

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**ЗАЩИТА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ  
ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

Учебно-методическое пособие

Составители: А. В. Тучин, А. Н. Шебанов,  
Е. Н. Бормонтов

Воронеж  
Издательский дом ВГУ  
2018

## Содержание

Термины и определения .....	5
Введение.....	6
1. Явление ESD и методы тестирования .....	8
1.1. Введение.....	8
1.2. Как возникают заряды .....	8
1.3. Категории ESD .....	10
1.3.1. Модель человеческого тела.....	12
1.3.2. Машинная или механическая модель .....	12
1.3.3. Модель заряженного устройства .....	13
1.3.4. Импульс линии передачи (TLP).....	14
1.4. Типы повреждений в результате ESD.....	15
1.4.1. Катастрофические отказы .....	15
1.4.2. Скрытые отказы .....	17
1.5. Вопросы для самопроверки .....	20
2. Приборы для разработки защиты от ESD.....	21
2.1. Введение.....	21
2.2. ESD диоды .....	22
2.3. МОП - транзисторы с блокировкой силицида .....	24
2.4. Пробой кремниевого управляемого диода (SCR).....	29
2.5. Прочие элементы .....	31
2.6. n-МОП/p-МОП переключающие защитные схемы.....	33
2.7. Вопросы для самопроверки .....	34
3. Принципы построения ячеек ввода и вывода.....	35
3.1. Введение.....	35
3.2. Стратегии защиты от электростатического разряда .....	35
3.2.1. Pad-based и rail-based защита .....	35

## Введение

Вследствие уменьшения размеров современные интегральные схемы становятся всё более восприимчивыми к различным внешним факторам, в том числе к электростатическим разрядам (*ESD — Electrostatic Discharge*). ESD возникает вследствие трибоэлектрического эффекта, т. е. перехода электронов с поверхности одного тела на поверхность другого в результате трения. Чаще всего причиной воздействия ESD на микросхему становится прикосновение человека, переносящего этот заряд. Значительные по величине заряды могут возникать непосредственно на поверхности установок при выполнении технологических операций. В момент, когда тот или иной вывод микросхемы касается заряженного тела или установки, происходит импульсный разряд, который может полностью или частично повредить прибор высоким напряжением или током.

Чтобы избежать повреждения микросхемы под воздействием ESD стресса во всех ячейках ввода-вывода (*IO – Input Output Cell*), ESD шинах питания и земли (*Power Rail*), ячейках разделения доменов питания (*Power Cut*) должны использоваться устройства электростатической защиты, способные выдерживать большие токи, возникающие при ESD стрессе, и оказывать минимальное влияние на качество микросхемы в рабочем режиме. Слабая защита от ESD приводит к выходам из строя ИМС при корпусировании и тестировании, к отказам при эксплуатации. Месяцы усилий инженеров, анализов отказов и дополнительных экспериментов, с разделением микросхемы на части, тратятся на мучительное понимание причин отказа компонента, возникшего в итоге из-за недостаточного качества защиты от ESD. Именно поэтому **все выводы микросхем должны иметь защиту от ESD.**

Защита от ESD – важный аспект и нуждается в совершенствовании на всем этапе проектирования микросхемы. Учет и добавление устройств защиты от ESD в последнюю минуту часто приводит к неудовлетворительному уровню защиты от ESD или к ухудшению эксплуатационных характеристик микросхемы. Дополнительные устройства увеличивают токи утечки и паразитные емкости. Поэтому необходимо искать компромисс между качеством микросхемы и качеством защиты от ESD. Так, для цепей высокоскоростной передачи данных необходимо использовать устройства защиты от ESD с ёмкостью менее 1 пФ, поскольку устройства более высокой ёмкости могут привести к искажению сигнала. Качество защиты от ESD зависит от параметров самих устройств защиты, качества топологии и архитектуры ESD всей микросхемы.

В пособии даны общие представления о различных моделях ESD событий, методов их тестирования, представлены схемные реализации различных стратегий защиты от ESD входных и выходных IO-ячеек, клампов питания, описана методология проектирования архитектуры защиты от ESD для всей микросхемы при одном и нескольких доменах питания.

## 1. Явление ESD и методы тестирования

### 1.1. Введение

Из данной главы вы узнаете:

- откуда возникают заряды;
- что такое ESD;
- наиболее распространенные модели ESD;
- характеристики ESD событий;
- TLP тестирование;
- что такое катастрофические и скрытые отказы.

### 1.2. Как возникают заряды

В обычных условиях носители зарядов обеих полярностей распределены в материалах равномерно, поэтому они нейтральны. Разрушение нейтрального состояния и локальное накопление частиц одной полярности приведет к тому, что тело будет заряжено. В электрическом поле или при контакте материалов может происходить три сценария электризации: добавление, удаление или разделение зарядов. При контакте высокоомных материалов, в электризации участвуют только носители зарядов, расположенные в непосредственной близости к области соприкосновения, при этом, заряды останутся в той же точке, в которой изначально сформировались, даже если материал был заземлен. Статические же заряды на незаземленных проводниках распространяются практически мгновенно по всей поверхности контактирующих тел. Общим условием электризации какого-либо тела является преобладание возрастания электрического заряда, над его компенсацией из окружающей среды (компенсации заряда способствует, например, влажная атмосфера).

При производстве полупроводниковых изделий электростатический заряд чаще всего возникает из-за трения поверхностей различных материалов, что называется трибоэлектрическим эффектом. Если осуществить контакт двух материалов трибоэлектрической серии, то более высокий в серии материал заряжается положительно, другой получит такой же отрицательный заряд. Величина заряда зависит от силы сжатия при контакте и от способа и качества контакта между материалами. Например, человек, идущий по сухому ковру, может заряжаться до 5 кВ, автомобиль, движущийся по сухой дороге до 10 кВ, оператор на полупроводниковом производстве, одетый в синтетическую одежду – более 6 кВ (табл. 1). Чаще всего причиной воздействия ESD на электронный компонент становится именно прикосновение человека, переносящего избыточный заряд.

Накопление заряда человеком – не единственный источник опасного для приборов и схем электростатического разряда. При технологических процедурах, сопровождающихся трением или нарушением контакта между различными материалами (например, на сборочных автоматах), возникают разности потенциалов, вызванные появлением электростатических зарядов. Так, в процессе работы конвейера, вращающиеся фторопластовые ролики заряжаются до потенциалов порядка 3 кВ, фторопластовая тара до 8 кВ.

Наличие и накопление заряда на изделии, как правило, не ведет к его повреждению или изменению характеристик до тех пор, пока через это изделие не произойдет электростатический разряд – ESD, возникающий при соединении тел с различными электростатическими потенциалами.

**В момент, когда тот или иной вывод прибора касается проводящего тела, происходит импульсный разряд, который может полностью или частично повредить прибор.** Характер воздействия разряда на полу-

проводниковые изделия в производственных условиях зависит от ряда случайных факторов: емкости, величины накопленного заряда, сопротивления человека, величины переходных сопротивлений в цепи разряда и др.

Т а б л и ц а 1.1.

*Максимальные значения возникающих в различных случаях электростатических напряжений*

Объект, получающий электростатический заряд	Максимальное электростатическое напряжение, кВ
Человек, идущий по деревянному полу в ботинках на каучуковой подошве	0.8
Пластмассовая тара на производстве	2.5
Человек, сидящий на рабочем месте	3
Фторопластовые ролики	3
Операторы на производстве	6
Фторопластовая и пенопластовая тара на производстве	8
Автомобиль, движущийся по сухой дороге	10
Человек, идущий по ковру в ботинках на каучуковой подошве	14
Ремень, движущийся по шкиву в автомобиле	25

### 1.3. Категории ESD

**ESD событие** – это импульс большого тока, который может оказывать воздействие на микросхему на различных этапах производства или использования. Уровни защиты ИМС от ESD преимущественно определяются разработчиками изделия, основываясь на том, каким будет окружение микросхемы и оснащение для ее тестирования, а также требованиями потребителей микросхемы. Некоторые изделия требуют больший, некоторые меньший уровень защиты, в зависимости от их специфики. Важно понимать требуемые уровни защиты для конкретной микросхемы.