

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ ПРОШИВКИ ОТВЕРСТИЙ В КРЕМНИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ 3D СТРУКТУР

© 2018 г. В.Л. ЛАНИН, А.И. ЛАППО, А.П. ПЕРВЕНЕЦКИЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск
e-mail: vlanin@bsuir.by

Введение

Современная электроника ориентирована на создание микросистемных 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].

Одно из современных направлений реализации 3D-модулей является технология TSV (Through Silicon Vias – сквозные отверстия в кремнии) (рис. 1). Создать отверстий необходимого диаметра с соответствующим технологическим требованиям уровнем качества традиционным сверлением в данный момент крайне трудно, а порой и невозможно. Лазерная обработка подложки – один из перспективных методов создания таких отверстий. При воздействии лазерного излучения на подложку происходит образование отверстия за счет плавления и испарения материала [2].

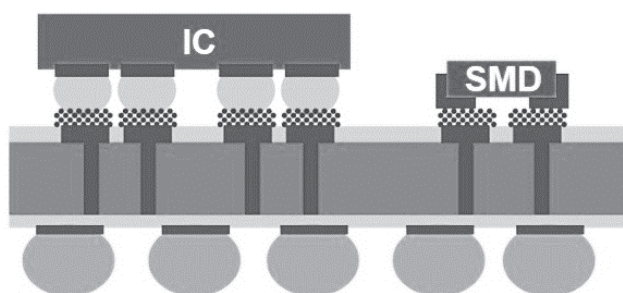


Рис. 1. Конструкция 3D модуля на основе технологии TSV.

Моделирование

Основными процессами, приводящими к образованию отверстий в материалах с использованием лазерного излучения, являются испарения и плавления вещества. По глубине отверстие растет за счет испарения, а по диаметру – за счет плавления стенок и вытеснения жидкости избыточным давлением паров. При взаимодействии лазерного излучения с поверхностью материала часть излучения поглощается и рассеивается продуктами разрушения.

При сверлении, обрабатываемого материала существенно влияют на параметры лазера, необходимые для выполнения операции. В настоящее время достаточно полно разработана модель кинетики образования отверстия в непрозрачном материале-

ле, согласно которой глубина h и диаметр отверстия D определяются по формулам 1 и 2 соответственно [3].

$$h = \sqrt[3]{\left(\frac{D_0}{\operatorname{tg} \gamma}\right)^3 + \frac{3W}{\pi \operatorname{tg}^2 \gamma \rho L_0} - \frac{D_0}{\operatorname{tg} \gamma}}, \quad (1)$$

$$D = 2 \cdot \sqrt[3]{D_0^3 + \frac{3W \operatorname{tg} \gamma}{\pi \rho L_0}}, \quad (2)$$

где: D_0 – начальный диаметр лунки; $W = P \cdot \tau_{\text{и}}$ – энергия излучения импульсного ОКГ; P – импульсная мощность; $\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса; γ – половинный угол раствора светового конуса; L_0 – удельная энергия испарения материала.

В результате моделирования были получены зависимости глубины (рис. 2) и диаметра (рис. 3) отверстия в кремневой пластине и поликоре, для лазера с параметрами: импульсная мощность $P = 1000$ Вт, длительность импульса $\tau_{\text{и}} = 1 - 20$ мс, частота излучения $f_{\text{и}} = 5-50$ Гц, половинный угол раствора светового конуса $\gamma = 1 - 40^\circ$, Начальный диаметр лунки $D_0 = 0,5-1,0$ мм.

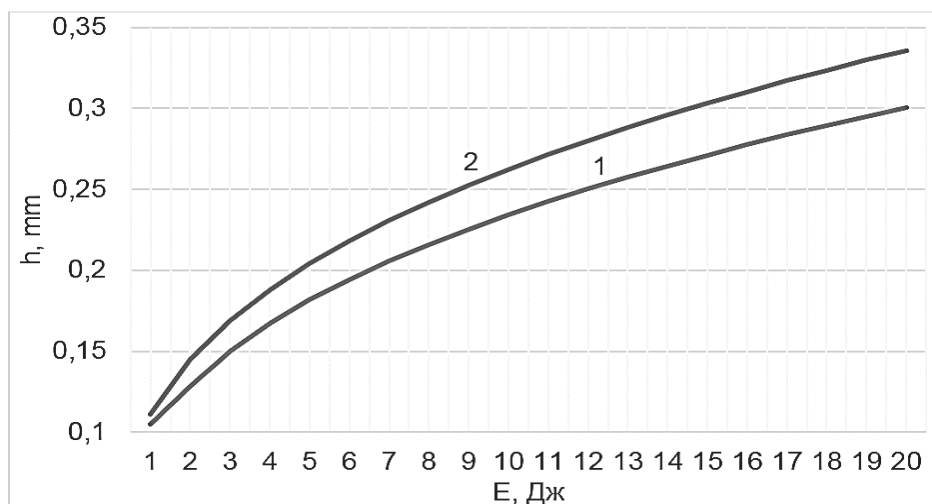


Рис. 2. Зависимости глубины отверстия от энергии излучения для кремневой пластины (1) и поликора (2).

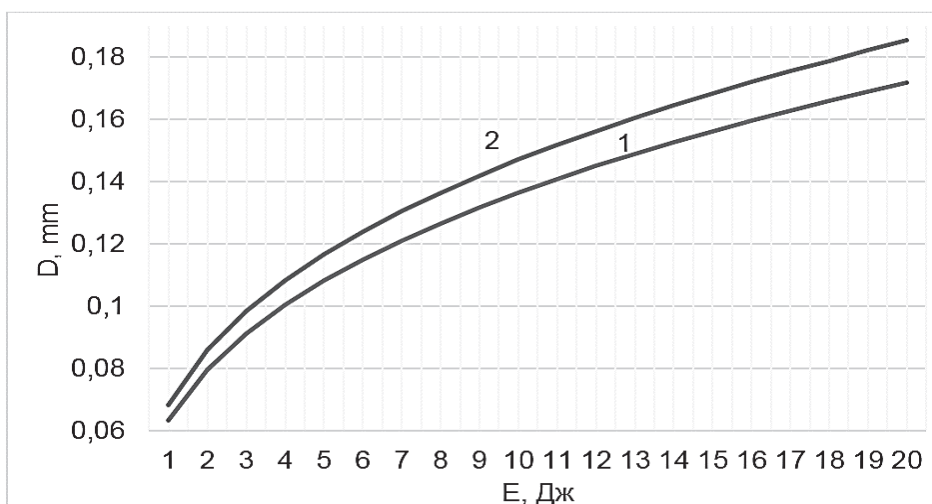


Рис. 3. Зависимости диаметра отверстия от энергии излучения для кремневой пластины (1) и поликора (2).

Исследование процесса лазерной прошивки отверстий

Лабораторная установка LOTIS состоит из источника оптического излучения, блоков регулирования энергии излучения, питания и управления, оптической системы и системы охлаждения лазера. 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. Схема процесса прошивки представлена на рис. 4.

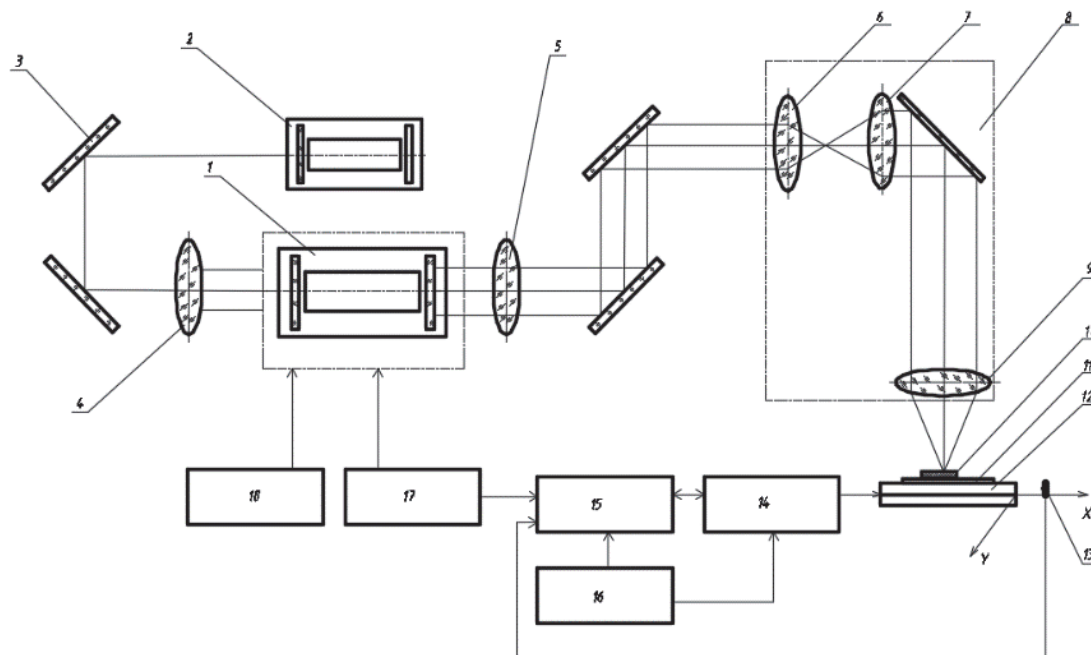


Рис. 4. Схема лабораторной установки, где: 1 - ОКГ YAG, 2 - газовый лазер, 3 - отражающее зеркало, 4 - глухое зеркало, 5 - выходное зеркало, 6 и 7 - софокусные линзы, 8 - оптическая система, 9 - фокусирующая линза, 10 - образец, 11 - асбестовая пластина, 12 - координатный стол, 13 - ограничитель, 14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

В результате исследований входного диаметра отверстий для поликора толщиной 500 мкм, кремния – 250 мкм с постоянным временем прошивки отверстия, были получены близкие к линейным зависимости от частоты импульсов (рис. 5).

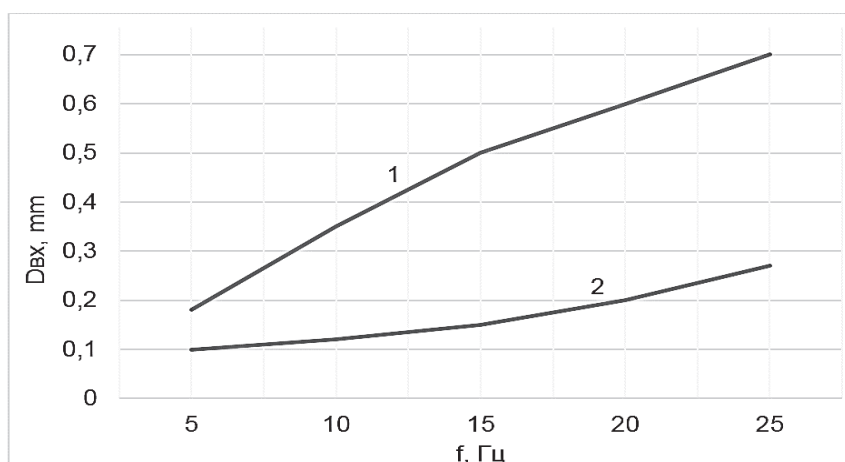


Рис. 5. Зависимость диаметра входного отверстия от частоты излучения для поликора (1) и кремневой пластины (2).

Дополнительно для кремневой пластины были получены зависимости (рис. 6) площади отверстия от времени обработки и влияние на диаметр отверстия предварительным прогревом пластины до 230 °С. В качестве источника ИК нагрева были использован керамический ИК нагреватель типа SHTS/4 фирмы Elstein. Основные характеристики нагревателя Elstein SHTS/4: Длина волны – 2-10 мкм; Интенсивность излучения – 76,8 кВт/м²; Рабочая температура – 1130 К; Мощность – 300Вт.

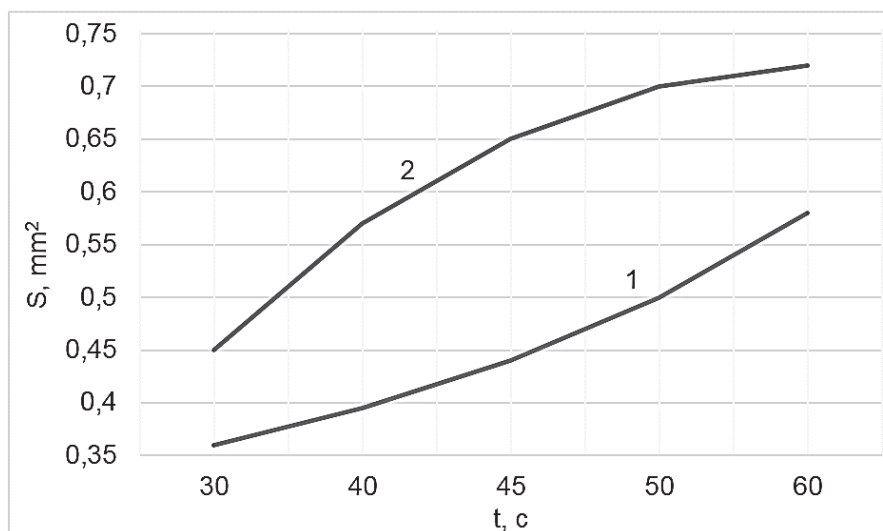


Рис. 6. Зависимости диаметра входного отверстия от времени обработки, без подогрева (1) и с подогревом (2).

Заключение

По результатам математического моделирования диаметр и глубина отверстий зависят нелинейно от энергии излучения, поэтому эффективно применять лазер с энергиями более 5 Дж. Многоимпульсная обработка позволяет получать отверстия серий коротких импульсов, период следования которых значительно больше времени остывания материала. Для кремния, обладающего большей теплопроводностью, необходимо увеличить частоту импульсов и время обработки в сравнении с поликором в 4 раза. Предварительный нагрев кремневой пластины позволяет получать отверстия с меньшими затратами энергии и времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваньков В., Комков Н. 3D-модули на основе кремниевых коммутационных плат // Электроника. Наука. Технология. Бизнес, 2017. – № 10(00171). – С. 98–100.
2. Васильев А. Современные технологии 3D интеграции // Компоненты и технологии, 2010. – №1. – С. 156–158.
3. Соколова Т.Н., Сурменко Л.А. Лазерная размерная обработка материалов, применяемых в электронной технике. – М.: ЦНИИ Электроника.– 1988. – 71 с.