

УДК 621.318.1

**МИНИАТЮРИЗАЦИЯ ДИСКРЕТНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧИП-
КОНДЕНСАТОРОВ****Лужко Владимир Васильевич,**

Студент 2 курс магистратуры, факультет «Информатика и управление» Калужского филиала Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана
luzhko.v@yandex.ru

Адарчин Сергей Александрович,

Кандидат технических наук (к. т. н.), доцент Калужского филиала Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана
adarchin@bmstu.ru

Аннотация

Рассмотрены современные тенденции миниатюризации дискретных диэлектрических чип-конденсаторов. Представлен обзор существующих технологий и материалов, используемых в производстве чип-конденсаторов. Показано влияние технологических параметров, таких как толщина диэлектрического слоя и точность нанесения электродов, на электрические характеристики и габаритные размеры конденсаторов. Сделаны выводы о необходимости комплексного подхода, включающего разработку новых материалов, оптимизацию технологических процессов и совершенствование методов контроля качества для достижения дальнейшей миниатюризации.

Ключевые слова: миниатюризация, чип конденсатор, диэлектрик, диэлектрическая проницаемость.

MINIATURIZATION OF DISCRETE DIELECTRIC CHIP CAPACITORS**Luzhko Vladimir Vasilyevich,**

Second-year Master's student, Faculty of Computer Science and Management, Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University
luzhko.v@yandex.ru

Adarchin Sergey Alexandrovich,

Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor
Bauman Moscow State Technical University
adarchin@bmstu.ru

ABSTRACT

Modern trends in miniaturization of discrete dielectric chip capacitors are considered. An overview of existing technologies and materials used in the production of chip capacitors is presented. The influence of technological parameters, such as the thickness of the dielectric layer and the accuracy of electrode application, on the electrical characteristics and overall dimensions of the capacitors is shown. Conclusions are drawn about the need for an integrated approach, including the development of new materials, optimization of technological processes and improvement of quality control methods to achieve further miniaturization.

Keywords: miniaturization, capacitor chip, dielectric, permittivity.

Миниатюризация электронных компонентов является одной из основных тенденций развития современной электроники. Уменьшение габаритов устройств и повышение плотности компоновки печатных плат напрямую зависят от характеристик и размеров пассивных компонентов, в частности дискретных диэлектрических чип-конденсаторов. В связи с этим разработка новых материалов и технологий, позволяющих уменьшить размеры конденсаторов без потери их электрических характеристик, представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Современные чип-конденсаторы находят широкое применение в различных областях электроники, от мобильных устройств и портативной техники до промышленной автоматики и космической аппаратуры. Общими тенденциями развития конденсаторов является снижение размеров и улучшение эксплуатационных характеристик [1].

Одним из ключевых направлений миниатюризации является использование диэлектрических материалов с высокой диэлектрической проницаемостью (ϵ). Чем выше значение ϵ , тем меньший объем диэлектрика требуется для достижения заданной емкости. Однако применение материалов с высокой ϵ сопряжено с рядом проблем, таких как повышенные диэлектрические потери, температурная нестабильность и зависимость емкости от напряжения [2].

Другим важным аспектом является совершенствование технологий формирования тонких диэлектрических плёнок и точного нанесения электродов. Уменьшение толщины диэлектрического слоя позволяет увеличить эквивалентное последовательное сопротивление (ESR) и другие параметры [3].

Целью данной работы является анализ современных тенденций в области миниатюризации дискретных диэлектрических чип-конденсаторов и выявление перспективных направлений исследований.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

Провести обзор существующих технологий производства чип-конденсаторов, выделив основные материалы и методы, используемые для формирования диэлектрического слоя и электродов.

Ознакомиться с исследованиями о влиянии параметров диэлектрических материалов (диэлектрической проницаемости, диэлектрических потерь, температурной стабильности) на электрические характеристики чип-конденсаторов.

Проанализировать влияние технологических параметров (толщины диэлектрического слоя, точности нанесения электродов, шероховатости поверхности) на размеры и электрические характеристики конденсаторов.

Оценить перспективы применения новых диэлектрических материалов с высокой диэлектрической проницаемостью, таких как сегнетоэлектрики и материалы на основе оксидов металлов, для дальнейшей миниатюризации чип-конденсаторов.

Чип-конденсатор – это пассивный электронный компонент, предназначенный для накопления электрического заряда и сглаживания пульсаций тока. Он состоит из двух или более металлических обкладок, разделённых диэлектриком, и имеет малые размеры, что позволяет использовать его в интегральных схемах и на печатных платах [4]. Чип-конденсаторы широко применяются в различных электронных устройствах для фильтрации, настройки частоты, блокировки постоянного тока и других целей.

Конденсаторы бывают нескольких типов, в зависимости от их конструкции, применения и технологии производства. Дискретные конденсаторы – это отдельные электронные компоненты, которые устанавливаются на печатную плату или в схему. Дискретные конденсаторы могут быть разных типов, например, электролитические, керамические, плёночные и т. п.

Конденсаторы состоят из смеси тонко измельченных гранул параэлектрических или сегнетоэлектрических материалов, соответствующим образом смешанных с другими материалами для достижения желаемых характеристик. Из этих порошковых смесей керамика спекается при высоких температурах. Керамика образует диэлектрик и служит носителем для металлических электродов. Минимальная толщина диэлектрического слоя, которая на сегодняшний день для низковольтных конденсаторов находится в диапазоне размеров 0,5 мкм, ограничена в меньшую сторону размером зерна керамического порошка. Толщина диэлектрика для конденсаторов с более высокими напряжениями определяется диэлектрической прочностью искомого конденсатора.

Электроды конденсатора наносятся на керамический слой путем металлизации [5]. Для многослойных конденсаторов чередующиеся металлизированные керамические слои укладываются друг на друга. Выдающаяся металлизация электродов с обеих сторон корпуса соединена с контактной клеммой. Лаковое или керамическое покрытие защищает конденсатор от влаги и других воздействий окружающей среды.

В качестве диэлектрических материалов используются различные оксиды металлов, такие как $BaTiO_3$, $SrTiO_3$, TiO_2 , а также полимерные диэлектрики [6]. Ключевыми характеристиками диэлектрических материалов являются их диэлектрическая проницаемость ϵ , которая определяет способность материала накапливать электрический заряд, а также диэлектрические потери $\tan\delta$, характеризующие потери энергии при поляризации материала. Кроме того, важным параметром является температурная стабильность, которая отражает изменение диэлектрической проницаемости при изменении температуры.

В керамических конденсаторах суммарные потери включают в себя омические потери переменного тока. Потери постоянного тока, которые также называются током утечки или изоляционным сопротивлением, обычно пренебрежимо малы для переменного тока. Эти потери зависят от частоты, температуры, возраста и, в некоторых случаях, от влажности.

В конденсаторах большего размера наибольшая часть потерь связана с частотно-зависимыми омическими диэлектрическими потерями. В зависимости от требований применения, результаты суммирования резистивных потерь конденсатора могут быть представлены либо как эквивалентное последовательное сопротивление ESR, либо как добротность Q [7].

Исследования показали, что использование материалов с высокой диэлектрической проницаемостью позволяет значительно уменьшить размеры чип-конденсаторов, однако при этом необходимо учитывать влияние диэлектрических потерь и температурной стабильности на характеристики конденсаторов.

Уменьшение толщины диэлектрического слоя приводит к увеличению емкости, но также может приводить к увеличению диэлектрических потерь и снижению напряжения

пробоя. Неточность нанесения электродов может приводить к снижению емкости, увеличению эквивалентного последовательного сопротивления (ESR) и ухудшению температурной стабильности.

Непосредственно же уменьшение размеров чип-конденсаторов достигается за счет двух направлений исследований: уменьшения размера зерен керамического порошка и повышения точности контроля производственного процесса.

Использование керамических порошков с более мелкими зёрнами позволяет формировать более тонкие диэлектрические слои. Это напрямую влияет на габариты конденсатора, поскольку толщина диэлектрического слоя является одним из определяющих параметров. Чем тоньше слой, тем меньше размер конечного компонента [8].

Одновременно с этим, современные производственные технологии обеспечивают более высокий уровень контроля за процессом нанесения и спекания керамических слоев. Это позволяет укладывать большее количество слоев диэлектрика и электродов в одном конденсаторе, не снижая при этом его надежность и электрические характеристики. Увеличение числа слоев при уменьшении их толщины обеспечивает необходимую емкость в меньшем объеме.

Таким образом анализ современных тенденций в миниатюризации дискретных диэлектрических чип-конденсаторов выявил, что дальнейшее развитие в этой области требует комплексного подхода, включающего совершенствование существующих технологий производства, глубокое понимание влияния параметров диэлектрических материалов и технологических процессов на характеристики конденсаторов. Перспективными направлениями исследований являются изучение и применение новых диэлектрических материалов с высокой диэлектрической проницаемостью, таких как сегнетоэлектрики и материалы на основе оксидов металлов, с целью достижения еще большей миниатюризации.

Список литературы:

1. Макушин М.М., Черепанов И.И. Современные тенденции развития конденсаторов. Электроника: наука, технология, бизнес, 2019, № 10, с. 50-55.
2. Сенников И.А., Туринов В.И. Murata: резонаторы, конденсаторы керамические, триммеры. - М.: Издательский дом «Додэка-XXI». - 96 с.
3. Никифоров Д.К., Коржавый А.П., Никифоров К.Г. Эмитирующие наноструктуры «металл-оксид металла»: физика и применение: Монография / Под ред. А.П. Коржавого. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 156 с.
4. Новожилов, О. П. Электроника и схемотехника в 2 ч. Часть 1 : учебник для среднего профессионального образования / О. П. Новожилов. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. - 382 с.
5. Васильев В.Ю. Свойства и применение диэлектрических тонких пленок в технологиях микроэлектроники: учебное пособие / В.Ю. Васильев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. - с. 100.
6. Демидов А.А., Рыбалка С.Б. Современные и перспективные полупроводниковые материалы для микроэлектроники следующего десятилетия (2020-2030 г.). Прикладная математика & Физика, 2021, том 53, № 1, с. 53-72.

7. Смирнов Ю. А., Соколов С. В., Титов Е. В. Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники: Учебное пособие. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург.: Издательство «Лань», 2022. - 496 с.
8. Николаев М.Ю., Мальгин Г.В., Щекочихин А.В., Шкаруба М.В. Электротехнические и конструкционные материалы: учебное пособие / М.Ю. Николаев, Г.В. Мальгин, А.В. Щекочихин, М.В. Шкаруба. Нижневартовск: изд-во НВГУ, 2022. 167 с.

References:

1. Makushin M.M., Cherepanov I.I. Modern trends in the development of capacitors. Electronics: science, technology, business, 2019, No. 10, pp. 50-55.
2. Sennikov I.A., Turinov V.I. Murata: resonators, ceramic capacitors, trimmers. - Moscow: Publishing house "Dodeka-XXI". - 96 p.
3. Nikiforov D.K., Korzhavy A.P., Nikiforov K.G. Emitting metal-metal oxide nanostructures: physics and application: Monograph / Ed. A.P. Korzhavy. - Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2009. - 156 p.
4. Novozhilov, O. P. Electronics and Circuit Engineering in 2 Parts. Part 1: Textbook for Secondary Vocational Education / O. P. Novozhilov. - Moscow: Yurait Publishing House, 2025. - 382 p.
5. Vasiliev, V. Yu. Properties and Application of Dielectric Thin Films in Microelectronics Technologies: A Tutorial / V. Yu. Vasiliev. - Novosibirsk: NSTU Publishing House, 2021. - p. 100.
6. Demidov, A. A., Rybalka, S. B. Modern and Promising Semiconductor Materials for Microelectronics of the Next Decade (2020-2030). Applied Mathematics & Physics, 2021, Vol. 53, No. 1, pp. 53-72.
7. Smirnov Yu. A., Sokolov S. V., Titov E. V. Fundamentals of Microelectronics and Microprocessor Technology: A Textbook. - 2nd ed., corrected. - St. Petersburg: Lan Publishing House, 2022. - 496 p.
8. Nikolaev M. Yu., Malgin G. V., Shchekochikhin A. V., Shkaruba M. V. Electrical and Structural Materials: A Textbook / M. Yu. Nikolaev, G. V. Malgin, A. V. Shchekochikhin, M. V. Shkaruba. Nizhnevartovsk: NVSU Publishing House, 2022. 167 p.