

4. Устройство лазера



Рис. 7. Обобщенная схема строения лазера

Обобщенный лазер состоит из лазерной активной среды, системы «накачки» - источника напряжения и оптического резонатора (рис. 7).

Система накачки передает энергию атомам или молекулам лазерной среды, давая им возможность перейти в возбужденное «метастабильное состояние» создавая инверсию населенности.

- а. При оптической накачке используются фотоны, обеспечиваемые источником, таким как ксеноновая газонаполненная импульсная лампа или другой лазер, для передачи энергии лазерному веществу. Оптический источник должен обеспечивать фотоны, которые соответствуют допустимым уровням перехода в лазерном веществе.
- б. Накачка при помощи столкновений основана на передаче энергии лазерному веществу в результате столкновения с атомами (или молекулами) лазерного вещества. При этом также должна быть обеспечена энергия, соответствующая допустимым переходам. Обычно это выполняется при помощи электрического разряда в чистом газе или в смеси газов в трубке.
- в. Химические системы накачки используют энергию связи, высвобождаемую в результате химических реакций для перехода лазерного вещества в метастабильное состояние.

Оптический резонатор требуется для обеспечения нужного усилия в лазере и для отбора фотонов, которые перемещаются в нужном направлении. Когда первый атом или молекула в метастабильном состоянии инверсной населенности разряжается, за счет вынужденного излучения, он инициирует разряд других атомов или молекул, находящихся в метастабильном состоянии. Если фотоны перемещаются в направлении стенок лазерного вещества, обычно представляющего собой стержень или трубу, они теряются, а процесс усиления прерывается. Хотя они могут отразиться от стенок стержня или трубы, но рано или поздно они потеряются из системы, и не будут способствовать созданию луча.

С другой стороны, если один из разрушенных атомов или молекул высвобождает фотон, параллельный оси лазерного вещества, он может инициировать выделение другого фотона, и они оба отразятся зеркалом на конце генерирующего стержня или трубы. Затем, отраженные фотоны проходят обратно через вещество, инициируя дальнейшее излучение в точности по тому же пути, которое снова отразится зеркалами на концах лазерного вещества. Пока этот

процесс усиления продолжается, часть усиления всегда будет выходить через частично отражающее зеркало. По мере того, как коэффициент усиления или прирост этого процесса превысит потери из резонатора, начинается лазерная генерация. Таким образом, формируется узкий концентрированный луч когерентного света.

Зеркала в лазерном оптическом резонаторе должны быть точно настроены для того, чтобы световые лучи были параллельны оси. Сам оптический резонатор, т.е. вещество среды, не должен сильно поглощать световую энергию.

Лазерная среда (генерирующий материал) – обычно лазеры обозначаются по типу используемого лазерного вещества. Существуют четыре таких типа:

- твердое вещество,
- газ,
- краситель,
- полупроводник.

Твердотельные лазеры используют лазерное вещество, распределенное в твердой матрице (рис. 8). Твердотельные лазеры занимают уникальное место в развитии лазеров. Первой рабочей лазерной средой был кристалл розового рубина (сапфировый кристалл, легированный хромом); с тех пор термин «твердотельный лазер» обычно используется для описания лазера, у которого активной средой является кристалл, легированный примесями ионов. Твердотельные лазеры – это большие, простые в обслуживании устройства, способные генерировать энергию высокой мощности. Наиболее замечательной стороной твердотельных лазеров является то, что выходная мощность обычно не постоянна, а состоит из большого числа отдельных пиков мощности.

Одним из примеров является Неодим – YAG лазер. Термин YAG является сокращением для кристалла: алюмоиттриевый гранат, который служит как носитель для ионов неодима. Этот лазер излучает инфракрасный луч с длиной волны 1 064 микрометра.

Кроме того, могут использоваться и другие элементы для легирования, например эрбий (лазеры Er:YAG).

В **газовых лазерах** используется газ или смесь газов в трубе (рис. 9). В большинстве газовых лазеров используется смесь гелия и неона (HeNe), с первичным выходным сигналом в 6 328 нм ($\text{нм} = 10^{-9}$ метра) видимого красного цвета. Впервые такой лазер был разработан в 1961 году и стал предвестником целого семейства газовых лазеров. Все газовые лазеры довольно схожи по конструкции и свойствам. Например,

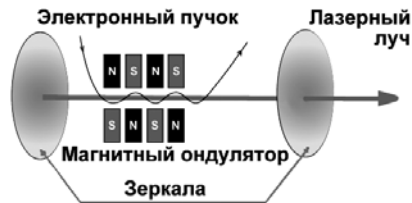


Рис. 8. Схема лазера на принципе свободных электронов

СО₂ газовый лазер излучает длину волны 10,6 микрометров в дальней инфракрасной области спектра. Аргонный и криптоновый газовые лазеры работают с кратной частотой, излучая преимущественно в видимой части спектра. Основные длины волн излучения аргонного лазера – это 488 и 514 нм.



Рис. 9. Схема газового лазера

В *лазерах на красителе* используется лазерная среда, являющаяся сложным органическим красителем в жидком растворе или суспензии (рис 10). Наиболее значительная особенность этих лазеров – их «приспособляемость». Правильный выбор красителя и его концентрации позволяет генерировать лазерный свет в широком диапазоне длин волн в видимом спектре или около него. В лазерах на красителе обычно применяется система оптического возбуждения, хотя в некоторых типах таких лазеров используется возбуждение при помощи химических реакций.

Полупроводниковые (диодные) лазеры – состоят из двух слоев полупроводникового материала, сложенных вместе. Лазерный диод является диодом, излучающим свет, с оптической емкостью для усиления излучаемого света от люфта в стержне полупроводника, как показано на рис. 11. Их можно настроить, меняя прикладываемый ток, температуру или магнитное поле.

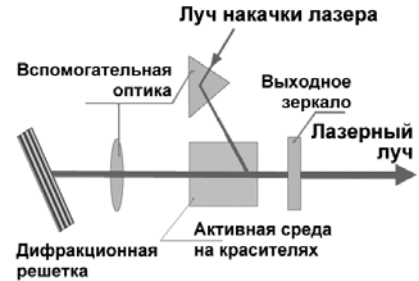


Рис. 10. Схема лазера на органических соединениях

Различные **временные режимы работы лазера** определяются частотой, с которой поступает энергия.

Лазеры с непрерывным излучением (Continuous wave, CW) работают с постоянной средней мощностью луча.

У *одноимпульсных лазеров* длительность импульса обычно составляет от нескольких сотен наносекунд до нескольких миллисекунд. Этот режим работы обычно называется длинноимпульсным или нормальным режимом.

Одноимпульсные лазеры с модуляцией добротности являются результатом внутрирезонаторного запаздывания (ячейка модуляции добротности), которое позволяет

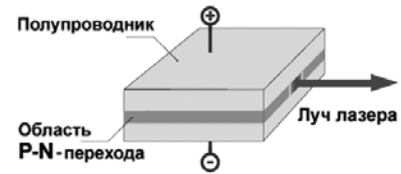


Рис. 11. Схема лазерного полупроводника

лазерной среде сохранять максимум потенциальной энергии. Затем, при максимально благоприятных условиях, происходит излучение одиночных импульсов, обычно с промежутком времени в 10^{-8} секунд. Эти импульсы обладают высокой пиковой мощностью, часто в диапазоне от 10^6 до 10^9 Ватт.

Импульсные лазеры периодического действия или сканирующие лазеры работают в принципе также как и импульсные лазеры, но с фиксированной (или переменной) частотой импульсов, которая может изменяться от нескольких импульсов в секунду до такого большого значения как 20 000 импульсов в секунду.

Работа *лазеров с синхронизированными модами* является результатом резонансных волн в оптическом резонаторе, которые могут влиять на характеристики выходного луча. Когда фазы различных частотных модов синхронизируются, т.е. «замыкаются вместе», моды будут пересекаться друг с другом, производя колебательный эффект. Результатом этого является равномерно пульсирующая выходная мощность лазера. Такие лазеры обычно вырабатывают последовательность равномерно распределенных импульсов, каждый с длительностью от 10^{-15} (фемто) до 10^{-12} (пико) секунд. Лазер с синхронизированными модами может подавать энергию с гораздо более высокими пиковыми мощностями, чем такой же лазер, работающий в режиме модуляции добротности. Эти импульсы будут обладать огромной пиковой мощностью, часто в пределах от 10^{12} (тера) Ватт.

Система подачи лазерного луча

Лазерный луч может подаваться к целевой ткани при помощи различных систем подачи. Чтобы гарантировать постоянное качество лазерного луча и защитить его от атмосферных явлений, были разработаны оптоволоконная и шарнирная системы.

Оптоволоконная системы подачи луча

В начале 1970х годов одним из важных новшеств стала разработка волокон толщиной в волос, заключенных в стеклянную оболочку, названных волоконно-оптическим волноводом (рис 12). С тех пор оптическое волокно все больше и больше становится средством, предпочитаемым телекоммуникационными компаниями, в промышленности и медицине для подачи лазерного луча к нужному рабочему пространству. Сегодня хорошая передача лазерного луча достигнута для волн ниже 2000 мкм.

Стоматологическая лазерная система использует, как правило, оптоволоконную доставку лазерного луча к целевой ткани. Эти системы являются гибкими и точными, обеспечивающими контактную и неконтактную хирургию, также они допускают эндоскопическое проведение луча.

Шарнирный световод

Для более длинных волн (в ИК-области) спектра, оптическое волокно обладает большим коэффициентом затухания или изготовлены из очень ядовитых материалов. Поэтому вместо оптического волокна для доставки

лазерного света от лазера к пациенту был разработан шарнирный световод, состоящий из нескольких зеркал, экранированных в металлических трубках, чье движение хорошо синхронизировано (рис 13). Качество лазерного луча полностью сохраняется. Хотя это и удобно в случае поверхностных тканей, гораздо больше затруднений встречается при проведении к более глубоко лежащим тканям или областям с затрудненным доступом, таким, как полость рта.

Некоторые более новые лазеры используют вариацию манипулятора – полый волновод. Полый волновод представляет собой гибкую металлическую трубку, изнутри выстланную зеркальной поверхностью или фольгой, обеспечивающую отражение луча вниз по волноводу к тканям. Хотя и не такая гибкая, как оптоволокно, и не допускающая эндоскопическое проведение, эта система разительно улучшила возможность стоматолога обеспечивать удобную, точную доставку луча внутри полости рта.

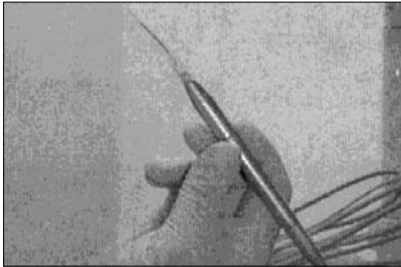


Рис. 12. Оптоволоконная система подачи луча.

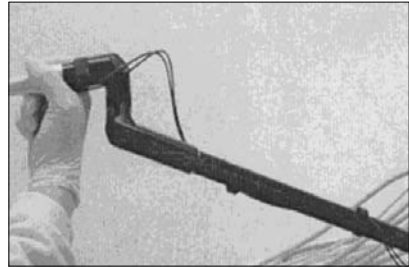


Рис. 13. Шарнирный световод