

УДК 621.373.826
ЛАЗЕРНАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖЕК
3D ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

В. Л. ЛАНИН, А. П. ПЕРВЕНЕЦКИЙ, А. И. ЛАППО
Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

Современная электроника интенсивно осваивает производство 3D электронных модулей, способных интегрировать несколько кристаллов на основе различных технологий в многоуровневый корпус. Конструкции 3D-модулей на кремниевой подложке обеспечивают электрические межсоединения микросхем с наружными выводами, а также теплоотвод и защиту от окружающей среды [1]. Одним из перспективных направлений производства 3D-модулей является технология TSV (Through Silicon Vias – сквозные отверстия в кремнии). Создать отверстия необходимого диаметра с соответствующим уровнем качества методами сверления или травления крайне затруднительно при малом диаметре отверстия (0,1...0,3 мм).

Лазерная обработка подложки – один из перспективных методов создания отверстий в неметаллических материалах. При воздействии лазерного излучения на подложку происходит образование отверстия за счет плавления и испарения материала. Основным методом прошивки отверстий является многоимпульсная обработка, при которой отверстие растет в глубину постепенно за счет послойного испарения материала каждым импульсом. При воздействии лазерного излучения на поверхность материала сначала происходит испарение и ионизация поверхностных примесей и загрязнений. Далее излучение поглощается основным материалом, материал плавится, испаряется, а пары ионизируются.

Микрообработка материалов предъявляет требования к таким параметрам источника излучения, как длина волны λ , угловая расходимость θ и длительность импульса. Зона воздействия, определяемая минимальными размерами лазерного пучка d в фокусе объектива, связана с длиной волны излучения соотношением

$$d = 1,22 \lambda (f/D)M^2, \quad (1)$$

где f – фокусное расстояние объектива; D – диаметр несфокусированного лазерного пучка; M^2 – коэффициент, характеризующий отличие реального лазерного пучка от идеального гауссова пучка, имеющего минимальную дифракционную расходимость,

$$M^2 \sim D \cdot \theta. \quad (2)$$

Таким образом, чем короче длина волны и меньше угловая расходимость, тем больше возможностей сфокусировать излучение и обеспечить минимально возможный размер зоны воздействия. Для более длинных импульсов величина зоны термического влияния равна

$$\delta = 2(a\tau_u)^{1/2}, \quad (3)$$

где a – коэффициент температуропроводности, зависящий от теплофизических свойств материала.

Пикосекундные лазеры с их короткими тепловыми глубинами проникновения в материал подложки и высокими частотами следования импульсов могут обеспечить высокую производительность обработки и значительно уменьшают пагубные влияния от высокой тепловой нагрузки и больших температурных градиентов в материале. Преимуществами обработки ультракороткими импульсами лазерного излучения являются отсутствие значительной зоны термического влияния, ударной волны, микротрещин, оплавленных зон и выплесков, теплового повреждения поверхностных слоев материала [2].

Для лазерной прошивки отверстий в кремниевой подложке использовалась Nd:YAG-лазерная установка LS 2151 компании LOTIS ТП с длинами волн 1,06 мкм и 532 нм. Обработка отверстий проводилась при диаметре пятна излучения $d_{mi} = 0,1$ мм, длительности импульсов 100 пс и частоте импульсов 15 Гц. Получена экспериментальная зависимость длительности обработки от энергии и длины волны лазерного излучения (рис. 1, а).

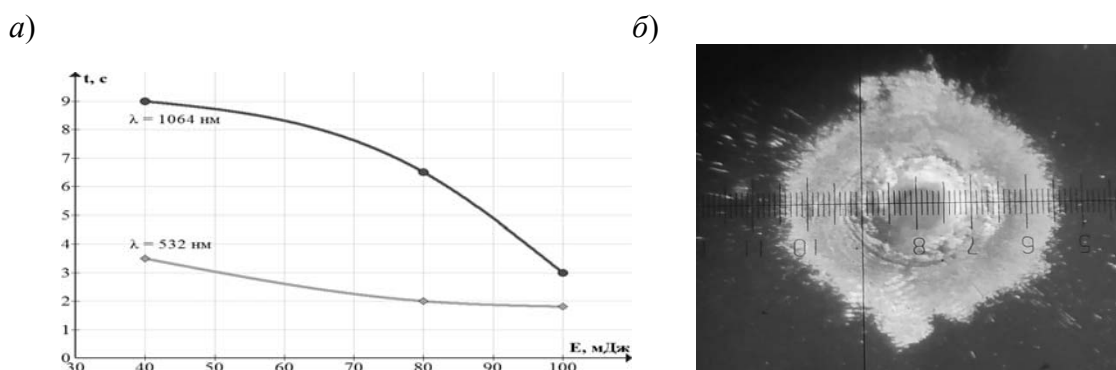


Рис. 1. Зависимости времени прошивки отверстия от энергии и длины волны лазерного излучения (а), внешний вид отверстия (б)

Анализ зависимости показывает, что применение пикосекундного лазера с длиной волны 532 нм более эффективно, поскольку сокращается почти в 2 раза время обработки, улучшается качество формируемого отверстия в кремниевой подложке, зона термического влияния (рис. 1, б) уменьшается на 30...40 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. **Вакс, Е. Д.** Практика прецизионной лазерной обработки / Е. Д. Вакс, М. Н. Миленький, Л. Г. Сапрыкин. – Москва: Техносфера, 2013. – 696 с.