

ВИРТУАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ АСС-4211

Кудреватых Е.Ф.

Для специалистов в различных областях электроники не является секретом, что основные параметры большинства полупроводниковых приборов (ПП) варьируются в достаточно широких пределах от экземпляра к экземпляру даже в рамках одного и того же типонаминала и при близких условиях испытаний, не говоря уже об изменении характеристик каждого экземпляра в реальных условиях эксплуатации. Такая нестабильность ПП в процессе их производства и эксплуатации не позволяет без принятия специальных мер обеспечить высокую повторяемость параметров электронных устройств, в составе которых используются полупроводниковые изделия.

На практике при разработке электронных схем проблему зависимости параметров изделия в целом от параметров используемых в нем ПП удается решить путем ввода некоторой избыточности по количеству активных и пассивных элементов для организации различного рода обратных связей.

Тем не менее, существуют области, в которых просто невозможно обойтись без специализированных устройств для измерения параметров ПП и получения их вольт-амперных характеристик (ВАХ).

Прежде всего, они крайне необходимы в научных и учебных лабораториях, работающих в области физики полупроводников и полупроводниковых приборов при разработке новых изделий, где важно уже на начальном этапе строго контролировать параметры разрабатываемых устройств и исследовать влияние на них различных внешних факторов, например, климатических.

Работа отбраковочных участков на производстве ПП также немаловажна без приборного контроля за параметрами компонентов, в том числе, на испытательных стендах (климатических, термодинамических и т. п.).

Еще одной областью, где применение приборов для измерения и графического отображения вольт-амперных характеристик ПП весьма эффективно, является проведение практических лабораторных работ в процессе изучения основ полупроводниковой техники. Использование таких приборов позволяет наглядно демонстрировать не только качественные зависимости в соответствии с теорией, но и различные особенности реальных изделий относительно соответствующих теоретических вы-

кладок в этой области, что значительно повышает эффективность обучения. Особенно полезно сопоставление на одном графике зависимостей теоретических, заданных в аналитическом виде, и реально снятых для конкретного изделия.

Существующие отечественные серийно выпускаемые приборы для измерения параметров ПП не вполне подходят для решения этих задач. Обычно они представляют собой либо аналоговые (например, Л2-54), либо цифровые (например, серии Л2-6х, Л2-7х, Л2-8х) измерители основных параметров полупроводниковых приборов, причем без визуального отображения их вольт-амперных характеристик. Вместе с тем, хорошо известно, что ПП, удовлетворяющий требованиям по величине пара-



Рис. 1. Измеритель ВАХ АСС-4211

метра в одной (или даже нескольких точках) может иметь аномальную в целом ВАХ, что, конечно же, свидетельствует о его неисправности. Кроме того, каждый из существующих приборов предназначен для измерения параметров только одного-двух классов полупроводниковых изделий. Так, обычно с помощью приборов для измерения параметров биполярных транзисторов можно также измерять параметры диодов и стабилитронов (Л2-54, Л2-68, Л2-69, Л2-70, Л2-76, Л2-77, Л2-79), но для измерения параметров полевых транзисторов приходится применять другие специализированные приборы, например, Л2-78 или Л2-80. Из отечественных приборов для снятия вольт-амперных характеристик в нашей стране наиболее известен Л2-83, а из импортных — приборы американской фирмы Tektronix, например, серии 370В.

Таким образом, можно сказать, что в настоящее время не существует отечественного серийно выпускаемого универсального прибора, который бы позволял не только производить измерения параметров различных классов ПП, но и при этом визуальное отображать их основные статические вольт-амперные ха-

рактеристики. При этом желательно, чтобы в нем была предусмотрена возможность подключения к компьютеру для автоматизации процесса тестирования и упрощения документирования результатов контроля. И конечно, он должен быть максимально прост в управлении и недорог, чтобы его можно было широко использовать в учебном процессе в ВУЗах.

В данной статье описывается АСС-4211 — измеритель статических вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов в импульсном режиме на основе компьютерной системы сбора данных, предназначенный для измерения и визуализации статических параметров различных полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов малой мощности как с управляющим р-п переходом, так и с одним или двумя изолированными затворами любой проводимости и типа канала.

Измеритель АСС-4211 не имеет промышленных аналогов и обладает следующими особенностями в сравнении с существующими серийными приборами для измерения параметров полупроводниковых изделий:

- возможность измерения параметров и характеристик различных классов маломощных ПП по выбору пользователя;
- автоматическое определение соответствия класса ПП, выбранного пользователем, реально установленному изделию с идентификацией типа проводимости и выдачей сообщения о вероятной неисправности испытуемого изделия при невозможности определения класса;
- проведение измерений в импульсном режиме для снижения влияния саморазогрева изделия;
- возможность вывода результатов измерений как в числовом (значение параметра в заданной точке ВАХ), так и в графическом (входные, выходные, проходные и другие вольт-амперные характеристики) виде;
- возможность проведения курсорных измерений непосредственно на выбранных графиках для определения численных значений параметров в выбранной точке характеристики;
- возможность получения на основе результатов измерений различных расчетных параметров, заданных аналитически, и вывода их в графическом виде;
- возможность одновременного вывода на экран как измеренной ВАХ изделия, так и теоретической зависимости, полученной в результате расчета по введенной формуле;

- возможность масштабирования интегрирующего участка выбранной характеристики для более детального ее изучения;
- возможность работы с базами данных по изделиям: создание новых записей, редактирование существующих; размер базы определяется только ограничениями на компьютер;
- сохранение результатов измерений в текстовом файле в формате, удобном для обработки полученных результатов с помощью других программ (в том числе, и с построением различных графиков);
- наличие встроенного цифрового измерителя температуры для получения температурных зависимостей параметров и характеристик;
- возможность дистанционного измерения параметров изделий, например, помещенных в термостат;
- автоматическое определение исправности аппаратной части измерителя с выдачей соответствующих сообщений;
- простота наращивания сервисных и функциональных возможностей измерителя путем изменения программного обеспечения, включая возможность составления собственных программ под конкретные задачи;
- малые масса и габариты прибора;
- небольшая потребляемая мощность.

Основные технические характеристики прибора приведены в таблице.

С помощью АСС-4211 можно получить в графическом виде следующие основные виды статических вольт-амперных характеристик:

- зависимость тока через диод от напряжения на диоде в прямом и обратном направлениях;

- семейство зависимостей тока базы от напряжения база-эмиттер для биполярных транзисторов при задаваемых фиксированных напряжениях коллектор-эмиттер (семейство входных характеристик по схеме с общим эмиттером);
- семейство зависимостей тока коллектора от напряжения коллектор-эмиттер при задаваемых фиксированных токах базы (семейство выходных характеристик по схеме с общим эмиттером);

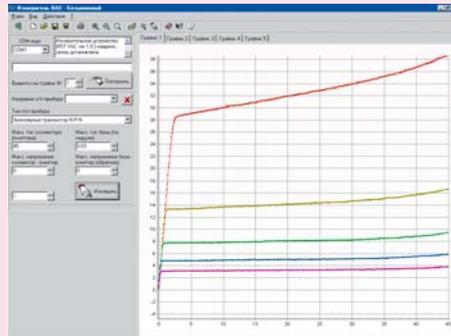


Рис. 2. Семейство зависимостей тока коллектора от напряжения коллектор-эмиттер

- зависимость статического коэффициента передачи тока от величины тока эмиттера по схеме с общим эмиттером;
- семейство зависимостей тока эмиттера от напряжения база-эмиттер для биполярных транзисторов при задаваемых фиксированных напряжениях коллектор-база (семейство входных характеристик по схеме с общей базой);
- семейство зависимостей тока коллектора от напряжения коллектор-база при задаваемых фиксированных токах эмиттера (семейство выходных характеристик по схеме с общей базой);
- зависимость статического коэффицици-

ента передачи тока от величины тока эмиттера по схеме с общей базой;

- семейство зависимостей тока стока полевых транзисторов от напряжения затвор-исток при различных фиксированных напряжениях сток-исток;
- семейство зависимостей тока стока полевых транзисторов от напряжения сток-исток при различных фиксированных напряжениях затвор-исток (семейство выходных характеристик);
- семейство зависимостей крутизны полевых транзисторов от напряжения затвор-исток при различных фиксированных напряжениях сток-исток (регулируемые характеристики);
- зависимость всех вышеуказанных характеристик от температуры;
- различные зависимости параметров, задаваемых пользователем в аналитическом виде.

Конструктивно прибор выполнен в виде двух блоков из ударопрочного полистирола. Блок питания имеет гальваническую развязку от сети для обеспечения безопасной работы с прибором.

Измерительный блок построен на современной элементной базе с использованием 12-битных аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователей. На нем размещены три присоединительных устройства для установки тестируемых изделий. Одно из них представляет собой кантовый четырехконтактный разъем для подключения биполярных транзисторов, полевых транзисторов с одним затвором и диодов со стандартными проволочными выводами. Второе присоединительное устройство аналогично первому, но предназначено для подключения полевых транзисторов с двумя затвора-

Таблица

Основные технические характеристики АСС-4211

| | |
|---|---|
| Классы тестируемых полупроводниковых приборов | диоды, стабилитроны, стабилитроны, биполярные транзисторы «р-п-р» и «п-р-п», полевые транзисторы с р-п переходом с р- и п-каналами, полевые транзисторы с изолированным затвором с индуцированным и встроенным каналами, полевые транзисторы с двумя изолированными затворами |
| Максимальное напряжение коллектор-эмиттер (сток-исток, анод-катод) | 50 В любой полярности |
| Шаг изменения напряжения коллектор-эмиттер (сток-исток, анод-катод) | 50 В/(2 ¹¹) |
| Максимальный ток через коллектор (сток, диод) | 0,1 А |
| Полная шкала задаваемого тока базы (ПШ) | 1,25 мкА, 12,5 мкА, 125 мкА, 1,25 мА |
| Шаг изменения задаваемого тока базы | ПШ/(2 ¹¹) |
| Диапазон задаваемого напряжения исток-затвор (база-эмиттер) | 0...10 В любой полярности |
| Шаг изменения задаваемого напряжения исток-затвор(база-эмиттер) | 10 В/(2 ¹¹) |
| Диапазон измеряемых температур встроенным термодатчиком | -50...+120°C |
| Погрешность измерения температуры | 0,5°C |
| Скорость обмена данными между прибором и компьютером | 115 кбод |
| Питание прибора | 220 В/50 Гц |
| Потребляемая мощность, не более | 10 Вт |
| Габаритные размеры измерительного блока | 120×50×100 мм |
| Масса измерительного блока, не более | 0,15 кг |
| Габаритные размеры блока питания | 65×70×115 мм |
| Масса блока питания, не более | 0,60 кг |

ми. Третье присоединительное устройство оснащено пружинными зажимами для крепления изделий с увеличенной толщиной выводов.

При необходимости измерения параметров ПП, который по своим габаритным характеристикам или по другим причинам не может быть установлен в штатное присоединительное устройство, либо для дистанционного измерения параметров, например, в удаленном термостате, изделие может быть установлено в присоединительное устройство пользователя, которое подключается к измерителю специальным кабелем с зажимами типа «крокодил» на одном из концов и разъемом РС-4 на другом.

Термодатчик подключается к измерительному блоку через разъем RJ12.

Работа прибора основана на задании серии импульсных входных и питающих воздействий соответствующей амплитуды на испытуемый полупроводниковый прибор и одновременном измерении откликов на эти воздействия. Заданные входные воздействия длятся в течение достаточно короткого промежутка времени (длительность каждого импульса входного воздействия не превышает 500 мкс с паузой между воздействиями 1500 мкс на скорости обмена 115 кбод) для обеспечения минимального изменения параметров из-за саморазогрева испытуемого устройства в процессе измерений. Это

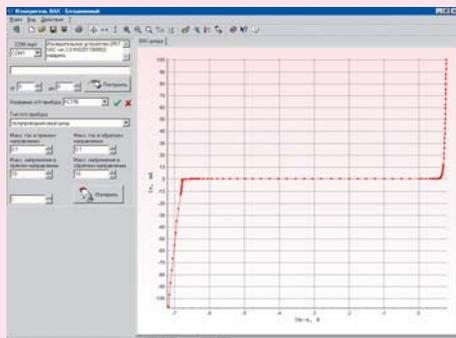


Рис. 3. ВАХ стабилизатора

позволяет также производить любые манипуляции с тестируемым изделием без отключения измерителя от источника питания и компьютера, т. к. в паузе между измерениями на электродах отсутствуют какие-либо потенциалы.

При включении измерителя автоматически определяется наличие аппаратной части системы, подключенной к одному из последовательных портов персонального компьютера. В случае ее отсутствия, не подключенного питания измерительной части или ее неисправности на экране монитора выдается соответствующее сообщение. Программное обеспечение АСС-4211 позволяет пользователю выбрать из выпадающего меню класс тестируемого ПП (диод, биполярный или полевой транзистор соответствующего типа и проводимости), а также конкретный типонаминал ука-

занного класса при наличии его в базе данных.

При этом алгоритм работы измерителя таков, что во время проведения измерений проверяется соответствие выбранного класса реально установленному изделию. При отсутствии такого соответствия прибор выдает сообщение о ближайшем подходящем по характеристикам классе ПП, а в случае невозможности нахождения подходящего класса выдается соответствующее сообщение о неисправности изделия (обрыв или замыкание в одном или нескольких электродах).

В ходе проведения испытаний пользователем могут быть установлены необходимые максимально допустимые значения воздействий на прибор, причем заданные значения автоматически проверяются на предмет их не превышения. При этом, однако, нужно учитывать, что ответственность за установленные значения ложится на пользователя. В случае, если пользователем не заданы максимальные значения напряжения и тока, то по умолчанию устанавливаются их нулевые значения.

С помощью поставляемого с прибором специализированного программного обеспечения можно легко создавать базы данных ПП с указанием типонаминала для любого выбранного класса. Все установки параметров для данного типонаминала также будут запоминаться в этой базе.

Результаты измерений передаются по последовательному интерфейсу в компьютер. Измеренные значения параметров и статические вольт-амперные характеристики установленного в присоединительное устройство полупроводникового прибора отображаются в графическом или цифровом виде (по выбору пользователя) в отдельном графическом окне на экране компьютера. С помощью измерителя АСС-4211 можно наблюдать прямую и обратную ветвь вольт-амперной характеристики различных маломощных диодов, входные, выходные и проходные характеристики биполярных и выходные характеристики полевых маломощных транзисторов, а также некоторые другие параметры, например, зависимость коэффициента передачи по току биполярного транзистора от тока эмиттера или зависимость крутизны полевого транзистора от напряжения «затвор-исток» (регулируемая характеристика), получаемые расчетным путем из результатов измерений. Входные воздействия и результаты измерений могут быть сохранены в стандартном файле в формате «*.csv», что предоставляет пользователю дополнительную возможность производить свою собственную обработку данных, например, расчета достаточно редко используемых параметров или построение графиков, с помощью стандартных программ пакета MS Office, например, MS Excel.

Ввиду сильной зависимости параметров полупроводниковых изделий от температуры в прибор введена возможность измерения температуры встроенным дистанционным термодатчиком. При этом тестируемое изделие вместе с термодатчиком помещается в термостат, что позволяет снимать интересую-

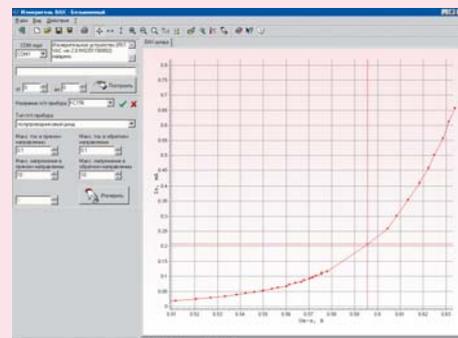


Рис. 4. Окно с фрагментом ВАХ в режиме курсорных измерений

щие пользователя характеристики и параметры как функции температуры. Все температурные установки производятся в отдельном окне программы. При этом имеется возможность установки минимальной и максимальной допустимых температур среды и включения световой и звуковой сигнализации выхода температуры за установленные пределы.

При исследовании статических вольт-амперных характеристик программного обеспечение предоставляет возможность масштабирования изображения для более детального рассмотрения интересующих участков выбранной характеристики и измерения параметров в заданных точках с помощью курсоров. Для получения расчетных значений некоторых параметров полупроводниковых приборов, например, динамического сопротивления стабилизатора на конкретном участке обратной ветви характеристики, в АСС-4211 имеется возможность ввода в специальное окно формул, в которые в качестве переменных входят параметры конкретного изделия, измеренные в нужных точках характеристики.

Хочется надеяться, что новый универсальный измеритель параметров и статических вольт-амперных характеристик различных полупроводниковых приборов АСС-4211 найдет широкое применение при проектировании и производстве электронных устройств, а также в учебном процессе при подготовке специалистов-электронщиков.

New PC-based universal meter ACC-4211 for measurement and visualization of parameters and static voltage-current characteristics of various types of semi-conductor devices is described in this article.