

ТЕХНОЛОГИИ

Комплексные решения для проведения ЗОНДОВЫХ измерений. Особенности измерений на полупроводниковой пластине



Текст: Игорь Васильев



Контроль электрических параметров является обязательным этапом при производстве устройств электронной техники. А при изготовлении полупроводниковых приборов контроль их характеристик требуется на всех этапах производства. Один из видов такого контроля – зондовые измерения, которые позволяют оценить качество исходной пластины, провести межоперационный контроль, параметрический и функциональный анализ созданного изделия. Кроме того, измерения на пластине проводятся для верификации основных параметров разрабатываемых устройств перед корпусированием для разбраковки и сортировки по градации процента разброса номиналов, что дает возможность избежать дополнительных затрат и снизить себестоимость изготавливаемой продукции.

На первом этапе испытаний выполняются параметрические измерения по постоянному либо низкочастотному сигналу без проверки функционала устройства. В этом случае на вход устройства подается сигнал, и регистрируется отклик на выходе. Как правило, параметрический контроль включает в себя ВАХ-, ВФХ- и импульсные измерения. Выполнив параметрические измерения, можно составить карту пластины и определить долю бракованных устройств. Исходя из полученных данных и процентного соотношения выхода годных кристаллов на пластине, проводится оценка качества и эффективности технологического процесса изготовления кристаллов. Высокая доля бракованных структур свидетельствует о проблемах в технологическом процессе.

На следующем этапе тестирования выполняется полный набор методик измерения и контроля характеристик исследуемого устройства (ИУ), благодаря чему можно построить поведенческую модель для описания ИУ. Такая модель включает функциональные особенности прибора и позволяет производить дальнейшую доработку его характеристик посредством компьютерного моделирования и создания нового технологического процесса.

Несмотря на то, что кристаллы, расположенные на одной подложке, проходят единый технологический процесс, всегда существует некоторый разброс параметров устройств. С помощью зондовых измерений можно провести сортировку изготовленных устройств по категориям в зависимости от отклонения конкретного параметра от требуемой величины. Такая сортировка приборов дает возможность гарантировать заданный уровень точности параметров выпускаемых устройств.

Для выполнения описанных выше измерений необходима зондовая станция (рис. 1), которая позво-

лит соединить исследуемый прибор с измерительным устройством и обеспечит целостность и достоверность полученных результатов. С увеличением рабочих частот и уменьшением размеров разрабатываемых устройств необходимо учитывать некоторые особенности измерений на пластине. Для получения достоверных результатов, в первую очередь, нужно обратить особое внимание на характеристики СВЧ зондовых головок, а также корректное проведение процедуры калибровки. Основные параметры СВЧ зондовой головки:

- небольшие размеры наконечника для уменьшения негативного воздействия на ИУ (емкостная связь);
- постоянное сопротивление на всем протяжении зондовой головки (низкий КСВН);
- малые потери СВЧ-сигнала;
- полоса пропускания, достаточная для тестирования параметров ИУ;
- простота подключения к контрольно-измерительному оборудованию.

Другой важной задачей является устранение влияния паразитного сопротивления кабелей, зондовых головок и контакта с ИУ при измерении. Для получения достоверных результатов необходимо выполнить калибровку в плоскости зонд/ИУ по TRL- (thru-reflect-line), SOLT- (short-open-line-thru) или LRM- (line-reflect-match) методике на специальной калибровочной пластине. Однако даже очень точная калибровка может содержать ошибку. Это обусловлено изменением распределения электромагнитного поля в окрестности зонда на калибровочной подложке и пластине, которое возникает из-за отличия токопроводящих и диэлектрических свойств среды окружения зонда. Поэтому калибровочная подложка должна максимально повторять свойства исследуемой структуры. Кроме того, время между калибровкой и проведением измерений не должно быть слишком большим для устранения дрейфа параметров измерительной системы.

Повторяемость и качество контакта также являются важными критериями. В случае, если СВЧ-головки не выровнены или находятся на разном расстоянии относительно друг друга, результаты измерений будут отличаться. Для выполнения качественного контактирования необходимо использовать микроманипуляторы с высоким разрешением. Например, микроманипуляторы производства компании EverBeing (рис. 2) позволяют осуществлять высокоточное контактирование с разрешением от 0,35 мкм (200 витков на одном дюйме резьбы); могут выполнять прецизионное линейное перемещение в трех направлениях, а также поддерживают зондовые головки для проведения как DC-, так и RF-измерений.

При проведении измерения постоянного тока малых величин требуется тщательно подходить к выбору комплектующих зондовой станции, чтобы исключить влияние как внешних факторов окружающей среды,



1

Ручная зондовая станция BD-8 компании EverBeing с возможностью проведения СВЧ- и DC-измерений



2

Микроманипуляторы компании EverBeing:

а) модель EB-005 с разрешением 0,35 мкм; б) модель EB-050 с разрешением 0,8 мкм; в) модель EB-700 с разрешением 1,7 мкм

так и самой зондовой станции на результаты измерения. Во-первых, необходимо учесть, что внешний фоновый шум оказывает существенное влияние на процесс измерений, а держатель пластин представляет собой большую антенну, улавливающую этот шум. Во-вторых, ток утечки обычных коаксиальных кабелей составляет порядка десятка нА, что не позволяет измерять малые токи. Поэтому для снижения токов утечек необходимо использовать триаксиальные кабели, содержащие дополнительный проводник (Guard-экран) с активно управляемым потенциалом, который поддерживается равным потенциалу сигнального проводника (рис. 3). При измерении токов в фемптоамперном диапазоне помимо всего перечисленного необходимо полностью изолировать зондовую станцию от внешних воздействий (механические вибрации, электромагнитные и электростатические помехи, воздействие света), а также использовать соответствующее контрольно-измерительное оборудование с заведомо большей точностью измерения.

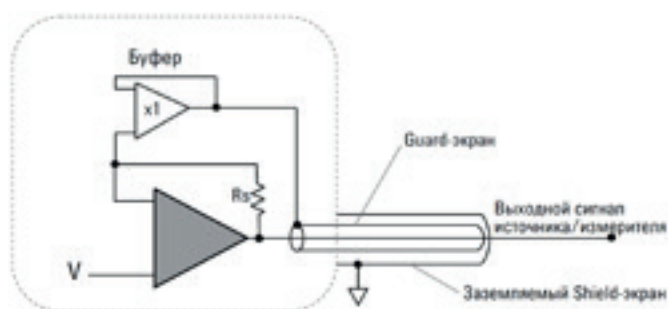
При измерении ВФХ возникает другая особенность, которая связана с уменьшением скорости измерения за счет наличия паразитной емкости держателя пластин и влияния пьезоэлектрических эффектов, возникающих при сгибании и перемещении кабелей. Устранение паразитной емкости и снижение токов утечки оборудование EverBeing обеспечивает благодаря специальному подключению держателя пластин, которое, по аналогии с

триаксиальными кабелями, содержит защитный Guard-экран (рис. 4). Реализация такой системы подключения позволяет исключить влияние обозначенных негативных эффектов и увеличить скорость измерения.

Термоизмерения – еще один непростой момент при измерениях на пластине. Здесь возникает целый ряд проблем, связанных как с самой системой терморегулирования, так и с появлением дополнительных внешних источников помех:

- Система регулирования представляет собой электронную систему, поэтому она является источником шума.
- Во время измерений на высоких температурах возникает окисление исследуемого устройства, вследствие чего могут заметно меняться измеряемые параметры.
- При работе в области низких температур происходит выделение влаги из воздуха и её конденсация на зондовых головках и на образце в виде инея, что также ведет к искажению результата измерений.

Для решения описанных проблем компания EverBeing предлагает держатели пластин с системой терморегулирования высокой точности (точность поддержания температуры 0,1 °C) и малыми шумами (до 10 фА). В зависимости от потребностей система может работать в диапазоне отрицательных температур как от жидко-



3

Упрощенная схема управления Guard-экрана в триаксиальном кабеле



4

Схема подключения держателя пластин для снижения собственной емкости и токов утечки

го азота, так и от охлажденного воздуха. Специальная система вентиляции устраняет из области измерения воздух, вытесняя его азотом. Благодаря этому решается проблема с окислением при высоких температурах и конденсацией влаги при низких.

Перечисленные проблемы являются значимыми при проведении зондовых измерений, однако это не полный их перечень. При организации рабочего места на конкретном участке возможно возникновение целого ряда специфических трудностей, которые не удастся решить стандартными средствами. В таких случаях инженеры компании EverBeing могут доработать или модифицировать любое стандартное оборудование под конкретные нужды пользователя. Кроме того, EverBeing предлагает готовые комплексные решения, которые гарантируют токи утечки не более 10 фА и возможность проведения термоизмерений в диапазоне температур от -60 до 300 °С. Решение включает в себя непосредственно зондовую станцию, термостол с воздушной системой регуляции нагрева, виброизоляционный столик и экранированную камеру. Уникальность такого решения состоит в возможности его модульной комплектации и дооснащения в зависимости от требований конкретной задачи.

Для автоматизированного измерительного комплекса, состоящего из зондовой станции и измерительного оборудования, существует возможность написания специального программного обеспечения, которое даст возможность проводить заданный набор тестов и выбраковывать кристаллы по категориям в зависимости от разброса их характеристик. Такой подход позволяет объединить оборудование от разных производителей в единый измерительный комплекс, что обеспечивает гибкость при проведении измерений.

Кроме стандартного оборудования компания EverBeing предлагает решения для проведения измерений на пластинах при криогенных температурах.

Установка CG-196 (рис. 5) позволяет работать в широком диапазоне температур от -196 до 1000 °С при давлении до 0,1 Па. Охлаждение происходит с помощью жидкого азота, который поступает из входящего в комплект сосуда Дьюара и контролируется с помощью соответствующего клапана и давления подаваемого азота (газа). Органы управления микроманипуляторов расположены за пределами камеры, что дает возможность оператору корректировать положение игл без необходимости разгерметизации установки. Это особенно удобно при работе на очень низких или высоких температурах, так как из-за термического расширения или сжатия материалов необходима корректировка положения игл для обеспечения качественного контакта. Микроскоп расположен на специальной раме и может легко перемещаться, когда требуется вскрытие камеры или установка игл на контактные площадки. Собственная разработка и изготовление позволяют снизить стоимость такой установки на 30-40 % по сравнению с аналогами на российском рынке.

В технологии производства кремниевых интегральных схем и при отработке новых технологических процессов особо важным является контроль удельного сопротивления полупроводниковых и металлических функциональных слоев. Для этих целей компания EverBeing предлагает установку SR-4 (рис. 6), которая с помощью четырехзондового метода позволяет определить поверхностное и удельное сопротивление. Особенностью данной установки является простой способ контактирования к исследуемому образцу и возможность проведения измерений при разных температурах. Помимо этого, установка на зондовую станцию магнитопроводов для измерения эффекта Холла, позволяет определить дополнительные характеристики материала, такие как: концентрация, тип и подвижность носителей заряда.



5

Криогенная зондовая станция CG-196 позволяет проводить измерения в диапазоне от -196 до +1000 °С при давлении 0,1 Па



6

Установка для измерения физических параметров материалов четырехзондовым методом

Используя оборудование компании EverBeing можно создать автоматизированный измерительный комплекс, удовлетворяющий современным требованиям, предъявляемым к зондовым измерениям (T1), и тем самым обеспечить контроль электрических параметров при производстве устройств электронной техники. 

T1

Преимущества оборудования компании EverBeing

ЗАДАЧА	РЕШЕНИЕ ОТ EVERBEING	ПРЕИМУЩЕСТВА
Воспроизводимый механический контакт с ИУ	Прецизионные микроманипуляторы с разрешением от 0,35 мкм	- Высокоточное линейное перемещение по трем осям - Оптимальное соотношение цена/качество - Собственное производство в Тайване
Снижение влияния зондовой станции и внешних воздействий на результаты измерений	Подключение по схеме Кельвина держателя пластин для снижения паразитной емкости, специальные держатели игл с малыми токами утечки, экранированные камеры, виброизоляционные столы	- Проведение измерений с точностью до 10 фА, снижение емкости держателя пластин - Доработка стандартных решений под конкретные нужды заказчика - Исключение влияния света и вибрации
Проведение термоизмерений	Системы терморегулирования на основе жидкого азота или охлажденного воздуха Система вентиляция для работы в области высоких и низких температур	- Возможность проведения измерений в широком диапазоне температур (-65 до +300 °C) - Устранение проблемы с окислением образца на высоких температурах и с выпадением инея на низких - Уровень цен на 30-40 % ниже по сравнению с аналогичной продукцией, представленной другими компаниями на российском рынке
Докомплектация зондовой станции	Модульная система оборудования, позволяющая дооснащать станцию дополнительными опциями	- Возможность поэтапного оснащения зондовой станции - Более гибкий подход при выборе оборудования - Дооснащение станций сторонних производителей
Автоматизация процесса измерений	Специальное программное обеспечение, написанное под нужды заказчика	- Создания автоматизированного измерительного комплекса «под ключ» - Увеличение скорости проведения измерений - Вывод результатов измерений в удобном для заказчика виде
Проведение криогенных или высокотемпературных измерений	Криогенные станции низкого давления	- Проведение измерений в диапазоне от -196 до +1000 °C при давлении 0,1 Па - Вывод органов управления положением микроманипуляторов за пределы камеры для удобного контактирования - Легкий способ перемещения микроскопа благодаря креплению на специальной раме
Измерение электрофизических параметров материалов	Четырехзондовые установки для измерения удельного и поверхностного сопротивления Установки для измерения эффекта Холла	- Измерение удельного сопротивления пластин диаметром от 50 до 300 мм при разных температурах (150, 300, 400 и 500 °C) - Измерение концентрации, типа и подвижности носителей заряда