

Список использованных источников:

1. Бордусов, С. В. Плазменные СВЧ технологии в производстве изделий электронной техники / Под. ред. А. П. Достанко. – Минск. : Бестпринт, 2002. – 452 с.
2. Де Бройль Л. Электромагнитные волны в волноводах и полых резонаторах / Пер. с фр. М. С. Головиной ; под ред. В. Т. Овчарова. – М. : ИЛ, 1948. – 91 с.
3. Мирошниченко, С.П. Микроволновые печи / С.П. Мирошниченко, В.В. Поляков // Уч. метод. пособие по курсу «Бытовая электроника». – Таганрог : Изд – во ТРТУ, 2000. – 38с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ УЗЛАХ

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

Сафаров Р.В.

Ланин В. Л. – д-р. техн. наук, профессор

Металлокерамический узел (МКУ) – это неразъемное соединение деталей из металла и керамики, обычно получаемое пайкой. Подобные узлы широко применяются в приборостроительной, радиоэлектронной, электронной промышленности для изготовления корпусов интегральных схем и других изделий. Пайка металлокерамических узлов выполняется в конвейерной водородной печи с градиентом температуры 10-15°С/мин на стадии перехода припоя из жидкого состояния в твердое.

Из-за того, что пайка проходит при повышенных температурах, а материалы МКУ обладают различным коэффициентом теплового расширения, то после пайки и охлаждения изделия в нем возникают термомеханические напряжения. Целью моделирования является определение зон возникновения термомеханических напряжений в МКУ и разработка рекомендаций по их уменьшению. Особое внимание уделяется напряженно-деформированному состоянию керамической детали, как наиболее хрупкой части узла [1]. Общий вид и структура МКУ показаны на рисунке 1 (а,б).

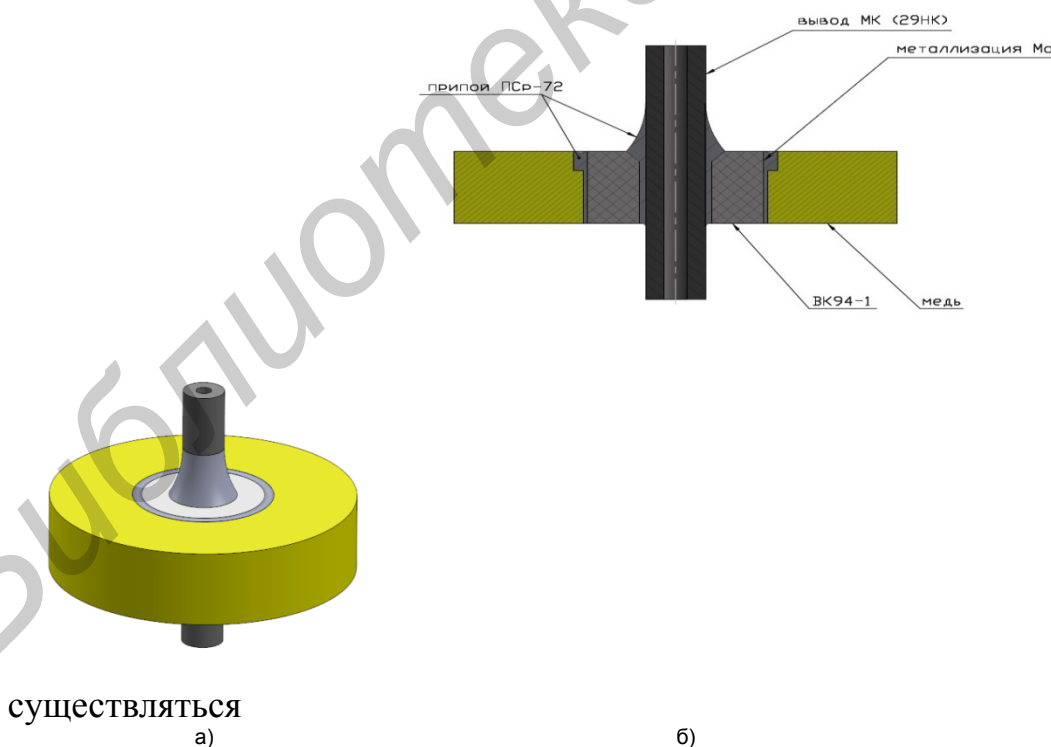


Рис.1 – а) - общий вид МКУ; б) - структура МКУ

Для моделирования выбрана сетка преимущественно из квадратных и треугольных элементов второго порядка (с промежуточными узлами) PLANE183. Размер базового элемента принят 8e-2 мм, для деталей припоя и части детали из ковара задан размер элемента 5e-3 мм (рис.2). Единственной нагрузкой было равномерное температурное поле ( $T_1=20$  С), т.е. предполагаемая температура хранения и эксплуатации МКУ. Начальная температура (температура, при которой напряжения были нулевыми) была  $T_0=800$  С.

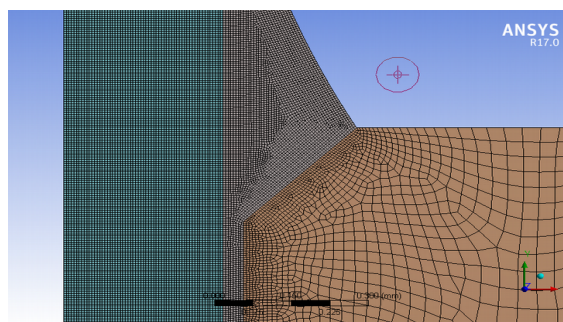


Рис. 2 – Фрагмент расчетной сетки

Инструменты ANSYS Mechanical для анализа деформируемых твердых тел предлагают широкий набор возможностей, которые позволяют выполнять моделирование термомеханических напряжений. [2] Для расчета термомеханических напряжений и деформаций использованы соответствующие уравнения термоупругости [3]. На рисунке 3 показаны напряжения в керамической детали для зазора в 40 мкм исходного варианта.

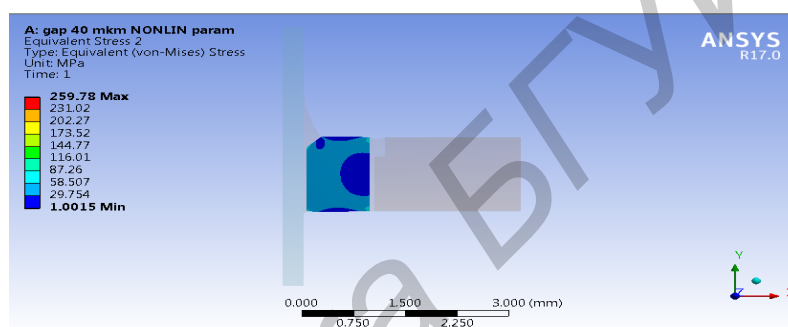


Рис. 3 – Эпюра напряжений для керамической детали в МКУ

На рисунке 4 показаны напряжения в керамической детали для зазора 40 мкм варианта МКУ с фасками.

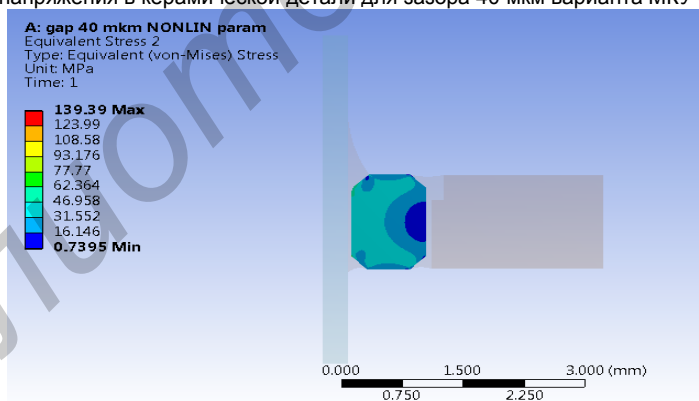


Рис.4 – Эпюра напряжений для керамической детали в МКУ с фасками

Сравнение зависимостей максимальных эквивалентных напряжений в керамической детали от величины зазора для пайки приведено на рисунке 5. Видно, что для варианта с фасками значения напряжений существенно ниже.

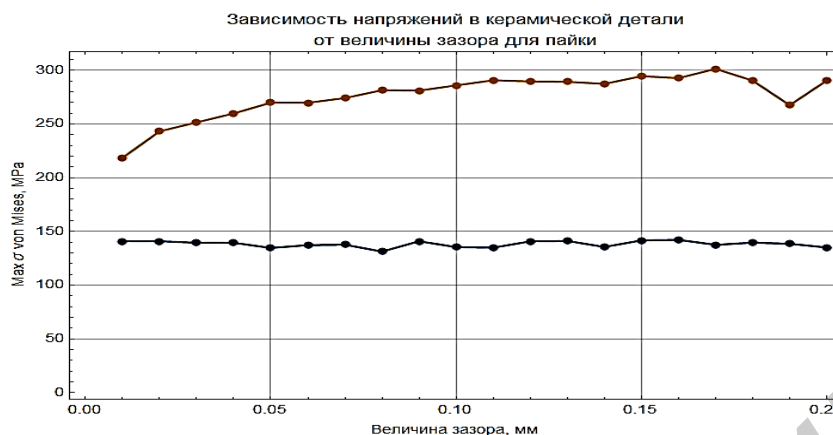


Рис.5 - Зависимости максимальных эквивалентных напряжений в керамической детали от величины зазора для двух вариантов геометрии МКУ

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  $V_n$  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.