

ОСТРОВКОВЫЙ ТОНКОПЛЁНОЧНЫЙ КОНДЕНСАТОР

ISLET THIN FILM CAPACITOR

О.Г.Андреасян/ ovs.andreasyan@gmail.com,

С.В.Сидорова/ sidorova@bmstu.ru

O.G.Andreasyan, S.V.Sidorova

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Проведен технологический анализ конденсатора, с проводящим слоем островковых тонких плёнок на обкладках. Представлены результаты моделирования электрических характеристик островкового конденсатора в среде ComsolMPH. Построена математическая модель зависимости сопротивления островковых тонких пленок алюминия от входных параметров – скорости осаждения, тока на испарителе и времени формирования.

A technological analysis of a capacitor with a conductive layer of islet thin films on the plates has been carried out. The results of the electrical characteristics modeling of an islet capacitor in the ComsolMPH environment are presented. A mathematical model for the dependence of the resistance of islet thin aluminum films on the input parameters (deposition rate, current on the evaporator and formation time) is constructed.

Ключевые слова: тонкоплёночный конденсатор, островковый конденсатор, тонкая плёнка, наноструктура, островковая тонкая плёнка, островковая наноструктура, электрическая проводимость, туннельный эффект, модель.

Keywords: thin film capacitor, islet capacitor, thin film, nanostructure, islet thin film, islet nanostructure, electrical conductivity, tunneling effect, model.

ВВЕДЕНИЕ

Конденсаторы находят применение почти во всех отраслях электроники, начиная с фильтров и цепей обратной связи, заканчивая электромагнитными ускорителями масс (пушка Гаусса) и элементами памяти [1]. Доказано что, если заменить одну из обкладок плёнкой с полусферическими зёрнами, то можно увеличить эффективную площадь конденсатора более чем в 1,5-2,0 раза [2]. Результаты данного эксперимента заставили задуматься о нанесении на обкладки конденсатора островковых тонких пленок (ОТП). Свойство островковых наноструктур (ОНС) увеличивать площадь поверхности в купе с квантовыми особенностями прогнозируют резкое улучшение характеристик конденсатора.

Суть разработки – создание островкового тонкопленочного конденсатора (ОТК) путем модернизации конструкции тонкопленочного конденсатора, благодаря нанесению дополнительного проводящего островкового слоя на обе обкладки изделия для улучшения характеристик элемента (в частности – ёмкости конденсатора).

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ОТК

На рис. 1 изображён тонкопленочный конденсатор. Он имеет трёхслойную основу: нижняя обкладка, слой диэлектрика и верхняя обкладка. На проводящие слои предполагается наносить островковую тонкую пленку алюминия.

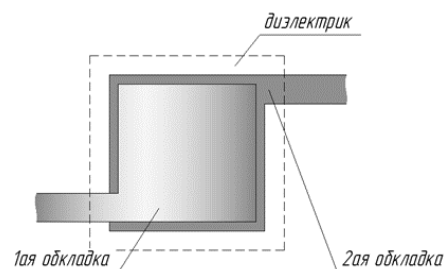


Рис. 1. Структура тонкоплёночного конденсатора.

Эскиз островкового конденсатора разработан с учетом последующего подбора материалов для всех слоев устройства (рис. 2). Существенная часть площади обкладок конденсатора покрыта ОТП.

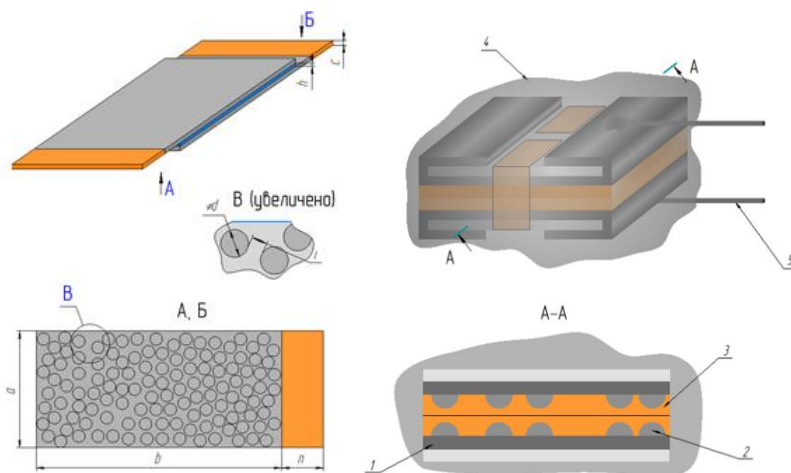


Рис. 2. Конструкция островкового тонкоплёночного конденсатора.

Проведенное в среде ComsolMPH моделирование электрических параметров показало увеличение ёмкости элемента при нанесении островкового слоя в 5,12 раз (рис. 3).

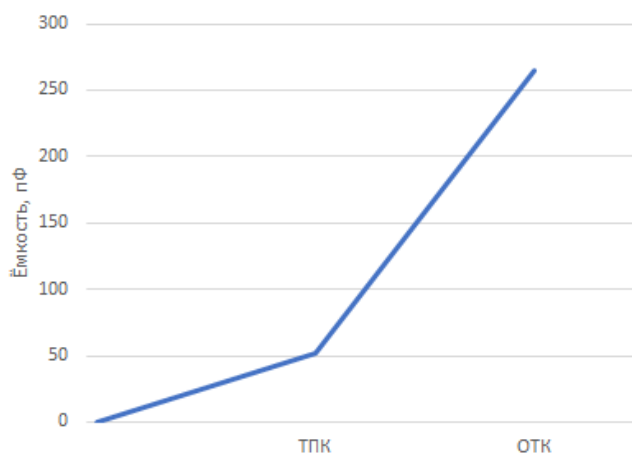


Рис. 3. Сравнение ёмкости тонкоплёночного (ТПК) и островкового (ОТК) конденсаторов.

Конструкция ОТК (см. рис. 2) включает в себя две обкладки 1, на которых сформирован островковый слой 2. Диэлектрик 3 обеспечивает защиту островкового слоя

и предохраняет обкладки от контакта между собой. Корпус 4 предусматривает не только защиту устройства, но и фиксацию обкладок и контактов 5.

ПОСТАНОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе выполнения исследований научной группой были получены значения туннельного тока через подложку в процессе нанесения алюминия методом термического испарения на диэлектрическую подложку. После обработки этих данных получена серия зависимостей туннельного тока от времени. Параметры процесса: напряжение УБП = 0,1 В, ИТИ=5 А (режим стабилизации по току).

Анализ зависимостей выявил три основные стадии роста тонкой пленки алюминия в соответствии с её сопротивлением:

До нанесения – $R_{max} = \infty$, старт эксперимента, рост островков еще не начался.

Образование, рост и слияние островков – $0,75 \cdot 10^{-3} < I_t < 5 \cdot 10^{-3}$ А. В интервале примерно от 28 до 77 с предполагается уже формирование и рост островковой плёнки.

Образование сплошной пленки – $I_t > 5 \cdot 10^{-3}$ А, $R \rightarrow 0$. Изменился характер роста кривой, угол наклона стал более острым.

На основании анализа зависимости туннельного тока от времени формирования тонкопленочного покрытия алюминия выбран временной интервал образования и роста островковой плёнки – 20..50 с. Нижняя граница временного интервала захватывает стадию активного роста островковой тонкой пленки, а именно самих островковых наноструктур, позволяя не упустить получение их минимально возможных геометрических параметров. Верхняя граница временного интервала обусловлена тем, что в этот временной промежуток происходит активная коалесценция островкового слоя, но не переходящего в лабиринтную пленку.

Для определения зависимости размера островка от параметров процесса было решено провести анализ полученных данных по методу полного факторного анализа (ПФЭ).

Все эксперименты проводятся на установке МВТУ-11-1МС [2], которая была оснащена источником термического осаждения.

Для проведения исследований подготовлены 8 образцов (всего потребуется 4 загрузки/выгрузки). За одну загрузку формируем покрытия для скоростей осаждения $1,92 \cdot 10^{-11}$ кг/м² (расстояние испаритель-подложка – 80 мм) и $7,88 \cdot 10^{-12}$ кг/м² (расстояние испаритель-подложка 100 мм) за счет расположения подложек на луче на расстоянии 60 мм друг от друга.

Ток варьирования был выбран исходя из возможностей блока питания и резистивной проволоки, которая использовалась в качестве испарителя.

Сопротивление каждого из образцов будет измеряться на измерителе сопротивления LCR-816 с диапазоном индикации от 0,00001 до 99999 Ом [4].

Перед непосредственным измерением сопротивления, требуется провести предварительную калибровку прибора, что повысит точность и воспроизводимость полученных данных.

Процесс измерения будет проводится совмещением щупов с образцом.

Показания сопротивления будут сниматься с дисплея устройства.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТК

Для каждого набора параметров проводилось 5 измерений.

В ходе получения 8 образцов проведено 4 загрузки образцов. За одну загрузку удавалось получить значения для скоростей осаждения $1,92 \cdot 10^{-11}$ кг/м² (расстояние испаритель-подложка – 80 мм) и $7,88 \cdot 10^{-12}$ кг/м² (расстояние испаритель-подложка 100 мм) за счет расположения подложек на луче на расстоянии 60 мм друг от друга.

Полученная математическая модель имеет вид:

$$Y^* = 6,8625 - 0,8875X_1 - 0,6525X_2,$$

где X_1 – время, с; X_2 – ток на испарителе, А; Y^* – сопротивление покрытия в мкОм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена модернизация конструкции конденсатора путем нанесения островкового слоя на обе обкладки для улучшения электрических характеристик. Показано, что внедрение слоя островков алюминия на обкладки повышает емкость конденсатора более, чем в 5 раз.

Проведены исследования зависимости сопротивления островковой пленки алюминия от параметров процесса. Показано, что сопротивление наносимой термическим испарением пленки алюминия зависит в основном от тока и времени нанесения, а также от взаимодействия факторов времени и тока. Математическая модель показывает, что нельзя исследовать влияние входных факторов на сопротивление тонкой пленки алюминия независимо друг от друга. При повышении значений тока и времени, сокращении расстояния испаритель-подложка сопротивление пленки алюминия снижается. Фактор тока особо значим на выбранном интервале варьирования от 3,5 до 5 А.

Наиболее подходящим режимом формирования островкового слоя необходимой конфигурации (высота около 25 нм, диаметр около 200 нм) выбраны значения: 5 А, 80 мм, 25 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ru.Wikipedia.org [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрический_конденсатор#cite_ref-1. – Электрический конденсатор. – (Дата обращения: 8.12.2019).

2. Турцевич А.С., Ануфриев Л.П., Наливайко О.Ю., Лесникова В.П. Пленки поликристаллического кремния с полусферическими зернами // Доклады БГУИР. 2005. №1 (9). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/plenki-polikristallicheskogo-kremniya-s-polusfericheskimi-zernami> (дата обращения: 08.12.2019).

3. Островковый тонкопленочный конденсатор [Текст] : пат. 200183 Рос. Федерация : МПК H01L 21/00 (2006.01).

4. Sidorova S. V., Andreyanov O. G., Zhuravleva V. S. Modeling and Visualization Electrical Conductivity of Islet Thin Films //Advances in Automation II: Proceedings of the International Russian Automation Conference, RusAutoConf2020, September 6-12, 2020, Sochi, Russia. – Springer International Publishing, 2021. – С. 284-292.