

УДК 615.831.7

Будылина Полина Сергеевна, Дмитревский Игорь Дмитриевич  
Budylina Polina Sergeevna, Dmitrevskii Igor Dmitrievich

Магистрант

Master

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени  
В.Ф. Уткина»

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin

Рязань, Россия

Ryazan, Russia

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТОВ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ

### STUDY OF LASER THERAPY DEVICES METHODS DESIGNING

**Аннотация:** Рассмотрены основные принципы проектирования аппаратуры для лазерной терапии в зависимости от активной среды, на использовании которой они основаны.

**Annotation:** Considered the basic principles of designing equipment for laser therapy depending on the active medium they are based.

**Ключевые слова:** лазерное излучение, лазерная терапия, газовые лазеры, твердотельные лазеры, жидкостные лазеры, диодные лазеры.

**Key words:** laser radiation, laser therapy, gas lasers, solid state lasers, liquid lasers, diode lasers.

Низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) все шире применяется в самых различных областях медицины благодаря многочисленным экспериментально-клиническим данным, свидетельствующим о высокой терапевтической эффективности когерентного электромагнитного излучения (ЭМИ) оптического диапазона. Об отсутствии осложнений и побочных эффектов при воздействии НИЛИ известно ещё с начала 70-х годов прошлого века. Такие выводы были сделаны после десяти лет детальных исследований, проводимых по всему миру. Это понятно и на уровне простого здравого смысла, ведь лазерное излучение по своей физической сущности абсолютно идентично свету Солнца и ламп освещения. Отличие только в том, что один лазер имеет только одну длину волны (научно говоря, высокую степень когерентности и монохрома точности), что позволяет при правильном применении использовать его свет с лечебными целями значительно

эффективнее, чем от некогерентного источника.

Целебные свойства солнечного света были известны человечеству во все времена. В конце XIX века на смену гелиотерапии пришла свето- или фототерапия, основоположником которой по праву считается датский физиотерапевт Нильс Рюберг Финсен (Finsen N.R., 1860-1904), обосновавший её основные принципы. Применение искусственных источников света (электрических ламп), воздействием которых можно было управлять (задавать мощность, время и площадь воздействия), со светофильтрами в ультрафиолетовой и красной частях спектра, позволило значительно повысить эффективность метода. За разработку нового метода лечения в 1903 г. Н.Р. Финсену была присуждена Нобелевская премия в области медицины. В заслугу Нобелевскому лауреату ставили именно предложение «концентрировать» свет, т.е. вырезать узкую его часть из широкого спектра, что и предопределило, по мнению всех современников успешное применение метода и его высокую эффективность.

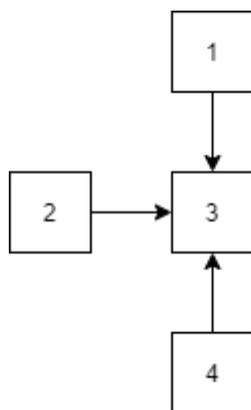
Лазеры классифицируются в зависимости от используемой активной среды. Характеристики длины волны, длительности импульсов и поглощения различных хромофоров кожи, чем определяют свою возможность клинического применения в различных областях дерматологии.

Лазеры можно классифицировать по типу активной среды, используемой для генерации фотонов. Различают следующие основные виды медицинских лазеров:

#### 1. Газовые лазеры.

Передача энергии накачки в этом виде лазеров происходит от молекул N<sub>2</sub> (азота) к молекулам CO<sub>2</sub> (углекислого газа). Активная среда в трубке представляет собой смесь газов, а именно диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), азота (N<sub>2</sub>), гелия (He), в некоторых случаях водорода (H<sub>2</sub>), паров воды или ксенон (Xe). Принцип действия лазерного станка CO<sub>2</sub> заключается в том, что с помощью электрической накачки молекулы азота возбуждаются и переходят в метастабильное состояние, в котором они передают свою энергию возбуждения

молекулам CO<sub>2</sub>. Молекула углерода переходит в возбужденное состояние и излучает фотон на атомном уровне (рис. 1).



**Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема газового лазера: 1 – баллоны с газом, 2 – блок питания, 3 – газоразрядная трубка, 4 – насос для прокачки газов.**

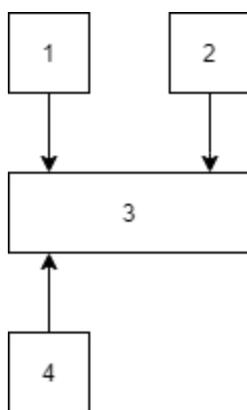
Затем этот фотон сталкивается с атомами другой возбужденной молекулы CO<sub>2</sub>, которая уже испускает два фотона. Таким образом, в трубке генерируется большое количество фотонов. Другие газы, такие как гелий, необходимы для расслабления молекул и уменьшения тепла. Водяной пар или водород могут повторно окислить монооксид углерода, который образуется во время разряда, в диоксид углерода, и реакция начинается снова. Кроме того, в трубке два зеркала, одно в первой трубке непрозрачное, обычно из меди (Cu), второе на выходе луча, полупрозрачное, из алмаза, так как последнее имеет высокую прочность, прозрачность и обеспечивает безопасность всей системы за счет нечувствительности к тепловому удару.

Это то, что позволяет фотонам проходить, но не всем, а только их части, так что другая часть этих частиц остается в трубке, чтобы воспроизводить свой собственный вид. Покидая полупрозрачное зеркало, фотоны сначала попадают на пространственный фильтр, очищающий лазер от боковых мод, а затем на линзу, собирающую частицы в прямой луч.

Плюс в том, что все фотоны имеют одинаковую длину волны, движутся параллельно друг другу, поэтому лазерный луч не рассеивается, в отличие от обычного света.

## 2. Твердотельные лазеры.

Рубиновый стержень твердотельного лазера – это цилиндр, торцы которого отполированы и покрыты слоем серебра таким образом, что один торец полностью отражает свет, а другой частично отражает, а частично пропускает (рис.2).



**Рисунок 2 – Обобщенная структурная схема твердотельного лазера: 1 – блок питания, 2 – блок управления, 3 – излучатель, 4 – блок охлаждения.**

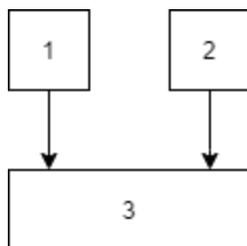
При вспышке лампы накачивания на рубиновый стержень падают фотоны различной частоты. В стержне возникают колебания. Атомы, поглотив часть фотонов, переходят в возбужденное состояние. Возникает вынужденное излучение, которое распространяется строго вдоль оси стержня и усиливается при многократном отражении от зеркал. В результате возникает мощное монохроматическое излучение – пучок света, часть которого выходит через полупрозрачное зеркало. Длительность излучения пучка  $10^{-3}$  с.

## 3. Жидкостные лазеры.

В жидкостных лазерах рабочим телом, определяющим вырабатываемую длину волны, является жидкость. Эта жидкость – органический растворитель

(этанол, метанол или этиленгликоль), в котором растворяются химические или органические красители (рис.3).

Первый жидкостный лазер был разработан в конце 60-х годов 20 века. Преимущество его заключается в том, что жидкость циркулирует и охлаждается, поэтому можно получить больше мощности и энергии как в непрерывном, так и в импульсном режиме.



**Рисунок 3 – Обобщенная структурная схема жидкостного лазера: 1 – накачка, 2 – кювет с раствором, 3 – насос.**

При небольших кюветах с активным веществом генерируется излучение мощностью до 20 Вт. Делая замену кюветы с растворами красителей, можно изменять лазерное излучение, подстраивая его под нужную частоту. Точная подстройка регулируется с помощью резонатора.

Наиболее часто используемым красителем является родамин. В лазерах с малой мощностью используют кювету с жидкостью, а в более мощных – тонкую струю жидкости, что снимает проблему охлаждения.

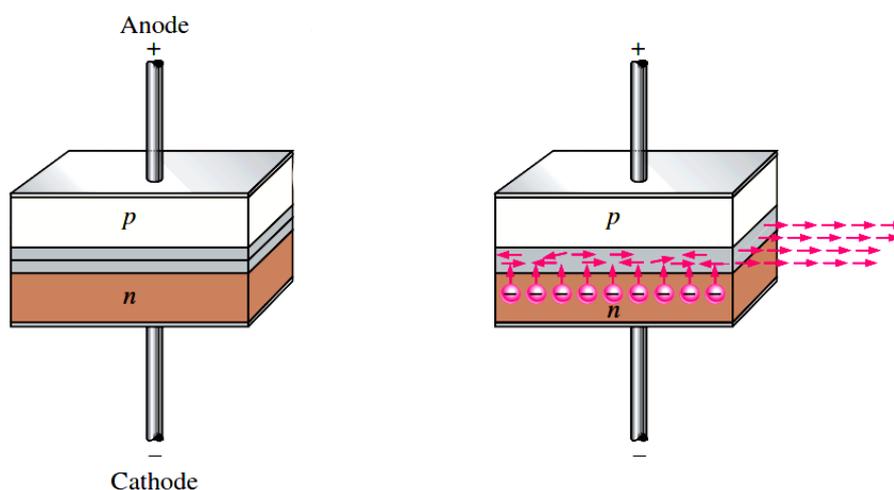
Использование разных красителей позволяет перекрыть практически весь спектр и это позволяет выбирать нужную длину волны для того или иного вида воздействия. Жидкостные лазеры генерируют импульсы с очень короткой длительностью, при этом интервалы между импульсами довольно продолжительные.

#### 4. Диодные лазеры.

Диодный лазер представляет собой твердотельный лазер, в качестве источника накачки используется инфракрасный лазерный диод. Они отличаются достаточно высоким значением эффективности, а также

отличаются малыми габаритными размерами и компактностью в сравнении с газовыми лазерами.

В рабочую рукоятку аппарата встроены так называемые диодные матрицы — блоки лазерных диодов, каждый из которых излучает свет заданной длины волны (например, 805 нм). Его фокусировка с помощью системы линз позволяет направить электромагнитное излучение строго в заданную точку (рис.3).



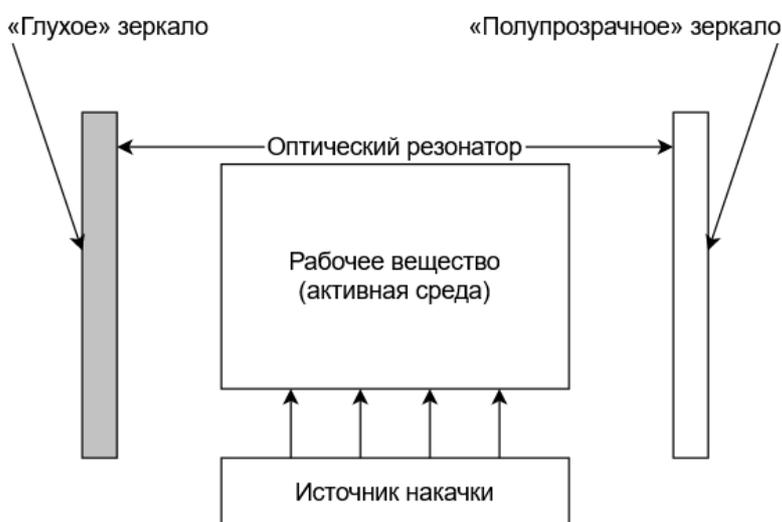
**Рисунок 3 – Конструкция лазерного диода (слева) и принцип возникновения лазерного излучения (справа).**

Слева: две пластины из полупроводниковых материалов с разными типами проводимости — дырочной ( $p$ , positive) и электронной ( $n$ , negative) — соприкасаются друг с другом.

Справа: пропускание электрического тока в прямом направлении стимулирует перемещение электронов из пластины  $n$  в область  $p$ — $n$  перехода. Попав в «дырки» пластины  $p$ , электроны сталкиваются с атомами и высвобождают световые фотоны. Этот процесс идет лавинообразно до тех пор, пока с помощью оптического резонатора не сформируется лазерный луч. Зеркалами оптического резонатора являются отполированные грани кристалла полупроводника, ориентированные перпендикулярно плоскости  $p$ - $n$  – перехода.

Такие лазеры отличаются миниатюрностью, поскольку размеры полупроводникового активного элемента могут составлять около 1 мм.

Таким образом, можно сделать вывод, что основные конструктивные элементы лазеров включают в себя рабочее вещество с определенными энергетическими уровнями составляющих их атомов и молекул, источник накачки, создающий инверсную заселенность в рабочем веществе, и оптический резонатор. Существует большое количество различных лазеров, однако все они имеют одну и ту же и притом простую функциональную схему устройства, которая представлена на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Функциональная схема устройства лазера.**

Исключение составляют полупроводниковые лазеры из-за своей специфичности, поскольку у них всё особенное: и физика процессов, и методы накачки, и конструкция. Полупроводники представляют собой кристаллические образования. В отдельном атоме энергия электрона принимает строго определенные дискретные значения, и поэтому энергетические состояния электрона в атоме описываются на языке уровней.

В кристалле полупроводника энергетические уровни образуют энергетические зоны. В чистом, не содержащем каких-либо примесей полупроводнике имеются две зоны: так называемая валентная зона и

расположенная над ней (по шкале энергий) зона проводимости. Между ними имеется промежуток запрещенных значений энергии, который называется запрещенной зоной.

При температуре полупроводника, равной абсолютному нулю, валентная зона должна быть полностью заполнена электронами, а зона проводимости должна быть пустой. В реальных условиях температура всегда выше абсолютного нуля. Но повышение температуры приводит к тепловому возбуждению электронов, часть из них перескакивает из валентной зоны в зону проводимости.

В результате этого процесса в зоне проводимости появляется некоторое (относительно небольшое) количество электронов, а в валентной зоне до ее полного заполнения будет не хватать соответствующего количества электронов. Электронная вакансия в валентной зоне представляется положительно заряженной частицей, которая именуется дыркой.

Квантовый переход электрона через запрещенную зону снизу – вверх рассматривается как процесс генерации электронно-дырочной пары, при этом электроны сосредоточены у нижнего края зоны проводимости, а дырки — у верхнего края валентной зоны. Переходы через запрещенную зону возможны не только снизу – вверх, но и сверху вниз. Такой процесс называется рекомбинацией электрона и дырки [1].

Разработанная в конечном итоге обобщенная функциональная схема устройства лишь подтверждает тот неоспоримый факт, что лазерная терапия – уже давно является самостоятельным направлением современной медицины. Данный факт обуславливает необходимость дальнейшего развития и усовершенствования лазерных терапевтических аппаратов и комплексов на основе уже изученных особенностей различных видов лазеров.

### **Библиографический список**

1. Москвин С.В. Эффективность лазерной терапии. Серия «Эффективная лазерная терапия». Т. 2. – М.–Тверь: ООО «Издательство

«Триада», 2014. – 896 с. – 202 ил. ISBN 978-5-94789-636-7.