

УДК 621.396.6

АЛЕКСЕЕВ В.Ф., КОВАЛЬКОВ Д.О., ЭЛЬ-ХАДАД В.М.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ РЭС

Рассмотрено влияние, как отдельных климатических факторов, так и комплексных климатических факторов на работоспособность интегральных схем. Представлены сведения об основных физических и физико-химических процессах, протекающих в материалах ИС под влиянием ряда климатических факторов и их комплексов.

Климатические условия оказывают дестабилизирующее воздействие на интегральные схемы (ИС), а также обуславливают протекание физических и физико-химических процессов изменения структуры, свойств материалов, приводящих к деградации функциональных параметров ИС и их отказов. Сведения об основных физических и физико-химических процессах, протекающих в материалах ИС под влиянием ряда климатических факторов и их комплексов, приведены в табл.

Основные процессы в материалах

Вид климатического фактора	Основные процессы в материалах, обусловленные воздействием фактора
Повышенная температура	<p><i>Изменения электрофизических свойств материалов</i> (электропроводности, диэлектрических свойств и т.д.).</p> <p><i>Массоперенос</i> (взаимная диффузия материалов, электродиффузия). Ионизация примесей, миграция примесей по поверхности и в объеме материалов.</p> <p><i>Изменение физико-механических свойств материалов</i> (расширение, размягчение, деформация и т.д.).</p> <p><i>Химические реакции в материалах</i> (химическое разложение).</p> <p><i>Химическая коррозия металлов</i> – поверхностное разрушение металла вследствие химического взаимодействия с сухой газовой средой.</p>
Одновременное воздействие повышенной влажности и температуры	<p><i>Поглощение паров воды из атмосферы</i> поверхностью материала (адсорбция).</p> <p><i>Поглощение паров воды материалом</i> (сорбция):</p> <ul style="list-style-type: none"> • неактивированная сорбция (характерна для неорганических пористых материалов); • адсорбция на стенках открытых пор и капиллярная конденсация (заполнение водой мелких капилляров и пор на поверхности материала вследствие понижения давления паров воды над мениском в капилляре); • активированная сорбция (характерна для органических материалов); • адсорбция паров воды и перемещение молекул воды в материале в направлении уменьшения концентрации влаги в материале (диффузия паров воды) в сочетании с процессом внедрения молекул воды в межмолекулярное пространство

Информационные технологии в проектировании и производстве

	<p>материала (растворение паров воды в материале). Проникновение паров воды сквозь органический материал, разделяющий атмосферы с различными концентрациями паров воды;</p> <ul style="list-style-type: none"> • активированная сорбция паров воды материалом из атмосферы, имеющей более высокую концентрацию паров воды; • удаление паров воды с поверхности материала в атмосферу с более низкой концентрацией паров воды (десорбция). <p><i>Изменение электрофизических свойств материалов</i> (увеличение удельной объемной электропроводности, тангенса угла диэлектрических потерь диэлектриков, увеличение токов утечки по поверхности, ионизация примесей, миграция ионов примесей, инверсия заряда).</p> <p><i>Изменение физико-химических свойств материалов</i> (набухание, уменьшение механической прочности стекол за счет поверхности активного действия паров воды, уменьшение адгезии – прочности взаимного сцепления материалов).</p> <p><i>Химические реакции в материалах.</i></p> <p><i>Электрохимическая (гальваническая) коррозия металлов</i> – процесс растворения металла в присутствии ионных загрязнений в адсорбированной пленке паров воды (электролита) вследствие образования гальванических микроэлементов на поверхности металла (неоднородность структуры металла, локальные механические напряжения в металле).</p> <p><i>Электролитическая коррозия металлов</i> – процесс разрушения металлов в присутствии электролита под действием внешнего электрического поля.</p> <p><i>Контактная коррозия металлов</i> – процесс разрушения металлов в присутствии электролита вследствие образования гальванической пары при контакте металлов с различными электрохимическими потенциалами.</p>
Пониженная температура (холод)	<p><i>Изменение электрофизических свойств материалов</i> (сжатие, растрескивание кристаллов ИМ, деформация, появление хрупкости материалов).</p> <p><i>Электрохимическая коррозия металлов</i> в результате конденсации влаги (образование росы, инея).</p>
Резкие колебания температуры	<p><i>Изменения электрофизических параметров материалов.</i></p> <p><i>Деструктурирование металлических пленок.</i></p> <p><i>Появление механических напряжений</i> в местах сопряжения неоднородных материалов (кремний, окись кремния-металлизация, металл-стекло, металл-полимер и т.д.).</p>
Низкое атмосферное давление воздуха	<p><i>Изменение электрофизических свойств воздуха</i> (уменьшение плотности, уменьшение электрической прочности воздуха).</p> <p><i>Возникновение механических напряжений</i> вследствие разности давлений внутри и снаружи корпуса ИС.</p>
Одновременное воздействие	<p><i>Аналогичны процессам, имеющим место при изолированных воздействиях данных факторов.</i></p>

влажности и циклическое изменение температуры	<p><i>Возможные эффекты взаимодействия:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • конденсация паров воды на наружных поверхностях ИЭТ; • проникновение паров воды через микроканалы и неплотности в швах, соединенных вследствие создания разности давления атмосферы внутри и снаружи изделия; • аккумуляция паров воды и конденсация паров воды на внутренних поверхностях ИЭТ.
Одновременное воздействие повышенной (пониженной) температуры и пониженного атмосферного давления	<p><i>Аналогичны процессам, имеющим место при изолированных воздействиях данных факторов.</i></p> <p><i>Возможные эффекты взаимодействия:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • увеличение температуры поверхности и изменение температурного градиента теплоотсеивающих ИЭТ по сравнению со значениями, имеющими место в условиях повышенной (пониженной) температуры, вследствие уменьшения коэффициента конвекции при понижении атмосферного давления; • изменение диэлектрических свойств воздуха в зависимости от давления и температуры; • деформация или появление трещин в герметичных корпусах при пониженном атмосферном давлении вследствие изменений характеристик материалов (хрупкость, пластичность) при воздействии повышенной (пониженной) температуры.

Разработка ИС, обладающих высокой стойкостью к воздействию климатических условий, а также решение вопросов, связанных с обеспечением качества и надежности ИС, невозможны без знания климатических условий применения интегральных схем.

Под условиями применения обычно понимают комплекс условий, характерных для этапов транспортирования, хранения и эксплуатации ИС в составе радиоэлектронных средств (РЭС). Климатические условия применения ИС определяются естественными климатическими условиями, характерными для зоны эксплуатации РЭС и, в то же время существенно зависит от наличия рядом расположенных функционирующих технических объектов, назначения РЭС, способа ее размещения на объекте (на открытом воздухе, в помещении и т.д.), степени теплоотсеивания ИС и тепловыделения внутри блоков РЭС. Естественные макроклиматические условия окружающей среды принято характеризовать совокупностью факторов, определяющих физическое состояние атмосферы, и факторов, являющихся следствием физических процессов, имеющих место в атмосфере данной зоны земного шара.

К факторам, определяющим физическое состояние атмосферы, относят температуру, влажность, давление атмосферы, солнечную радиацию. К факторам, являющимся следствием физических процессов, имеющих место в атмосфере, относят атмосферные осадки (дождь, снег, росу, иней, пыль, песок и др.).

Характерной особенностью воздействия климатических факторов является комплексность их воздействия. Под комплексным воздействием в общем случае понимается одновременное и последовательное воздействие факторов. Можно выделить следующие основные комплексы климатических факторов, воздействующие на ИС в составе РЭА:

- одновременное воздействие высокой влажности и повышенной температуры (или ее колебаний), характерные для условий применения ИС в РЭС в зонах тропического климата, в трюмах и на палубах судов и т.д.;

- одновременное воздействие пониженного атмосферного давления и высокой (низкой) температуры, характерное для условий применения ИС в негерметизированных отсеках летательных аппаратов;
- последовательное воздействие повышенной влажности, циклического изменения температуры, повышенной температуры, характерное для условий применения ИС в наземной РЭС при прерывистом режиме работы в полевых условиях;
- последовательное воздействие низкой температуры и повышенной влажности, характерное для условий применения в негерметизированных отсеках летательных аппаратов (при взлете и посадке).

Комплексность воздействия климатических факторов может обуславливать появление эффектов и взаимного воздействия на ИС (эффектов взаимодействия), выражающихся в усилении (реже ослаблении) эффекта из совместного воздействия на ИС. При последовательном воздействии климатических факторов возможно появление эффекта последствия фактора (остаточных эффектов) и эффектов порядка приложенных факторов. Под эффектом последствия фактора понимается такой эффект воздействия на изделия следующего за ним фактора в сравнении с результатом воздействия последнего при его изолированном приложении. Например, при последовательном воздействии на ИС резких колебаний температуры и повышенной влажности воздуха, влияние последней может быть значительно усилено вследствие наличия остаточных изменений в конструкции и материалах ИС после воздействия резких колебаний температуры (трещин в местах сопряжений разнородных материалов, остаточных внутренних механических напряжений в материалах и т.д.). Наличие эффектов порядка воздействия факторов обуславливает различие результирующего эффекта воздействия на изделия климатических факторов при изменении порядка их следования. К примеру, результирующий эффект последовательного воздействия на ИС низкой температуры и повышенной влажности воздуха в ряде случаев (при наличии в материалах изделий крупных пор, трещин, неплотностей в местах уплотнений корпусов, соизмеримых с размерами молекулы воды) может существенно отличаться в зависимости от порядка воздействия этих факторов. Так, воздействие повышенной влажности обуславливает проникновение в указанные поры, неплотности молекул воды, которая при последующем воздействии низкой температуры замерзает, вызывая расширение пор, трещин.

Воздействие на изделия данных факторов в обратном порядке (пониженная температура, влажность) не даст такого результирующего эффекта.

Характерной особенностью длительного воздействия климатических условий на ИС является ускорение развития скрытых дефектов конструктивно-технологического характера за счет повышения скорости протекания процессов деградации в местах дефектов. Последнее приводит к ускоренной деградации параметров ИС, либо к отказу, в зависимости от локализации и величины дефекта.

В ИС при отсутствии дефектов также будут протекать деградиационные процессы, обусловленные влиянием климатических условий, но скорость их обычно столь мала, что в пределах срока службы изделий параметры изделий не будут изменяться сверх допустимых значений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев В.Ф., Журавлев В.И. Работоспособность полупроводниковых структур элементов в средствах связи. // Журнал "Известия Белорусской инженерной академии", 1997. – №1(3)/3. – С.54-56.
2. Алексеев В.Ф., Бруцкий-Стемпковский В.П., Журавлев В.И. Анализ методов испытаний устойчивости контактов ИС к воздействию дестабилизирующих факторов.//

Радиотехника и электроника: Респ. межвед. сб. научн. тр. Вып.24. – Мн.: БГУИР. 1999. – С.180-183.

3. Алексеев В.Ф., Чайчиц Н.И., Бруцкий-Стемповский В.П. Влияние уровня влажности на отказы ИМС. Международная конференция. 100-летие начала использования электромагнитных волн для передачи сообщений и зарождения радиотехники. 50-я научная сессия, посвященная дню радио, май, 1995. Тезисы докладов. Ч.1. – М.: 1995. – С.74-75.

Алексеев Виктор Федорович

Профессор кафедры радиоэлектронных средств, канд. техн. наук
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г.Минск

Тел.: (+375 17) 239-84-10

E-mail: snto@bsuir.unibel.by

Ковальков Дмитрий Олегович

Начальник проектного отдела

ООО "Пеола и М", г.Минск

Тел.: (+375 17) 239-09-94

E-mail: kafres@bsuir.unibel.by

Эль-Хадад Весам Мохаммед

Египет

Аспирант кафедры радиоэлектронных средств

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г.Минск

Тел.: (+375 17) 239-89-37

E-mail: kafres@bsuir.unibel.by