

# Электромагнитные шумы и способы их подавления при электрическом контроле устройств до этапа корпусирования

Р. Розанов, к. т. н.<sup>1</sup>

УДК 621.317 | ВАК 05.27.06

В настоящее время исследования полупроводниковых материалов и устройств на кристалле в большинстве случаев проводятся с применением зондовых станций для осуществления контакта измерительного оборудования с тестируемым образцом. Все измерения при тестировании полупроводниковых материалов и изделий, проводимые при помощи данных станций, так или иначе связаны с электрическими сигналами. Сейчас сигналы, снимаемые с исследуемых образцов, настолько малы, что порой приходится измерять токи на уровне фемтоампер. В теории не должно возникать никаких проблем в исследовании столь малых сигналов, однако в реальности встречается множество трудностей, связанных со снятием неповрежденного сигнала с образца, доставкой его до измерительного прибора и защитой от внешних воздействий. Отсюда вытекает необходимость построения грамотной защиты всей измерительной системы от электромагнитных помех, особенно в условиях крупных городов. В статье приведены практические рекомендации для эффективного подавления электромагнитных шумов при измерении электрических характеристик устройств до этапа корпусирования.

## МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ШУМОВ

Полупроводники – материал достаточно восприимчивый к электромагнитному воздействию. Чтобы измерять параметры устройства, а не наведенных шумов, необходимо экранировать исследуемый образец от внешних электромагнитных воздействий. В большинстве случаев экран выполняется в виде камеры из хорошо проводящих материалов. Кабели из экранирующей камеры выводятся через переходные панели (рис. 1).

При установке внутри камеры моторизованных манипуляторов выводы сигнальных проводов и кабелей питания двигателей необходимо осуществлять через разные переходные панели. Дверь для загрузки образцов изготавливается с минимально возможными зазорами, также могут применяться специальные проводящие уплотнители. Для эффективной работы такой камеры необходимо ее заземление, которое оптимально выполнять из медного провода большого сечения.

Заземление камеры должно быть строго в одной точке, чтобы избежать протекания кольцевых токов по различным путям соединения с землей. Такие камеры также эффективно защищают от видимого излучения, которое негативно сказывается на исследованиях полупроводников, например, из-за возможности возникновения

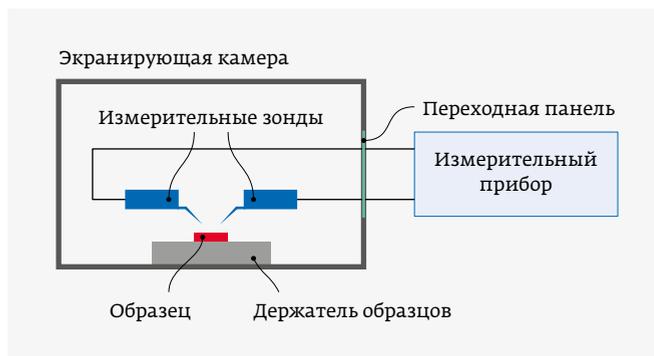
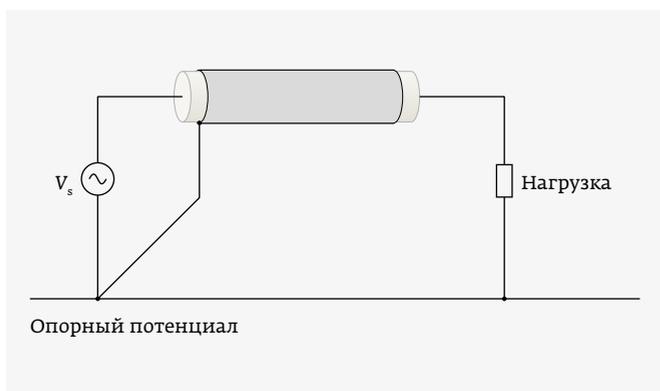


Рис. 1. Схема размещения измеряемого образца в экранирующей камере

<sup>1</sup> ООО «Остек-Электро», старший инженер, Rozanov.R@ostec-group.ru.



**Рис. 2.** Схема подключения экрана коаксиального кабеля

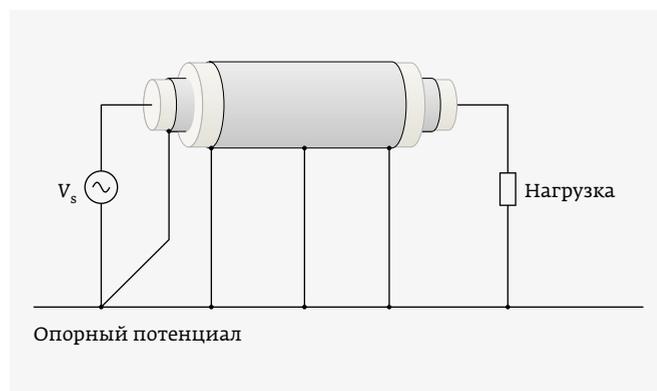
фотоэффекта в образце. На всех промышленных автоматических зондовых станциях экранирующей камерой является корпус станции. При необходимости измерения малых токов на ручных зондовых станциях их целиком помещают в специальные экранирующие камеры.

После устранения влияния электромагнитных шумов на исследуемый образец необходимо устранить их влияние на линию передачи сигнала от образца до измерительного прибора. Поскольку провод представляет собой металлический проводник, вполне естественно, что на его поверхности появляются наведенные токи от любого внешнего поля. Таким образом, защита от электромагнитных помех сигнальных проводов является не менее важной, чем защита исследуемого образца\*. Защита провода тем важнее, чем меньше снимаемый с образца сигнал и больше внешние поля.

Для большинства измерений линия передачи сигнала – это коаксиальный провод. Наиболее эффективным является использование на кабеле плетеного стального экрана. Чтобы экран выполнял функцию защиты от электромагнитных наводок, необходимо его правильно подключить: соединить с одной стороны с общим выводом измерительного прибора (рис. 2).

Для измерения токов ниже наноампера необходимо использовать триаксиальный кабель. В данном случае внутренний экран подключается так же, как и у коаксиального кабеля. Внешний же соединяют с шиной заземления станции. Если используется достаточно длинная линия передачи сигнала, то рекомендуется заземлять экран в нескольких точках (рис. 3). Расстояние между точками заземления экрана нужно выбирать не менее 1/10 длины волны помехи.

Однако стоит отметить, что при измерении малых сигналов использование длинных сигнальных линий

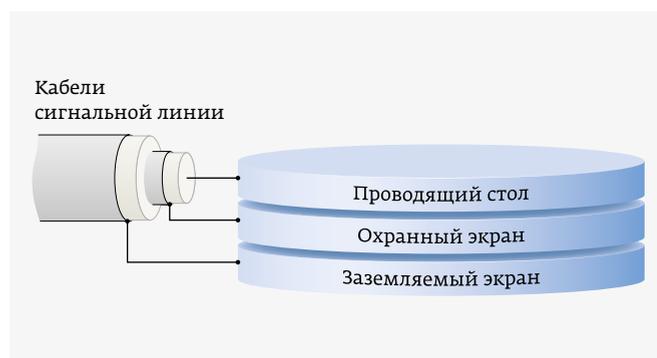


**Рис. 3.** Схема подключения экранов триаксиального кабеля

нежелательно из-за большого ослабления сигнала и подверженности его внешним электромагнитным помехам.

При проведении измерений на проводящем столе (держателе образца) сам стол может служить приемником электромагнитных шумов. Таким образом, для защиты проводящего стола от внешних полей его, как и сигнальные провода, необходимо экранировать. Схема подключения экранированного проводящего стола представлена на рис. 4.

Любой электрический прибор является источником электромагнитных шумов, поэтому узлы самой станции могут оказывать влияние на измерения. Особенно это актуально для автоматических зондовых станций с возможностью быстрого перемещения массивных элементов, поскольку для обеспечения необходимых параметров скорости перемещения и момента удержания при проведении измерений требуется использование мощных двигателей. Такие двигатели, как и линии их питания, являются источником сильных электромагнитных полей. Для уменьшения влияния этих узлов на работу измерительной части оборудования высокоомощные линии питания и линии, передающие измерительный



**Рис. 4.** Схема экранирования проводящего стола

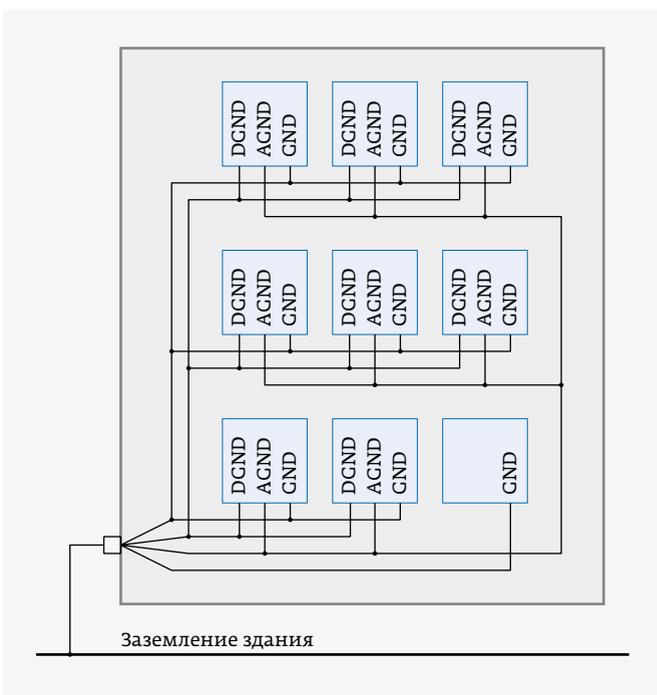
\* Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах. – М.: Мир, 1979. 318 с.



**Рис. 5.** Пример раздельной прокладки линий питания двигателей и сигнальной линии

сигнал, прокладывают по разным каналам (рис. 5). Для подачи питания необходимо использовать экранированный кабель, однако в данном случае экран служит не для устранения влияния внешних полей, а для ослабления поля, создаваемого током, протекающим по центральной жиле кабеля. Все источники электромагнитного поля внутри станции необходимо помещать в экранирующие корпуса или кожухи.

Для обеспечения экранирования от электромагнитных помех требуется правильное соединение всех экранов с заземлением. При неправильной организации



**Рис. 6.** Схема заземления внутри станции

такого соединения экраны не только не принесут пользы, но могут стать дополнительным источником электромагнитных помех. Заземление источников питания и измерительных приборов необходимо осуществлять на клемму заземления станции. Не допускается использовать для этого корпус станции: в таком случае сам корпус становится источником помех. Подключение приборов к заземляющим шинам производится строго одним проводником, чтобы избежать протекания кольцевых токов. Для заземления аналоговой и цифровой частей оборудования следует прокладывать заземляющие их проводники отдельно. На рис. 6 представлен пример правильной организации заземления в зондовой станции.

В случае превалирования магнитной составляющей во внешних шумах экранирование осуществляется при помощи специальных кожухов и оплеток. Материал магнитных экранов отличается от материала, используемого при экранировании электрического поля. Так, если для ослабления электрического поля необходимо использовать хорошо проводящие материалы (в лучшем случае медь или алюминий), то для ослабления магнитного поля используют магнитные материалы, например сталь или пермаллой. В качестве примера на рис. 7 представлена камера, выполненная из



**Рис. 7.** Камера для экранирования постоянного магнитного поля земли

мю-металла (пермаллой с высоким значением магнитной проницаемости), предназначенная для экранирования постоянного магнитного поля земли при измерении бескорпусных магниточувствительных устройств. Толщина магнитного экрана также является важным параметром – при изготовлении ее необходимо выбирать, исходя из частоты и напряженности внешнего поля. В табл. 1 приведены глубины проникновения магнитного поля в различные материалы при разной частоте поля.

Если необходимо ослабить относительно слабое магнитное поле, изготавливается электромагнитный экран из смеси металла с магнитным наполнителем, если сильное – экранировку выполняют в виде дополнительного экрана. Также общей рекомендацией является размещение линий передачи сигнала перпендикулярно магнитному полю.

Искажения в процесс измерений могут вносить и иные внешние условия. Так, во время измерений при повышенной влажности будет наблюдаться больший уровень шумов. Для получения наиболее точных измерений на зондовых станциях необходимо применять виброзащиту, поскольку перемещение проводника во внешнем электромагнитном поле, которым сопровождается вибрация, приводит к появлению разности потенциалов на его концах. Все измерения необходимо проводить при комнатной температуре, поскольку неравномерный нагрев образца приводит к возникновению термоЭДС и искажению результатов измерений. Для тестирования при более высокой или низкой температурах проектируются специальные установки, обеспечивающие равномерный нагрев или охлаждение по всему объему образца и поддержание температуры в заданном диапазоне, а также исключающие выпадение конденсата при охлаждении. Кроме того, одним из факторов, влияющих на корректность работы измерительного оборудования, является качество его электропитания. Нужно принимать во внимание, что промышленные электрические сети не всегда способны обеспечить приборы питанием с необходимыми параметрами шума и стабильности по частоте и напряжению. Решение данной проблемы, как правило, заключается в использовании фильтров питания.

Рассмотрим описанные ранее способы защиты от внешних электромагнитных наводок на примерах реального оборудования.

### ПРИМЕРЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Наиболее простыми в номенклатуре зондовых станций являются ручные четырехзондовые установки измерения удельного и поверхностного сопротивления ИУС-7 (рис. 8). В состав установки входят контактирующая оснастка с измерительной головкой и столиком

**Таблица 1.** Глубина проникновения магнитного поля в материал в зависимости от частоты

Частота	Медь, мм	Алюминий, мм	Сталь, мм
60 Гц	8,5	10,9	0,86
100 Гц	6,6	8,5	0,66
1 кГц	2,1	2,7	0,2
10 кГц	0,66	0,84	0,08
100 кГц	0,2	0,3	0,02
1 МГц	0,08	0,08	0,008

для размещения образцов, источник-измеритель с комплектом сигнальных кабелей и персональный компьютер с управляющей программой. В установке предусмотрена защита от электромагнитных шумов. Для передачи сигнала от исследуемого образца к измерительному прибору используются экранированные кабели. Измерительный прибор предусматривает возможность подключения экрана к общему выводу. В установке ИУС-7 также реализовано заземление оснастки.

Автоматические зондовые станции (рис. 9) предназначены для проведения большого числа измерений с минимальным участием оператора. Исследуемый образец и всё измерительное оборудование размещаются в едином корпусе, который выполняет роль экранирующей камеры. Электропитание всей станции осуществляется через единый кабель. Подвод



**Рис. 8.** Четырехзондовая установка для измерения удельного и поверхностного сопротивлений ИУС-7



**Рис. 9.** Автоматическая зондовая станция для контроля параметров устройств на пластине

питания к измерительному оборудованию, двигателям и иным узлам зондовой станции выполнен уже внутри корпуса с использованием фильтров электропитания (рис. 10).

Кроме того, при прокладке линий передачи сигнала от исследуемого образца к измерительному прибору используются экранированные кабели, которые проложены в отдельных кабель-каналах, отдаленных от шин питания двигателей и приборов. Все необходимые заземляющие кабели выводятся на единую клеммную



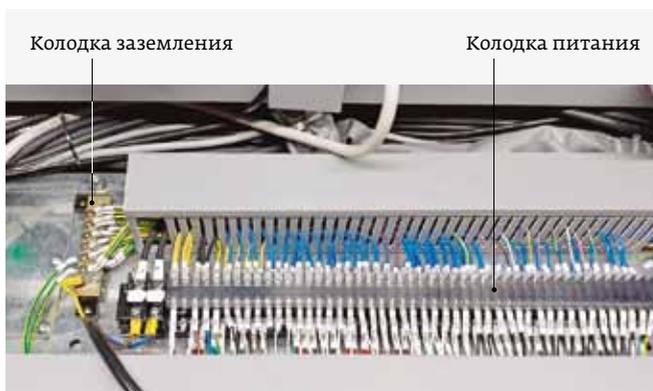
**Рис. 10.** Размещение фильтров электропитания (указаны стрелками) внутри автоматической зондовой станции

колодку внутри станции, откуда возможно соединение с заземлением электросети (рис. 11).

Самые строгие требования к электромагнитной защите предъявляют при измерении сверхмалых токов порядка фемтоампер. В данном случае для передачи измерительных сигналов строго необходимо применение триаксиальных кабелей. Использование экранированного стола, подключенного по схеме, представленной на рис. 4, является единственным вариантом исполнения держателя образцов, способным обеспечить требуемый уровень шумов. Выводы кабелей должны осуществляться через специальную панель с триаксиальными переходными разъемами. При измерении столь малых токов особенно важной становится качественная виброизоляция. Самое минимальное изменение в силе прижатия зонда к образцу, которое может быть вызвано даже проезжающим рядом со зданием транспортом, будет сказываться на результатах измерений. Важно убедиться в целостности заземления – любой проводящий элемент конструкции, не соединенный с заземленным корпусом (например, болт крепления переходной панели), может вызывать существенные наводки по сравнению с измеряемым сигналом. Предусилители измеряемого сигнала необходимо размещать как можно ближе к исследуемому образцу. Применение всех описанных способов защиты от электромагнитных шумов позволяет выполнять измерения токов с уровнем шумов не более 5 фА (рис. 12б). Соответствующая зондовая станция представлена на рис. 12а.

\* \* \*

Таким образом, подавление электромагнитных шумов играет очень важную роль в обеспечении точных измерений. Построение качественной защиты от помех представляет собой весьма непростую задачу и требует соответствующего опыта. Решение проблемы



**Рис. 11.** Вывод всех проводов заземления и питания на единые клеммные колодки в автоматической зондовой станции

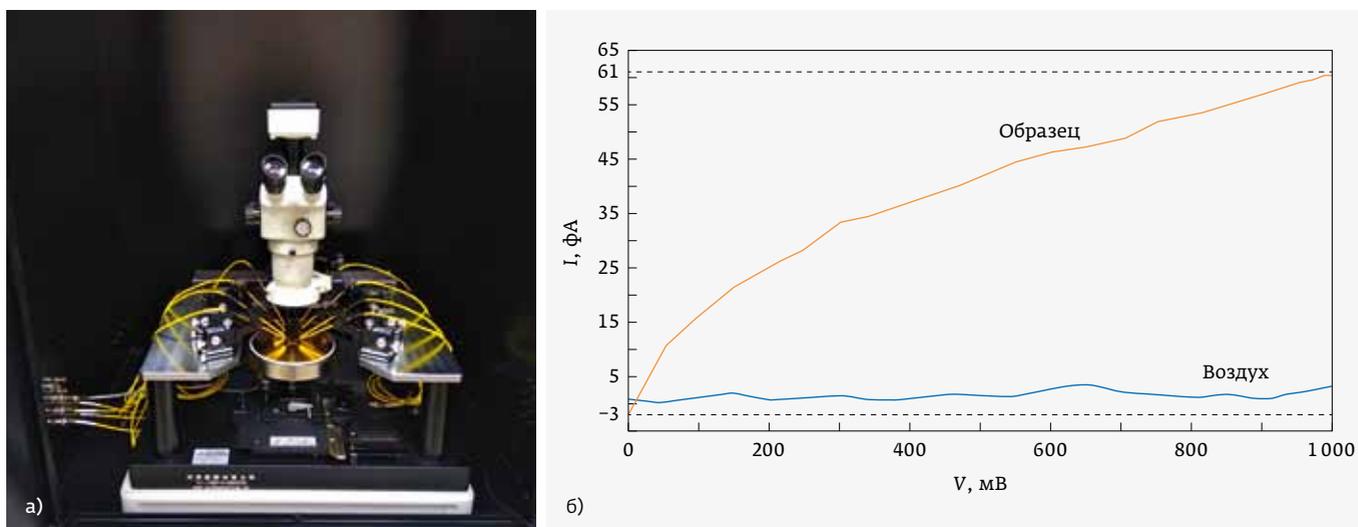


Рис. 12. Зондовая станция для измерения сверхмалых токов: а – внешний вид; б – пример измерений («воздух» – шум при расположении игл в воздухе, «образец» – измерение реального образца)

подавления шумов на месте не всегда возможно из-за неправильно подобранной конфигурации оборудования (отсутствие виброизоляции, экранирующей камеры и т. д.) – для достижения требуемого результата необходимо изначально закладывать все необходимые средства защиты.

ООО «Остек-Электро» проводит экспертную оценку задачи и осуществляет подбор необходимых средств защиты от электромагнитных помех для каждого конкретного случая. Это позволит вашему производству сконцентрироваться на измерении параметров и качестве выпускаемых изделий.

# NM Stick

Модуль выполнен на базе высокопроизводительного процессора 1879BM6Я

ЗАО НТЦ "Модуль" представляет **НОВИНКУ-2020**: компактный нейросетевой вычислитель в форм-факторе USB Flash drive, предназначенный для использования в качестве портативной аппаратно-программной платформы для приема, обработки, хранения и передачи потоков данных в составе ПЭВМ, комплексов БПЛА и систем цифровой обработки сигналов и машинного зрения.

**Основные характеристики**

- Два процессорных ядра NeuroMatrix 4-го поколения
- 512 МБ памяти DDR2
- USB 2.0 HS
- Номинальное напряжение питания 5 В
- Разъем USB 2.0 тип А
- Средняя (типичная) потребляемая мощность 2 Вт
- Максимальная потребляемая мощность не более 3 Вт
- Габаритные размеры: 87,0 мм x 34,0 мм x 12,0 мм
- Максимальная масса не более 0,1 кг
- Температура окружающей среды: +0°C...+40°C корпус пластик
- Температура окружающей среды: +0°C...+60°C корпус металл

**Области применения**

- Нейронные сети и искусственный интеллект
- Телекоммуникационные и связанные системы
- Робототехнические комплексы
- Системы цифровой обработки сигналов и изображений широкого класса
- Системы машинного зрения
- Беспилотные летательные аппараты
- Системы автоматизации процессов в социальной и производственных сферах деятельности в различных областях народного хозяйства

+7 499 152 96 98  
rusales@module.ru  
www.module.ru

Module 30 лет  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ГРУППА