

Пассивная синхронизация мод Nd:YAG-лазера с насыщающимся поглотителем в виде тонкой желатиновой пленки с J -агрегатами органического красителя

В.И.Авдеева, А.С.Кучьянов, А.И.Плеханов, Ю.Л.Соломинский, А.И.Толмачев, Б.И.Шапиро

Впервые с использованием насыщающегося поглотителя в виде желатиновой тонкой пленки с J -агрегатами органического красителя получены УКИ длительностью ~ 13 нс при пассивной синхронизации мод Nd:YAG-лазера с отрицательной обратной связью.

Ключевые слова: синхронизация мод, J -агрегаты, пассивный пленочный затвор.

Несмотря на происходящие в последние годы революционные изменения в области генерации УКИ света, связанные с генерацией фемтосекундных импульсов при использовании керровской нелинейности [1] и/или полупроводниковых нелинейно поглощающих зеркал [2], по-прежнему актуальными являются исследования методов получения УКИ в твердотельных лазерах с использованием насыщающихся поглотителей [3–6]. Это обусловлено стремлением улучшить энергетические характеристики лазеров, генерирующих УКИ, повысить их надежность и простоту эксплуатации.

Для получения УКИ в твердотельных лазерах необходимо использование насыщающихся поглотителей с малым временем релаксации просветленного состояния τ_{nl} . Стационарный УКИ имеет форму квадрата гиперболического секанса с длительностью τ , определяемой соотношением [7]

$$\tau = \frac{1}{\Gamma} \left(\frac{2\sigma_{lin}}{\sigma_{nl}} \right)^{1/2},$$

где Γ – обратное время поперечной релаксации усиливающей среды; σ_{lin} – линейные потери в резонаторе; σ_{nl} – нелинейные потери в насыщающемся поглотителе (красителе). Поиск новых быстрорелаксирующих пассивных лазерных затворов (ПЛЗ) особенно необходим для синхронизации мод в лазерах на широкополосных активных средах, поскольку именно модулятор определяет как эффективность всего процесса пассивной синхронизации мод, так и получение одиночных предельно коротких импульсов излучения [8]. Однако значительное уменьшение времени релаксации резко увеличивает интенсивность просветления I_s [9]. Красители с высокой интенсивностью просветления трудно использовать для реализации режима УКИ, т. к. в обычном линейном резонаторе насыщение усиления активной среды происходит раньше просветления красителя [10].

Один из путей преодоления этой трудности состоит в использовании смеси красителей, один из которых имеет большее время τ_{nl} и, следовательно, меньшую интенсивность I_s [11]. При этом результирующие длительность УКИ и их энергия определяются взаимным соотношением параметров этих красителей. В настоящее время наиболее широко используют способ увеличения плотности мощности излучения в насыщающемся поглотителе за счет фокусировки [12].

Для использования в качестве ПЛЗ привлекательными являются молекулярные J -агрегаты органических красителей [13] – самоупорядоченные квазиодномерные наноструктуры с характерным узким пиком экситонного поглощения (J -пиком), смещенным в длинноволновую сторону относительно полосы поглощения мономера. Вблизи J -пика агрегаты обладают значительной экстинкцией ($\sigma = 2.3 \times 10^{-15}$ см²) [14] и гигантской кубической нелинейностью ($10^{-6} - 10^{-5}$ ед. СГСЭ); нелинейный показатель поглощения может достигать ~ 500 см/МВт [14–16]. Пик экситонного поглощения для органических красителей различных классов лежит в видимой или ИК области спектра и имеет очень малые ($10^{-12} - 10^{-13}$ с) времена релаксации [17–19]. Обладая низкой интенсивностью просветления ($I_s \sim 10$ МВт/см²) при столь малых временах релаксации, J -агрегаты идеально подходят для получения режима УКИ.

В последнее время было показано, что ПЛЗ в виде окрашенных полимерных матриц имеют большие преимущества по сравнению с жидкими средами [3, 4], поскольку их применение существенно упрощает конструкцию лазеров. В связи с этим в настоящей работе исследованы тонкопленочные ПЛЗ на основе J -агрегатов полиметиновых красителей 4950у и 4924у, полученные из водно-желатиновых растворов красителей. Для получения малых моноразмерных J -агрегатов был использован метод «блочного строительства» агрегатов из димеров красителей [20]. Желатиновые пленки с J -агрегатами формировались при нанесении водно-желатиновых растворов на стеклянные подложки и обладали хорошим оптическим качеством. Толщины пленок l составляли от 3 до 7 мкм. В опытах использовались ПЛЗ с начальным пропусканием $T_0 = 20\% - 80\%$.

Характерные спектры поглощения использованных пленок двух типов приведены на рис.1. Видно, что мак-

В.И.Авдеева, Б.И.Шапиро. Научный центр НИИХИМФОТОПРОЕКТ, Россия, 125167 Москва, Ленинградский просп., 47
А.С.Кучьянов, А.И.Плеханов. Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Россия, 630090 Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 1
Ю.Л.Соломинский, А.И.Толмачев. Институт органической химии НАНУ, Украина, 252660 Киев, Мурманская ул., 5

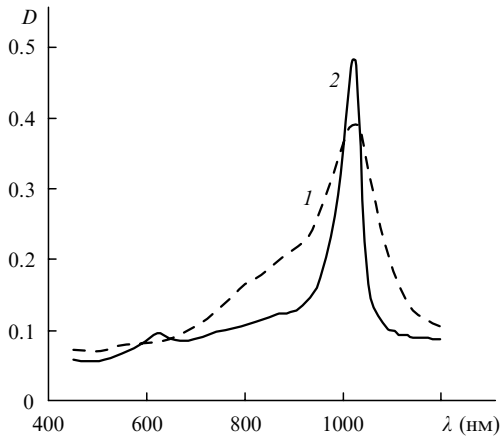


Рис.1. Спектры поглощения желатиновых пленок с J -агрегатами на основе красителя 4950у при толщине пленки $l = 3.2$ мкм (1) и красителя 4924у при $l = 3.6$ мкм (2); D – оптическая плотность.

симумы вблизи 1030 нм обусловлены поглощением J -агрегатов, а крылья в области 865 нм (кривая 1) и 925 нм (кривая 2) соответствуют поглощению мономеров.

Характеристики ПЛЗ на основе тонких пленок J -агрегатов исследовались на базе твердотельного лазера с активным элементом из Nd:YAG ($\varnothing 6.5 \times 60$ мм) в стандартном квантоне К-307. Напряжение питания с максимальной энергией накачки $W = 40$ Дж регулировалось с точностью до 1 В. Частота повторения импульсов излучения составляла 1 Гц. Резонатор лазера длиной 2 м был образован плоским и сферическим вогнутым (радиус кривизны 1 м) зеркалами и линзой с фокусным расстоянием 10 см. Сферическое зеркало и линза образовывали телескоп, внутрь которого помещался ПЛЗ. Зеркала имели коэффициенты отражения 98 %. В опытах для получения воспроизводимых УКИ использовалась цепь обратной связи [21], состоящая из фотодиода ФД-24К, усилителя и электрооптического модулятора МЛ-102, помещенного внутрь резонатора. Электрооптический затвор позволял выводить из резонатора одиночный сверхкороткий импульс. Регистрация УКИ проводилась фотохронографом «Агат», на выходе которого помещалась CCD-камера. Временное разрешение системы регистрации составляло 2 пс.

На рис.2 приведены типичная развертка пучка УКИ света и одиночного импульса генерации, полученных с тонкой пленкой J -агрегатов. Эксперименты показали, что при установке этой пленки под углом Брюстера во внутррезонаторный телескоп возникает стабильная синхронизация мод лазера с периодом следования УКИ 15 нс. Характерно, что площадь сечения пучка света на пленке приблизительно на порядок больше, чем в случае достижения режима УКИ при использовании жидкостного ПЛЗ на основе красителя 3274у с таким же начальным пропусканием. Обнаружено, что снижение плотности мощности в пятне на пленке приводит к увеличению длительности импульса, а ее рост – к уменьшению. Длительность одиночного импульса изменялась от 13 до 50 пс. Энергия одиночного пучка составляла ~ 10 мкДж. При интенсивностях свыше 20 МВт/см² происходит быстрое обесцвечивание пленки, связанное с разрушением J -агрегатов.

Было замечено, что для пленок с более узким J -пиком порог возникновения режима УКИ ниже. Это обуслов-

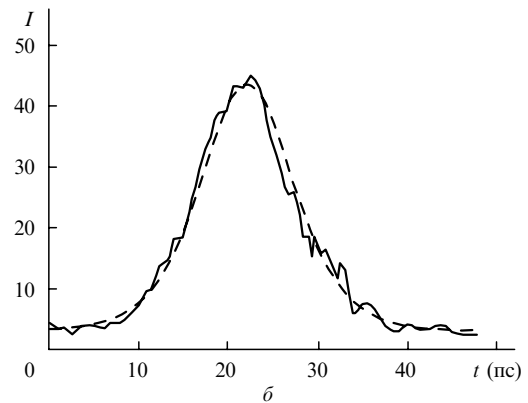
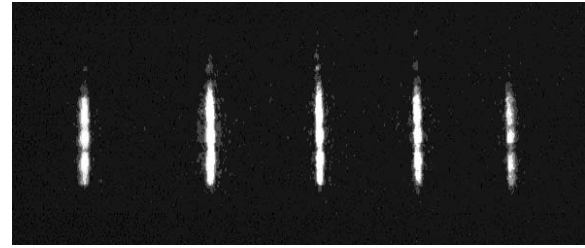


Рис.2. Типичная развертка пучка УКИ (период повторения импульсов 15 нс) (а) и одиночного импульса генерации (штриховая линия – аппроксимация функцией $\text{sech}^2 t$) (б).

лено тем, что большей нелинейностью обладают образцы с узкой полосой экситонного поглощения [22], ширина которой зависит от длины делокализации экситона [23, 24]. Из спектров поглощения пленок J -агрегатов были определены ширины J -пиков и энергии диполь-дипольного взаимодействия мономеров в агрегате. На основании формул из работы [24] оценена длина делокализации экситона, которая составила от 4 до 6 мономеров.

Таким образом, исследования показали, что ПЛЗ на основе тонких пленок J -агрегатов тиатрикарбонцианинов весьма эффективны для получения низкопорогового режима УКИ. Малая интенсивность насыщения в совокупности с субпикосекундным временем релаксации являются привлекательными для получения режима УКИ полупроводниковых лазеров.

Работа частично поддержана грантами NWO (№ 047.009.019) и РФФИ (№ 02-03-33336).

1. Spence D.E., Kean P.N., Sibbett W. *Opt. Lett.*, **16**, 42 (1991).
2. Keller U., Miller D.A.B., Boyd G.D., Chui T.H., Ferguson J.F., Asom M.T. *Opt. Lett.*, **17**, 505 (1992).
3. Ищенко А.А. *Квантовая электроника*, **21**, 513 (1994).
4. Безродный В.И., Ищенко А.А., Карабанова Л.В., Соломинский Ю.Л. *Квантовая электроника*, **22**, 849 (1995).
5. Юмашев К.В., Михайлов В.П., Бондарь И.Б., Демчук М.И., Прокошин П.В., Дашян Р.С. *Квантовая электроника*, **20**, 890 (1993).
6. Розуван С.Г., Тихонов Е.А. *Квантовая электроника*, **20**, 163 (1993).
7. Комаров К.П., Кучьянов А.С., Угожаев В.Д. *Автоматрия*, (2), 108 (1989).
8. *Параметрические генераторы света и пикосекундная спектроскопия*. Под ред. А. Пискарскаса (Вильнюс: Мокслас, 1983).
9. Бабенко В.А., Дядюша Г.Г., Кудинова М.А., Малышев В.И., Соломинский Ю.Л., Сычев А.А., Толмачев А.И. *Квантовая электроника*, **7**, 1796 (1980).

10. Kolmeder C., Zinth W. *Appl. Phys.*, **24**, 341 (1981).
11. Конященко А.В., Крюков И.В., Крюков П.Г., Шарков А.В. *Квантовая электроника*, **14**, 813 (1987).
12. Hopkins J.-M., Valentine G.J., Sibbet W., Aus der Au J., Morier-Genoud F., Keller U., Valster A. *Opt. Commun.*, **154**, 54 (1998).
13. Kobayashi T. *J-aggregates* (Singapore: World Scientific Publishig Co. Pte. Ltd., 1996).
14. Богданов В.Л., Викторова Е.Н., Куля С.В., Спиро А.С. *Письма в ЖЭТФ*, **53**, 100 (1992).
15. Журавлев Ф.А., Орлова Н.А., Плеханов А.И., Раутиан С.Г., Сафонов В.П., Шелковников В.В. *Письма в ЖЭТФ*, **56**, 264 (1992).
16. Марков Р.В. Плеханов А.И., Раутиан С.Г., Сафонов В.П., Орлова Н.А., Шелковников В.В., Волков В.В. *Оптика и спектроскопия*, **85**, 643 (1998).
17. Minoshima K., Taiji M., Misawa K., Kobayashi T. *Chem. Phys. Lett.*, **218**, 67 (1994).
18. Wittmann M., Rotermund F., Weigand R., Penzkofer A. *Appl. Phys. B*, **66**, 453 (1998).
19. Furuki M., Tian M., Sato Y., Pu L.S. *Appl. Phys. Lett.*, **77**, 472 (2000).
20. Avdeeva V.A., Shapiro B.I. *Sci. Appl. Photo.*, **41** (2), 129 (1999).
21. Комаров К.П., Кучьянов А.С., Угожаев В.Д. *Квантовая электроника*, **13**, 802 (1986).
22. Шелковников В.В., Марков Р.В., Плеханов А.И., Симанчук А.Э., Иванова З.М. *Химия высоких энергий*, **36**, 295 (2002).
23. Knoester J. *Chem. Phys. Lett.*, **203**, 371 (1993).
24. Bakalis L.D., Knoester J. *J. Lumin.*, **87–89**, 66 (2000).

ПОПРАВКИ

В.С.Летохов. Астрофизические лазеры («Квантовая электроника», т. 32, № 12, 2002, с. 1065–1079).

В статье допущены следующие опечатки:

1. На с. 1070 в надписях на рис.7 вместо ω_{21} следует читать ω_{32} .
2. На с. 1071 (левая колонка, 7-я строка сверху) вместо «... распада τ_3 ...» следует читать «... распада τ_2 ...».
3. На с. 1071 (левая колонка, 9-я строка сверху) вместо «... меньше $1/A_{12}$...» следует читать «... меньше τ_3 ...».

Н.Н.Ильичев, Л.А.Кулевский, В.Н.Транев. Оценка плотности энергии насыщения в одночастотном лазере на кристалле YSGG: Cr³⁺:Yb³⁺:Ho³⁺ ($\lambda = 2.92$ мкм), работающем в режиме модулированной добротности («Квантовая электроника», т. 33, № 4, 2003, с. 312–314).

В статье допущена следующая опечатка: на с. 313 (правая колонка, 2-я строка сверху) вместо « $1/2\sigma_a l [\ln(1/R) + 2\gamma l]$ » следует читать « $(1/2l) [\ln(1/R) + 2\gamma l]$ ».

Д.В.Гузатов, А.Н.Ораевский. К теории мод шепчущей галереи шарового слоя («Квантовая электроника», т. 33, № 4, 2003, с. 349–356).

В статье допущены следующие опечатки:

1. На с. 352 в формулах (19)–(21) вместо «... $\pi r_{\max} \left(\frac{\pi}{n}\right)^{1/3}$...» следует читать «... $\pi r_{\max}^3 \left(\frac{\pi}{n}\right)^{1/2}$...».
2. На с. 353 в формуле (24) вместо «... $\left\{ E_0 \frac{1}{(2n)!!} \dots \right\}$ » следует читать «... $\left\{ E_0 \frac{2}{(2n)!!} \dots \right\}$ ».

Н.В.Ведяшкин, С.И.Державин, В.В.Кузьминов, Д.А.Машковский. Новый метод измерения фокусного расстояния термической линзы в твердотельных лазерах с короткой активной средой («Квантовая электроника», т. 33, № 4, 2003, с. 367–369).

В статье допущена следующая опечатка: на с. 368 (правая колонка, последняя строка) вместо «... накачки 11.9 Вт/см^2 ...» следует читать «... накачки 1.19 кВт/см^2 ...».