

Специализированное решение контроля

электрических параметров кристаллов IGBT и FRD

В статье приводится описание одного подхода к решению проблем, связанных с измерениями электрических параметров, классификации и электрических испытаний кристаллов IGBT и FRD. Описан технологический маршрут классификации разделенных кристаллов, который позволяет реализовать высоковольтные и сильноточные электрические режимы и контролировать не только статические параметры, но оценивать и измерять с высокой точностью параметры, определяющие динамические характеристики будущих приборов — времена переключения и емкости — до их сборки в дорогостоящие корпуса. Особый интерес представляет широкое использование данного подхода для подбора кристаллов по электропараметрам с целью их согласования при параллельном соединении в силовых модулях. Кроме того, данный подход, по сравнению с групповым методом (в составе пластины), позволяет более точно оптимизировать радиационную обработку кристаллов при регулировании их быстродействия.

Владимир Громов

gromov@sitsemi.ru

**Владимир Ловяго
Павел Ястребов**

yastreb@sitsemi.ru

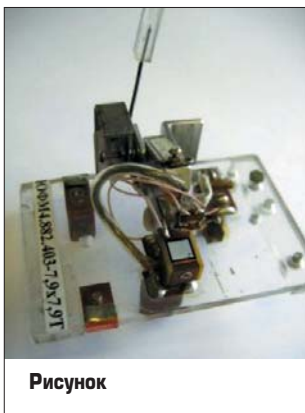
Измерение параметров IGBT и FRD крайне сложно из-за необходимости прикладывать большие напряжения к испытуемым образцам, коммутировать большие токи, с одной стороны, и необходимости быстро проводить при этом прецизионные измерения сравнительно малых физических величин, характеризующих параметры, — с другой. Необходимо принимать специальные меры по защите испытуемых образцов от чрезмерного выделения мощности при проведении измерений. При измерении динамических параметров важно минимизировать паразитные индуктивности контактной системы. Большое количество и разнообразие параметров делает процесс измерения параметров IGBT и FRD крайне трудоемким даже при наличии автоматизированных измерительных систем.

Кристаллы IGBT и FRD предназначены в основном для использования в составе силовых модулей различной конструкции и конфигурации и практически не собираются в корпуса индивидуально. Поскольку корпуса силовых модулей и сам процесс их сборки очень дорогостоящи, то требования к качеству отбраковки кристаллов возрастают многократно. Если при производстве обычных полупроводниковых приборов пропуск на сборку дефектного кристалла приводит лишь к потере одного дешевого корпуса, то в случае силового модуля кроме значительно более дорогого корпуса безвозвратно теряются все годные кристаллы, входящие в модуль.

Для контроля параметров IGBT и FRD ЗАО «Группа-Кремний» использует обширную гамму измерительного оборудования, как стандартного, так и разработанного и изготовленного в процессе выполнения НИОКР по силовой тематике. Также на предприятии было разработано и изготовлено большое количество измерительной оснастки. Из стандартных приборов

в технологическом процессе для измерения вольтамперных характеристик (ВАХ) и ряда статических параметров широко используется прибор для наблюдения вольтамперных характеристик транзисторов (ПНХТ) Л2-56. Из нестандартного специализированного измерительного оборудования, разработанного предприятием, используются две автоматизированные измерительные системы АИС и АИСД. Первая позволяет проводить измерение большинства статических параметров IGBT и FRD до 3000 В и 250 А. Вторая же, кроме статических параметров (до 1500 В, 100 А), позволяет проводить автоматическое измерение динамических параметров.

Для разбраковки кристаллов IGBT и FRD на пластине традиционно используемые при производстве полупроводниковых приборов различные многозондовые установки (МЗУ) не приспособлены, точнее, не приспособлены их контактные системы. Имеющиеся контактные системы игольчатого типа не обеспечивают равномерное распределение давления, необходимого для надежного контакта при больших токах, по площади кристалла и, следовательно, в точках контактирования возможны механические повреждения многослойной высокоинтегрированной транзисторной структуры. Эти повреждения могут быть незначительными, если установлено достаточно большое количество игл, и могут не приводить к отказу кристалла при его тестировании, но общий уровень надежности будет снижен. Кроме того, проблемы с выравниванием токов через эмиттерные (анодные) зонды, с равномерным подводом тока ко всей площади обратной стороны пластины к коллектору (катоде), с выбором расположения потенциальных зондов и с коммутацией высоковольтных цепей не позволяют проводить достаточно полную разбраковку (на максимальных токах и напряжениях) кристаллов на пластине общепринятыми методами.



Рисунок

Одним из вариантов решения всех вышеуказанных проблем является разбраковка и электрические испытания уже разделенных на кристаллы приборов в специальном контактирующем устройстве прижимной конструкции. Основное отличие технологического маршрута в этом случае состоит в том, что после изготовления пластин они без разбраковки на МЗУ сразу поступают на скрайбирование и разделение на отдельные кристаллы. А уже разделенные кристаллы, отобранные по внешнему виду, разбраковываются на автоматизированной измерительной системе, для чего они помещаются в специально разработанные для этого контактирующие устройства, устанавливаемые непосредственно в тест-адаптер измерительной системы.

В конструкцию контактирующего устройства входят контактные группы большой площади, изготовленные из тонкой золотой фольги, и эластичный прижимной элемент, который обеспечивает мягкий прижим токоподводящих контактов ко всей площади кристалла, как с верхней (эмиттер/анод), так и с нижней (коллектор/катод) стороны. Обеспечен также надежный контакт потенциальных выводов для устранения влияния переходного сопротивления контактов на точность измерения.

Контактирующие устройства изготавливаются в конструктивно едином варианте. Для каждого конкретного кристалла IGBT и FRD, отличающегося габаритными размерами и топологией, изменяются размеры лишь нескольких деталей.

Фотография прижимного контактирующего устройства в положении загрузки с помещенным в нее кристаллом IGBT 1200 В, 50 А, приведена на рисунке.

Такое техническое решение позволяет максимально приблизить тестируемый кристалл к тест-адаптеру автоматизированной измерительной системы и, тем самым, минимизировать паразитные индуктивности измерительных цепей. При этом становится возможным проводить разбраковку кристаллов по всем параметрам, в том числе и динамическим, организовывать диагностические тесты для выявления и отбраковки потенциально ненадежных приборов. Относительное увеличение трудоемкости, связанное с необходимостью загрузки и выгрузки кристаллов из контактирующего устройства, с лихвой компенсируется полнотой проверки, которая гарантирует низкий процент брака изделий после сборки в дорогостоящие корпуса для IGBT-модулей. Индивидуальный подход к каждому кристаллу теперь реально делает возможным подбор комплектных (согласованных по электрическим параметрам) кристаллов IGBT и FRD для каждого отдельного силового модуля, как по статическим, так и (это особенно важно) по динамическим параметрам.

Еще одно проявление преимуществ реализованного маршрута с предварительным разделением пластин на отдельные кристаллы связано с необходимостью проведения радиационной обработки (облучения протонами или электронами) приборов IGBT и FRD для регулирования их быстродействия. При обычном подходе, когда обработке подвергается пластина диаметром более 60 мм целиком, необходи-

мо принимать специальные меры для того, чтобы распределить воздействие сравнительно узкого пучка частиц с нужными уровнями энергии по пластине равномерно. Необходимо выполнять специально рассчитанные по времени перемещения пластин в зоне пучка частиц, что значительно усложняет и удлинняет процедуру обработки. В нашем случае кристаллы на обработку поступают не в пластинах, а по несколько штук в специальной операционной таре, которая по размерам оптимизирована под конкретный пучок частиц. Поэтому никаких перемещений тары, кроме ее загрузки и выгрузки в зону обработки, не требуется, что в несколько раз увеличивает производительность установки. Дополнительное, косвенное увеличение производительности процесса получается за счет того, что на обработку поступают только годные по электропараметрам кристаллы и, следовательно, требуется меньшее количество загрузок. Тара также исполняет роль межоперационной и транспортной тары, обеспечивает защиту кристаллов от внешних климатических воздействий, различного рода загрязнений и механических повреждений при транспортировке. Это особенно важно, поскольку процесс регулирования быстродействия методом облучения протонами или электронами может проводиться на другом предприятии.

Технологический маршрут финишных операций изготовления кристаллов IGBT и FRD в этом случае может выглядеть, например, следующим образом:

- контроль ВАХ готовых приборов на пластине;
- скрайбирование и разделение пластин на кристаллы;
- контроль внешнего вида кристаллов;

- разбраковка по статическим параметрам;
- набор кристаллов в специализированную тару;
- операция по регулированию быстродействия;
- стабилизирующий отжиг;
- разбраковка по статическим и динамическим параметрам;
- приемо-сдаточные испытания;
- упаковка (возможна с отбором по статическим и динамическим параметрам с объединением по группам).

Заключение

Описанное выше специализированное решение было реализовано в ЗАО «Группа Кремний» в рамках ОКР «Мечта» и «Поддубовик» и позволило решить основные проблемы, неизбежно возникающие при контроле электрических параметров кристаллов IGBT и FRD, рассчитанных на большие токи (до 100 А) и напряжения (1200 В). Переход от традиционных способов разбраковки пластин с кристаллами на многозондовых установках к способу разбраковки разделенных кристаллов с использованием специального прижимного контактирующего устройства позволил получить ряд существенных преимуществ. И хотя предложенный подход не свободен от недостатков — таких как большая трудоемкость ручной загрузки и выгрузки кристаллов, большая номенклатура контактирующих устройств, — приобретенные преимущества с лихвой компенсируют их. Тем более что возможно дальнейшее его совершенствование за счет добавления автомата загрузки и выгрузки кристаллов с раскладкой годных кристаллов по кассетам.