

Рис.5 - Зависимости максимальных эквивалентных напряжений в керамической детали от величины зазора для двух вариантов геометрии МКУ

Выполнено параметрическое исследование зависимости максимальных эквивалентных напряжений в керамической детали от зазора для пайки, где величина зазора между деталью из ковара и керамикой варьировалась в пределах 10–200 мкм. Выявлены зависимости напряжений от величины зазора между деталью из ковара и керамикой, а также зависимости напряжений для варианта с фасками. Сделан вывод о том, что вариант с фасками в МКУ более предпочтителен для применения ввиду сниженных значений термомеханических напряжений, возникающих в керамических деталях. Пониженные напряжения снижают риск образования и распространения трещин, что, несомненно, благоприятно сказывается на сроках и допустимых режимах эксплуатации МКУ.

Список использованных источников:

1. Солодуха, В.А. Металлокерамические корпуса мощных полупроводниковых приборов / В. А. Солодуха, А. С. Турцевич, А. Ф. Керенцев. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2010. – 216 с.
2. Басов К. А. ANSYS для конструкторов. — М.: ДМК Пресс, 2009. — С. 248. — ISBN 978-5-94074-462-7
3. Sharcnet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/>

## СВОЙСТВА ПЛЕНОК SiO<sub>2</sub>, ПОЛУЧЕННЫХ ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Святохо С.В.

Телеш Е.В. – ст. преподаватель

Исследовано влияние режимов нанесения на свойства покрытий из диоксида кремния, полученных прямым осаждением из ионных пучков ТЭОС и кислорода. Установлено, что увеличение давления кислорода приводит к росту пропускания и электрической прочности, уменьшению поглощения и диэлектрических потерь покрытий. Покрытия имели адгезию, соответствующую уровню 4В–5В ASTM в диапазоне анодного напряжения 55–125 В.

Задача синтеза высококачественных диэлектрических покрытий из диоксида кремния с высокой производительностью является актуальной для микроэлектроники, оптоэлектроники и оптики. В последние годы все больше внимания исследователей привлекают методы, основанные на нанесении тонкопленочных покрытий из ионных потоков или пучков. При прямом ионном осаждении используется ионный источник, который способен выдавать широкий пучок ионов и направлять химически активные частицы на подложку для последующего осаждения.

Для нанесения покрытий использовалась модернизированная установка вакуумного напыления ВУ-1А, оснащенная ионным источником на основе торцевого холловского ускорителя (ТХУ). Скорость нанесения Vn находилась в пределах от 2,08 до 4,33 нм·см<sup>-1</sup> и зависела от состава газа и тока разряда. Спектры пропускания пленок, полученных при отсутствии кислорода и при давлении кислорода 6,65·10<sup>-3</sup> Па показаны на рисунке 1.

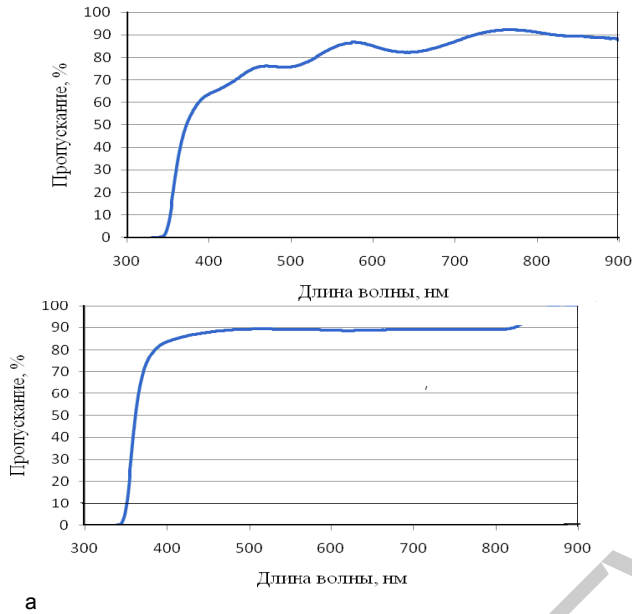


Рис.1 – Спектры поглощения и пропускания пленок, синтезированных при отсутствии кислорода (а) и при давлении кислорода  $6,65 \cdot 10^{-3}$  Па (б)

Наблюдается существенное улучшение пропускания при добавке кислорода. Об этом свидетельствует и зависимость оптического пропускания  $T$  и поглощения  $\alpha$  на  $\lambda=555$  нм от давления кислорода (рисунок 2). В то же время нагрев подложки привел к значительному снижению прозрачности пленок и росту поглощения (рисунок 3). Энергия конденсирующихся частиц находилась в диапазоне 30...40 эВ. Это способствовало формированию более плотной структуры покрытий и росту коэффициента преломления. При использовании в качестве рабочего газа  $\text{SiH}_4$  повышение  $T_n$ , наоборот, способствовало улучшению оптических свойств. Повышение  $T_n$  с 343 до 623 К привело к росту коэффициента преломления  $n$  с 1,52 до 1,86 при давлении кислорода  $6,65 \cdot 10^{-3}$  Па.

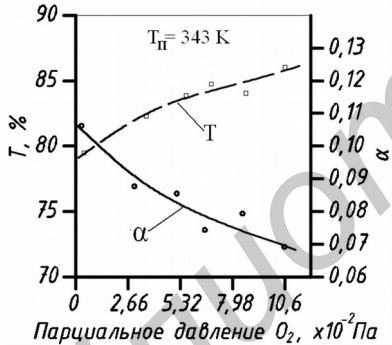


Рис. 2 – Зависимость пропускания и поглощения от парциального давления кислорода

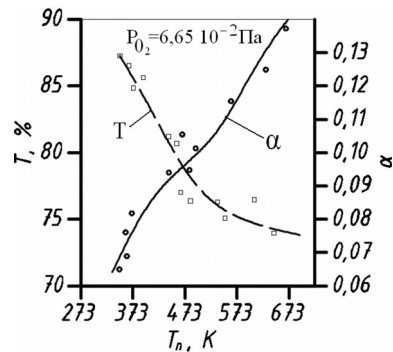


Рис.3 – Зависимость пропускания и поглощения от температуры подложки

Измерение электрофизических характеристик пленок показало, что повышение давления кислорода способствовало снижению  $\text{tg} \delta$  и незначительному росту электрической прочности, что можно связать с дополнительным окислением кремния (рисунок 4). Нагрев подложки до 423 К привел к повышению  $E_{np}$  почти в 2 раза и к снижению потерь. Однако при  $T_n > 473$  К происходит рост  $\text{tg} \delta$  и уменьшение  $E_{np}$  (рисунок 5).

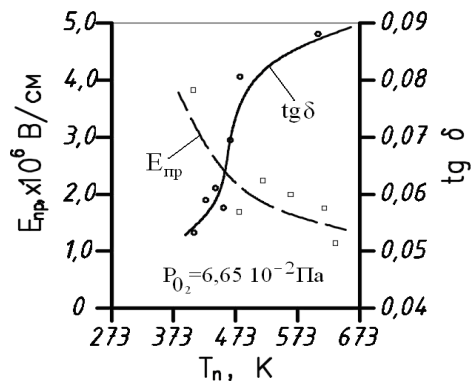
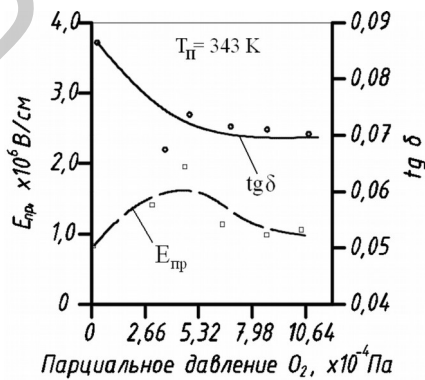


Рис.4 – Зависимость пропускания и поглощения от парциального давления кислорода

Рис.5 – Зависимость пропускания и поглощения от температуры подложки

Для исследования пористости покрытия осаждались на неподвижные подложки из арсенида галлия. Температура подложек составляла 333–353 К. На поверхность диэлектрического покрытия наносилась тонкая пленка из алюминия. Полученная структура подвергалась нагреву при 953 К в течение 5 мин. После охлаждения проводился подсчет количества пор с использованием оптического микроскопа. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования пористости покрытий от режимов нанесения

№ обр.	$P_{O_2}$ , Па	$P_{SiH_4}$ , Па	$U_a$ , В	$I_p$ , А	$N$ , см <sup>-2</sup>
1	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	100	1,5	112
2	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	75	4,0	182
3	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	75	3,0	73
4	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	75	3,0	29

Анализ полученных результатов показал, что повышение мощности разряда со 150 до 300 Вт привело к возрастанию пористости с 112 до 182 см<sup>-2</sup>. Это означает, что высокая скорость нанесения способствует росту покрытия с неплотной структурой, что может привести к увеличению числа пор. На пористость оказывает сильное влияние и толщина слоя диэлектрика, о чем свидетельствуют данные по образцам 3 и 4. Увеличение толщины диэлектрика ~ в 2 раза привело к снижению количества пор в 2,5 раза.

Установлено, что увеличение давления кислорода приводит к росту пропускания и электрической прочности, уменьшению поглощения и диэлектрических потерь покрытий. Повышение температуры подложки не способствовало улучшению оптических характеристик покрытий. Нагрев подложки до 423 К привел к повышению  $E_{пр}$  почти в 2 раза и к снижению потерь. Однако при  $T_p > 473$  К происходит рост  $tg\delta$  и уменьшение  $E_{пр}$ .

Список использованных источников:

1. Телеш, Е. В. Формирование межуровневого диэлектрика прямым осаждением из ионных пучков / Е. В. Телеш, А. Ю. Вашуров, С. В. Святохо // Приборостроение-2016 : материалы 9-й международной научно-технической конференции, Минск, 23-25 ноября 2016 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. – Минск, 2016. – С. 387-389.
2. Телеш Е.В.. Формирование оптических покрытий прямым осаждением из ионных пучков / Е.В.Телеш, Н.К. Касинский // Контенант, 2014.– т.13.– №2.–С.27–30.

## МНОГОКАНАЛЬНЫЙ АППАРАТ ХОЛТЕРОВСКОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ С BLUETOOTH-МОДУЛЕМ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Сидоркина А.В.

Гуревич О.В. – ст.преподаватель

Целью данной работы является разработка портативного многоканального аппарата холтеровского мониторинга с Bluetooth-модулем.

Кардиорегистратор (холтер монитор) предназначен для суточного анализа и контроля основных видов сердечных аритмий и оценки ишемических изменений ЭКГ. Регистратор записывает в цифровом виде без сжатия ЭКГ по трем отведениям и данные о ускорении пациента со встроенного акселерометра, который передает записанную информацию по каналу Bluetooth на удаленное устройство. На удаленном устройстве результат мониторинга отображается в виде графиков, таблиц, гистограмм, трендов и фрагментов ЭКГ в протоколе обследования, который в дальнейшем сохраняется и отображается на дисплее. Данное устройство применяется в медицинской диагностике и может быть использовано врачом-кардиологом для постановки более точного диагноза сердечных заболеваний.

В комплекте с устройством поставляется прикладное ПО, которое пользователь может установить на свой смартфон с ОС Android для получения информации о мониторинге. После сопряжения появляется возможность выбрать количество каналов наблюдения, включить или отключить мониторинг ускорения пациента, а также установить настройки периода мониторинга, сохранения и последующей передачи результата наблюдения.