

## УПРАВЛЕНИЕ ГЕНЕРАЦИЕЙ CuBr-ЛАЗЕРА

Ф.А. Губарев<sup>1,2</sup>, В.Ф. Федоров<sup>2</sup>, Г.С. Евтушенко<sup>1</sup>, М.В. Тригуб<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

E-mail: ime@tpu.ru

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск

E-mail: qel@asd.iao.ru

*Показана возможность управления генерацией CuBr-лазера с транзисторным коммутатором путем изменения формы импульса возбуждения. Формирование дополнительного предимпульса малой амплитуды либо искажение переднего фронта импульса накачки позволяет уменьшать энергию в импульсе генерации как частично, так и до полного подавления.*

### Ключевые слова:

*Лазер на парах металла, CuBr-лазер, управление, транзисторный коммутатор, модуляция излучения.*

### Key words:

*Metal-vapor laser, copper-bromide laser, solid-state switch, lasing control, lasing modulation.*

### Введение

Для ряда применений лазеров на парах металлов, таких как микрообработка материалов, передача информации, демонстрационные системы и др., требуется управление параметрами лазерного излучения в каждом отдельном импульсе генерации. Поэтому вопросы оперативного управления характеристиками лазеров на парах металлов всегда являются актуальными.

Одним из методов управления мощностью генерации лазера является цуговый режим работы, при котором пауза между цугами импульсов формируется путем выключения импульсов накачки. Такой режим работы может успешно применяться при работе с активными элементами лазеров, имеющими внешний нагрев [1]. Однако особенностью цугового режима работы лазеров на парах галогенидов металлов (ЛПГМ), в частности на парах бромида меди, является нелинейная зависимость энергии в первых импульсах цуга от паузы между цугами, обусловленная восстановлением галогенида в межимпульсный период [2, 3]. Это может являться ограничивающим фактором при использовании CuBr-лазеров, например, в информационных системах.

В работах [4–7] предложены и реализованы методы оперативного управления характеристиками излучения лазеров на парах металлов путем введения дополнительных импульсов возбуждения. Механизм управления заключается в воздействии дополнительными импульсами на концентрацию атомов металла в метастабильном состоянии. При этом воздействие может проявляться, как в снижении скорости релаксации метастабильного уровня в межимпульсный период [4, 5], так и в его заселении непосредственно перед основным импульсом накачки [6, 7]. При таком управлении энерговклад в разряд остается постоянным, независимо от того, имеет ли место генерация или нет, что особенно важно при саморазогревном режиме работы активного элемента [8]. Недостатком данного способа

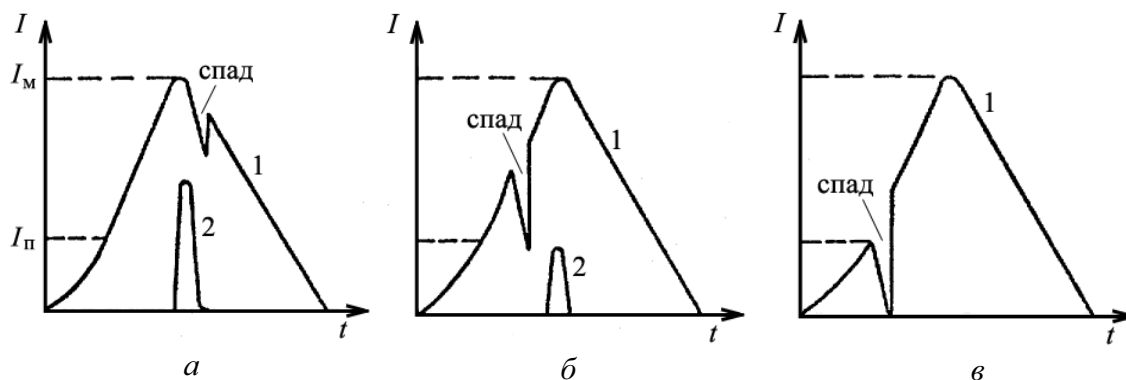
управления является наличие двух импульсных источников накачки (для формирования основного и дополнительного импульсов возбуждения), что приводит к увеличению массогабаритных параметров и стоимости устройства, особенно если в качестве коммутаторов используются водородные тиратроны или другие газоразрядные приборы. Следует отметить, что в работах [4–7] исследовались лазеры на парах чистых металлов. В случае ЛПГМ, когда импульс накачки одновременно выполняет и функцию диссоциации молекул галогенида, регулярный характер импульсов накачки будет обеспечивать стационарную концентрацию атомов меди, соответственно, энергия в импульсах генерации будет зависеть только от положения дополнительного импульса.

В патенте [9] предложен способ возбуждения лазеров на парах химических элементов, заключающийся в формировании периодически повторяющихся импульсов возбуждения и отличающийся тем, что, с целью оперативного управления импульсной и средней мощностью генерации, передний фронт импульса возбуждения формируется со спадом (рис. 1, б, в). От положения спада на переднем фронте импульса тока и его глубины будет зависеть энергия в импульсе генерации. В последнем случае (рис. 1, в) генерация полностью пропадает. Спад на заднем фронте импульса тока (рис. 1, а) не оказывает влияния на энергию генерации.

В настоящей работе реализован предложенный в [9] способ управления генерацией на примере малогабаритного CuBr-лазера с транзисторным коммутатором.

### 1. Техника эксперимента

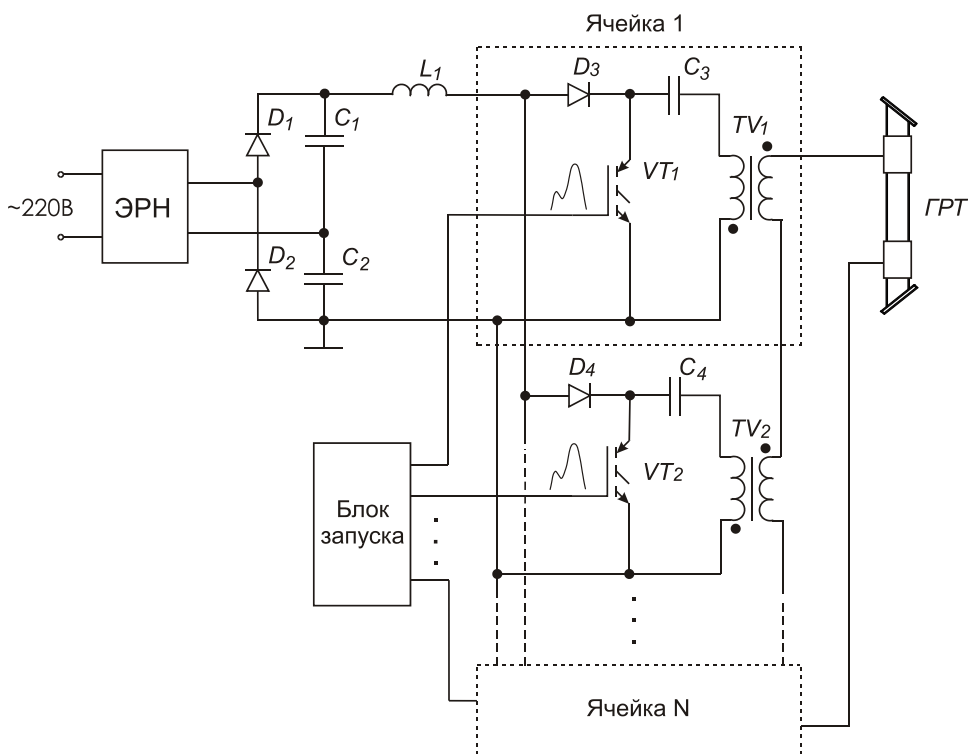
В экспериментах использовалась конструкция активного элемента с внешним нагревом, аналогичная описанной в работах [1–3]. Кварцевая газоразрядная трубка (ГРТ) имела длину рабочего канала 40 см и внутренний диаметр 0,7 см. Давление буферного газа неона составляло 4 кПа.



**Рис. 1.** Способ оперативного управления мощностью генерации лазера [9]: а) спад на заднем фронте импульса тока, б, в) спад на переднем фронте импульса тока. 1) импульс тока; 2) импульс генерации.  $I_m$  – амплитуда тока;  $I_p$  – пороговое значение тока на переднем фронте импульса, соответствующее моменту срыва генерации

Схема возбуждения лазера приведена на рис. 2. Силовая часть схемы аналогична [10, 11] и выполнена на IGBT-транзисторах типа IRGPS60B120KDP. Электронный регулятор напряжения (ЭРН) обеспечивает плавное изменение напряжения питания схемы. Выходное напряжение ЭРН выпрямляется по схеме удвоения, что позволяет получить постоянное напряжение  $\sim 600$  В.  $L_1$  – токоограничивающий дроссель. Напряжение на трубке формируется путем последовательно-параллельного включения б-и ячеек, каждая из которых состоит из диода, конденсатора, силового ключа и трансформатора. Первичные обмотки трансформаторов включены параллельно, а вторичные

– последовательно. Трансформаторы выполнены на ферритовых кольцах типа K45x28x12 M2000HM1. Коэффициент трансформации каждой ячейки – 1,25. Включение транзисторов осуществлялось импульсами специальной формы таким образом, чтобы транзисторы некоторое время (изменялось в ходе экспериментов) находились в активном режиме. Осциллограммы запускающих импульсов для разных режимов управления показаны на рис. 3. Под «глубиной управления» будет пониматься время  $t_y$  между первым и вторым нарастанием напряжения на фронте импульса запуска. Частота следования импульсов накачки равнялась 20 кГц и не менялась в ходе экспериментов.



**Рис. 2.** Схема накачки лазера

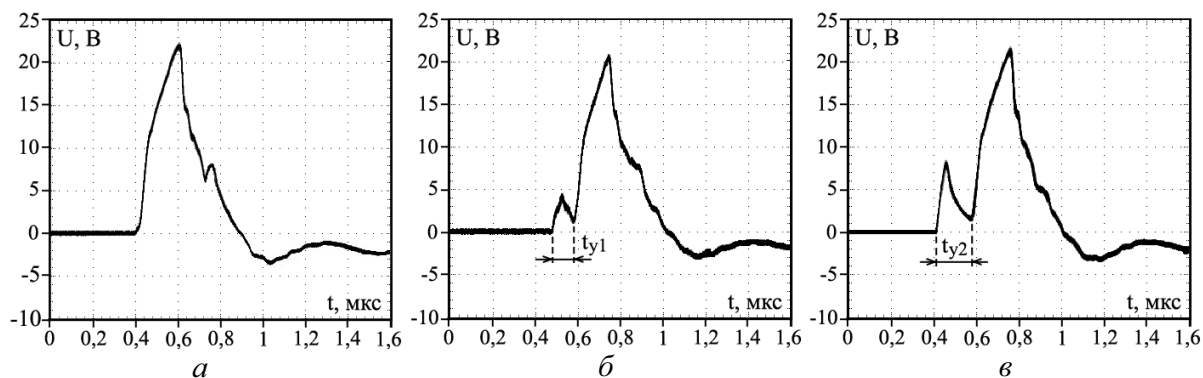


Рис. 3. Осциллограммы запускающих импульсов: а) без управления; б, в) с управлением,  $t_{y1}$ ,  $t_{y2}$  – глубина управления

Регистрация импульсов тока и напряжения производилась с помощью датчика тока Pearson Current Monitors 8450 и пробника напряжения Tektronix P6015A. Импульсы генерации контролировались с использованием коаксиального фотоэлемента ФК-22. Регистрируемые датчиками сигналы подавались на осциллограф Tektronix TDS3032. Средняя мощность излучения измерялась термоголовкой 20C-SH с отображением на дисплее Orion/TH фирмы Ophir. В стационарном режиме средняя мощность генерации лазера  $P_g$ , суммарная по обеим длинам волн, составляла 0,2 Вт при потребляемой мощности 300 Вт.

## 2. Результаты экспериментов

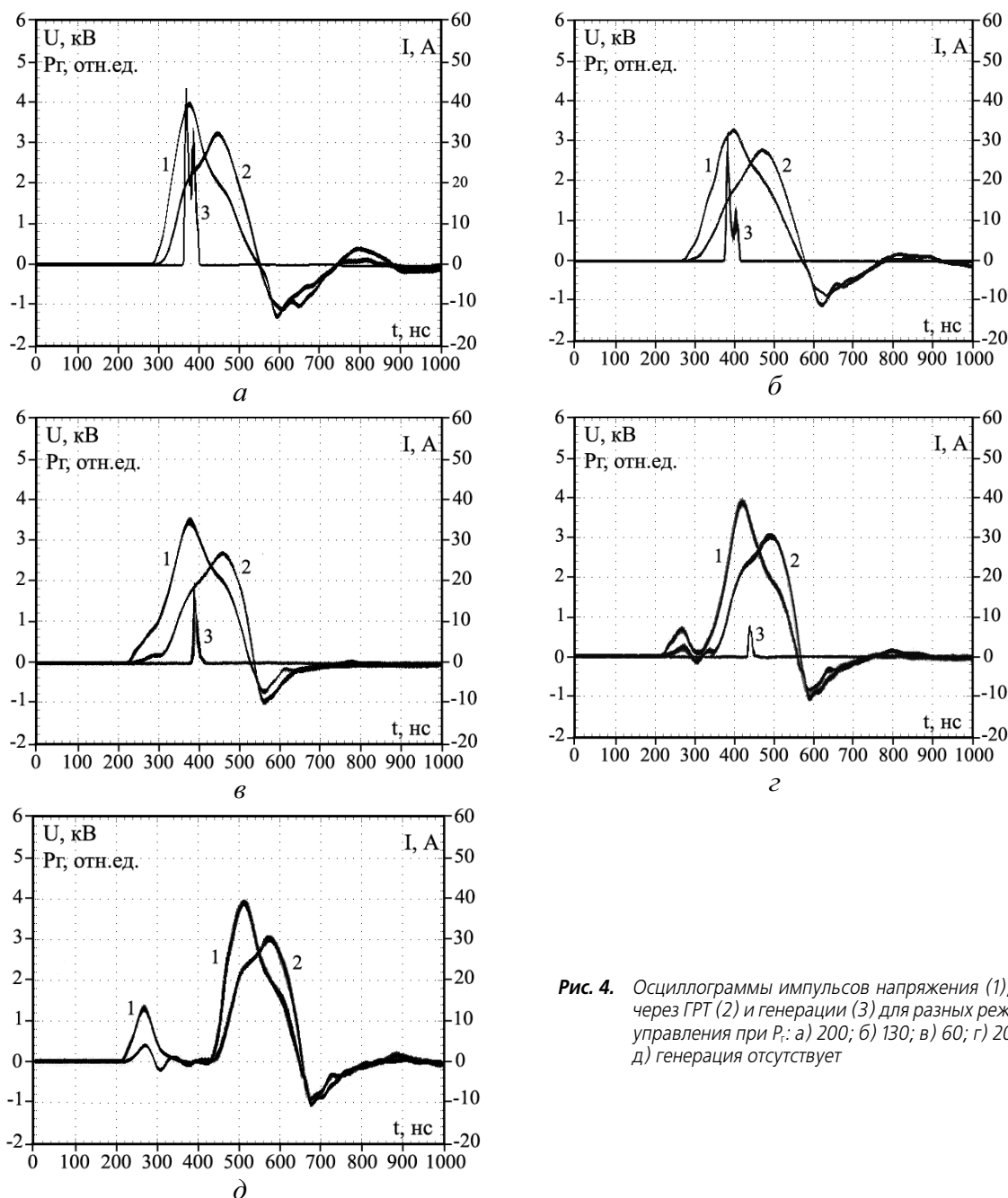
На рис. 4 представлены осциллограммы напряжения, тока через ГРТ и генерации для четырех режимов управления. Рис. 4, а – обычный режим (без управления, импульс запуска на рис. 3, а), рис. 4, б–г – промежуточные режимы, энергия генерации уменьшается по мере увеличения длительности «полки» на переднем фронте импульса тока (импульс запуска для случая г) приведен на рис. 3, б). Таким образом, управление мощностью генерации реализуется при изменении длительности «полки» на фронте импульса накачки примерно от 20 до 100 нс. При этом наблюдается увеличение доли желтого излучения ( $\lambda=578,2$  нм), т. е. по мере затягивания переднего фронта импульса тока в большей степени подавляется генерация на зеленой линии ( $\lambda=510,6$  нм). Аналогичное поведение линий генерации наблюдалось в работе [8] при изменении задержки между основным и дополнительными импульсами в интервале 50...100 нс.

При минимальной глубине управления как таковой «полки» не наблюдается, но уменьшается скорость нарастания тока, в частности, с 0,24 А/нс (рис. 4, а) до 0,14 А/нс (рис. 4, б). Этому соответствует уменьшение средней мощности генерации с 200 до 130 мВт. Скорость нарастания напряжения на ГРТ как в этом случае, так и при наличии полки на переднем фронте импульса тока (рис. 4, в), также снижается.

При увеличении глубины управления больше ~100 нс импульс напряжения на ГРТ, также как и импульс тока, фактически разделяется на два импульса: основной, в котором сосредоточена большая часть энергии накачки, и предимпульс (рис. 4, д). В случае, представленном на рис. 4, д, достигается полное подавление генерации (импульс запуска для этого режима показан на рис. 3, в). При этом потребляемая от сети мощность не меняется, амплитуды тока и напряжения на ГРТ остаются такими же, как и без управления (рис. 4, а). Соответственно, энерговыход в разряд остается примерно постоянным, а значит, степень диссоциации молекул CuVg в разряде также будет отличаться незначительно.

Управление генерацией происходит посредством воздействия на электронную компоненту плазмы. Известно, что эффективное возбуждение резонансных уровней происходит, когда энергия электронов превышает 1,7 эВ [6], в противном случае более эффективно заселяются метастабильные состояния. Таким образом, снижение скорости нарастания напряжения на разрядном промежутке либо введение предимпульса с малой амплитудой приводит к снижению эффективности накачки верхних резонансных рабочих уровней и заселению нижних метастабильных. Как следствие, снижается инверсия населенностей.

Режим управления посредством воздействия на импульс накачки позволяет осуществлять модуляцию излучения с точностью до одного импульса. На рис. 5, б, показан цуговой режим генерации, а также алгоритм управления. По высокому уровню управляющего сигнала (последовательность 2 на рис. 5, б) формируется предимпульс, осуществляющий гашение генерации. Можно заметить, что амплитуда импульсов в цуге генерации одинаковая и даже незначительно больше по сравнению с режимом регулярных импульсов (рис. 5, а). Увеличение амплитуды, вероятно, обусловлено ростом концентрации атомов меди вследствие диссоциации CuVg за счет дополнительного (незначительного) энерговыхода в предимпульсе.



**Рис. 4.** Осциллограммы импульсов напряжения (1), тока через ГРТ (2) и генерации (3) для разных режимов управления при  $P$ : а) 200; б) 130; в) 60; г) 20 мВт; д) генерация отсутствует

### Заключение

Показано, что управлением формой импульса возбуждения – изменением крутизны или формированием «полки» на переднем фронте можно изменять энергию в импульсе генерации и среднюю мощность CuVg-лазера. Управление может осуществляться модуляцией каждого отдельно взятого импульса из их последовательности. При соответствующем выборе режима управления возможно полное подавление вынужденного излучения. Реализован цуговой режим генерации путем периодического подавления нескольких импульсов. При таком способе формирования цугов, уменьшения энергии в импульсах излучения после паузы не наблюдается, как это имеет место при цуговом харак-

тере накачки лазеров на парах галогенидов металлов, в частности CuVg-лазеров.

Реализованный в работе способ управления генерацией лазеров на парах металлов позволяет формировать заданную последовательность импульсов излучения либо управлять средней мощностью лазера без применения дополнительных внешних устройств, например, оптических затворов. Лазеры с таким способом управления генерацией могут найти применение как в технологических, так и информационных системах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации: проект: РНП.2.1.2/1425.*

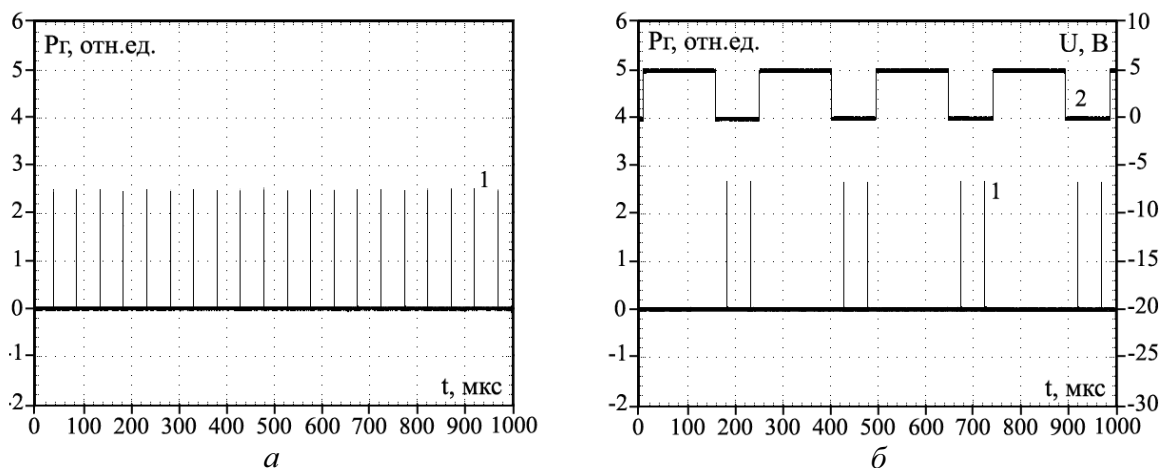


Рис. 5. Последовательность импульсов генерации в регулярном импульсно-периодическом (а) и цуговом режимах (б): 1) импульсы генерации; 2) управляющая последовательность

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 62742 РФ. МПК<sup>8</sup> H01S 3/08. Активный элемент лазера на парах галогенида металла / В.Б. Суханов, В.О. Троицкий, Ф.А. Губарев, А.И. Иванов. Заявлено 30.09.2005; Опубл. 27.04.2007, Бюл. № 12. – 6 с.: ил.
2. Губарев Ф.А., Суханов В.Б., Шиянов Д.В., Евтушенко Г.С. Исследование энергетических характеристик лазера на парах бромида меди с пониженным энерговыделением в разряд // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21. – № 1. – С. 85–93.
3. Димаки В.А., Суханов В.Б., Троицкий В.О., Филонов А.Г. Экспериментальное исследование цугового и ждущего режимов работы лазера на парах бромида меди // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 4. – С. 111–114.
4. Пат. 2082263 РФ. МПК<sup>6</sup> H01S 3/097. Способ возбуждения импульсных лазеров на самоограниченных переходах / А.С. Скрипниченко, А.Н. Солдатов, Н.А. Юдин. Заявлено 02.04.1992; Опубл. 20.06.1997.
5. Polunin Yu.P., Soldatov A.N. A multiple-wavelength metal vapor lasers with controllable lasing characteristics in visible and IR range // Atomic and Molecular Pulsed Lasers: The 9<sup>th</sup> Intern. Conf. Proc. – Tomsk, IAO SB RAS, 2009. – P. 35.
6. Батенин В.М., Бучанов В.В., Казарян М.А., Климовский И.И., Молодых Э.И. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. – М.: Научная книга, 1998. – 544 с., ил.
7. Пат. 2251179 РФ. МПК<sup>7</sup> H01S 3/097. Способ возбуждения импульсных лазеров на самоограниченных переходах атомов металлов, работающих в режиме саморазогрева, и устройство для его осуществления / Н.М. Лепехин, Ю.С. Присеко, В.Г. Филиппов, Н.А. Лябин, А.Д. Чурсин. Заявлено 11.07.2003; Опубл. 27.04.2005, Бюл. № 12. – 15 с.: ил.
8. Лепехин Н.М., Присеко Ю.С., Филиппов В.Г., Карпунин В.Т., Маликов М.М., Лябин Н.А., Чурсин А.Д. Энергетические характеристики излучения саморазогревного промышленного лазера KULON-10 Cu-M // Квантовая электроника. – 2007. – Т. 37. – № 8. – С. 765–769.
9. Пат. 1160908 РФ. МПК<sup>3</sup> H01S 3/097. Способ возбуждения лазеров на парах химических элементов / А.Н. Солдатов, В.Ф. Федоров. Заявлено 11.01.1983; Опубл. 30.01.1993.
10. Суханов В.Б., Татур В.В. Оптимизация режима работы источника накачки CuBr-лазера с транзисторным коммутатором // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 314. – № 2. – С. 108–110.
11. Тригуб М.В., Федоров В.Ф., Евтушенко Г.С. Полупроводниковый источник накачки лазера на парах бромида меди // Современные техника и технологии СТТ–2009: Труды XV Междунар. научно-практ. конф. студентов и молодых ученых. – ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – Т. 1. – С. 245–247.

Поступила 06.10.2009 г.