

УДК 537.533.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ КЕРАМИКИ

Анастасия Юрьевна Ненилина<sup>(1)</sup>, Валерий Николаевич Масловский<sup>(2)</sup>

*Студент 4 курса бакалавриата<sup>(1)</sup>, студент 4 курса бакалавриата<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана*

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

Технология производства низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (ЛТСС) широко используется в процессах изготовления разнообразных СВЧ-приборов. Благодаря низкой температуре спекания существенно упрощается производственный процесс и открывается возможность использования металлизационных паст на основе золота, серебра и др. Растущий интерес производителей электронных приборов к данному виду керамики вызван наличием высоких показателей электрических характеристик. Для разных типов составов диэлектрическая проницаемость ЛТСС-керамик варьируется в диапазоне от 6 до 9, а тангенс угла диэлектрических потерь – от 0.001 до 0.006 в СВЧ-диапазоне [1].

Однако, несмотря на ряд преимуществ, изготовление микросхем по технологии ЛТСС отличается высокой трудоемкостью. Одной из основных проблем в производстве является деформация платы в процессе обжига. Основное влияние на возникновение изгибов платы оказывают различия между коэффициентами усадки керамики и металлизации, а также различия между коэффициентами сжатия и расширения слоев. Величина изгиба ЛТСС-платы зависит от толщины слоев, упругих свойств материалов в твёрдом состоянии, вязкостей в размягчённом состоянии, коэффициентов усадки слоёв в процессе обжига [2].

Актуальной задачей является обеспечение выполнения элементов ЛТСС-плат с необходимой геометрической точностью. Снижение уровня деформации может быть достигнуто с помощью оптимизации конструкции изделия, выбора схожих материалов, использования дополнительной оснастки в процессе обжига, отладки технологического процесса или за счет использования новых способов обработки керамики.

Для реализации ряда операций размерной обработки обожженной керамики был предложен способ обработки с использованием электронного луча. Целью работы является проверка возможности и качества проведения размерной обработки керамики с применением такой технологии. В этой связи был составлен план и проведены эксперименты, проанализированы результаты, выполнена оценка возможности использования данного метода обработки. Исследования проводились на установке электронно-лучевой обработки «ЛУЧ», в качестве изучаемых объектов использовались образцы керамики ВК94-1 толщиной 12,3 мм.

Для операции формирования отверстий в керамике изучалось влияние рабочего тока и частоты развертки луча на диаметр получаемых отверстий. Вакуумная камера откачивалась до остаточного давления  $1 \times 10^{-4}$  торр. Развертка электронного луча выставлялась для окружности диаметром 0 мм. Ток фокусировки устанавливался на величину 670 мА. Фокус находился на поверхности образца. Время обработки каждого отверстия составляло 5 мин. Ток луча изменялся в диапазоне 2-8 мА, частота развертки луча изменялась в диапазоне 100-300 Гц.

На следующем этапе исследовалось влияние давления в рабочей камере и тока луча на качество формирования линейных каналов. Давление в вакуумной камере изменялось в диапазоне от  $1 \times 10^{-3}$  торр до  $5 \times 10^{-5}$  торр. Развертка электронного луча выставлялась на режим прохода по прямой линии. Значения тока луча изменялись в диапазоне 5-10 мА.

По результатам проведенной работы было установлено, что при используемых режимах обработки наблюдается сильное оплавление контура отверстий и боковин линейных каналов, качество низкое. В процессе формирования отверстий образец керамики раскололся вследствие слишком большого разогрева и перепада температур. Из всех полученных отверстий только одно сквозное (при 4 мА и 200 Гц). Нижний диаметр данного отверстия составляет 1.2 мм, а верхний 3.8 мм. Диаметр отверстий увеличивается с увеличением рабочего тока и с увеличением его частоты. Во время формирования каналов образец покрылся трещинами и раскололся. Наилучшее качество резания было получено при токе пучка 5 мА и давлении в рабочей камере  $1 \times 10^{-3}$  торр. При этих параметрах наблюдалось лучшее соотношение глубины и ширины реза (наименьшая ширина и сравнительно большая глубина).

На основании проведенных экспериментов и литературного обзора можно сделать вывод, что качество размерной обработки керамики зависит от плотности энергии луча и частоты импульсов. Результаты, полученные в данной работе, не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к геометрической точности выполнения многослойных керамических плат. Для повышения качества обработки необходима модернизация технологического процесса, включая применение предварительного нагрева образцов керамики, запланированы соответствующие изменения в конструкцию установки «ЛУЧ».

### Литература

1. LTCC технология // Компания ООО «Остек-Интегра». Режим доступа: [https://ostec-materials.ru/tech\\_lib/technology/lccc-tehnologiya.php](https://ostec-materials.ru/tech_lib/technology/lccc-tehnologiya.php) (дата обращения 13.03.20).
2. *Кондратюк Р.* Деформация LTCC-изделий в процессе обжига // Вектор высоких технологий. 2016. №. 5. С. 48-54.