

Казанский Федеральный Университет

Кафедра технологии нефти, газа и углеродных материалов

Kazan Federal University

Department of oil & gas technology and carbon materials

Газовые лазеры: высокоэффективные и мощные лазерные установки для применения при добыче полезных ископаемых

Gas lasers: highly efficient and powerful laser installations for use in mining

Газизова Гульназира Ильгизовна, Gazizova Gulnazira Ilgizovna ¹

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich ²

магистрант кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов ¹

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов, Член Экспертного совета Российского газового общества (РГО), и.о.

руководителя группы «Водородная и альтернативная РГО, профессор РАЕ ²

E-mail: gulnazira-gazizova@yandex.ru, kemalov@mail.ru

Аннотация: Цель данной работы: ознакомиться с газовыми лазерами, историей их создания и дальнейшим применением на промыслах

Abstract: The purpose of this work: to get acquainted with gas lasers, the history of their creation and further application in the fields

Ключевые слова: газовые лазеры, химические газовые лазеры, электрические разряды, мазеры, эффект рассеивания, микроволны.

Keywords: gas lasers, chemical gas lasers, electric discharges, masers, scattering effect, microwaves.

1 Введение (Introduction)

В науке только и говорят, что о лазерах. Но чем они отличаются от обычного света? Когда был создан первый лазер? Как лазерные технологии используются сегодня?

Лазерное оборудование широко используется в различных сферах деятельности человека, в том числе в промышленности, медицине, науке и

образовании. Особую нишу занимают газовые лазеры – устройства, особенностью которых является использование газообразного вещества в качестве активной среды. Впервые они были созданы человеком около 60-ти лет назад. С тех пор такие приборы квантовой электроники прошли сложный путь эволюции и совершенствования, что позволило повысить их коэффициент полезного действия и безопасность в применении.

Если говорить о разновидностях лазерных установок, в которых в качестве активной среды применяется вещество, находящееся в газообразном состоянии, то в первую очередь к ним следует отнести химические газовые лазеры. В них основным источником получения энергии являются особые химические реакции, которые возникают между составными компонентами такой среды. Подобные устройства обладают достаточно высокой мощностью, благодаря чему получили широкое распространение в сфере промышленности, где используются для резки металлов и перфорации особо прочных материалов [2].

Первый лазер в истории: каким он был

Удивительно, но именно Эйнштейн открыл стимул для лазеров примерно за 40 лет до Чарльза Таунса и Артура Шавлова. Эти ученые были первыми, кто опубликовали детальное и исчерпывающее предложение, которое и привело впоследствии к конструкциям лазеров разного типа. До 1917 года стимулированное поглощение и спонтанное излучение были единственными известными режимами энергетических переходов внутри атома. Но в том году Эйнштейн предложил мощный термодинамический аргумент в пользу третьего вида излучения, стимулированного переходом. В отличие от спонтанного излучения, при котором электрон случайным образом распадается до более низкого энергетического уровня и испускает в процессе фотон, стимулированное излучение не является ни спонтанным, ни случайным. При стимулированном излучении электрон индуцируется к распаду фотоном, который имеет ту же энергию, что и энергия перехода электрона. Когда электрон сталкивается с таким фотоном, он немедленно распадается и генерирует другой фотон с точно такой же энергией, что и фотон, который вызвал нисходящий переход. В результате

два фотона не только имеют одинаковую энергию, частоту и длину волны, они направляются в одном направлении и имеют одинаковую поляризацию и фазу[7]. Далее эту идею продолжали изучать и проводить расчёты.

Теодору Мейман в 1960м году провёл множество расчетов и пришел к выводу, что идеальным рабочим телом для генерации волн оптического диапазона станет кристалл рубина. Он же предложил принцип накачки рабочего тела – короткими вспышками света от соответствующей лампы-вспышки и способ создания положительной обратной связи для того чтобы усилитель стал генератором – эту функцию выполняли зеркальные покрытия на торцах кристалла. Расчеты Меймана показали, что атомы хрома, которые являются примесью в кристаллах сапфира и делающие его рубином имеют подходящую систему энергетических уровней, которая делает возможной генерацию лазерного излучения.

В рубине реализуется простейшая трехуровневая схема. Атом хрома, поглощая свет в сине-зелёной области спектра, переходит на верхний возбужденный уровень, с которого происходит безизлучательный переход на метастабильный уровень, на котором он может задержаться на время порядка 1 мс. Из этого состояния атом возвращается на основной уровень, излучая фотон с длиной волны или 694 или 692 нм, так как метастабильный уровень на самом деле не один, их два очень близко расположенных. Возможность накопления атомов на метастабильном уровне и позволяет создать инверсную заселенность, а вместе с ней и генерацию лазерного излучения, когда один или несколько спонтанно испущенных фотонов заставляют лавинообразно «осыпаться» все остальные атомы из метастабильного состояния в основное, испуская новые фотоны с одинаковой длиной волны, фазой, поляризацией и направлением движения. Они и создают яркий красный луч, которому свойственна когерентность [1].

Как был устроен рубиновый лазер Меймана в железе? Конструкция была чрезвычайно проста – в компактном корпусе находилась миниатюрная спиральная лампа-вспышка, внутри которой фиксировался ещё более

миниатюрный кристалл рубина. Противоположные его торцы были посеребрены – один торец был «глухим» зеркалом, второй был посеребрен более тонким слоем, который пропускал некоторое количество света. Первый в мире лазер был длиной в 12 сантиметров, весил 300 грамм и выглядел игрушечным.

Принцип работы газового лазера

В качестве активной среды в таких лазерных установках выступает технический газ (вещество, которое находится в газообразном состоянии при естественных для него условиях) или же испарения химических элементов, к примеру, металлов. Кроме того, в некоторых случаях могут применяться и специальные смеси газообразных веществ. Особенностью газа, являющегося активной средой в таких лазерах, является то, что он обладает достаточно высокой оптической однородностью. Благодаря этому само качество излучения у лазерных приборов газового типа считается более высоким по сравнению с аналогичными типами таких устройств[2].

Для наполнения энергией активного тела в газе применяются электрические разряды, которые вырабатываются электродами в полости трубки прибора. В процессе соударения электронов с газовыми частицами происходит их возбуждение. Таким образом создается основа для излучения фотонов. Вынужденное испускание световых волн в трубке повышается в процессе их прохождения по газовой плазме. Выставленные зеркала на торцах цилиндра создают основу для преимущественного направления светового потока. Полупрозрачное зеркало, которым снабжается газовый лазер, отбирает из направленного луча долю фотонов, а остальная их часть отражается внутрь трубки, поддерживая функцию излучения.

Разница между лазером и мазером

Ключевая разница: Мазер обычно относится к устройству, которое используется для создания и усиления интенсивного и когерентного пучка

высокочастотных радиоволн. Лазер такой же, как мазер, но он особенно применим только к инфракрасным или оптическим длинам волн. Лазер превратился из мазера.

Мазер расшифровывается как микроволновое усиление за счет вынужденного излучения. Лазер означает усиление света путем вынужденного излучения.

Лазер и мазер основаны на концепции стимулированного излучения, предложенной Эйнштейном. Эта концепция описывается как процесс, в котором электрон движется к более низкой энергии из-за взаимодействия с электромагнитными волнами.

Мазер был представлен двумя физиками по имени Чарльз Таунс и Артур Шавлов. Микроволны — это электромагнитные волны с длиной волны от 1 мм до 1 м. Мазер относится к СВЧ-лучу, который усиливается с помощью когерентного стимулированного излучения. Внешние электроны, находящиеся в состоянии высокой энергии молекулы, бомбардируются фотоном; это заставляет электрон двигаться вниз на уровне энергии.

В этом процессе он выпускает другой фотон. Оба эти фотона похожи по фазе, направлению, а также по частоте. Благодаря этому добавлению фотонов луч усиливается, эти мазеры естественным образом встречаются в космосе. Однако они также созданы в лабораториях. Согласно первоначальному определению, они имеют тенденцию излучать только микроволны. После открытия мазера был обнаружен лазер. Он также известен как оптический мазер.

Рост мощности промышленных лазеров и их применение

Лазеры этого диапазона мощности применяются в основном в металлообработке — для резки, сварки, наплавки, спекания порошков, термообработки. Существуют также и другие интересные приложения, такие как очистка поверхностей, удаление краски, резка камня, керамики и бетона. Длина волны таких лазеров равна 1.07 мкм, хотя возможно использование и других длин волн — 1.5 мкм или 1.9 мкм.

Предлагаемые заказчикам лазеры мощностью до 1 кВт имеют одномодовый выход с пространственными характеристиками излучения, близкими к идеальным гауссовым. Это обеспечивает отличные условия для использования длиннофокусной оптики, формирующей узкие перетяжки большой длины.

Более мощные лазеры — от 1 кВт до 10 кВт — относятся к классу маломодовых. Выходное транспортное волокно таких лазеров имеет диаметр от 50 мкм до 150 мкм при качестве выходных пучков ВРР от 2 до 7 мм*мрад. Модуляция излучения осуществляется за счет модуляции тока накачки с частотой до нескольких кГц.

Эти лазеры характеризуются очень высоким КПД (25–30%), в 2–3 раза превосходящим лучшие промышленные СО₂ лазеры. Для охлаждения лазеров используются чиллеры с внутренним водяным или антифризовым контуром и теплосбросом в воздух или внешний водяной контур.

Поставка волоконных лазеров этого диапазона мощности осуществляется в России с 2002 года. На данный момент это наиболее интересное и динамично развивающееся направление развития волоконных лазеров для промышленных применений.

Сверхмощные волоконные лазеры (свыше 10 кВт)

Единственная компания в мире, имеющая опыт производства волоконных лазеров такого уровня мощности — международная группа IPG. Интерес к сверхмощным лазерам возрастает по мере накопления опыта их эксплуатации и наработки соответствующих технологий. Основная область их применения — сварка металлов больших толщин в судостроении и нефтегазовой отрасли. Они также рассматриваются как основа перспективных технологий при бурении и обустройстве скважин, а также для добычи газа из залежей газового конденсата на морском шельфе. Для подобных задач потребуются лазеры мощностью несколько сот кВт.

Лазеры в добыче полезных ископаемых

В установках для горнодобывающей промышленности возможно применение лазерных технологий при сканировании горных пород и минералов.

Чистые кристаллы создают эффект рассеивания, который с увеличением фактического размера кристалла становится более интенсивным и видимым.

Таким образом, крупные и чистые кристаллы могут быть чётко отделены от пустой породы или образцов с маленьким содержанием ценного компонента, независимо от цвета или химического состава.

Выводы (Conclusions)

Таким образом, собрана обзорная информация по газовым лазерам, изучена история создания различных лазеров, рассмотрен принцип его работы, проанализированы современные сверхмощные лазеры. Также изучена информация по применению лазеров при добыче полезных ископаемых.

Подобные устройства обладают достаточно высокой мощностью, благодаря чему получили широкое распространение в сфере промышленности, где используются для резки металлов и перфорации особо прочных материалов.

Возможно, в дальнейшем применение газовых лазеров станет ведущей технологией при добыче нефти и газа. Так как это наиболее эффективный и экологически чистый метод.

Список использованной литературы (References)

1. Антипенко, В. С. Лазеры и их применение. Часть 1 : учебное пособие для студентов специальностей ИТТСУ, ИПСС / В. С. Антипенко, В. А. Никитенко ; под ред. проф. В.П. Вороненко. - Москва : РУТ (МИИТ), 2020. - 112 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1895063> (дата обращения: 10.10.2022). – Режим доступа: по подписке.
2. Евтихийев, Н. Н. Лазерные технологии : учебное пособие / Н. Н. Евтихийев, О. Ф. Очин, И. А. Бегунов. - Долгопрудный : Интеллект, 2020. - 240 с. - ISBN 978-5-91559-281-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1238959> (дата обращения: 10.10.2022). – Режим доступа: по подписке.
3. Игнатов, А. Н. Основы электроники : учебное пособие / А. Н. Игнатов, В. Л. Савиных, Н. Е. Фадеева. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 560 с. - ISBN 978-5-9729-1059-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1902465> (дата обращения: 10.10.2022). – Режим доступа: по подписке.
4. Пойзнер, Б. Н. Физические основы лазерной техники : учебное пособие / Б.Н. Пойзнер. — 2-е изд., доп. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 160 с. — (Высшее образование: Магистратура). — DOI 10.12737/textbook_592d268c487362.64807642. - ISBN 978-5-16-012817-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1214884> (дата обращения: 10.10.2022). – Режим доступа: по подписке.
5. Ткаченко, Ф. А. Электронные приборы и устройства : учебник / Ф.А. Ткаченко. — Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2020. — 682 с. : ил. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-004658-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1062340> (дата обращения: 09.10.2022). – Режим доступа: по подписке.
6. Хьюстис Д. Л., Чантри П. Дж., Виганд В. Дж., Рич Дж. У., Фланнери М. Р., Бионди М. А., Хинчен Дж. Дж., Лиланд У. Т., Теллингейсен Й., Рокни М., Джакоб Дж. Х., Нигэн У. Л., Шампань Л. Ф., Клайн Л. Э., Дэн Л. Ж.,

Хаас Р. А. Газовые лазеры: Пер. с англ./Под ред. И. Мак-Даниеля и У. Нигэна. — М.: Мир, 1986. — 552 с.

7. Thomas V. Higgins, “Creating laser light”, Laser Focus World, June 1994, p. 127 – 133. Текст : электронный. - URL: <https://tvhiggins.com/wp-content/uploads/2011/08/Creating-Laser-Light.pdf> (дата обращения: 09.10.2022). – Режим доступа: свободный