

Серия многослойных керамических конденсаторов для поверхностного монтажа на номинальные напряжения 6,3; 10; 16; 25; 50 В с габаритными размерами от 1005M (0402)

Д. Махин¹, Г. Морозова²

УДК 621.319.4:666.65 | ВАК 05.27.01

ООО «Кулон» совместно с АО «НПЦ «СпецЭлектронСистемы» закончило разработку и освоение в серийном производстве многослойных керамических конденсаторов для поверхностного монтажа K10-90 типоразмеров 1005M, 1608M, 2012M, 3216M, 3225M, 4532M, 5750M. Значения номинальных емкостей соответствуют ряду E24 от 10 пФ до 0,15 мкФ для группы МПО и ряду E12 от 220 пФ до 4,7 мкФ для группы Н30.

Уже многие десятилетия электроника входит привычным атрибутом в жизненный уклад любого человека. И, конечно же, сложно представить электронику без набора пассивных электронных компонентов и, в частности, конденсаторов – они используются практически во всех электронных устройствах, будь то брелок от сигнализации или приемо-передающий модуль.

С момента создания в 1745 году Питером ван Мушенбруком первого конденсатора, названного лейденской банкой в честь Лейденского университета, где Мушенбрук учился и преподавал, это изделие претерпело множество изменений, и сегодня количество форм, типов

и исполнений конденсаторов поражает: многослойные керамические чип-конденсаторы (SMD-конденсаторы) и выводные, органические и неорганические, электролитические, танталовые, постоянные и переменные, полярные и неполярные и т. д.

Многослойные керамические чип-конденсаторы (Multilayer Ceramic Capacitors, MLCC) (рис. 1) играют важную роль в технологии поверхностного монтажа РЭА. Их широкое применение обусловлено уникальным сочетанием целого ряда достоинств:

- высокой удельной емкостью;
- широким диапазоном номинальных емкостей;

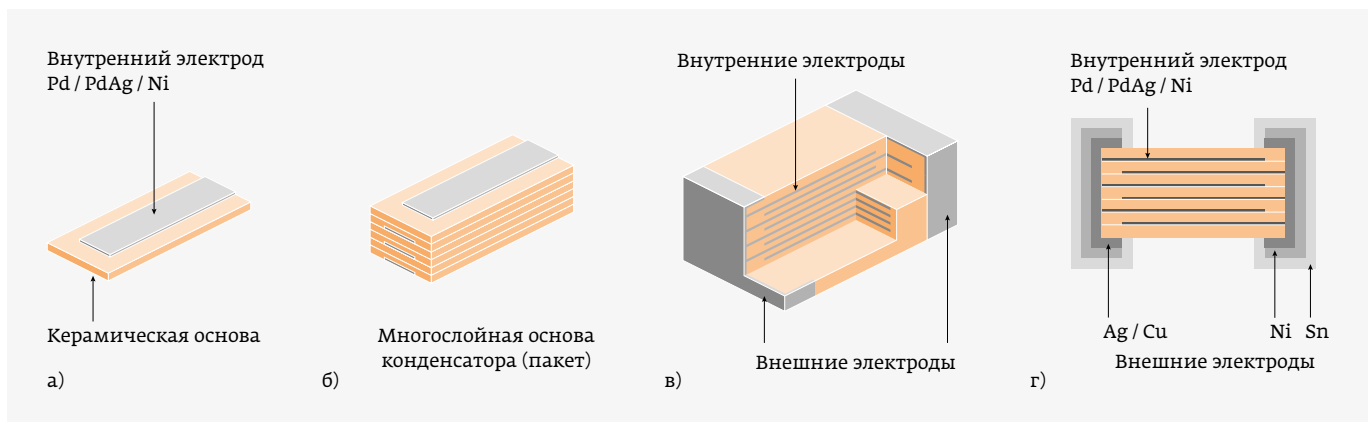


Рис. 1. Конструкция многослойного керамического конденсатора: а – один из слоев пакета с нанесенной металлизацией; б – многослойная основа конденсатора: пакет металлизированных керамических слоев; в, г – конденсатор в сборе

¹ ООО «Кулон», главный конструктор, mahin@kulon.spb.ru.

² ООО «Кулон», заместитель главного технолога, morozova@kulon.spb.ru.

- большим набором номинальных напряжений;
- широким спектром типоразмеров, вплоть до самых миниатюрных.

Неудивительно, что, обладая таким комплексом характеристик, керамические конденсаторы востребованы в любой области электроники.

Электронное оборудование содержит большое количество узлов различного назначения, где используются конденсаторы. В таймерах они подключаются через резисторы, и скорость их разряда или заряда определяет длительность задаваемого прибором временного интервала или цикла. В блоках питания и преобразователях напряжения конденсаторы сглаживают пульсацию, стабилизируя напряжение после выпрямителя; во многих устройствах они используются в качестве фильтров низких частот. Трудно представить работу современного электрического аппарата любого назначения и сложности без микросхемы, стабильность работы которой обеспечивается сглаживающим конденсатором в цепи питания.

Устойчивой тенденцией в электронике в настоящее время стал рост рабочих частот цифровых интегральных схем. Однако наряду с увеличением частоты происходит и увеличение энергопотребления, что делает актуальной задачу стабилизации питания высокочастотных узлов как средства снижения влияния их работы на остальную часть электронной схемы. Конденсатор является незаменимым компонентом для увеличения производительности каждой электронной системы за счет снижения помех в шинах питания.

Для использования в высоковольтных схемах конденсатор должен иметь большие габаритные размеры, определяемые достаточно большой толщиной диэлектрической пленки, использованной в его конструкции. Однако в целом в области габаритных размеров продолжается движение в направлении миниатюризации. Оно поддерживается, с одной стороны, требованием максимальной экономии места на плате, с другой – улучшением частотных свойств конденсаторов, позволяющим выполнять это требование. Улучшение частотных свойств связано с уменьшением эквивалентной последовательной индуктивности конденсатора (ESL). Данный параметр сильно зависит от внутренней структуры электродов; значение ESL уменьшается, когда электроды короче, шире и тоньше. При уменьшении габаритных размеров собственная резонансная частота увеличивается, а ESL уменьшается. Таким образом, чем меньше габаритные размеры конденсатора, тем больше он подходит для работы в высокочастотной области.

К ключевым параметрам керамических конденсаторов следует отнести:

- номинальную емкость (основной параметр любого конденсатора);

- тангенс угла диэлектрических потерь (отношение между активной и реактивной составляющей импеданса конденсатора);
- параллельное сопротивление (характеризует сопротивление поверхности керамического многослойного конденсатора и сопротивление самого диэлектрика);
- последовательное сопротивление (характеризует сопротивление контактов и выводов компонента);
- последовательную индуктивность (определяется индуктивностью выводов и внутренней индуктивностью конденсатора).

По материалам используемых в них диэлектриков конденсаторы подразделяются на два класса:

- класс 1 – конденсаторы с высокостабильным диэлектриком, имеющим высокую добротность, линейную температурную зависимость (диэлектрическая проницаемость ϵ_r меняется от 5 до 550). Они применяются во времязадающих цепях и фильтрах, где требуются низкие потери и высокая стабильность емкости и других выходных параметров. В таких конденсаторах в качестве диэлектрика используются материалы, для которых характерны электронные или ионные механизмы поляризации (упругое смещение и деформация оболочек атомов и ионов или смещение упруго связанных ионов из положения равновесия на расстояния меньше периода кристаллической решетки) – например, керамические смеси, включающие TiO_2 или твердые растворы титанатов. Поляризация протекает очень быстро (10^{-15} – 10^{-13} с), токи смещения кратковременны, так что их обычно не удается зафиксировать прибором; потери отсутствуют либо крайне малы.
- класс 2 – конденсаторы с более высоким уровнем потерь и нелинейной зависимостью ϵ_r . Чаще всего их используют как разделительные и блокировочные конденсаторы. В изделиях этого класса в качестве диэлектрика применяют $BaTiO_3$, который является ферромагнетиком и имеет доменную структуру. При температуре выше точки Кюри кристаллическая решетка $BaTiO_3$ имеет кубическую форму, и доменная структура отсутствует, так как элементарные ячейки становятся неполярными. При температуре ниже точки Кюри происходит перераспределение объемного заряда, и одна из осей симметрии начинает вытягиваться. Кристаллическая решетка принимает прямоугольную форму, а при дальнейшем охлаждении – форму параллелепипеда. Полученные ячейки становятся полярными, в связи с этим возникает доменная структура. Внутри каждого домена все электрические диполи полярного диэлектрика ориентированы одинаково, в то время как направления поляризации соседних доменов могут

отличаться. Процесс поляризации доменов без внешнего поля называется самопроизвольной поляризацией и приводит к двум последствиям: нелинейной зависимости диэлектрической проницаемости от температуры (рис. 2) и к нелинейной зависимости диэлектрической проницаемости от приложенного напряжения.

Разработанные ООО «Кулон» и АО «НПЦ «СпецЭлектронСистемы» низковольтные многослойные керамические конденсаторы К10-90 впервые в России имеют в линейке типоразмер 1005M (0402), они предназначены для использования в аппаратуре военного назначения в качестве замены изделий ведущих мировых производителей электронных компонентов (Murata, AVX). Классификационные параметры конденсаторов К10-90 представлены в табл. 1, габаритные размеры – на рис. 3 и в табл. 2.

Процесс изготовления изделий К10-90, как и других керамических конденсаторов, включает в себя определенную последовательность технологических операций. На начальной стадии производится подготовка керамического материала и литье керамической пленки. Исходные материалы керамической основы измельчаются и перемешиваются. Для получения необходимой структуры измельченный материал проходит обжиг. В полученную массу вводятся добавки для придания требуемых механических свойств; рецептура подбирается в зависимости

от типа материала и толщины керамической пленки, которую необходимо получить. Для обеспечения равномерной структуры керамической пленки, в соответствии с недавно внедренной на заводе технологией, ее литье производится на современной литьевой машине SAM-C25 фирмы KEKO Equipment. Машина имеет закрытую рабочую зону, что позволяет проводить техпроцесс в обеспыленном пространстве.

Партия пленки подвергается выборочной проверке механических характеристик на разрывной машине (механическая прочность в кгс/см² и относительное удлинение в мм), взвешивается и передается с паспортом на следующую операцию.

Далее, исходя из требуемого габаритного размера изделия, при помощи трафарета проводится металлизация (нанесение металлизационного рисунка электродов), после чего металлизированные листы собираются и спрессовываются в групповой пакет. Внутренние электроды формируются путем вжигания металлизационной пасты в керамические пленки. В целях реализации процесса совместного спекания диэлектрика и электрода при обжиге заготовок, а также обеспечения водородоустойчивости и сохранения работоспособности полученной структуры конденсатора при работе аппаратуры в условиях космической среды, целесообразно использовать для создания проводящих слоев твердые серебряно-палладиевые сплавы или платину.

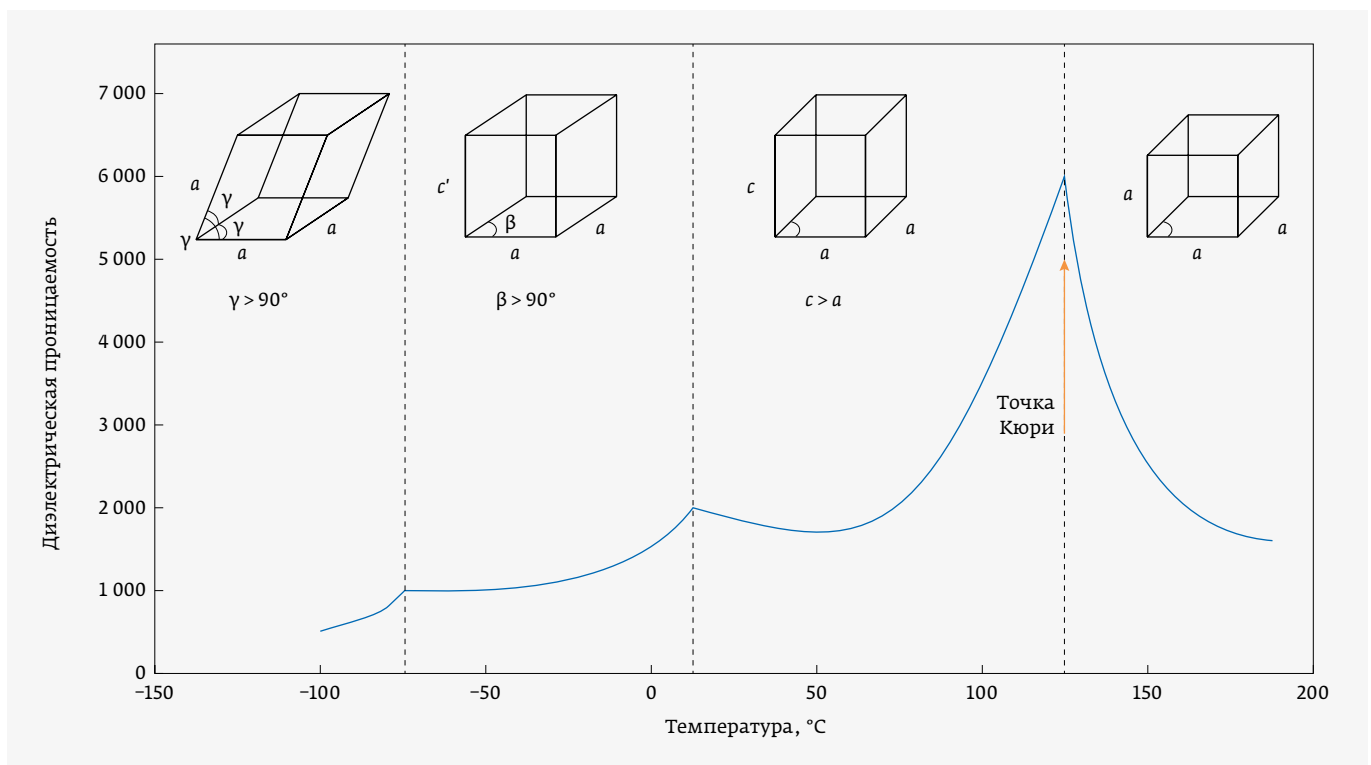


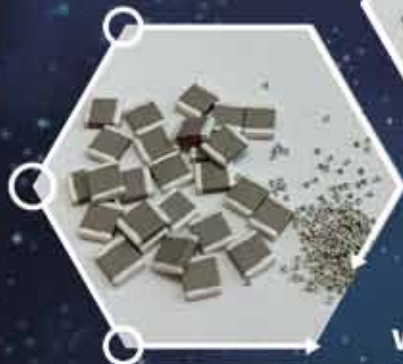
Рис. 2. Изменение диэлектрической проницаемости BaTiO₃ при изменении температуры



РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ И ПРОХОДНЫХ ФИЛЬТРОВ

СЕРИЙНАЯ ПРОДУКЦИЯ:

- многослойные конденсаторы – К10-17, К10-42, К10-47, К10-50, К10-54, К10-57, К10-79, КМК;
- трубчатые конденсаторы – ТК, К10-51К, КТП, КТ-1Е;
- фильтры – Б14, Б23А, Б23Б, Б28, Б29, Б7-2, Б24.



НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ:

- варисторы ВР-18, ВР-19;
- фильтры Б36;
- конденсаторы К10-89, К10-90.

www.kulon.spb.ru



192019, г. Санкт-Петербург,
ул. Профессора Качалова, д. 3, литер К
Тел.: +7 (812) 317-33-04,
Факс: +7 (812) 412-61-63,
e-mail: office@kulon.spb.ru
sale@kulon.spb.ru

Официальный
поставщик



www.zolshar.ru

Таблица 1. Классификационные параметры конденсаторов К10-90

Типоразмер метрический (дюймовый)	Номинальное напряжение, U_H , В	Номинальная емкость, C_H , пФ	Допускаемое отклонение номинальной емкости, ΔC_H , %	Группа по ТКЕ
1005M (0402)	50	10-180	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
		220-6 800	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
	25	100-820	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
		1 000-12 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
	6,3; 10; 16	220-1 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
		1 200-27 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
1608M (0603)	50	12 000; 15 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		910-2 400	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
	25	22 000-47 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		1 200-3 300	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
	10; 16	27 000-100 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		680-3 300	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
	6,3	3 900-100 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		3 300-7 500	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
2012M (0805)	25	120 000-220 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		3 900-10 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
	10; 16	150 000-330 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		680-10 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
	6,3	12 000-330 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		8 200-15 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
3216M (1206)	25	390 000-560 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		13 000-22 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
	10; 16	470 000-820 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		3 300-22 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
	6,3	27 000-820 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		27 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
3225M (1210)	10; 16	1 500 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		6 800-27 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
	6,3	33 000-1 500 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		36 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
4532M (1812)	25	1 000 000; 1 500 000; 1 800 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		43 000; 47 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
	10; 16	1 000 000; 1 200 000; 2 200 000; 2 700 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30
		22 000-47 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	МПО
	6,3	56 000-2 700 000	$\pm 5; \pm 10; \pm 20; +50/-20$	Н30

Таблица 1. Продолжение

Типоразмер метрический (дюймовый)	Номинальное напряжение, U_H , В	Номинальная емкость, C_H , пФ	Допускаемое отклонение номинальной емкости, ΔC_H , %	Группа по ТКЕ
5750M (2220)	50	1 800 000; 2 200 000	± 5 ; ± 10 ; ± 20 ; $+50/-20$	Н30
	25	75 000–100 000	± 5 ; ± 10 ; ± 20	МПО
10; 16		2 700 000; 3 300 000	± 5 ; ± 10 ; ± 20 ; $+50/-20$	Н30
	91 000–150 000	± 5 ; ± 10 ; ± 20	МПО	
	4 700 000	± 5 ; ± 10 ; ± 20 ; $+50/-20$	Н30	
6,3	56 000–150 000	± 5 ; ± 10 ; ± 20	МПО	
	180 000–4 700 000	± 5 ; ± 10 ; ± 20 ; $+50/-20$	Н30	

Примечание: Промежуточные значения номинальных емкостей по ГОСТ 28884: ряд E24 – для конденсаторов группы МПО; ряд E12 – для конденсаторов группы Н30.

Количество диэлектрических и металлизированных слоев выбирается исходя из требуемой номинальной емкости. При изготовлении конденсаторов К10-90 используются тонкие пленки толщиной 10–12 мкм, а количество металлизированных слоев доходит до 100 в одном групповом пакете при толщине металлизации от 2 мкм.

После резки заготовки конденсаторов подвергаются обжигу в температурном диапазоне от 980 до 1100 °С. Далее следует этап формирования внешней части контактного узла конденсатора: торцевые поверхности металлизированы пастой системы AgPd на основе серебра, после чего производится операция вжигания. Выбор серебра обусловлен его легкой паяемостью низкотемпературными припоями типа ПСрОС 3-58, ПСрОС 3,5-95, а также высокой проводимостью: удельное сопротивление серебряного электрода составляет 0,016 мкОм·м, а, например, электрода из платины или палладия – 0,15 мкОм·м. Сформированный таким

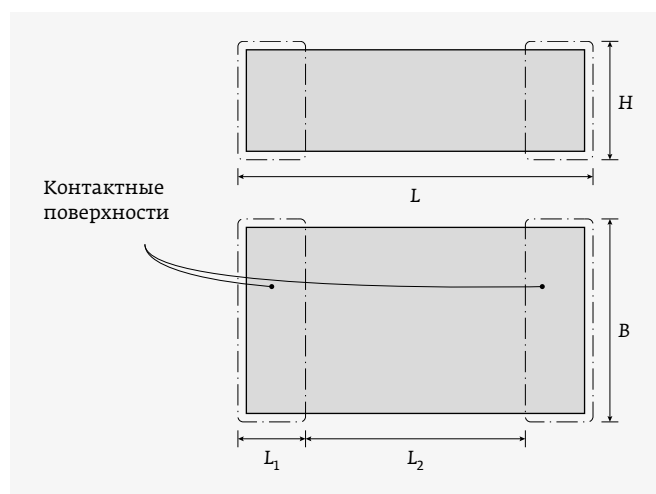


Рис. 3. Эскиз общего вида конденсатора К10-90

Таблица 2. Основные размеры конденсаторов К10-90

Типоразмер метрический (дюймовый)	L, мм	B, мм	H, мм, не более	L ₁ , мм, не менее	L ₂ , мм, не менее	Масса, г, не более
1005M (0402)	1,0±0,2	0,5±0,2	0,6	0,1	0,3	0,1
1608M (0603)	1,6±0,2	0,8±0,2	1,2	0,2	0,4	0,1
2012M (0805)	2,0±0,2	1,25±0,2	1,6	0,2	0,4	0,1
3216M (1206)	3,2±0,4	1,6±0,4	3,2	0,2	0,8	0,4
3225M (1210)	3,2±0,5	2,5±0,5	4,0	0,2	0,8	0,6
4532M (1812)	4,5±0,5	3,2±0,5	4,4	0,3	2,0	0,6
5750M (2220)	5,7±0,7	5,0±0,7	4,8	0,3	2,0	1,0



Рис. 4. Конденсаторы К10-90

образом слой серебра обеспечивает коммутацию внутренних электродов и облуживание контактов или пайку монтажных выводов; его толщина для изделий разных типоразмеров составляет от 20 до 80 мкм.

Конденсаторы К10-90 имеют финишное оловянное покрытие с подслоем никеля. На полученный вжиганием слой серебра электрохимическим методом наносится слой никеля толщиной 1–2 мкм (так называемый никель-барьерный слой), затем гальванически осаждается слой олова толщиной 4–10 мкм. При этом предотвращается миграция серебра в слой олова, что

в дальнейшем дает возможность производить монтаж конденсаторов в электронные узлы методом групповой пайки с применением паяльных паст на основе оловянно-свинцового припоя с содержанием серебра не менее 2%.

На заключительной стадии производства осуществляется 100%-ная проверка электропараметров изделий (номинальная емкость, тангенс угла потерь, сопротивление изоляции, электрическая прочность).

Как отмечено ранее, освоенные изделия К10-90 являются функциональными аналогами изделий иностранного производства: конденсаторов серий GRM, GRJ, GMD фирмы Murata, серии С фирмы TDK, серий В379, В378 фирмы Epcos (Япония); серии CL фирмы Samsung (Республика Корея); серий С, ST фирмы HITANO (Тайвань); серии SV фирмы AVX (США); прямые отечественные аналоги отсутствуют.

Соответствие изделий проекту технических условий ШУКР.673511.002ТУ успешно подтверждено проведенными предварительными и государственными испытаниями. Образцы установочной серии представлены на рис. 4.

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что описанная в статье разработка ООО «Кулон» и АО «НПЦ «СпецЭлектронСистемы» позволит обеспечить российских разработчиков электроники отечественными конденсаторами типоразмера 1005M (0402). Планируемый срок начала выпуска серийных изделий по заявкам потребителей – 3-й квартал 2021 года.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 760 руб.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ: Учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп.

Кондрашин А. А., Лямин А. Н., Слепцов В. В.

С развитием высоких технологий становится реальным выпуск трехмерных электронных устройств (ТЭУ). Решением данной задачи являются еще только разрабатываемые гибридные технологии, названные в данной работе квази-4D-технологиями формирования ТЭУ. В то же время создана классификация 4D-объектов (способных менять свою форму или структуру после их создания в зависимости от внешних условий, например при изменении температуры, при механическом воздействии и т.д.) ТЭУ и технологий для их формирования.

Данное учебное пособие является первой книгой по технологиям изготовления, сканирования и визуализации трехмерных электронных устройств. Во второй книге будут рассмотрены технологии сканирования трехмерных электронных устройств различных диапазонов, в том числе нанометрового диапазона. Отдельный раздел второй книги будет посвящен возможностям изготовления трехмерных электронных устройств нанометрового диапазона с применением методов сканирующей микроскопии. Третья книга будет посвящена технологиям визуализации (средствам отображения информации) для контроля параметров ТЭУ, создания новых ТЭУ и технологий реинжиниринга ТЭУ.

Учебное пособие может быть рекомендовано бакалаврам и магистрам высших учебных заведений.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2019. – 210 с.,
ISBN 978-5-94836-504-6

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphaera.ru, sales@technosphaera.ru

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВОЕННО-
МОРСКОЙ
САЛОН



INTERNATIONAL
MARITIME
DEFENCE
SHOW

Организатор:



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

При участии:



Министерство
обороны



Министерство
иностраных
дел



Федеральная служба
по военно-техническому
сотрудничеству



Администрация
Санкт-Петербурга



РОСОБОРОНЭКСПОРТ

Устроитель:



ООО «Морской Салон»

www.navalshow.ru

IMDS
2021

23-27 июня

РОССИЯ

Санкт-Петербург

“Через сотрудничество – к миру и прогрессу!”