

ИСТОЧНИКИ И ПРИЕМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 621.373.826

А.Н. Солдатов, А.П. Ермолаев, А.Е. Кирилов, А.Г. Филонов, Н.А. Филонова

Температурный режим работы лазера на бромиде меди

Томский государственный университет

Поступила в редакцию 13.03.2000 г.

Изучено распределение температуры вдоль активной зоны «саморазогревного» лазера на парах бромида меди. Показано, что существенный вклад в формирование температурного поля вносят приэлектродные области. Определено влияние температурных неоднородностей на характеристики лазерного излучения.

Эффективная работа лазера на бромиде меди связана с однородным распределением параметров среды вдоль разрядного канала. Одним из важных параметров активной среды является температура стенки рабочего канала. В работе [1] отмечается тот факт, что сам способ создания и поддержания температуры в рабочей области (диссипация энергии разряда) в лазерах на парах меди создает при определенных давлениях буферного газа перепады температур, что влияет на характеристики лазерного излучения. В [2] предложена модель динамики развития электрического поля, которая в какой-то степени объясняет существование этих неоднородностей. Работа [3] обращает внимание на роль приэлектродных областей,

значение которых обусловлено отсутствием паров рабочего вещества в них, что определяющим образом влияет на проводимость плазмы. Таким образом, мы можем предположить существование и в лазерах на бромиде меди температурных неоднородностей, связанных с диссипацией энергии разряда. Предполагаемая температурная неоднородность должна создавать определенные особенности формирования как инверсной заселенности, так и генерации по длине рабочего канала.

Нашей задачей являются рассмотрение температурных неоднородностей, возникающих вдоль рабочего канала лазера на бромиде меди, а также определение их влияния на характеристики излучения.

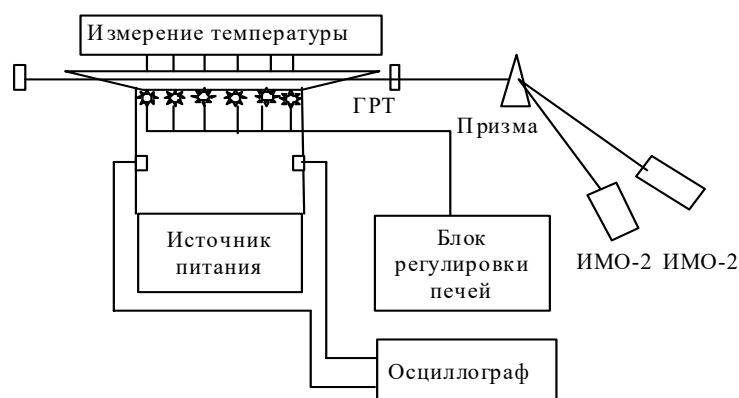


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка

Для выполнения поставленной задачи была собрана экспериментальная установка (рис. 1), состоящая из высоковольтного источника питания, коммутатора, образованного двумя параллельно работающими тиратронами ТГИ-1000/25, и задающего генератора, работающего в частотном диапазоне 15–25 кГц. Электрическая схема – с прямым разрядом рабочей емкости через коммутатор и газоразрядную трубку (ГРТ) [4]. Рабочая емкость составляла 2200 пФ. Обостритель, поставленный параллельно ГРТ, – 500 пФ. Газоразрядная трубка генератора имела рабочую область длиной 1,5 м и диаметром 40 мм. Рабочее вещество,

бромид меди, располагалось в контейнерах-отростках, которые распределены равномерно вдоль рабочего канала на расстоянии 210 мм друг от друга. Нагрев контейнеров с помощью специальных печей позволял создавать необходимое давление паров рабочего вещества в рабочем канале. Возможность изменения питания печей позволяла оптимизировать рабочую температуру контейнеров по мощности генерации. Плоскопараллельный резонатор состоял из глухого зеркала с диэлектрическим покрытием и стеклянной пластины в качестве выходного зеркала. Вдоль рабочего канала ГРТ располагались шесть термопар (хромель-алюмель), которые позволяли измерять температуру стенки рабочего канала, тем самым определяя температу-

ный профиль, а также ее изменение по мере разогрева и охлаждения ГРТ. Предварительно термопары были помещены в печь для проверки разброса их показаний. Точность показаний не превышала ошибки показаний измерительного прибора и составляла 6 °С. Импульс тока снимался с помощью шунта, импульс напряжения – с помощью малоиндуктивного делителя. Мощность генерации измерялась прибором ИМО-2. Для измерения мощностей желтой и зеленой линий генерации они разводились из одного пучка с помощью призмы с последующим направлением их на измерители мощности. Буферным газом служил неон.

Результаты и их обсуждение

Для лазеров на парах металлов, работающих в режиме саморазогрева, возможны режимы, когда тепловыделение вдоль разрядного канала носит неоднородный характер [1], существенный при определенных давлениях буферного газа и оказывающий влияние на мощность генерации, ее характеристики. Представляется интересным рассмотреть влияние тепловых неоднородностей, возникающих вследствие саморазогревного режима работы, и для лазеров на бромиде меди. В отличие от лазеров на парах чистой меди, лазеры на парах бромида меди, в том случае, когда рабочее вещество содержится в специальных отрезках-контейнерах, расположенных вдоль рабочего канала, представляют дополнительные возможности по изучению процессов в приэлектродных и центральной областях. Благодаря тому что рабочее вещество из контейнеров подается в разрядный канал с помощью специальных печей, мы, включая или выключая их, можем включать или выключать определенные зоны рабочего канала, что очень трудно сделать в лазерах на парах чистой меди. Режим генерации осуществляется в определенном диапазоне давлений паров бромида меди. Регулировка питания позволяет настраивать работу печей на оптимальную температуру, при которой выходная мощность при заданных значениях параметров максимальна.

Необходимо отметить, что в условиях постоянных параметров накачки по мере разогрева ГРТ относительное содержание зеленой и желтой линий в общем генерационном пучке постепенно меняется. С ростом общей мощности отношение мощности зеленой линии к мощности желтой уменьшается. При этом определенные соотношения соответствуют оптимальному режиму, режиму подхода к оптимальным условиям, а также к так называемому режиму перегрева, когда суммарная мощность начинает падать. Таким образом, можно по относительному содержанию желтой и зеленой линий качественно определять процессы, происходящие в разных зонах ГРТ.

Расположенные вдоль разрядного канала термопары позволяют определить динамику развития температурного профиля ГРТ по мере его разогрева (рис. 2). Известно, что потери тепла пропорциональны градиенту температуры, поэтому начальный момент, когда все зоны находятся при одной температуре, показывает, как выделяется тепло в разряде вдоль рабочего канала. Наибольшие потери происходят в приэлектродных областях за счет выноса тепла через торцы, а наименьшие, за счет теплоизолятора, в центральной области. В начальный момент разогрева ГРТ (рис. 2, 1) температура в прикатодной области растет значительно быстрее, чем в остальных областях. Выделение тепла не только компенсирует краевые потери, но и подерживает ее температуру выше температуры центральной

области. В установившемся режиме (рис. 2, 5), при балансе между нагревом и тепловыми потерями, такого эффекта уже не видно, преобладает нагрев центральной части. В то же время это не означает, что выделение энергии изменилось и стало равномерным. Интересным представляется рассмотреть динамику поведения температурного профиля по мере остывания разрядного канала (рис. 3).

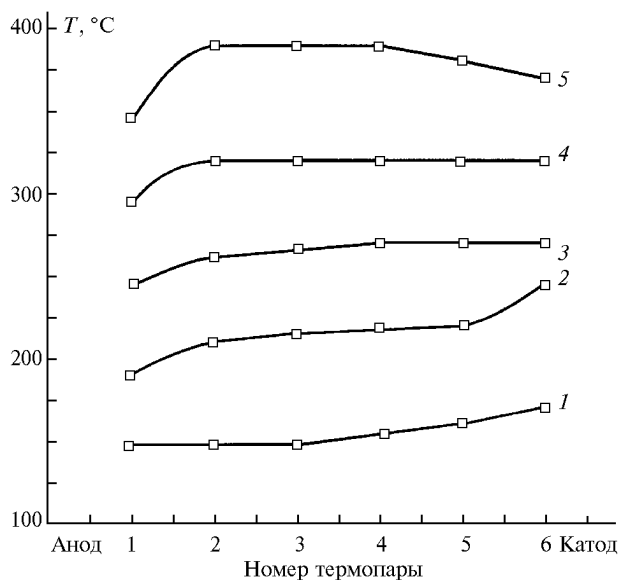


Рис. 2. Динамика развития температурного профиля по мере разогрева разрядного канала. Кривая 1 – 7-минутный подогрев, 2 – 8-минутный, 3 – 10-минутный, 4 – 12-минутный, 5 – 60-минутный. Установившийся режим. Давление буферного газа неона 30 мм рт. ст. Потребляемая мощность от сети 3 кВт

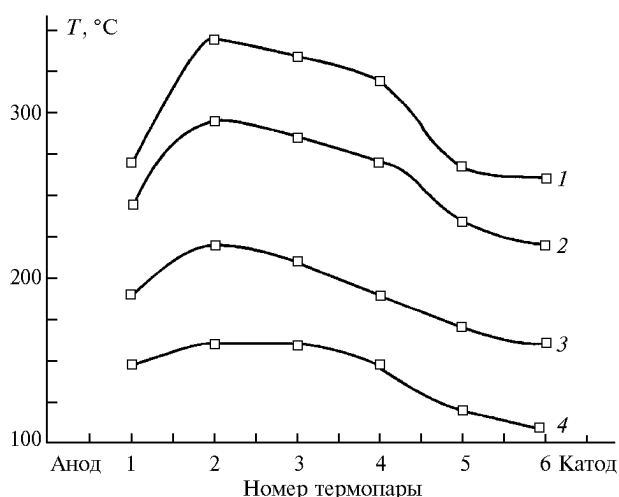


Рис. 3. Динамика поведения температурного профиля по мере остывания разрядного канала. Кривая 1 – 3-минутное остывание, 2 – 5-минутное, 3 – 8-минутное, 4 – 13-минутное. Давление буферного газа неона 30 мм рт. ст. Потребляемая мощность от сети 3 кВт

Его поведение характеризует состояние теплопроводности теплоизолятора. В качестве теплоизолятора использовалась каолиновая вата, которая при отжиге увеличивает свою теплопроводность, причем зависимость от температуры носит нелинейный характер. В нашем случае тепло-

изолятор, обладающий такими свойствами, помогает выдержать рабочую температуру в рамках генерации. На рис. 4 представлен температурный профиль рабочего канала в начальной фазе разогрева и в установившемся режиме. Выделение тепла в прикатодной области увеличивается с уменьшением давления. Самый большой перепад температуры возникает при давлении неона 5 мм рт. ст.

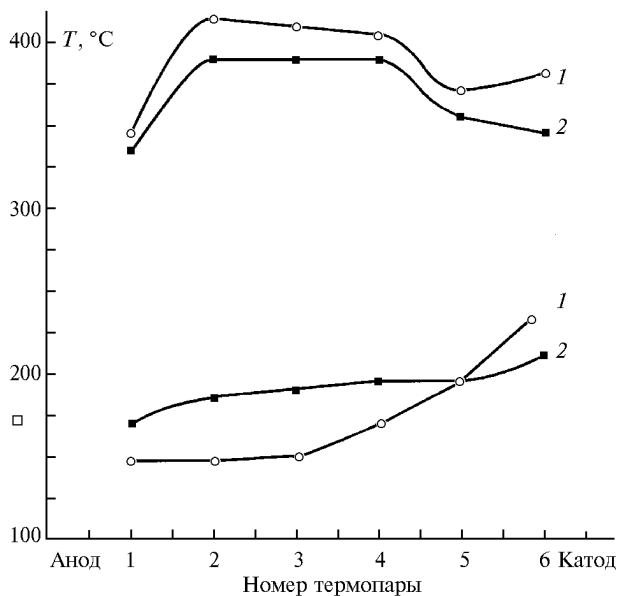


Рис. 4. Температурный профиль рабочего канала в начальной фазе разогрева и в установившемся режиме. 1 – давление буферного газа неона 5 мм рт. ст., 2 – 50 мм рт. ст. Потребляемая мощность – 3 кВт

В установившемся режиме это выражается в повышенном значении температуры в прикатодной области.

В табл. 1 приведены результаты, показывающие влияние неоднородного выделения мощности разряда на формирование генерационного излучения. Это влияние можно проследить по изменению отношения мощности зеленой линии к мощности желтой, отключая поочередно печи у катода и анода.

Таблица 1

Влияние приэлектродных областей на отношение зеленой линии генерации к желтой

Суммарная мощность, Вт	Отношение зел. / жел.	Примечание
19	0,89	Работают все печи
16	0,72	Отключена 1 печь у анода
16	3	Отключена 1 печь у катода

Отключение анодной печи приводит к увеличению доли желтой линии в суммарном луче. При этом мощность зеленой линии уменьшается на 2,3 Вт, а мощность желтой на 0,7 Вт. То есть в этой области эффективно формируется зеленая линия, что можно объяснить более низкой рабочей температурой, обусловленной краевыми потерями. Отключение печи у катода приводит к резкому увеличению зеленой линии. Заметим, что в этом случае мощность зеленой линии возросла с 9 до 12 Вт, в то время как мощность жел-

той линии уменьшилась с 10 до 4 Вт. Такое поведение составляющих генерационного излучения возможно при перегреве рабочей среды по зеленой линии генерации. Уменьшение давления паров бромида меди (отключение прикатодной печи) приводит к оптимизации давления, и мощность зеленой линии возрастает.

Таким образом, можно сделать вывод, что прикатодная область вносит существенно больший вклад в формирование мощности на линии $\lambda = 0,578$ нм. В прианодной зоне при формировании излучения происходит более эффективное формирование зеленой линии, чем в других зонах.

Неоднородное распределение температуры вдоль рабочего канала должно также проявиться и в температуре, которую поддерживают печи в контейнерах-отростках. Для выяснения этого воздействия необходимо рассмотреть работу печей совместно с ГРТ, а затем определить, какую температуру поддерживают печи при отсутствии разряда в ГРТ. Результаты показаны в табл. 2.

Таблица 2

Влияние тепла, выделяемого в разряде, на режим печи

№ печи	1	2	3	4	5	6
Совместная работа ГРТ и печей (T, °C)	385	400	400	400	385	410
Работа печей без ГРТ (T, °C)	320	340	330	330	350	385
Разница температур, °C	65	60	70	70	35	25

Выделяемая импульсно-периодическим разрядом энергия вносит свой вклад в разогрев контейнеро-отростков, и чем больше температура их разогрева разрядом, тем меньшее значение температуры требуется поддерживать печами. Доля температуры, обеспечиваемая разрядом, определяется из разницы температуры печи с работающей ГРТ и без нее. Измерения показали (табл. 3), что если в прикатодной части эта разница составляет 65 °C, то в прианодной она значительно ниже и составляет 25 °C.

Таблица 3

Генерационные характеристики прианодной, центральной и прикатодной зон ГРТ

Мощность генерации, Вт	Содержание зеленой линии, %	Примечание
4	75	Работает прикатодная зона
1,75	77	Работает центральная зона
1,5	100	Работает прианодная зона

Для того чтобы исследовать роль тепловых неоднородностей в режиме генерации, ГРТ была разбита на три зоны, соответственно по две печи в каждой зоне. Оставляя постоянной вводимую мощность, поочередно включали каждую из этих зон. В табл. 3 приведена полученная при этом мощность генерации, а также процентное содержание мощности зеленой линии генерации в луче. При работающей прикатодной области мощность генерации максимальна. Доля зеленой линии возрастает по мере прибли-

жения к аноду, и в прианодной области в нашем случае осуществлялась генерация только на зеленой линии.

Работа прикатодной и прианодной зон при отключении центральных печек носит более сложный характер. Мы видим, что независимо друг от друга прикатодная зона дает 4 Вт, а прианодная 1,5 Вт. Совместная их работа приводит к тому, что суммарная мощность значительно выше, чем просто арифметическая сумма. Отношение мощности зеленой линии к желтой снято по мере разогрева. Результаты собраны в табл. 4.

Таблица 4

Поведение мощности генерации при совместной работе прикатодной и прианодной зон

Суммарная мощность генерации, Вт	5,5	7	7,5	7,75
Отношение зел./жел.	2,1	1,8	1,5	1,4

Анализ результатов показывает, что происходит постепенная диффузия бромида меди в центральную зону и генерация в ней дает дополнительную мощность. Обращает на себя внимание тот факт, что прирост мощности генерации происходит в основном за счет желтой линии.

Для усиления характеристик излучения, сформированных в лазере на парах бромида меди, были проведены предварительные работы по изготовлению и изучению системы «генератор – усилитель», так как усилитель также может вносить определенные корректировки в параметры выходного излучения, такие как соотношение желтой и зеленой линий генерации. В качестве усилителя и генератора использовались две одинаковые ГРТ, размеры которых соответствовали описанной выше. Предварительно усилитель выводился на рабочий режим как генератор. При этом регистрировались параметры лазерного излучения. В на-

шем случае система «генератор – усилитель» производила не только сложение мощностей от генератора и усилителя, но и давала дополнительный прирост мощности генерации на 25–30%. Кроме того, была возможность не только генератором задавать необходимые требования к излучению, но и усилителем производить дополнительную регулировку соотношения линий генерации.

Заключение

В результате проведенных экспериментов выяснено, что в лазерах на парах бромида меди при давлениях буферного газа в диапазоне от 5 до 50 мм рт. ст. существует достаточно сильная неоднородность диссипации энергии разряда вдоль рабочего объема, что существенно влияет на характеристики лазерного излучения. Такая неоднородность оказывает влияние на режим работы печей, подогревающих контейнеры с бромидом меди, что приводит к необходимости их настройки на оптимальный режим. Показано, что с помощью регулировки печей можно изменять соотношение желтой и зеленой линий генерации в общем генерационном луче. Определено влияние температурных неоднородностей на формирование излучения. Предложено использование закономерностей в системе «генератор – усилитель».

1. *Евтушенко Г.С., Филонов А.Г.* Температурный режим работы лазера на парах металлов // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. № 11. С. 1318.
2. *Кухарев В.Н.* Пространственно-временные характеристики поля в продольном импульсно-периодическом разряде, типичном при накачке лазеров на самоограниченных переходах // ЖТФ. 1984. Т. 54. № 10. С. 1910–1914.
3. *Земсков К.И., Исаков А.А., Петраш Г.Г.* Развитие разряда в импульсных лазерах на парах металлов // Квантовая электроника. 1999. Т. 27. № 7. С. 183–187.
4. *Исаев А.А., Леммерман Г.Ю.* Схема питания импульсных лазеров на парах металлов // Труды ФИАН. 1987. Т. 181. С. 164–179.

A.N. Soldatov, A.P. Ermolaev, A.E. Kirilov, A.G. Filonov, and N.A. Filonova. **Temperature condition of CuBr laser operation.**

We have studied the temperature distribution along the active region of a self-heated CuBr laser. The near-electrode regions are shown to make a significant contribution to formation of the temperature field. The effect of temperature inhomogeneities on the laser output characteristics is estimated.