

ПРОГРАММЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ СВЧ МОНОЛИТНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Сальников А. С., Каратаев Е. П., Добуш И. М.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
ул. Ленина, 40, г. Томск, 634050, Россия
тел.: +7-3822-414717, e-mail: ansalnikov@gmail.com

Аннотация — Разработаны программы для хранения и статистического анализа результатов измерений СВЧ монолитных интегральных схем и их элементов в составе программной системы INDESYS-MS. Описываются структура информации в базе данных и средства статистического анализа.

I. Введение

В процессе создания СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) одним из важных этапов является этап измерения параметров МИС и их элементов непосредственно на полупроводниковой пластине. Измерения требуются различным специалистам, работающим в данной области:

- инженерам-технологам для контроля параметров технологического процесса и готовых устройств;
- разработчикам математических моделей элементов МИС;
- инженерам-проектировщикам МИС, которым необходимо владеть информацией о возможностях технологии, характеристиках компонентов, допусках и др.

После измерения параметров МИС или элементов требуется их интерпретация, которая может включать оценку разброса параметров, в том числе по пластине, определение типовых значений параметров, отбраковку устройств и т.д. При выполнении большого объема измерений МИС на различных подложках, изготовленных по различным технологическим процессам и т.д., важной задачей становится также организация хранения результатов с целью систематизации и долгосрочного анализа.

В настоящей статье описываются разработанные программы для хранения и статистического анализа результатов измерений СВЧ МИС. Программы включены в состав системы автоматизации измерений INDESYS-MS [1, 2] и интегрированы в установку для зондовых измерений параметров СВЧ МИС.

II. База данных СВЧ измерений

Измерения параметров рассеяния СВЧ МИС в частотном диапазоне до 40 ГГц, а также вольт-амперных характеристик транзисторов обеспечиваются с помощью разработанного аппаратно-программного комплекса на базе зондовой станции Cascade Summit 11K, векторного анализатора цепей (ВАЦ) Rohde & Shwartz ZVA 40 и системы автоматизации измерений INDESYS-MS.

Для хранения и систематизации результатов измерений СВЧ МИС в составе системы INDESYS-MS разработана программа MS Database, включающая базу данных (БД). Для реализации выбрана СУБД MySQL с открытым исходным кодом. Использование стандартных выражений на SQL в случае необходимости позволяет легко перенести структуру БД на другую платформу.

Структура БД состоит из 11 таблиц, содержащих:

- технологию изготовления СВЧ МИС (производитель, технологический процесс, номер подложки);
- собственно результаты измерений параметров рассеивания и ВАХ с сопровождающей информацией (расположение файлов, режимы и условия измерения, тестовые модули, комментарии);
- вспомогательные данные (технологические допуски, наименования измеряемых параметров).

Помимо базы данных, были реализованы механизмы для взаимодействия БД и среды Indesys MS, позволяющие сохранять и получать сохранённые результаты СВЧ измерений. Отображение результатов измерений осуществляется с помощью средств графического интерфейса системы INDESYS-MS.

III. Статистический анализ результатов измерений

После проведения измерений оператор имеет возможность произвести расчет и отображение необходимых параметров МИС и транзисторов (S -, H -, Z -параметры, G_{max} , f_{max} , f_T , I_{dss} и др.). Для последующего выполнения статистического анализа разработана программа Statistics, также включенная в систему INDESYS-MS.

Рассмотрим реализованные средства статистического анализа. Самым простым инструментом является гистограмма, показывающая вероятность появления в выборке прибора с определённым значением заданного параметра. По характеру гистограммы можно судить о статистическом распределении параметра внутри выборки. В качестве примера на рис. 1 показана гистограмма распределения частоты f_T для измеренной выборки из 56 транзисторов с шириной затвора 150 мкм, изготовленных по 0,35 мкм pHEMT GaAs технологии. По графику можно определить, что распределение отличается от нормального.

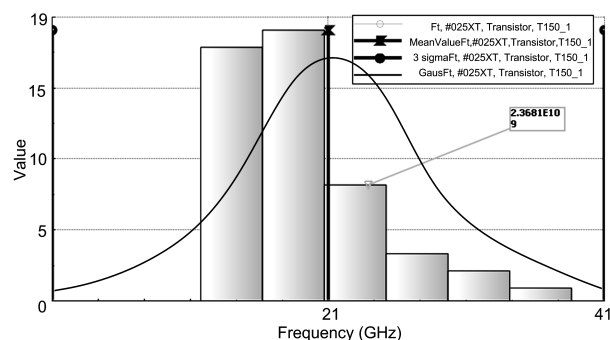


Рис. 1. Гистограмма для частоты f_T pHEMT транзисторов.

Fig. 1. Histogram for f_T parameter of pHEMT transistors

Другим инструментом является визуализация пространственного распределения исследуемого параметра по подложке. Квадраты на изображенной подложке (рис. 2) соответствуют измеренным МИС или элементам, а значение контролируемого пара-

метра соответствует цвету на шкале справа. Это позволяет быстро выявить явные пространственные неоднородности распределения параметра. Также есть возможность отбраковки МИС и элементов по одному или группе параметров в диапазоне частот. Схемы, не удовлетворяющие ограничениям на параметры, затеваются. Таким образом можно оценить количество схем, удовлетворяющих заданным требованиям, т.е. выход годных.

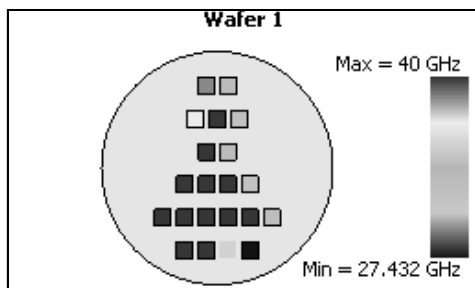


Рис. 2. Распределение частоты f_T pHEMT транзисторов по подложке.

Fig. 2. Distribution of f_T parameter for pHEMT transistors on wafer

Одним из эффективных средств контроля качества продукции являются контрольные карты Шухарта. Они представляют собой график изменения контролируемого параметра от пластины к пластине. На графике отмечают среднюю линию и несколько границ, кратных среднеквадратичному отклонению. Для оценки качества используются определенные правила [3]. Также рассчитываются коэффициенты пригодности процесса. На рис. 3 представлен пример изображения контрольной карты в разработанной программе. Последняя точка вышла за границы, что говорит о сбое в технологии.

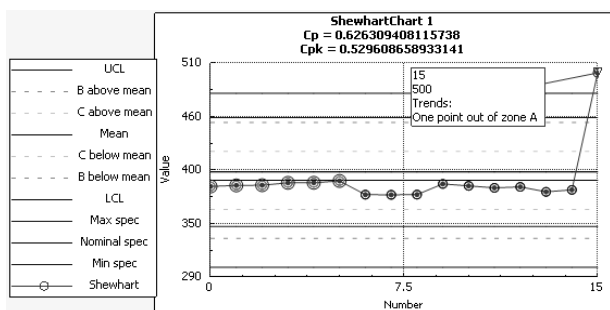


Рис. 3. Контрольная карта для тестового модуля.

Fig. 3. Control chart for PCM

Рассмотренный набор инструментов позволяет реализовать базовые средства сбора статистики, необходимые при разработке и создании СВЧ МИС.

IV. Заключение

Рассмотрены интегрированные в зондовую измерительную установку программы, которые обеспечивают хранение и статистический анализ результатов измерений СВЧ МИС и их элементов. Программы могут быть использованы как для проведения исследований, так и в промышленном производстве. Разработанная структура программ позволяет легко их расширить и выполнять новыми возможностями.

Работа выполнялась в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы по направлениям «Нано-

технологии и наноматериалы» (П1418), «Создание электронной компонентной базы» (П1492), «Микроэлектроника» (П669, П499, 16.740.11.0092) и «Проведение исследований коллективами НОЦ по направлению «Микроэлектроника» (14.740.11.0135).

V. Список литературы

- [1] Автоматизация зондовых измерений параметров рассеяния и вольтамперных характеристик транзисторов с использованием программной среды Indesys-MS / А. С. Сальников, И. М. Добуш, С. Е. Кошевой, Ф. И. Шеерман // Доклады ТУСУР. 2010. № 2 (22). С. 140—144.
- [2] Программы для автоматизации измерений, деэMBEDдинга и построения линейных моделей СВЧ полевых транзисторов / И. М. Добуш, А. В. Степачёва, А. А. Кокотов, А. А. Самуилов, Л. И. Бабак // 21-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011): материалы конф. Севастополь: Вебер, 2011.
- [3] ГОСТ Р 50779.42-99. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта.

SOFTWARE PROGRAMS FOR STORAGE AND STATISTICAL ANALYSIS OF MMIC MEASUREMENT DATA

Salnikov A. S., Karataev E. P., Dobush I. M.
Tomsk State University of Control system
and Radioelectronics

40, Lenina str., Tomsk, 634050, Russia
Ph.: +7-3822-414717, e-mail: ansalnikov@gmail.com

Abstract — Software programs for storage and statistical analysis of MMIC measurement data are developed. Programs are included in INDESYS-MS system for measurement automation. Information structure in data base and statistical analysis tools are described.

I. Introduction

RF and DC on-wafer measurements are significant in MMIC development process. Measurement results are used by process engineers, model developers, and MMIC designers. Therefore, it is important to efficiently store and manage measurement data. Also, statistical analysis methods must be used to obtain valuable information from raw data and to improve manufacturing process.

II. Main Part

To store measurement data and supplementary information, software program MS Database is developed for open-source DB management system MySQL. Database structure is proposed using 11 data tables. Graphical user interface of INDESYS-MS system is employed to display measurement data.

Software program Statistics allows us to perform statistical analysis of MMIC measured performances. Statistical algorithms are aimed to improve process capability, to monitor quality, and to test devices for specified parameters. In the program, three basic tools of statistical analysis are implemented. Histogram shows a probability of MMIC controlled parameter to be within limits assigned. It can be used as simple tool to test normal distribution hypothesis. Wafer chart is a round diagram with square elements displayed within it. Each element is corresponded to one device (MMIC) on wafer. Color of elements designates a value of controlled parameter. Control chart is a tool for quality control. It shows evolution of controlled parameter from wafer to wafer. Process failure causes abnormal point on chart. There are special rule to make a decision if one point is alarm or not.

III. Conclusion

Software programs for MMIC measurement data storage and statistical analysis are developed. They are included in INDESYS-MS measurement automation system and used jointly with MMIC on-wafer measurement setup.