

ЭПОКСИДНЫЕ ПОЛЫ

ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

Многие европейские компании используют напольное покрытие и систему пол/обувь как основной способ заземления персонала для защиты от электростатического разряда. Применяемое напольное покрытие и проводящая обувь по отдельности отвечают требованиям стандарта IEC61340-5-1. Но на многих предприятиях проблемы, связанные с электростатическим разрядом, остаются. Используемые напольные покрытия в сочетании с обувью обеспечивают общее напряжение на теле оператора выше 600 В и стекание заряда в течение продолжительного времени. Рассмотрим различные системы эпоксидных напольных покрытий и обуви, рассеивающие статические заряды.

ВВЕДЕНИЕ

Для многих людей электростатический разряд ассоциируется с ударом тока, который испытывает человек, когда дотрагивается до металлической ручки двери после хождения по ковровому покрытию или после длительного сидения в машине. Однако электростатика вызывает и серьезные промышленные проблемы. С увеличением плотности монтажа компонентов на печатной плате наблюдается тенденция к миниатюризации их размеров и, соответственно, к усилению их чувствительности к электростатическому разряду.

Несмотря на повышенное внимание к проблеме электростатики в последние годы, электростатический разряд (ESD) по-прежнему оказывает большое влияние на выход годных изделий, стоимость, качество продукции, надежность и конечную прибыль. Промышленные эксперты оценивают ежегодную потерю денежных средств из-за ESD до 8 млрд. долл. Доля ежегодных потерь изделий оценивается в 8–33% от объема выпуска. Цена поврежденного компонента на плате колеблется от нескольких центов (диод) до нескольких сотен долларов (гибридная микросхема).

Проблемам защиты от воздействия статического заряда посвящено множество публикаций. Статическое электричество определяется как электрический заряд, появившийся в результате дисбаланса электронов на поверхности материалов. Такой дисбаланс приводит к возникновению электростатических полей, которые можно измерить и которые могут оказать влияние на удаленные объекты. А это вызывает электростатический разряд – обмен зарядами между телами с различными электрическими потенциалами.

Чем же опасен ESD? Во-первых, он приводит к полному или частичному испарению материала проводника с полупроводниковой подложки, что вызывает изменение электрических характеристик устройства, ухудшает его работу или даже разрушает его. Большую



М.Андрющенко
 techno@elserv.ru
 amv@elserv.ru

опасность представляют так называемые скрытые дефекты, приводящие к деградации характеристик всей сборки. Эти дефекты не всегда регистрируются при выходном контроле и проявляются только на стадии эксплуатации. Другие проблемы, связанные с электростатическим зарядом, касаются чистых комнат. Заряженные поверхности могут притягивать и накапливать загрязнения, затрудняя их удаление. При обработке кремневой подложки или рисунка схемы частицы пыли вызывают дефекты и снижают выход годных изделий.

ЗАЩИТА ОТ ESD

Для организации системы защиты рабочих мест от статики персонал заземляется через рабочие поверхности стола и стула и через браслет заземления. При этом оператор должен быть одет в специальную одежду с проводящими волокнами. Если персонал работает стоя или часто передвигается по производственному помещению, наилучший вариант заземления – создание системы напольного покрытия в сочетании с обувью, рассеивающей заряд. И сегодня все больше поставщиков и производителей изделий электроники используют систему пол/обувь в качестве основного способа заземления.

Остановимся подробнее на заземлении через напольное покрытие в сочетании с обувью. Большинство российских производителей электронных модулей ориентируются на дешевую некачественную продукцию азиатских производителей. Это связано главным образом с несерьезным отношением к важности проблемы защиты от статического электричества и недальновидностью многих руководителей. Прежде всего, нужно руководствоваться мудростью "мы недостаточно богаты, чтобы покупать дешевые вещи", тем более что излишняя экономия ведет к последующим дополнительным расходам для решения назревших проблем.

Существует заблуждение, что обувь из натуральной кожи на резиновой подошве – уже антистатическая. Это неправильно. Для качественной антистатической обуви действительно используется натуральная кожа, нубук, пробковое дерево и резина. Применяются и специальные материалы, обеспечивающие соответствие свойств тупфел, ботинок, сабо требованиям, регламентируемым стандартом IEC 61340-5-1, согласно которым сопротивление обуви на ноге



Рис. 1. Антистатическая обувь компании Wolfgang Warmbier

не должно превышать 35 МОм. Примером качественной антистатической обуви могут служить некоторые модели компании Wolfgang Warmbier (Германия) (рис. 1). Кроме того, су-

существует специальная обувь с защитными пластинами над пальцами, предназначенная для складских работников, вероятность повреждения ступней которых велика (рис.2).



Рис.2. Защитная антистатическая обувь

Определимся, какие же полы можно классифицировать как пригодные к использованию в антистатическом помещении (EPA). В соответствии со стандартом IEC 61340-5-1, промышленные полы подразделяются на проводящие (ECF) с $R_G \leq 10^6$ Ом; рассеивающие статический заряд (DIF) с $10^6 \leq R_G \leq 10^9$ Ом и "антистатические" (ASF), при перемещении по которым напряжение на теле персонала не превышает 2 кВ. Промышленные полы могут быть наливными, т.е. наноситься на основу (бетон, дерево, резина, пластик), либо укладываться как новая система. Современное качественное напольное покрытие представляет собой двухслойный линолеум, верхний слой которого – рассеивающий, а нижний – проводящий. Такие полы не требуют нанесения металлической сетки перед укладкой и заземления по всему периметру помещения. Их можно не приклеивать, т.е. они позволяют обойтись без специального проводящего клея, что делает их незаменимыми при реконструкции EPA. Фрагменты покрытия соединяются с помощью медных полос длиной 15 см, укладываемых перпендикулярно стыку и, как правило, поставляемых в комплекте с рулоном линолеума. Наливные полы на основе ПВХ-линолеума поставляются на российский рынок компанией Wolfgang Warmbier. Причем линолеум имеет два типоразмера: Duo-2.0 ПВХ – двухслойное покрытие с сопротивлением по отношению к земле $R_G = 10^6 - 10^8$ Ом и Mega-4.0 – каучуковое покрытие толщиной 4,0 мм, достаточно тяжелое для того, чтобы использовать его без приклеивания.

Проводящие эпоксидные полы широко используются в Европе и успешно внедряются на российский рынок, но у них есть существенный недостаток. В отличие от ПВХ-покрытий фирмы Warmbier, изготовленных из материала с сетчатой проводящей структурой, позволяющей рассеивать статический заряд по всей своей поверхности и объему, в диэлектрической основе структуры многих эпоксидных полов содержатся специальные проводящие включения, не связанные между собой. При измерении поверхностного сопротивления такие полы отвечают требованиям стандарта. Но на практике из-за высокого напряжения на теле персонала (600 В) и продолжительного времени стекания заряда проблемы, связанные с электростатическими разрядами, остаются. В чем причины этого явления?

Низкие значения сопротивления заземления и сопротивления между двумя точками с одной стороны и относительно высокое напряжение на теле персонала с другой предполагают, что стандартный проводящий полиуретановый (PU) материал подошвы предлагаемой на рынке обуви в процессе отделения ступни от поверхности пола генерирует большие электрические заряды. Сопротивление заземления полов ($R_G < 10^9$ Ом*) и обуви ($R_G < 10^8$ Ом) – достаточны для стекания зарядов с оператора в течение рабочей смены при его стандартном, т.е. неподвижном, положении (стоя). IEC 61340-5-1 не регламентирует значения напряжения на теле персонала при ходьбе, и большинство компаний оценивают качество полов, исходя только из сопротивления заземления пола. Это не совсем корректно, поскольку при работе человек не может стоять неподвижно. Измерение заряда оператора при ходьбе с помощью

специального прибора WT5000 производства компании Warmbier (рис.3), одновременно с измерением сопротивления пола между двумя точками позволяет судить о генерируемом системой пол/обувь заряде и дает исчерпывающую информацию о качестве системы заземления.

Компания Wolfgang Warmbier исследовала различные сочетания эпоксидных полов и антистатической обуви, для чего были изготовлены лабораторные образцы обуви из PU-материала большой проводимости и измерены их характеристики. Система пол/обувь оценивалась при ходьбе. Продолжительность стека-

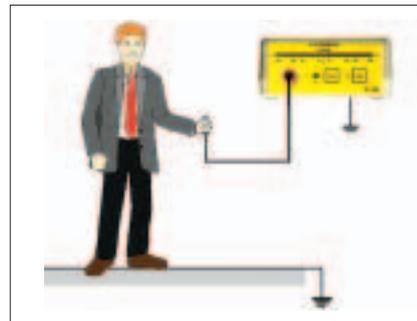


Рис.3. Тест на качество заземления с помощью прибора WT5000 при ходьбе персонала по напольному покрытию в EPA

ния заряда измерялась при остановке человека. Время прикосновения человека к компоненту оценивается в 0,3 с [1]. Это время изменения напряжения от значения, замеренного на теле человека в момент остановки, до 100 В – максимально допустимого напряжения на теле персонала в антистатическом помещении.

ТЕСТИРОВАНИЕ

Тестирование проводилось с использованием омметра для измерения сопротивления при значениях напряжения 10 и 100 В и двух электродов, соответствующих стандарту ANSI/EOS/ESD S4.1-1990, массой 2,25 кг каждый для измерения сопротивления между двумя точками. Поверхностное сопротивление пола регистрировалось с помощью концентрического электрода 850 модели, соответствующего стандарту ANSI/EOS/ESD S4.1-1993, с проводящей кремниевой подошвой. Через адаптер к ноутбуку подключался измерительный прибор WT 5000 ESD на диапазон входного полного сопротивления до более 100 ГОм в диапазоне напряжений 0–5 кВ.

Тестировались следующие образцы проводящих и рассеивающих эпоксидных и ПВХ-полов:

- материал А: трехслойный проводящий эпоксидный материал толщиной 2 мм с уплотняющим слоем, покрытым проводящим слоем с графитовыми включениями. Самовыравнивающийся верхний слой содержит проводящие волокна. Имеет точку заземления. Размер образца 500x800 мм;
- материал В: такой же, как и материал А, но с более длинными проводящими волокнами. Имеет точку заземления. Размер образца 500x800 мм;
- материал С: проводящий резиновый материал с графитовыми включениями толщиной 2,5 мм. Крепится с помощью проводящего клея к проводящей пластине. Имеет точку заземления. Размер образца 600x1200 мм;
- материал D: рассеивающий резиновый материал толщиной 2 мм. Крепится, как и образец С, с помощью проводящего клея. Размер образца 600x1200 мм;
- материал Е: материал ПВХ с графитовыми и проводящими ПВХ-включениями толщиной 2 мм. Крепится, как и образец С, с помощью проводящего клея. Размер образца 600x1200 мм;
- материал F: материал ПВХ толщиной 2 мм с графитовыми включениями и статическими рассеивающими ПВХ-чешуйками. Крепится, как и образец С, с помощью проводящего клея. Размер образца 600x1200 мм;

*В соответствии с новым международным стандартом IEC 61340-5-1 сопротивление заземления напольного покрытия должно быть менее 1 МОм.

• материал G: материал толщиной 3,8 мм с рассеивающими частицами, проводящими волокнами и статически рассеивающей ПВХ основой. Крепится, как и образец С, с помощью проводящего клея. Размер образца 450х900 мм.

Испытывались следующие образцы обуви:

- проводящие сандалии с полиуретановой черной подошвой (образец 1);
- мужские туфли с полиуретановой черной подошвой (образец 2);
- проводящие сандалии с полиуретановой черной подошвой (образец 3);
- проводящие сандалии с полиуретановой белой подошвой (образец 4);
- такие же, как образец 3, туфли с дополнительной 3-мм полиуретановой черной проводящей подошвой, прикрепленной к оригинальной подошве проводящим клеем. Размер лабораторного образца полиуретанового материала – 152х152 мм, поверхностное сопротивление – 45 кОм, сопротивление материала по отношению к металлической пластине – 7,5 кОм, твердость – 75 Shore A*.

Все измерения проводились в лабораторных условиях при температуре 19–23°C и относительной влажности 22–40%. В ходе первого теста при напряжении 100 В измерялось сопротивление человека в обуви по отношению к металлической пластине. В ходе второго теста при том же напряжении измерялось сопротивление стоящего на полу человека в обуви. Третий тест проводился для определения сопротивления между двумя точками напольного покрытия при напряжении 100 В. Во время четвертого при том же напряжении измерялось сопротивление напольного покрытия по отношению к земле. Тест пятый проводился для определения среднего напряжения на человеке при ходьбе. Время стекания заряда при изменении напряжения от его значения при остановке человека до 100 В измерялось в ходе шестого теста. Результаты измерений приведены в таблице.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТА

Как видно из таблицы, хуже всего проявили себя при работе в системе пол/обувь образцы эпоксидных полов А и В. Очень высокое значение напряжения на человеке при ходьбе и продолжительное время стекания заряда не позволяют использовать такие напольные покрытия в защищаемой от статического электричества зоне. Полученные результаты связаны с неоднородным распределением проводящих волокон в диэлектрической основе пола. При раздельном измерении характеристики материала пола отвечают требованиям стандартов, но при ходьбе персонала обувь может соприкасаться с областями без проводящих волокон или изолированных проводящих включений, что препятствует стеканию заряда и приводит к его накоплению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эпоксидные проводящие полы широко применяются в европейской электронной промышленности. Как правило, они обладают хорошими механическими характеристиками, доступны по цене и имеют эстетичный внешний вид. Однако обеспечить однородность распределения проводящих волокон в верхнем слое покрытия очень трудно. Зависит она от материала, но большое влияние оказывают и качество, и способ укладки полов. Применение длинных проводящих волокон для лучшего контакта и соединение более коротких ухудшает внешний вид пола, а улучшения характеристик материала

Результаты тестирования различных сочетаний эпоксидных полов и антистатической обуви

Характеристика системы	№ теста				
	1	2	3	4	5
Твердость подошвы, Shore A	65	41	46	52	75
Сопротивление обуви по отношению к металлической пластине, МОм	2,8	4,5	2,6	3,1	5,6
<i>Материал А: RG = 40–100 кОм, сопротивление между двумя точками – 0,2–0,4 МОм</i>					
Сопротивление человека в обуви по отношению к металлической пластине, ГОм	1,5	9,5	8,4	5,5	0,012
Среднее напряжение при ходьбе, В	-300	-400	-200	-300	-30
Время стекания заряда при изменении напряжения от значения при остановке до 100 В, с	1,1	17,1	0,5	1,2	<0,3
<i>Материал В: RG = 80–100 кОм, сопротивление между двумя точками – 100–200 кОм</i>					
Сопротивление человека в обуви по отношению к металлической пластине, ГОм	1,7	4,5	3,7	6,2	0,011
Среднее напряжение при ходьбе, В	-150	-220	-240	-260	-25
Время стекания заряда при изменении напряжения от значения при остановке до 100 В, с	<0,3	1,0	<0,3	<0,3	<0,3
<i>Материал С: RG = 20–25 кОм, сопротивление между двумя точками – 20–22 кОм</i>					
Сопротивление человека в обуви по отношению к металлической пластине, МОм	6,8	17,4	4,8 м	8,4	7
Среднее напряжение при ходьбе, В	<10	<10	<10	<10	<10
Время стекания заряда при изменении напряжения от значения при остановке до 100 В, с	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
<i>Материал D: RG = 30–35 кОм, сопротивление между двумя точками – 70–78 МОм</i>					
Сопротивление человека в обуви по отношению к металлической пластине, МОм	15	16	19	17	18
Среднее напряжение при ходьбе, В	20	25	15	10	<10
Время стекания заряда при изменении напряжения от значения при остановке до 100 В, с	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
<i>Материал E: RG = 0,8–1,4 МОм, сопротивление между двумя точками – 4–6 МОм</i>					
Сопротивление человека в обуви по отношению к металлической пластине, МОм	7,4	22	5,9	11	10
Среднее напряжение при ходьбе, В	40	50	30	30	15
Время стекания заряда при изменении напряжения от значения при остановке до 100 В, с	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
<i>Материал F: RG = 8–13 МОм, сопротивление между двумя точками – 31–41 МОм</i>					
Сопротивление человека в обуви по отношению к металлической пластине, МОм	12	28	8,8	14	15
Среднее напряжение при ходьбе, В	30	40	25	20	10
Время стекания заряда при изменении напряжения от значения при остановке до 100 В, с	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
<i>Материал G: RG = 6–8 Мом, сопротивление между двумя точками – 18–22 МОм</i>					
Сопротивление человека в обуви по отношению к металлической пластине, МОм	6,2	18	4,1	10	5,8
Среднее напряжение при ходьбе, В	<10	<10	<10	<10	<10
Время стекания заряда при изменении напряжения от значения при остановке до 100 В, с	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

не обеспечивает. Работа в обуви из материала с высокой проводимостью может способствовать улучшению электрических свойств, но при этом необходимо помнить, что минимальное значение сопротивления заземления человека в обуви должно составлять 50 кОм. Проблемы не могут быть решены без тестирования при ходьбе – важным, по своей функциональности, методом определения характеристик системы пол/обувь.

Reinhold Gaertner, K. Helling, G. Biermann et al. Siemens AG ; Grounding Personnel via the Floor/Footwear System.– EOS/ESD symposium 1997, Santa Clara, USA.

Meir Golane. Investigating the Performance of Conductive Thick Epoxy Floors, 1997.

International Electrotechnical Commission, IEC 61340-5-1. Электростатика. Часть 5-1: Защита электронных приборов от электростатических явлений – основные рекомендации, 1998–12.

* Shore A – единица измерения твердости эластичных материалов.