

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и инновационной
деятельности
Казанского национального
исследовательского технического
университета им. А.Н. Туполева-КАИ
д-р техн. наук, профессор Михайлов С.А.

«25 » января 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Кузнецовой В.А.
«Разработка методики ускоренной оценки эксплуатационных характеристик
танталовых конденсаторов с использованием теплового воздействия»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.11.13 - «Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий».

Танталовые конденсаторы, диэлектриком которых является оксид тантала (Ta_2O_5), появившиеся более шестидесяти лет назад, являются важными современными емкостными элементами радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). От своих "старших братьев" - алюминиевых конденсаторов - танталовые конденсаторы отличаются более широким температурным диапазоном, повышенной надежностью (долговечностью, сохраняемостью, меньшей интенсивностью отказов). За последние десятилетия танталовые конденсаторы были усовершенствованы в направлении увеличения их удельного заряда и уменьшении их массогабаритных характеристик, а также повышению их надежности. Танталовый оксидно-полупроводниковый чип-конденсатор представляет собой оксидный конденсатор с объемно-пористым анодом и катодом на основе диоксида марганца. Процессы, происходящие внутри танталового электролитического конденсатора с участием металлов (тантала, серебра, меди), имеют большую практическую значимость для широкого круга электрохимических и электрофизических технологий.

Установлено, что при хранении и эксплуатации изделий с электрохимическим принципом работы, в частности танталовых электролитических конденсаторов, может происходить ухудшение эксплуатационных параметров (снижение емкости, рабочего напряжения и т.п.), отказы, в критических случаях даже взрывы. Причинами таких изменений могут являться: повышение эквивалентного последовательного сопротивления вследствие старения материалов, токовых нагрузок, обратной

полярности, обусловленные процессами заряда-разряда конденсатора, переполюсовкой, работой в импульсных режимах. Процессы, происходящие в стареющих материалах с участием вышеперечисленных металлов и сплавов, чаще всего непредсказуемы и требуют экспериментального изучения. Поэтому требуется разработка методики ускоренной оценки эксплуатационных характеристик tantalевых конденсаторов, позволяющая оценить влияние новых материалов и конструктивных характеристик на надежность при эксплуатации и хранении. Качество материалов влияет на стабильность характеристик конденсаторов при эксплуатации и хранении. Изменения эксплуатационных характеристик, происходящих в электролитических tantalевых чип-конденсаторах от свойств применяемых материалов недостаточно исследованы. Согласно техническим требованиям срок хранения tantalевых конденсаторов составляет 25-30 лет, поэтому актуальной является разработка ускоренных методов исследования процессов деградации конденсаторов, определяющих эксплуатационные характеристики и их надежность. В связи с этим тема докторской работы В.А. Кузнецовой, состоящая в разработке методики ускоренной оценки эксплуатационных характеристик tantalевых конденсаторов с использованием теплового воздействия является **актуальной**.

В представленной работе для оценки факторов, влияющих на надежность при эксплуатации и хранении tantalевых конденсаторов, предлагается к использованию тепловое воздействие. Автор показал возможность применения данного метода, ускоряющего старение, для оценки процессов деградации, сохраняемости и надежности tantalевых конденсаторов при сокращении времени испытаний.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов по работе, списка использованной литературы из 136 наименований. Работа изложена на 144 страницах машинописного текста, содержит 62 рисунка, 31 таблицу.

В первой главе приведен обзор технологий изготовления tantalевых оксидно-полупроводниковых конденсаторов, а также методов, используемых при контроле качества конденсаторов.

В второй главе рассмотрены методы неразрушающего контроля tantalевых конденсаторов, приборы для оценки параметров tantalевых конденсаторов.

Приведено приборное и методическое обеспечение измерения электрических параметров конденсаторов, проведения теплового испытания, оценки усилия сцепления анодной таблетки с выводом.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных работ по исследованию надежности tantalевых конденсаторов, в том числе: влияния на эксплуатационные характеристики качества материалов tantalевых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов; оценены факторы,

определяющие емкость танталового оксидно-полупроводникового конденсатора на стадии изготовления анода; исследовано влияние конструктивных характеристик анода на эксплуатационные параметры оксидно-полупроводниковых танталовых чип-конденсаторов; оценено влияние качества корпуса оксидно-полупроводниковых танталовых чип-конденсаторов на эксплуатационные параметры; приведены результаты долговременных (11000 ч.) и трудоемких испытаний конденсаторов и др.

В четвертой главе обоснована и апробирована методика ускоренной оценки качества танталовых конденсаторов расчетным методом и методом проведения испытаний.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. Показано значительное увеличение интенсивности отказов танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов при продолжительности испытаний более 8000 часов, связанное с ростом тока утечки.

2. Показано, что при контроле электрических параметров на стадии тестирования конденсаторов с истекшим сроком хранения анодных выводов и серебросодержащей пасты наблюдается существенный рост значений тока утечки, что приводит к значительному уменьшению выхода годных, а с ростом удельной усадки анода после введения пластификатора при спекании танталового порошка, снижается емкость танталовых объемно-пористых анодов в разной степени для конденсаторов с разным удельным зарядом.

3. Установлено минимальное усилие сцепления анодной таблетки с танталовым выводом анода, составляющее не менее 30 Н, при котором токи утечки минимальны. При этом существенно растет выход годных конденсаторов, а качество корпуса практически не влияет на изменение емкости, но значительно влияет на тангенс угла потерь и ток утечки танталовых конденсаторов.

4. Впервые разработана методика ускоренной оценки качества танталовых конденсаторов в условиях хранения и эксплуатации, основанная на воздействии повышенной температуры 125°C без электрического нагружения испытуемых конденсаторов, ускоряющей старение его элементов, что позволяет оценить их сохраняемость и надежность при сокращении времени выборочных испытаний до 80 дней вместо 6-7,5 лет.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов подтверждаются применением апробированных методик, современного метрологически аттестованного оборудования и поверенных средств измерения в ходе экспериментальных исследований, воспроизводимостью получаемых результатов и проверкой независимыми методами исследований, а также соответствием литературным источникам.

Практическая значимость диссертационной работы:

1. Получены экспериментальные зависимости средних значений эксплуатационных характеристик танталовых чип-конденсаторов экспериментальной выборки от длительности испытаний в номинальном температурном режиме, позволяющие прогнозировать деградацию электрических параметров при испытаниях и эксплуатации.

2. В работе предложены рекомендации для оценки интенсивности отказов tantalовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов от длительности испытания (эксплуатации), основанные на существенном росте тока утечки.

3. Результаты исследования электрических эксплуатационных характеристик tantalовых конденсаторов по операциям производственного цикла в зависимости от времени эксплуатации и хранения могут быть использованы в проектных работах КБ ОАО «Элеконд», образовательном процессе в ИжГТУ имени М.Т. Калашникова при подготовке бакалавров по направлению 12.03.00 «Приборостроение» по дисциплине «Основы проектирования приборов».

4. Разработаны рекомендации по практическому использованию методики ускоренной оценки качества tantalовых конденсаторов на предприятии ОАО «Элеконд» при производстве и хранении tantalовых чип-конденсаторов. Применение данной методики возможно для всех типов конденсаторов серии K52, K53, выпускаемых ОАО «Элеконд».

По содержанию диссертационной работы имеются следующие замечания:

- 1) Неясно, каким образом усилия сцепления анодной таблетки влияет на характеристики tantalовых конденсаторов. Насколько важно определять данный параметр?
- 2) Непонятно почему предлагается использовать именно линейные зависимости средних значений эксплуатационных характеристик tantalовых чип-конденсаторов от длительности испытания в номинальном режиме? Возможно ли распространение данных моделей на другие номиналы конденсаторов и другие режимы испытаний?
- 3) В диссертации и автореферате имеются некорректные формулировки, например, «емкость конденсатора пропорциональна заряду конденсатора» (стр. 9 автореферата); «С- емкость, мкФ» (в описании формулы (2.4), стр. 42 диссертации), величина емкости должна быть указана Ф; «Так же можно наблюдать, что резкое увеличение значения I_{ut} происходит с 10000 часов» (стр. 83 диссертации), по графику 3.24 резкий рост начинается с 8000 часов, а после 10000 часов наблюдается спад.
- 4) В обзоре основной упор сделан на технологии изготовления рассматриваемых конденсаторов и их измеряемые эксплуатационные параметры, тогда как обзор существующих методов и приборов контроля технического состояния конденсаторов, на наш взгляд, недостаточен.
- 5) Неясно, чем обусловлен используемый объем выборки 2484 штук.
- 6) Какому статистическому распределению подчиняются токи утечки партии 1? Казалось бы, что согласно данным таблицы среднее значение находится внутри допустимого диапазона (табл. 3.3), но при этом отбраковано более 50% образцов (согласно таблице 3.2)
- 7) Отсутствуют ссылки на зарубежные научные периодические издания. Некоторые ссылки оформлены не по ГОСТ.

Данные замечания не снижают оценки работы и могут рассматриваться как пожелание для дальнейшего развития работ в данном направлении.

Результаты диссертации представляют научный и практический интерес и рекомендуются для использования на предприятиях, производящих электролитические конденсаторы.

Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научно-технических журналах, обсуждались на конференциях и семинарах. Работа написана техническим языком на хорошем научном уровне. Диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему. Автореферат отражает содержание и основные выводы диссертации. В целом, работа отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Кузнецова Валентина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры радиоэлектроники и информационно-измерительной техники Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева - КАИ «19» января 2021 г., протокол № 6.

Заведующий кафедрой
Радиоэлектроники и информационно-
измерительной техники, к.т.н., доцент

Д.В. Шахтурин

Профессор кафедры
Радиоэлектроники и информационно-
измерительной техники, д.т.н., профессор

Ю.К. Евдокимов

Доцент кафедры
Радиоэлектроники и информационно-
измерительной техники, к.т.н., доцент

Е.С. Денисов

Секретарь заседания, старший преподаватель
Радиоэлектроники и информационно-
измерительной техники

Н.Б. Куншина