

УДК 621.373.826

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СОВМЕСТНО СПЕКАЕМОЙ КЕРАМИКИ НА ЛАЗЕРЕ LRS-150

Дмитрий Андреевич Форостяный<sup>(1)</sup>, Андрей Борисович Садков<sup>(1)</sup>, Светлана Леонидовна Пономаренко<sup>(2)</sup>

*Студент 5 курса<sup>(1)</sup>, студентка 3 курса<sup>(2)</sup>  
кафедра «Лазерные технологии»*

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

*Научный руководитель: Ю.В. Голубенко,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии»*

### **Введение**

Технология низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC) используется в различных отраслях промышленности на протяжении многих лет. Усовершенствование LTCC материалов, технологических процессов и методов производства привело к снижению стоимости и улучшению технических характеристик электронных изделий. Это существенно увеличило интерес к LTCC технологии со стороны производителей высокочастотной техники, оптоэлектроники и микроэлектромеханических систем. Новые возможности открываются для производства электронных изделий в таких направлениях, как телекоммуникации, медицина, автомобильная, военная и космическая техника. В данной работе мы рассмотрим основные преимущества, особенности и свойства материалов для LTCC технологии.

На данном этапе весьма актуальны исследования новых методов и разработка новых технологий для усовершенствования существующих технических процессов с целью получения более высокого качества или большей производительности. В связи с этим принято решение разработать технологический процесс для осуществления одного из этапов производства интегральной микросхемы – процесс вырезания заготовки из цельного листа керамического полотна.

### **1.1. Существующий метод изготовления слоев интегральной микросхемы и предлагаемый способ усовершенствования технологии.**

В настоящее время технологический процесс получения слоя интегральной микросхемы выглядит следующим образом:

- 1) Получение керамического листа;
- 2) Закрепление листа на рабочем столе;
- 3) Формирование геометрии изделия с помощью штампов;
- 4) Вырубка изделия из листа с помощью штанцформ;
- 5) Контроль.

Существует ряд недостатков:

Износ инструмента, замытие листов, изменение геометрических размеров.

В данной работе предлагается альтернативный метод изготовления изделия с применением лазерной техники и лазерных технологий:

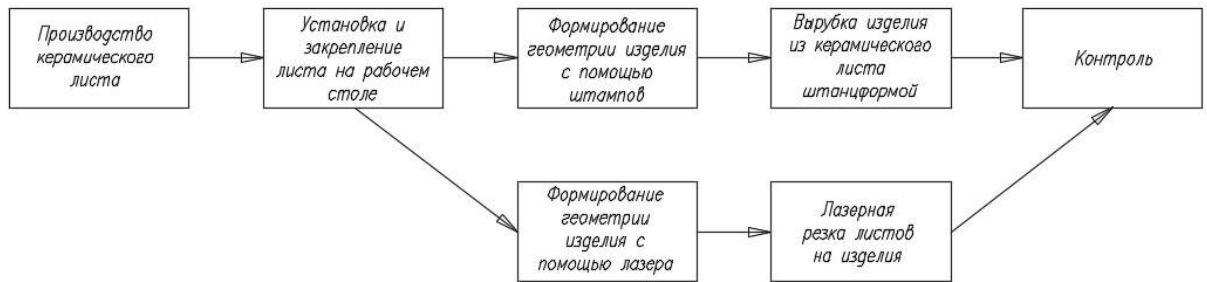


Рисунок 1. Методы изготовления листов интегральных микросхем.

Несомненными достоинствами приведенных изменений являются возможность полной автоматизации, высокая точность, высокая производительность, отсутствие инструмента.

Но приведенные изменения также обладают рядом недостатков, таких, как высокая стоимость оборудования и потребность в высококвалифицированных рабочих.

Так как высококвалифицированный персонал требуется для обслуживания любого оборудования, а при достаточном объеме выпуска новое оборудование будет окуплено в короткие сроки, является целесообразным внедрение предлагаемого технологического процесса в производство.

### 1.2. Расчет режимов лазерной обработки.

Запишем уравнение теплового баланса для случая лазерной резки:

$\eta \cdot P = F \cdot V \cdot \rho \cdot (C_1 \cdot (T_{пл} - T_0) + L_{пл}) + F \cdot V \cdot \rho \cdot (C_2 \cdot (T_{исп} - T_{пл}) + L_{исп})$ , где

$\eta$  - полный КПД процесса, принимается 0,21

$P$  - рассчитываемая мощность

$F = h \cdot d = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ мм}^2$

$V = 10 \text{ мм/с}$  - скорость резки

$C_1 = 775 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$  - теплоемкость в интервале температур  $T_0 - T_{пл}$

$C_2 = 1463 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$  - теплоемкость в интервале температур  $T_{пл} - T_{исп}$

$\rho = 3750 \text{ кг/м}^3$  - плотность материала

$L_{пл} = 1093 \text{ кДж/кг}$  - скрытая теплота плавления

$L_{исп} = 3253 \text{ кДж/кг}$  - скрытая теплота испарения

$T_0 = 20^\circ\text{C}$  - температура окружающей среды

$T_{пл} = 2044^\circ\text{C}$  - температура плавления материала

$T_{исп} = 2980^\circ\text{C}$  - температура испарения материала

Отсюда  $P = 130 \text{ Вт}$  - требуемая средняя мощность.

### 1.3. Выбор оборудования и его краткая техническая характеристика.

Исходя из предъявляемых требований к изделию выбираем импульсно-периодический лазер на YAG:Nd с ламповой накачкой мощностью 150 Вт.

Данным условиям соответствует установка LRS-150 производства ООО «ОКБ Булат».

## 2. Исследовательская часть

Так как теоретический расчет не учитывает множество факторов (например, не учитывалось влияние подачи сжатого воздуха в зону обработки при лазерной резке, не учитывалось состояние поверхности заготовки и т.д.), целесообразно провести собственные исследования с целью уточнения оптимальных режимов для лазерной резки низкотемпературной совместно спекаемой керамики.

Так как для лучшего качества необходима минимальная длительность импульса, ее оптимальное значение было принято равным 0,7 мс. По предварительным пробам полный рез формировался на скоростях до 4 м/мин и при частотах около 25-35 Гц. В соответствии с этими данными были сформированы следующий режим для первого эксперимента:

$\tau=0,7$  мс,  $\nu=30$  Гц,  $V=3$  м/мин

Первоначально был проведен эксперимент по определению оптимальной средней мощности источника. Были измерены зависимости ширины реза и конусности от средней мощности источника. Результаты представлены в таблице 1:

Таблица 1. Результаты первой серии экспериментов.

№ п/п	P, %	d, мм	d <sub>вых</sub> , мм	C, %	W, Дж	P <sub>ср</sub> , Вт						
1	95	0,71	0,7	5	1,8	54						
2	85	0,63	5	1,22	36,6	3	75	0,39	0,37	10	0,73	21,9
3	75	0,39	0,37	10	0,73	21,9						

По данным эксперимента были построены зависимости:

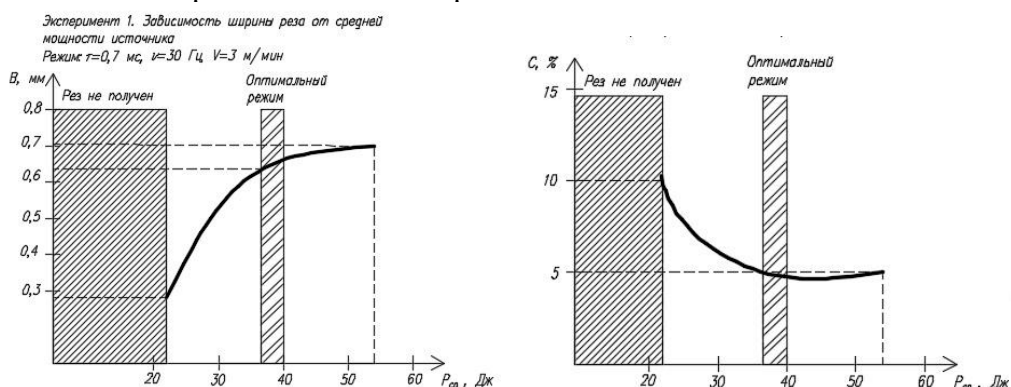


Рисунок 2,3. Графические зависимости эксперимента 1.

Из технических требований, сформированных в начале, выделяем в качестве оптимальной область с конусностью 5% и менее и минимальной шириной реза.

В оптимальную зону попали значения средней мощности 37-40 Вт.

Во втором эксперименте в качестве изменяемого параметра выступила частота следования импульсов. Режимы резки были следующими:

$\tau=0,7$  мс,  $V=3$  м/мин. Результаты представлены в таблице 2:

Таблица 2. Результаты второй серии экспериментов.

№ п/п	$\nu$ , Гц	d, мм	d <sub>вых</sub> , мм	C, %	W, Дж	P <sub>ср</sub> , Вт
4	34	0,43	0,4	15	1,22	41,48
5	32	0,37	0,36	5	1,22	39,04
6	30	0,36	0,34	10	1,22	36,6

По данным были построены зависимости:

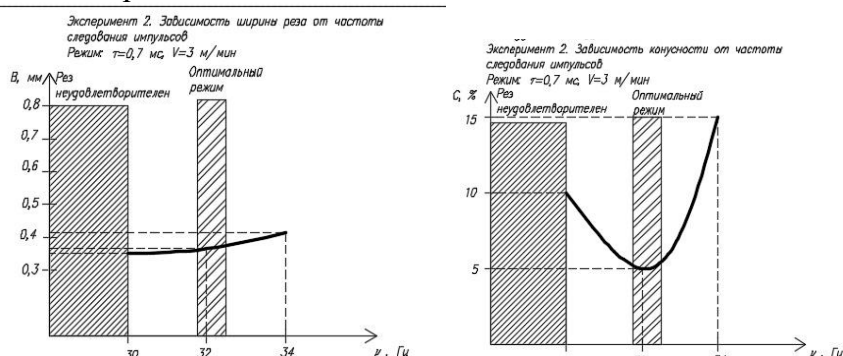


Рисунок 4,5. Графические зависимости эксперимента

Исходя из технических требований к изделию, выбираем область с конусностью в районе 5% и минимальной шириной реза.

В итоге получаем следующие оптимальные параметры:

$P_{ср}=36-40$  Вт,  $\tau=0,7-1$  мс,  $V=3-4$  м/мин,  $\nu=32-33$  Гц.

### **Заключение**

В данной работе был проведен мониторинг существующих методов изготовления изделий из низкотемпературной совместно спекаемой керамики, в результате был предложен альтернативный метод получения изделий. На начальном этапе были проведены теоретические расчеты, которые впоследствии были скорректированы путем проведения экспериментов. В результате было установлено, что на данном оборудовании с данными параметрами возможно получить рез достаточного качества для удовлетворения технических требований к изделию, что, в свою очередь, подтверждает целесообразность применения изложенного технологического процесса на практике.

### **Литература**

1. Учебное пособие для вузов/ *под ред. А.Г. Григорьянца*. – 2-е изд., стереотип. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. – 664 с.
2. Научноёмкие технологии в машиностроении / *А.Г. Суслов, Б.М. Базров, В.Ф. Безъязычный и др.; под ред. А.Г. Суслова*. М.: Машиностроение, 2012. – 528 с.
3. Практика прецизионной лазерной обработки / *Е.Д. Вакс, М.Н. Миленский, Л.Г. Сапрыкин*. М.: Техносфера, 2013. – 696 с.
4. *Корсаков В.С.* Основы технологии машиностроения. М.: Высш. школа, 1974.
5. *Якушев А.Н. Воронцов Л.Н. Федотов Н.М.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1987.
6. *Реди Д.* Промышленное применение лазеров / Пер. с англ., М.: Мир, 1981.
7. *Григорьянц А.Г.* Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989.
8. *Бабичев А. П., Бабушкина Н.А., Братковский А. М.* Физические величины. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1234 с.