

УДК 621.373.826.038.824

## ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЗОЛЬ-ГЕЛЬНОЙ МАТРИЦЕ, АКТИВИРОВАННОЙ РОДАМИНОМ 6Ж

В. Г. Баленко<sup>1</sup>, А. Н. Киркин, А. В. Ковтун, Б. Я. Коган<sup>1</sup>, В. М. Мизин<sup>1</sup>

*Исследована лазерная генерация в золь-гельном стекле, активированном родамином 6Ж. Образцы, изготовленные по модифицированной золь-гельной технологии, показали высокую стабильность. При накачке 20-нс импульсами второй гармоники Nd:YAG лазера получены импульсы лазера на красителе с энергией до 6 мДж. Эффективность лазерной генерации была около 70%.*

Лазеры на красителях широко используются в качестве источников излучения для современных научных исследований и разнообразных прикладных задач. Наиболее распространенным типом этих лазеров являются лазеры на растворах органических красителей. Их важным достоинством является возможность перестройки длины волны излучения в пределах сравнительно широкой (десятки нанометров) линии люминесценции красителя. В лазерах на красителях получены различные режимы генерации (в частности, свободная генерация, модуляция добротности, синхронизация мод) и различные длительности лазерных импульсов – в том числе освоены субпикосекундный и фемтосекундный временные диапазоны. Важным элементом лазеров на растворах органических красителей является система прокачки активного вещества. Присутствие этого элемента в конструкции лазера затрудняет переход на другой краситель при необходимости получения генерации на длине волны, лежащей вне пределов полосы люминесценции данного красителя. В таких случаях систему прокачки обычно заменяют из-за невозможности чисто промыть ее. Еще одним недостатком лазеров на растворах

<sup>1</sup>ГНЦ РФ "НИОПИК".

органических красителей является то, что молекулы красителя находятся в контакте с кислородом и органическими веществами, что ухудшает стабильность молекул активного вещества.

В связи с этим значительный интерес представляет разработка твердотельных лазерных сред, активированных красителями. Естественно, что технология создания такой среды должна быть низкотемпературной, чтобы не разрушить молекулы красителя в процессе изготовления. К числу твердотельных сред, используемых для разработки лазеров данного типа, относятся полимеры [1 – 3] и золь-гельные матрицы [4 – 6]. В нашей предыдущей работе [3] мы получили генерацию в акриловом полимере, активированном красителем феналемин 512. При накачке активного полимерного элемента 200-нс импульсами второй гармоники излучения *Nd:YAG* лазера с частотой следования 1 кГц получена средняя мощность излучения лазера на красителе 2 мВт при эффективности преобразования  $\approx 10\%$ . Ресурс работы активного элемента  $\varnothing 40 \times 3$  мм<sup>2</sup> составлял  $\sim 10^7$  лазерных импульсов. Однако наши попытки улучшить эффективность преобразования в данном лазере и ресурс работы активного элемента не дали заметных результатов. Это было связано с недостаточной фотостабильностью красителя в полимерной матрице и сильными оптическими неоднородностями, образующимися в активной среде при работе лазера.

Поиск более совершенных сред для твердотельных лазеров на красителях привел нас к исследованию золь-гельных матриц. Использование этих сред привело в последние годы к созданию активных лазерных элементов с высокой стабильностью [4 – 6]. В настоящей работе изложены наши первые результаты, полученные при исследовании лазерной генерации в золь-гельных матрицах, активированных органическими красителями. Технология приготовления образцов была модифицирована по сравнению с технологией, использовавшейся в [4 – 6], и будет описана в наших следующих публикациях. Нами были испытаны три образца золь-гельного стекла с концентрацией родамина 6Ж  $(1,5 - 1,6) \cdot 10^{-4}$  моль/л. Все они имели толщину 2 мм. Образцы, использовавшиеся в наших первых экспериментах, имели высокую объемную оптическую однородность, но их поверхность специально не обрабатывалась. Для устранения поверхностной неоднородности образцов в предварительных лазерных экспериментах они опускались в стеклянную кювету толщиной 3 – 4 мм, заполненную глицерином.

Блок-схема лазерной установки, применявшейся для исследования лазерной генерации, приведена на рис. 1. Мы использовали плоскопараллельный лазерный резонатор длиной 27 см, образованный диэлектрическими зеркалами  $M_1$  и  $M_2$ . Входное зеркало  $M_1$

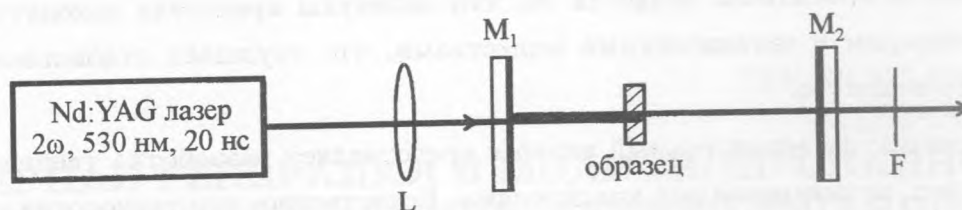


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

имело пропускание  $T_1 = 87\%$  на длине волны накачки  $530 \text{ нм}$  и коэффициент отражения  $R_1 = 97\%$  в области  $580 - 585 \text{ нм}$ , в которой мы наблюдали генерацию. Коэффициент отражения выходного зеркала  $M_2$  в области  $580 - 585 \text{ нм}$  был  $R_2 = 60\%$ . Активный лазерный элемент размещался примерно посередине между зеркалами и накачивался второй гармоникой излучения  $Nd:YAG$  лазера, работавшего в режиме модуляции добротности пассивным затвором и состоявшего из генератора и одного каскада усиления. Излучение  $Nd:YAG$  лазера преобразовывалось во вторую гармонику кристаллом  $KDP$ . Импульсы излучения на длине волны  $530 \text{ нм}$  имели длительность  $20 \text{ нс}$  и энергию до  $10 \text{ мДж}$ . Пучок накачки фокусировался в образец золь-гельного стекла линзой  $L$  с фокусным расстоянием  $f = 19 \text{ см}$ , положение которой относительно образца в экспериментах варьировалось. Оптический фильтр  $OC-13$  ( $F$  на рис. 1), расположенный на выходе резонатора, отсекал не поглощенную в образце часть излучения накачки. Энергия лазерных импульсов измерялась калориметром ИМО-2Н.  $Nd:YAG$  лазер работал с частотой следования импульсов  $\sim 1 \text{ Гц}$ .

На рис. 2 приведена зависимость энергии генерации лазера на красителе от энергии импульсов накачки для одного из образцов с концентрацией красителя  $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$ . Энергии накачки, приведенные на рисунке, соответствуют пучку накачки на выходе фокусирующей линзы. Данные приведены для образца, расположенного на расстоянии  $2 \text{ см}$  за фокусом линзы (площадь пучка накачки на образце  $\approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$ ). Пороговая накачка равнялась  $0,5 \text{ мДж}$ . Эффективность генерации была  $\eta \approx 70\%$  и оказалась примерно одинаковой для всех трех образцов. Зарегистрированное в экспериментах уменьшение эффективности генерации при максимальной энергии накачки может быть обусловлено насыщением поглощения накачки в активном лазерном элементе.

Для изучения стабильности лазерной генерации мы поместили один из образцов вблизи фокуса линзы  $L$  и контролировали зависимость энергии импульсов лазера на красителе от числа лазерных вспышек. В этом эксперименте использовался один и тот



Рис. 2. Экспериментальная зависимость энергии импульсов генерации от энергии импульсов накачки.

же участок образца, энергия импульсов накачки равнялась 4 мДж, а *Nd:YAG* лазер работал с частотой  $1/3$  Гц. Было произведено 2400 вспышек без заметного снижения энергии генерации. Для сравнения изучалась стабильность генерации родамина 6Ж в полистироле. Через 50 лазерных вспышек энергия генерации полистирольного активного элемента уменьшилась в два раза. Исследованные нами первые образцы, изготовленные по модифицированной золь-гельной технологии, показали стабильность оптических характеристик и лазерных параметров в течение двух месяцев работы. При этом энергия лазерных импульсов и эффективность генерации, полученные в наших экспериментах, близки к соответствующим значениям, полученным в работе [6], в которой, насколько мы знаем, приведены лучшие на настоящий день результаты по лазерной генерации в золь-гельных матрицах, активированных органическими красителями. В этой работе использовались образцы, активированные периленами и пирометинами. В настоящее время проводится усовершенствование разработанной нами золь-гельной технологии. Она будет описана в наших последующих публикациях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бондар М. В., Пржонская О. В., Тихонов Е. А. и др. Квантовая электроника, **12**, N 12, 2465 (1985).

- [2] Hermef R. H., Alik T. H., Chandra F., and Hatchinson J. A. Appl. Phys. Lett., **63**, 877 (1993).
- [3] Баленко В. Г., Долотов С. М., Киркин А. Н. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 7 – 8, 50 (1994).
- [4] Canva M., Georges P., Perelgritz J. -F., et al. Appl. Opt., **34**, no. 3, 428 (1995).
- [5] Dubois A., Canva M., Brun A., et al. Appl. Opt., **35**, no. 18, 3193 (1996).
- [6] Faloss M., Canva M., Georges P., et al. Appl. Opt., **36**, no. 27, 6760 (1997).

Поступила в редакцию 26 июня 1998 г.