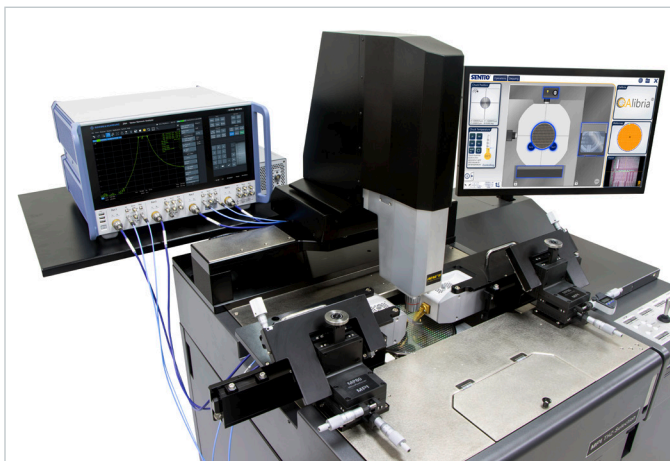


ИЗМЕРЕНИЯ НА УРОВНЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПЛАСТИНЫ В СУБТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Новые технологии и приложения, такие как связь и измерения 6G в диапазоне D, постепенно выходят в субтерагерцовый диапазон и за его пределы. Для поддержки этих новшеств требуются новые полупроводниковые технологии и процессы.

При рассмотрении требуемых в 6G характеристик радиосвязи с учетом всех ограничений, возникающих при использовании высоких частот для распространения сигнала, становится очевидной необходимостью в увеличении пропускной способности с точки зрения мощности и эффективности для устройств, работающих в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах. Характеристики этих ВЧ-устройств ограничиваются характеристиками транзисторов и прочих активных компонентов. Физические ограничения транзисторов на этих частотах ведут к существенному снижению максимально возможной выходной мощности. В связи с этим очень важную роль играет понимание ВЧ-характеристик полупроводниковых компонентов, используемых в ВЧ-приложениях. Неотъемлемым условием для разработки таких приложений становится создание точных моделей новых полупроводниковых устройств в различных условиях эксплуатации и в широком диапазоне частот.

Установка со встроенными преобразователями частоты позволяет проводить измерения на уровне пластины в терагерцовом диапазоне.



Предлагаемые нашим партнером MPI Corporation системы для измерений на уровне полупроводниковой пластины, в которых применяется векторный анализатор цепей для определения ВЧ-характеристик, идеально подходят в ситуациях, когда требуется максимально широкий динамический диапазон частот при испытаниях устройств в миллиметровом диапазоне. А концепция согласования нагрузки дополняет данное решение для определения характеристик новых полупроводниковых компонентов.

Измерительная задача

В поисках доступного свободного ВЧ-спектра новые стандарты и технологии связи используют все более широкие диапазоны частот. Следующие поколения радиолокационных датчиков и будущие системы беспроводной связи, такие как 6G, предположительно превысят границу в 100 ГГц, которая известна как субтерагерцовый диапазон. Это новый диапазон для коммерческих приложений, поэтому требуется разработка новых полупроводниковых технологий, способных гарантировать экономичное массовое производство полупроводников. В настоящее время существующие или совершенно новые полупроводниковые технологии исследуются и оптимизируются под различные приложения в ВЧ-диапазонах. Сегодня уже имеются полупроводниковые технологии, способные работать в этих диапазонах частот, однако их стоимость и массовая доступность по-прежнему являются камнем преткновения.

Ученые и инженеры-разработчики активно исследуют ВЧ-возможности полупроводниковых технологий в субтерагерцовом диапазоне. Для этого имеются проверенные и надежные методики. Исследования проводятся непосредственно на уровне пластины с помощью специальных испытательных систем. Коэффициенты рассеяния широко применяются в целях определения характеристик компонентов. Для комплексного определения характеристик активных компонентов необходимо контролировать и регулировать импеданс на испытуемом устройстве с помощью механизмов согласования нагрузки.

Руководство по применению | Версия 02.00

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



Совместно с MPI Corporation и Focus Microwaves компания Rohde & Schwarz предлагает полную систему для испытаний на пластине в субтерагерцовом и терагерцовом диапазонах с согласованием нагрузки.

Чтобы включить в свой ассортимент решение «под ключ», компания Rohde & Schwarz сотрудничает с лидерами отрасли MPI Corporation и Focus Microwaves. Каждая компания предоставляет свое ноу-хау:

- ▶ Rohde & Schwarz предоставляет векторный анализатор цепей R&S®ZNA.
- ▶ Focus Microwaves предоставляет тюнеры для согласования нагрузки, программное обеспечение системы и механизм управления импедансом испытываемого устройства.
- ▶ MPI Corporation предоставляет современную станцию пробников и интеграцию аппаратного обеспечения для гарантии безупречной работы системы.
- ▶ MPI Corporation обеспечивает интеграцию перечисленных выше приборов на специальной платформе системы пробников, которая поддерживает работу автоматических тюнеров импеданса (AIT). Систему дополняют ВЧ-пробники, калибровочные подложки и программный пакет SENTIO® со встроенным ПО QAlibria® для ВЧ-калибровки.

Векторный анализатор цепей как центральный испытательный прибор

Главным прибором для проведения ВЧ-измерений в испытательной установке является векторный анализатор цепей R&S®ZNA. Он способен определять стандартные коэффициенты рассеяния, а также выполнять различные специализированные измерения с усилителем мощности или смесителем (например, измерения нелинейных искажений, интермодуляции и группового времени задержки). Базовый блок R&S®ZNA с макс. 4 портами работает с частотами до 67 ГГц. СВЧ-преобразователи R&S®ZCxxx расширяют диапазон частот до 1,1 ТГц с поддержкой 4-портовых приложений. Прибор R&S®ZNA полностью управляет преобразователями частоты и обеспечивает удобную работу в ручном или автоматическом режиме.

Векторный анализатор цепей R&S®ZNA и СВЧ-преобразователь R&S®ZC330 для работы в диапазоне частот от 220 ГГц до 330 ГГц.

Система пробников для подключения к полупроводниковой пластине

Для удовлетворения жестких требований, предъявляемых к измерениям на пластине в субтерагерцовом диапазоне, совместное решение применяет специальную платформу системы пробников с поддержкой автоматических тюнеров импеданса от MPI Corporation. Эта платформа предназначена для измерений пластин 150 мм, 200 мм и 300 мм без каких-либо компромиссов с точки зрения функциональности приборов, точности измерений и простоты в обращении. Данное решение охватывает диапазон частот свыше 1 ТГц и включает в себя определение характеристик повышенной температуры.

Специальная технология адаптации расширителя частот (FEAD) и уникальная конструкция опор пробников обеспечивает минимальное расстояние между портом расширителя и испытываемым устройством. Измерительные платы располагают преобразователи частот очень близко к полупроводниковой пластине, чтобы обеспечить подачу максимальной мощности на устройство и гарантировать очень широкий динамический диапазон для измерений входа и выхода устройства. Передовое программное обеспечение QAlibria® для калибровки и проверенные калибровочные подложки реализуют современные отраслевые методики калибровки, а с помощью программного пакета NIST StatistiCAL также обеспечивается калибровка на метрологическом уровне Национального института стандартов и технологий США по методу многолинейной калибровки TRL (перемычка-отражение-линия).

Ручная система пробников MPI TS200-THZ работает по такому же принципу, как ее автоматизированный аналог MPI TS2000-IFE THZ-Selection. Обе системы включают в себя прецизионные позиционеры и специальную опору пробника для гарантии оптимальной работы во время измерений на пластине. Ручная система обеспечивает точное позиционирование пластины и близость к преобразователям частоты, что гарантирует выравнивание и контакт с испытываемым устройством. Она сводит к минимуму потери сигнала, предотвращает механические конфликты и повышает мощность, подаваемую на испытываемое устройство. Это особенно важно в приложениях субтерагерцового диапазона, включая согласование нагрузки.



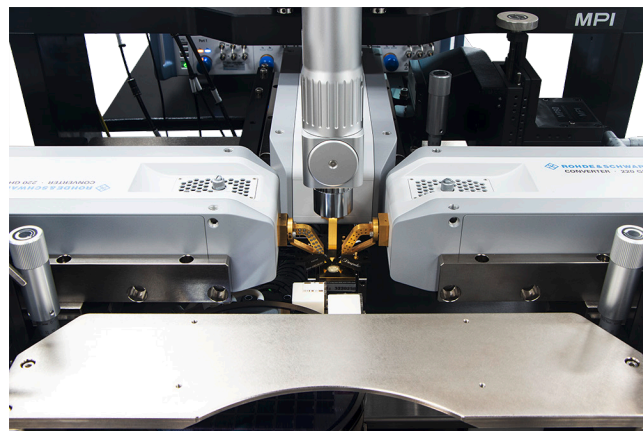
По аналогии с ручной системой автоматизированная система MPI TS2000-IFE THZ-Selection также содержит специальную опору пробника и точные позиционеры. Автоматизированная система поддерживает стабильные контролируемые условия измерений, что очень важно для проведения надежных и повторяемых измерений в субтерагерцовом диапазоне. Благодаря применению инновационной концепции MPI для интеграции расширителей частоты данная система обеспечивает непрерывную передачу сигнала и поддерживает превосходную точность измерений в дециметровом, миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах.

Ручная и автоматизированная системы рассчитаны на работу с пластинами различных размеров до 300 мм, поэтому они являются универсальными решениями для широкого спектра полупроводниковых приложений. Используя эти современные системы, ученые и инженеры-разработчики могут исследовать полупроводниковые технологии на сверхвысоких частотах, при этом системы гарантируют великолепную точность и повторяемость измерений на пластине.

Поддержка 3-портовых измерений с расширением до терагерцового диапазона является еще одной уникальной возможностью систем MPI. Она позволяет проводить широкополосные испытания со смесителем на субгармониках путем параллельного подключения портов миллиметрового диапазона и гетеродина.

Согласование нагрузки и преобразование импеданса

Для комплексного определения характеристик устройства требуется изменение нагрузки и источника. Таким образом на испытуемое устройство подаются заданные импедансы и определяются его характеристики в различных комбинациях нагрузки и источника. Одной из важных областей применения концепции согласования нагрузки является моделирование устройств. Еще одна область применения: поиск наиболее эффективного режима работы активных устройств, таких как усилители мощности. Максимальная выходная мощность или эффективность преобразования мощности в ВЧ-энергию для активного компонента в значительной степени зависят от приложенных импедансов. И наконец, испытательные



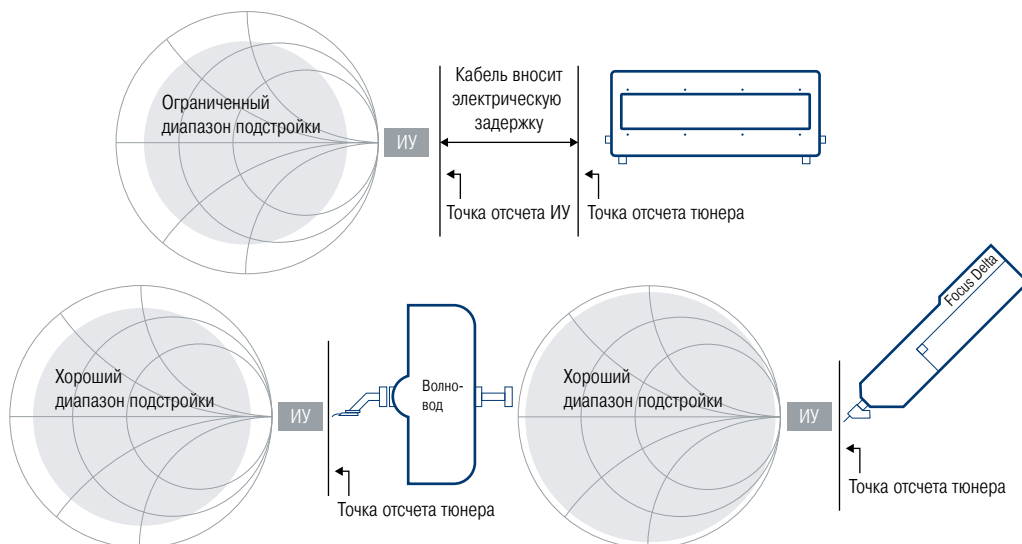
3-портовые испытания на пластине с компактной интеграцией преобразователей частоты Rohde & Schwarz на станции пробников MPI. (© MPI Corporation)

приборы, как правило, рассчитаны на работу в среде 50 Ом. Активные компоненты на уровне полупроводниковой пластины очень далеки от этого значения. При проведении испытаний на уровне пластины зачастую применяется согласование импедансов с помощью тюнеров импеданса.

В своем комплексном решении Rohde & Schwarz применяет тюнеры Delta от компании Focus Microwaves. Новая серия электромеханических тюнеров Delta от компании Focus Microwaves разработана специально для ВЧ-измерений на уровне пластины. Плоские тюнеры могут размещаться по периметру пластины, обеспечивая прямое соединение между наконечником пробника и тюнером. Таким образом устраняются все возможные вносимые потери на участке между испытуемым устройством и тюнером. Эта инновационная конструкция тюнеров с существенным сокращением их веса и площади позволяет разработчикам задавать оптимальный диапазон подстройки. Компания Focus Microwaves предлагает широкий спектр тюнеров импеданса на гармониках Delta, которые работают в диапазонах частот от 1,8 ГГц до 110 ГГц.

Последствия ограниченного диапазона подстройки

Сравнение стандартного тюнера и тюнера Focus Delta с прямым подключением ВЧ-пробника



На основе технологии миниатюрных тюнеров Delta с их микрометрической точностью и повторяемостью в Focus Microwaves было разработано новое семейство тюнеров волновода для частот свыше 110 ГГц. Компактные тюнеры волновода и современная интеграция на уровне пластины обеспечивают непосредственное подключение субтерагерцовых волноводных пробников для достижения максимального диапазона подстройки. При использовании встроенных рефлектометров для измерений входного и выходного сигнала ($a_{1,2}$, $b_{1,2}$) в сочетании с приемниками R&S®ZRxxxL субтерагерцовые тюнеры могут применяться для полностью калиброванных векторных измерений с согласованием нагрузки. Данный подход также позволяет легко адаптироваться к гибридным технологиям, которые часто применяются в целях увеличения диапазона подстройки в пассивных системах согласования нагрузки.

Области применения

Комбинированная базовая система, состоящая из векторного анализатора цепей и станции пробников, позволяет проводить измерения ВЧ-устройств на уровне пластины. Компания MPI Corporation предлагает широкий выбор пробников, включая несимметричные пробники для частот до 110 ГГц и многоконтактные пробники для расширенного электрического смещения.

За счет интеграции ВЧ-преобразователей и специальных волноводных пробников MPI возможно расширение диапазона измерений до полного терагерцового диапазона. Это делает возможным исследования в диапазоне D, который играет ключевую роль в технологии 6G, а также исследования частот до 330 ГГц, также важных в приложениях 6G. Благодаря такому огромному охвату частот ученые и инженеры-разработчики могут точно определять характеристики полупроводниковых устройств, закладывая фундамент для следующего поколения технологий связи.

Для комплексного определения характеристик активных устройств рекомендуется подстройка импедансов. Добавленные в решение субтерагерцовые тюнеры волновода от компании Focus Microwaves позволяют проводить согласование нагрузки в терагерцовом диапазоне, а благодаря своей компактности они пригодны для использования на пластине.

Как и для любых измерений на векторном анализаторе цепей, калибровка системы играет важную роль и выполняется в два этапа на уровне всей системы:

1. Калибровка системы только с векторным анализатором цепей и преобразователями с помощью калибровочных решений MPI и соответствующего программного обеспечения. Подробнее см. руководство по применению MPI «Упрощение измерений в терагерцовом диапазоне» (www.mpi-corporation.com/wp-content/uploads/ASTPDF/MPI-Simplifying-the-Art-of-Terahertz-Measurements.pdf).

2. Калибровка тюнеров импеданса в системе. Для этого используется программное обеспечение Focus Microwaves.

После завершения калибровки программное обеспечение Focus Microwaves используется в качестве системного ПО. Оно регулирует приложенный импеданс с помощью тюнеров и управляет анализатором R&S®ZNA при проведении ВЧ-измерений в целях определения характеристик устройства.

Система пробников MPI обеспечивает стабильные условия испытаний за счет точного позиционирования. Кроме того, выполняется охлаждение испытуемого устройства во время работы с помощью холодной платы и встроенного контролируемого потока воздуха, который станция пробников формирует вокруг испытуемого устройства на пластине.

Заключение

Разработки в области связи и измерений вышли в терагерцовый диапазон частот, что обуславливает необходимость в оптимизированных полупроводниковых материалах. Результатом совместной работы компаний Rohde & Schwarz, MPI Corporation и Focus Microwaves стало комплексное решение для измерений на полупроводниковой пластине в субтерагерцовом и терагерцовом диапазонах. В этом решении комбинируются векторные анализаторы цепей, системы пробников и тюнеры импеданса в целях надежного и точного определения характеристик полупроводниковых устройств, работающих в терагерцовом диапазоне. Путем тесного сотрудничества три лидера отрасли способствуют развитию инновационных технологий, открывающих новые возможности ВЧ-связи и измерений.

См. также

www.rohde-schwarz.com/product/zna

www.mpi-corporation.com/ast/applications/rf-and-mmw

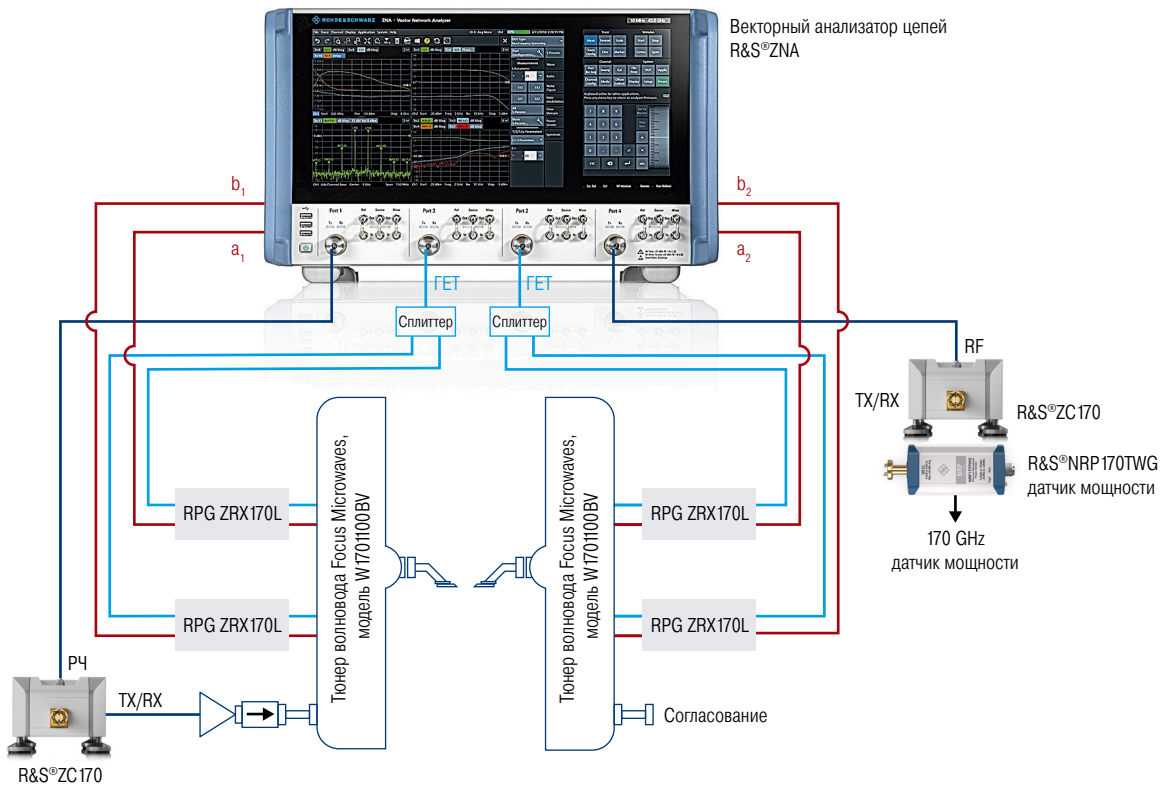
www.focus-microwaves.com



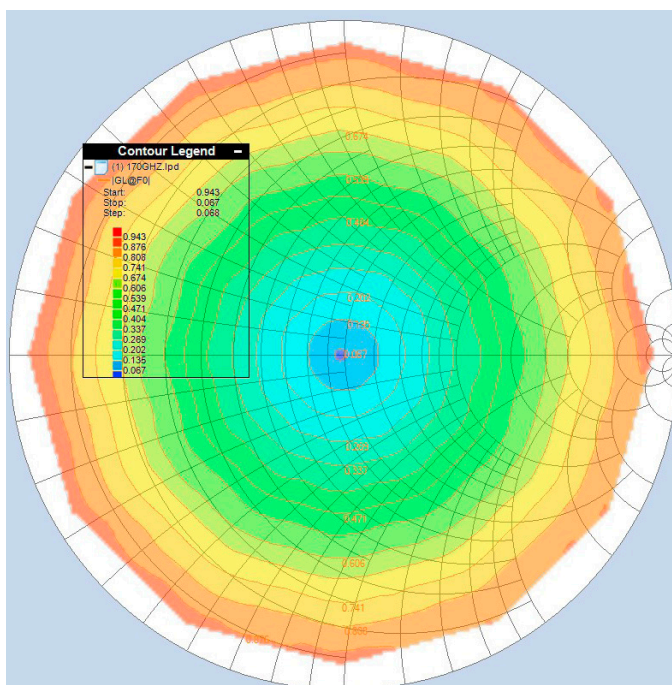
Тюнер волновода Focus Microwaves,
модель W1701100BV (© Focus Microwaves)

Подробная блок-схема и достижимый диапазон подстройки импеданса на круговой диаграмме Вольперта-Смита

На рисунке представлена векторная установка с согласованием нагрузки для испытаний в диапазоне D. В ней используются компактные тюнеры волновода, которые подключаются непосредственно к ВЧ-пробнику и могут оснащаться дополнительными встроенными двунаправленными ответвителями. Встроенные двунаправленные ответвители позволяют подключить внешние понижающие преобразователи в целях измерения прямых и обратных бегущих волн непосредственно на входе и выходе испытуемого устройства.



Диапазон подстройки импеданса



На диаграмме представлен диапазон подстройки импеданса в тюнере Focus WR06 для диапазона D на частоте 170 ГГц в опорной плоскости тюнера. Здесь видно, что в плоскости тюнера легко достигается коэффициент стоячей волны 16:1. Тюнер имеет очень плоскую характеристику КСВ во всем диапазоне. (© Focus Microwaves)

Сервисное обслуживание в Rohde & Schwarz Вы — в надежных руках!

- ▶ По всему миру
- ▶ На месте и лично
- ▶ Индивидуально и гибко
- ▶ С бескомпромиссным качеством
- ▶ На длительную перспективу

Rohde & Schwarz

Технологическая группа компаний Rohde & Schwarz является одним из лидеров в деле создания более безопасного и подключенного мира благодаря своим передовым решениям в сфере контрольно-измерительного оборудования, технологических систем, а также сетей и кибербезопасности. Основанная более 85 лет назад группа компаний — надежный партнер для заказчиков из промышленного и государственного сектора по всему миру. Эта независимая компания, штаб-квартира которой находится в Мюнхене (Германия), имеет широкую торгово-сервисную сеть и представлена более чем в 70 странах.

www.rohde-schwarz.com

Ресурсосберегающие методы проектирования

- ▶ Экологическая безопасность и экологический след
- ▶ Энергоэффективность и низкий уровень выбросов
- ▶ Долгий срок службы и оптимизированные производственные расходы

Certified Quality Management

ISO 9001

Certified Environmental Management

ISO 14001

Тренинги Rohde & Schwarz

www.training.rohde-schwarz.com

Служба поддержки Rohde & Schwarz

www.rohde-schwarz.com/support

