

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТИ АНОДНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В Al-Al₂O₃-СТРУКТУРАХ

Д.Л. Шиманович

Из-за существенного различия температурных коэффициентов линейного расширения алюминия и его оксида (при комнатной температуре $22,2 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$ и $7,2 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$ соответственно) возникают внутренние механические напряжения на границе фазового перехода Al-Al₂O₃ как в процессе роста анодного Al₂O₃, так и в его сформированном состоянии, что приводит при осуществлении ряда технологических операций (термоотжига, напыления пленок, травления и др.) к растрескиванию наноструктурированных пленок Al₂O₃. Поэтому весьма актуальным является вопрос улучшения термостойкости формируемых Al₂O₃-слоев для их применения в технологии создания алюмооксидных оснований для устройств и систем защиты информации.

Проведены анализ и сравнительная оценка влияния потенциала анодирования на внутренние напряжения в пористых пленках Al₂O₃, сформированных при анодировании Al-заготовок толщиной 1 мм в 5% H₂C₂O₄ и 10% H₂SO₄, которые показали, что с увеличением напряжения формовки и с ростом толщины анодного Al₂O₃ внутренние напряжения снижаются. Осуществлен ряд сравнительных экспериментов по различным электрохимическим режимам анодирования Al и по оптимизации термоударов сформированных пленок нанопористого Al₂O₃ для повышения его термостойкости. Оптимальным оказалась реализация следующих электрохимических приемов и температурных условий анодирования Al-оснований толщиной 1 мм. Предварительный термоотжиг Al проводился при температуре 400°C в течение 30 мин. Первый этап анодирования осуществлялся в 10% H₂SO₄ при постоянном потенциале 10 В в течение 40 мин при температуре 13°C с целью формирования наноструктурированного Al₂O₃ с малыми геометрическими размерами пор. Основной этап толстослойного анодирования проводился в 5% H₂C₂O₄ в гальваностатическом режиме при плотности тока 40 мА/см², а затем в потенциостатическом режиме при напряжении 120 В в течение 1 ч 30 мин при температуре 18°C. Заключительный этап анодирования осуществлялся в 10% CrO₃ в течение 10 мин при потенциале 70 В и повышенной температуре 30°C, что позволило получить эластичные слои оксидных пленок Al₂O₃, обладающих более высоким ТКЛР. Толщина сформированного Al₂O₃ составляла ~80 мкм. Далее образцы подвергались термоудару при температуре 400°C в течение 1 ч с плавным ее понижением до комнатной в течение 10 ч. Таким образом, в результате осуществления многостадийного электрохимического режима со сменой электролитов (10% H₂SO₄; 5% H₂C₂O₄; 10% CrO₃) анодные диэлектрические пленки Al₂O₃ обладали повышенной термостойкостью к трещинообразованиям после термоударов. Сравнительный анализ образцов показал, что это выражалось либо в отсутствии трещин, сколов, либо в их единичном характере по случайным дефектам обработки поверхности, в отличие от тех образцов, которые анодировались традиционным способом в 5% H₂C₂O₄, и где трещины Al₂O₃ после термоударов располагались в виде густой сетки.

УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ДЛИТЕЛЬНУЮ НАРАБОТКУ

Е.Н. Шнейдеров, И.А. Бурак, А.И. Бересневич, И.П. Станюш, А.А. Хатьков

Организация и проведение ускоренных испытаний на длительную наработку биполярных транзисторов (БТ) является составной частью исследования деградации их функциональных параметров и прогнозирования надёжности. Для БТ ускорение испытаний («сжатие» наработки) обычно достигается форсированием температурных и электрических нагрузок (повышенные температура, ток, напряжение) [1]. Сами форсированные испытания проводят на типовых или специально созданных установках, контролируя по заранее разработанной программе работоспособность и параметры исследуемых БТ.

Для проведения ускоренных форсированных испытаний БТ большой мощности типа КТ872А, КТ8225А была разработана экспериментальная установка, позволяющая исследовать выборку БТ объёмом $n = 200$ в условиях повышенной температуры с подачей максимально допустимого по ТУ обратного постоянного напряжения на переход коллектор–эмиттер (коллектор–база). Основу экспериментальной установки составляла камера типа КТ-0,05-315М, позволяющая устанавливать температуру в диапазоне 40...315°C. БТ исследуемой выборки вставлялись в гнезда специальных контактных колодок, распаянных на стендовой плате, а сама плата помещалась в печь.

Ускоренные испытания (БТ типа КТ872А) проводились при повышенной температуре $t = 135 \pm 2^\circ\text{C}$ с подачей обратного напряжения 600 В на переход коллектор–база. Параметры БТ во время испытаний контролировались в моменты времени 0, 24, 48, 104, 160 и 216 ч. Суммарное время проведения ускоренных испытаний было эквивалентно наработке 15000 ч для нормальных условий ($t = 55^\circ\text{C}$, коэффициент нагрузки по мощности $K = 0,5$).

Выполненные ускоренные испытания позволили получить данные о деградации важнейших функциональных параметров исследуемых БТ.

Литература

1. *Боровиков С.М.* Статистическое прогнозирование для отбраковки потенциально ненадёжных изделий электронной техники. М., 2013.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЕГРАДАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Е.Н. Шнейдеров, И.А. Бурак, А.В. Будник

Известно [1], что достоверность группового прогнозирования параметрической надёжности изделий электронной техники (ИЭТ) зависит от удачного выбора математической модели, используемой для описания деградации функционального параметра выборки ИЭТ в целом. В качестве такой модели рассматривается условная плотность распределения функционального параметра в любом временном сечении (для любой заданной наработки). Вопрос выбора даже вида математической модели остаётся открытым и исследования в этом направлении являются актуальными. Согласно [2], при налаженном технологическом процессе изготовления ИЭТ обычно наблюдается нормальное распределение параметров изделий.

Рассмотрен и систематизирован способ получения математической модели деградации функционального параметра ИЭТ на основе нормального закона распределения функционального параметра для выборки ИЭТ.

На основе анализа деградации функциональных параметров биполярных транзисторов, как представителей ИЭТ, замечено, что с увеличением наработки нормальный закон распределения параметра деформируется и при длительных наработках заметно отличается от начального вида. Систематизирован способ получения модели деградации функционального параметра ИЭТ на основе условного двухпараметрического экспоненциального закона распределения. Показано, что использование этой модели обеспечивает лучшие результаты прогнозирования параметрической надёжности ИЭТ для длительных заданных наработок.

Литература

1. *Боровиков С.М.* Статистическое прогнозирование для отбраковки потенциально ненадёжных изделий электронной техники. М., 2013.

2. Физические основы надёжности интегральных схем / В.Ф. Сынаров [и др.]; под ред. Ю.Г. Миллера. М., 1976. 320 с.