

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ В КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ 3D ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Чан Н.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ланин В.Л. – д-р т. н., профессор

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].

3D-интеграция является быстро растущей темой в полупроводниковой промышленности, которая охватывает различные типы технологий. Межсоединения элементов ИМС играют важную роль в решении вопросов повышения степени интеграции и надежности микросхем. Широкое использование в производстве современных микросхем получил метод формирования металлических межсоединений с помощью сквозных отверстий через кремний (TSV (Through Silicon Via)- технология), не только обеспечивающий повышение степени интеграции, но и позволяющий осуществлять более высокую плотность монтажа при сопоставимых размерах пластины, достигая большей функциональности и улучшения характеристик [2].

Лазерная обработка подложки – один из перспективных методов создания отверстий. При воздействии лазерного излучения на подложку происходит образование отверстия за счет плавления и испарения материала. Исследовался процесс формирования отверстий импульсным лазерным излучением на установке Yueming CMA0604-K-A (Китай). Внешний вид установки представлен на рисунке 1. Характеристики лазерного станка CMA 0604 – В – R приведены на таблице 1.



Рисунок 1 – Лазерный станок Yueming CMA0604-K-A

Таблица 1 – Характеристики лазерного станка CMA 0604 – В – R

Параметры	Значение
Диаметр луча	0,1 мм
Мощность лазера	80 Вт
Расстояние до поверхности	5,5 мм
Длина волны лазера на CO ₂	10,6 мкм
Количество импульсов до прожигания отверстия	21 импульс
Длительность импульса	42–43 мс, пауза – 54 мс
Толщина кремниевой пластины	300 мкм

При сверлении, как и при резании, свойства обрабатываемого материала существенно влияют на параметры лазера, необходимые для выполнения операции. В обоих случаях происходит тепловое воздействие на материал, его плавление и испарение из зоны. В глубину отверстие растет в основном за счет испарения, а по диаметру за счет плавления стенок и вытекания жидкости при создаваемом избыточном давлении паров. В настоящее время достаточно полно разработана модель кинетики

образования отверстия в непрозрачном материале, согласно которой глубина h и диаметр отверстия D определяются по формулам [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; $W = P\tau_{\text{и}}$ – энергия излучения импульсного ОКГ; P – импульсная мощность; $\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса; γ – половинный угол раствора светового конуса; L_0 – удельная энергия испарения материала при $T = 0\text{К}$.

В качестве параметра, характеризующего данный процесс, можно использовать конусообразность отверстия (рисунок 2):

$$k = \frac{d_1 - d_2}{h} \quad (3),$$

где h – толщина подложки.

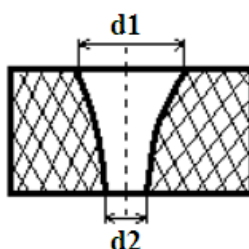


Рисунок 2 – Отверстие в керамическом материале:
d1 – входной диаметр, d2 – выходной диаметр

Результат исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры лазерного формирования отверстий в кремниевой подложке

Кол. импульсов	Входное отверстие мм	D_1	Выходное отверстие D_2 , мм	Конусообразность	Полная Энергия Дж
21		0,205	0,142	0,315	33,6
25		0,246	0,123	0,615	40
30		0,400	0,135	1,325	48

Качество отверстий лазерной прошивки оценивается значением конусообразности. Результаты измерения размеров отверстий показывает, что конусообразность отверстий при лазерной прошивке увеличивается при большем количестве импульсов. При большей полной энергии, поверхность кремниевой пластины быстрее испаряется и образует большее входное отверстие. Лазерная прошивка при длине волны 10,6 мкм не эффективна, потому что значение конусообразности отверстий большое и время прошивки длительное. В этом отношении целесообразно применение твердотельного лазера с длиной волны 1,06 мкм. При сравнении обрабатываемых материалов: кремния и керамики с точки зрения воздействия лазерных импульсов на них, установлено, что время стадии нагрева и время процесса лазерного сверления меньше при обработке кремния, в то время как скорость процесса сверления увеличивается в керамическом материале, что объясняется различными тепловыми свойствами материала (теплопроводность, плотность, удельная теплоемкость и температура плавления).

Список использованных источников:

1. Ланин, В.Л. Лазерное формирование отверстий в кремниевых подложках электронных 3D-модулей / В.Л. Ланин, С. Волк, А. Первенецкий // Технологии в электронной промышленности, 2019. – №2. – С. 30-32.
2. Кушнер, Л.К. Электрохимическое осаждение меди при формировании TSV-межсоединений интегральных схем / Л.К. Кушнер, А.А. Хмыль, И.И. Кузьмар, Л.И. Степанова, С.К. Лазарук, А.В. Долбик // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. - 2016, ч. 4. – С. 211-213.
3. Вейко, В.П. Сборник задач по лазерным технологиям / В.П. Вейко, Е.А. Шахно. – Изд. 3-е, испр. и дополн. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. – С. 39–40.