

УДК 681.5.08

А.С. Сальников, И.М. Добуш, С.Е. Кошевой, Ф.И. Шеерман

Автоматизация зондовых измерений параметров рассеяния и вольтамперных характеристик транзисторов с использованием программной среды Indesys-MS

Описывается разработка программ автоматизации зондовых СВЧ-измерений на базе программной среды Indesys-MS. Представлены программные сценарии измерений вольт-амперных характеристик и параметров рассеяния. Описаны аппаратная и программная части специализированного стенда для проведения зондовых СВЧ-измерений. **Ключевые слова:** зондовые СВЧ-измерения, автоматизация, программное обеспечение, параметры рассеяния, вольт-амперные характеристики.

Введение. В связи с динамичным развитием СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) возникла необходимость создания автоматизированных систем для зондовых измерений параметров элементов МИС. В процессе проектирования и изготовления МИС необходимо выполнять точные измерения каждого компонента непосредственно на полупроводниковой пластине. При этом измерения позволяют не только проверить, удовлетворяют ли изготовленные компоненты и устройства поставленным требованиям, но также построить и верифицировать математические модели элементов МИС, а в конечном итоге – сократить время выхода МИС на рынок.

Основным элементом СВЧ МИС является транзистор, который характеризуют при помощи параметров рассеяния (*S*-параметров), вольт-амперных характеристик (ВАХ), шумовых и мощностных параметров. Для зондовых измерений указанных характеристик СВЧ-приборов требуется целый комплекс оборудования, который включает в себя не только мощные аппаратные средства, но также и сложное программное обеспечение для управления измерительной установкой, сбором, анализом и обработкой данных.

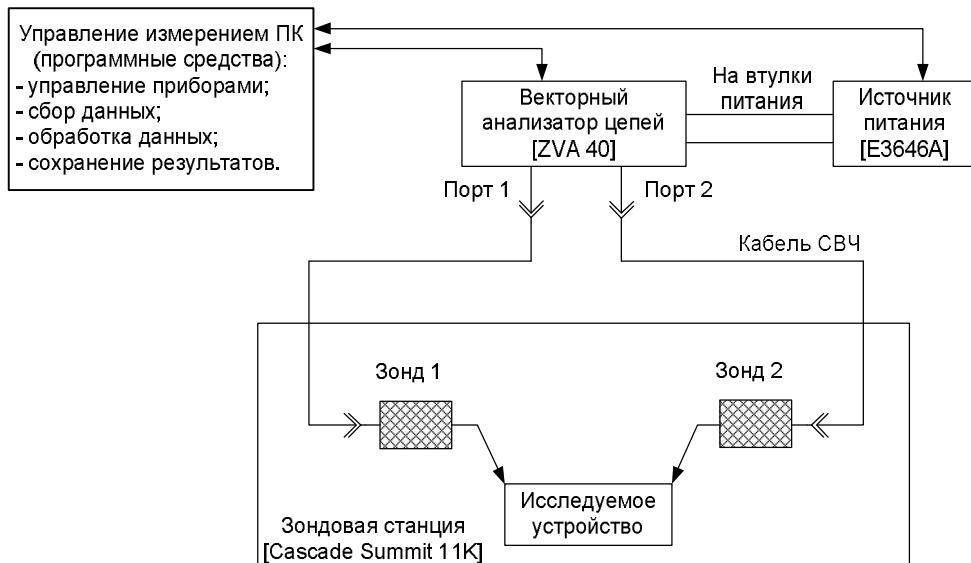


Рис. 1. Блок-схема установки для измерения параметров рассеяния и ВАХ

Целью настоящей работы является разработка программных средств, обеспечивающих автоматизированное измерение параметров рассеяния и ВАХ СВЧ-транзисторов на полупроводниковой пластине.

Описание аппаратных и программных средств измерительной установки. Описываемый аппаратно-программный измерительный комплекс строится на базе зондовой станции фирмы Cascade, а также другого оборудования, имеющегося в НОЦ «Нанотехнологии» ТУСУРа. При измерении параметров рассеяния и ВАХ СВЧ-приборов измерительная установка должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) Измерения проводятся зондовым методом непосредственно на полупроводниковой пластине.
- 2) Измерения параметров рассеяния и ВАХ должны проводиться без изменения конфигурации установки.
- 3) Все операции, необходимые для выполнения измерений, должны быть полностью автоматизированы и управляться ЭВМ.
- 4) Аппаратно-программный комплекс должен иметь удобный графический интерфейс. Измеренные характеристики должны выводиться на графики и записываться в файлы со стандартными форматами для дальнейшего использования в системе проектирования AWR Microwave Office.

Блок-схема измерительной установки представлена на рис. 1. В таблице приведен перечень основных аппаратных и программных средств измерительной установки.

Перечень основных аппаратных и программных средств измерительной установки

Инструментарий	Фирма-производитель	Серия (версия)	Назначение
Зондовая станция	Cascade Microtech, зонды – Infinity	Summit 11K	Взаимодействие измерительных приборов с СВЧ МИС
Векторный анализатор цепей	Rohde & Shwartz	ZVA 40 (10 МГц – 40 ГГц)	Измерение малосигнальных S-параметров
Источник питания	Agilent	E3646A (2 выхода, макс. напр. 20 В, макс. ток 3 А)	Установка режима активного элемента по постоянному току
Библиотеки Agilent IO Libraries	Agilent	15,0	Связь программного обеспечения с приборами
Программная среда Indesys-MS	ЛИКС ТУСУР, ООО «Элликс»	1,3	Автоматизация процесса измерений

Рассмотрим методику измерений параметров рассеяния. Векторный анализатор цепей (ВАЦ) ZVA 40 является двухпортовым, т.е. каждый порт содержит как источник сигнала, так и приемник, поэтому все параметры рассеяния исследуемого четырехполюсника могут быть измерены при одном подключении. При измерениях падающая волна от источника сигнала порта 1 через зонд 1 подается на вход исследуемого устройства. Далее часть волны отражается от исследуемого устройства и возвращается на приемник порта 1, где сравнивается с опорным сигналом, в результате определяется параметр S_{11} . Одновременно переданная часть волны с выхода исследуемого устройства подается на приемник порта 2, где сравнивается с опорным сигналом, определяется параметр S_{21} . Параметры S_{22} и S_{12} находятся таким же образом, только падающая волна распространяется от источника сигнала порта 2.

Приведем методику измерения ВАХ. При измерении активных элементов (например, транзисторов) напряжения смещения от источника через втулки питания, встроенные в анализатор цепей, и СВЧ-зонды прикладываются к активному элементу (см. рис. 1). Кроме этого, источник питания позволяет проводить измерения тока и напряжения на своих зажимах в режиме реального времени. Таким образом, схема рис. 1 позволяет без изменения конфигурации установки провести измерение ВАХ СВЧ-транзисторов.

Все указанные выше измерительные приборы имеют возможность удалённого управления и считывания результатов измерения, что позволяет использовать их для построения автоматизированной измерительной системы. В качестве базы для создания программного обеспечения в настоящей работе использована программа среда Indesys-MS [1]. Она реализована на основе программной платформы Indesys Framework [2], разработанной в Лаборатории интеллектуальных компьютерных систем (ЛИКС) ТУСУРа и ООО «Элликс». Среда обеспечивает автоматический поиск и идентификацию измерительных приборов, подключаемых через стандартные интерфейсы Ethernet, USB и GPIB.

Среда Indesys-MS обладает богатыми возможностями по визуальному представлению и обработке полученных в результате измерений данных. Данные можно выводить на графических диаграммах (прямоугольной, полярной и диаграмме Смита), представлять в табличной форме, а также сохранять в виде файлов. Важным достоинством среды является поддержка скриптов, написанных на языках программирования Visual Basic и C#. Поставляемый вместе с системой специализированный редактор скриптов позволяет реа-

лизовать любую дополнительную функциональность, а также разрабатывать сложные алгоритмы по управлению приборами и обработке данных [1].

Сценарии измерений параметров рассеяния и ВАХ. Для того, чтобы получить S-параметры исследуемого прибора, необходимо выполнить следующую последовательность операций:

- установить параметры измерений;
- произвести калибровку анализатора цепей;
- задать рабочий режим транзистора по постоянному току;
- произвести запуск режима измерений и считывание значений измеренных S-параметров транзистора.

Для того чтобы получить ВАХ исследуемого активного элемента, необходимо:

- установить параметры измерений для двухканального источника питания (диапазоны изменения напряжений на затворе и стоке транзистора, ограничения по току для каждого канала);

– произвести запуск режима измерений и считывание значений измеренных ВАХ [3].

Последовательность приведенных операций осуществляется с помощью программного обеспечения с использованием команд удаленного доступа SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments). SCPI – это открытый стандарт, поддерживаемый большинством крупнейших мировых производителей измерительной аппаратуры, который определяет общий набор команд для программируемых устройств и использует посылки управляющих строк в формате ASCII.

Все указанные выше операции осуществляются при помощи скриптов, написанных на языке Visual Basic, которые отправляют команды SCPI на прибор.

Пример работы системы. На рис. 2 в качестве примера работы разрабатываемой аппаратно-программной системы представлены результаты измерения S-параметров СВЧ четырехполюсника в следующем виде:

- модули параметров S_{12} , S_{21} , S_{22} – в виде прямоугольных графиков в линейном масштабе;
- параметр S_{11} – на круговой диаграмме Смита.

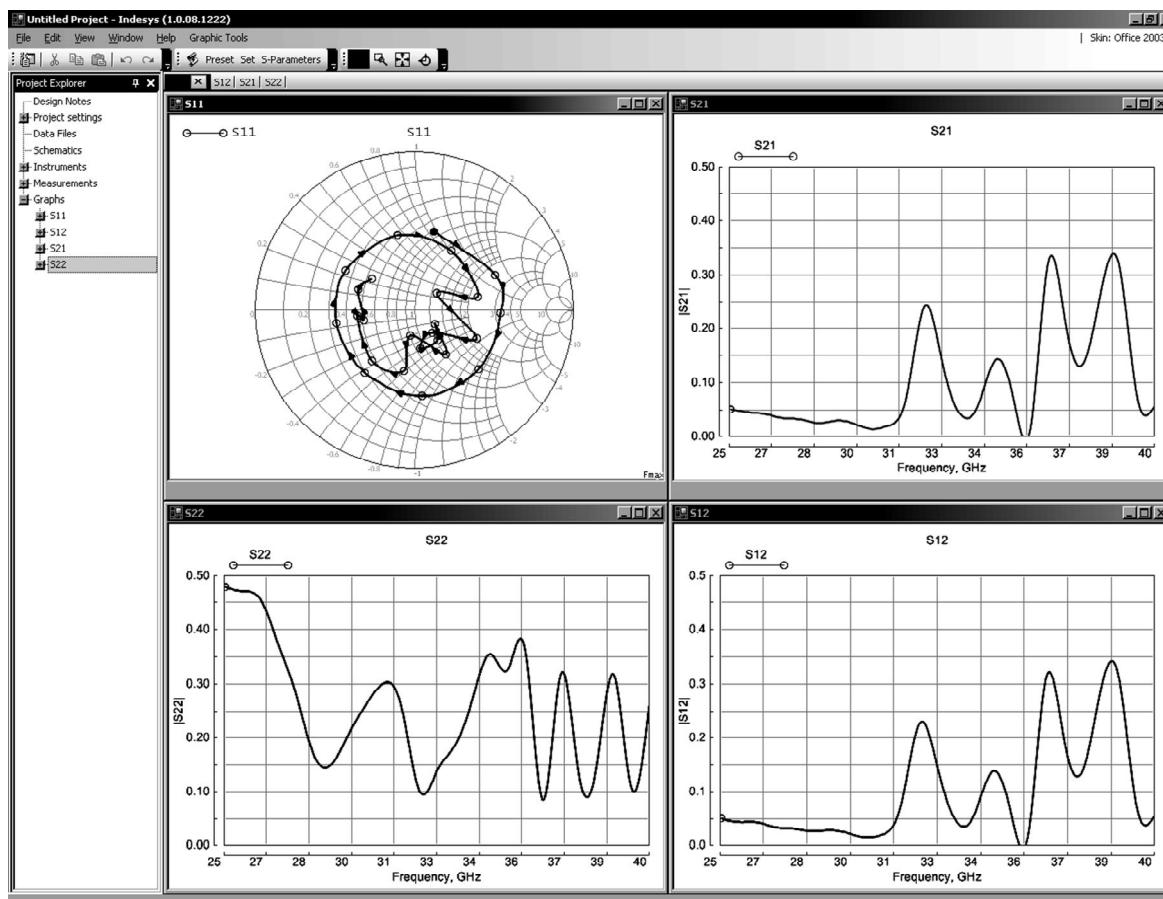


Рис. 2. Результаты измерения S-параметров четырехполюсника

На рис. 3 представлены результаты измерения выходных BAX СВЧ-транзистора.

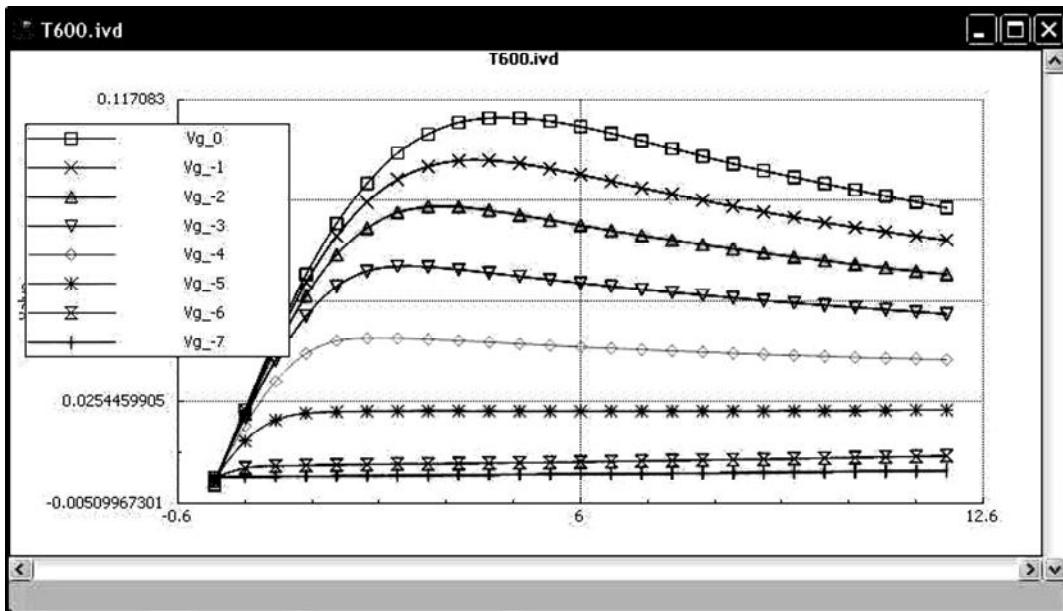


Рис. 3. Результаты измерения выходных BAX СВЧ-транзистора

Заключение. Таким образом, программно-аппаратный комплекс в составе зондовой станции Summit 11K (Cascade Microtech), векторного анализатора спектра ZVA-40 (Rohde & Shwartz), интеллектуального источника питания E3646A (Agilent) и программной среды Insdesys-MS позволяет за один цикл выполнить в автоматизированном режиме измерение BAX и S-параметров монолитных СВЧ-устройств на пластине. При этом все управление процессом измерений осуществляется из программной среды Insdesys-MS. Результаты измерений отображаются на экране компьютера и сохраняются в стандартных файлах IVD и S2P. Кроме того, результаты измерений могут быть переданы в среду системы AWR Microwave Office посредством СОМ-интерфейса для дальнейшей обработки.

Применение программного управления аппаратной частью измерительной установки позволило значительно сократить временные затраты на проведение измерений параметров СВЧ-устройств. Кроме того, визуальное представление результатов измерений в режиме реального времени на экране компьютера повышает комфортность работы пользователя и позволяет оперативно влиять на процесс измерений.

Работа выполнялась в рамках проектов 08-07-99034-р_офи, 09-07-99020-р_офи при поддержке РФФИ и в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по направлениям «Нанотехнологии и наноматериалы» (государственный контракт П1418), «Создание электронной компонентной базы» (П1492, П2188), «Микроэлектроника» (П669, П499, 16.740.11.0092) и «Проведение исследований коллективами НОЦ по направлению «Микроэлектроника» (14.740.11.0135).

Литература

1. Кошевой С.Е. Программная среда Insdesys-MS для автоматизации процесса измерения / С.Е. Кошевой, И.М. Добуш, Ф.И. Шеерман // VI Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Технологии Microsoft в теории и практике программирования»: сб. докладов. – Томск, 2009. – С. 23–27.
2. Интеллектуальная система автоматизированного проектирования СВЧ-устройств INDESYS / М.А. Песков, С.Ю. Дорофеев, А.С. Барышников и др. // Информационные технологии. – 2010. – № 2. – С. 42–48.
3. Сальников А.С. Применение программной системы Insdesys-MS для автоматизации измерения вольт-амперных характеристик СВЧ полупроводниковых приборов // Всеросс. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР-2010». – Томск: В-Спектр, 2010. – Ч. 5. – С. 176–179.

Сальников Андрей Сергеевич

Мл. науч. сотрудник каф. компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУРа
Тел.: +7-913-866-44-65
Эл. почта: ansalnikov@gmail.com

Добуш Игорь Мирославович

Аспирант каф. КСУП ТУСУРа
Тел.: +7-923-402-92-86
Эл. почта: igadobush@gmail.com

Кошевой Сергей Евгеньевич

Аспирант каф. КСУП ТУСУРа
Тел.: +7-923-422-18-13
Эл. почта: KoshevoySE@gmail.com

Шеерман Федор Иванович

Канд. техн. наук, доцент каф. КСУП ТУСУРа
Тел.: +7-913-805-94-54
Эл. почта: sfi1493@ms.tusur.ru

Salnikov A.S., Dobush I.M., Koshevoy S.E., Sheyerman F.I.

Automation of on-wafer measurements of S-parameters and current-voltage curves with Indesys-MS software environment

The paper describes the software development for automation of on-wafer microwave measurements based on Indesys-MS program environment. The measurement scripts for S-parameters and I-V curves of transistor are presented. Hard- and software parts of a specialized set-up for on-wafer microwave measurements are described.

Keywords: on-wafer microwave measurements, automation, S-parameters, current-voltage curves.
