

## ЗАЩИТА БТИЗ И МОП ПТ ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

Большинство потребителей силовых МОП-транзисторов очень хорошо знакомы с предупреждающим знаком, изображенным в начале статьи. «ВНИМАНИЕ! Приборы чувствительные к статическому электричеству». ПРОБЛЕМА состоит в том, что это знакомство может перерасти в пренебрежение, особенно, если человек ни разу не испортил мощный МОП- транзистор из-за неправильного обращения. Статистически является маловероятным, чтобы конкретный МОП-транзистор был «пробит» электростатическим разрядом (ЭСР). Однако, когда через руки проходят тысячи МОП-транзисторов, даже статистически малое число выходов из строя может иметь значение. Несмотря на то, что IR отбраковывает менее 100 приборов на миллион при выходном контроле качества, очевидно, что выход из строя одного или двух приборов во время обращения с ними будет оказывать серьезное влияние на «представляемое» качество приборов.

Любая эффективная программа контроля за ЭСР имеет свои особенности и специфична по природе. Но ее основополагающие концепции могут быть сведены к десяти простым правилам:

1. Всегда храните и перевозите МОП-транзисторы в закрытых проводящих контейнерах.
2. Вынимайте МОП-транзисторы из контейнеров только после заземления на рабочей станции контроля от статического электричества.
3. Персонал, который обращается с МОП-транзисторами, должен носить верхнюю одежду, рассеивающую статическое электричество, и быть всегда заземленным.
4. Полы должны иметь заземленное, рассеивающее статическое электричество покрытие или обработку.
5. Столы должны иметь заземленное, рассеивающее статическое электричество покрытие.
6. Избегайте изолирующих материалов любого вида,
7. Используйте антистатические материалы только один раз.
8. При установке МОП-транзисторов пользуйтесь только заземленным паяльником.
9. Тестируйте МОП-транзисторы только на рабочей станции с контролируемым статическим электричеством.
10. Все эти защитные меры используйте всегда совместно с обученным персоналом.

International Rectifier имеет замечательную программу контроля за ЭСР на производстве МОП-транзисторов. Эта статья рассматривает то, как пользователи могут применять и получать эффект от схожих программ контроля за ЭСР.

### Что такое ЭСР?

ЭСР - это разряд статического электричества. Статическое электричество - это избыток или недостаток электронов на одной поверхности по отношению к другой поверхности или к земле. Поверхность, имеющая избыток электронов является отрицательно заряженной, а имеющая недостаток их, заряжена положительно. Статическое электричество измеряется в единицах напряжения (вольт) и заряда (кулон). Когда статический заряд присутствует на объекте, молекулы электрически разбалансированы. ЭСР имеет место, когда осуществляется попытка восстановления равновесия путем передачи электронов от одного объекта к другому, имеющему отличный потенциал напряжения. Когда чувствительный к ЭСР прибор, такой как силовой МОП-транзистор, находится на пути разряда или в пределах границ электростатического поля, он может быть окончательно выведен из строя.

### Генерирование статического электричества

Наиболее общим способом генерирования статического электричества является электризация трением. Трение двух предметов друг о друга будет вызывать электризацию, то же может происходить при соединении двух материалов с последующим разъединением. Величина заряда сильно зависит от способности конкретного материала отдавать или принимать электроны. Разнородные материалы, особенно если они имеют высокое поверхностное удельное сопротивление, вызывают особое подозрение.

Другим путем создания статического заряда на предмете является индукция. Индукция может быть вызвана, например, помещением тела очень близко к сильно заряженному объекту или ЭСР с высокой энергией.

### Отказ мощного МОП-транзистора из-за ЭСР

#### Природа отказа

Одно из главных преимуществ МОП-транзистора, которое может также привести к выходу его из строя когда он попадает под ЭСР, это сверхвысокое входное сопротивление (обычно  $> 4 \times 10^9$  Ом). Затвор силового МОП-транзистора может рассматриваться как низковольтный ( $\pm 20$  В для МОП ПТ) конденсатор с малой утечкой. Как можно видеть на рис. 1, пластины конденсатора образованы главным образом кремниевым затвором и металлизацией истока. Диэлектриком конденсатора является изоляция затвора окислом кремния. Разрушение МОП-транзистора разрядом происходит, когда напряжение затвор-исток достаточно велико, чтобы создать дугу через диэлектрик. Она прожигает микроскопическое отверстие в окисле затвора,



которое выводит из строя прибор. Подобно любому конденсатору, на затвор силового МОП-транзистора должен подаваться определенный заряд, чтобы достигнуть конкретного напряжения. Так как более мощные приборы имеют емкости большей величины, то они требуют большего заряда на вольт и поэтому менее подвержены ЭСР чем меньшие МОП-транзисторы. Кроме того, мгновенный выход из строя обычно не происходит, пока напряжение затвористок не превысит допустимое значение в два - три раза.

Типичную картину разрушения МОП-транзистора можно увидеть на рис.2а. Условия были созданы моделью человеческого тела, заряженного до 700 В и разряженного в затвор прибора. Это фото было сделано с увеличением в 5 000 раз с помощью сканирующего электронного микроскопа после снятия верхнего слоя кристалла до поликремния. Фото на рис.2b показывает, что на поверхности кристалла до снятия никаких разрушений видно не было. Действительная область разрушения, показанная на рис.2а, составляет только около 8 микрон в диаметре. Электрическим симптомом отказа из-за ЭСР является низкое сопротивление или эффект Зенера между затвором и истоком при приложенном напряжении менее  $\pm 20$  В.

Напряжения, требуемые для создания отказа из-за ЭСР, могут быть 1000 В и выше (в зависимости от размера кристалла). Это из-за того, что емкость тела, несущего заряд, обычно бывает намного меньше, чем Ciss МОП-транзистора, поэтому, когда заряд передается прибору, результирующее напряжение будет намного ниже, чем напряжение тела. График на рис.3 показывает соотношение между размером кристалла и напряжением, необходимым для создания отказа посредством ЭСР.

Электростатические поля тоже могут вызвать отказ силовых МОП-транзисторов. Причиной отказа является также ЭСР, но разрушение происходит из-за нахождения незащищенного затвора полевого транзистора на пути коронного разряда. Коронный разряд вызывается положительно или отрицательно заряженной поверхностью, разряжающейся в небольшие ионизованные молекулы в воздухе ( $CO_2^+$ ,  $H^+$ ,  $O_2^-$ ,  $OH^-$ ).

### Является ли, действительно, ЭСР проблемой?

Как упоминалось ранее, при обращении с небольшим количеством МОП- транзисторов, ЭСР может казаться небольшой проблемой. Результатом в этом случае будут случайные необъяснимые отказы. При работе с очень большими количествами, когда качество является одним из главных показателей, ЭСР может стать реальной проблемой.

График на рис.4 дает хорошую графическую иллюстрацию размеров проблемы и ее решения. Этот график построен на основе данных производственных линеек International Rectifier. За время от апреля

1982 года до октября 1983 года отказы, связанные с затвором, упали в 7 раз как прямой результат внедрения защитных мер от ЭСР. Существенный интерес представляет сильный рост отказов в период «ведьминых ветров» с октября по декабрь 1982г. в Эль Сегундо, Калифорния. Эти ветры вызывают экстремально низкую относительную влажность, которая приводит к обострению проблемы ЭСР. Эффективный контроль за ЭСР во время аналогичного погодного периода с октября по декабрь 1983г. не показывает существенного увеличения отказов.

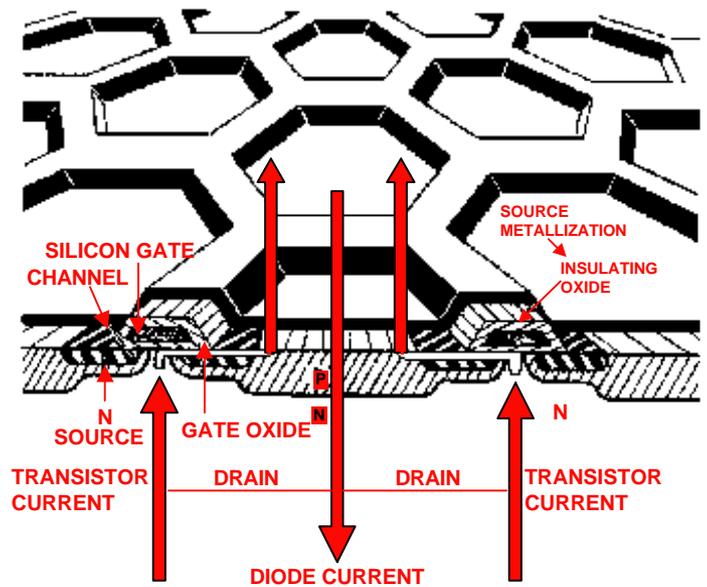


Рис. 1. Базовая структура МОП ПТ ГС

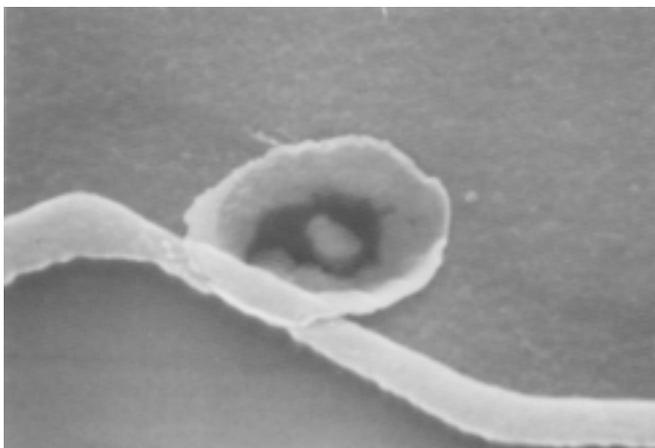


Рис.2а. Типовое разрушение под действием ЭСР

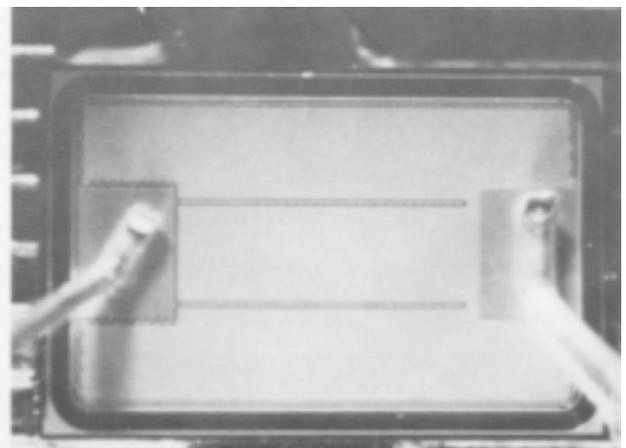


Рис.2b. Прибор, разрушенный ЭСР, при малом увеличении до снятия слоев

## Материалы и методы для контроля за ЭСР

### Метод прямой защиты

При защите любого силового МОП-транзистора от ЭСР или другого превышения напряжения затвора основной задачей является обеспечение напряжения затвор-исток, не превышающего максимального указанного значения ( $\pm 20$  В для МОП ПТ). Это справедливо и для рабочих схем и вне их.

Прямая защита МОП-транзистора может включать такие методы, как закорачивание затвора на исток или применение зенеровской защиты затвор-исток. Будучи эффективным для внутрисхемных применений и при малом количестве, эти методы практически бесполезны в условиях производства из-за большого количества участвующих в процессе МОП-транзисторов. Основной концепцией полной защиты от статического электричества для силовых МОП-транзисторов является исключение условий создания его, где только возможно, и быстрое удаление существующих зарядов.

Материалы в окружающей среде могут или помогать, или мешать контролю за статическим электричеством. Они могут быть поделены на четыре категории по поверхностному сопротивлению: изолирующие ( $> 10^{14}$  Ом/квадрат), антистатические ( $10^9 - 10^{14}$  Ом/квадрат), рассеивающее статическое электричество ( $10^5 - 10^9$  Ом/квадрат) и проводящие ( $< 10^5$  Ом/квадрат). Идеально, чтобы защитить МОП-транзистор, достаточно заземлить проводящие тела в производстве. Дополнительно, весь персонал, участвующий в производственном процессе, должен быть хорошо заземлен. К сожалению, люди, участвующие в производственном процессе, становятся уязвимыми к поражению электричеством при неисправном электрическом оборудовании. Кроме того, при перемещении на большие расстояния может оказаться трудным поддерживать хорошее заземление. Следовательно, защитные материалы и методы должны выбираться, основываясь на ситуации.

### Изолирующие материалы

Из-за склонности к накоплению статических зарядов необходимо держать предметы, сделанные из изолирующих материалов, подальше от силовых МОП-транзисторов и, если возможно, вне рабочей среды. Так как электрический ток не может протекать через изолятор, электрические соединения от изолятора на землю бесполезны при защите от статического заряда. Изолирующие материалы включают в себя: полиэтилен (обычные пластиковые мешки), полистирен (упаковочные коробки), майлар, твердую резину, винил, слюду, керамику, большинство пластмасс и некоторые органические материалы. Когда пластмассовые предметы должны использоваться в работе с силовыми МОП-транзисторами, используйте только те, которые пропитаны проводящими материалами и/или обработаны антистатическими компаундами.

### Антистатические материалы

Антистатические материалы обладают сопротивлением к созданию зарядов трением, но не обеспечивают защиты от электрических полей. Коронный разряд может проходить через антистатическую оболочку и выводить из строя любые МОП-транзисторы, находящиеся внутри. Из-за высокого поверхностного сопротивления антистатического материала, заземление его не очень эффективно для удаления заряда. Некоторые пластмассовые изоляторы могут обрабатываться антистатическими реагентами, которые химически снижают их способность к электризации трением и делают меньше их поверхностное сопротивление. Большинство антистатических реагентов требуют относительно высокой влажности, чтобы работать эффективно. Следовательно, относительная влажность производственных помещений, где работают с силовыми МОП-транзисторами, должна поддерживаться выше 40 %. Кроме того антистатические реагенты после некоторого периода времени утрачивают свойства антистатика, а также большинство из них используют активные химические вещества, которые могут корродировать металл. Антистатические пластмассы должны ограничиваться кратким сроком использования только в разовых ситуациях, как, например пеналы для корпусов DIP и TO-3 и упаковочные материалы для отгрузки.

### Материалы, рассеивающие статическое электричество

Материалы, рассеивающие статический заряд, эффективны для применения на любой поверхности для удаления статических зарядов путем контакта с землей. В материалах, рассеивающих статическое электричество, возможно создание зарядов трением, но они рассеиваются по материалу и могут легко разряжаться на землю. Материалы, рассеивающие статический заряд, удобны для использования на полах, поверхностях столов и одежде.

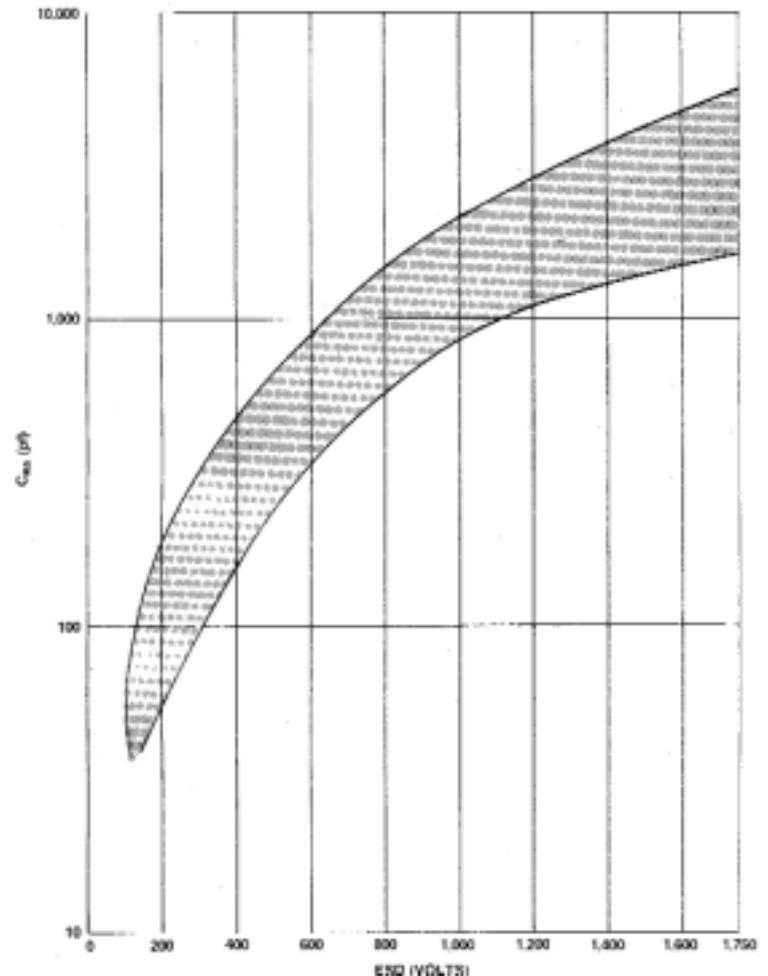


Рис. 3. Зависимость  $C_{ISS}$  от напряжения ЭСР, при котором происходит отказ

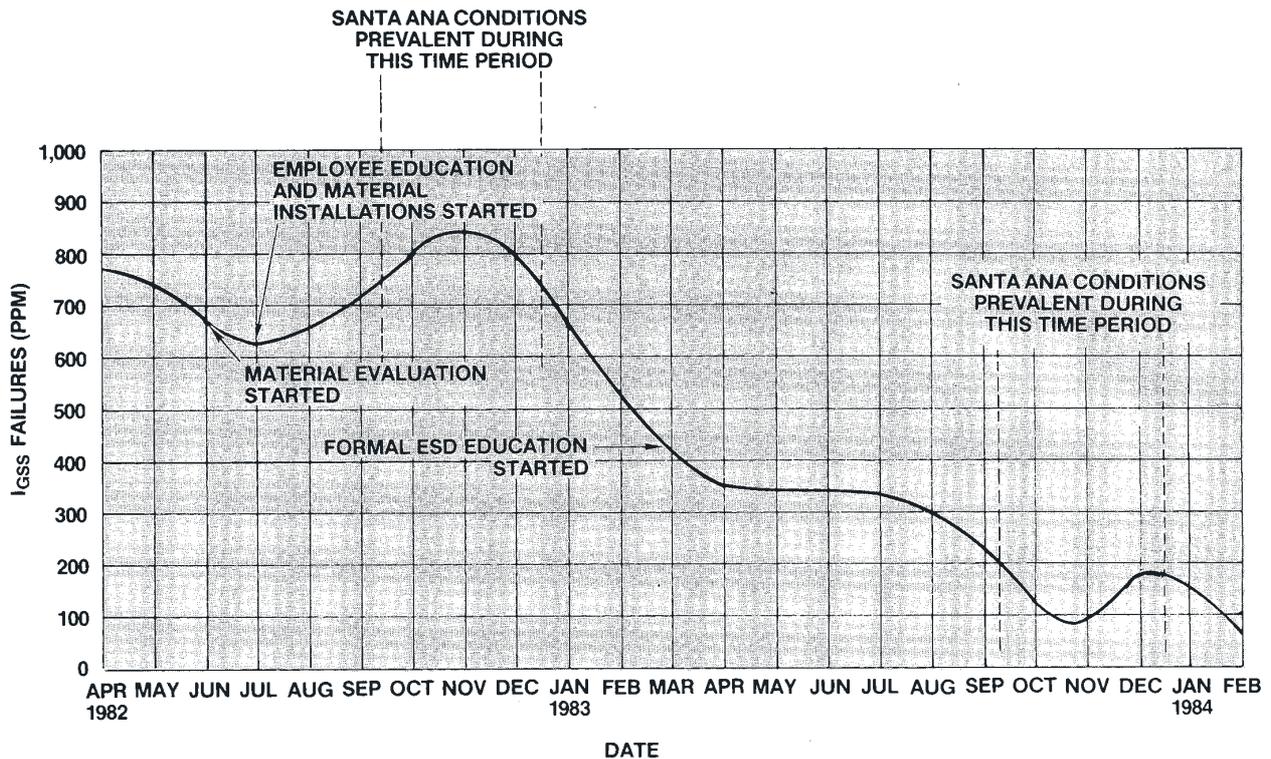


Рис.4. Распределение отказов, связанных с затвором при операционном производственном контроле

### Проводящие материалы

Проводящие материалы удобны в использовании для создания средств для хранения и транспортировки силовых МОП-транзисторов. Подобно материалам, рассеивающим статический заряд, проводящие материалы подвержены электризации трением, но могут легко разряжаться на землю. Пластмассы, обычно являющиеся хорошими изоляторами, могут быть сделаны проводящими, когда они изготавливаются из базового материала с добавками углерода или металла. Контейнеры должны быть сконструированы так, чтобы проводящие элементы не отделялись и не мигрировали, иначе они будут загрязнять окружающую среду. Силовые МОП-транзисторы, помещенные в закрытые проводящие контейнеры, находятся в безопасности от коронного разряда, так как электрический ток проводится поверхностью контейнера. Содержимое контейнера экранируется.

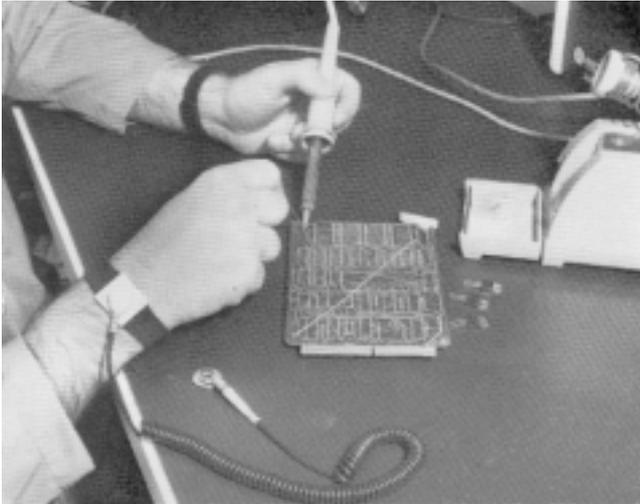
### Ионизаторы

В дополнение к пассивному контролю за статическими зарядами путем выбора подходящих материалов, иногда могут быть необходимы активные формы контроля, которые дают дополнительные преимущества. Ионизаторы являются активной формой контроля статических зарядов. Существуют три основных типа ионизаторов: переменного тока, постоянного тока и ядерные. Ионизаторы предназначены для создания больших и равных количеств положительных и отрицательных ионов. Когда требуется нейтрализовать конкретный объект, то он стремится притягивать только те ионы, которые необходимы для нейтрализации. Избыток же положительных или отрицательных ионов нейтрализуется заземленными предметами. Ядерных источников ионов следует избегать, по возможности, из-за реальных или воображаемых персоналом радиоактивных загрязнений. Хотя сообщается, что они безвредны, можно показать, что малые количества полония, используемые в целях нейтрализации статических зарядов, вызывают радиолиз в некоторых органических материалах при близком нахождении. При использовании ионизаторов постоянного тока применяйте только ионизаторы балансного типа. Ионизаторы постоянного тока не балансного типа могут создавать разбаланс в концентрации ионов различной полярности, создавая точно такой же фактор опасности, который пытаются исключить. Объекты и даже воздух могут иногда получать заряд от ионизатора. Кроме того, они создают легко соединяющиеся микрообъемы ядовитого озона и, как было показано, ионизаторы не балансного типа могут создавать слабые неврологические и биологические расстройства у людей. Следовательно, нужно избегать применения ионизаторов любого типа в общем помещении или для нейтрализации непосредственно персонала. Никогда не пользуйтесь ионизаторами, когда имеется возможность контакта с влагой.

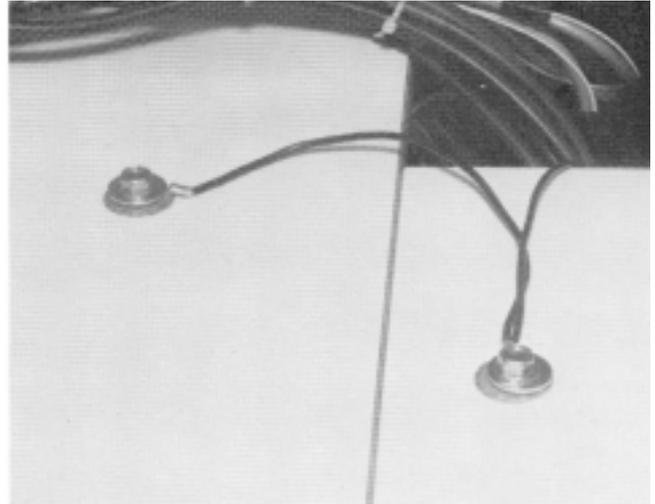
### Подготовка рабочих помещений

#### Полы

Главным соображением должно быть предотвращение создания зарядов трением. Хорошим началом будет использование заземленных покрытий для полов из материалов, рассеивающих статические заряды или обработанных ими. Полы из проводящей плитки являются наиболее долговременным решением, но их стоимость является препятствием. Можно использовать напольные маты из проводящих или рассеивающих заряд материалов, но они могут создавать опасность заворачивающимися краями и углами. Удобным и дешевым методом является обработка полов материалами, рассеивающими заряд. Рассеивающая заряды обработка полов может обеспечивать эстетический вид покрытия, который имеет поверхностное сопротивление, сохраняющееся в диапазоне эффективного рассеивания заряда около двух месяцев при нормальном движении по нему персонала. Заземление полов с обработкой, рассеивающей заряд, обычно выполняется в целях безопасности. Поскольку покрытие наносится в виде жидкости, оно стремится просачиваться к заземляющим шинам или другим точкам контроля статических зарядов.



**Рис.5а. Рассеивающий заряд настольный мат с типовым заземляющим браслетом. Всегда пользуйтесь заземленным паяльником**



**Рис.5б. Рассеивающий заряд настольный ламинат с типовым заземлением**

### Покрывтия столов

На каждом рабочем месте, где имеют дело с силовыми МОП-транзисторами, должны использоваться заземленные, рассеивающие статический заряд покрытия столов, независимо от того, находятся приборы в защитных контейнерах или нет. Инженерная группа тестирования в International Rectifier определила эффективными два типа покрытия столов. Как и в случае с полами, наиболее постоянным решением является рассеивающий статический заряд ламинат (см. рис.5б). Могут быть заказаны новые столы с рассеивающей заряд поверхностью или выполнена новая поверхность для старых. Другим решением может быть покрытие столов мягкими, рассеивающими заряд матами (см. рис.6а). Однако, такие маты следует избегать там, где они могут подвергаться воздействию тепла или химикатов. Металлические покрытия столов не следует применять вместо рассеивающих заряд, так как они обладают слишком большой проводимостью и могут представлять опасность поражения, где используется электрическое оборудование. Идеальная рабочая поверхность должна попадать по своей проводимости в диапазон материалов, рассеивающих заряд.

### Контейнеры

Силовые МОП-транзисторы всегда должны храниться и транспортироваться в закрытых проводящих мешках или контейнерах. МОП-транзисторы, находящиеся в антистатических трубках или пеналах должны храниться и транспортироваться также в закрытых проводящих мешках или контейнерах (см.рис. 6а и 6б). Если силовой МОП-транзистор должен храниться в сухой атмосфере, например в азоте (N), газ должен ионизироваться, поступая в мешок или контейнер, чтобы предотвратить накопление статического заряда в контейнере. Проводящие мешочки и контейнеры никогда не должны быть открытыми, кроме как на рабочих местах, оснащенных защитой от статического электричества и только после того, как мешочек или контейнер помещен на заземленную поверхность с рассеиванием заряда. См. Рис. 6с.

### Персонал

Защита от статического электричества в отношении персонала включает в себя: предотвращение создания заряда, рассеивание существующего статического заряда и обучение.

Материалы, используемые для большинства видов спецодежды, представляют опасность ЭСР. Известно, что типовые лабораторные халаты из смеси хлопка-полиэстера могут накапливать заряд до 5 000 вольт. Лабораторные халаты и комбинезоны с рассеиванием заряда должны выдаваться работникам, так как они экранируют рабочую среду от личной одежды.

Перчатки должны одеваться только тогда, когда это необходимо с точки зрения чистоты, так как поверхностное сопротивление тела человека попадает в диапазон рассеивания заряда или проводимости.

Удаление существующих зарядов может осуществляться с помощью заземляющих браслетов. Браслеты должны применяться везде, где это физически возможно. См. Рис.6а, 6с, 8б, и 9. Браслеты и заземляемые поверхности столов должны иметь по крайней мере сопротивление в 1 МОм на землю, чтобы предотвратить поражение током.

Для контроля за статическим электричеством нужен обученный персонал. Тщательно установленное самое дорогое оборудование защиты от ЭСР будет бесполезно, если персонал не обучен защите от ЭСР и необходимости их применения. Демонстрация ЭСР показала себя особенно полезной в достижении понимания людей, работающих с МОП-транзисторами в IR. Обратитесь к справочному индексу материалов в конце статьи и прочтите их.

### Заземление

Хотя до сего момента заземление упоминалось только вскользь относительно защиты от ЭСР, значение его велико. Заземляющие стержни должны быть из твердой меди или стали с медной оболочкой и должны быть погружены в землю на 6-8 футов ниже фундамента здания и примерно на шесть дюймов выступать из пола для подключения к ним. (См.рис.7). Сухая почва может потребовать орошения сульфатом меди. Электрические заземления должны быть изолированы от



**Рис.6а. Антистатическая трубка для корпусов «DIP» в проводящем мешочке**



Рис. 6в. Кассета с проводящим покрытием

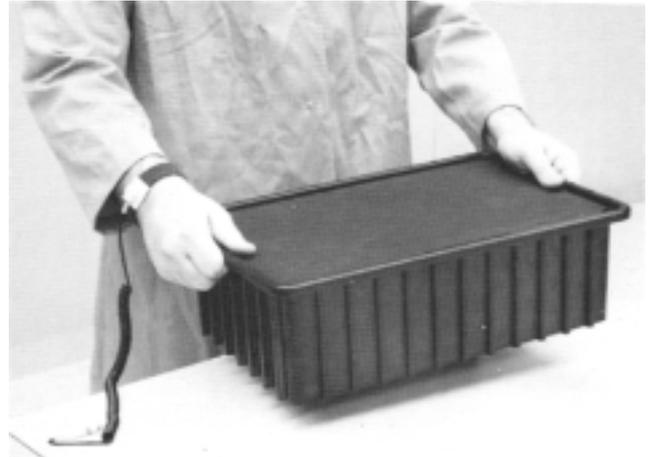


Рис. 6с. Обращение с кассетой

заземлений для борьбы со статическими зарядами. Водопроводные трубы НИКОГДА не должны использоваться для заземлений, отводящих статические заряды, так как они могут быть не соединены с землей. Эти методы заземления могут показаться излишними, так как заземляющий стержень может быть соединен последовательно с сопротивлением в 1 МОм или больше. Однако, эти методы существуют для минимизации разницы потенциалов между различными заземлениями, а не для снижения омического сопротивления по отношению к земле.

**Ионизаторы**

Ионизаторы должны устанавливаться там, где они необходимы, для специальных применений. Например, можно посоветовать использовать ионизатор на печатных платах, где будут устанавливаться МОП-транзисторы. Ионизаторы должны использоваться для нейтрализации любого специфичного неодушевленного объекта в окружающей среде, который нельзя контролировать другими средствами.

**Тестовое оборудование**

Испытательное оборудование должно размещаться на заземленных, рассеивающих заряд полах или покрытиях столов. Операторы должны носить рассеивающую заряд или антистатическую одежду и заземляющий браслет все время. Автоматические тестеры должны иметь антистатические подающие и принимающие пеналы для МОП-транзисторов. (См. Рисба и 8в).

**Полная защита от ЭСР**

Наиболее эффективная защита от ЭСР наступает тогда, когда под контролем находится вся окружающая среда. Замена только полов и покрытий столов недостаточна. Когда все подходящие для защиты от ЭСР средства используются совместно с обученным персоналом, отказы из-за ЭСР могут быть снижены до пренебрежимо низкого уровня.

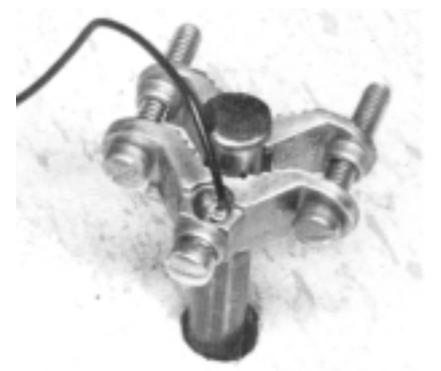


Рис. 7. Типовое подключение заземления от статического заряда



Рис. 8а. Автоматический тестер МОП ПТ ГС с антистатическим покрытием

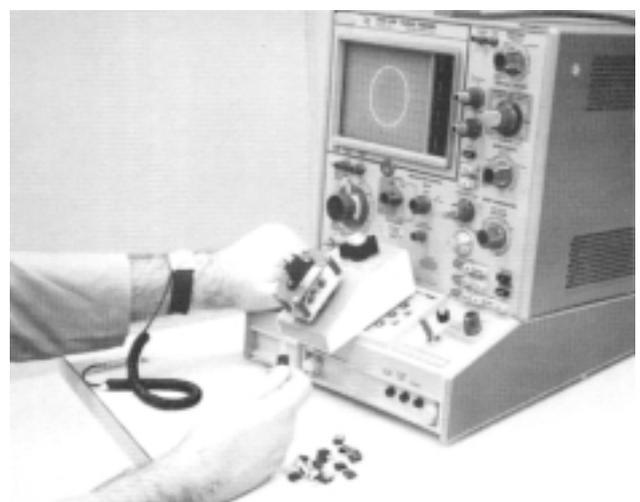


Рис. 8в. Характериограф. Обратите внимание на заземленный браслет и антистатическое покрытие стола