

1.21. ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ФОРМИРОВАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Цель лекции: *изучение принципов применения лазерных технологий для формирования функциональных структур.*

1.21.1. ОСНОВЫ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Лазерные технологии – это совокупность способов обработки, изменения состояния, свойств и формы материала или полуфабриката, осуществляемых посредством лазерного излучения. В большинстве процессов лазерной технологии используется термическое действие света, вызываемое поглощением энергии лазера в обрабатываемом материале. Эффективность лазерной технологии обусловлена локальностью воздействия и высокой плотностью потока энергии лазерного излучения в зоне обработки, возможностью ведения технологических процессов в любой прозрачной среде (в вакууме, газе, жидкости, твёрдом теле), а также возможностью бесконтактной подачи энергии к зоне обработки в замкнутом объёме через прозрачные стенки или специальные окна в непрозрачной оболочке, что значительно облегчает выполнение требований, предъявляемых к чистоте технологических процессов.

Особенно большое значение имеет лазерная технология в производстве изделий электронной техники, так как она обеспечивает необходимую технологическую чистоту и высокую точность обработки, зачастую недостижимые при других способах воздействия на обрабатываемый материал (изделие). Наиболее часто используются лазеры на алюмоиттриевом гранате и лазеры на ниодимовом стекле, а также лазеры на углекислом газе со средней мощностью от единиц до нескольких сотен ватт.

Лазерная сварка позволяет соединять металлы и сплавы с сильно отличающимися теплофизическими свойствами. С помощью лазерной сварки можно получать высококачественные и высокопрочные соединения деталей из Ni, Mo, нержавеющей стали, из материалов с высокой теплопроводностью (Cu, Ag, Al и сплавов на их основе), а также материалов, плохо поддающихся сварке другими способами (W, Nb). Плотность потока излучения на поверхности свариваемых деталей от 0,1 до 1 МВт/см²; глубина проплавления достигает 0,05 – 2 мм (что позволяет получать надёжное соединение деталей толщиной 0,01 – 1,5 мм).

Используемое в электронной промышленности оборудование для лазерной сварки обеспечивает энергию лазерного излучения в импульсе 0,1 – 50 Дж при длительности импульса 0,5 – 10 мс и диаметре светового пятна 0,05 – 1,5 мм. Производительность точечной сварки до 100 операций в минуту, шовной – до 1,5 – 2 метра в минуту (при глубине проплавления 0,5 мм). Наиболее эффективно применение лазерной сварки в труднодоступных местах конструкций, при соединении миниатюрных и легкодеформируемых деталей, при

необходимости обеспечить минимальную зону термического влияния. Широко применяют лазерные установки для сварки деталей электровакуумных приборов, а также для герметизации корпусов интегральных схем, кварцевых резонаторов, миниатюрных конденсаторов и других изделий.

Сверление отверстий лазерным лучом возможно в любых материалах. Обычно для этого используют импульсные лазеры с энергией в импульсе 0,1 – 30 Дж при длительности импульса 0,1 – 1 мс и плотности потока излучения в зоне обработки до 10МВт/см² и более. Максимальная производительность достигается при сверлении отверстий однократными импульсами большой энергии, однако точность обработки таким способом невысокая (10 – 20 % от диаметра отверстия). Наибольшая точность обработки (1 – 5 %) достигается при воздействии на материал серией импульсов (многоимпульсный метод) относительно небольшой энергии (0,1 – 1 Дж) и малой длительности (0,1 – 0,5 мс). При таком режиме зона термического влияния мала (до 10 мкм) и возможен активный контроль процесса обработки. Лазеры позволяют получать отверстия диаметром 0,003 – 1 мм.

В электронной промышленности лазерные установки применяют для сверления диафрагм электронно-лучевых приборов, для обработки отверстий в подложках гибридных интегральных схем, для сверления деталей из керамики, ситалла, инструментальных сталей и других труднообрабатываемых материалов.

Лазерная резка осуществляется как в импульсном, так и в непрерывном режиме, с поддувом в зону резки струи газа (чаще воздуха или кислорода). В производстве электронных приборов импульсную лазерную резку применяют для разделения диэлектрических и полупроводниковых подложек толщиной 0,3 – 1 мм. Скорость резки в зависимости от толщины материала и параметров излучения составляет 0,1 – 0,5 м/мин. Лазерную поверхностную резку успешно применяют для скрайбирования полупроводниковых пластин; скорость скрайбирования при глубине прорези 0,05 мм достигает 250мм/с. Благодаря большей глубине получаемой прорези (канавки) лазерное скрайбирование по сравнению с обычным скрайбированием алмазным резцом обеспечивает значительно большую точность разделения полупроводниковых пластин и способствует повышению выхода годных изделий.

Лазеры непрерывного действия применяют для резки хрупких изделий из стекла, ситалла и других материалов методом управляемого термического раскалывания (возникающая трещина развивается вслед за лазерным лучом). Скорость резки достигает 2–3 м/мин при толщине материала до 3 мм. Управляемое термическое раскалывание применяется при резке стеклянных труб, листового стекла, ситалловых подложек интегральных схем и других.

Лазерное излучение применяют также при подгонке в номинал резисторов интегральных схем, для нарезки спиральных дискретных резисторов, ретуши фотошаблонов и при других операциях. Наиболее часто для этих целей используют импульсные лазеры со средней мощностью излучения 5 – 15 Вт при

частоте повторения импульсов 1 – 40 кГц и длительности 200 – 600 нс. Для особо точной обработки тонких плёнок применяют импульсные лазеры на азоте с длительностью импульса порядка 10 нс и импульсной мощностью более 10 кВт. С помощью таких лазеров можно удалять тонкие плёнки с поверхности подложек на участках размером в несколько микрометров при неровности обрабатываемого контура менее 1 мкм практически без какого-либо повреждения подложки.

Перспективными направлениями лазерной технологии в производстве изделий электронной техники являются:

- поверхностный отжиг полупроводниковых пластин с целью восстановления структуры их кристаллической решётки при ионном легировании;
- осуществление поверхностных химических реакций в полупроводниках для создания активных структур;
- получение р-п-переходов методом локальной диффузии с лазерным нагревом;
- нанесение тонких металлических и диэлектрических плёнок путём лазерного испарения;
- эпитаксиальное выращивание тонких полупроводниковых плёнок из паровой фазы и ряд других операций.

Резюмируя вышесказанное, можно сказать, что в технологии производства электронной аппаратуры лазеры могут выполнять следующие операции:

- сверление отверстий;
- резка листового материала;
- скрайбирование;
- пайку;
- сварку;
- подгонку микрокомпонентов;
- модификацию поверхности;
- гравирование;
- осаждение материалов.

Лазер (англ. laser, акроним от light amplification by stimulated emission of radiation «усиление света посредством вынужденного излучения»), или оптический квантовый генератор — это устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения. Идеально когерентная (упорядоченная) волна имеет строго определенные длину (и частоту), плоский фронт и является идеально поляризованной. Когерентное излучение обладает такими свойствами: монохроматичность, малая расходимость луча, высокая яркость.

Это позволяет фокусировать лазерное излучение на поверхность обрабатываемого материала с помощью простой оптической системы рис. 1.186.

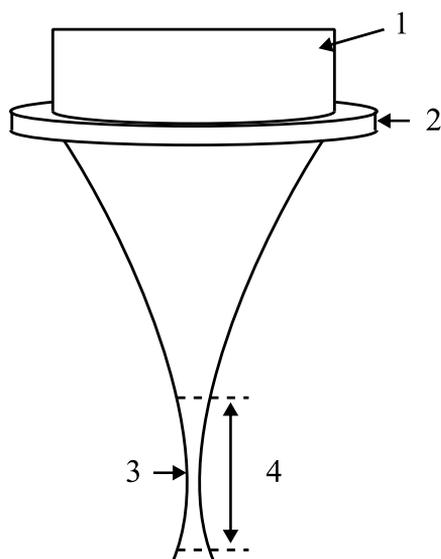


Рис. 1.186. Схема фокусировки лазерного луча

1 – лазерный луч; 2 – фокусирующая линза; 3 – фокусная точка; 4 – рабочая дистанция (глубина резкости)

Рассмотрим устройство лазера с рабочим телом из рубина рис.1.187. Рабочее тело 4 представляет собой цилиндр из рубина, по обе стороны которого находятся два зеркала. Одно непрозрачное 1, а второе полупрозрачное 3. Рабочее тело освещается импульсной лампой 2. При освещении рабочего тела импульсной лампой в нем происходит генерация монохроматического излучения 5, которое выходит через полупрозрачное зеркало.

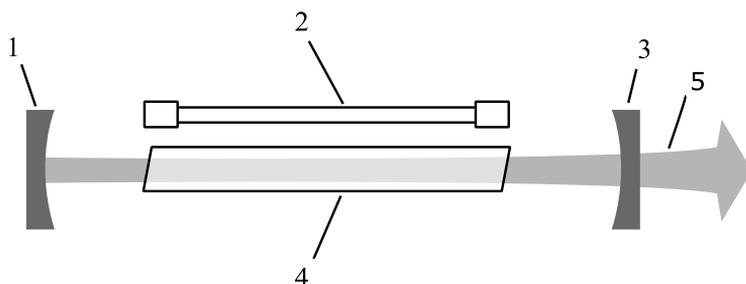


Рис. 1.187. Схема твердотельного лазера

1- непрозрачное зеркало; 2 – лампа накачки; 3 – полупрозрачное зеркало; 4 – рабочее тело; 5 – луч лазера

На рис. 1.188. представлена структурная схема лазерной установки.

Программное устройство 1 осуществляет координацию перемещения детали 7 относительно лазера 2. Лазерное излучение 4, пройдя через оптическую систему 5 попадает в нужное место детали 7.

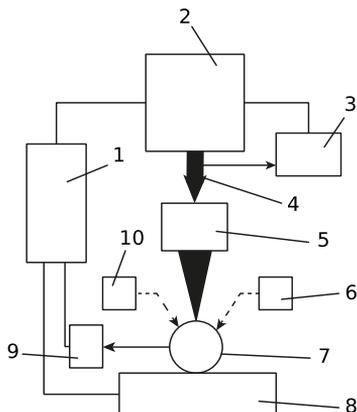


Рис. 1.188. Структурная схема лазерной технологической установки

1 – программное устройство; 2 – лазер; 3 – датчик параметров излучения лазера; 4 – излучение лазера; 5 – оптическая система; 6 – источник вспомогательной энергии (генератор ультразвука, устройство возврата отраженного излучения и т.п.); 7 – обрабатываемая заготовка; 8 – устройство для закрепления и перемещения обрабатываемой заготовки; 9 – датчик параметров технологического процесса; 10 – устройство подачи технологической среды.

Возможно применение вспомогательного источника энергии 6 для интенсификации процесса, а также введения в зону обработки технологической среды через специальное устройство 10.

1.21.2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Большинство технологических операций производства приборов микроэлектроники, осуществляемых с помощью лазеров, основано на поглощении лазерного излучения веществом, т.е. на тепловом действии света на непрозрачные среды.

Попадая на поверхность сваривания материалов лазерное излучение частично поглощается поверхностью, а частично отражается. Проникновение излучения $I_{(x)}$ в материал описывается экспоненциальным законом Бугера-Ламберта.

$$I_{(x)} = I_0(1-R)e^{-\alpha x},$$

где: $I_{(x)}$ — интенсивность лазерного излучения, проникающего в материал на глубину x ; I_0 — интенсивность лазерного излучения, падающего на поверх-

ность материала; R — коэффициент отражения поверхности, α — коэффициент поглощения, x — глубина проникновения.

Процесс взаимодействия лазерного излучения с веществом можно условно разделить на несколько этапов

- поглощение лучистой энергии и переход ее в теплоту
- нагревание материала до температуры плавления
- плавление материала и испарение продуктов разрушения
- остывание материала

Сверление отверстий и гравировка лазером

Преимущества сверления лазером:

- способность фокусировки излучения в пятно малых размеров (диаметр отверстий от 0,005 мм)
- обработка деталей без механического воздействия инструмента
- управляемость процессом сверления по глубине отверстия
- небольшая зона прогрева
- сокращение времени сверления в сверхтвердых материалах с 20-30 мин до нескольких секунд
- возможность сверления практически любых материалов (например, полупроводниковые, дерево, бумагу, керамику, пластмассу и др.)

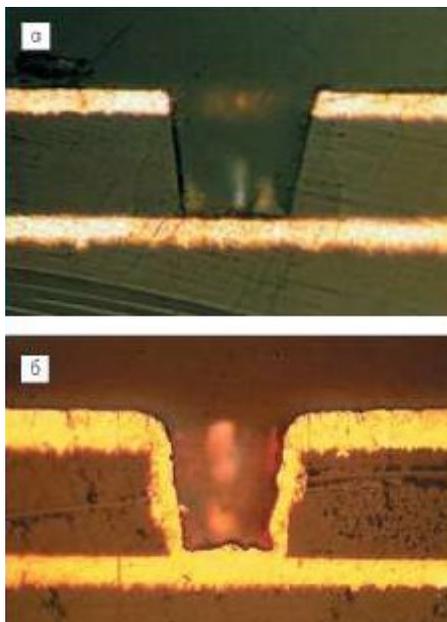
Технологические особенности:

- прямолинейность и контур поверхности, конусность отверстия и отсутствие микротрещин зависят от интенсивности лазерного излучения и времени облучения
- единичным лазерным импульсом можно получить отверстие, максимальная глубина которого составит 5-6 его диаметров
- при использовании периодических импульсов увеличивается глубина отверстия до десяти диаметров, но удлиняется время обработки

Лазерным лучом можно сверлить:

- металл;
- пластмассы;
- дерево;
- алмазы;
- полупроводники;
- керамику;
- стекла;
- бумагу.

При помощи лазера можно производить высокопроизводительное сверление глухих микроотверстий в многослойной печатной плате (МПП) рис.1.189. (до 400 отверстий в сек. диаметром 50-300 мкм, глубиной 50- 500



мкм с помощью лазера).

Рис. 1.189. Сверление глухих микроотверстий в МПП [55]

а) Идеально подготовленное отверстие, просверленное лазером

б) Металлизированное отверстие, просверленное лазером

Использование систем для лазерной резки с излучением ультрафиолетового диапазона (УФ) открыло новые возможности обработки специальных материалов. Лазерное излучение УФ - диапазона (355 нм) обладает высокой энергией квантов и меньшим диаметром пятна в области фокусировки за счет более короткой длины волны по сравнению с волоконными (1064 нм) и CO₂-лазерами (10,6 мкм). Минимально возможный диаметр пятна фокусировки соответствует длине волны лазерного излучения. Соответственно, для УФ-лазера с 355 нм он в 30 раз меньше, чем для ИК с длиной волны 10,06 мкм, и составляет несколько микрометров. При взаимодействии излучения УФ - диапазона с диэлектрическими материалами, такими как полимеры, в веществе происходит разрыв внутримолекулярных связей и электронное возбуждение молекул вещества. Возникает фотохимический механизм взаимодействия, так называемая «холодная» абляция. При высокой плотности мощности лазерного излучения создаются условия, при которых величина энергии квантов оказывается достаточной как для разрыва связей между полимерными цепями, внутри цепей между отдельными молекулами, так и для разрыва хими-

ческих связей внутри молекул (например, типа С–С или С–Н в полимерах)[56]. Холодная абляция характеризуется маленькой зоной термического влияния – всего несколько микрометров.

Тонкие полимерные материалы и соединения такие, например, как медь с полимером, керамику, слюду, металлическую фольгу можно превосходно гравировать, резать и сверлить с помощью УФ - лазера. Результатом обработки являются очень точные контуры. Кромки реза получаются гладкими и прямоугольными рис.1.190 – 1.195 [57].

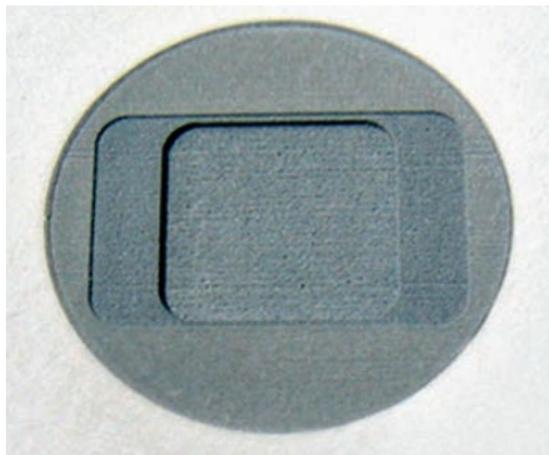


Рис. 1.190. Гравировка по глубине полиэтиленового материала: шаг по глубине 2 мм, 8 мм и 10 мм [57].

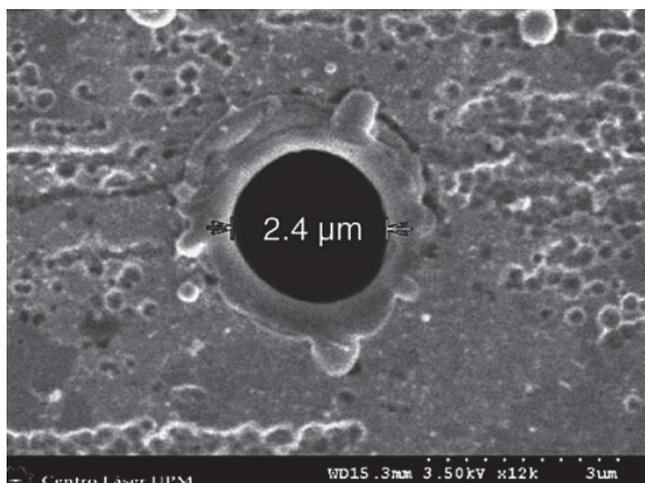


Рис. 1.191. Сверление отверстия в фольге из нержавеющей стали толщиной 50 мкм

[57]

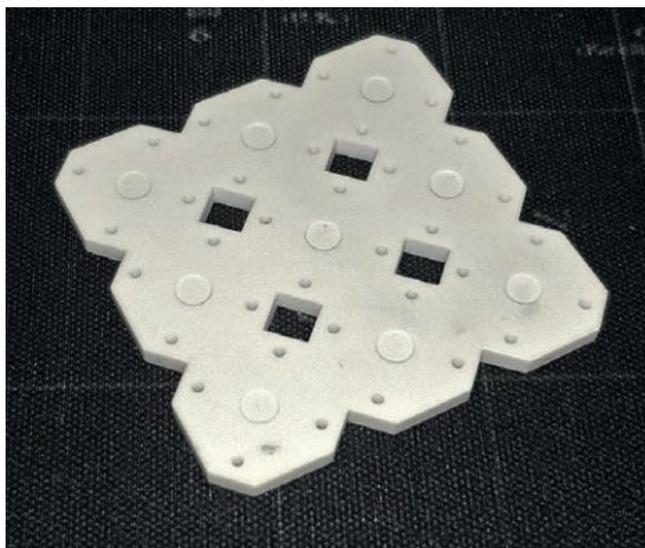


Рис. 1.192. Сверление отверстий в керамике УФ - лазером [57].

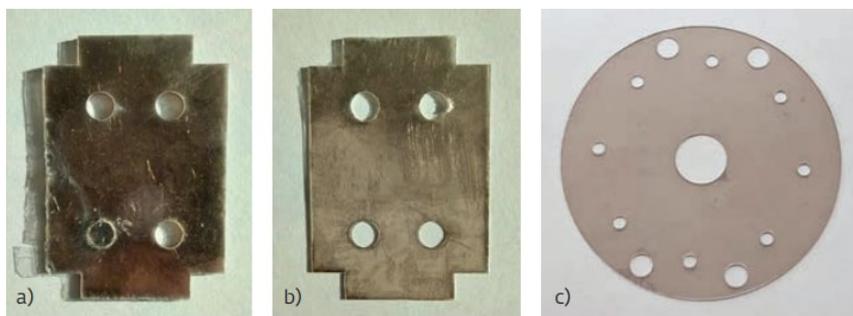


Рис.1.193. Сверление отверстий в слюде:
а) волоконным лазером (1 064 нм); б) CO₂-лазером (10,6 мкм); в) УФ- лазером (355 нм) [57]

УФ - лазер может выполнять резку слюды с отсутствием расслоения материала. На рис. 1.193. приведены образцы резки слюды на волоконном, CO₂- и УФ - лазерах.

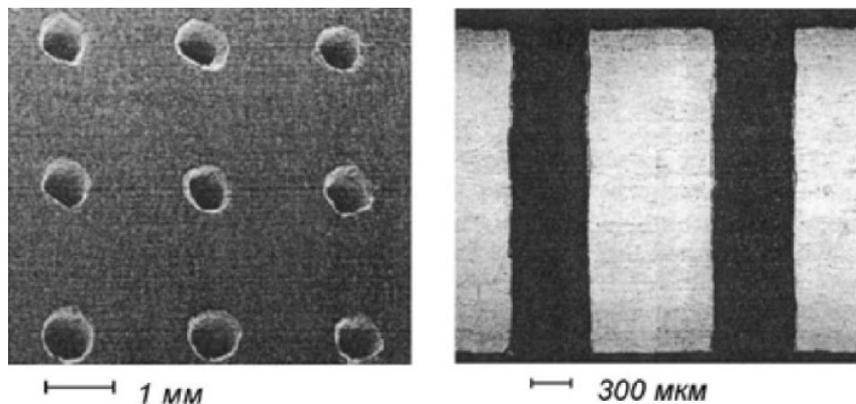


Рис. 1.194. Микрофотографии отверстий в стали после лазерной прошивки [58]

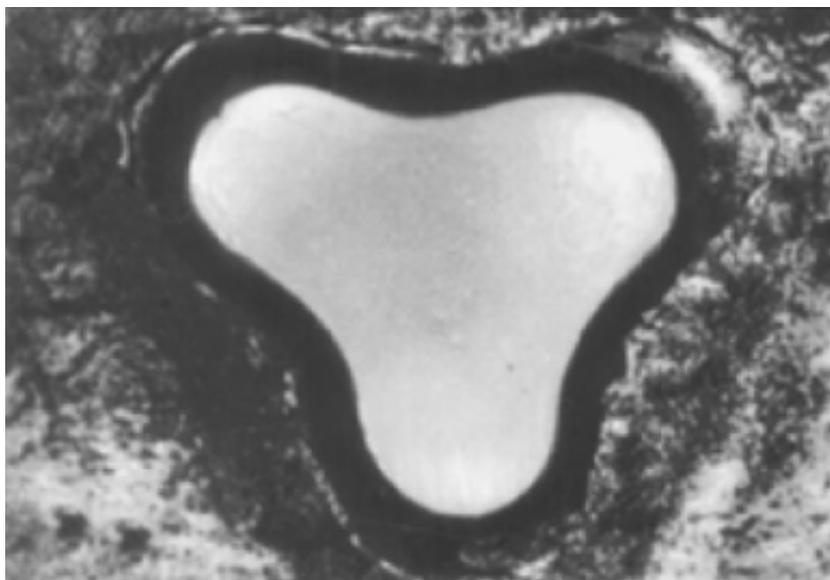


Рис. 1.195. Отверстие, полученное прошивкой в пластине из нержавеющей стали толщиной 0,3 мм [58]

Для выполнения операций лазерного сверления выпускаются специальные станки, отличающиеся назначением и мощностью используемого лазера. Например, установка JK704 мощностью 400 Вт имеет систему автофокуса и обрабатывает отверстия с точностью $\pm 0,025$ мм. Отверстие $\varnothing 0,5$ мм в стали толщиной 24,5 мм она прошивает за 90 секунд, а такое же отверстие в никелевом сплаве толщиной 1 мм — за одну секунду [58].

Лазерная резка

В технологии резки и раскроя материалов используют лазер высокой мощности. Сфокусированный лазерный луч, обычно управляемый компьютером, обеспечивает высокую концентрацию энергии и позволяет разрезать практически любые материалы независимо от их теплофизических свойств. В процессе резки, под воздействием лазерного луча материал разрезаемого участка плавится, возгорается, испаряется или выдувается струей газа. При этом можно получить узкие резы с минимальной зоной термического влияния рис.1.195. Лазерная резка отличается отсутствием механического воздействия на обрабатываемый материал, возникают минимальные деформации, как временные в процессе резки, так и остаточные после полного остывания. Вследствие этого лазерную резку, даже легкодеформируемых и нежестких заготовок и деталей, можно осуществлять с высокой степенью точности. Благодаря большой мощности лазерного излучения обеспечивается высокая производительность процесса в сочетании с высоким качеством поверхностей реза. Легкое и сравнительно простое управление лазерным излучением позволяет осуществлять лазерную резку по сложному контуру плоских и объемных деталей и заготовок с высокой степенью автоматизации процесса.

Преимущества лазерной резки:

- обработка сверхтвердых материалов (например, алмаза)
- незначительная ширина пропила
- независимость направления распиловки от ориентации кристалла
- возможность разрезов сложной формы
- обработка кристаллов с большими внутренними напряжениями

На рис. 1.196 и рис. 1.197. показаны подложки из поликора с различными формами отверстий, вырезанных при помощи лазера.

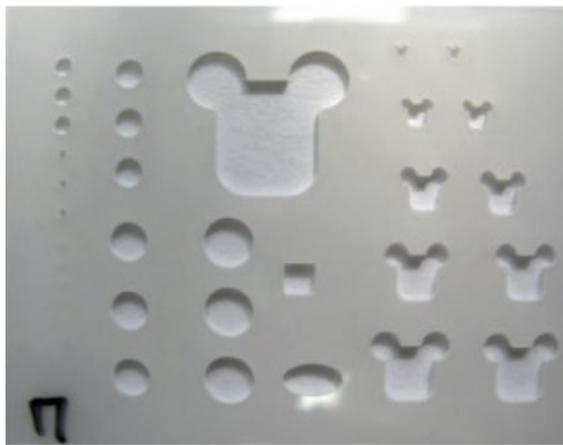


Рис. 1.196. Формы отверстий, вырезанных в поликоре толщиной 1 мм
(а). Увеличенное 100х фото отверстия диаметром 1 мм (б) [59]

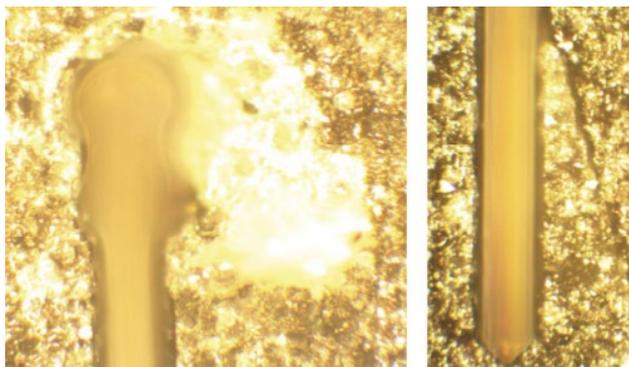


Рис. 1.197. Фото лазерных резов на поликоре толщиной 2 мм [59]

Сильное негативное влияние на результаты лазерного резания керамики оказывает их большая теплопроводность. А позитивное влияние проявляется в выдерживании многократных термических ударов, возникающих при лазерном резании практически всех материалов.

Подгонка пленочных резисторов микросхем

Для достижения требуемых параметров изделий твердотельной электроники можно использовать различные методы настроек - изменение параметров пленочных резисторов, конденсаторов или индуктивностей, изготовленных по планарной технологии. Наибольшее распространение получил метод лазерной подгонки резисторов. В основу метода положен технологический процесс локального испарения части пленочного резистора под воздействием сфокусированного лазерного излучения. При лазерной подгонке материал можно удалять поочередным выжиганием отверстий рис. 1.198. слева либо непрерывными линейными резами рис.1.198. справа.

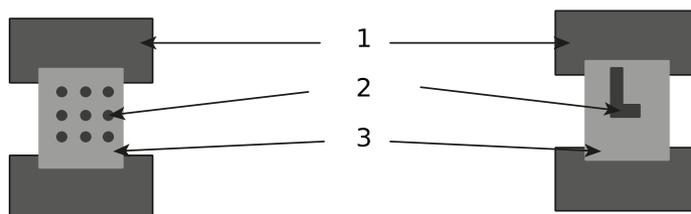


Рис. 1.198. Лазерная подгонка резисторов
1 – контактная площадка; 2 – участки, вырезанные лазером; 3 – резистор

Преимущества лазерного метода подгонки - возможность подгонки резисторов из любых материалов, повышение механической прочности изделия в результате сплавления резистора с подложкой по контуру лазерной обработки, высокая скорость подгонки, малая ширина и высокая чистота реза, возможность подгонки резисторов через прозрачное герметизирующее покрытие, отсутствие нагрева и повреждений близлежащих, особенно термочувствительных элементов ИМС, высокая точность подгонки (до 0,01%), малое количество загрязняющих продуктов разложения, образующихся в процессе подгонки.

К недостаткам метода относится нестабильность сопротивления резистора во времени (послеподгоночный дрейф), связанная с изменением свойств пленки вокруг выжженного отверстия.

На рис.1.199. Представлена схема установки для лазерной подгонки тонкопленочных резисторов.

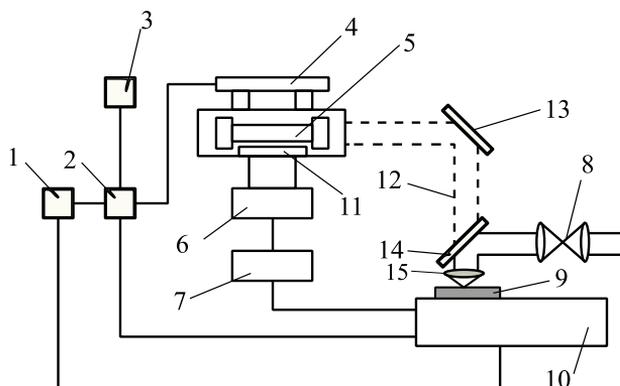


Рис. 1.199. Схема установки для подгонки тонкопленочных резисторов

2 – устройство автоматического управления установкой, 3 – пульт управления, 4 – устройство охлаждения, 5 – активный элемент; 6 – источник питания, 7 – устройство автоматического управления столом, 8 – устройство для наблюдения, 9 – резистор; 10 – координатный стол; 11 – лампа накачки; 12 – лазерное излучение; 13 – отражающее зеркало; 14 – полупрозрачное зеркало; 15 – фокусирующая система

Устройством автоматического управления 7 координатный стол 10 выводится в рабочее положение и включается лазер 5. Дальнейшее перемещение координатного стола управляется сигналами, поступающими с устройства контроля сопротивления 1. При достижении требуемого значения сопротивления резистора 9 процесс подгонки прекращается.

Аналогичным образом осуществляют подгонку номинала емкости тонкопленочных конденсаторов (ТПК) рис. 1.200.

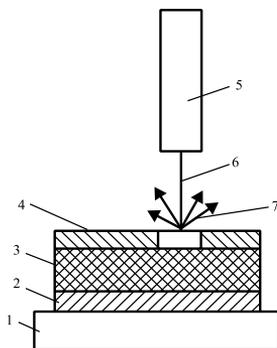


Рис. 1.200. Схема установки для подгонки тонкопленочных конденсаторов
1 – подложка, 2 – нижняя обкладка, 3 – диэлектрик, 4 – источник излучения, 5 – направление испарения металла верхней обкладки

Подгонку емкости ТПК лазерным излучением осуществляют изменением площади перекрытия обкладок. При обработке обкладки конденсатора 4 лучом лазера 6 с короткими импульсами большой мощности удаляется часть верхней обкладки 4.

Лазерное скрайбирование для ИМС

Скрайбирование заключается в нанесении на поверхность пластины в двух взаимно перпендикулярных направлениях рисок, например алмазным резцом, диском, проволокой или лучом лазера. Под рисками образуются напряженные области, по которым после приложения к пластине механического воздействия происходит ломка пластины. При лазерном скрайбировании – скрайберные риски создаются испарением полупроводникового материала с поверхности пластины при её перемещении относительно сфокусированного лазерного пучка, имеющего большую мощность излучения. При испарении полупроводникового материала, которое происходит при высокой температуре, в ослабленном канавкой сечении пластины возникают термические напряжения, а сама канавка, являясь узкой (до 25 – 40 мкм) рис. 1.201 и глубокой (до 50 – 100 мкм) по форме, выполняет роль концентратора механических напряжений. Наряду с созданием глубокой разделительной канавки, вследствие отсутствия механического воздействия на рабочей поверхности пластины не образуются микротрещины и сколы, что позволяет поднять скорость скрайбирования до 200 мм/с и выше. Возможно также лазерное скрайбирование без удаления материала с поверхности пластины, т.н. «скрытое скрайбирование», и в настоящее время этот метод практически вытеснил испарительный. Для этого применяется ИК-лазер на ниобий-иттриевом гранате, для длины волны которого кремний (как наиболее популярный полупроводник) является полупрозрачным, причём поглощение довольно велико. Короткие импульсы высокой мощности фокусируются в глубине пластины, так, что

её материал расплавляется и быстро перекристаллизуется в месте фокусировки, создавая зону напряжения. Несколько проходов лазера с разной глубиной фокусировки создают дорожку напряжённых зон в толще полупроводниковой пластины, по которой она затем легко разламывается.

Скрайбирование является эффективным методом разделения таких неметаллических материалов, как керамика, кремний или стекло.

Преимущества лазерного скрайбирования:

- отсутствие трещин и микросколов
- обработка практически всех полупроводниковых материалов с различными покрытиями
- высокая скорость обработки (до 250 мм/с)
- малая ширина реза
- малая ширина дефектной зоны (менее 50 мкм)

На рис. 1.201 представлена фотография результата лазерного скрайбирования кремниевой пластины [60].

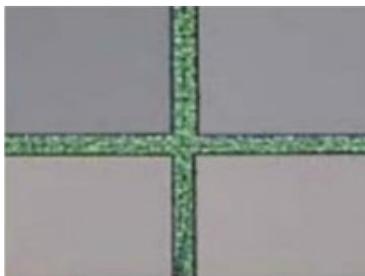


Рис. 1.201. Результат лазерного скрайбирования кремниевой пластины [60]

Лазерная резка полупроводниковых пластин позволяет легко автоматизировать процесс с сохранением ориентации кристаллов, необходимой для автоматизации проведения сборочных операций рис.1.202.

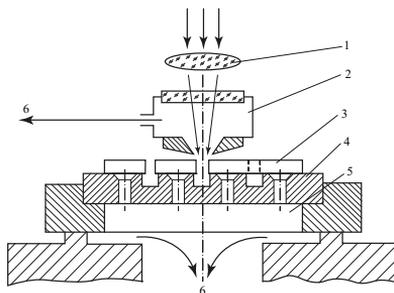


Рис. 1.202. Схема процесса разделения полупроводниковой пластины с сохранением ориентации кристаллов

1 –объектив; 2 – устройство защиты; 3 – пластина; 4 – спутник; 5 – камера; 6 – направление откачки воздуха насосом

Скорость разделения пластин при глубине реза 0,25 мм – 120 мм/мин

Лазерное упрочнение

Лазерное упрочнение или лазерная закалка, проводимая с помощью лазера, перспективна для изделий, долговечность которых лимитируется износостойкостью и сопротивлением усталости, особенно если закалка другими методами затруднена вследствие сложности конфигурации детали и возможности ее значительного коробления при нагревании до закалочных температур. Поверхностное упрочнение лучом лазера характеризуется рядом особенностей, позволяющих обеспечить: упрочнение локальных (по глубине и площади) объемов материала обрабатываемых деталей в местах их изнашивания:

1. Твердость упрочняемых участков может превышать на 15-20% и более твердость, достигаемую после термической обработки обычными способами.

2. Возможность локального упрочнения поверхностей труднодоступных углублений или полостей, в которые луч лазера может быть введен с помощью несложных оптических устройств;

3. Возможность “пятнистого” поверхностного упрочнения значительных площадей деталей;

4. Получение заданной микрошероховатости упрочненных поверхностей;

5. Получение определенных физико-механических, химических и других свойств поверхностей обрабатываемых деталей легированием их различными элементами с помощью лазерного излучения;

6. Отсутствие деформаций обрабатываемых деталей благодаря локальности термической обработки, что позволяет полностью исключить необходимость дополнительного финишного шлифования;

7. Простота автоматизации процесса обработки лучом лазера по контуру, в том числе деталей сложной формы, так как лазерный нагрев осуществляется бесконтактно.

Лазерную обработку применяют для повышения стойкости деталей штампов, пресс-форм, режущего инструмента и деталей, имеющих рабочие поверхности, доступные для обработки лучом лазера, в том числе с использованием оптических и управляющих систем. Поверхностной лазерной обработке подвергают инструмент, прошедший термическую обработку, окончательное шлифование и заточку.

Лазерное осаждение слоев

Особенности взаимодействия лазерного излучения с веществом, о которых мы рассказывали выше, позволяют напылять тонкопленочные структуры различного назначения с использованием вакуумных установок. Упрощенная схема лазерной напылительной установки изображена на рис.1.203. Основными деталями технологической оснастки являются мишени 3 и подложка 4, на поверхность, которой конденсируется вещество, испаренное

лазером. Оптимальными параметрами мощности излучения являются такие значения, которые позволяют за один импульс нанести мономолекулярный слой.

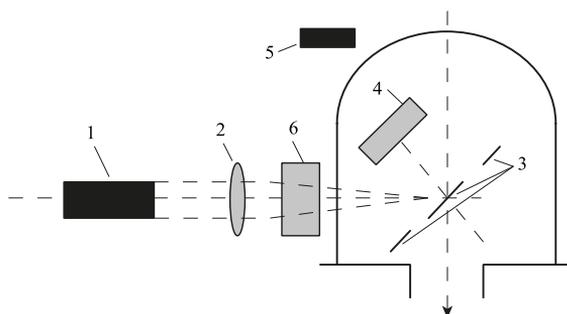


Рис. 1.203. Схема лазерной напылительной установки

1.- лазер; 2 - фокусирующая линза; 3 - сменные мишени; 4 - подложка с нагревателем; 5 - система контроля за процессом; 6 - система сканирования.

Наиболее развивающийся способ осаждения пленок в вакууме - это испарительные системы с использованием импульсного лазера в качестве первичного источника энергии. Этот способ позволяет варьировать величину энергопотока в широких пределах (от 10^8 до 10^{16} Вт/м²) и изменять длительность его воздействия от непрерывного до величины 10^{-10} с. В таких испарительных системах управление энергетическими параметрами процесса испарения мишени легко достигается либо изменением степени фокусирования лазерного пучка, либо с помощью управления мощностью накачки при неизменной фокусировке.

Лазерное микропрофилирование

Из существующих способов маркировки лазерная маркировка – наиболее современный, технологичный и гибкий метод, позволяющий управлять лазерным излучением (во времени и в пространстве), регулировать его энергию. При использовании лазеров различной длины волны круг маркируемых материалов очень широк: металлы, пластик, полупроводники, резина, кожа, спецсплавы, дерево и т.д. Маркировка осуществляется точно, быстро и качественно.

Лазерные технологии успешно справляются с задачей микропрофилирования поверхностей. На рис. 1.204 показана фотография лазерной маркировки штрихкодов, выполненной на поверхности цилиндрической детали.



Рис. 1.204. Лазерная маркировка штрихкодов [61]

На рис.1.205. показана фотография лазерной маркировки подшипника.



Рис. 1.205. Лазерная маркировка подшипника[61]

Современный лазерный комплекс для маркировки содержит, как правило: управляющий компьютер, источник излучения, системы передачи, перемещения и контроля параметров излучения.

Лазерная пайка и сварка

Пайка, при которой нагрев паяемых материалов и припоя осуществляется лазером называется лазерной пайкой. Лазерной сваркой называют технологический процесс получения неразъемного соединения частей изделия путем местного расплавления металлов по примыкающим поверхностям. На рис. 1.206 представлена схема лазерной сварки и пайки.

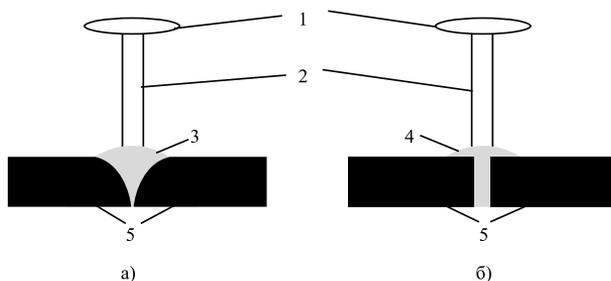


Рис. 1.206. Схема лазерной сварки а) и пайки б)

1- фокусирующая линза; 2 – лазерный луч; 3 – сварной шов; 4 – припой; 5 – соединяемые детали

Лазерная сварка

В качестве источника нагрева используют концентрированный поток излучения лазера. В результате плавления и кристаллизации возникает прочное сцепление (сварной шов), основанное на межатомном взаимодействии.

Световому лучу в лазерной сварке свойственны показатели когерентности, монохроматичности и высокой направленности.

Благодаря этому практически отсутствует рассеивание лазерного луча при его перемещении от источника к области сварки во время сварочного процесса.

Соединяемые элементы при лазерной сварке фиксируются у соединительной линии и на стык направляется лазерный луч. При этом свариваемые детали расплавляются в месте стыка, жидкий металл заполняет место стыка и после остывания соединение становится неразъемным.

Особенностью сварочного процесса является факт того, что источник может находиться на удалении от области сварки, в то время как в промежутке лазерной ванны не обязательно наличие вакуума.

Преимущества метода:

- высокая плотность мощности излучения, позволяющая обрабатывать тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден);
- минимум нежелательных структурных изменений в материале, что обеспечивает высокую скорость сварки;
- не вносятся загрязнения;
- возможность проведения сварки практически в любой атмосфере;
- возможность соединения материалов с различными оптическими, теплофизическими и механическими свойствами;
- минимальные габариты зоны термического влияния возможность проведения сварки в непосредственной близости от термочувствительных элементов.

Недостатки метода:

- высокая стоимость, инструменты и комплектующие для лазерной сварки относительно дорогие;
- обслуживающий персонал для устройств по лазерной сварке должен обладать высокой квалификацией;
- особые требования выдвигаются и к помещениям, где будет размещено оборудование для лазерной сварки, рассматриваются все показатели - от запыленности до показателей вибрации и влажности;
- низкий КПД, не более 10%;
- высокая зависимость от отражающей способности у самой заготовки.

С помощью лазерной сварки можно получать высококачественные соединения деталей из нержавеющей стали, никеля, молибдена, кобальта и др. Высо-

кая мощность лазерного излучения позволяет сваривать материалы с высокой теплопроводностью (медь, серебро).

Сварку подразделяют на две основные группы:

- сварка поверхностная, осуществляется при сварке материалов малых толщин (менее 1 мм);
- сварка с глубоким проплавлением, осуществляется при сварке материалов толщиной более 1 мм.

Лазерная пайка

Преимущества лазерной пайки:

- высокая скорость нагрева обрабатываемых объектов;
- точное дозирование энергии в процессе пайки;
- нагрев труднодоступных участков обрабатываемых деталей;
- пайка в изолированном объеме и строго контролируемой среде;
- совмещение процессов пайки с другими технологическими процессами (очисткой поверхности, изменением ее химического состава и др.).

Недостатки лазерной пайки:

- относительно высокая стоимость оборудования;
- высокие требования к квалификации персонала

На рис. 1.207. представлена схема установки для лазерной пайки. Излучение, выходящее из оптического квантового генератора, проходит через оптическую систему и попадает на непрозрачную пластину, представляющую собой зеркало. Отражаясь от зеркала, излучение проходит через частично прозрачную пластину, которая разделяет световой поток на две неравные части.

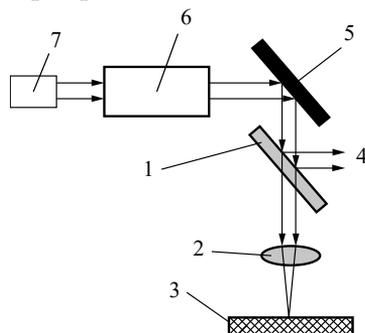


Рис. 1.207. Схема установки для лазерной пайки

1 – полупрозрачное зеркало; 2 – фокусирующая система; 3 – печатная плата; 4- луч к оператору; 5 - зеркало; 6 – оптическая система; 7 - лазер

Основная часть светового потока направляется на фокусирующую оптическую систему и далее в зону пайки, а незначительная часть к наблюдателю, который настраивает установку.

На рис. 1.208. Показана схема лазерной пайки проводника к подложке, на

которой на место пайки нанесен флюс.

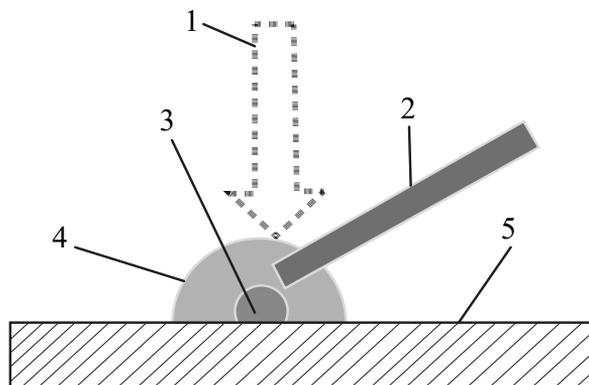


Рис. 1.208. Схема пайки электрического проводника к подложке

1 – луч лазера; 2 – припаяваемый проводник; 3 – шарик припоя; 4 – флюс; 5 – подложка

Шарик припоя располагают на участке пайки, а конец проводника подводят к ее зоне. Луч лазера концентрируют на припое.

Лазерная пайка при сборке электронных модулей

Лазерная пайка применяется при сборке электронных модулей. На рис.1.209. показана схема лазерной пайки компонентов с J-образными выводами:

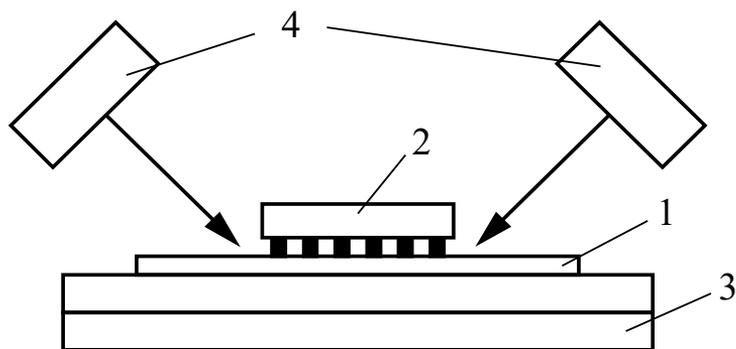


Рис. 1.209. Схема лазерной пайки компонентов с J-образными выводами:

1 – плата; 2 – компонент; 3 – координатный стол; 4 – отклоняющая система

Электронный компонент 2 устанавливается на плату 1 и отклоняющая система 4 направляет лазерное излучение на место пайки.

Лазерное формирование топологии:

Уникальные свойства лазерного излучения – когерентность, малая расходимость, поляризованность позволили использовать его для формирования топологии различных изделий микроэлектроники:

- прямое лазерное формирование рисунка проводников в фоторезисте – лазерная литография;
- прямое лазерное изображение в масочном покрытии;
- прямое лазерное формирование рисунка непосредственно в фольговом покрытии (лазерное фрезерование)
- прямое лазерное формирование рисунка проводников (лазерно-химическая обработка)
- избирательная (по рисунку) активация диэлектрика лазером

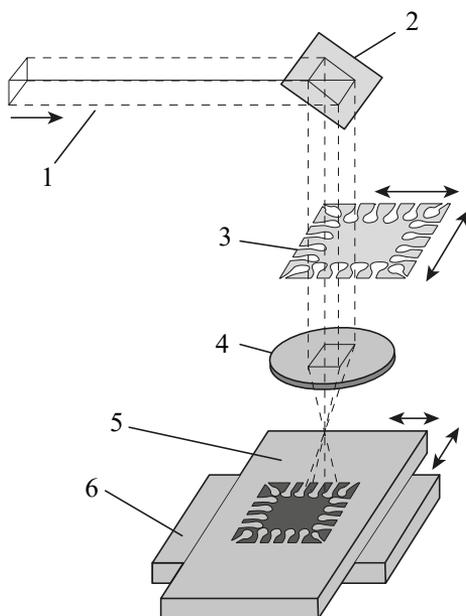


Рис. 1.210. Схема прямого лазерного формирования рисунка

1 – лазерное излучение; 2 – зеркало; 3 – маска; 4 – оптическая система; 5 – обрабатываемая заготовка; 6 – стол для закрепления и перемещения заготовки

Лазерное излучение 1 зеркалом 2 направляется на маску 3 и далее, пройдя через оптическую систему 4 попадает на заготовку 5, которая закреплена на столе 6. В результате на заготовке происходит формирование рисунка.

Прямое лазерное формирование рисунка

Возможности увеличения плотности межсоединений в печатных платах

непосредственно связаны с литографическими процессами. На смену классической фотолитографии, начинающейся с фотошаблонов, приходят процессы прямого формирования рисунка на фоторезисте (LDI – LaserDirectImaging), исключающие операции изготовления фотошаблонов. Это позволяет вообще обходиться без процессов фотолитографии и травления рис. 1.210.

Растровый рисунок экспонируется на фоторезисте непосредственно лучом лазера, минуя процессы изготовления фотошаблонов и экспонирования с фотошаблона. Маска содержит необходимые элементы, из которых возможно сформировать необходимый рисунок на печатной плате. При двустороннем LDI-экспонировании автоматически совмещаются рисунки двух сторон.

Отсутствие необходимости производства шаблонов уменьшает срок от разработки проекта до готового изделия и существенно снижает себестоимость.

ТЕСТЫ К ЛЕКЦИИ

Вопрос 1	В чем заключается лазерная технология?
Ответы:	
1	Это совокупность способов обработки, изменения состояния, свойств и формы материала или полуфабриката, осуществляемых посредством лазерного излучения
2	
3	
Вопрос 2	Какой вид воздействия света используется в большинстве процессов лазерной технологии?
Ответы:	
1	Используется термическое действие света
2	Используется монохроматичность света
3	Используется когерентность света
Вопрос 3	Чем обусловлена эффективность лазерной технологии?
Ответы:	
1	Локальностью воздействия и высокой плотностью потока энергии лазерного излучения в зоне обработки
2	Монохроматичностью светового потока
3	Когерентностью излучения
Вопрос 4	В каких материалах возможно сверление отверстий лазерным лучом?
Ответы:	
1	Возможно в любых материалах
2	Возможно только в легкоплавких материалах
3	Возможно только в металлах

Вопрос 5	Какие преимущества имеет лазерная резка?
Ответы:	
1	Позволяет резать сверхтвердые материалы, незначительная ширина пропила
2	Высокий КПД и низкая стоимость
3	Невысокие требования к квалификации персонала
Вопрос 6	В чем суть метода лазерной подгонки резисторов?
Ответы:	
1	Локальное испарение части пленочного резистора под воздействием сфокусированного лазерного излучения
2	Наплавка при помощи лазерного излучения дополнительного материала на пленочный резистор
3	Локальное удаление части контактной площадки
Вопрос 7	Какие имеются преимущества лазерного метода подгонки резистора?
Ответы:	
1	Высокая точность, возможность подгонки резисторов из любых материалов
2	Наличие послеподгоночного дрейфа
3	Невысокие требования к квалификации персонала
Вопрос 8	Что такое скрайбирование полупроводниковых пластин?
Ответы:	
1	Нанесение на поверхность пластин в двух взаимно перпендикулярных направлениях рисок
2	Это покрытие пластин специальным составом
3	Это высушивание пластин в среде ультразвука
Вопрос 9	В чем суть технологии лазерного осаждения слоев?
Ответы:	
1	Осаждение слоев пленок в вакууме при импульсном лазерном облучении материала мишени
2	Лазерное облучение слоев пленок в среде инертного газа
3	Лазерное облучение слоев пленок в среде химически активного газа
Вопрос 10	Какой процесс называют лазерной сваркой?
Ответы:	
1	Техпроцесс получения неразъемного соединения частей изделия путем местного расплавления металлов по примыкающим поверхностям лазерным лучом
2	Техпроцесс получения неразъемного соединения частей изделия путём введения между этими изделиями металла (припоя), расплавляемого лазерным лучом
3	Техпроцесс получения разъемного соединения при помощи лазера