54-я международная Тулиновская конференция

 ПО ФИЗИКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С КРИСТАЛЛАМИ

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОКРЫТИЯ ITO

ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПОТОКОМ КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

CHANGES IN THE ELECTRICAL CONDUCTIVITE OF ITO COATINGS BY OXYGEN PLASMA IRRADIATION

П.Н. Черник, Л.С. Новиков, Л.А. Жиляков

НИИЯФ МГУ, Ленинские горы 1, Москва, Россия,vlachernik@yandex.ru

Оксид индия–олова (ITO) широко используется для изготовления прозрачных электропроводных электродов для различных оптоэлектронных устройств. В космической технике ITO применяется в качестве электропроводных слоев диэлектрических терморегулирующих покрытий и защитных стекол фотоэлектрических солнечных батарей. Электропроводный наружный слой из ITO предотвращает дифференциальную поверхностную электризацию диэлектрических участков внешних поверхностей КА под воздействием потоков заряженных частиц при полете в ионосфере Земли. Для этого ITO покрытие должно обладать достаточной электропроводностью и сохранять ее при воздействии факторов космического пространства (ФКП) в течении длительного срока полета. Одним из основных ФКП на низких околоземных орбитах, разрушающих многие материалы, является набегающий поток атомарного кислорода (АК). Под действием АК, обладающего энергией 5 эВ, происходят окислительные процессы в материалах, приводящие к деградации их свойств и уносу массы. В ITO электропроводность обусловлена его полупроводниковыми свойствами, которые зависят от наличия донорных вакансий кислорода в кристаллическая решетке In2O3 , которая не является идеальной. Известно, что избыток кислорода в процессе получения пленок ITO может приводить к снижению электропроводности вплоть до диэлектрического состояния. Представляет интерес исследование влияния на электропроводность уже нанесенного на подложку слоя полупроводникового ITO бомбардировки потоком активного окислителя -быстрого АК в условиях имитации полета на низкой околоземной орбите.

В данной работе для изучения влияния потока АК на покрытия ИТО проводилось экспериментальное моделирование этого воздействия потоком кислородной плазмы, содержащего атомарные ионы и атомы. Эффект воздействия имитационного потока на образец количественно оценивается величиной эквивалентного флюенса АК, определенного по потерям массы полиимидного образца-свидетеля в предположении его коэффициента эрозии Y=4,4\*10-24г/атом О на скорости 8 км/с. Этот метод каптонового (полиимидного) эквивалента является общепринятым в мировой практике имитационных испытаний материалов космических аппаратов и регламентируется международным стандартом .

Объектом исследований являются образцы размером 20х20 мм с токопроводящим покрытием типа ITO двух типов: из стекла К 208 толщиной 170 мкм и образцы из полиимидной пленки толщиной 25 мкм . Обратная сторона образцов металлизирована серебром на стекле и алюминием на полиимиде

Для контроля эквивалентного флюенса использованы образцы-свидетели из полиимидной металлизированной с обратной стороны пленки ПМ-ОА толщиной 50 мкм.

Облучение образцов проводилось на установке К-2М, предназначенной для испытаний материалов и изделий в потоках плазмы атомарного кислорода. Установка состоит из плазменного ускорителя с блоком электропитания и системой подачи газов: плазмообразующего кислорода и аргона для защиты полого термоэмиссионного катода. Плазменный ускоритель размещен в вакуумной камере, откачиваемой до давления (1-4) 10 -2 Па криогенными высоковакуумными насосами SpacetorrSuzukiShokan (Japan) типа SA 16 и SA 4 с быстротой действия по азоту 5 м3 с-1 и 0,3 м3 с-1 соответственно. Поток плазмыатомарного кислорода (АК) поступална плоский держатель с приклеенными теплопроводной пастой КТП-8 испытываемыми образцами.

Эксперименты проводились в двух различных конфигурациях плазменногоускорителя (ПУ). В базовой конфигурации (ПУ) разрядное напряжение подавалось между заземленным катодом и анодом ускорителя. Поток плазмы выходил в вакуумную камеру и ускорялся падением потенциала в расходящемся магнитном поле до энергии в диапазоне 10-50 эВ со среднемассовой энергией 20-30 эВ. Энергетическое распределение ионов показано на рис.1.

Для снижения энергии частиц кислородной плазмы использовалась модифицированная конфигурация ускорителя с прямым разрядом (далее ПР). На образцы направлялся поток ионов и нейтральных частиц, выходящих радиально из положительного столба плазмы прямого разряда в продольном магнитном поле. Для формирования прямого разряда конфигурация ПУ изменялась. В поток плазмы, выходящий из основного анода, устанавливался дополнительный анод, электрически соединенный с основным. Аноды соединялись с корпусом камеры через балластный реостат. Разрядное напряжение подавалось между катодом отрицательным полюсом и корпусом камеры положительным полюсом. На выходе ускорителя формировался прямой дуговой разряд, анод и положительный столб которого обладал низким потенциалом относительно корпуса камеры. Потенциал анодов относительно корпуса поддерживался на уровне 4-9 В. В этом варианте энергия радиально выходящих частиц плазмы не превышала 8 эВ при среднемассовой энергии 2-3 эВ. Энергетическое распределение ионной компоненты измерялось трехсеточным анализатором тормозящего поля и приведено на рис.2. .Для контроля эквивалентного флюенса АК рядом с образцами размещался образец-свидетель из полиимидной пленки. Испытываемые образцы, образцы –свидетели и энергоанализатор размещались параллельно потоку плазмы на расстоянии 100 мм от оси разряда на цилиндрическом лержателе.

 Облучение проводилось несколькими циклами для исследования кинетики изменения сопротивления образцов. Для контроля температуры к пробному образцу подклеивался терморезистор. По данным измерений температура образцов в процессе облучения не превышала 120 С. Измерение потери толщины полиимидных образцов-свидетелей проводилось микрометрической головкой с ценой деления 1 мкм. типа 1ИГ. Оценка электрического поверхностного сопротивления квадратных образцов производилась путем измерения тока при наложении на образец плоских электродов из алюминиевой фольги с приложенной разностью потенциалов 30 -100В для снижения влияния на результат нелинейных эффектов контакта полупроводникового покрытия с Al электродами. Электроды прижимались к краям образца через слой мягкой резины. Измерения проводились универсальным вольтметром типа В7-21А.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первоначально облучение проводилось в конфигурации ПУ. После облучения полиимидного образца при эквивалентном флюенсе АК 5 10 20 см-2 наблюдалось увеличение сопротивления выше предела измерения 100 Мом. Слой ITO при этом флюенсе АК сохранился нераспыленным, на что указывало отсутствие на образце следов эрозии полиимидной подложки. Тот же эффект наблюдался при облучении образца К208 при эквивалентном флюенсе АК 0,5 10 20 см-2.

Исследования проводящего покрытия на полиимидной пленке образца ПМ было продолжено в конфигурации ПУ при малых флюенсах АК. Измерения сопротивления проводились без выноса образца. Результаты приведены на рис.3. Как видим исходное сопротивление 10 ком на квадрат увеличилось при флюенсе АК 2,0 1020см-2 до 14 Мом на квадрат.

Для стеклянных образцовдальнейшие исследования проводились в конфигурации прямого разряда при постепенном увеличении эквивалентного флюенса. После каждого цикла облучения производился визуальный осмотр внешнего вида образцов, контроль электрического сопротивления.

На рис.4 приведены данные для исследований в режиме ПУ и ПР в полулогарифамическом масштабе.

Как видим, зависимость от флюенса близка к логарифмической, что не соответствует закономерности при распылительном механизме роста сопротивления из-за уноса толщины покрытия. Предположим, что увеличение сопротивления *R* вызвано снижением толщины *d* покрытия за счет его распыления с коэффициентом ***s*** по мере роста флюенса ***F***

*d=****d0***-***Fs***

Тогда относительная величина ***R/R0*** составит

***R/R0=d0/d=1/1-Fs/d0***, где индекс 0 соответствует исходному состоянию

При высоких флюенсах ***Fm*** , когда ***R/R0.***>>1 предполагаем почти полное распыление слоя и ***Fs/d0*** ~1. Приняв на рис.2 за ***Fm*** значение 90 и пронормировав флюенсы по этому значению построим предполагаемую зависимость сопротивления от флюенса для образца №2 и сравним с измеренной.

Как видим, объяснить резкий рост сопротивления распылением слоя не представляется возможным.

Таким образом при распылительном механизме сопртивление увеличивалось бы линейно с ростом флюенса, чего не наблюдается. ***R/R0***

Это означает, что эффект связан не с уменьшеним толщины покрытия, а с изменением его электрических свойств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально показано, что воздействие кислородной плазмы на покрытие ITO приводит к увеличению поверхностного электрического сопротивления на несколько порядков величины в зависимости от флюенса.

 При увеличении энергии частиц кислорода, бомбардирующих поверхность, такой же рост наблюдается при меньших флюенсах.

Анализ зависимости сопротивления пленки от эквивалентного флюенса АК показывает, что наблюдаемый эффект не связан с уменьшением толщины слоя ITO из-за его распыления.

Вероятным механизмом роста поверхностного сопротивления следует считать изменение объемных электрических свойств полупроводникового материала ITO при бомбардировке быстрыми активными атомами и ионами кислорода с гипертепловой энергией.

Рис.1

Энергетическое распределение ионов в потоке плазмы в режиме ПУ

Рис. 3. Зависимость поверхностного сопротивления от эквивалентного флюенса АК образца с покрытием ИТО на полиимидной пленке в режиме ПУ при энергии ионов 10-30 эВ

Рис.2.

Энергетическое распределение ионов в потоке плазмы в режиме ПР

Рис.4. Зависимость поверхностного сопротивления от эквивалентного флюенса АК образцов покрытия ИТО на стекле К 208 в режиме ПР при энергии 3-8 эВ. Для сравнения приведен график по данным рис. 3 для полиимидного образца.