

SiC-приборы ГОТОВЫ к применению в жестких условиях окружающей среды

Новый модуль Wolfspeed удовлетворяет требованиям по надежности для силовых преобразовательных систем в возобновляемой энергетике и на транспорте.

Гай Мокси (Guy Moxey)

**Перевод:
Евгений Карташов
Валерия Смирнова**

gee@macrogroup.ru

Введение

Силовые карбидокремниевые приборы (SiC) рассматриваются как реальная альтернатива кремниевым (Si) ключам в высоковольтных высокочастотных применениях, требующих высокой эффективности преобразования. Благодаря особенностям этого материала SiC-модули способны работать в высокопроизводительных системах, которые соответствуют стандартам максимальной эффективности без компромиссов по надежности.

Диоды SiC Wolfspeed выпускаются более десяти лет, аккумулируя более чем 2 трлн ч наработки при интенсивности отказов менее 1 на млрд ч. Однако это относится главным образом к промышленным системам, работающим в закрытых помещениях. В последние годы SiC-приборы востребованы и в системах, функционирующих вне помещений, таких как преобразователи для возобновляемой энергетике и транспорта, что обусловлено необходимостью снижения размеров и веса, а также повышения эффективности. Карбидокремниевые ключи имеют ожидаемо высокую цену, однако начальный опыт их применения продемонстрировал некоторые проблемы, относящиеся ко всем полупроводниковым приборам, действующим в условиях высокой влажности.

Воздействие влажности

Попадание влаги в устройство, находящееся под напряжением, является исторической проблемой

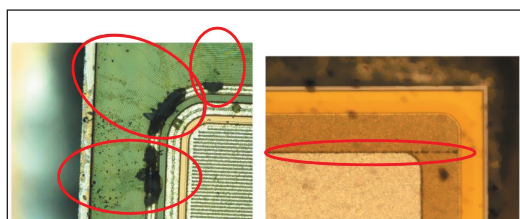


Рис. 1. Более высокие напряжения прикладываются к открытой поверхности чипа

для всей электроники. Для полупроводниковых приборов, таких как силовые кремниевые модули, проблема усложняется наличием высоких рабочих напряжений на поверхностях кристаллов, поскольку их материалы и активные зоны подвержены деградации при воздействии влажности. В предельном случае кристаллы теряют блокирующую способность, типовые механизмы разрушения обусловлены электрохимической миграцией, длительной коррозией и подвижными ионами [1].

Указанные проблемы кремниевых ключей усугубляются для SiC-приборов вследствие катализирующего эффекта, связанного с электрическими полями, большими на порядок и еще значительно ускоряющими упомянутые механизмы отказа (рис. 1).

Инженеры Wolfspeed потратили немало времени и ресурсов для разработки новых модулей W-серии, стараясь найти решения и варианты конструкции, позволяющие преодолеть механизмы отказа, исторически присущие полупроводникам.

Новые стандарты квалификационных тестов

Стандартный квалификационный тест JEDEC для промышленных модулей H3TRB предусматривает проверку тока утечки при обратном напряжении, высокой влажности и температуре. Тест также известен как THB (Temperature and Humidity Bias). Он проводится в климатической камере при относительной влажности 85% и температуре +85 °C. Испытуемые приборы (DUT) помещаются в камеру, проверка идет при напряжении 100 В в течение 1000 ч. Прохождение теста требует, чтобы все приборы оставались в пределах спецификаций при минимальных отклонениях параметров (20% по напряжению и 1000% по току утечки) [2]. По прогнозам, тест H3TRB считался неэффективным для устройств, работающих вне закрытых помещений, поскольку полупроводниковые ключи действуют при напряжениях значительно выше 100 В.

Новые стандарты климатических испытаний учитывают характеристики силовых кремниевых приборов: высоковольтный тест H3TRB (HV-H3TRB)

выполняется при увеличенном напряжении смещения, составляющем 80% от номинального блокирующего напряжения. Поэтому данный тест также известен как THB-80.

Например, приборы 12-го класса, которые ранее испытывались при смещении 100 В, теперь проверяются при напряжении 960 В, что является типовым значением для высоковольтных применений. Опыт работы с Si-приборами показывает, что ключи, успешно функционирующие в условиях высокой влажности, проходят квалификацию HV-H3TRB в течение 1000 ч и, как правило, выходят из строя после 2000 ч. Модуль Wolfspeed WAS300M12BM2 (полумост 1200 В, 300 А в корпусе 62 мм, рис. 2) является первым 100%-ным SiC-прибором, обеспечивающим новый стандарт надежности.

100%-ный силовой SiC-модуль для жестких условий применения

Модуль WAS300M12BM2 содержит новые кристаллы MOSFET (CPM2-1200-0025A) и диоды Шоттки пятого поколения, которые также способны работать в жестких условиях применения на уровне чипов. В ходе квалификации 25 образцов кристаллов из трех различных сборочных партий (в общей сложности 75 MOSFET и 75 диодов Шоттки) успешно прошли тест HV-H3TRB, что подтверждает статистическую значимость и повторяемость теста.

Будучи электрически идентичным существующему промышленному модулю CAS300M12BM2, новый WAS300M12BM2 для жестких условий эксплуатации сохраняет низкое сопротивление открытого канала (4,2 МОм) и имеет в пять раз меньшие потери на переключение, чем IGBT последних поколений с аналогичными номинальными параметрами. В конструкции модуля применена подложка из нитрида алюминия с высокой теплопроводностью и оптимизированные методы сборки, обеспечивающие промышленные стандарты по термоциклированию.

Тест HV-H3TRB был выполнен на случайной выборке из шести модулей WAS300M12BM2. По завершении каждой 500-ч итерации все испытываемые приборы удалялись из камеры и проверялись на электрическую стабильность и соответствие спецификации. Один вскрытый модуль использовался для визуального контроля после 500 и 1000 ч испытаний для того, чтобы убедиться в отсутствии скрытых дефектов, которые могли бы привести к раннему отказу.

В дополнение к обычному мониторингу, для обеспечения условий теста HV-H3TRB, у каждого из приборов индивидуально контролировался ток утечки (IDSS). Нестабильность формы сигнала IDSS использовалась в качестве индикатора возможного катастрофического отказа. Как показано на рис. 3, все приборы демонстрируют стабильную форму IDSS на протяжении 1000 ч квалификации. Испытания подтвердили соответствие технических параметров требованиям спецификации при изменении напряжения <5% и тока утечки <50%, что находится в пределах допустимых

критериев JEDEC. Визуальный контроль модулей после 500 и 1000 ч теста выявил, что состояние поверхности кристаллов такое же, как у приборов, не подверженных внешним воздействиям (рис. 4). Микроскопия с высоким разрешением не выявила следов окисления и электрохимической миграции, приводящих к отказам. Четыре оставшихся невскрытых модуля продолжали работать в условиях HV-H3TRB без сбоев после 2000+ ч.

Заключение

Новый силовой модуль Wolfspeed WAS300M12BM2 показывает хорошие характеристики в условиях высокой влажности. Это первый 100%-ный силовой SiC-модуль, квалифицированный для жестких условий применения, четко демонстрирующий долговременную стабильность электрических характеристик в условиях теста HV-H3TRB без проявления негативных эффектов, выявляемых в ходе последующего физического анализа. Полученные результаты в буквальном смысле слова раскрывают двери для использо-



Рис. 2. Первый 100%-ный SiC-модуль, обеспечивающий новый стандарт надежности

вания приборов Wolfspeed W-серии в ключевых применениях, таких как возобновляемая энергетика и транспорт, где очень ценными являются свойства SiC-технологии.

Литература

1. Zorn C., Piton M., Kaminski N. Impact of Humidity on Railway Converters. Proceedings of PCIM, 2017. www.jedec.org

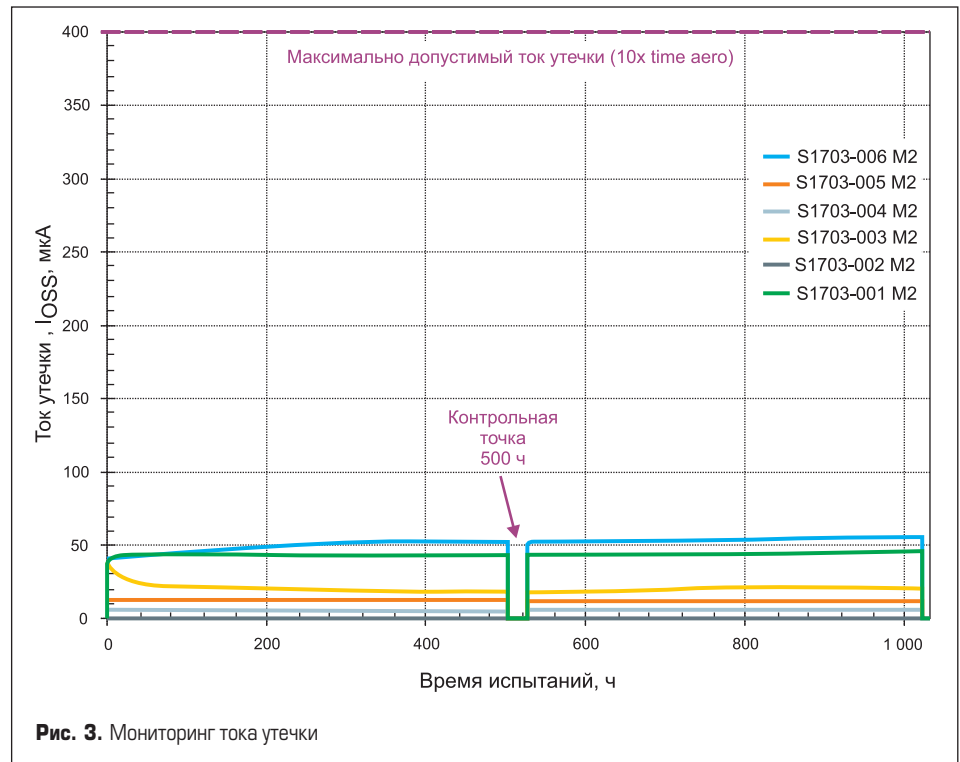


Рис. 3. Мониторинг тока утечки

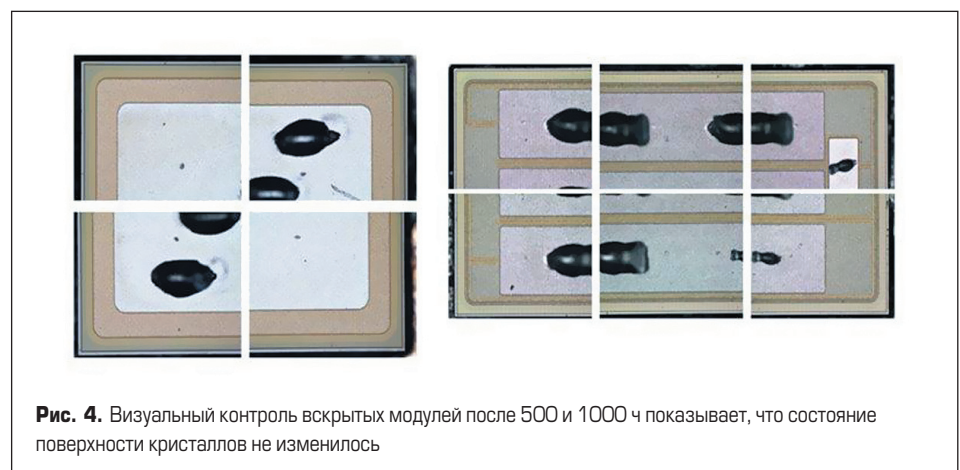


Рис. 4. Визуальный контроль вскрытых модулей после 500 и 1000 ч показывает, что состояние поверхности кристаллов не изменилось