

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики полупроводников

**Разработка электронных элементов на базе системы проводник-
диэлектрик**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 412 группы
направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
факультета нано- и биомедицинских технологий
Денисова Андрея Алексеевича

Научный руководитель

д.х.н., профессор
должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Горин Д.А.
фамилия, инициалы

Консультант

директор ООО
НПП «НТС», к.ф.-м.н.
должность, уч. степень, уч. звание
Зав. кафедрой

подпись, дата

Скибина Ю.С.
фамилия, инициалы

д.ф.-м.н., профессор
должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Михайлов А.И.
фамилия, инициалы

Саратов 2017

Введение

В настоящее время проблеме буферного аккумулирования электроэнергии уделяется много внимания. В мегаполисах ухудшается экологическая ситуация, ужесточаются требования к плотности застройки, увеличиваются капитальные и эксплуатационные затраты на экологические нужды. Основным источником загрязнения окружающей среды мегаполисов являются транспортные средства, оснащенные двигателями внутреннего сгорания. Кардинальным решением описываемых проблем стало бы распространение систем аккумулирования энергии, в том числе транспортного назначения. Интенсивное развитие как чисто аккумуляторных электромобилей, так и гибридных транспортных средств рассматривается как один из способов решения экологических проблем. Оптимизация энергоустановки электротранспорта зачастую идет по пути разделения нагрузок между блоком аккумуляторных батарей и блоком суперконденсаторов. Несмотря на скромные значения удельной энергоемкости (до 8 Вт ч/кг), суперконденсаторы обладают высокой удельной мощностью (2—6 кВт/кг), мало чувствительны к высоким токам и глубоким циклам разряда.

В силу этого обстоятельства они применяются для покрытия импульсных нагрузок (трогание с места, запуск двигателя, короткие ускорения) и рекуперации энергии торможения. Такая схема позволяет повысить ресурс и уменьшить общее количество дорогостоящих аккумуляторных батарей за счет снятия с них задачи регулирования пиковых нагрузок и работы на высоких токах заряда и разряда.

Другим направлением применения конденсаторов высокой ёмкости является повышение качества электроэнергии, генерируемой как системами на основе возобновляемых источников энергии, так и традиционными энергосистемами. За счет малого времени отклика суперконденсатора достигается возможность компенсации пиков и флуктуации напряжения, связанных с особенностями работы дизель-генераторов и ветроустановок.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается процесс разработки и изготовления электронных компонентов на базе имеющейся технологии вытяжки-перетяжки стеклоизделий.

Разрабатываемые изделия и технология подразумевают возможность масштабирования и автоматизации процесса производства, что позволит существенно сократить ресурсо-временные затраты на изготовление таких компонентов в общем и конденсаторов высокой емкости в частности, а так же производить конкурентоспособные по характеристикам и цене компоненты внутри страны.

Цель работы: разработка ряда электронных элементов на базе существующей технологии изготовления диэлектрика (вытяжки-перетяжки стеклоизделий), технология изготовления которых может быть масштабирована и использована в промышленном технологическом процессе.

Задачи

1) проведение литературного обзора по теме работы; изучение актуальной научно-технической литературы;

- 2) разработка электронных компонентов (резистор, конденсатор, конденсатор высокой ёмкости): выбор материалов, подбор оптимальной структуры, расчёт параметров конструкций;
- 3) создание данных компонентов;
- 4) измерение электрических параметров сконструированных образцов;
- 5) обработка и анализ полученных результатов измерений.

Работа включает в себя введение, литературный обзор, расчётную часть, экспериментальную часть, заключение и список использованных источников.

Основное содержание работы

В литературном обзоре приводятся общие сведения об объекте исследования, а именно об электрических конденсаторах, то есть об электронном компоненте, который может обладать постоянным или переменным значением ёмкости и малой проводимостью, служащем устройством для накопления заряда и энергии электрического поля.

Рассматривается принцип действия данного компонента, то есть принцип хранения электрической энергии.

Реальный конденсатор с потерей может быть смоделирован как идеальный конденсатор, который имеет эквивалентное последовательное сопротивление, которое рассеивает энергию при заряде или разряде конденсатора.

Простейший модельный конденсатор состоит из двух тонких параллельных проводящих пластин, разделенных диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ . Эта модель также может использоваться для качественных прогнозов для других геометрий устройства. Пластины, как полагают, равномерно распространяются по площади, и на их поверхности существует плотность заряда. Предполагая, что длина и ширина пластин намного больше их разделения, электрическое поле вблизи центра устройства равномерно с величиной.

Максимальная энергия зависит от диэлектрического объема, диэлектрической проницаемости и диэлектрической прочности. Изменение площади пластины и разделение между пластинами при сохранении того же объема не приводит к изменению максимального количества энергии, которое может хранить конденсатор, пока расстояние между пластинами остается намного меньше, чем длина и ширина пластин.

Приводится поведение конденсаторов соединённых между собой параллельно и последовательно.

Конденсаторы отклоняются от идеального уравнения конденсатора несколькими способами. Некоторые из них, такие как ток утечки и паразитные эффекты, являются линейными или могут быть проанализированы как почти линейные, и их можно решать путем добавления виртуальных компонентов в эквивалентную схему идеального конденсатора. В других случаях, например, с напряжением пробоя, эффект нелинейный и обычный (обычный, например, линейный), эффект должен рассматриваться отдельно.

Рассматриваются такие особенности работы как напряжение пробоя, эквивалентная схема, коэффициент качества или добротность, емкостная нестабильность, реверсирование тока и напряжения, диэлектрическое поглощение и утечки.

Также приводятся классификации по различным признакам. Основная классификация конденсаторов проводится по типу диэлектрика в конденсаторе. Тип диэлектрика определяет основные электрические параметры конденсаторов: сопротивление изоляции, стабильность ёмкости, величину потерь и др. По виду диэлектрика различают: 1) вакуумные; 2) газообразным диэлектриком; 3) с жидким диэлектриком; 4) с твёрдым неорганическим диэлектриком; 5) с твёрдым органическим диэлектриком; 6) электролитические и оксидно-полупроводниковые конденсаторы; 7) твердотельные конденсаторы.

В отдельную группу можно выделить так называемые суперконденсаторы, которые также носят название ионистор, электрохимический конденсатор. Они превосходят конденсаторы других типов по плотности ёмкости ρ_C , заряда ρ_Q и энергии ρ_E . В обычном плоском конденсаторе заряд концентрируется на обращённых друг к другу поверхностях электродов, а энергия электрического поля сконцентрирована в объёме межэлектродного промежутка.

Суперконденсатор представляет собой электрохимическое устройство, конденсатор с органическим или неорганическим электролитом, «обкладками» в котором служит двойной электрический слой на границе раздела электрода и электролита. Функционально представляет собой гибрид конденсатора и химического источника тока.

Они обычно хранят от 10 до 100 раз больше энергии на единицу объема или массы, чем электролитические конденсаторы, могут принимать и доставлять заряд намного быстрее, чем батареи, и допускают гораздо больше циклов зарядки и разрядки, чем перезаряжаемые батареи.

Типичная ёмкость ионистора — несколько фарад при номинальном напряжении 2—10 вольт.

Приводится обзор достижений последних лет в разработке конденсаторов. Стоит заметить, что большинство работ направлено на улучшение рабочих параметров, стоимости именно суперконденсаторов.

В расчётной части приводятся ряд вычислений электрических параметров, разрабатываемых электронных компонентов, по выбранным параметрам образцов, в частности геометрическим размерам и исходя из выбранных материалов.

В первую очередь происходит расчёт сопротивления стекла, то есть диэлектрического слоя $R_{ст}=1,67*10^{12}$ Ом

Далее производится расчёт сопротивления одного проводника, помещённого в стеклянную конструкцию. Оно составляет $R=1,14*10^{-8}$ Ом.

Затем, на основании имеющихся значений толщины слоя диэлектрика вычисляется напряжение пробоя $U_{пр}=25*10^3$ В.

В упрощении рассматривается ёмкость между двумя несоосными, не охватывающими друг друга круглыми цилиндрами, по выбранной для данной конфигурации формуле. Ёмкость данного парного конденсатора взаимодействующих составила $C=1,975*10^{-11}$ Ф.

Исходя из особенностей выбранной модели конденсатора предварительно был произведён расчёт количества попарных взаимодействий. Таким образом, в смоделированном 37-элементном образце было получено 54 взаимодействующие пары.

Исходя из того, что все пары были соединены между собой параллельно, то общая ёмкость модели 37-элементного конденсатора составляет $C_{об} = 1,6$ нФ.

Далее выбираются максимально масштабированные геометрические параметры для образца и исходя из них рассчитывается конфигурация, которая предельно возможна к осуществлению в условиях предприятия.

Для вновь введённых параметров был произведён расчёт сопротивления одного проводника, которое составило $R = 3,821 \cdot 10^{-8}$ Ом.

Также для данной конфигурации было рассчитывается напряжение пробоя

$$U_{пр} = 25 \cdot 10^{-2} \text{ В.}$$

Затем вычисляется ёмкость пары взаимодействующих проводником со слоем диэлектрика между ними $C = 2,099 \cdot 10^{-10}$ Ф.

Исходя из особенностей выбранной нами модели конденсатора предварительно был произведён расчёт количества взаимодействий.

В данном смоделированном образце было получено $1,058 \cdot 10^{10}$ взаимодействующие между собой пары цилиндрических проводников.

Исходя из того, что они все соединены между собой параллельно, то их общую ёмкость данной модели можно рассчитывается и составляет $C_{об} = 2,221 \Phi$.

В экспериментальной части к рассмотрению предлагается уже известная технология изготовления стеклянных структур, которая базируется на следующих основных технологических процессах:

1. Вытяжка стеклоизделий из расплава;
2. Перетяжка стеклоизделий;

Вытяжка стеклоизделий из расплава является наиболее устоявшейся классической технологией получения стеклоизделий в виде трубок и стержней с различной формой и размерами поперечного сечения

Собранная заготовка перетягивается так же, как описано выше, в результате чего получается изделие подобное по форме поперечного сечения исходной заготовке, но с меньшими геометрическими размерами.

Заполнение стеклянных трубок производилось металлом, в данном случае оловом. Также для предотвращения возникновения дефектов трубок, таких как трещины, в момент заполнения их металлом, на них воздействовали внешним источником тепла.

Помимо металла для заполнения используется и другой тип проводника - стеклянные трубки заполнялись пористым углеродом. Перед этим действием предварительно он был подготовлен и измельчен механическим способом. Далее стеклотрубки заполняются пористым углеродом, для более качественной и лучшей плотности упаковки, он

«утрамбовывался» при помощи ультразвукового воздействия на конструкцию. Оно осуществлялось в течении 15 минут.

Из полученных заготовок был сконструирован конденсатор, представляющий собой два несоосных, не охватывающих друг друга круглых цилиндра из стеклянных трубок заполненных металлом, в работе использовалось олово. Измеренная ёмкость данного образца составила $C_{c-m} = 20$ пФ

Аналогичным образом был создан конденсатор той же конфигурации, но вместо металла он был заполнен углеродом. Измеренная ёмкость полученного образца составила $C_{c-y} = 20$ пФ.

Из полученных стеклянных трубок, заполненных металлом, была создана модель конденсатора конфигурации, состоящая из 37 стеклянных трубок заполненных металлом.

В итоге, данный модельный образец представляет набор ёмкостей, представляющих собой пары несоосных, не охватывающих друг друга круглых цилиндра из стеклянных трубок заполненных металлом, соединённых как указано выше между собой параллельно.

В результате, измеренная ёмкость образца составляет $C_{37} = 855$ пФ.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрен процесс разработки и изготовления электронных компонентов на базе имеющейся технологии вытяжки-перетяжки стеклоизделий. Разработаны изделия и

технология их производства, позволяющая масштабировать и автоматизировать процесс производства.

Достигнуты все поставленные задачи:

- 1) проведен литературный обзор по теме работы;
- 2) разработаны электронные компоненты (резистор, конденсатор, конденсатор высокой ёмкости);
- 3) созданы опытные модели данных компонентов;
- 4) измерены их электрические параметры.

Полученные опытные образцы подтвердили правильности математической модели, расхождение результатов находится в рамках погрешностей изготовления и измерений. На основании этой модели рассчитаны показатели предельно возможных для данной технологии конструкций, расчетные характеристики которых, оказываются наравне, а для некоторых параметров лучше, чем промышленно изготавливаемые и коммерчески доступные аналоги.