

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ИННОВАТИКА – 2011

Сборник материалов

**VII Всероссийской научно-практической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
с элементами научной школы**

26–28 апреля 2011 г.

г. Томск, Россия

Т. 1

Под ред. проф. А.Н. Солдатов, доц. С.Л. Минькова

Организаторы:

- Национальный исследовательский Томский государственный университет
- Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
- Российский государственный университет инновационных технологий и предпринимательства
- Сургутский государственный университет
- ООО «ЛИТТ»

При поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований

**Томск
2011**

2. *Основы* технической диагностики (Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза) / Под. ред. П.П. Пархоменко. М.: Энергия, 1976. 464 с.

3. *Основы* технической диагностики (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / Под. ред. П.П. Пархоменко. М.: Энергия, 1981. 320 с.

4. *Дунаев М.П.* Новые логические алгоритмы диагностирования // Тр. Всероссийской науч.-техн. конф. «Повышение эффективности производства и использования электроэнергии в условиях Сибири». Иркутск: ИрГТУ, 2003. С. 30–34.

ЧАСТОТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ СТРОНЦИЯ

*А.Н. Солдатов¹, Н.А. Юдин¹, Ю.П. Полунин¹,
А.В. Васильева¹, Е.А. Колмаков¹, И.Д. Костыря^{1,2}*

¹Томский государственный университет

²Институт сильноточной электроники СО РАН

Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов (ЛПМ) являются эффективными источниками когерентного излучения от УФ до средней ИК-области спектра. Среди этого класса лазеров наибольшее количество публикаций (см., например, [1–3]) посвящено исследованию Cu -лазера, который, во-первых, является одним из наиболее эффективных источников излучения среди ЛПМ, а во-вторых, всегда полагалось, что механизм формирования инверсии идентичен для всех лазеров этого класса. Однако проведенные исследования [4–7] показали, что энергетические характеристики Sr -лазера сравнимы с энергетическими характеристиками Cu -лазера, как по достигнутому уровню средней мощности генерации, так и практическому КПД, хотя квантовые КПД этих лазеров различаются почти на порядок.

В Sr -лазере в настоящее время получена генерация на самоограниченных переходах Sr I : $\lambda = 6,456; 3,066; 3,011; 2,6; 2,69; 2,92$ мкм; Sr II : $\lambda = 1,091; 1,033$ мкм [4–7] и Sr II : $\lambda = 0,416; 0,430$ мкм (в условиях рекомбинационной неравновесности плазмы) [8]. На рис. 1 приведена упрощенная схема уровней атома и иона стронция. При этом на самоограниченных переходах $\text{Sr I} - \lambda = 6,456$ мкм в смеси с водородом в работе [9] была получена непрерывная генерация, что определяет широкий диапазон частоты следования импульсов (ЧСИ) генерации в импульсно-периодическом режиме работы лазера на парах стронция. Экспериментальные исследования энергетических характеристик Sr -лазера методом сдвоенных импульсов

и моделирование кинетики процессов в активной среде этого лазера [10] показали, что ЧСИ генерации может достигать ~ 1 МГц и на самоограниченных переходах Sr II ($\lambda = 1,091; 1,033$ мкм).

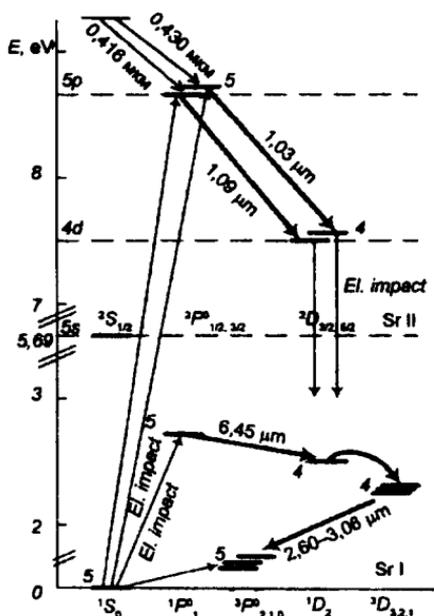


Рис. 1. Схема уровней атома и иона стронция

Исследование зависимости энергетических характеристик излучения лазера на парах стронция, работающего в саморазогревном режиме, от частоты следования импульсов возбуждения являлось целью настоящей работы.

Экспериментальные исследования лазера на парах стронция проводились в саморазогревном режиме с газоразрядной трубкой (ГРТ), разрядный канал которой выполнен из ВеО – керамической трубки с внутренним диаметром 8 мм и рабочим объемом 9 см³. В качестве буферного газа использовались гелий и неон. Исследования проводились на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 2. Регистрация импульсов тока, напряжения и генерации проводилась с помощью пояса Роговского, пробника напряжения Tektronix P6015 А и фотоприёмников ФЭК-24 и ФСГ. Регистрируемые сигналы подавались на осциллограф Tektronix TDS-3034 В. Средняя мощность генерации контролировалась измерителем мощности OPHIR (Nova II). Накачка активной среды осуществлялась по схеме прямого разряда накопительного конденсатора на ГРТ

[1–3]. Диапазон изменения емкости накопительного конденсатора составлял $\sim 235\text{--}470$ пФ. В качестве коммутатора использовался таситрон ТГУ1–60/7. Накачка активной среды осуществлялась при частоте следования импульсов возбуждения от 120 до 830 кГц и напряжении на высоковольтном выпрямителе (U) в диапазоне 0,65–1,35 кВ.

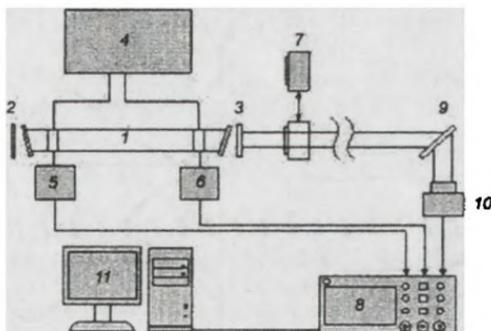


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – ГРТ; 2, 3 – плоскопараллельный резонатор; 4 – источник питания; 5 – пояс Роговского; 6 – пробник напряжения Tektronix P6015 A; 7 – измеритель мощности Nova II; 8 – осциллограф Tektronix TDS-3014 B; 9 – плоскопараллельная пластинка; 10 – фотоприемник; 11 – персональный компьютер

Величина зарядного дросселя, в цепи зарядки накопительного конденсатора, составляла ~ 5 мГн и выбиралась из условия резонансной зарядки накопительного конденсатора на ЧСИ возбуждения ~ 200 кГц. Моделирование процесса резонансной зарядки накопительного конденсатора через зарядный дроссель показало, что в этих условиях накопительный конденсатор заряжается от высоковольтного выпрямителя до удвоенного напряжения $\sim 2U$, при ЧСИ возбуждения < 200 кГц и напряжение на накопительном конденсаторе практически линейно снижается в два раза при изменении ЧСИ возбуждения от ~ 200 до ~ 800 кГц. Соответственно энергия, запасаемая в накопительном конденсаторе, снижается в четыре раза, что позволяет автоматически поддерживать саморазогревной режим работы лазера при изменении ЧСИ возбуждения от ~ 200 до ~ 800 кГц без изменения величины накопительного конденсатора и напряжения на высоковольтном выпрямителе.

Экспериментальные исследования Sr-лазера, проводимые в вышеприведенных условиях, позволили получить предельную ЧСИ генерации – 830 кГц. При этом наблюдалось изменение средней мощности генерации (см. рис. 3) без изменения спектрального состава излучения с ростом ЧСИ

возбуждения. Средняя мощность на всех линиях генерации падала с увеличением ЧСИ возбуждения. При изменении ЧСИ возбуждения от 250 до 830 кГц суммарная средняя мощность генерации на всех линиях излучения лазера снижалась менее чем на 25%.

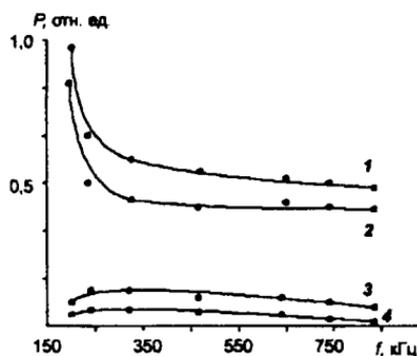


Рис. 3. Зависимость средней мощности генерации от частоты повторения импульсов возбуждения, где 1 — суммарная средняя мощность генерации; 3, 4 и 2 — средняя мощность генерации линий $\lambda \sim 1$ мкм, $\lambda \sim 3$ мкм и $\lambda = 6,45$ мкм соответственно. Давление смеси буферного газа гелия и неона 60 Торр. Емкость накопительного конденсатора — 330 пФ

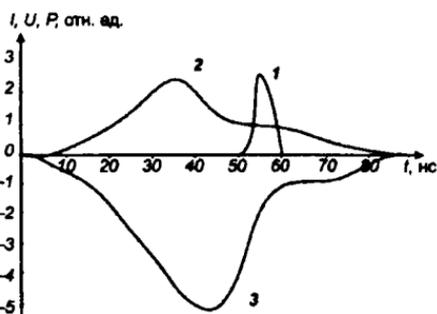


Рис. 4. Оциллограммы импульса генерации $\lambda \sim 1$ мкм (1), импульсов тока (2) и напряжения (3), ЧСИ ~ 150 кГц, $P_{\text{He+Ne}} = 38$ Торр, емкость накопительного конденсатора — 330 пФ. Суммарная мощность генерации — 335 мВт. Длительность импульса генерации на полувысоте ~ 5 нс

При исследовании генерации на самоограниченных переходах Sr II с ростом ЧСИ возбуждения наблюдалось сокращение длительности импульсов генерации по полувысоте до нескольких наносекунд (см. рис. 4).

В то же время как, генерация на $\lambda = 6,45$ мкм (Sr I) прекращалась только с окончанием импульса возбуждения. На рис. 5 представлены импульсные вольт-амперные характеристики с ростом ЧСИ возбуждения.

С увеличением ЧСИ возбуждения наблюдалось незначительное снижение эффективности энерговклада в ГРТ. Средняя эффективность энерговклада в ГРТ во всем интервале изменения ЧСИ возбуждения составляла $\sim 45\%$ (относительно мощности отбираемой от выпрямителя) при давлении буферного газа (He + Ne) ~ 90 Торр. Суммарная мощность генерации падает вдвое при почти трехкратном увеличении давления буферного газа (см. рис. 6). Интересно заметить, что в интервале давлений гелия от 70 до 90 Торр, средняя мощность генерации одномикронной группы линий Sr II в полтора раза выше мощности генерации на $\lambda = 6,45$ мкм Sr I. Суммарная

мощность трех микронной группы линий в интервале давлений буферного газа гелия до 100 Торр остается постоянной, в дальнейшем незначительно падает. Эффективность накачки активной среды заметно падает с увеличением давления буферного газа, а именно, с увеличением давления менее чем в три раза, эффективность накачки снижается вдвое.

На рис. 7 показано изменение средней мощности генерации Sr-лазера от времени разогрева из холодного состояния до рабочей температуры.

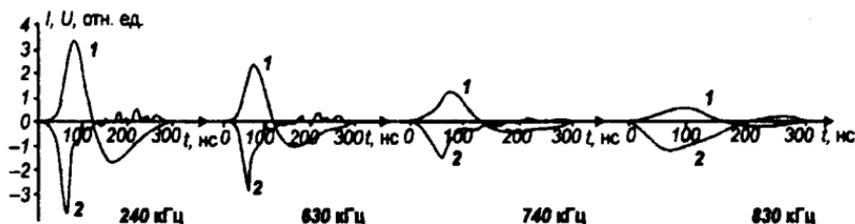


Рис. 5. Осциллограммы импульсов тока (1) и напряжения (2) при изменении ЧСИ от 240 до 830 кГц

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают, что ЧСИ генерации в импульсно-периодическом лазере на парах стронция на всех известных самоограниченных переходах может составлять ~ 1 МГц. Ограничение предельной ЧСИ генерации – 830 кГц Sr-лазера в наших экспериментах обусловлено процессом резонансной зарядки накопительного конденсатора, а не процессами в активной среде лазера. Вышесказанное объясняется тем, что в процессе формирования импульса возбуждения накопительный конденсатор всегда перезаряжается до обратного напряжения ($U_{обр}$) из-за рассогласования источника питания с нагрузкой. Резонансная зарядка накопительного конденсатора осуществляется, как известно, от $-U_{обр}$ до $(U_{обр} + 2U_0)$. Поэтому накачку активной среды невозможно осуществить в течение времени пока на аноде коммутатора присутствует отрицательное напряжение.

В действительности накопительный конденсатор должен зарядиться до напряжения, превышающего пороговые условия по накачке, что и обуславливает достигнутую в наших экспериментах ЧСИ генерации – 830 кГц. Полученные экспериментальные зависимости указывают на то, что пороговые условия накачки активной среды Sr-лазера реализуются при напряженности поля $\sim 30-40$ В/см, а оптимальная напряженность поля составляет $\sim 100-200$ В/см. Низкие пороговые условия по накачке активной среды $\sim 0,2$ В/Торр·см и квазинепрерывность генерации лазеров на щелочноземельных металлах [11–12] обуславливают то, что в наших экспериментах

реализовывался энергоусъем $\sim 30\text{--}40$ мВт/см³, соответствующий ранее полученному энергоусъему Sr-лазера с рабочим объемом активной среды до 650 см³ на ЧСИ генерации $\sim 10\text{--}20$ кГц [4–7].

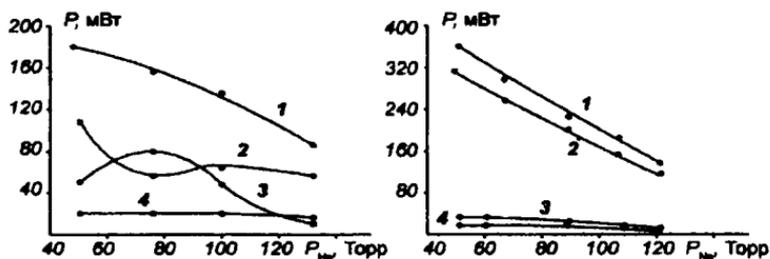


Рис. 6. Зависимость средней мощности генерации от давления буферного газа, где 1 – суммарная средняя мощность генерации; 3, 4 и 2 – средняя мощность генерации линий $\lambda \sim 1$ мкм, $\lambda \sim 3$ мкм и $\lambda = 6,45$ мкм соответственно. ЧСИ генерации – 242 кГц. Емкость накопительного конденсатора – 470 пФ

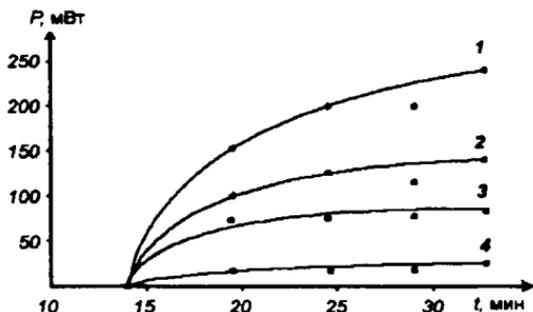


Рис. 7. Изменение средней мощности генерации в зависимости от времени разогрева ГРТ: 1 – суммарная средняя мощность генерации; 3, 4 и 2 – средняя мощность генерации линий $\lambda \sim 1$ мкм, $\lambda \sim 3$ мкм и $\lambda = 6,45$ мкм соответственно. ЧСИ генерации – 242 кГц. Емкость накопительного конденсатора – 470 пФ

Вышесказанное позволяет сделать заключение, что энергоусъем в лазере на парах стронция пропорционален энергокладу в активную среду. В саморазогревном режиме работы лазеров на парах металлов должно выполняться условие $P = E \times f - \text{const}$, где E – энергия импульса возбуждения; f – ЧСИ возбуждения. Поэтому в экспериментах наблюдается незначительное изменение средней мощности генерации с изменением в широких пределах ЧСИ возбуждения. Вышесказанное объясняет наблюдаемое различие частотно-энергетических характеристик Cu-лазера и Sr-лазера.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. Номер государственного контракта: 02.740.11.0444.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Солдатов А.Н., Соломонов В.И.* Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Новосибирск: Наука, 1985. 151 с.
2. *Батенин В.М., Бучанов В.В., Казарян М.А. и др.* Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. М.: Научная книга, 1998. 544 с.
3. *Little C.E.* Metal Vapour Lasers. Physics, Engineering and Application. New York: John Wiley & Sons, 1999. 620 p.
4. *Soldatov A.N., Filonov A.G., Shumeiko A.S. et al.* // SPIE «Atomic and Molecular Pulsed Lasers». 2004. Vol. 5483. P. 252–261.
5. *Солдатов А.Н., Филонов А.Г., Васильева А.В.* // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19, № 2–3. С. 224–226.
6. *Солдатов А.Н., Юдин Н.А., Полунин Ю.П. и др.* // Известия вузов. Физика. 2008. № 1. С. 6–9.
7. *Полунин Ю.П., Солдатов А.Н., Юдин Н.А.* // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22, № 11. С. 1051–1056.
8. *Иванов И.Г., Латуш Е.Л., Сэм М.Ф.* Ионные лазеры на парах металлов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 256 с.
9. *Климкин В.М., Монастырев С.С., Проконьев В.Е.* // Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 20, вып. 4. С. 251–253.
10. *Солдатов А.Н., Юдин Н.А., Васильева А.В. и др.* // Квантовая электроника. 2008. Т. 38, № 11. С. 1009–1015.
11. *Батенин В.М., Калинин С.В., Климовский И.И.* // Квантовая электроника. 1982. Т. 9, № 10. С. 2075–2077.
12. *Батенин В.М., Калинин С.В., Климовский И.И.* // ДАН СССР. 1983. Т. 273, № 1. С. 101–103.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИК-ЛИНИЙ ГЕНЕРАЦИИ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БАРИЯ

А.Н. Солдатов, Ю.П. Полунин, Д.А. Куксгаузен

Томский государственный университет

kuksgauzentip@rambler.ru

Изучение лазера на парах бария представляет большой интерес с точки зрения его использования в устройствах различного назначения (навигация, медицина и т.д.).