

(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

металлизации значительно ускоряется вследствие большой проникающей способности ионов хлора сквозь тонкую пленку окиси алюминия.

Скорость коррозии существенно зависит от напряжения, подаваемого на схему. Разность потенциалов  $5B$  и более достаточна для того, чтобы возникла интенсивная коррозия. Скорость коррозии зависит также от расстояния между электродами, температуры окружающей среды и концентрации ионов примеси на поверхности кристалла. Анализ отказов, возникших в результате коррозии, показывает, что последняя возникает и развивается в первую очередь на границах зерен пленочного проводника с образованием сплошных микротрещин, приводящих к обрыву металлизации. Применение фосфорсиликатного стекла с повышенным содержанием фосфора значительно увеличивает коррозию, так как избыточный фосфор, взаимодействуя с водой, образует фосфорную кислоту, которая усиливает коррозию металлизации. Снижение весовой концентрации фосфора в фосфорсиликатном стекле, контактирующем с алюминиевой металлизацией до 5%, увеличивает среднюю наработку до отказа из-за коррозии более чем на три порядка.

Таким образом, причиной отказов на участке приработки являются дефекты. Причины возникновения дефектов – нарушение требуемого уровня качества материалов, технологического процесса и существующих требований к конструкции МСБ. Это в первую очередь относится к дефектам сборки. Дефекты кристалльного производства проявляются во времени по соответствующим механизмам отказов, в основе которых процессы диффузии, электрохимической коррозии, образование инверсных слоев и др. Дефекты (поры в окисле, загрязнение поверхности, дислокации в объеме кремния) изменяют параметры диффузионного процесса (снижается энергия активации).

Указанные причины возникновения отказов определяют их укороченное время до отказа применительно к отказам, возникающим по аналогичным механизмам, но при отсутствии дефектов. Поэтому указанные отказы можно отнести к участку приработки. Однако, дефекты, возникающие в кристалльном производстве, имеют более длительное время до наступления отказов, возникающих на участке старения.

В механизмах отказа, приводящих к короткому замыканию проводников, лежащих в разных слоях или в одном слое металлизации, общим является более низкое по отношению к обычной значению энергии активации процесса диффузии. Это обуславливает более высокий (разница шесть порядков) коэффициент диффузии Al по поверхности окисла кремния. Аналогичными механизмами образовывались короткие замыкания проводников по дефектам (дислокациям) кремния и по загрязненной поверхности кремния. Обрывы металлизации объясняются также процессами диффузии кислорода. Кислород из воздуха диффундирует через слой по границам зерен алюминиевого слоя, в результате чего на границе с Si образуется окисный диэлектрический слой,

приводящий к обрыву контакта. Указанный процесс усилен дефектом обработки пластин перед металлизацией Al. Обрыв контакта на ступеньке окисла объясняется процессом электрохимической коррозии на дефекте контакта (скорее всего повышенное содержание фосфора). Четкий механизм этого отказа отсутствует.

Опыт анализа отказов ИМС из кристалльного производства показывает, что наибольшее влияние имеют механизмы диффузии по поверхности. Таким образом, для современных СБИС можно выделить модель диффузии  $d = \alpha \cdot \sqrt{Dt}$ , где  $d$  – длина диффузии,  $\alpha$  – постоянная,  $D$  – коэффициент диффузии материала в условиях эксперимента. Время до возникновения отказа тогда можно представить как  $t = \frac{d^2}{\alpha D}$ , здесь величины  $d$  и  $D$  можно определить из модели отказа физической структуры ИМС. Так, например, при образовании короткого замыкания в результате диффузии материала обкладок пленочного конденсатора (физическая структура МДМ или МДП), величина  $d$  равна толщине диэлектрической пленки,  $D$  – коэффициент поверхностной диффузии Al по окислу, т.е. величины измеряемые или известные из справочной литературы. Дополнительные условия накладывает принятый критерий отказа. Так, в заданной модели за отказ принималось снижение  $U_{np}$  структуры менее испытательного, равного  $3 \cdot U_{раб}$ , где  $U_{раб}$  – рабочее напряжение конденсатора. Поэтому вместо пути диффузии  $d$  фиксируется снижение  $U_{np}$  до величины, равной тройному рабочему напряжению. В целом, модель отказа позволяет приблизительно определить время до его возникновения. Степень приближенности зависит от того, насколько взятые из литературы и определенные практикой данные адекватны для принятой модели отказа. Подтверждение на практике предложенного механизма требует длительного времени. Однако приведенные здесь основания с применением статистического закона и физической модели позволяют надеяться на принятое определение изменений участка приработки.

УДК 621.382

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ФАКТОРОВ НИЗКОЙ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Я.Ю. Тулаев

Самарский университет, г. Самара

Как известно, отказы классифицируются по степени влияния на работоспособность изделия как полные и неполные; по физическому характеру непосредственного проявления – на катастрофические (внезапные) и параметрические (постепенные); по связи с другими