

Д. т. н. С. В. ЛЕНКОВ, В. В. ЗУБАРЕВ, Т. И. ЛАВРЕНОВА,
Г. Т. ТАРИЕЛАШВИЛИ, З. А. ФИШЕР

Дата поступления в редакцию
21.11 1997 г.
Оппонент д. т. н. Ю. А. ДОЛГОВ

Украина, г. Одесса, г. Киев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ И РЕЖИМОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕНИРОВОЧНЫХ ПРОГОНОВ РЭА

Приведена методика применения физико-статистических моделей отказов для определения оптимальной продолжительности и режимов технологических тренировочных прогонов РЭА.

The application procedure of physic-statistical models of failures for optimum duration and modes determination of engineering training runs of REE (radio-electronic equipment).

Как показали многочисленные исследования, в том числе проведенные авторами, к числу преобладающих причин отказов изделий электронной техники (ИЭТ) относятся [1–3]:

- разрушение структур полупроводниковых приборов из-за механических напряжений;
- деградация структур из-за диффузионных процессов;
- пробой диэлектрика из-за локального превышения допустимых значений напряженности электрического поля в области дефекта;
- разрушение пленочных проводниковых и резистивных элементов в области дефекта, приводящее к локальному превышению допустимых значений плотности тока.

Физико-статистические модели этих видов деградации и отказов ИЭТ обсуждены в [3–5]. Установлено, что в большинстве случаев динамика отказов ИЭТ адекватно описывается статистическим распределением Вейбулла. Лишь динамика отказов из-за пробоя диэлектрика подчиняется логнормальному распределению. Это позволяет обоснованно определять оптимальную продолжительность и режим технологических тренировочных прогонов (ТПП) РЭА для выявления скрытых дефектов ИЭТ.

Современный подход к решению проблемы повышения эффективности ТПП предполагает, что режимы и условия их проведения должны адаптироваться к каждому конкретному изделию, а при необходимости — к блоку, модулю, печатной плате [6]. При этом должны учитываться особенности схемы и конструкции изделия, в т. ч. и комплектующих ИЭТ и материалов, а также характеристики и условия технологических процессов их изготовления. При этом необходимо использовать данные как о характерных дефектах конкретных типов аппа-

ратуры и ИЭТ, так и о вносимых на отдельных технологических процессах изготовления.

Большинство механизмов деградации и отказов ИЭТ в составе РЭА обусловлено физико-химическими изменениями структуры материалов и устойчивым разрушением. Основным фактором, стимулирующим эти процессы, является температура окружающей среды, причем зависимость скорости основных физико-химических процессов от температуры носит экспоненциальный характер и подчиняется закону Аррениуса. Именно поэтому на технологических тренировочных прогонах РЭА и ИЭТ широко применяется воздействие повышенной температуры.

Вместе с тем любой физический или химический процесс в ИЭТ обусловлен еще и воздействием электрических зарядов, электрических полей и т. п. Интенсивность процессов при этом определяется значениями временных и пространственных градиентов концентрации различных материалов элементов конструкции, градиентов концентрации носителей заряда, градиентов электрических полей и т. п. В областях дефектов неизбежно возникают более высокие значения этих градиентов, что предопределяет ускоренную локальную деградацию и, как следствие, отказы дефектных элементов [5]. Следовательно, для эффективной отбраковки дефектных ИЭТ необходимо создать условия искусственного увеличения значений градиентов, но только в дефектных областях. Таким образом, ускорить процессы деградации дефектных элементов обычно удается путем повышения напряжения питания или мощности и температуры.

Следует отметить, что номенклатура видов воздействий при ТПП довольно ограничена, т. к. одни и те же виды воздействий достаточно эффективно выявляют различные виды дефектов. Известно, что отказы РЭА в большинстве случаев происходят в момент включения, т. к. при этом возникает временной градиент температур, а в большинстве случаев — и максимальные градиенты электрического поля и электрического заряда в элементах. Поэтому наиболее эффективно скрытые дефекты выявляются при сочетании циклирования температуры и электрической нагрузки.

Электрическую нагрузку целесообразно включать, когда элемент находится при самой низкой температуре цикла. После повышения температуры нагрев прекра-

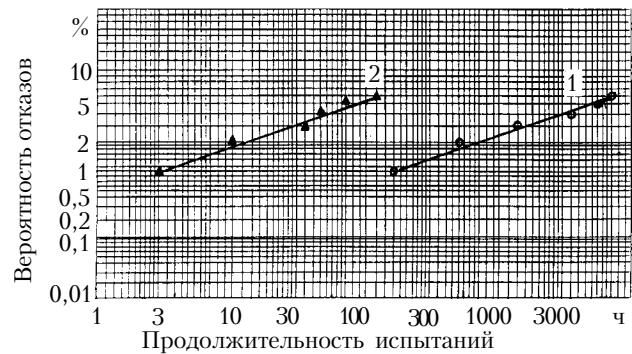
щают и элемент охлаждается некоторое время. Затем отключают электрическую нагрузку и после некоторой выдержки при минимальной температуре цикла опять включают, а затем снова повышают температуру, т. е. повторяют цикл ТТП. Как показали эксперименты, такой режим испытаний является наиболее эффективным для выявления большинства элементов со скрытыми дефектами изготовления. При этом происходит ускорение испытаний в 30–50 раз по сравнению с нормальными условиями.

На практике одной из основных является задача определения продолжительности ТТП, оптимальной по критериям выявления дефектов и затратам. На основе созданных физико-статистических моделей отказов предлагается решать эту задачу с помощью использования вероятностной сетки соответствующего распределения — Вейбулла или логнормального.

Отказ каждого элемента соответствующего типа отображается на сетке в виде точки. Если все эти точки лежат практически на прямой линии, то динамика отказов отвечает соответствующему теоретическому распределению. В этом случае легко прогнозировать момент каждого последующего отказа элементов данного типа. Если в прогнозируемый момент времени отказ не произошел, это означает, что все ИЭТ данного типа со скрытыми дефектами соответствующего вида выявлены.

Следует отметить, что только у немногих типов элементов наблюдается больше двух отказов одного вида. У большей же их части имеют место одиночные отказы. Поэтому для определения оптимальной продолжительности испытаний аппаратуры, наряду с рассмотренной выше процедурой оценки с использованием моделей, необходимо отслеживать общую (совокупную) динамику отказов путем оценки их интенсивности в каждом из установленных заранее интервалов времени в процессе испытаний. Если в каком-либо из интервалов не произошло значительного изменения интенсивности отказов по сравнению с предыдущим, то и в этом случае может быть принято решение о прекращении испытаний. В общем случае решение о прекращении испытаний должно приниматься при выполнении обоих условий.

На рисунке приведен один из наиболее характерных примеров по результатам испытаний партии полевых транзисторов 2П313Б. Основной причиной их отказов является пробой подзатворного окисла. Испытания проводились по описанной выше методике.



Динамика отказов транзисторов 2П313Б при $t=+25^{\circ}\text{C}$ (1) и $t=+85^{\circ}\text{C}$ (2) на вероятностной сетке логнормального распределения

Рисунок подтверждает адекватность модели пробоя диэлектрика логнормальному распределению и обоснованность проведения ускоренных испытаний, которые позволяют выявить практически все дефекты окисла, обуславливающие эти отказы.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ленков С. В., Зубарев В. В., Тариелашвили Г. Т. Физико-технический анализ причин отказов электро-радиоизделий в составе радиоэлектронной аппаратуры // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 1997. — № 3. — С. 31–33.
2. Некрасов М. М., Платонов В. В., Дадеко Л. И. Испытания элементов радиоэлектронной аппаратуры. Физические методы надежности. — К. : Вища школа, 1981.
3. Ленков С. В., Фишер З. А., Зубарев В. В. Анализ и экспериментальная апробация моделей отказов дефектных ИЭТ // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 1998. — № 1. — С. 12–14.
4. Зубарев В. В. Модель отказов ИЭТ с диффузионным механизмом деградации // Придніпровський науковий вісник. Сер. Машинобудування та технічні науки. — 1998. — № 14. — С. 37–41.
5. Ленков С. В., Фишер З. А., Зубарев В. В., Тариелашвили Г. Т. Физико-статистические модели отказов изделий электронной техники и их применение в задачах обеспечения надежности РЭА / Ин-т пробл. крит. технолог. и надежности радиоэлектроники. — Одесса, 1998. — Деп. в ГНТБ Украины. — № 102-Ук98.
6. Ленков С. В., Зубарев В. В., Лукомский В. Г. и др. Современные технологии обеспечения надежности радиоэлектронной аппаратуры на этапах проектирования и производства / Ин-т пробл. крит. технологий и надежности радиоэлектроники. — Одесса, 1996. — Деп. в УкрИНТЭИ. — № 254-Ук96.

ЧИТАТЕЛЬ ЗАИНТЕРЕСОВАЛСЯ

ПАЯЛЬНАЯ ПАСТА «АСТРА-6111» ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА
(Публикация в «ТКЭА», 1997, № 3, с. 54.)

Украина, 270017, г. Одесса, ул. Авиационная, 118, к. 580, НПП «Астел».
Директор Роговский Виктор Федорович. Тел. (0482) 47-77-71.