

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Струц А.М., Боровская О.О., Масловский И.С..

Цырельчук И.Н. – канд. техн. наук, доцент

Наиболее полной и удобной для практического использования формой отображения информации о процессах, приводящих к отказам изделий электронной техники (ИЭТ), является физическая модель.

Многочисленные исследования отказов полупроводников (ПП) и интегральных микросхем (ИМС) в результате деградации их электрофизических параметров под воздействием температуры показали справедливость применения уравнения Эйринга, или его упрощенный вариант – уравнение Аррениуса для описания скорости химических реакций в растворах.

При моделировании деградационных процессов в ИЭТ положения теории скоростей химических реакций часто «переносят» и на процессы в твердых телах.

Модель старения, отражающая деградацию исследуемого параметра ИЭТ, вследствие не идентифицированных механизмов связана с преодолением некоторого условного энергетического барьера, характеризуемая энергией активации (Ea). Но в этом случае он интегрально определяет весь комплекс отдельных процессов, таких как окисление, гидратация, электродиффузия, термодиффузия и т.д., которые могут иметь место в ходе старения изделия и скорости изменения (дрейфа) параметра определяется выражением:

Поскольку скорость дрейфа параметров при естественном старении мала, то для ее увеличения (и оценки других составляющих модели) целесообразно создавать условия форсированных режимов, путем повышения температуры.

В уравнение модели старения входит универсальная физическая константа - Ea , которая однозначно определяет детекторминированный процесс старения данного конкретного ИЭТ в процессе их эксплуатации. Величина энергии активации определяется, экспериментально. Значение Ea имеют значительные рассеивания. Как правило, при оценках старения ИЭТ приходится рассматривать различные процессы, ведущие к деградации характеристик. В силу различия интенсивности различных механизмов деградации приходится учитывать энергии активации каждого из них. Например, для КМОП приборов энергии активации для разных процессов, вызывающих деградацию схем, составляет:

- загрязнение поверхности кристалла 1,4 эВ
- поверхностный заряд оксидного слоя 0,5...1,0 эВ
- поляризации 0,3...0,5 эВ
- инверсия 1,02 эВ
- пурпурная чума 1,02...1,04 эВ
- дефекты окислов 0,7...1,00 эВ
- взаимное растворение металла и кремния 1,77 эВ

Диапазон энергий активации для процессов, вызывающих деградацию ИС, и тем более ИЭТ очень широк. Это указывает на большое рассеивание процессов старения.

Следует отметить, что для многих типов зарубежных ИЭТ Ea определена с точностью до сотых долей. К сожалению, имеющиеся данные невозможно использовать для отечественных аналогов вследствие разницы конструкции и технологии изготовления.

В отечественной практике такого системного определения Ea для различных типов ИЭТ не проводилось. Отдельные авторы приводят разрозненные оценки Ea различных изделий, без возможного их составления.

Исходя из уравнения Аррениуса получим время t_x , до наступления заданного количества отказов X обратно пропорционально v :

$$t_x = cA^{-1} \exp\left(\frac{Ea}{kT}\right)$$

В этом случае определяется коэффициент ускорения протекания процесса K_ϕ и Ea

$$K_\phi = \frac{t_n}{t_{уск}} = \exp\left[\frac{Ea}{k} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_{уск}}\right)\right]$$

где: $K_\phi=K_y$ - коэффициент ускорения процесса, t_n - время отказа при нормальной температуре T_n ; $t_{уск}$ - время отказа при повышенной температуре $T_{уск}$

$$Ea = \frac{k}{\frac{1}{T_H} - \frac{1}{T_{уск}}} \cdot \ln \left(\frac{t_H}{t_{уск}} \right)$$

Так для расчетов Ea исходные данные v_1 и v_2 получаются из эксперимента выполненного при температурах значительно меньших для наблюдения заметного потока параметрических отказов. По данным заметные изменения v_1 и v_2 для радиодеталей наступали при расчетных значениях вероятности параметрических отказов ИЭТ менее 10^{-4} .

В то же время для определения t необходимо добиться вероятности отказа в партии на $\sim 10\%$. При этом разница в температурах форсированных испытаний может достигать $\Delta 100^\circ\text{K}$, что может сопровождаться уже нарушением автомодельности процессов старения. В таблице представлены полученные значения

Таблица 1. Величина Ea для различных типов ИЭТ

№ ПП	Тип элемента	Номинал	Контролируемый параметр	Ea , эВ
1	Резистор постоянный металлопленочный	91 кОм	Сопротивление	
2	Резистор постоянный металлопрочный	1,5 Мом	-//-	0,34
3	Резистор переменный композиционный	47 кОм	-//-	0,51
4	Конденсатор металлопленочный	3000 пФ	Емкость	0,20
5	Конденсатор танталовый объемно-пористый	15 мкФ	-//-	0,62
6	Конденсатор оксидно-полупроводниковый	1,2 мкФ	-//-	0,43
7	Конденсатор слюдяной	120 пФ	-//-	0,80
8	Конденсатор керамический	5000 пФ	-//-	0,67
9	Диод кремниевый		Прямое напряжен.	0,34 1,3
10	Транзистор кремниевый		Кэфф. усиления	0,86
11	Согласованная пара полевых транзисторов ИС		Начальный ток, крутизна хар-к.	1,33 1,33
12	Операционный усилитель		Кэфф. усиления стабилиз. Увых .	0,67 0,95

Список использованных источников:

1. Горюнов Н. Н. Свойства полупроводниковых приборов при длительной работе и хранении / Н. Н. Горюнов. // Учебник для ВУЗов. – М.: Энергия, 1970. – 102 с.
2. Физические основы надежности интегральных схем./ Под ред. Ю.Г. Мюллера. – М.: Советское радио, 1976.- 320 с.