

Т. Ш. Эфендиев, В. М. Катаркевич, А. Н. Рубинов, В. А. Запорожченко

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПИКОСЕКУНДНЫЙ РОС-ЛАЗЕР НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОГО КРАСИТЕЛЕМ ЖЕЛАТИНОВОГО ГЕЛЯ

Одним из самых важных направлений в оптике, спектроскопии и лазерной физике является изучение сверхбыстрых процессов в веществе с помощью лазерных источников ультракоротких световых импульсов (УКИ). Особенно широкие возможности для проведения исследований в этих направлениях возникли в связи с развитием техники генерации лазерных импульсов фемтосекундной длительности. Такие лазерные устройства, однако, все еще достаточно уникальны и дорогостоящи. В то же время для решения целого ряда задач кинетической спектроскопии нет необходимости в использовании таких импульсов, так как большое количество физических, химических и биологических процессов протекают в пикосекундном временном диапазоне. Поэтому весьма важной является задача создания простых и удобных в эксплуатации лазерных источников, которые могли бы служить основой для автоматизированных спектрометров высокого временного разрешения.

Среди разнообразных систем, способных генерировать одиночные УКИ света, особое место занимают лазеры на красителях с распределенной обратной связью (РОС), которые могут генерировать такие импульсы как при пикосекундном, так и при наносекундном возбуждении [1–7]. Следует также отметить простоту конструкции, надежность и удобство в эксплуатации таких лазеров. До настоящего времени на практике использовались главным образом лазеры с динамической РОС. Как известно, ширина спектра генерации таких лазеров существенно зависит от монохроматичности и расходимости излучения накачки. Это обстоятельство накладывает определенные ограничения на возможность получения узких спектральных линий ($\Delta\lambda \approx 0.01$ нм) в излучении РОС-лазера. В этом отношении РОС-лазеры со стационарными объемными решетками предпочтительнее, так как спектральная ширина линии генерации таких лазеров не зависит от ширины спектра и расходимости излучения источника накачки. Следует отметить, что в литературе отсутствуют сообщения о реализации РОС-лазера со стационарной объемной решеткой, пригодного для практических применений. Волноводные РОС-лазеры на красителях в полимерных плен-

ках со стационарной периодической модуляцией параметров волновода не получили распространение из-за низкой выходной мощности излучения.

Нами предлагается РОС-лазер со стационарными объемными решетками на основе активированного красителем желатинового геля. Такая среда позволяет записывать стационарные объемные решетки с пространственным разрешением не менее 5500 лин/мм [6].

Способ приготовления активной среды РОС-лазера сводился к следующему. Желатин набухал в дистиллированной воде при комнатной температуре, затем раствор помещался в водяную баню ($T \approx 50^\circ\text{C}$) и в него добавлялись краситель и небольшое количество этанола. Приготовленный раствор заливался в герметичную кювету и студенился при комнатной температуре. Готовый раствор представлял собой плотный гель, в котором записывалась стационарная объемная решетка. Следует отметить, что обычно для оптической записи голографических решеток используются сухие слои бихромированной желатины. Запись осуществляется излучением непрерывного лазера. В нашем случае бихромат аммония не используется, а запись решеток осуществляется излучением импульсного лазера.

Запись решеток осуществлялась двумя сходящимися пучками излучения второй гармоники АИГ: Nd^{3+} -лазера при использовании оптической схемы, описанной в [7]. Спектральная ширина излучения второй гармоники составляла $\Delta\lambda_{0,5} \approx 6 \cdot 10^{-3}$ нм, энергия импульса достигала ~ 60 мДж, длительность $\tau_{0,5} \approx 17$ нс, частота следования импульсов – до 50 Гц. Размеры входного окна кюветы с гелем составляли $2 \times 1,2$ см (размеры кюветы с гелем $2,8 \times 2 \times 1$ см), а размеры облучаемой зоны на поверхности геля – $0,01 \times 1$ см. Использовался 10 %-ый водно-желатиновый раствор с концентрацией родамина 6Ж $C \approx 3,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л и 10 %-ой добавкой этанола.

Возбуждение объема геля с записанной решеткой осуществлялось излучением второй гармоники пикосекундного АИГ: Nd^{3+} -лазера с активной синхронизацией мод. Длительность одиночного импульса составляла $\tau_{0,5} \approx 50$ пс, а его энергия $E_n \approx 40$ мкДж. Лазер работал с частотой повторения импульсов $f = 12,5$ Гц. Применение такого лазера в качестве источника накачки позволило получить в исследованном РОС-лазере хорошо воспроизводимую генерацию на длине волны $\lambda_r = 574$ нм с длительностью импульсов ~ 50 пс и частотой повторения 12,5 Гц. Пороговая энергия накачки составляла ~ 10 мкДж.

Длина волны генерации РОС-лазера определяется периодом пространственной решетки d и показателя преломления геля n : $\lambda_r = 2nd$. В пределах рабочей поверхности геля могут быть записаны пространственные решетки различного периода в любой комбинации. Тем самым достигается возможность дискретной перестройки длины волны генерации с любым шагом (вплоть до 0,05 нм) в пределах контура усиления красителя по заранее заданной программе.

На рис. 1 приведена измеренная зависимость КПД генерации РОС-лазера от энергии накачки. Максимальное значение КПД составляет ~8 %, что соответствует мощности одиночного импульса генерации ~60 кВт. Реальный КПД генерации в 2 раза выше, так как здесь учтена энергия лишь одного из двух симметричных пучков излучения РОС-лазера, выходящих через торцевые окна кюветы в противоположных направлениях.

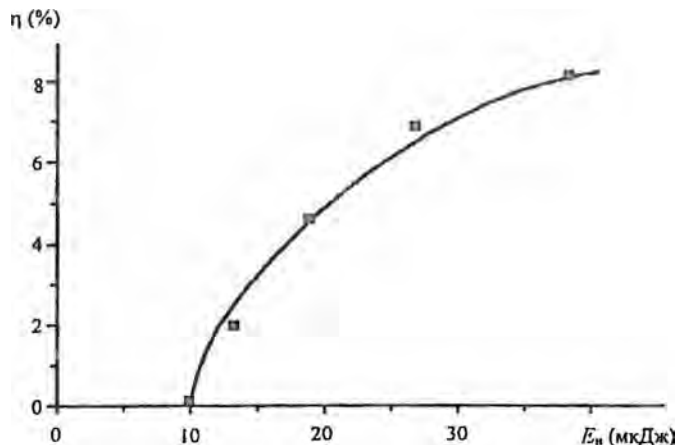


Рис. 1. Зависимость КПД генерации РОС-лазера от энергии накачки

Важным параметром лазера является ресурс работы. На рис. 2 приведена измеренная зависимость энергии генерации РОС-лазера от числа импульсов накачки при частоте повторения 12,5 Гц. При энергии импульса накачки $E_n = 40$ мкДж после воздействия 135000 им-

нульсов (примерно 3 часа непрерывной работы) энергия генерации упала менее чем на 5 %.

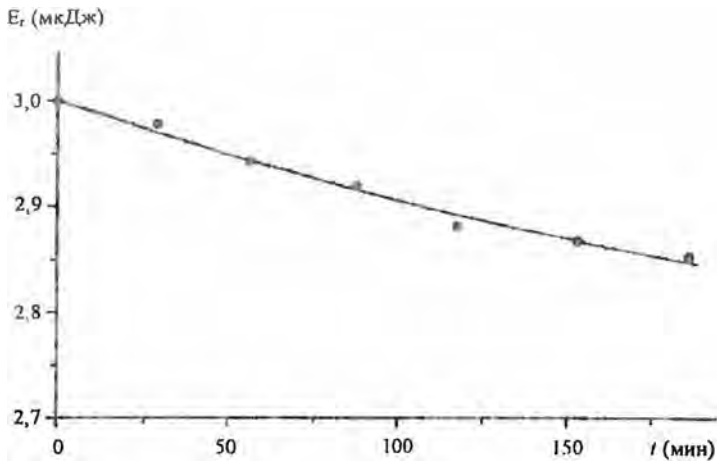


Рис. 2. Зависимость энергии генерации РОС-лазера от времени:

$$E_g = 40 \text{ мкДж}; f = 12,5 \text{ Гц}$$

В пределах рабочей поверхности возможна запись примерно 70 стационарных решеток. При поочередном использовании всех зон ресурса работы может составлять $\sim 10^7$ импульсов при практически неизменной выходной энергии генерации.

Стационарные решетки, записанные в гелевом растворе красителя, достаточно долговечны и сохраняют свои свойства по крайней мере в течение нескольких недель: после месячного хранения кюветы с гелем при комнатной температуре на свету параметры генерации практически не ухудшались.

Весьма ценным свойством данной активной среды является значительно более низкая температурная чувствительность длины волны генерации по сравнению с традиционно используемыми жидкими растворами красителей, что обусловлено меньшим значением величины dn/dT . Так, температурная чувствительность длины волны генерации исследованного геля составляла $d\lambda/dT \approx 0,05 \text{ нм/град}$, что более чем в

3 раза меньше аналогичной характеристики традиционного РОС-лазера на этанольных растворах красителей.

Запись решеток в желатиновом теле является реверсивной. стирание решеток производится нагревом среды, после охлаждения до комнатной температуры в том же объеме геля могут записываться новые решетки, при этом качество записи не изменяется.

В отличие от твердотельных матриц, применение которых требует тщательной обработки рабочих поверхностей каждого из используемых образцов (что представляет собой определенные технологические сложности), в нашем случае достаточно использования одной кюветы, заполняемой гелем. Необходимо только один раз изготовить кювету с хорошим качеством поверхностей окон, которая может использоваться неограниченно долго.

Литература

1. Рубинов А.Н., Эфендиев Т.Ш. Лазеры на красителях с распределенной обратной связью // ЖПС. 1977. Т. 27, № 4. С. 634–646.
2. Bor Zx. Tunable picosecond pulse generation by an N_2 laser pumped self Q-switched distributed feedback dye laser // IEEE J. Quantum Electron. 1980. Vol. QE-16, № 5. P. 517–524.
3. Szatmari S., Schafer F.P. Subpicosecond, widely-tunable distributed feedback dye laser // Appl. Phys. 1988. Vol. B46, № 4. P. 305–311.
4. Особенности пикосекундной генерации РОС-лазера на бинарной смеси красителей при наносекундном возбуждении / А.Н. Рубинов, Т.Ш. Эфендиев, В.М. Катаркевич, В.Ю. Курствак // Квантовая электроника. 1995. Т. 22, № 2. С. 129–133.
5. Ермилов Е.А., Гулис И.М. Генерация одиночных пикосекундных импульсов в лазере с распределенной обратной связью на бинарной смеси красителей при наносекундном возбуждении // Квантовая электроника. 2001. Т. 31, № 10. С. 857–860.
6. Efendiev T.Sh., Katarkevich V.M., Rubinov A.N. Optical recording of phase holographic gratings in a jelly-like dye-doped gelatin // CLEO/Europe-EQEC'2000: Int. Conf.: Abstracts. Nice (France), 2000. P. K79.
7. Катаркевич В.М., Эфендиев Т.Ш., Рубинов А.Н. Пикосекундный лазер на красителях с распределенной обратной связью // ПТЭ. 1994. № 1. С. 170–177.