МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ТГУ)
Радиофизический факультет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕА CO_2-ЛАЗЕРА

Учебно-методическое пособие

Томск 2011

А.В. Войцеховский

РАССМОТРЕНО и УТВЕРЖДЕНО методической комиссией радиофизического факультета
Протокол № 7 от "19" мая 2011г.
Председатель комиссии, профессор С.Н. Владимиров

В настоящем пособии изложены принципы работы ТЕА CO_2 лазера, а также изложены рекомендации по выполнению лабораторной работы по исследованию энергетических и временных характеристик ТЕА CO_2 лазера.

Пособие предназначено для студентов вузов радиофизических, оптотехнических и радиотехнических специальностей дневной формы обучения.

СОСТАВИТЕЛИ

магистрант Д.В. Белоплотов
доцент А.Е. Тельминов
доцент Е.Н. Тельминов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕА CO_2 ЛАЗЕРА

1. Цель работы

Ознакомить студентов с принципом работы ТЕА CO_2 - лазера. Получить навыки измерения энергетических и временных характеристики ТЕА CO_2-лазера.

2. Задание

При подготовке к выполнению работы изучить способы создания инверсии населённостей, типы накачки CO_2-лазера, механизмы уширения спектральной линии, конструкцию ТЕА CO_2-лазера.

2.1. Исследовать энергетические характеристики ТЕА CO_2-лазера.

2.2. Исследовать временные характеристики ТЕА CO_2-лазера.

3. Теоретическая часть

CO_2-лазер является одним из самых эффективных и мощных среди газовых лазеров. В непрерывном режиме работы его мощность может достигать десятки киловатт, в импульсном режиме десятки тераватт. Энергия в импульсе может достигать килоджоулей. Длины волн излучения CO_2-лазера находятся в диапазоне 9 – 11 мкм. Возможна дискретная и плавная перестройка частоты генерации в пределах контура усиления.

Молекула CO_2 является трёхатомной линейной молекулой и ей соответствуют три колебательные моды: симметрично валентная мода, деформационная мода, асимметрично валентная мода (рис. 1.) [1]. Деформационное колебание дважды вырождено.



Рис. 1. Три фундаментальные моды колебаний молекулы CO_2

В лазере используется смесь газов CO_2, N_2, He. Азот и гелий служат для повышения КПД лазера.

Обозначаются уровни комбинацией квантовых чисел: , , , где индекс *l* обозначает вырождение

На рис. 2. [1] представлена энергетическая диаграмма колебательных уровней. Данные уровни соответствуют основным электронным состояниям азота и углекислого газа. Совпадение частот колебаний ν_1 и $2\nu_2$ в силу резонанса Ферми смешива-

ет эти уровни, и они часто выступают как одно состояние при рассмотрении газокинетических процессов.

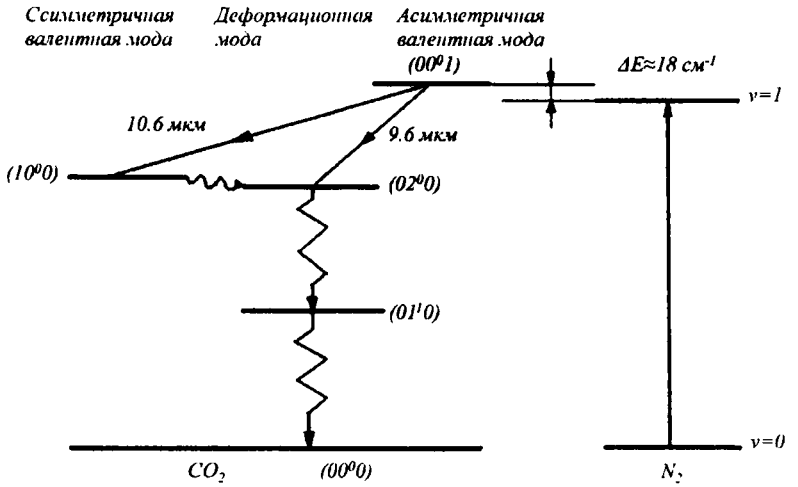


Рис. 2. Нижние колебательные уровни основного электронного состояния молекул CO_2 и N_2

Нижний лазерный уровень 10^00 генерационного перехода $00^01 \rightarrow 10^00$ имеет малое время релаксации в силу сильной связи с деформационным колебанием 02^00 и тем самым с колебанием 01^10. Внутри одной колебательной моды столкновительный обмен энергией, в силу малости дефицита энергии, происходит очень быстро [2]. Колебание 01^10, как и любое деформационное колебание, имеет большое сечение столкновения.

Случайное совпадение энергии первого колебания молекулы N_2 с уровнем 00^01 молекулы CO_2 приводит к тому, что молекула CO_2 отвечает требованиям к идеальному газоразрядному лазеру. Симметричные молекулы азота обладает большим временем жизни в колебательно возбуждённом состоянии (в этом типе колебания дипольный момент молекулы не изменяется, соответственно в дипольном приближении этот переход запрещён), тем самым создавая «резервуар энергии» для возбуждения молекулы CO_2, что приводит к удлинению импульса излучения и появлению азотного «хвоста» (рис. 3.)

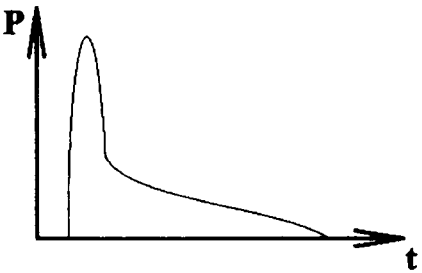


Рис. 3. Типичная форма импульса излучения ТЕА CO_2-лазера

Генерация происходит между уровнями 00^01 и 10^00, можно также получить генерацию между уровнями 00^01 и 02^00. При учёте вращательных уровней можно заметить, что генерация включает в себя две линии с центрами соответствующих переходов. Рассмотрим, как осуществляется заселение уровня 00^01.

Нижний лазерный уровень 01^10 релаксирует за счёт столкновений с атомами гелия.

3.1. Способы заселения верхнего лазерного уровня

Столкновение молекул CO_2 с электронами. Отметим что сечение столкновения электронов с молекулой очень велико. Тем самым электрон в процессе столкновения переводит молекулу CO_2 с уровня 00^00 на уровень 00^01 [1].

$$e^- + CO_2(00^00) \rightarrow e^- + CO_2(00^01) \quad (1)$$

Это столкновение первого рода.

Прямой электронный удар может приводить к возбуждению верхних (0,0,n) колебательных уровней CO_2. Но происходит быстрая релаксация на уровень 00^01, с верхних колебательных состояний посредством околорезонансных столкновений типа [1]:

$$CO_2(0,0,n) + CO_2(0,0,0) \rightarrow CO_2(0,0,n-1) + CO_2(0,0,1) \quad (2)$$

Наибольшей вероятностью отличается столкновение возбужденной и невозбужденной молекулы, так как большинство молекул CO_2 находятся в основном состоянии.

Заселение, так же, осуществляется посредством резонансной передачи энергии молекулы N_2 к CO_2. Так как разность энергии между уровнями не велика, ($\Delta E = 18\ см^{-1}$) передача энергии происходит достаточно эффективно. Кроме того, процесс возбуждения молекулы N_2 из основного состояния в состояние с $v = 1$ (метастабильный уровень) при столкновениях с электронами является достаточно эффек-

тивным. Более высокие колебательные уровни N_2 находятся почти в резонансе с соответствующими уровнями CO_2, а переходы с этих уровней на уровень 00^01 осуществляются достаточно быстро. Это одна из причин высокого КПД CO_2 лазера.

Релаксация с уровней $10^00 \rightarrow 01^10$, $02^00 \rightarrow 01^00$ происходит за счёт столкновений с молекулами CO_2 находящимися в основном состоянии.. Переходы $10^00 \rightarrow 02^00$, $10^00 \rightarrow 01^10$, $02^00 \rightarrow 01^10$ очень быстрые (меньше 1 мкс). В силу быстроты перехода уровни 10^00, 02^00, 01^10 достигают термодинамического равновесия, что приводит к накоплению на них молекул CO_2 и затрудняет дальнейшую генерацию. Время жизни уровня 01^10 сильно зависит от наличия Не. Атомы Не способствует опустошению с уровня 01^10 на уровень 00^00. Так как атомы гелия гораздо легче, чем молекула CO_2, то в результате столкновения энергия молекулы CO_2 передаётся кинетической энергии атома гелия. Он, в свою очередь, ударяется со стенками газовой кюветы и теряет свою энергию.

Таким образом, цикл лазерной накачки CO_2 лазера выглядит следующим образом. Электроны плазмы разряда возбуждают молекулы азота, которые передают энергию возбуждения несимметричному колебанию молекул CO_2, обладающему большим временем жизни и является верхним лазерным уровнем. Нижним лазерным уровнем обычно является первый возбуждённый уровень симметричного валентного колебания, сильно связанный резонансом Ферми с деформационным колебанием и поэтому быстро релаксирует вместе с этим колебанием в столкновениях с гелием.

В CO_2-лазере может получить генерацию на переходе $00°1 \rightarrow 02°0$, что соответствует λ=9,6 мкм. Но так как сечение перехода $00^01 \rightarrow 10^00$ больше, а уровень 00^01 общий, то генерация идёт на переходе $00^01 \rightarrow 10^00$. Для получения генерации на линии 9,6 мкм в резонатор помещается дисперсионный элемент. Пример селективного резонатора изображён на рис. 4 [1].

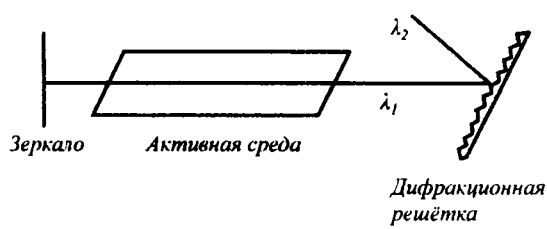


Рис. 4. Пример селективного резонатора

3.2. Уширение спектральной линии.

Из решения уравнения Шредингера следует, что энергия системы может принимать значения в виде набора дискретных величин. Но эксперимент показывает, что частицы излучают вместо одной частоты целый спектр частот, образующий спек-

тральную линию определенной ширины и формы. Имеется много эффектов, вызывающих уширение уровней квантовой системы.

Даже в идеальном случае, когда частица не подвергается воздействию внешних сил, спектральная линия имеет конечную ширину. Причиной существования этой ширины линии является обратное влияние на частицу её собственного излучаемого электромагнитного поля, что приводит к уширению энергетических уровней частицы.

Определение энергии состояния должно производиться за время Δt, не превышающее время жизни уровня τ. И тогда неопределенность нахождения величины энергии в соответствии с соотношением неопределенности «время-энергия» Гейзенберга $\Delta E \cdot \Delta t > h$ не может быть меньше $\frac{h}{\tau}$.

Уширение может происходить и в результате столкновения двух частиц. Одна совершает переход на верхний уровень, другая на нижний. Происходит обмен энергией, но общая энергия системы не изменяется. Время передачи энергии от частицы к частице по уровню является самым коротким временем релаксации и определяет ширину перехода[5]:

$$\Delta\nu = \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \tag{3}$$

Такие уширения называются однородными, так как спектральная зависимость есть единая характеристика как одной частицы, так и всей совокупности частиц.

Любой процесс, приводящий к различию в условиях излучения для части одинаковых частиц приводит в неоднородному уширению. Например эффект Доплера [5].

$$\nu = \nu_0\left(1 \pm \frac{v}{c}\right) \tag{4}$$

Тогда $\Delta\nu$ [5]:

$$\Delta\nu = \frac{\nu_0 v}{c} \tag{5}$$

Доплеровское уширение значительно, если давление газа составляет единицы, десятки мм рт. ст.

Например в He – Ne лазере давление смеси газов низкое и для λ = 0.63 мкм, $\Delta\nu_{\partial} \approx 1500$ *МГц*. [2]

В CO_2 лазерах с низким давлением (менее 100 мм рт. ст.), основной вклад в ширину линии CO_2-лазера дает эффект Доплера. Если давление смеси велико (больше 100 мм рт. ст.), то вклад в ширину спектральной линии вносит столкновительное уширение (для CO_2 лазера $\Delta\nu_{cm} \approx 3000$ *МГц*) [2], величина которого определяется

формулой [2]:

$$\Delta\nu_c = 7{,}58\left(\psi_{CO_2} + 0{,}73\psi_{N_2} + 0{,}6\psi_{He}\right)p(300/T)^{1/2}\ МГц \qquad (6)$$

где ψ – относительные парциальные давления в газовой смеси, T – температура, p – полное давление (мм рт. ст.).

3.3. Конструкция CO_2 – лазера

Конструктивно CO_2 лазер делится по типу прокачки и способу создания инверсии населённости:

1. лазеры с продольной медленной (быстрой) прокачкой газа, отпаянные лазеры, лазеры с поперечной прокачкой газа.

2. лазеры с продольным возбуждением, с поперечным возбуждением, с поперечным возбуждением при атмосферном давлении *(transversely excited atmospheric pressure lasers)* или ТЕА-лазеры, и газодинамические лазеры.

Схема лазеров первого типа – смесь медленно прокачивается вдоль лазерной трубки, чтобы удалить процессы диссоциации. Основное ограничение этого лазера - предел выходной мощности с единицы длины разряда, поскольку мощность пропорциональна произведению JpD^2L, где J – ток*, p – давление, D – диаметр, L – длина трубки.

Для поддержания оптимальной электронной температуры произведение pD постоянно, а из-за ограничений на тепловыделение существует оптимальное значение плотности тока, обратно пропорциональное диаметру трубки.

Избавиться от этого недостатка можно прокачкой газа с высокой скоростью ($v \approx 50$ м/с). Быстро прокачивая, газ уносит теплоту, и последующее охлаждение смеси в теплообменнике позволяет достичь очень высоких мощностей. Смесь пропускается через катализатор, для эффективного восстановления концентрации CO_2 через реакцию $CO + O_2 \rightarrow CO_2 + O$ происходит «подпитка» смеси и возможно функционирование лазера в полностью запаянном режиме.

Если прекратить прокачку, то продукты реакции нарушают необходимый состав смеси в результате диссоциации CO_2. Для регенерации CO_2 добавляют водяной пар или водород или используют горячий никелевый катод как катализатор регенерации CO_2.

Если диаметр лазерной трубки уменьшить до 2-4 мм, то лазерное излучение в трубке распространяется как в волноводе, и такие лазеры имеют низкие дифракционные потери. Благодаря небольшому диаметру трубки, давление в смеси может быть высоким, что приводит к увеличению усиления на единицу длины, и можно изготавливать короткие лазеры ~50 см, не заботясь об уменьшении потерь в резонаторе. Такие лазеры используются, когда требуется компактность без большой мощности.

В газодинамическом лазере инверсия населённости создается за счёт расширения газовой смеси, предварительно нагретой. Смесь истекает из сопла, расширение идет адиабатически, температура поступательного движения становится очень низкой. Расширение должно происходить со сверхзвуковой скоростью, так как необходимо понижение температуры и давления смеси за время короткое по сравнению с временем жизни верхнего лазерного уровня, но длительнее по сравнению с временем жизни нижнего лазерного уровня. При этом населённость верхнего лазерного уровня остаётся почти такой же как и в горячем CO_2. С другой стороны населённость нижнего лазерного уровня уменьшается до значения соответствующего более низкой температуры. В результате получается инверсия населенности

В случае ТЕ-лазеров, разряд протекает перпендикулярно оси резонатора (*transverse electric field*) и имеют более простую конструкцию, поскольку в этом случае скорость прокачки газа может быть меньше.

Если повысить давление в разряде, то возникают неустойчивости, приводящие к возникновению дуги в разряде и, чтобы избежать этого процесса, прикладывают импульсное напряжение. Длительность импульса мала, неустойчивости в разряде не успевают развиваться и можно повышать рабочее давление в газе. На таком принципе работают ТЕА-лазеры.

ТЕА это аббревиатура английских слов *transversely exited atmospheric*, что в переводе означает *поперечно возбуждённый при атмосферном давлении*. Генерация происходит в импульсном режиме. При низкой частоте повторения импульса прокачивать газ не нужно. Для предотвращения дугового разряда, который препятствует равномерной, объёмной накачке среды, используется предварительная ионизация рабочего объёма, которая предшествует возбуждающему импульсу напряжения. На рис. 5 приведена схема газоразрядного промежутка лазера исследуемого в работе.

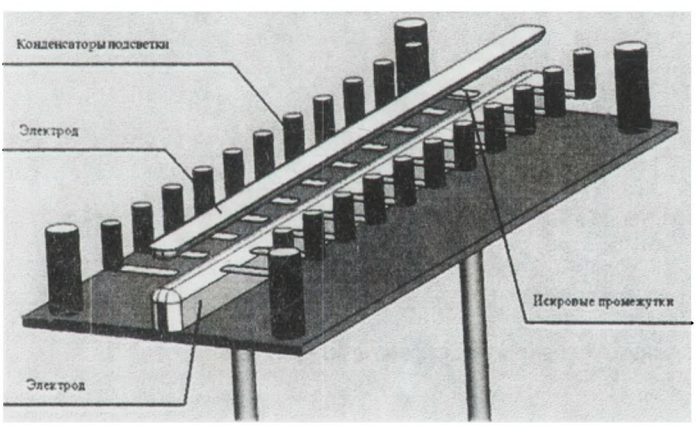


Рис. 5. Газоразрядный промежуток

Ионизация обеспечивается сильным УФ излучением нескольких искр. Излучение этих искр обеспечивает необходимую ионизацию среды посредством как фотоионизации, так и благодаря индуцированной УФ излучением эмиссии электронов из электродов. В таком лазере можно получить высокую мощность излучения (единицы – десятки мегаватт), длительность импульса менее 1 нс.

3.4. Статистическая обработка данных

Чаще всего измеряемая величина является зависящей от другой величины. Например, измерение температуры с помощью ртутного термометра, где изменение длины столбика ртути соответствует изменению температуры. Такие измерения называются косвенными. При косвенных измерениях имеются определённые правила вычисления ошибок.

1. Величина Y зависит от измеряемой величины X следующим образом [4]:

$$Y = AX + B \tag{7}$$

где A и B некоторые константы. Тогда величина ΔY будет определяться [4]:

$$\Delta Y = A\Delta X \tag{8}$$

2. Если Y является суммой или разностью измеряемых величин $X_1, X_2, \ldots, X_n$, то выражение для ΔY имеет вид [4]:

$$(\Delta Y)^2 = (\Delta X_1)^2 + (\Delta X_2)^2 + \ldots + (\Delta X_n)^2 \tag{9}$$

3. Если $Y = X_1 \cdot X_2 \cdot \ldots \cdot X_n$, то [4]:

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 = \left(\frac{\Delta Y_1}{X_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_2}{X_2}\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\Delta X_n}{X_n}\right)^2 \tag{10}$$

4. Если $Y = X_1/X_2$, то [4]:

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 = \left(\frac{\Delta Y_1}{X_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_2}{X_2}\right)^2 \tag{11}$$

Для вычисления среднего арифметического величин $x_1, x_2, \ldots x_n$ [4]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n} \tag{12}$$

тогда значение Δx определяется формулой [4]:

(13)

где $t_{\alpha n}$ коэффициент Стьюдента, который можно определить по таблице 1 [4]:

Таблица 1 – Коэффициент Стьюдента

n	α		
	0,9	0,95	0,98
2	6,3	12,7	31,8
3	2,9	4,3	7,0
4	2,4	3,2	4,5
5	2,1	2,8	3,7
6	2,0	2,6	3,4
7	1,9	2,4	3,1
8	1,9	2,4	3,0
9	1,9	2,3	2,9
10	1,8	2,3	2,8
11	1,8	2,2	2.8
12	1,8	2,2	2,7
13	1,8	2,2	2,7
14	1,8	2,2	2,7
15	1,8	2,1	2,6
16	1,8	2,1	2,6
17	1,7	2,1	2,6
18	1,7	2,1	2,6
19	1,7	2,1	2,6
20	1,7	2,1	2,5
21	1,7	2,1	2,5
22	1,7	2,1	2,5
23	1,7	2,1	2,5
24	1,7	2,1	2,5
25	1,7	2,1	2,5

3.5. Конструкция TEA CO_2 - лазера.

Конструкция TEA-CO_2 лазера, используемая в данной работе, представлена на рис. 6.

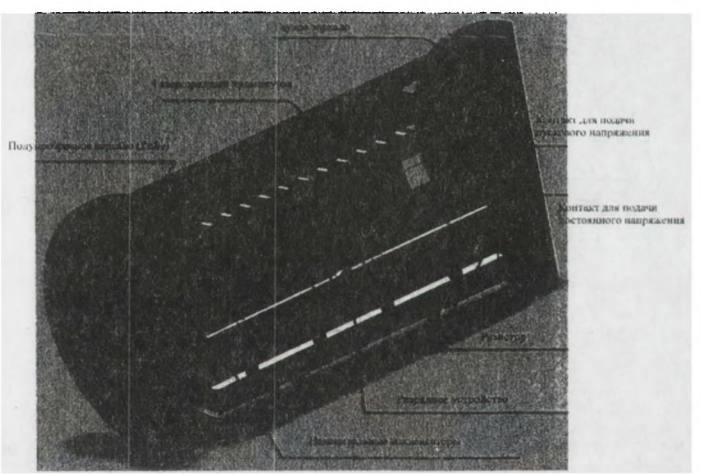


Рис. 6 Конструкция TEA-CO_2 лазера

В герметичной камере находится газоразрядный промежуток и накопитель. В камеру закачивается смесь газов CO_2, N_2, He (давление смеси составляет порядка одной атмосферы). Накопитель выполнен в виде отдельной камеры, в которой находятся накопительные конденсаторы (=14,55 нФ) и разрядное устройство (РУ). Эквивалентная схема представлена на рис. 7.

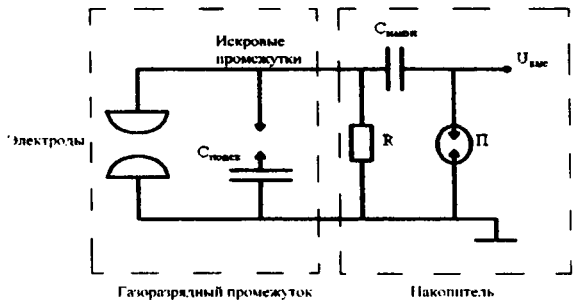


Рис. 7. Эквивалентная схема

В камеру накопителя закачивается азот до двух атмосфер. Это необходимо для того чтобы подать на накопительные конденсаторы напряжения более 15 кВ, так как конструкция разрядного устройства не позволяет этого сделать при нормальном давлении. От источника постоянного напряжения заряжаются накопительные конденсаторы. В момент времени $t_{пуск}$ блок запуска подаёт импульс на РУ (П). Срабатывает РУ и напряжение на электродах становится больше напряжения статического пробоя. Происходит накачка газовой смеси. Газовая система CO_2 лазера показана на рис. 8.

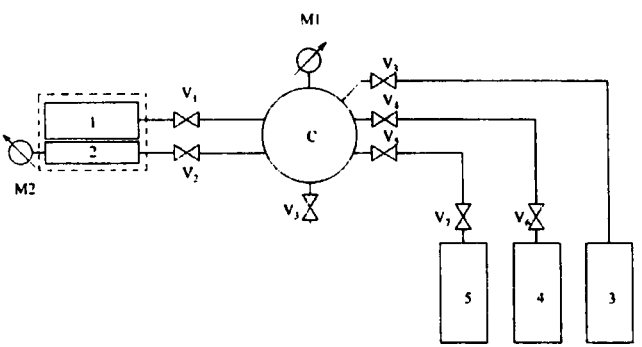


Рис.8. Газовая система CO_2 лазера: газовая камера (1), накопитель (2), вакуумный насос (3), баллон со смесью газов (4), баллон с азотом (5), смеситель (С), манометры (М1, М2), система вентилей (V1 – V8)

Она состоит из газовой камеры (1), накопителя (2), вакуумного насоса (3), баллона со смесью газов (4), баллона с азотом (5), смесителя (С), манометров (М, М2) и системы вентилей (V1 – V8).

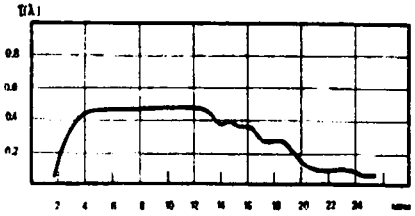
3.6. Оптика инфракрасного диапазона

Для человеческого глаза излучение CO_2 лазера является невидимым, а часть материалов, применяемых в оптических элементах видимого диапазона, оказываются не прозрачными. Поэтому в оптике инфракрасного диапазона применяются материалы, которые приведены в таблице 2 [6].

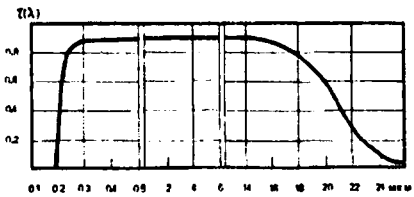
Таблица 2 – Материалы, применяемые в ИК диапазоне

материал	Область прозрачности, мкм	Показатель преломления, $n_{10,6}$	Теплопроводность, $\frac{Вт}{м \cdot ℃}$	Удельная теплоёмкость, $\frac{Дж}{кг \cdot ℃}$
Ge	1,8 – 17	4,0034	59,80	309,8
KCl	0,21 – 21	1,4546	6,53	695,0
NaCl	0,21 – 17	1,4906	6,15	870,9
BaF_2	0,18 – 12	1,3926	7,10	456,0
KBr	0,21 – 28	1,5251	4,81	452,2
ZnSe	0,55 – 18	2,4034	14,10	367,0
ZnSe CVD	0,55 – 20	2,4028	16,00	339,0
ZnS	0,37 – 14	2,2008	27,20	515,0

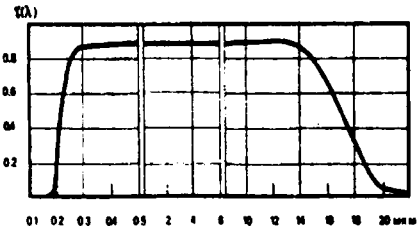
На рис. 9. представлены спектры пропускания для Ge, KCl, NaCl, BaF_2, KBr, ZnSe, ZnSe CVD, ZnS.



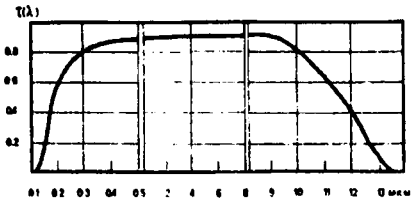
а.



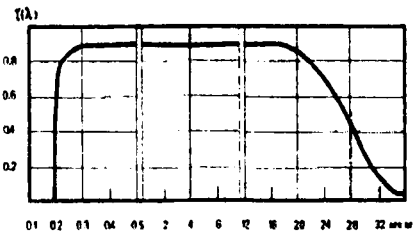
б.



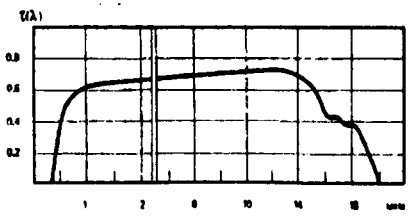
в.



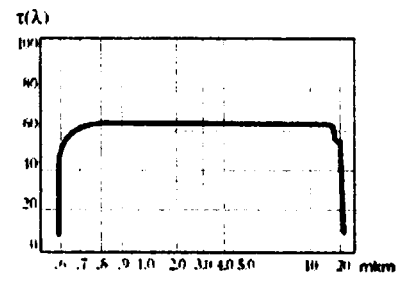
г.



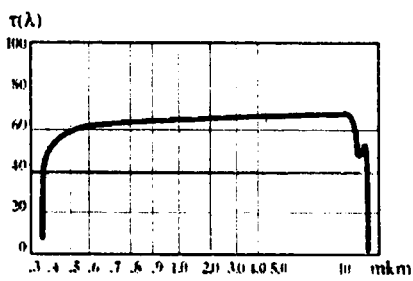
д.



е.



ж.



з.

Рис. 9. Спектр пропускания: а.) Ge, б.) KCl, в) NaCl, г.) BaF_2, д.) KBr, е.) ZnSe, ж) ZnSe CVD, з.) ZnS [4]

Контрольные вопросы

1. Какова роль газов азота и гелия?
2. Какие моды колебаний молекулы CO_2 вы знаете, и какое колебание является вырожденным?
3. На каких переходах осуществляется генерация лазерного излучения?
4. В каком диапазоне длин волн генерирует CO_2 лазер?
5. Как, по вашему мнению, скажется на длительности импульса увеличение (уменьшение) концентрации азота?
6. Какие типы накачки для CO_2 лазера вы знаете?
7. Какими способами можно получить генерацию на длине волны λ=9,6мкм?
8. Какими факторами определяется уширение спектральной линии для CO_2 лазера?
9. Зачем нужна предварительная ионизация активной области?
10. Какие материалы применяются в ИК диапазоне и почему?

4. Методические указания

4.1. Техника безопасности при выполнении лабораторной работы

При работе с CO_2-лазером возникает ряд факторов повышенной опасности

1. Лазерное излучение.
2. Высокое электрическое напряжение.
3. Высокое давление газов, как в баллонах, так и в лазере.
4. Лазерное излучение CO_2 лазера может привести в частичной или полной потере зрения.

Поэтому запрещается следующие действия:

1. Включать установку без разрешения преподавателя, и не ознакомившись с правилами работы.
2. Работать на установке одному человеку
3. Работать на незаземлённой установке
4. Разбирать лазер
5. Заглядывать в выходное зеркало при поданном на установку напряжении

4.2. Правила работы с газовой системой

Для предотвращения несчастных случаев при работе с газовой системой необходимо строго придерживаться определенного порядка действий.

1. Исходное состояние. Вентили V1, V2, V4, V5 открыты, вентили V3,V6,V7,V8 закрыты. Источник питания отключён.

2. Откачка. Включить насос (3). Плавно открывая вентиль V3 откачать воздух в течении 5-10 минут. Показания манометра M1 должно быть -1 кгс/см^2. Закрыть вентиль V1, V3, V4 выключить насос.

3. Напуск азота в накопитель (2). Вентили V1, V3, V4, V6, V7, V8 закрыты. Плавно открывая вентиль V7 напустить азот в накопитель (2) до давления 1 атм. Давление контролировать по манометру M1. Закрыть вентиль V2. Спустить азот из газовой системы вентилем V8. Закрыть вентили V5, V8.

4. Откачка. Включить насос (3). Плавно открывая вентиль V3 откачать азот. Показания манометра M1 должно быть -1 кгс/см^2. Плавно открыть вентили V1, V4. Закрыть вентиль V3. Выключить насос.

5. Напуск смеси газов. Вентили V2, V3, V5, V6, V7, V8 закрыты. Плавно открывая вентиль V6 напустить смесь в газовую камеру до давления 0,9 атм. Показание манометра M1 0,9 кгс/см^2. Закрыть вентиль V1. ЛАЗЕР ГОТОВ К РАБОТЕ.

6. Окончание работы. Открыть вентиль V8 затем V2, V1, V3, V4, V5.

4.3. Юстировка оптического резонатора

Юстировка оптического резонатора осуществляется с помощью He – Ne лазера в следующем порядке:

1. Снять оба зеркала CO_2 лазера
2. Выставить оптическую ось CO_2 лазера относительно луча He – Ne лазера
3. Закрепить заднее «глухое» зеркало так, чтобы отражённый луч совпадал с оптической осью. Необходимо, чтобы заднее «глухое» зеркало было плотно прижато к фланцу
4. Закрепить переднее передние полупрозрачное зеркало потому же принципу.
5. После юстировки убрать He – Ne лазер.

ВНИМАНИЕ передние полупрозрачное зеркало держать только за металлическую оправу!

4.4. Экспериментальное исследование энергетических характеристик излучения ТЕА CO_2 – лазера

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 10. ОКГ – ТЕА CO_2 лазер, БПЛ – блок источника питания лазера, ПУ – пусковое устройство, ИМО-2Н – измеритель мощности.

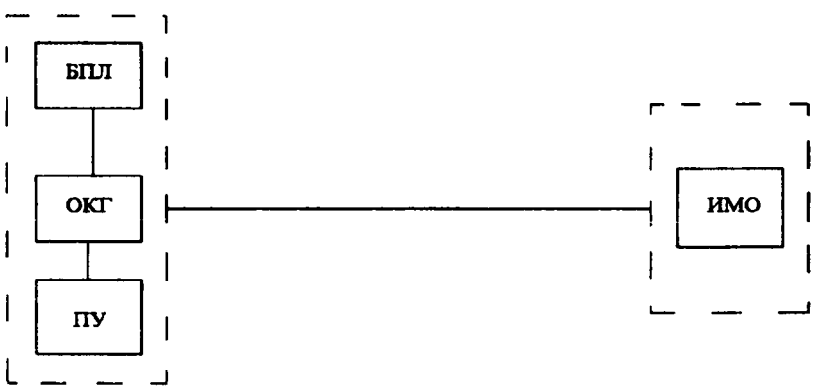


Рис. 10. Блок-схема для измерения энергетических характеристик ТЕА CO_2 лазера: ОКГ – ТЕА CO_2 лазер, БПЛ – блок источника питания лазера, ПУ – пусковое устройство, ИМО – измеритель мощности

В работе необходимо снять зависимость мощности лазерного излучения от мощности накачки. Изменяя напряжение регулировкой блока БПЛ, измерить мощность лазерного излучения.

4.5. Экспериментальное исследование временных характеристик излучения ТЕА CO_2 – лазера

Схема экспериментальной установки представления на рис. 11. ОКГ – ТЕА CO_2 лазер, БПЛ – блок источника питания лазера, ПУ – пусковое устройство. ФП – фотоприёмник, БП – блок питания фотоприёмника, О – осциллограф.

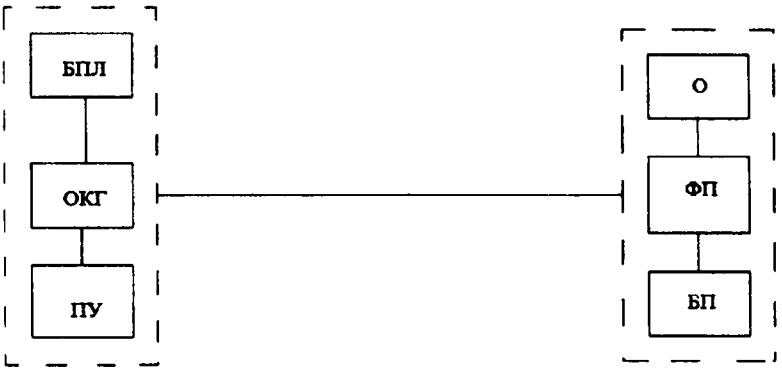


Рис. 11. Блок-схема для измерения временных характеристик ТЕА CO_2-лазера: ОКГ – ТЕА CO_2-лазер, БПЛ – блок источника питания лазера, ПУ – пусковое устройство. ФП – фотоприёмник, БП – блок питания фотоприёмника, О – осциллограф

Измерение длительности лазерного импульса проводится с помощью фотоприёмника, который подключён к осциллографу. По полученной осциллограмме определить длительность лазерного импульса. Для расчёта КПД лазера воспользоваться формулой:

$$\eta = \frac{2P\tau}{C_{общ}U_з^2} * 100\% \qquad (14)$$

где P – мощность лазерного излучения, τ – длительность лазерного импульса, $C_{общ}$ – ёмкость накопительных конденсаторов ($C_{общ}$ =14,55 нФ), $U_з$ – напряжение.

Литература

1. Физика лазеров / О. Звелто; пер. с англ. под ред. Т.А. Шмаонова. – М.: Мир, 1979. – 373 с.

2. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. Учебное пособие. – М.: Наука, 1983. – 320 с.

3. Ищенко Е.Ф., Климков Ю.М. Оптические квантовые генераторы. – М.: Советское радио, 1968. – 472 с.

4. Зайдель А.Н.Ошибки измерений физических величин. – Ленингр.: Наука, 1974. – 108 с.

5. Войцеховская О.К.Теоретические вопросы физики лазеров. – Томск: ТГУ, 2006. – 254 с.

6. Оптические элементы и устройства [Электронный ресурс] / ЗАО «Опто-Технологическая Лаборатория»; Сделано в СОТБИ, 2007 – . – Режим доступа: http://www.optotl.ru, свободный.

1-996602
Томский госуниверситет 1878
Научная библиотека 00777290