. Добавили слой нержавеющей стали перед защитным кожухом.
5. Заменили основной теплоизоляционный материал на пеностекло толщиной 30 мм.
6. Уменьшили толщину стеклотекстолита до 8 мм.
7. Увеличили толщину пеностекла до 50 мм.

В процессе теплового исследования за замер температур отвечали 6 датчиков, расставленные по периметру внешних стенок камеры. Среднее значение этих датчиков после каждого изменения выведено на графике 1.

График 1 – температурные показания датчиков после каждого изменения

На оси ординат отложены температурные значения, а на оси абсцисс порядковый номер каждого изменения камеры. На графике наглядно видно как менялись показания датчиков температуры от вносимых нами изменений в процессе расчета. Конфигурация камеры в пятом пункте по температурным характеристикам в 35 °C нас бы вполне устраивала, но для облегчения и удешевления конструкции было принято решение в 6 пункте убрать дополнительный слой стеклотекстолита, за счет чего температура повысилась до 38 °C, а в 7 пункте увеличить толщину слоя вспененного стекла до 50 мм, что дало прекрасный результат в 29 °C. Такой результат

теплового расчета нас удовлетворяет, конструкция камеры получилась достаточно теплоемкая, конструкционно надежная и не дорогостоящая.

Проведенные в данной статье исследования позволяют выполнять конструкторские работы по проектированию нового стенда электротермотренировки. Его конструкция позволит использовать различные конфигурации под нужды конечного потребителя, а камера тепла имеет наилучшие технические и нормированные характеристики, аналогов которой в Российской Федерации не существует.

1. Чернышев А.А. Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
2. Горлов М.И. Современные диагностические методы контроля качества и надежности полупроводниковых изделий / М.И. Горлов, В.А. Сергеев; под науч. ред. М.И. Горлова. – 2-е изд. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 406 с.
3. Технологические тренировки интегральных схем/ М. Горлов, А. Строгонов, Д. Митрофанов // Компоненты и технологии. – 2009. – № 4. – С.196-199.

Лепешинский И.А., Решетников В.А., Кучеров Н.А., Зотикова П.В.

Метод расчета эжектора с двухфазным рабочим телом

*ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-06-2021-24

Аннотация

В данной работе рассматривается метод расчёта прямой задачи в эжекторе с двухфазным рабочим телом, профиль которого определяется на основе обратной задачи одномерного течения. При этом в одномерной задаче задаётся распределение давления в виде двух-параметрической функции, обеспечивающей автоматическое выполнение граничных условий.

Ключевые слова: двухфазное рабочее тело, газ, капли, эжектор, прямая задача, обратная задача.

При решении прямой задачи течения в канале с двухфазным рабочим телом возникает проблема выбора профиля канала, обеспечивающего получение определенных характеристик устройства при заданных граничных условиях. Поскольку задача является краевой, подбор профиля канала методом последовательного приближения вызывает серьезные трудности, в особенности, если задача неоднородная. В работе [1], был предложен метод решения одномерной задачи на основе задания распределения закона распределения давления, обеспечивающего автоматическое выполнение граничных условий, и сводящего краевую задачу к задаче Коши. В работах [2,3] метод был успешно опробован для расчета течений в соплах с двухфазным рабочим телом. В данной работе рассматривается использование этого метода для расчета неоднородного течения в эжекторе с двухфазным рабочим телом. Метод заключается в следующем. Для решения задачи задаются граничные условия на входе в эжектор, и статическое давление на выходе из эжектора. Формируется или используется одномерная модель расчета, учитывающая необходимые особенности рассматриваемой задачи. Система замыкается двухпараметрическим законом распределения давления [1] в виде