

необходимого количества кратеров, предметный столик приводится во вращение таким образом, что в область взаимодействия вводится новый образец, а предыдущий перемещается в зону измерения оптических характеристик. В области измерения перед стеклом расположен полупроводниковый лазер красного цвета свечения мощностью 20 мВт, сфокусированный луч которого рассеивается на микродефектах и регистрируется с помощью ПЗС, расположенных за образцом. После обработки информации восстанавливается индикатриса рассеяния, по которой с помощью численного решения уравнения МИ определится распределение характерных размеров кратеров на поверхности стекла. По полученной зависимости можно уточнить взаимосвязь между размерами частицы и образованного ей кратера. Пример такой зависимости указан в [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе эксперимента данные по воздействию потока частиц на поверхность оптического стекла показали, что реальная площадь повреждения образца существенно превышает расчетную за счет появления микротрещин на поверхности стекла. Под воздействием потока микрометеороидов с аналогичным законом распределения частиц по массам и скоростям относительная площадь повреждения поверхности может достигать 1,5 % в год. Так как у современных КА расчетный срок службы более 10 – 15 лет, накопленный ущерб от потока микрометеороидов может привести к снижению качества решаемых информационных задач.

Список использованных источников

1. Семкин, Н.Д., Линейный ускоритель для моделирования микрометеоритов [Текст]/Н.Д. Семкин, А.В. Пияков, К.Е. Воронов, Н.Л. Богоявленский, Д.В. Горюнов//Приборы и техника эксперимента. – 2007. - №2. – С. 140-147.
2. Калаев, М.П. Определение параметров кратеров на поверхности стекла методом малоугловой индикатрисы [Текст]/М.П. Калаев, Н.Д. Семкин, К.Е. Воронов// Приборы и техника эксперимента. – 2011. - №3. – С. 143-148.

УДК 621.382

АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ

С.В. Андросов, А.П. Быков
Самарский университет, г. Самара

Для современных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) характерно повышение энергопотребления модуля целевой аппаратуры (МЦА) и модуля служебных систем (МСС) до значений выше 10кВт. В связи с чем необходимо переходить к высоковольтным системам электроснабжения (СЭС) с рабочими

напряжениями более 100 В (в настоящее время стандартным рабочим напряжением СЭС считается 27 – 28,5 В). Переход для КА ДЗЗ с напряжения 27 В на напряжение 100 В и более позволяет существенно (на десятки процентов) уменьшить массо-габаритные характеристики бортовой кабельной сети (БКС), а также приборов МСС и МЦА.

При этом остро встает вопрос защиты РЭА от воздействия электростатических разрядов, в частности от образования дугового разряда. В аппаратуре, используемой в МЦА КА ДЗЗ, устанавливаются электрорадиоизделия (ЭРИ) иностранного производства, производители которых выполняют требования RoHS в части исключения из числа покрытий выводов свинца. При этом пайка таких ЭРИ производится свинцово-оловянным припоем. Основной проблемой при этом является риск возникновения нитевидных кристаллов (НК) или по-другому - оловянных «усов». Скорость роста НК обычно лежит в пределах $0,01 \div 0,5$ нм/с, но при некоторых условиях (после выдержки при температуре до 150°C в кислородосодержащей атмосфере с последующим охлаждением) скорость роста может достигать (в случае чистого олова) 50 нм/с. Но даже скорость в 1 нм/с является критичной для эксплуатации РЭА, поскольку при такой скорости промежуток длиной 1 мм окажется закороченным за время менее 300 часов. При этом возникает риск инициирования дугового разряда, причем не столько из-за короткого замыкания, сколько из-за вакуумного пробоя, связанного с высокой эмиссионной способностью НК.

При рассмотрении принципа вакуумного пробоя и инициирования первичной вакуумной дуги особое внимание уделяется тройным точкам, подразумевая при этом границы раздела металл–диэлектрик, металл–вакуум и диэлектрик–вакуум. Поскольку в диэлектрике, в отличие от вакуума, поле ослаблено в ϵ раз, в тройной точке реализуется ситуация резкого скачка потенциала, что соответствует локальному усилению электрического поля. Кроме того, на границе раздела проводник может иметь острую кромку, что дополнительно усиливает электрическое поле в тройной точке. Наличие эмиссионных центров, в частности, тройных точек способно существенно понизить пробивные напряжения вплоть до 100 В.

Разность потенциалов 100 В на миллиметровых и субмиллиметровых промежутках является аномально низкой для инициирования первичной дуги, однако такое напряжение оказывается высоким для зажигания вторичной дуги, являющейся следствием какого-либо локального высокоэнергетического воздействия, превышающего порог инициирования дуги. Это связано с тем, что катодное падение потенциала, необходимое для поддержания дуги на минимальном энергетическом уровне, составляет порядка 20 В, что много ниже уровня рабочих напряжений диапазона 100 В. При этом наиболее значимым процессом в инициировании вторичной дуги является собственная эмиссионная активность поверхности, находящейся под отрицательным относительно плазмы (окружающей КА ДЗЗ на

околоземной орбите) потенциалом. В отличие от первичной дуги, под плазмой образуется катодный слой, толщина которого L_{sh} вычисляется как

$$L_{sh} \approx 0.8 \cdot L_D \cdot \left(\frac{eU}{kT_e} \right)^{\frac{3}{4}}, \quad (1)$$

где длина Дебая L_D , соответственно,

$$L_D = \sqrt{\frac{\varepsilon_0 k T_e}{n_e e^2}}. \quad (2)$$

При температуре электронной компоненты плазмы первичной дуги 3эВ и концентрации на некотором удалении 10^{12} см^{-3} напряжённость электрического поля при напряжении 100 В составит величину около 10^4 В/см , что требует для пробоя наличия эмиссионного центра с $\beta > 1000$.

Инициирование вторичной самоподдерживающейся дуги происходит с высокой вероятностью при разности потенциалов между шинами на уровне 100 В и ограничении тока на уровне, превосходящем пороговый ток, даже в условиях очень редкой плазмы с концентрациями порядка 10^6 см^{-3} , что соответствует плазменному окружению КА на низких орбитах.

Учитывая все вышеизложенное, существует два направления решения вопроса: сокращение вероятности возникновения механизмов зарождения и роста НК и защита ЭРИ от возможности возникновения дугового разряда путем увеличения сопротивления изоляции. Существует также радикальное решение проблемы дугообразования, предлагающее полный отказ от напряжений свыше 50 В, однако это является шагом назад в развитии современных КА ДЗЗ и не может рассматриваться всерьез.

Если возникновение НК неразрывно связано с использованием компонентов, изготовленных в соответствии RoHS, на что в современных реалиях повлиять практически невозможно из-за большого количества запретов на импорт в нашу страну ЭРИ классов «military» и «space», то подбор необходимого защитного покрытия является, на сегодняшний день, одним из ключевых решений.

Традиционной защитой современной аппаратуры МЦА и МСС (с напряжением питания 27В) является покрытие лаком УР-231, либо полное отсутствие таковой (герметизация прибора). Особенностью лакового покрытия является наличие внутренних напряжений и, как следствие, растрескивание, так как осаждение происходит из жидкой фазы и для формирования покрытия требуется повышенная температура отверждения. При длительной эксплуатации (более 5 лет) УР-231 не обеспечивает должную защиту ЭРИ. Наиболее перспективным методом защиты, а, учитывая переход на питание свыше 100В, и одним из единственных является пленка поли-пара-ксилилена.

Наиболее хорошо изученными и нашедшими широкое промышленное применение являются поли-п-ксилиленовые покрытия, получаемые методом вакуум-пиролитической полимеризации цикло-ди-п-ксилиленов

(пара-циклофанов), состоящим в получении при пиролизе определенных реакционноспособных промежуточных соединений, “конденсация” (адсорбция) которых на подложке приводит к образованию полимерных материалов. Покрытия, получаемые вакуумным осаждением, имеют существенное отличие по структуре и свойствам от покрытий, формируемых из жидких сред, и реализуют свои защитные свойства при значительно меньших толщинах. Поли-п-ксилилен характеризуется высоким объемным электрическим сопротивлением, высокой электрической прочностью, низким значением диэлектрических потерь, малым изменением диэлектрической проницаемости с частотой. Эти свойства делают поли-п-ксилилен отличным диэлектрическим и изоляционным материалом в условиях повышенной температуры и влажности. Электрические свойства поли-п-ксилиленовых пленок мало зависят от их толщины, скорости их образования и температуры подложки. Выдержка пленок на воздухе при высоких температурах также мало влияет на электрические свойства пленок.

УДК 621.382

МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ ПЛЕНОЧНОГО ПРОВОДНИКА

С.В. Андросов, А.П. Быков
Самарский университет, г. Самара

Проникновение влаги в герметизированный корпус, адсорбция ее на поверхности металлизации через поры и трещины в защитных покрытиях, а также наличие ионных загрязнений на поверхности кристалла способствуют возникновению коррозии металлизации, носящей, как правило, электрохимический характер. При достижении относительной влажности внутри корпуса около $\varphi = 60\%$ создаются благоприятные условия для адсорбирования на поверхности кристалла достаточного количества влаги, обеспечивающего высокую электролитическую проводимость.

Наиболее опасными для алюминия являются ионы натрия, калия и хлора. Из-за амфотерности алюминий может корродировать как в кислой, так и в щелочной среде. Как правило, в большей степени подвергаются коррозии металлические электроды, находящиеся под отрицательным потенциалом (катодная коррозия). Они разрушаются под действием положительно заряженных ионов. Такому же воздействию подвергаются положительно заряженные электроды, взаимодействуя с отрицательными ионами. Однако скорость коррозии положительно заряженных участков ниже, так как на них одновременно с коррозией идет активный процесс образования слоя окиси алюминия, препятствующий дальнейшему его разрушению. При наличии на поверхности кристалла ионов хлора коррозия положительных участков