

УДК 621.373 : 535

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ШИРОКОАПЕРТУРНЫМ ТВЕРДОТЕЛЬНО-ЖИДКОСТНЫМ АКТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ НА ОСНОВЕ КРАСИТЕЛЕЙ

*Еременко А. С., Земский В. И., Колесников Ю. Л., Малинин Б. Г.,
Мешковский И. К., Савкин Н. П., Степанов В. Е., Шильдяев В. С.*

Исследованы генерационные характеристики активного элемента, состоящего из мелкопористой силикатной матрицы, в поры которой введены молекулы красителя (родамин 6Ж) и этанольный раствор этого же красителя. Показано, что в условиях больших тепловыделений (когда в растворах красителей начинают проявляться термооптические искажения) твердо-жидкостный элемент сохраняет стабильность своих генерационных характеристик.

В настоящее время широко используются активные среды (АС) на основе растворов органических красителей. Очевидным достоинством таких сред является то, что сравнительно простыми методами можно изготавливать жидкостные активные элементы (ЖАЭ) необходимых размеров и хорошего оптического качества. Однако сильная зависимость показателя преломления растворителей от температуры ($dn/dT \sim 5 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$) отрицательно сказывается на пространственных и энергетических характеристиках генерируемого излучения, особенно в периодическом режиме работы (при наличии больших тепловыделений в АС), поэтому поиск и создание АС на основе органических красителей, обладающих улучшенными термооптическими характеристиками, является актуальной задачей.

В [1] описан твердотельный активный элемент (ТАЭ), в котором краситель распределен в твердотельной матрице из мелкопористого стекла (ПС). Малые значения dn/dT ($\sim 2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) материала матрицы гарантируют хорошие термооптические характеристики ТАЭ, но наличие пор приводит к дополнительному рассеянию света. Введение в поры матрицы иммертирующей жидкости позволяет значительно улучшить оптическую однородность активного элемента [2] при некотором ухудшении, однако, его термооптики.

Цель настоящей работы — исследование характеристик твердо-жидкостного активного элемента (ТЖАЭ) при широкоапертурной периодической накачке (в условиях большого тепловыделения).

Пористые образцы, составляющие твердотельный каркас композиции, изготавливались из натриево-боросиликатного стекла [3], обработанного по технологии, описанной в [4]. В результате были получены образцы ПС, имеющие пористую структуру, исследованную в [5, 6]. Суммарный объем пор составляет $\sim 25\%$ от объема образца и практически весь он образован порами, размеры которых соответствуют эффективному радиусу эквивалентного модельного пористого тела (35 ± 5) Å [7]. Средняя эффективная концентрация пор, рассчитанная по модели хаотически расположенных сфер [8], составляет $\sim 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Удельная поверхность ПС, исследованная по БЭТ, составляет $150 \text{ м}^2/\text{см}^3$, удельная теплоемкость — $1100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, теплопроводность — $0.84 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, температуропроводность — $0.46 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, плотность — $1.52 \text{ г}/\text{см}^3$. Показатель преломления ПС, измеренный гониометрическим методом, для D-линии натрия $n_D = 1.355$, средняя дисперсия $n_F - n_C = 3.06 \cdot 10^{-2}$, число Аббе $\nu_D' = 11.60$. Наличие пор приводит к небольшой анизотропии (разность

показателя преломления 0.002). Оптическая ось направлена перпендикулярно к поверхности пластины.

Краситель — родамин 6Ж марки ДКЭ (Р6Ж) — вводился в приготовленные образцы ПС адсорбцией из этанольного раствора, причем концентрация его в матрице была больше равновесной концентрации в растворе примерно в 75 раз. Концентрация молекул в образце определялась спектрофотометрически по убыли концентрации молекул в растворе [9] и варьировалась в пределах $(1-5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Спектрально-люминесцентные характеристики ЖАЭ и ТЖАЭ практически идентичны. Экспериментальные образцы, выполненные в виде дисков (диаметром 45 мм, толщиной 5 мм), попарно помещались в специальную металлическую кювету, торцевые поверхности которой закрыты окнами из стекла К8 со световым диаметром 35 мм. Кювета заполнялась этанольным раствором Р6Ж. Концентрация красителя в растворе соответствовала равновесной концентрации красителя в пористой матрице.

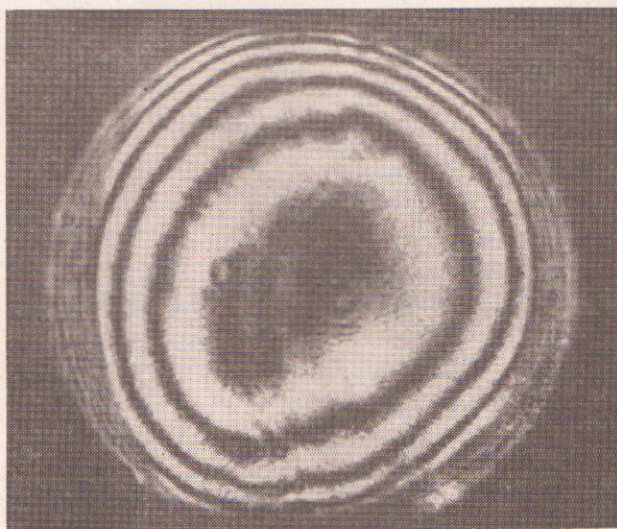


Рис. 1. Интерференграмма твердотельно-жидкостного активного элемента (интерференграмма получена на световом диаметре 35 мм).

Оптическое качество ТЖАЭ изучалось на интерферометре типа Цендера—Маха. На рис. 1 представлена типичная интерференграмма ТЖАЭ, из которой видно, что на световом диаметре 20 мм на $\lambda=632.8 \text{ нм}$ оптические искажения составляют 0.1 полосы.

Генерационные и пассивные характеристики ТЖАЭ сравнивались с аналогичными характеристиками ЖАЭ (этанольный раствор Р6Ж). Геометрические размеры ЖАЭ были близки к размерам ТЖАЭ. Концентрация красителя в растворе была $2.5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Измерение выходных параметров лазерных преобразователей с ТЖАЭ и ЖАЭ проводилось на экспериментальной установке [10] с квазипродольной накачкой 2-й гармоникой неодимового лазера ($\lambda=532 \text{ нм}$). Длительность импульса накачки 50 нс. Угловая расходимость генерации измерялась по методике, описанной в [11]. Измерения выходных параметров проводились с использованием двух типов резонатора — плоского (ПР) и телескопического (ТР).

Длина ПР составляла 300 мм, коэффициенты отражения зеркал соответственно равнялись 99.5 и 20 %. АС размещалась в 50 мм от выходного зеркала. При работе в ПР были изучены зависимости плотности энергии излучения от плотности энергии накачки лазерных преобразователей с ТЖАЭ и ЖАЭ. Эти зависимости представлены на рис. 2, из которого видно, что для исследованных образцов ТЖАЭ значение коэффициента преобразования излучения накачки

(по энергии) высоко $\sim 45\%$ и близко к значению коэффициента преобразования для ЖАЭ $\sim 55\%$ (приведенные результаты получены при апертуре накачки 1 см^2). При увеличении апертуры накачки до 3 см^2 при тех же плотностях энергии наблюдалось снижение коэффициента преобразования ТЖАЭ до $35\text{--}40\%$. Меньшее значение эффективности преобразования преобразователей с ТЖАЭ по сравнению с ЖАЭ, вероятнее всего, связано с оптической неоднородностью самого ПС.

Величины угловой расходимости генерации ТЖАЭ в преобразователе с ПР в одиночном режиме работы составили 5 угловых минут, а угловая расходимость ЖАЭ, измеренная в тех же условиях, составляет $4.5'$. Однако в периодическом режиме работы угловая расходимость преобразователя с ТЖАЭ остается практически постоянной, тогда как для преобразователя с ЖАЭ увеличивается примерно на 30% .

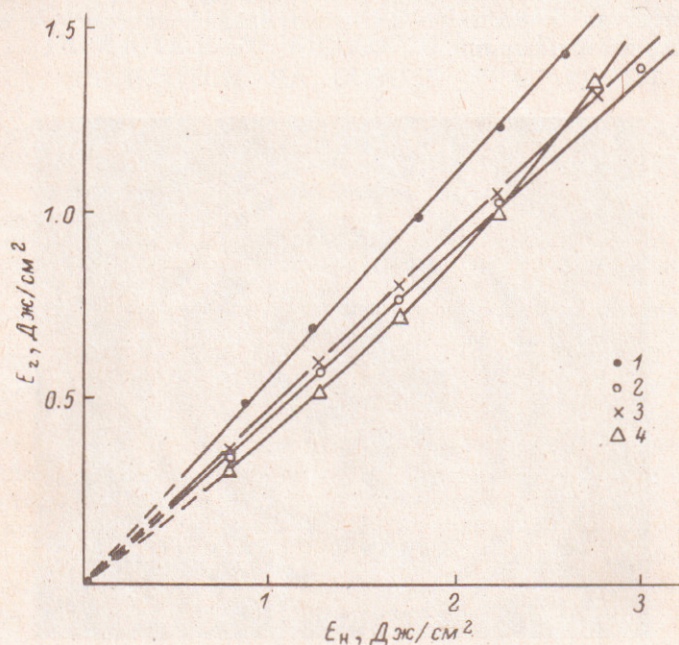


Рис. 2. Зависимость плотности энергии генерации E_g лазерных преобразователей частоты с ЖАЭ (1) и с ТЖАЭ (2)—(4) от плотности энергии накачки E_n .

Концентрация молекул Р6Ж в растворе — $2.5 \cdot 10^{16}\text{ см}^{-3}$ (1), в ПС — $1.2 \cdot 10^{16}$ (2), $2.0 \cdot 10^{16}$ (3), $2.7 \cdot 10^{16}\text{ см}^{-3}$ (4).

С целью дальнейшего снижения угловой расходимости и увеличения яркости излучения преобразователя в нем использовался телескопический резонатор, позволяющий значительно улучшить угловые характеристики генерируемого излучения [12]. Телескопический резонатор имел коэффициент линейного увеличения $M=2.5$, длину резонатора 276 мм. Диаметр выпуклого зеркала 8 мм с радиусом кривизны 359.7 мм, диаметр вогнутого зеркала 20 мм с радиусом кривизны 903.6 мм. В резонаторе ТЖАЭ выставлялся под углом $5\text{--}7^\circ$ к оптической оси резонатора для исключения отражения сходящихся волн. В эксперименте реализовывался симметричный вывод излучения из резонатора. При работе в ТР у ТЖАЭ были установлены окна с просветляющими покрытиями. Измерения показали, что угловая расходимость излучения преобразователя с ТЖАЭ при использовании ТР уменьшается до $1.5'$ при практически постоянном ($\sim 42\%$) значении коэффициента преобразования излучения накачки. При этом яркость излучения увеличивается более чем на порядок по сравнению с преобразователем с ПР (с $6 \cdot 10^5$ до $7 \cdot 10^6$ Дж/(ср.см 2)) при плотностях энергии накачки 2 Дж/см^2 . При работе преобразователя с ТР в периодическом режиме угловая расходимость излучения ТЖАЭ не меняется. Это обусловлено, помимо хороших термооптических свойств АС, присущей неустойчивому резонатору меньшей критичностью к разъюстировке элементов [12].

Проведенные измерения поляризации излучения ТЖАЭ при линейно-поляризованной накачке показали, что степень поляризации генерации P ($P = (I_{\parallel} - I_{\perp}) / (I_{\parallel} + I_{\perp})$) зависит от концентрации молекул Р6Ж в ПС. Степень поляризации излучения преобразователя с ТЖАЭ при увеличении концентрации молекул красителя в ПС в указанных пределах уменьшалась примерно на 10 %, что качественно совпадает с характером зависимости P флуоресценции Р6Ж в ПС от концентрации красителя, полученной в [13].

В результате исследования спектра генерации ТЖАЭ показано, что полоса излучения имеет полуширину около 3 нм с максимумом на 561 нм, что близко к аналогичным параметрам ЖАЭ.

Полученные в данной работе результаты позволяют считать, что ТЖАЭ перспективны для работы в лазерных преобразователях в периодическом режиме следования импульсов, особенно при выходе ТЖАЭ на стационарный тепловой режим, так как они способны обеспечить в этом режиме работы стабильность пространственных характеристик излучения за счет улучшения термооптических характеристик АС. Следует отметить достаточно высокую фотохимическую стойкость ТЖАЭ, которая подтверждается стабильностью энергии излучения в ходе проведения исследований (общее количество импульсов накачки ТЖАЭ с плотностью энергии ~ 2 Дж/см² более 300).

Литература

- [1] Дульнев Г. Н., Земский В. И., Крынецкий Б. Б., Мешковский И. К., Прохоров А. М., Стельмах О. М. — Изв. АН СССР, 1979, т. 43, с. 237.
- [2] Альтшулер Г. Б., Дульнева Е. Г., Мешковский И. К., Крылов К. И. — ЖПС, 1982, т. 36, с. 592.
- [3] Молчанова О. С. Натриевоборосиликатные и пористые стекла. М., 1961. 162 с.
- [4] Мешковский И. К., Соловьев С. С., Степанов В. Е. — ОМП, 1985, № 12, с. 22.
- [5] Мешковский И. К., Белоцерковский Г. М., Плаченев Т. Г. — ЖПХ, 1970, т. 43, с. 87.
- [6] Мешковский И. К., Белоцерковский Г. М., Плаченев Т. Г., Молчанова О. С. — ЖПХ, 1968, т. 41, с. 1452.
- [7] Дубинин М. М. — В кн.: Современная теория капиллярности. Л., 1980, с. 101—125.
- [8] Хейфец Л. И., Неймарк А. В. Многофазные процессы в пористых средах. М., 1982. 320 с.
- [9] Земский В. И., Мешковский И. К., Никанорова Л. А. — ЖПХ, 1984, т. 57, с. 1278.
- [10] Гаврилов О. Д., Грацианов К. В., Еременко А. С., Ланькова С. М., Малинин Б. Г., Степанов А. И. — ЖПС, 1984, т. 40, с. 47.
- [11] Зельдович Б. Я., Пилипецкий П. Ф., Шкунов В. В. — УФН, 1982, т. 138, с. 249.
- [12] Ананьев Ю. А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. М., 1979. 328 с.
- [13] Земский В. И., Колесников Ю. Л., Сечкарев А. В. — Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, с. 781.

Поступило в Редакцию 5 февраля 1986 г.