

$= 3,27 \cdot 10^{14}$ Вт/м² в микронной области вещества. Сопоставимые плотности энергии ($\sigma \approx 10^{11}-10^{15}$ Вт/м²)

до сих пор были получены только в случае фокусировки лазерного луча.

Таблица расчетных параметров для потоков частиц

Частицы	$U, В$	$I, А$	$\sigma_I, А \cdot м^{-2}$	$W, Вт$	$\sigma_W, Вт \cdot м^{-2}$	$R_0, м$
e^-	10^6	$1,96 \cdot 10$	$6,24 \cdot 10^{12}$	$1,96 \cdot 10^7$	$6,24 \cdot 10^{18}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$
	10^7	$1,96 \cdot 10^2$	$6,24 \cdot 10^{13}$	$1,96 \cdot 10^9$	$6,24 \cdot 10^{20}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$
p, H^+	10^6	$1,07 \cdot 10^{-2}$	$3,40 \cdot 10^9$	$1,07 \cdot 10^4$	$3,40 \cdot 10^{15}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$
	10^7	$1,07 \cdot 10^{-1}$	$3,44 \cdot 10^{10}$	$1,07 \cdot 10^6$	$3,40 \cdot 10^{17}$	$4,4 \cdot 10^{-1}$
${}^6_3Li^+$	10^6	$2,05 \cdot 10^{-3}$	$6,53 \cdot 10^8$	$2,05 \cdot 10^3$	$6,53 \cdot 10^{14}$	$2,8 \cdot 10^{-1}$
	10^7	$2,05 \cdot 10^{-2}$	$6,53 \cdot 10^9$	$2,05 \cdot 10^5$	$6,53 \cdot 10^{16}$	$9,0 \cdot 10^{-1}$
Pb^+	10^6	$5,17 \cdot 10^{-5}$	$1,65 \cdot 10^7$	$5,17 \cdot 10$	$1,65 \cdot 10^{13}$	$4,9 \cdot 10^{-1}$
	10^7	$5,17 \cdot 10^{-4}$	$1,65 \cdot 10^8$	$5,17 \cdot 10^3$	$1,65 \cdot 10^{14}$	$1,5$

Библиографические ссылки

1. Матюхин С. И. Ионная имплантация : Новые возможности известного метода // Известия ОрелГТУ. – 2003. – № 1-2. – С. 59–62. – Серия «Естественные науки».
2. Патент на изобретение № 2427056. Фокусирующая система (варианты) / Е. А. Морозов, И. Н. Ефимов. – Зарег. в Гос. реестре изобретений РФ 20.08.2011.
3. Морозов Е. А., Косов Е. С. О возможности высокоточной фокусировки ионных потоков большой мощности // Интеллектуальные системы в производстве. – 2012. – № 1(19). – С. 158–165.

4. Патент на изобретение № 2389105. Устройство создания ионных потоков / Е. А. Морозов, И. Н. Ефимов. – Зарег. в Гос. реестре изобретений РФ 10.05.2010.
5. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / М. П. Сих, Д. Бригс, Дж. К. Ривьер [и др.] ; под ред. Д. Бригса, М. П. Сиха. – М. : Мир, 1987. – 600 с.
6. Морозов Е. А. Расчет энергоанализаторов малогабаритных электронных магнитных спектрометров : дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Ижевск, 1996. – 122 с.
7. Хазова Р. А. Расчет параметров магнитного поля энергоанализатора и систем компенсации электронного магнитного спектрометра высокой светосилы : дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Ижевск, 1999. – 101 с.

E. S. Kosov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Rising the Power Density in Electron and Ion Optic Devices

The capabilities of rising the power density in electron and ion optic devices via linearly extended ion source and axial symmetric magnetic focus fields are analyzed.

Key words: high-precision focusing, charged beams, ion source, electron optics.

УДК 620.17:658.56

В. А. Кузнецова, ОАО «Элеконд», Сарапул

П. Л. Кузнецов, ОАО «Элеконд», Сарапул

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТАНТАЛОВЫХ ОКСИДНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЧИП-КОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

С помощью экспериментальных методов проведены исследования надежности танталовых чип-конденсаторов. Получены математические модели изменения характеристик танталовых чип-конденсаторов от времени испытания при температуре испытаний +85 °С и испытательном напряжении $U_{исп} = U_{ном}$.

Ключевые слова: танталовые оксидно-полупроводниковые чип-конденсаторы, надежность изделий, математические модели.

Известно, что надежность изделий – это свойство объекта, характеризующееся способностью выполнять заданные функции,

сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям

использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Надежность является комплексной характеристикой [1], которая в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости в определенном их сочетании как для объекта, так и для его частей.

К основным эксплуатационным показателям (характеристикам) относятся электрические параметры танталовых чип-конденсаторов [2]:

– емкость (C) – основной параметр конденсатора, характеризующий способность конденсатора накапливать заряд;

– ток утечки ($I_{ут}$) – ток проводимости, проходящий через конденсатор при постоянном напряжении на его обкладках в установившемся режиме, он обусловлен наличием в диэлектрике свободных носителей заряда и характеризует качество диэлектрика конденсатора. Ток утечки в большой степени зависит от значения приложенного напряжения и времени, в течение которого оно приложено. Ток утечки танталовых оксидно полупроводниковых чип-конденсаторов измеряется через 1 мин. после подачи на конденсатор номинального напряжения. При включении конденсатора под напряжение происходит «тренировка», т. е. постепенное уменьшение тока утечки. При длительном хранении и длительной работе ток утечки конденсаторов растет;

– тангенс угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg} \delta$) – отношение мнимой и вещественной части комплексной диэлектрической проницаемости:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon_{im}}{\varepsilon_{re}} = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_a} \quad (1)$$

Потери энергии в конденсаторе определяются потерями в диэлектрике и обкладках. При протекании переменного тока через конденсатор векторы напряжения и тока сдвинуты на угол

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \delta, \quad (2)$$

где δ – угол диэлектрических потерь.

При отсутствии потерь $\delta = 0$. Тангенс угла потерь определяется отношением активной мощности P_a к реактивной P_p при синусоидальном напряжении определенной частоты. Величина, обратная $\operatorname{tg} \delta$, называется добротностью конденсатора;

– эквивалентное последовательное сопротивление ($R_{э.п.с}$) представляет собой сумму сопротивлений соприкасающихся материалов и потерь в изоляторе. При низких частотах потери изолятора наиболее значительны, но поскольку их величина снижается с увеличением частоты, они становятся незначительными по сравнению с сопротивлением соприкасающихся материалов.

Основными показателями надежности танталовых чип-конденсаторов являются:

1) минимальная наработка $T_{мин}$, ч – минимальный интервал времени, в течение которого конденсатор находится в состоянии функционирования;

2) интенсивность отказов λ , $1/\text{ч}$ – количество отказов в единицу времени.

При решении проблемы прогнозирования надежности танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов, необходимо проведение исследований характеристик конденсаторов во время эксплуатации и выявление «узких мест» при их проектировании и производстве [3].

Методика эксперимента

Для экспериментов взята выборка танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов мультианодной конструкции номиналом $20 \text{ В} \times 100 \text{ мкФ}$ при $n = 10$ шт.

Напряжение, подаваемое на конденсаторы, $U_{исп} = 20 \text{ В}$ с частотой 50 Гц .

Температура испытаний $+(85 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$.

Температура, при которой производились замеры характеристик танталовых чип-конденсаторов, соответствует значению $+(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$.

Продолжительность испытаний ($T_{и}$) – 11 000 часов до 4 отказов.

Результаты и их обсуждение

При испытании экспериментальной выборки были зафиксированы отказы конденсаторов. Распределение отказов по видам указано в таблице.

Отказы конденсаторов

Виды отказов (по параметрам)	Время, ч								
	0	1000	2000	3000	5000	6000	8000	10000	11000
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\operatorname{tg} \delta$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$I_{ут}$	0	0	0	0	0	0	0	2	4
$R_{э.п.с}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	0	0	0	0	0	0	0	2	4

Зависимость интенсивности отказов $\lambda(T_{и})$ экспериментальной выборки танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов от времени испытания (эксплуатации) представлена на графике (рис. 1). Рост значения интенсивности отказов экспериментальной выборки конденсаторов наблюдается с 8000 часов.

Емкость конденсаторов, тангенс угла диэлектрических потерь и эквивалентное последовательное сопротивление, как следует из таблицы и представленных зависимостей изменения средних значений электрических параметров конденсаторов экспериментальной выборки от времени испытания (эксплуатации) $T_{и}$, практически не меняются (рис. 2–4). В то же время ток утечки конденсаторов после 8 тыс. часов испытания существенно возрастает (рис. 5).

Обработка результатов наблюдений с использованием методов математической статистики позволила оценить погрешности и рассчитать коэффициенты линейных математических моделей [4–6].

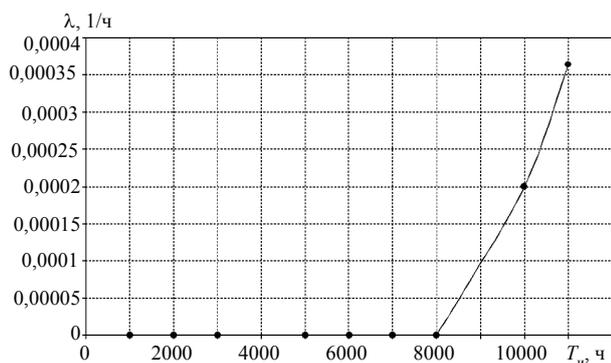


Рис. 1. Интенсивность отказов экспериментальной выборки конденсаторов

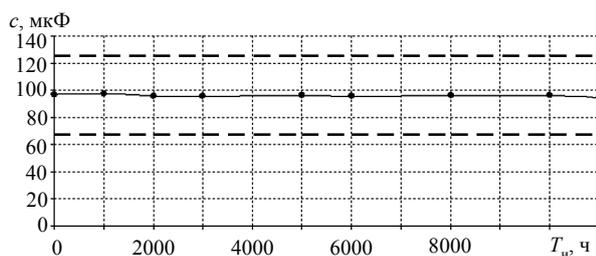


Рис. 2. Изменение емкости конденсаторов от времени испытания

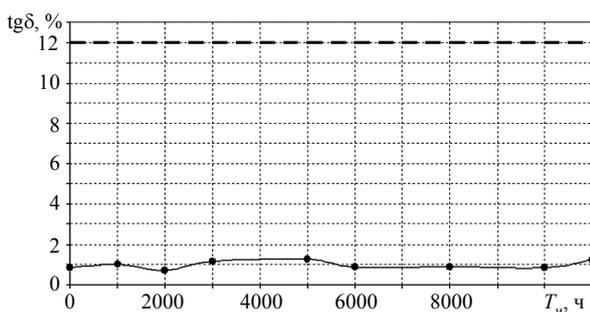


Рис. 3. Изменение тангенса угла потерь конденсаторов от времени испытания

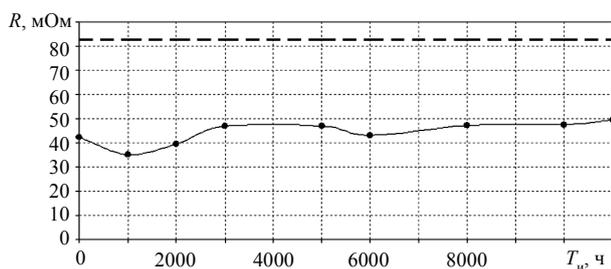


Рис. 4. Изменение эквивалентного последовательного сопротивления

Исходя из полученных результатов испытаний выведены линейные зависимости (математические модели) по средним значениям эксплуатационных характеристик танталовых чип-конденсаторов экспериментальной выборки от времени испытания (эксплуатации) в номинальном режиме (температура эксплуатации $t_{\text{экс}} = 85 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $U_{\text{экс}} = U_{\text{ном}}$).

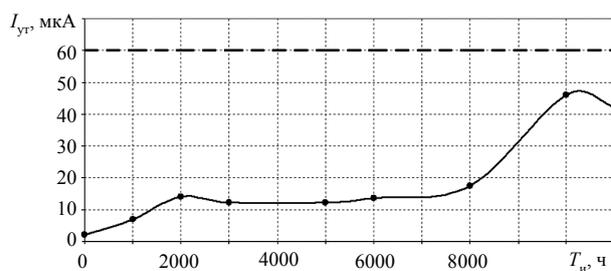


Рис. 5. Изменение тока утечки конденсаторов от времени испытания

$$C(T_{\text{и}}) = -0,00014 \cdot T_{\text{и}} + C_0, \quad (3)$$

где C_0 – первоначальное значение емкости

$$\text{tg } \delta(T_{\text{и}}) = 34,5 \cdot 10^{-6} \cdot T_{\text{и}} + \text{tg } \delta_0, \quad (4)$$

где $\text{tg } \delta_0$ – первоначальное значение тангенса угла диэлектрических потерь конденсатора

$$I_{\text{ут}}(T_{\text{и}}) = 3,66 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{и}} + I_{\text{ут}0}, \quad (5)$$

где $I_{\text{ут}0}$ – первоначальное значение тока

$$R_{\text{э.п.с}}(T) = 0,645 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{и}} + R_{\text{э.п.с}0}, \quad (6)$$

где $R_{\text{э.п.с}0}$ – первоначальное значение ЭПС конденсатора.

При анализе характеристик экспериментальной выборки танталовых чип-конденсаторов выявлено, что наиболее существенный рост значений относительно первоначальных наблюдается у параметра $I_{\text{ут}}$ (см. рис. 5).

Был проведен статистический анализ параметра $I_{\text{ут}}$. Для этого были построены кривые распределения значений тока утечки танталовых оксидно-полупроводниковых конденсаторов экспериментальной выборки конденсаторов от времени испытаний.

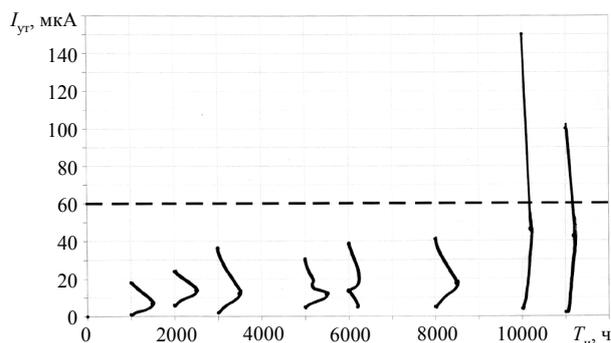


Рис. 6. Кривые распределения тока утечки конденсаторов во времени

Анализируя кривые распределения значений $I_{\text{ут}}$, представленные на рис. 6, наблюдаем, что при 5000 часов и 6000 часов происходит смещение нормального распределения параметра в связи с протеканием внутренних процессов танталовых чип-конденсаторов, связанных с особенностями материала

лов [7]. Также можно наблюдать, что резкое увеличение значения $I_{\text{ут}}$ происходит с 10000 часов, и, соответственно, отказ конденсаторов по данному параметру (штриховая линия на рисунке – уровень допустимого значения тока утечки конденсаторов во время эксплуатации).

Из полученных результатов проведенного исследования можно сделать заключение, что для предотвращения непрогнозируемого ухода параметров танталовых чип-конденсаторов и увеличения их стабильности необходимо дополнительное исследование влияния качества материалов, используемых при производстве, на длительную безотказность.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ В 20.39.403–81 КСОТТ. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Требования по надежности.

2. Кузнецов П. Л. Проблемы контроля качества оксидно-полупроводниковых конденсаторов при использовании «Inrush-test» // Приборостроение в XXI веке – 2011. Интеграция науки, образования производства : сб. материалов VII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, посвященной 50-летию приборостроительного факультета (Ижевск, 15–17 ноября 2011 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – 504 с.

3. Кузнецов П. Л., Кузнецова В. А. Комплексный подход к обеспечению качества при производстве электролитических конденсаторов и ионисторов // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : электронное науч. изд. : сб. тр. II Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием (Ижевск, 23–25 апреля 2013 г.). – Ижевск, 2013. – 1415 с. – 1 CD-ROM. – ISBN 978-5-7526-0603-8.

4. Муравьев В. В., Степанова Л. Н., Кареев А. Е. Оценка степени опасности усталостных трещин при акустико-эмиссионном контроле литых деталей тележки грузового вагона // Дефектоскопия. – 2003. – № 1. – С. 63–68.

5. Акустический контроль долговечности стальных образцов и восстановление их ресурса / Л. Б. Зуев, О. В. Сошин, В. В. Муравьев [и др.] // Прикладная механика и техническая физика. – 1998. – Т. 39. – № 4. – С. 180–183.

6. Серегин Г. В., Муравьев В. В. Структурные состояния и механические свойства дисперсионно-твердеющего коррозионно-стойкого сплава 36НХТЮ // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1987. – № 12. – С. 77–80.

7. Факторы, определяющие емкость танталового оксидного конденсатора на стадии изготовления анода / В. А. Кузнецова, П. Л. Кузнецов, А. А. Масалев, В. В. Муравьев / под ред. В. Е. Громова // Тр. II Междунар. конф. «Влияние высокоэнергетических воздействий на структуру и свойства конструкционных материалов» (23–30 сентября 2013 г.). Серия «Фундаментальные проблемы современного материаловедения» : в 2 т. – Т. 1. – 2013. – С. 233–239.

V. A. Kuznetsova, Open Joint-Stock Company “Elecond”, Sarapul

P. L. Kuznetsov, Open Joint-Stock Company “Elecond”, Sarapul

V. V. Muravyov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Research of Reliability of Tantalum Solid-Electrolyte Capacitors on the Basis of Experimental Data

Researches of tantalum solid-electrolyte chip-capacitors reliability are conducted by experimental methods. Mathematical models of variation of tantalum chip-capacitors characteristics with test time are received at the test temperature +85 °C and the test tension equal to the nominal one.

Key words: tantalum solid-electrolyte chip-capacitors, product reliability, mathematical models.

УДК 621.321

И. Н. Ефимов, доктор технических наук, профессор, Чайковский технологический институт (филиал)

Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

И. В. Чудинов, магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Описаны особенности ламп, наиболее часто применяемых в быту, приведен метод расчета освещенности в жилых помещениях.

Ключевые слова: светоотдача, освещенность, световой поток.

Современное общество немислимо без повсеместного применения искусственного освещения. Лампы и светильники прочно вошли в обиход и уже давно воспринимаются как должное. Школы, офисы, магазины, дома, квартиры – везде есть искусственный свет. Однако если на промышленных предприятиях и в других организациях освещение

нормируется и контролируется специальными органами, следящими за безопасностью труда, то в квартирах и частных домах человек сам должен выбрать тип и вид освещения. Большинство людей не придает особого значения, какие лампы стоят в квартире, какую освещенность они дают и сколько потребляют электроэнергии, какова их безопасность в эксплуатации.