

## УДК 666.3.016.5

### **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОМОЛА ПОРОШКА КЕРАМИЧЕСКОГО НАПОЛНИТЕЛЯ И СОДЕРЖАНИЯ СТЕКЛА В СОСТАВЕ КЕРАМИКИ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Поручиков Николай Павлович

*Магистр 2 года*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

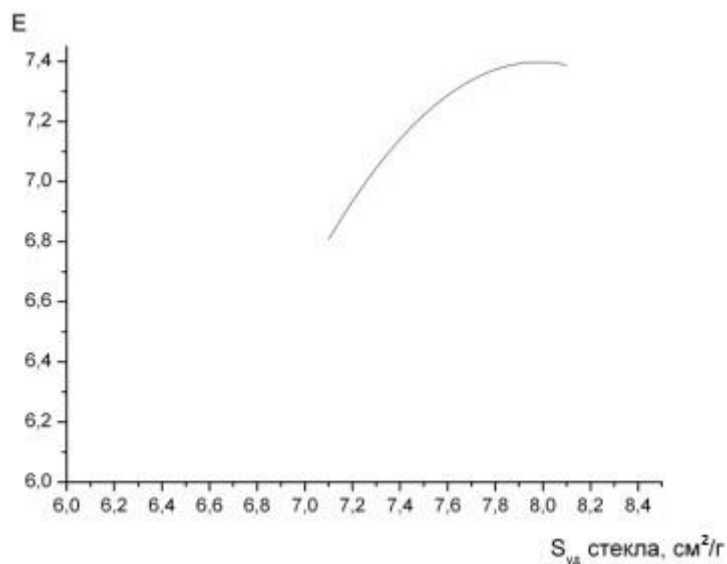
*Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.И.Беликов, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Электронные технологии в машиностроении»*

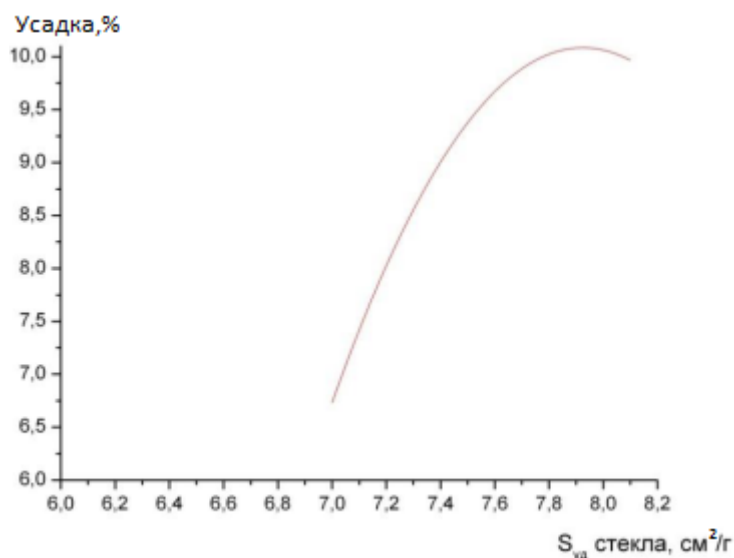
Коммутационная плата микросборки представляет собой миниатюрный аналог многослойной печатной платы. Основная задача диэлектрического основания печатной платы состоит в минимизации потерь энергии в СВЧ тракте и изоляции сигнального тракта от электромагнитных помех. Данные функции керамической подложки становятся особенно важными для многослойных печатных плат (МПП). У керамики, как у диэлектрика, выделяют два основных параметра, это тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) и диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon$ ). Тангенс угла диэлектрических потерь влияет на рассеивание энергии на СВЧ тракте при работе устройства, а диэлектрическая проницаемость характеризует степень изолированности сигнального тракта от электромагнитных со стороны других слоев платы и извне. Значение  $\text{tg}\delta$ , обычно, не превышает сотых или десятых долей единицы, но при работе на частотах свыше 1 ГГц, различия в сотых становятся существенными. Значение  $\epsilon$  можно сделать бесконечно большим, для полной изоляции одного слоя печатной платы от другого, но в случае с СВЧ устройствами так сделать нельзя, в силу того, что и корпус устройства, и излучение от соседних слоев участвуют в работе каждого отдельного слоя.

Учитывая то, что СВЧ устройства очень чувствительны к значениям  $\text{tg}\delta$  и  $\epsilon$ . На значения  $\text{tg}\delta$  и  $\epsilon$  готового изделия влияет большое количество факторов, например: дисперсность порошков алунда и стекла, влажность порошков при помоле, режим помола, массовые доли порошков в составе керамики и т.д. Для определения параметров техпроцесса, получения требуемых значений дисперсности порошка, проводятся исследования, в ходе которых выявляются зависимости дисперсности порошка от времени помола и формы мелющих тел, а также определяется оптимальная дисперсность порошков, входящих в состав керамики. На рисунках 1 и 2 представлены графики, построенные на основе экспериментальных данных, отражающих зависимости  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  от удельной площади поверхности. Требуемое значение  $\text{tg}\delta$  составляет  $10,2 \cdot 10^{-4} \pm 0,003$ . Значение  $\epsilon$  составляет  $7,2 \pm 0,15$ .

Порошок стекла подготавливается путем дробления стеклянного гранулята, который варится из шихты, в тиглях при температуре 1200°C, с выдержкой и последующей грануляцией в воду. Для получения оптимальных свойств материала важно массовое соотношение порошков стекла и оксида алюминия. На рисунке 1 показана зависимость  $\epsilon$  стеклокерамического материала (СКМ) от удельной поверхности порошка стекла при постоянном весовом соотношении оксида алюминия и стекла.

Рисунок 1 - Зависимость  $\epsilon$  от  $S$  удельной

Увеличение диэлектрической постоянной связано с насыщением стеклом «каркаса» СКМ и появлением плёнки стекла на поверхности. Необходимое для работы СВЧ усилителя значение  $\epsilon$  равное 7-7,2 достигается при удельной поверхности стекла от 7,3 до  $8 \cdot 10^3$  см<sup>2</sup>/г. Величина удельной поверхности оказывает влияние на усадку (в процентах) готового керамического изделия. Зависимость усадки от величины удельной поверхности стекла представлена на рисунке 2.

Рисунок 2 – Зависимость усадки от  $S$  удельная

Из графика на рисунке 2 видно, что при возрастании удельной поверхности стекла увеличивается и усадка. Гранулометрический состав порошков определяет количество связующего, необходимого для получения нужной вязкости шликера. От вязкости шликера зависит усадка изделия при обжиге: чем мельче частицы, тем больше стекла потребуется для заполнения пор в порошке оксида алюминия и тем выше механическая прочность готового изделия. При удалении в процессе обжига органических компонентов связки из ленты существуют ограничения связанные с увеличением сопротивления проникновению кислорода и удалению продуктов выгорания связующих компонентов. Кроме того увеличивается неравномерность

усадки по осям X и Y, в связи с массопереносом мелких частиц в процессе сушки ленты.

Механическая прочность СКМ зависит от плотности упаковки и размера частиц. Зависимость механической прочности образцов СКМ от удельной поверхности порошка оксида алюминия показана на рисунке 3.

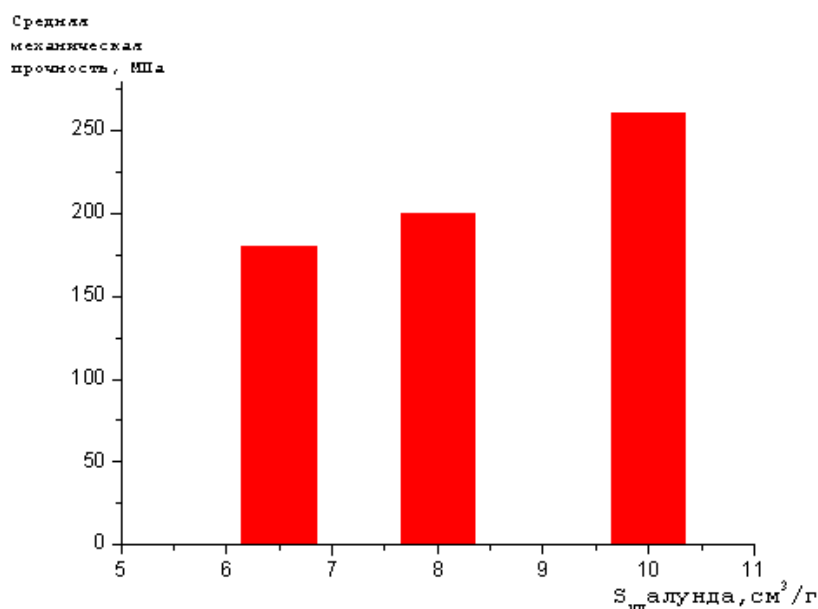


Рисунок 3 – Зависимость механической прочности от S удельной

Увеличение механической прочности при увеличении удельной площади поверхности согласуется с литературными данными и связана с гомогенизацией фаз и увеличением центров кристаллизации.

Таблица 1 – Результаты измерений  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$

№	Суд.ст., $\text{cm}^2/\text{g}$	Суд.ал., $\text{cm}^2/\text{g}$	$\epsilon$	$\text{tg}\delta$
1	$5,5 \cdot 10^3$	$7,9 \cdot 10^3$	6	$9,395 \cdot 10^{-4}$
2	$6,3 \cdot 10^3$	$8,0 \cdot 10^3$	6,4	$9,652 \cdot 10^{-4}$
3	$6,5 \cdot 10^3$	$9,0 \cdot 10^3$	6,8	$9,897 \cdot 10^{-4}$
4	$7,8 \cdot 10^3$	$9,5 \cdot 10^3$	7,2	$10,125 \cdot 10^{-4}$
5	$8,5 \cdot 10^3$	$10,1 \cdot 10^3$	7,3	$10,242 \cdot 10^{-4}$
6	$9,2 \cdot 10^3$	$10,3 \cdot 10^3$	7,6	$10,531 \cdot 10^{-4}$
7	$9,7 \cdot 10^3$	$14,8 \cdot 10^3$	8,0	$11,241 \cdot 10^{-4}$
8	$10,2 \cdot 10^3$	$15,1 \cdot 10^3$	8,3	$11,463 \cdot 10^{-4}$

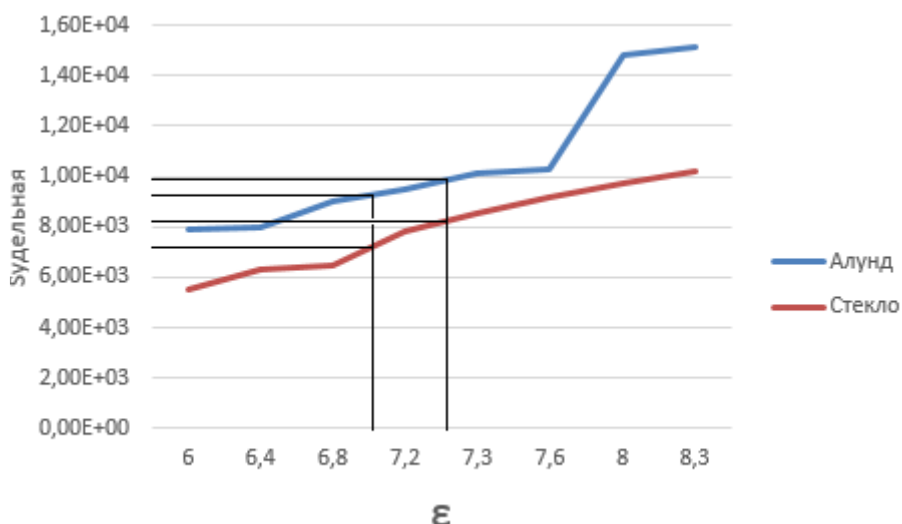


Рисунок 4 – Зависимость ε от S удельной.

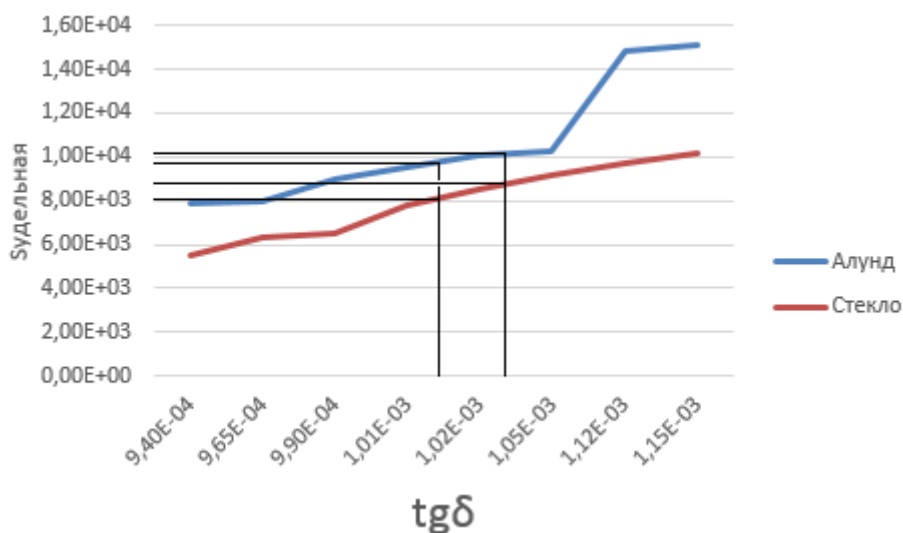


Рисунок 5 – Зависимость tgδ от Судельной

Образцы, используемые в измерениях  $\epsilon$  и  $tg\delta$ , представляют собой макет МПП в форме диска, набранный из семи слоев исследуемой керамики. Образцы имеют диаметр = 50мм, толщину = 4 мм. Требуемое значение  $tg\delta$  составляет  $10,2 \cdot 10^{-4} \pm 0,003$ . Значение  $\epsilon$  составляет  $7,2 \pm 0,15$ .

Из графиков, представленных на рисунках 4 и 5 видно, что для получения требуемых параметров  $\epsilon$  значения Суд находятся в пределах от  $7,5 \cdot 10^3$  до  $8,1 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>/г для порошка стекла и в пределах от  $9,4 \cdot 10^3$  до  $10,1 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>/г для порошка алунда. Необходимые значения  $tg\delta$  достигаются при Суд от  $8,3 \cdot 10^3$  до  $9,5 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>/г для стекла и в пределах от  $9,8 \cdot 10^3$  до  $10,1 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>/г для порошка алунда.

Измерение двух основных параметров диэлектрика ( $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$ ) проводились с помощью метода волнового диэлектрического резонатора. Принцип действия ячейки резонатора волноводно-диэлектрического для кабельной промышленности (РВД-КП) основан на возбуждении в системе, образованной испытуемым образцом, помещенным в отрезок запердельного волновода электромагнитных колебаний типа  $H_{01\delta}$ . Измеряется резонансная частота и нагруженная добротность такой системы, затем рассчитываются значения  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  испытуемого образца путем решения дисперсионного уравнения на ЭВМ.

В таблице 2 приведены результаты проведенных экспериментальных исследований по выявлению зависимостей массового соотношения стекло/алунда (в процентах) от  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$ . На основе данных экспериментов были построены графики, на которых приведены зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в зависимости от соотношения основных компонентов в составе керамики.

Таблица 2 – Результаты экспериментов

№	Соотношение стекло/алунд, %	Диэлектрическая проницаемость, $\epsilon$	Тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg}\delta$
1	40/60	6	$9,395 \cdot 10^{-4}$
2	41/59	6,4	$9,652 \cdot 10^{-4}$
3	42/58	6,8	$9,897 \cdot 10^{-4}$
4	43/57	7,2	$10,125 \cdot 10^{-4}$
5	44/56	7	$10,242 \cdot 10^{-4}$
6	45/55	7,3	$10,545 \cdot 10^{-4}$
7	46/54	7,5	$10,836 \cdot 10^{-4}$
8	47/53	8	$11,12 \cdot 10^{-4}$
9	48/52	8,3	$11,215 \cdot 10^{-4}$
10	49/51	8,4	$11,352 \cdot 10^{-4}$
11	50/50	8,5	$11,534 \cdot 10^{-4}$

На рисунках 8 и 9 представлены графики зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  от соотношения стекло/корунд.

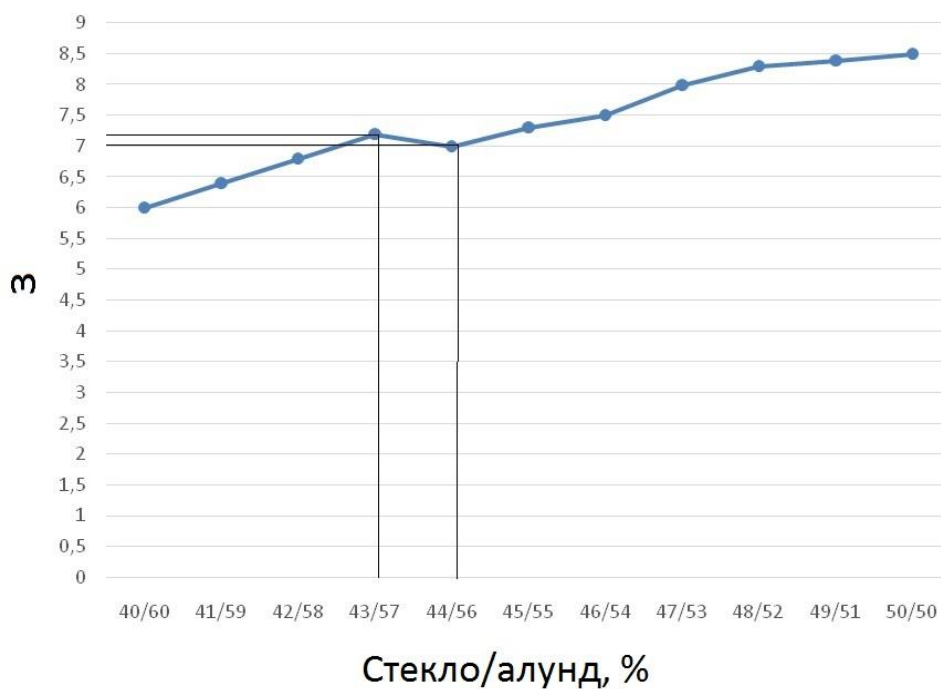


Рисунок 8 – Зависимость  $\epsilon$  от соотношения стекло/корунд

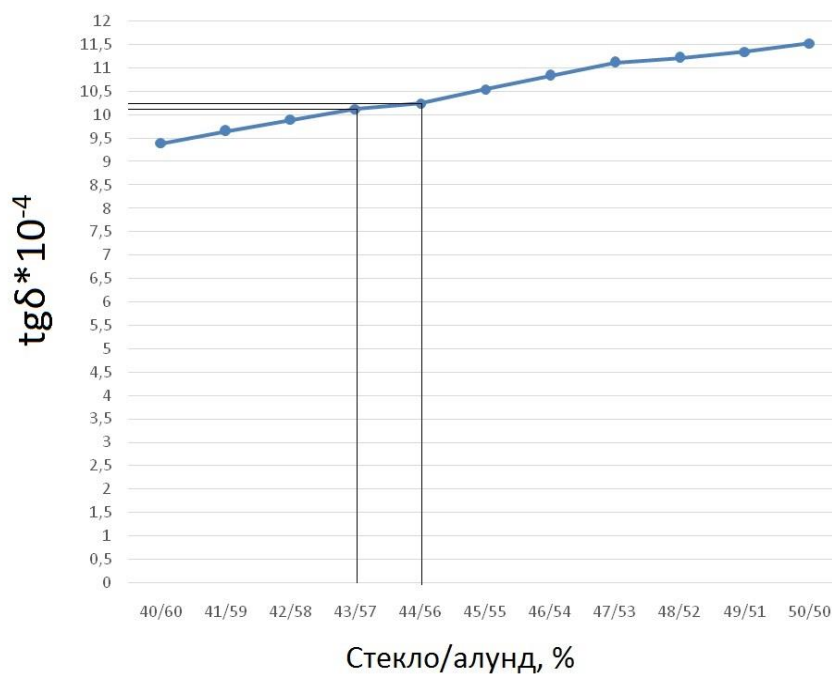


Рисунок 9 – Зависимость tgδ от соотношения стекло/корунд

Из анализа данных таблицы 2 и графиков, представленных на рисунка 8 и 9 видно, что оптимальное соотношение стекло/корунд находится в пределах 43/57 .. 44/56.

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что для получения требуемых  $\varepsilon$  и  $\operatorname{tg}\delta$  у керамического образца,  $S$  удельное порошка алунда должно находиться в диапазоне от  $8,3 \cdot 10^3$  до  $9,5 \cdot 10^3$   $\text{см}^2/\text{г}$ ,  $S$  удельное порошка стекла должно находиться в диапазоне от  $9,4 \cdot 10^3$  до  $10,1 \cdot 10^3$   $\text{см}^2/\text{г}$ . Было установлено, что для достижения требуемых значений  $\varepsilon$  и  $\operatorname{tg}\delta$ , соотношение стекло/корунд должно находиться в диапазоне  $43/57..44/56$ , но могли быть получены неточности из-за возможных влияний внешней среды на компоненты керамики и режимы работы печи. Графически выявлены вероятно оптимальные соотношения стекло/корунд, для получения керамики для многослойных плат с требуемыми свойствами.

## **Список использованных источников**

1. Метод волнового – диэлектрического резонатора [Электронный ресурс] // URL: [http://www.ruscable.ru/article/Metod\\_volnovodno\\_dielektricheskogo\\_rezonatora/](http://www.ruscable.ru/article/Metod_volnovodno_dielektricheskogo_rezonatora/) (дата обращения 12.03.2017).
2. МИ 00173-2000. ГСИ. Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь материалов с высокой проницаемостью в диапазоне частот от 0,5 до 18 ГГц. Методика выполнения измерений методом волноводно-диэлектрического резонатора.
3. ГОСТ 8.315-97 ГСИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения.
4. ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов.
5. Тангенс угла диэлектрических [Электронный ресурс] // URL: <http://electricalschool.info/main/naladka/666-tangens-ugla-dielektricheskikh-poter.html> (дата обращения 12.03.2017).