

**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**

*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., Полуниин Ю.П. и др.* // Известия вузов. Физика. 2008. № 1. С. 6–9.
7. *Полуниин 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. Полуниин, Д.А. Куксгаузен*

Томский государственный университет

[kuksgauzentip@rambler.ru](mailto: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.).

Данный лазер относится к классу лазеров на самоограниченных переходах и имеет многоволновой дискретный спектр излучения [1]. В данной работе исследовались генерационные характеристики лазера на парах бария, на длинах волн 1,13 и 1,5 мкм.

### *Исследование импульсной генерации на парах бария в инфракрасной области спектра*

В работе [2] получена генерация на атомных переходах бария в инфракрасной области спектра, исследована ее эффективность и механизм создания инверсии на рабочих переходах. При исследованиях использовали установку, работающую в режиме саморазогрева. Импульсный разряд зажигался в алундовой трубке длиной 65 см и диаметром 15 мм. В качестве буферных газов применялись гелий и неон. Питание трубки осуществлялось за счет разряда конденсатора через водородный тиратрон. Напряжение на конденсаторе составляло, 10–12 кВ, частота следования импульсов была 5–8 кГц.

Длина волны, мкм	Переход	Буферный газ	Длина волны, мкм	Переход	Буферный газ
0,6142	$6^2D_{3/2} - 6^2P_{3/2}^0$	Ne, He	2,55	$6p^1P_1^0 - 5d^1D_2$	He
0,6497	$6^2D_{3/2} - 6^2P_{1/2}^0$	Ne, He	2,92	$7p^1P_1^0 - 6d^1D_3$	Ne, He
1,13	$6p^1P_1^0 - 5d^1D_2$	Ne	4,33		Ne
1,50	$6p^1P_1^0 - 5d^1D_2$	Ne, He	4,68		Ne
1,82	$6p^{11}P_1^0 - 5d^1D_2$	Ne	4,72		Ne, He
2,16	$6p^{11}P_1^0 - 5d^1D_2$	Ne	5,89		Ne, He
2,32		He			

В таблице приведены длины волн линий, на которых была получена генерация, а также идентификация линий. Наиболее устойчивая генерация имела место в разряде с неоном, давление которого составляло 10–15 мм рт. ст. [3]. По мере разогрева трубки в разряде с неоном сначала возникла генерация на «красных» ионных линиях, а затем на линии 1,5 мкм. При дальнейшем нагревании трубки генерация в видимой области спектра исчезала, а мощность инфракрасной генерации начинала быстро увеличиваться. Затем она достигала максимума, при температуре (700–800 °С) генерация стабилизировалась. В таком режиме лазер мог непрерывно работать в течение нескольких часов, почти не меняя своих параметров. В этих условиях, как правило, спектр содержал всего четыре сильных линии: 1,5;

2,16; 2,92 и 4,72 мкм, и лишь иногда еще наблюдалась слабая генерация на линии 1,13 мкм.

При использовании в качестве буферного газа гелия генерация оказывалась более слабой и неустойчивой, и наблюдалось меньшее число линий генерации. Наиболее интенсивной в этих условиях была видимая генерация и генерация на линии 1,5 мкм [3, 4].

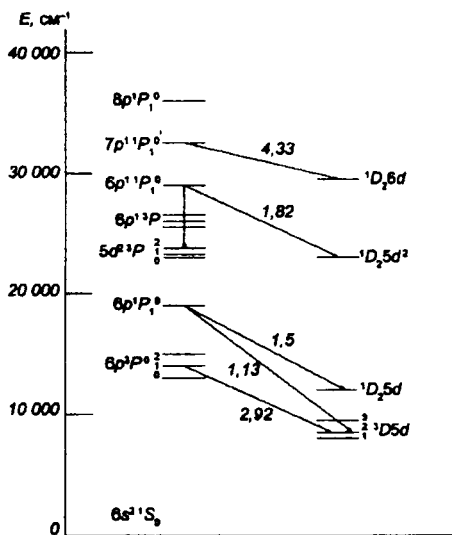


Рис. 1. Упрощенная схема уровней атома бария

На рис. 1 приведена схема уровней бария и указаны переходы, на которых наблюдалась генерация. На линиях с длиной волны 1,5; 2,16; 2,92 мкм генерация существовала в стационарном тепловом режиме. Резонансный уровень  $6p^1P_1^0$  связан с основным состоянием сильным переходом,  $\lambda = 553,548$  нм. Сила осциллятора этой резонансной линии  $f = 1,59$  [4], сечение возбуждения верхнего уровня электронным ударом, рассчитанное по приближенной формуле,  $\sigma \sim 10^{-14}$  см<sup>2</sup>. Поэтому следовало ожидать, что генерация на переходе  $6p^1P_1^0 - 5d^1D_2$  будет очень эффективной. Это подтверждается на опыте. Как отмечалось выше, линия 1,5 мкм оказалась наиболее интенсивной. Характерно, что генерация на этой линии возникает раньше, чем на других, и исчезает самой последней. Как видно из схемы уровней, с резонансного уровня  $6p^1P_1^0$  начинается и линия генерации 1,13 мкм. Конечный уровень этого перехода  $5d^1D_2$ . Генерация на этой линии существует во время разогрева трубки.

В верхней части рисунка показаны три более высоких резонансных уровня. Все они связаны с основным уровнем сравнительно сильными оптическими переходами. Они также могут относительно эффективно возбуждаться из основного состояния электронами, хотя и не так сильно, как первый резонансный уровень, с которого начинается линия 1,5 мкм.

Использованная в данной работе система питания разряда позволяла получать импульсы тока длительностью  $\sim 0,5$  мкс. При таких коротких импульсах накачки механизм создания инверсии за счет сильного возбуждения резонансных уровней прямым электронным ударом и слабого заселения метастабильных уровней оказывается весьма эффективным. Поэтому можно утверждать, что в данных экспериментальных условиях именно переходы с резонансного уровня на метастабильный играют основную роль и обеспечивают достаточно мощную генерацию.

### *Исследования лазера на парах бария от давления и рода буферного газа*

**Техника эксперимента.** В наших экспериментах исследования проводились с газоразрядной трубкой, работающей также в режиме саморазогрева. Импульсный разряд зажигался в трубке из BeO длиной 500 мм и диаметром 15 мм. Выходные окна были выполнены из оптического кварца, которые пропускают излучение до 2 мкм. В качестве буферных газов применялись гелий и неон. Импульсно-периодический разряд осуществлялся с использованием «прямой» схемы возбуждения [1]. В качестве схемы возбуждения применялись «прямая» схема возбуждения и ее модификации. Частота следования импульсов возбуждения изменялась от 8 до 12 кГц. Напряжение на газоразрядной трубке (ГРТ) 16 кВт. Импульс тока через ГРТ до 300 А. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Формирующий излучение резонатор состоял из плоскопараллельного металлического зеркала и плоскопараллельной пластинки из кварца, через которую генерация выводилась из резонатора. Высокое напряжение подавалось на электроды газоразрядной трубки 3. Мощность генерации регистрировали с помощью калориметрического измерителя мощности ИМО – 9, перед которым ставился ослабитель 6. Для исследования спектрального состава генерации использовался монохроматор МДР-23 – 7.

С помощью двух плоскопараллельных металлических зеркал 4, 5 излучение попадало на кварцевую линзу 10, которая фокусировала излучение на входную щель монохроматора. Для регистрации импульсов тока исполь-

зовался пояс Роговского 11. На выходе монохроматора стоял фотоприемник ФЭУ – 8. ФЭУ подбирался по своей фоточувствительности исходя из исследуемой области длин волн. Для регистрации формы импульсов тока и генерации использовался осциллограф 12 (Tektronix TDS 12–20).

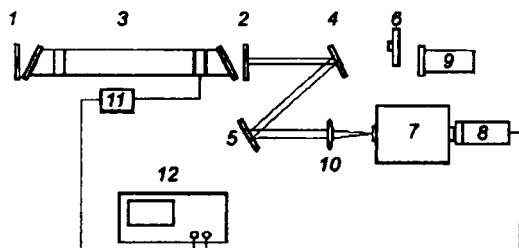


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки:  
 1, 2 – плоскопараллельный резонатор; 3 – ГРТ; 4, 5 – зеркала;  
 6 – ослабитель; 7 – монохроматор; 8 – фотозлектронный  
 умножитель; 9 – измеритель мощности;  
 10 – линза; 11 – пояс Роговского; 12 – осциллограф

**Результаты исследования лазера на парах бария.** Так как в газоразрядной трубке окна были выполнены из кварца, пропускающая излучение только до 2 мкм, в спектр излучения входили линии с длиной волны – 1,13; 1,5; 1,82 и 1,9 мкм согласно работам [2, 3, 5].

В экспериментах по исследованию спектрального состава использовали фотоприемники ФЭУ-62, ФЭУ-83. В условиях нашего эксперимента исследовалась генерация в ИК области на линиях 1,13 и 1,5 мкм. Генерация в видимой области на ионных линиях 614,2 и 649,7 нм не исследовалась.

На рис. 3 представлены результаты мощности генерации  $P_a$  на  $\lambda = 1,5$  мкм в зависимости от давления буферного газа He. По мере появления и роста мощности генерации на линии 1,5 мкм ( $P_{He} = 50$  Торр), мощность генерации на линии 1,13 мкм начинает падать. При максимальной мощности генерации на линии 1,5 мкм ( $P_{He} = 200$  Торр) генерация на линии 1,13 мкм практически исчезает (рис. 3). Мощность генерации 1,13 мкм продолжает существовать при малых давлениях буферного газа порядка 20–50 Торр. Если в качестве буферного газа применять смесь гелия с неоном ( $P_{He} = 20$  Торр,  $P_{Ne} = 25$  Торр), то генерация на линии 1,13 мкм не исчезает с появлением и увеличением мощности генерации на линии 1,5 мкм. В этих условиях суммарная мощность генерации максимальная 1,720 Вт. По мере разогрева газоразрядной трубки происходит перераспределение мощности генерации.

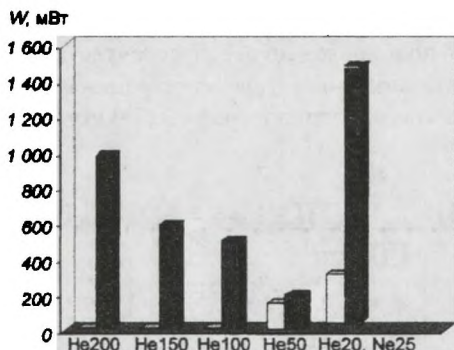


Рис. 3. Зависимость максимальной мощности генерации линии 1,5 мкм (правый темный столбец) от давления и рода буферного газа. Светлый столбец – мощность генерации на линии 1,13 мкм

В экспериментах по увеличению мощности генерации резонатор длиной 100 см состоял из «глухого» позолоченного зеркала с радиусом кривизны 5 м и плоскопараллельной пластинки из кварца. Напряжение на конденсаторе составляло 4–5,5 кВ, частота следования импульсов была 15 кГц. Суммарная мощность генерации (на линиях с  $\lambda < 2$  мкм) была получена с буферным газом неоном 25 Торр и достигла 2,5 Вт.

На данный момент разработана лазерная инструментальная система посадки самолётов (ЛИСПС), которая состоит из лазера, генерирующего излучение на длине волны 1,5 мкм и установленного перед взлетно-посадочной полосой (ВПП), и двух фотоприемных матриц, установленных на самолёте. Наиболее подходящим лазерным источником для такой системы может быть лазер на парах бария, так как его основные генерационные линии – 1,13; 1,5 мкм [1].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Солдатов А.Н., Соломонов В.И.* Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Новосибирск, 1985. С. 149.
2. *Исаев А.А., Казарян М.А., Петраш Г.Г.* // Квант. электр. 1973. № 4 (16). С. 505.
3. *Исаев А.А., Казарян М.А., Петраш Г.Г.* // Квант. электр. 1973. № 7. С. 62.
4. *Moore C.* // Atomic Energy Levels. Circular NBS. 1958. P. 233.
5. *Sahuzac P.J.* // Physique. 1971. Vol. 32. P. 499.