



ДВУХЭЛЕМЕНТНЫЙ ЛАЗЕР, ГЕНЕРИРУЮЩИЙ НА 10 ДИСКРЕТНЫХ ЛИНИЯХ В ДИАПАЗОНЕ ОТ 0,51 ДО 6,45 мкм

А. Солдатов, д.ф.-м.н., Ю. Полунин, А. Васильева, Е. Колмаков, Д. Куксгаузен, Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ), И. Костыря, ТГУ, Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, general@tic.tsu.ru

Лазеры, работающие на нескольких длинах волн, интересуют разработчиков систем зондирования атмосферы, медицинских установок, устройств визуализации лазерных систем, работающих в ИК-диапазоне. Существует ряд факторов, затрудняющих создание подобных лазеров. Представлены исследования мультиэлементного лазера на смеси паров стронция и бромида меди, положенные в основу созданного многоволнового лазерного источника, генерирующего на десяти дискретных линиях в диапазоне от 0,51 до 6,45 мкм.

Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов работают, как правило, на нескольких длинах волн, что обусловлено особенностью строения электронных оболочек и механизмом создания инверсии. Металлы Au, Pb, Cu, Mn, Ba, Eu, Ca, Sr наглядно демонстрируют такую многочастотность, обеспечивая генерацию на более 40 спектральных линиях атомов и ионов. Механизм генерации и оптимальные условия работы лазеров на различных длинах волн каждого из указанных химических элементов достаточно хорошо изучены. Стимулом к созданию таких многоцветных лазеров стали возросшие потребности в подобных источниках разработчиков систем лазерной светотехники, цветного телевидения на больших экранах, лазерных навигационных систем, медицинских лазерных установок и прочих устройств. Физической основой для эффективной многоцветной генерации в импульсном разряде на самоограниченных переходах в многокомпонентных средах следует считать:

- подобие механизма создания инверсной населенности в лазерах на самоограниченных переходах;

- близкие условия возбуждения паров металлов по параметрам импульса возбуждения и характеристикам разряда;
- спектральную прозрачность газоразрядной плазмы для генерационных линий атомов и ионов различных металлов;
- большие коэффициенты усиления.

Вместе с тем существует целый ряд факторов, которые необходимо принимать во внимание при получении генерации в многоэлементной среде. Во-первых, надо учитывать индивидуальность каждого элемента, связанную с различием потенциалов возбуждения и ионизации, а также различие температур, определяющих концентрацию атомов в основном состоянии N_0 каждого элемента. При высоких энерговкладах необходимо обеспечить дополнительные возможности продольного и радиального теплопереноса.

В работах [1-3] подробно изложены результаты проведенных ранее исследований мультиэлементных лазеров на парах металлов с пространственно-разнесенными активными средами. Для лазеров с продольно-разнесенными зонами возбуждения изучены особенности электрокинетических и оптических параметров активных



сред для различных сочетаний паров металлов: Cu+Au; Ba+Pb; Cu+Ba+Pb; Ba+Mn. В условиях оптимизации активной среды Cu+Ba+Pb+Ne получена одновременная генерация на семи спектральных линиях CuI, BaI, PbI, BaII. На основе полученных данных были разработаны трехцветные лазерные навигационные системы [4].

Целью настоящей работы стало исследование мультиэлементного лазера на смеси паров стронция и бромида меди для создания многоволнового лазерного источника, генерирующего на 10 дискретных линиях в диапазоне от 0,51 до 6,45 мкм. Исследования данного двухэлементного лазера интересно как с точки зрения получения многоволновой генерации в широком диапазоне спектра, так и с целью визуализации инфракрасного излучения лазера на парах стронция.

На рис.1 приведены упрощенные схемы уровней атомов и ионов стронция и меди, которые показывают, что активная среда лазера на парах стронция является спектрально прозрачной для генерационных линий меди и наоборот.

Параметры генерации в многокомпонентных смесях паров металлов могут быть существенно улучшены, если для каждого компонента создать пространственно разнесенные температурные зоны. Причем, учитывая неоднородность электрического поля в плазме, рабочее вещество с большим потенциалом следует располагать в области с большим значением отношения E/P (E – напряженность поля, P – давление газовой смеси). Исходя из этого, бромид меди был расположен со стороны катода, где напряженность поля в момент инверсии должна быть выше, а стронций – со стороны анода. На рис.2 приведена блок-схема экспериментальной установки.

Эксперименты проводили с активным элементом объемом активной части 50 см³. Объемы активных сред стронция и бромида меди были разнесены линейно и составляли по 20 см³ (рис.3). Электроды, выполненные из тантала, были

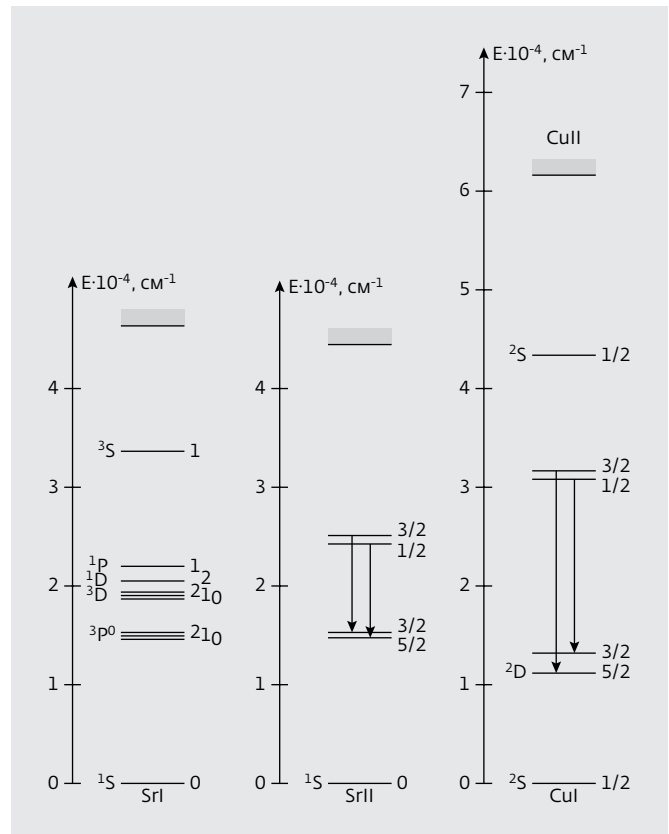


Рис.1. Упрощенные схемы уровней SrI, SrII, CuI и CuII с указанием лазерных переходов

вынесены из горячей зоны трубки. Выходные окна выполнены из ВаF₂. В качестве буферного газа использовалась смесь гелия и неона. Возбуждение разряда осуществлялось по схеме прямого разряда, коммутатором служил тиратрон ТГИ1-1000/25. Рабочие емкости равнялись 680 пФ. Резонатор состоял из плоского зеркала с алюминиевым покрытием и плоскопараллельной пластины ВаF₂. Регистрация импульсов тока, напряжения и генерации проводилась с помощью пояса Роговского и пробника напряжения Tektronix P6015A. В качестве приемника импульсов

Энергетические характеристики мультиэлементного лазера на парах стронция и бромида меди

Суммарная средняя мощность $W_{ср.}$, мВт	Мощность $W_{\lambda=1 \text{ мкм'}}$, мВт	Мощность $W_{\lambda=3 \text{ мкм'}}$, мВт	Мощность $W_{\lambda=6,45 \text{ мкм'}}$, мВт	Мощность $W_{\lambda \text{ желтая'}}$, мВт	Мощность $W_{\lambda \text{ зеленая'}}$, мВт	Напряжение U , кВ	Ток I , мА	Давление P_{Ne} , торр
750	112	30	Нет	Нет	Нет	4,9	300	210
1950	265	185	555	315	630	4,7	310	180
3750	439	470	1041	600	1200	4,8	300	135
4065	378	490	1127	690	1380	4,7	310	135+

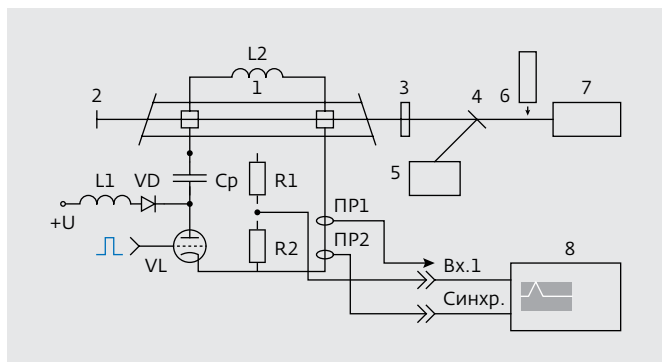


Рис.2. Блок-схема экспериментальной установки: 1 – активный элемент, 2,3 – зеркала резонатора, 4 – плоскопараллельная пластинка, 5 – фотоприемник ФЭК, 6 – набор светофильтров, 7 – измеритель мощности, 8 – осциллограф

генерации использовался фотоприемник ФЭК 22. Регистрируемые сигналы подавались на осциллограф Tektronix. Средняя мощность генерации контролировалась измерителем мощности ОРНН.

В ходе эксперимента исследовали параметры генерации в зависимости от давления и рода буферного газа – гелия и неона. Была получена одновременная эффективная генерация на переходах меди (0,51 и 0,58 мкм), атомах (6,45 мкм и ~3 мкм) и ионах (1,03 и 1,09 мкм) стронция. Форма импульсов генерации лазера на парах стронция и бромида меди приведена на рис.4. Выделение светофильтрами линий генераций позволило определить временное положение импульсов генерации на длинах волн ~ 1 мкм и 0,51 и 0,58 мкм. Следует отметить, что длительность импульса желто-зеленой генерации составляет ~ 40 нс по полувысоте, причем импульс генерации на $\lambda=0,58$ мкм сдвинут на 10 нс от начала генерации. В то же время импульс генерации на длине волн 6,45 мкм сравним по длительности с импульсом тока [5].

Распределение мощности излучения между пятью основными генерационными линиями в ГРТ при частоте повторения импульсов 18 кГц представлено в таблице. Максимальную среднюю мощность генерации удалось получить при использовании в качестве буферного газа неона, и она составила 4 Вт. Были экспериментально найдены режимы работы лазера с относительно равномерным распределением мощности генерации по всем длинам волн, а также режим, когда 70% мощности сосредоточено на длине волны 6,45 мкм. В этом случае видимое излучение можно рассматривать как визуализатор пучка инфракрасного излучения лазера на парах стронция.

Достигнутые энергетические характеристики в мультиэлементном лазере достаточно высокие и соответствуют по своим удельным параметрам характеристикам, полученным в одноэлементных активных средах на парах стронция и бромида меди [6,7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом изучения существующих проблем создания двухэлементного лазера был разработан и изготовлен макет такого лазера, генерирующего на 10 дискретных линиях в диапазоне от 0,51 до 6,45 мкм. Впервые была получена одновременная генерация в видимом и ИК-диапазоне на длинах волн SrI и SrII $\lambda=6,456; 3,066; 3,011; 2,6; 2,69; 2,92; 1,091; 1,033$ мкм и CuI $\lambda=0,51; 0,58$ мкм с пространственно-разнесенными активными зонами. Результаты проведенных исследований также показали, что пучок видимого излучения генерации в парах CuBr имеет полное пространственное совмещение с пучком генерации в парах Sr, так как генерация двухэлементного газоразрядного источника осуществляется в одном резонаторе. Предложенная конструкция лазера позволяет проводить управление соотношением мощности

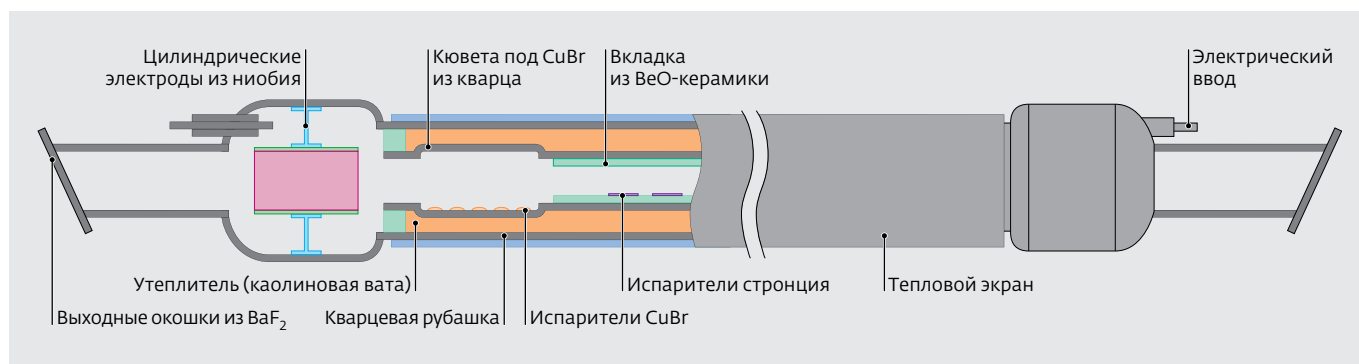


Рис.3. Схема газоразрядной трубки (ГРТ)

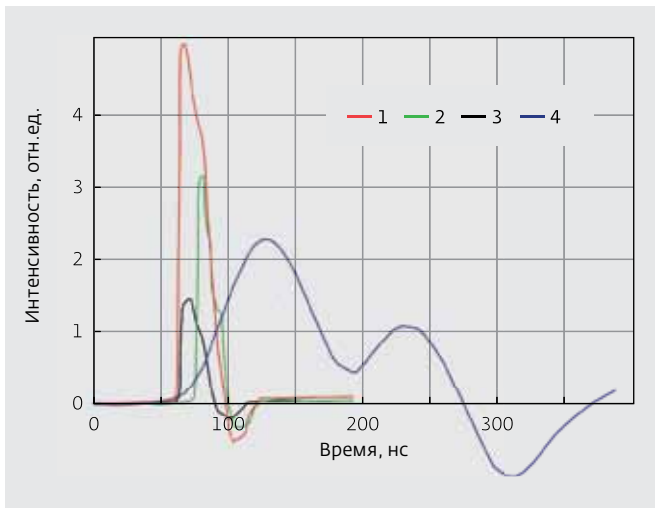


Рис.4. Импульсы генерации на различных длинах волн: 1 – суммарный импульс генерации на длинах волн 0,51 и 0,58 мкм, 2 – импульс генерации на $\lambda=0,58$ мкм, 3 – импульс генерации на $\lambda\sim 1$ мкм (общая мощность излучения 1,2 Вт, на $\lambda=1$ мкм – 200 мВт, давление буферного газа неона 45 торр, частота следования импульсов – 18 кГц), 4 – ток разряда

генерации двухэлементного лазера в видимом и ИК-диапазоне, а воздействие на цветность можно производить, изменяя род и давление буферного газа и меняя параметры импульсно-периодического разряда накачки.

Подобный многоволновый лазер представляет особый интерес для использования его в задачах зондирования атмосферы, медицины, а также для визуализации лазерных систем, работающих в ИК-диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солдатов А.Н., Кириллов А.Е., Полунин Ю.П., Федоров В.Ф. Многоцветный импульсный лазер. – Мат. 5 Всесоюз. симп. по распространению лазерного излучения в атмосфере. – Томск: ИОА СО АН СССР, 1979, с. 101-105.
2. Солдатов А.Н., Воронов В.И., Карманов А.Г., Кириллов А.Е. и др. Трехцветный импульсный лазер на парах меди и золота. – Мат. I межотрасл. НТК “Импульсные газовые лазеры”. – М: ЦНИИ Электроника, 1980, вып. 2, с.118-120.
3. Пат. 2514958 Франция МКИЗ Н01 s 3/02 / Кириллов А.Е. , Полунин Ю.П. , Солдатов А.Н. – Официальный бюллетень патентного ведомства Франции, 1983, № 16.
4. Солдатов А.Н., Соломонов В.И. Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. – Новосибирск: Наука, 1985.
5. Солдатов А.Н., Юдин Н.А., Полунин Ю.П., Васильева А.В. и др. Лазер на парах стронция с частотой следования импульсов генерации до 1 МГц. – Квантовая электроника, 2012, т.42, №1, с. 31-33.
6. Евтушенко Г.С., Губарев Ф.А., Шиянов Д.В. Лазеры на парах металлов с высокими частотами следования импульсов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.
7. Солдатов А.Н., Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д., Юдин Н.А. и др. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2012.