

ЛАЗЕРЫ С МОДУЛИРОВАННОЙ ДОБРОТНОСТЬЮ РЕЗОНАТОРА С ПОМОЩЬЮ ФОТОТРОПНЫХ СРЕД

Введение

Среди различных типов лазеров особое место занимают лазеры с модулированной добротностью резонатора. Они позволяют получать импульсы когерентного излучения большой мощности. Экспериментальные способы импульсной модуляции добротности резонаторов в настоящее время весьма разнообразны. В научных исследованиях наибольшее распространение получили квантовые генераторы с пассивным затвором на основе нелинейно-просветляющихся сред. Это связано с исключительной простотой их применения, а также с достаточно высокими параметрами излучения. В лазерах такого типа использовано свойство ряда так называемых фототропных сред, способных обратимо изменять величину коэффициента поглощения под действием мощных световых потоков.

Параметры излучения лазеров с пассивным затвором зависят не только от свойств активной среды, но и существенно определяются спектрально-люминесцентными свойствами просветляющегося модулятора.

Принцип работы лазера в режиме модуляции добротности состоит в получении высокой инверсной населенности активной среды путем искусственного нарушения условий генерации. В большинстве случаев это достигается путем введения в резонатор дополнительных потерь. Быстрое выключение потерь приводит затем к выделению энергии, накопленной за время накачки в виде мощного импульса малой длительности.

Одним из обычных приемов модуляции добротности резонатора лазера является вращение одного из зеркал резонатора с большой угловой скоростью. Вместо плоского зеркала удобно использовать призму полного внутреннего отражения. Это модулятор на вращающейся призме.

Лазеры с активной модуляцией добротности резонатора

Широко используются и немеханические способы модуляции добротности, которые условно разделены на активные и пассивные. К активным модуляторам относятся модулирующие устройства, у которых меняется значение потерь по заданному закону или в соответствии с внешним управляющим сигналом. Широко используются активные модуляторы, которые основываются на использовании эффектов Керра и Поккельса.

Модулирующие устройства активного типа можно разделить по характеру физических эффектов, на которых основано их действие, на следующие, получившие наибольшее практическое применение: оптико-механические, электрооптические и акустооптические. При оптико-механической модуляции добротности модулирующее устройство, как правило, представляет собой вращающуюся вокруг оси призму-крышу, выполняющую функции одного из зеркал резонатора. Время включения добротности в этом случае зависит от скорости вращения призмы. Модулирующая призма работает в довольно тяжелых условиях при воздействии оптического излучения высокой плотности мощности, и к качеству ее изготовления предъявляют высокие требования.

Оптико-механические затворы с вращающейся призмой, несмотря на колебания оси излучения, низкий КПД, значительные шумы и вибрацию двигателя, нашли широкое применение в лазерах с управляемой генерацией благодаря простоте конструкции и юстировки, надежности, а также возможности работы в широком температурном и спектральном диапазонах.

Использование электрооптических затворов и управляемых отражателей представляет большие возможности при осуществлении различных режимов работы лазера. Электрооптическое управление резонатором лазера основано на электрооптическом эффекте Поккельса, заключающемся в изменении показателя преломления света в кристаллах, помещенных в электрическое поле. Построение оптических схем лазеров при использовании электрооптических затворов основано на повороте плоскости поляризации излучения лазера после прохождения им ячейки Поккельса.

Для модуляции добротности резонатора лазера могут быть использованы и акустооптические затворы, но их применяют преимущественно в лазерах с непрерывной накачкой. В открытом состоянии они имеют потери примерно на порядок ниже, чем потери у электрооптических затворов, что особенно существенно для лазеров с непрерывной накачкой, которые характеризуются более низкими коэффициентами усиления. Время переключения у акустооптических затворов на два, три порядка выше, чем у электрооптических (100-1000 нс) [1].

Предложен метод модуляции добротности резонаторов непрерывных CO₂-лазеров, в том числе волноводного типа, основанный на использовании внутрирезонаторной рефракционной УЗ-ячейки, в которой средой звукопровода является непосредственно активная среда лазера (газовая смесь), воздух или специальный газ с высоким показателем преломления. Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о перспективности практического применения этого метода для управления лазерным излучением в диапазоне частот модуляции 10-250 кГц, когда имеются ограничения на использование внутрирезонаторных оптических модуляторов [2].

Эти три устройства для модуляции добротности резонатора лазеров попадают под категорию внутрирезонаторных активных модуляторов, поскольку ими необходимо управлять с помощью соответствующего устройства. Но модуляцию можно также осуществлять автоматически, не используя каких-либо управляющих устройств. Модуляторы такого типа называются пассивными модуляторами добротности.

Лазеры с пассивной модуляцией добротности резонатора с помощью фототропных сред

Действие пассивного (фототропного) модулятора добротности резонатора основано на использовании резонансно-просветляющихся оптических материалов, в том числе и жидкостей. В невозбужденном состоянии они имеют невысокий коэффициент пропускания для излучения на рабочей длине волны, т. е. вносят большие потери. По мере же нарастания интенсивности излучения, возникающего в резонаторе лазера, молекулы этих веществ, поглощая излучение лазера, переходят на более высокий энергетический уровень. В силу того, что возбужденная система имеет более высокий коэффициент пропускания, чем невозбужденная, в резонаторе лазера возникает лавинообразный процесс нарастания световых колебаний, приводящий к генерации мощного импульса излучения. Максимальная добротность резонатора достигается в момент, когда практически все молекулы вещества фототропного затвора оказываются "переброшенными" на верхний энергетический уровень (явление просветления фототропного затвора). Примерно в тот же момент достигается максимальная инверсия населенностей в активном элементе, поскольку до этого высокий уровень потерь не позволял развиваться интенсивному процессу самовозбуждения и обеднению верхнего уровня.

Существенной особенностью механизма просветления является то, что получаемый импульс, как правило, является одночастотным. Это объясняется тем, что в процессе возникновения генерации она начинает развиваться на одной из мод ГЕМ_{mnq}, что приводит к просветлению фильтра в нужных для нее местах. Тем самым формируется самосогласованный фильтр, предотвращающий генерацию на других типах колебаний. Конструктивно жидкостной фототропный затвор представляет собой стеклянную или кварцевую кювету, заполненную раствором резонансно-поглощающего вещества в органическом растворителе. Кювету изготавливают из толстого стеклянного или кварцевого кольца и двух плоскопараллельных пластин, соединенных с кольцом глубоким оптическим контактом. Сбоку кольцо имеет отверстие для заливки раствора. Параллельность входных окон кюветы должна составлять 5-10". Толщину полости для заливки фототропной жидкости обычно выбирают минимально возможной (в пределах 1-3 мм). При увеличении толщины фототропной среды возрастают потери из-за явлений вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) и вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) в органическом растворителе.

В качестве пассивных затворов могут использоваться просветляющие фильтры, пленки, разрушающиеся под воздействием излучения, полупроводниковые зеркала с коэффициентом отражения, зависящим от интенсивности света, нелинейные отражатели, использующие нарушение условий полного внутреннего отражения, органические растворители и др.

Впервые пассивное включение добротности просветляющим фильтром было осуществлено в рубиновом лазере. С этой целью между одним из зеркал резонатора лазера и активным элементом помещалась кювета с раствором фталоцианинового красителя. Мощность полученного таким образом моноимпульса составила несколько десятков мегаватт. В дальнейшем было найдено много других сред, пригодных для модуляции как рубиновых, так и неодимовых и других лазеров. В качестве пассивных затворов в рубиновых лазерах могут применяться практически все фталоцианиновые и нафталоцианиновые красители, криптоцианин, некоторые селено-кадмиевые стекла, растворы хлорофила. Набор пассивных затворов для неодимовых лазеров менее богат. В основном это красители полиметинового ряда. Большинство красителей этого типа крайне неустойчивы. Более стабильными параметрами обладает бромированный фталоцианин хлористого алюминия.

Из применяемых в настоящее время в квантовой электронике цветных стекол, обладающих нелинейным поглощением, наибольшее распространение получило красное стекло КС-19, относя-

шея к группе селено-кадмиевых стекол. Стекло КС-19 весьма успешно используется в качестве эффективного пассивного модулятора добротности резонатора рубиновых лазеров. Известно, что оптические свойства этой группы цветных стекол обусловлены содержанием в них Cd, Se, S и условиями термообработки. Окраска таких стекол появляется после длительного прогревания их при температуре 500-700°С.

Иногда также используют твердотельные (например, BDN в ацетат целлолозной пленке) или газообразные (например, SF₆ для CO₂-лазера) насыщающиеся поглотители. В последнее время все большую популярность приобретают пассивные модуляторы добротности на кристаллах галогенидов щелочных металлов (типа LiF) с центрами окраски, особенно в ближнем ИК – диапазоне (свойства активного центра – центра окраски – весьма похожи на свойства молекулы красителя). Схема пассивного модулятора приведена на рисунке.

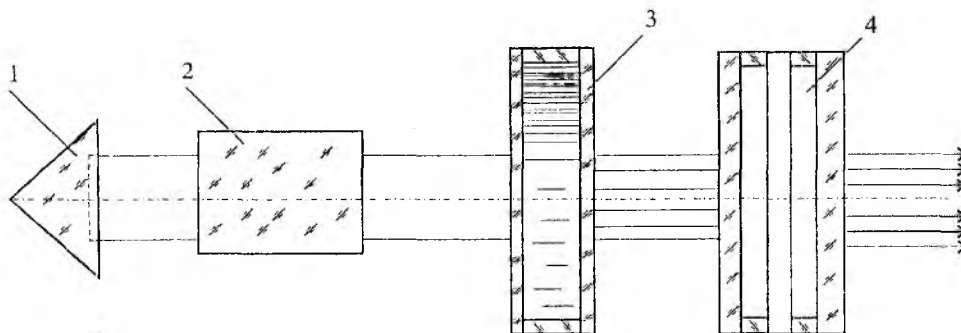


Рис. Модулятор лазерного излучения с пассивным затвором:

- 1 – призма полного внутреннего отражения;
- 2 – активный элемент;
- 3 – кювета с просветляющим веществом;
- 4 – полупрозрачное зеркало.

Экспериментальные исследования временных и пространственных характеристик излучения импульсного CO₂-лазера с нелинейной средой (полупроводники InAs и InSb) внутри резонатора выявили, что введение в резонатор CO₂-лазера этих нелинейных сред приводит, с одной стороны, к ограничению интенсивности излучения в резонаторе и увеличению длительности импульса по полувывсоте, а с другой – к появлению на огибающей импульса хаотических пульсаций.[3]

Достоинства и недостатки фототропных сред

Пассивная модуляция добротности с помощью насыщающегося поглотителя представляет собой самый простой метод внутрирезонаторной модуляции лазерного излучения. Основным недостатком этого метода является фотохимическая деградация насыщающегося поглотителя, и поэтому применение пассивной модуляции добротности ограничено главным образом маломощными устройствами с низкой частотой повторения.

Пассивным модуляторам добротности присущи и другие недостатки, а именно неконтролируемый момент времени срабатывания и, как следствие случайного момента срабатывания, нестабильная (колебания до 100 %) мощность импульса, поскольку при импульсной накачке уровень накопленной инверсии населенностей, естественно, меняется во времени. Для многих применений такое поведение недопустимо. К недостаткам необходимо также отнести нестабильность частоты следования импульсов лазерного излучения, а также ее малую управляемость, что является препятствием к использованию.

Основными преимуществами самопросветляющихся затворов являются простота устройства, малые габариты и масса, низкая стоимость.

Лазер с просветляющимся модулятором обладает некоторыми специфическими свойствами. К их числу относятся: существование режима жесткого возбуждения генерации, гистерезисные явления при изменении накачки. Однако в отличие от твердотельных и молекулярных лазеров одноатомные генераторы на одноатомных газах при наличии поглощающей ячейки не теряют устойчивого стационарного режима.

При рассмотрении взаимодействия излучения с поглощающими центрами применяют обычно либо двухуровневую, либо трехуровневую модель просветляющей среды.