

## УДК 62-982

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ В СЫРОЙ LTCC ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ

Чжо Янян

*Аспирант*

*Кафедра МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении»*

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

*Научный руководитель: К. М. Моисеев*

*кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении»*

Низкотемпературная совместно обжигаемая керамика (LTCC) используется в различных отраслях промышленности на протяжении многих лет. Она применяется в качестве подложек сверхвысокочастотных устройств, используемых для создания микроволновых излучающих устройств, например, Bluetooth и Wi-Fi модулей [1].

LTCC используется для изготовления многослойных керамических подложек из отдельных «сырых» листов. Преимущество LTCC заключается в относительно низкой температуре обжига (870°C) и позволяет использовать золотые (температура плавления 960°C) и серебряные (температура плавления 1100°C) проводники [2]. LTCC позволяет создавать 3D-платы с высокой плотностью интегрированных элементов и стандартизованными формами сигналов. Обжиг всех слоев вместе может значительно повысить надежность платы во время производства и при эксплуатации в самых суровых условиях.

Стандартно для получения отверстий в LTCC применяют механическую или лазерную обработку [3]. Но при сверлении LTCC традиционными методами, диаметр отверстия составляет до 50 микрон [4], однако для дальнейшей миниатюризации электронных устройств размеры должны уменьшаться до 30 мкм и меньше [5].

Электронно-лучевая обработка благодаря своим характеристикам также подходит для обработки LTCC. ЭЛО по сравнению с механической лишена таких недостатков, как изменение размеров отверстий при износе инструмента и необходимость смены инструмента при изменении профиля отверстия, а по сравнению с лазерной – отсутствие конусности отверстий и изменение состава материала в зоне возле обработки [6-9].

Эксперименты проводились для того, чтобы исследовать влияние тока обработки и количества импульсов на диаметры отверстий при обработке на установке ЛУЧ [10]. Материал обработки листа LTCC КЕКО SK-47. Толщина керамики 254 мкм. Длительность импульса минимальная 5 мс и длительность паузы максимальная 999 мс. Откачивается вакуумная камера до  $10^{-4}$  мбар.

Отверстия в сырой LTCC, полученные электронным лучом (рис. 1), имеют некруглую форму и довольно большой диаметр. Это может быть связано с нестабильностью луча, а также из-за возникновения на поверхности изделия отрицательного заряда, снижающего энергию электронов пучка, вызывающего расфокусировку, искажение формы и увеличение диаметра пучка. Вокруг отверстий меняется цвет, то есть меняются химические свойства. Возможно, это из-за того, что время обработки слишком велико, и слишком много тепла передается окружающему материалу, вызывая его изменение.

По мере увеличения количества импульсов диаметр отверстия постепенно увеличивается (рис. 2). Вероятно, что по мере увеличения количества импульсов

увеличивается и суммарное время обработки, а также количество накопленного отрицательного заряда. Ток обработки мало влияет на диаметр отверстия.



Рисунок 1. Результат экспериментов

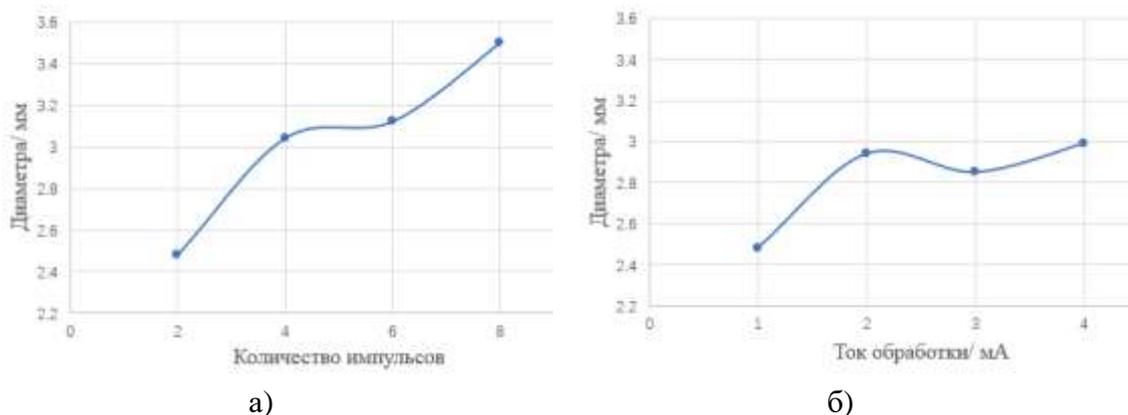


Рисунок 2. Зависимости диаметров отверстий: а) от количества импульсов, б) от тока обработки

### Литература

1. Форостяный Д. А., Садков А. Б., Пономоренко С. Л. Разработка технологического процесса лазерной резки низкотемпературной совместно спекаемой керамики (LTCC) // Молодежный научно-технический вестник, 2017. – №5. – С. 50.
2. Симин А., Холодняк Д. Многослойные интегральные схемы СВЧ на основе керамики с низкой температурой обжига // Компоненты и технологии. – 2005. – №5.
3. Khoong L E, Tan Y M, Lam Y C. Overview on fabrication of three-dimensional structures in multi-layer ceramic substrate. Journal of the European Ceramic Society, 2010, 30(10): 1973-1987.
4. Перцель Я. М., Рудак Ю. А. Исследование возможности получения рисунка топологии толсто пленочных LTCC-плат с помощью лазера // Техника радиосвязи, 2015. – №3. – С. 90-96.
5. Hagen G., Rebenklau L. Fabrication of smallest vias in LTCC Tape // 2006 1<sup>st</sup> Electronic Systemintegration Technology Conference. – IEEE, 2006. Vol. 1. P. 642-647.
6. Rebenklau L., Wolter K. J., Hagen G. Realization of  $\mu$ -Vias in LTCC Tape // 2006 29th International Spring Seminar on Electronics Technology. – IEEE, 2006. – С. 55-63.
7. Wang G. et al. Fabrication of microvias for multilayer LTCC substrates // IEEE transactions on electronics packaging manufacturing. – 2006. – Т. 29. – №. 1. – С. 32-41.
8. Kita J. et al. Laser treatment of LTCC for 3D structures and elements fabrication // Microelectronics International. – 2002. – Т. 19. – №3. – С. 14-18.
9. Nowak K. M., Baker H. J., Hall D. R. Cold processing of green state LTCC with a CO 2 laser // Applied Physics A. – 2006. – Т. 84. – №. 3. – С. 267-270.
10. Zhuo Y, Liang M, Moiseev K M, et al. Possibilities of the Electron-Beam Machine «LUCH» for Dimensional Microprocessing of Glass and Ceramic Materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020, 781(1): 012014.