

2. Лядова Л.Н., Скрыбина Н.В. Математическая модель для предоставления классификаторов // Межвузовский сб. науч. трудов / Математика программных систем. Пермь: Перм. ун-т 2003, С. 56-60.

3. Смирнова Г.Н. и др. Проектирование экономических информационных систем. М.: Финансы и статистика, 2002.

4. Агибалов Г.П., Скутин А.А. Математическая модель и технология разработки безопасных корпоративных информационных систем // Электронный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ» / <http://www.russiantechology.ru/151.htm>, 2001.

Лукиных Наталья Викторовна

Магистрантка кафедры математического обеспечения вычислительных систем

Пермский государственный университет, г.Пермь, Россия

Тел.: +7(342) 225-33-62

E-mail: natskr@mail.ru

УДК 621.396.6

МАКЛЮК В.В., БОЖКО Р.А., АЛЕКСЕЕВ В.Ф.,
САВОСЬКО А.Н., ЭЛЬ-ХАДАД ВЕСАМ МОХАМЕД

АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ОТКАЗЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Отказ элемента явление случайное, но причины, которые обуславливают появление отказа, связаны с вполне определенными физико-химическими процессами, наиболее активно протекающими в окрестностях различного рода дефектов в материалах. Скорость протекания физико-химических процессов определяется режимом работы изделия и внешними нагрузками (температура, давление и т.д.). Таким образом, отказ любого технического изделия, в том числе интегральной схемы (ИС), может быть определен действием взаимозависимых факторов (рис.) [2]:

- структурными несовершенствами исходных материалов изделия, обусловленных наличием примесей, дислокаций, градиентов концентраций и т.п.;
- конструктивно-технологическими дефектами процесса производства изделия;
- внешними воздействиями, определяемыми режимом работы и действием эксплуатационных нагрузок.

Анализ достаточно большого количества работ, посвященных изучению физико-химических процессов (ФХП) в твердых телах и механизмов отказов ИМС, приводит к заключению, что все множество ФХП по содержанию можно объединить в четыре основные группы:

- процессы переноса, описываемые уравнениями типа диффузионного, подразумевают процессы переноса вещества, дефектов, дислокаций, примесей;
- процессы самодиффузии и образования интерметаллических соединений;
- процессы перестройки структуры, такие как, эффект Киркендала (перемещение границы раздела двух материалов в результате диффузии);
- образование центров рекомбинации и т.п.

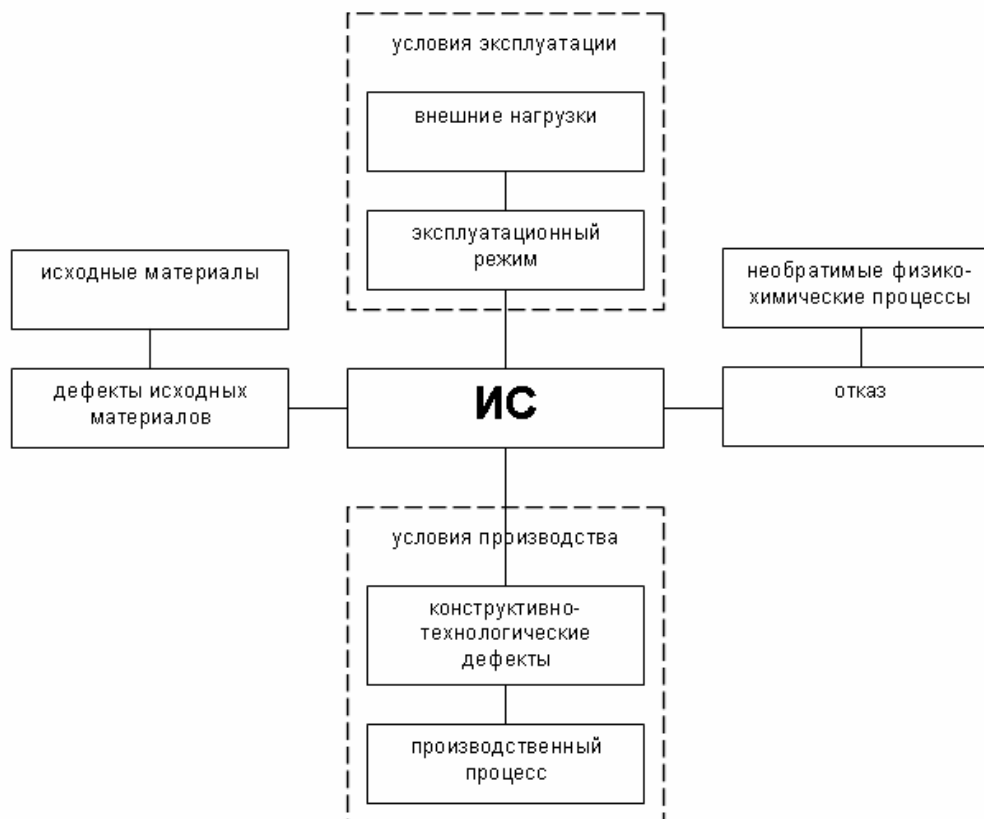


Рис. Схема взаимосвязи основных факторов, обуславливающих возникновение отказов в ИМС

Диффузия в твердом теле – явление чрезвычайно замедленное в связи с тем, что каждый атом или дефект в твердом теле окружен потенциальным полем. Поэтому количество атомов, которые могут принять участие в диффузии, зависит от энергетических характеристик самих атомов и значений энергии активации, определяющих потенциальные барьеры конкретных диффузионных процессов. С увеличением температуры, а также в электрическом поле при действии механических напряжений активность такого рода процессов сильно возрастает.

Адсорбция – явление изменения содержания данного компонента в поверхностном слое по сравнению с содержанием его во внутренних слоях. Процессы адсорбции играют существенную роль в старении приборов. Необратимый элемент химической адсорбции находит свое выражение в виде каталитических реакций на поверхности полупроводников, способствующих ее коррозии и возникновению на ней различного рода дефектов. Процесс специфичен, т.е. в большей степени зависит от адсорбирующего вещества, состояния его поверхности, вида и химических свойств газа, температуры и т.д. Процесс адсорбции – начальная стадия любой реакции на поверхности и концентрация продуктов реакции пропорциональна концентрации адсорбированных молекул.

Фазовые переходы, которые характеризуют равенство изобарных потенциалов двух существующих в равновесии фаз и скачкообразное изменение энтропии и объема при переходе вещества из одной фазы в другую, называют фазовыми переходами первого рода. Скорость фазовых превращений первого рода зависит от соотношения внешнего давления, температуры, испаряющей поверхности, скорости, с которой отводятся пары.

Процессы распада твердых растворов и процессы, связанные с ростом объемов, объединяются в одну группу, полагая одинаковыми особенности их зарождения и

протекания, поскольку возникновение новой фазы связано с образованием зародыша этой фазы в старой и с его последующим развитием.

Анализ причин выхода из строя микросхем при эксплуатации и испытаниях позволяет установить, что характерным является преобладание отказов, обусловленных как правило, разрушением некоторых элементов конструкции вследствие несовершенства отдельных технологических операций изготовления микросхем и различных нарушений требований нормативно-технической документации (НТД) на этапе их применения. Это хорошо видно из табл.1 и 2, в которых приведены обобщенные распределения по видам и причинам отказов микросхем.

Таблица 1 –Обобщенные распределения отказов микросхем по видам и причинам отказов

Вид отказа микросхем	Причина отказа микросхем	Количество отказов, %		
		среднее	минимальное	максимальное
Обрыв сварного соединения	Малая механическая прочность сварного соединения (малая прочность сварки, малая адгезия контактной площадки к подложке). Взаимная диффузия металлов и образование интерметаллических соединений в зоне сварки. Уменьшение поперечного сечения проволоки в “пятке”. Превышение допустимых уровней механических нагрузок	20	5	57
Обрыв тонкоплёночных резисторов	Механическое повреждение, подтравливание, неудовлетворительное запыление ступенек рельефа. Превышение допустимого уровня тока. Химическая и электрохимическая коррозия. Неудовлетворительное вскрытие окон под контакты.	20	3	26
Повышенные токи утечки и короткое замыкание	Загрязнение поверхности диэлектрических пассивирующих плёнок и корпуса. Загрязнения и дефекты диэлектрических плёнок. Превышение допустимого уровня напряжения (“выбросы”, статистическое электричество)	22	12	34
Отказы вследствие дефектов фотолитографии	Паразитная (“ложная”) диффузия из-за дефектов фотолитографии. Недотравливание и перетравливание окислов и металлов. Неполное удаление фоторезиста.	10	5	24

Вид отказа микросхем	Причина отказа микросхем	Количество отказов, %		
		сред- нее	мини- маль- ное	макси- маль- ное
Отказы вследствие объёмных дефектов кристалла	“Смыкания” в транзисторах с тонкой базой. Пробои в местах локальных дефектов структуры полупроводникового кристалла.	10	2	24
Отказы из-за дефектов корпуса, сборки и герметизации	Малая герметичность корпуса. Коррозия деталей корпуса. Механическое повреждение и чрезмерные натяжения гибких проволочных выводов. Малая механическая прочность и высокое тепловое сопротивление в местах “посадки” кристалла на основание корпуса. Загрязнения и инородные части в корпусе.	15	2	31
Прочие	Повреждения корпуса, маркировки	3	0	24

Таблица 2 – Виды, причины и механизмы отказов полупроводниковых ИМС

Вид отказа	Характер отказа	Механизм отказа	Дефект изготовления и причина его появления
Обрывы металлизации	Релаксационный	Электродиффузия алюминия под действием и в направлении электронного потока большой плотности (более 106 А/см ²) при повышенных температурах	Пустоты, полости у коллекторной контактной площадки биполярных п-р-п транзисторов и у стокового электрода п-канальных МДП-транзисторов
Короткое замыкание	Релаксационный	Растворение и электродиффузия кремния в алюминий в области положительного контакта, образование на поверхности кремния, граничащей с алюминием, углублений, заполнение их алюминием и замыкание нижележащего р-п-перехода при длительном прохождении тока большой плотности (более 106 А/см ² при повышенных температурах)	“Ямки-травления” на границе алюминий-кремний в области положительных по отношению к кремнию контактов алюминия

Вид отказа	Характер отказа	Механизм отказа	Дефект изготовления и причина его появления
Увеличение токов утечки, к.з., снижение пробивных напряжений	Внезапный		Поры (проколы) в окисле при загрязнении фотошаблонов, неадекватное маскирование фоторезистом отдельных участков окисла
Изменение электрических параметров	Постепенный, возможен внезапный	Рост со временем положительного заряда в окисле при адсорбции паров воды, повышенных температурах и образование инверсионных каналов обеднённых слоёв на поверхности базы транзисторов. Миграция ионов Na ⁺ , K ⁺ , Li ⁺ , H ⁺ , O ⁻	Негерметичность корпуса ИМС или повышенное остаточное содержание паров воды в корпусе ИМС. Загрязнение окисла ионами Na ⁺ , K ⁺ , Li ⁺ , H ⁺ , O ⁻
Увеличение токов утечки, к.з.	Внезапный		Микротрещины в окисле, трещины через активную область при скрайбировании, герметизация
Короткое замыкание	Внезапный		Посторонние металлические частицы внутри корпуса
Обрывы соединений	Релаксационный	Взаимная диффузия металлов при термокомпрессии и образование интерметаллических соединений. Эффект Киркендалла, приводящий к образованию пустот при повышенных температурах	
Обрывы металлизации, увеличение токов утечки, к.з.	Релаксационный	Адсорбция паров воды на поверхности ИМС, электрохимическая коррозия металлизации с образованием продуктов коррозии, или переход металла в раствор и перенос к противоположному электроду	Негерметичность корпуса ИМС или повышенное остаточное содержание паров воды в корпусе. Трещины, царапины, утончения металлизации, загрязнения

Вид отказа	Характер отказа	Механизм отказа	Дефект изготовления и причина его появления
Обрыв, увеличение обратных токов р-п-переходов, к.з.	Внезапный или релаксационный	Усталостное разрушение металлов и сплавов, накопление дефектов, образование микротрещин вследствие возникновения циклических знакопеременных внутренних напряжений при циклических изменениях температуры за счёт различий коэффициентов теплового расширения жестко сопрягаемых материалов	Дефекты конструкции. Дефекты соединений, локальные дефекты, уменьшающие сечения элемента, трещины
Обрыв	Внезапный	Электрические нагрузки	

Усовершенствование конструкции и технологии изготовления микросхем приводит к существенному повышению их надежности.

Основным источником полных отказов полупроводниковых ИМС, как видно из табл.1, является нарушение электрической цепи. Причинами обрывов электрических цепей ИМС является недостаточная прочность сварных соединений, возникновение нежелательных интерметаллических соединений в контактах разнородных материалов, механические, электрические и химические разрушения тонкопленочных металлических проводников и дефекты сборки ИМС.

Основными причинами возникновения коротких замыканий в электрических цепях ИМС являются дефекты фотолитографии и диэлектрических пленок, возникновение каналов с инверсной проводимостью, объемные дефекты кристаллической решетки полупроводникового материала, а также дефекты сборки микросхем.

Постепенные отказы выражаются главным образом в увеличении токов утечки и вызываются такими причинами, как появление каналов с инверсной проводимостью вследствие миграции подвижного заряда в окисной пленке и загрязнение поверхности полупроводникового кристалла и корпуса ИМС. При наличии подобных дефектов, а также в случае негерметичности корпуса под влиянием окружающей атмосферы, отдельные электрические параметры микросхемы могут постепенно изменять свои значения ("дрейфовать"), что в свою очередь может привести к отказу аппаратуры.

УДК 621.315.592: 537.311.322

МАКОВСКАЯ Т.И., ДАНИЛЮК А.Л.

ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ ПО СПИНУ ТОКОПЕРЕНОС В НАНОСТРУКТУРЕ Si/CAF₂

Представлена модель генерации и кинетики поляризованных по спину электронов в периодической наноструктуре Si/CaF₂. Показано, что оптимальной для