

**В.Л. Ланин, А.П. Первенецкий**

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Минск, Беларусь

## **ФОРМИРОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ В НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ МНОГОИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ**

### **Введение**

Современная электроника ориентирована на создание микроэлектронных устройств малых размеров с высокой степенью интеграции, широким набором функций и доступных по стоимости. Эффективное решение этой задачи возможно с использованием 3D электронных модулей, которые способны интегрировать множество микросхем на основе различных технологий в единый корпус. 3D-модуль состоит из двух или более микросхем, расположенных вертикально на одной подложке, каждая из которых предназначена для выполнения своей функции. Конструкция 3D модуля с использованием кремниевой подложки обеспечивает электрические межсоединения микросхем с наружными выводами, а также теплоотвод и защиту от окружающей среды [1].

При создании 3D электронных модулей появляется необходимость создавать сквозные и глухие отверстия малого диаметра в материале подложки. Выполнение отверстий диаметром менее 1 мм традиционным сверлением связано с определенными трудностями вследствие частой замены инструмента, дефицитностью сверл малого диаметра, сложностью их заточки. Обработка ультразвуком требует использования вспомогательной жидкой компоненты, что не всегда желательно при обработке уже готовых изделий с нанесенными структурами. Возникают также сложности при сверлении отверстий диаметром менее 100 мкм. Электроэрозионный метод позволяет получать отверстия малого диаметра, но требует применения специальных растворов, что не всегда допустимо при обработке пластин с готовыми структурами. Лазерная обработка указанными недостатками не обладает [2].

Использование лазерной технологии часто бывает выгодным или незаменимым решением при получении отверстий в твердых материалах. Образование большого объема жидкой фазы материала и его неполное удаление из зоны обработки являются неблагоприятными и трудноуправляемыми факторами, существенно снижающими эффективность обработки и качество отверстия. Основным методом повышения точности и качества лазерной размерной обработки – многоимпульсная обработка материалов лазерным излучением.

## Основная часть

Испарения и плавления вещества - основные процессы, ведущие к образованию отверстий в материалах с использованием лазерного излучения. По глубине отверстие растет за счет испарения, а по диаметру – за счет плавления стенок и вытеснения жидкости избыточным давлением паров (рисунок 1). При взаимодействии лазерного излучения с поверхностью материала часть излучения поглощается и рассеивается продуктами разрушения.

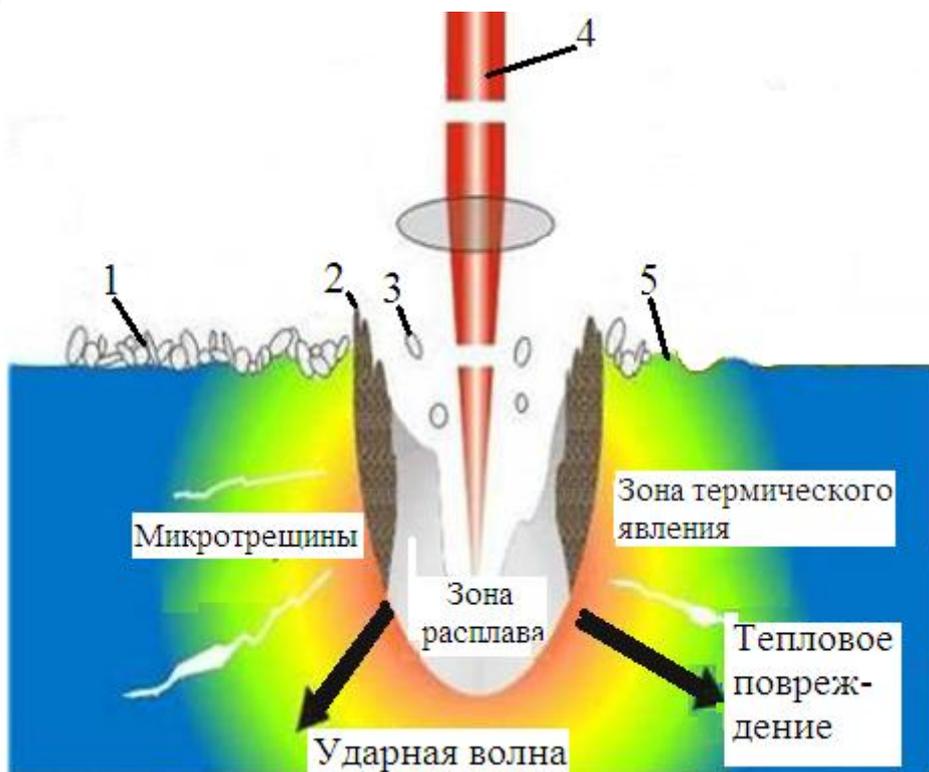


Рисунок 1 – Схема воздействия сфокусированного лазерного излучения на неметаллические материалы: 1 – выброс материала из зоны обработки, 2 – испарение слоя, 3 – выплеск материала, 4 – лазерный луч, 5 – повреждение поверхности ударной волной

Лабораторная установка LOTIS состоит из источника оптического излучения, блоков регулирования энергии излучения, питания и управления, оптической системы и системы охлаждения лазера. Схема установки представлена на рисунке 2. В качестве источника оптического излучения применен квантовый генератор на алюмоиттриевом гранате с неодимом с длиной волны 1,06 мкм, длительностью импульсов 10 мкс и частотой следования 1 – 50 Гц. Для накачки активного элемента применена ИК-лампа мощностью 2 кВт. Энергия импульса лазерного излучения составляет 0,75 Дж при напряжении на лампе ОКГ 900 В и частоте импульсов 3 Гц, а средняя мощность излучения в импульсе – 3,75 кВт.

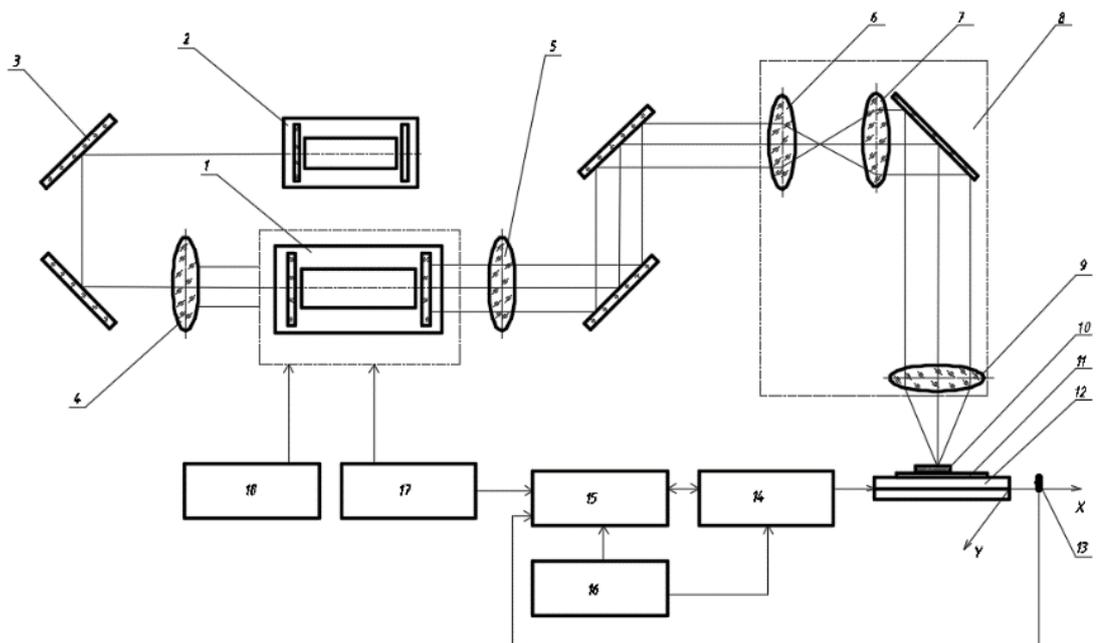


Рисунок 2 – Схема лабораторной установки: 1 – ОКГ YAG, 2 – газовый лазер, 3 – отражающее зеркало, 4 – глухое зеркало, 5 – выходное зеркало, 6 и 7 – софокусные линзы, 8 – оптическая система, 9 – фокусирующая линза, 10 – образец, 11 – асбестовая пластина, 12 – координатный стол, 13 – ограничитель, 14 – шаговый двигатель, 15 – блок управления, 16 – ПЭВМ, 17 – блок питания, 18 – система охлаждения лазера

В таблице 1 представлены результаты исследований входного диаметра отверстий для поликора толщиной 500 мкм, керамики – 600 мкм.

Таблица 1. Размеры входного диаметра отверстий в зависимости от частоты импульсов

Частота, Гц	Входной диаметр, $d_{вх.}$ , мм	
	Поликор, $t = 5$ с	Керамика, $t = 15$ с
5	0,25	0,1
10	0,3	0,12
15	0,5	0,15
20	0,6	0,2
25	0,7	0,24
33	0,78	0,28
50	0,84	0,31

На рисунке 3 представлены зависимости входного диаметра отверстий от частоты следования импульсов при напряжении  $U = 0,8$  кВ и диаметре пятна излучения  $d = 1$  мм: 1 – для поликора с временем воздействия 5 с.; 2 – для керамики при времени 15 с.

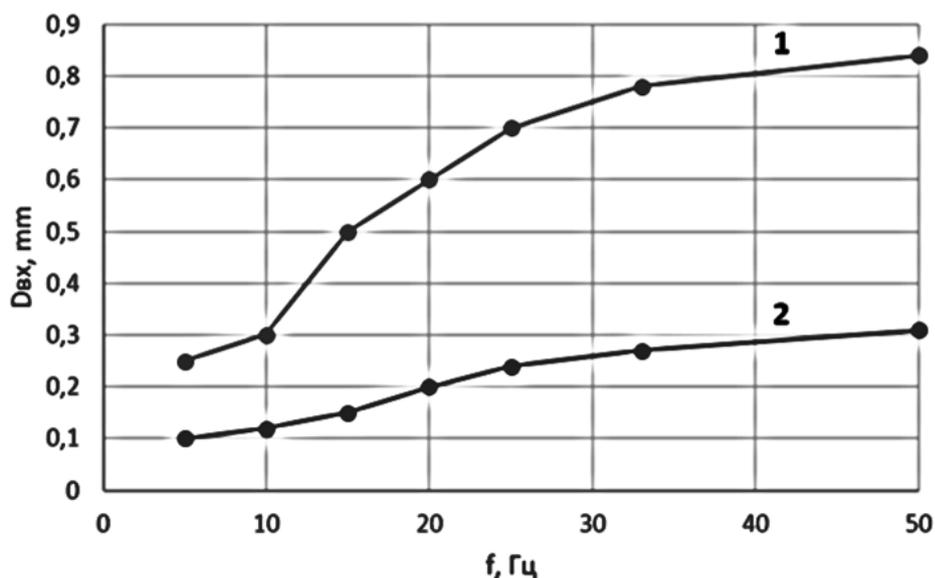


Рисунок 3 – Зависимости диаметра входного отверстия от частоты излучения для поликора (1) и керамики (2)

Прошивка отверстий в кремнии, как наиболее часто применяемом при создании 3D-структур материале, с имеющимся оборудованием является сложной задачей. Обладая высокой теплопроводностью, кремний начинает плавиться при  $T = 1688$  К, а испаряться при  $T = 2623$  К. Поэтому для прошивки отверстия в кремнии нужна большая величина энергии лазерного излучения

### Заключение

Многоимпульсная обработка позволяет получать отверстия серийно коротких импульсов, период следования которых значительно больше времени остывания материала. Для керамики, обладающей большей теплопроводностью, необходимо увеличить частоту импульсов и время обработки в сравнении с поликором в 2-3 раза.

Для прошивки отверстия в поликоре требуется меньшая энергия импульса, что связано с различием в толщине, плотности и теплопроводности материала. Для прошивки кремния необходимо увеличить частоту импульсов до 50 Гц и время до 90 с.

### Литература

1. Ваньков, В. 3D-модули на основе кремниевых коммутационных плат / В. Ваньков, Н. Комков // Электроника. Наука. Технология. Бизнес. – 2017. – № 10(00171). – С. 98–100.

2. Артамонова, Е. Лазерная вырезка сквозных микроотверстий в прозрачных пьезоматериалах / Е. Артамонова, О. Хаит, А. Алексеев, Д. Русов // Фотоника.– 2008. – № 4. – С. 34–37.