



УДК 535.374
ББК 22.3

ДИНАМИКА ГЕНЕРАЦИИ ЛАЗЕРА С ПАССИВНЫМ ЗАТВОРОМ НА УГЛЕРОДНЫХ НАНОКЛАСТЕРАХ

Р.Ш. Затрудина, И.В. Касьянов, Н.В. Марусин, В.С. Перетягин

Впервые реализован режим пассивной синхронизации мод в лазере на стекле с Nd^{3+} с использованием суспензии астраленов и раствора углеродных нанокластеров в качестве пассивных затворов. Определено оптимальное по длительности УКИ положение пассивного затвора внутри резонатора. Исследована устойчивость режима пассивной синхронизации мод в лазере на стекле с Nd^{3+} с использованием суспензии астраленов и раствора аддуктов нанокластеров углерода как нелинейных фильтров. Определены области значений линейного коэффициента пропускания и значений параметра накачки, в которых реализуется этот режим генерации лазера.

Ключевые слова: астралены, нанокластеры углерода, пассивный затвор, пассивная синхронизация мод, лазер.

Введение

Исследования нелинейно-оптических свойств суспензий углеродных наночастиц и астраленов начались сравнительно недавно. Фототропный эффект в этих суспензиях был обнаружен и описан, например, в работах [1–3]. Но до сих пор режим пассивной синхронизации мод в лазере с использованием суспензий углеродных наночастиц в качестве пассивного фильтра реализован не был. В данной работе представлены результаты по реализации режима пассивной синхронизации мод с пассивным затвором на основе суспензии астраленов [4; 5] и раствора аддуктов нанокластеров углерода в лазере на стекле с Nd^{3+} .

1. Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1. В резонатор лазера, образованного плоскопараллельным глу-

хим зеркалом ($R = 99\%$) и клиновидным выходным зеркалом ($R = 55\%$) под углом 30° к оптической оси резонатора, помещалась кювета с суспензией астраленов или с раствором аддуктов нанокластеров углерода. Кювета с суспензией астраленов помещалась либо вблизи глухого зеркала, либо вблизи выходного. Начальный коэффициент пропускания пассивного затвора изменялся от 62 до 74%. Временной ход излучения регистрировался фотоэлементом ФК-15 и скоростным осциллографом С7-19. Энергия излучения регистрировалась ИМО-2Н.

При отсутствии пассивного затвора в резонаторе лазер работал в режиме свободной генерации. Характерная осциллограмма представлена на рисунке 2.

При помещении в резонатор лазера пассивного затвора как на основе раствора нанокластеров углерода, так и на основе суспензии астраленов, характер генерации изменялся. Представленные на рисунке 3 осциллограммы свидетельствуют о том, что в обоих случаях возникал режим синхронизации мод. Причем длительность ультракоротких импульсов в этом режиме составляла ~ 1 нс для обоих пассивных фильтров.

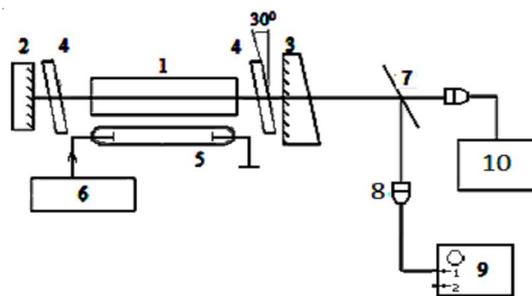


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки:

1 – активный элемент; 2 – глухое зеркало ($R = 99\%$); 3 – выходное зеркало ($R = 55\%$); 4 – кювета с исследуемым веществом; 5 – лампа накачки; 6 – блок накачки; 7 – светоделительная пластинка; 8 – ФК-15; 9 – скоростной осциллограф С7-19; 10 – измеритель энергии лазерного излучения ИМО-2Н

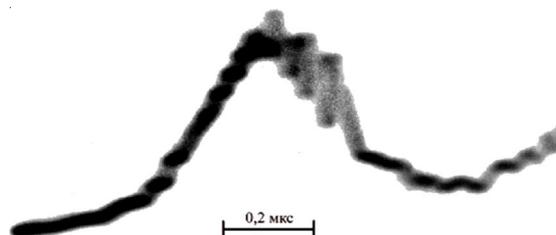


Рис. 2. Временной ход излучения лазера в режиме свободной генерации

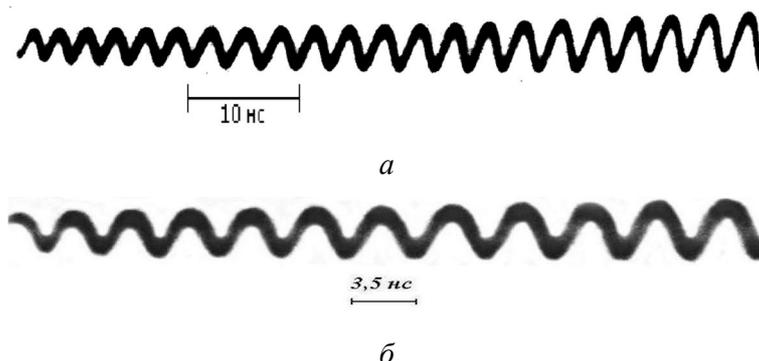


Рис. 3. Временной ход излучения генерации лазера с пассивным затвором в резонаторе:

а – раствор аддуктов нанокластеров углерода; *б* – астралены

2. Результаты и их обсуждение

Изменение энергии накачки приводило к незначительному изменению длительности УКИ. Так, для пассивного затвора на основе суспензии астраленов при пороговом значении энергии накачки 285 Дж длительность УКИ составляла 1,1 нс (рис. 4). При увеличении энергии накачки до 320 Дж длительность монотонно увеличивалась до 1,35 нс (рис. 4). Указанные значения длительностей получались при помещении кюветы с суспензией астраленов (4) между активным элементом (1) и глухим зеркалом (2) (рис. 1). Положение пассивного затвора между активным

элементом (1) и выходным зеркалом (3) приводило к небольшому укорочению УКИ и увеличению порогового значения энергии накачки по сравнению с предыдущим расположением пассивного затвора. В данном случае порог генерации составлял 315 Дж, а длительность УКИ – от 1,1 до 1,2 нс при различных энергиях накачки (рис. 4). Стоит отметить, что при различных положениях пассивного затвора относительно зеркал резонатора одинаковым значениям относительного превышения энергией накачки порогового значения соответствуют одинаковые в пределах статистической погрешности длительности УКИ.

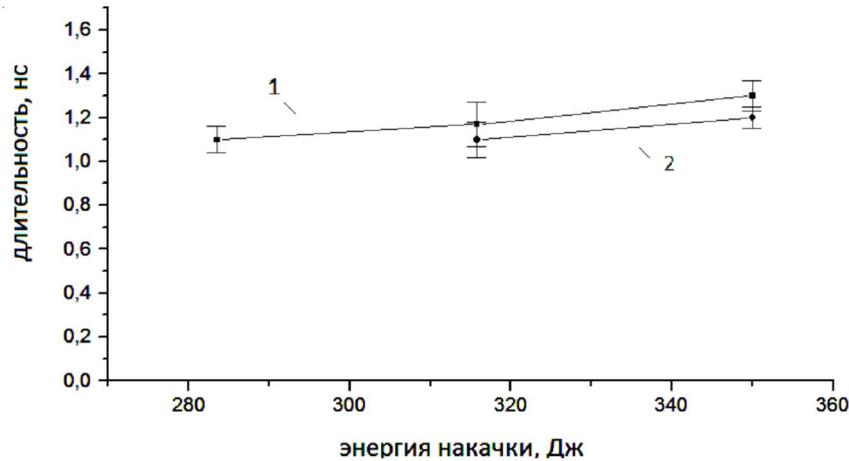


Рис. 4. Зависимости длительности УКИ от энергии накачки в режиме пассивной синхронизации мод с затвором на основе суспензии астраленов:

- 1 – положение кюветы между глухим зеркалом и активным элементом;
- 2 – положение кюветы между выходным зеркалом и активным элементом

Хорошо известно, что для значительно-го числа насыщающихся поглотителей режим пассивной синхронизации мод осуществляется в узком диапазоне энергий накачки вблизи порогового уровня.

Поэтому был определен диапазон накачек при нескольких значениях начального коэффициента пропускания пассивного затвора, в котором осуществляется режим пассивной синхронизации мод. Результаты представлены на рисунке 5.

Безразмерный параметр накачки определяется выражением

$$A = \frac{E_{\text{нак}} - E_{\text{пор}}}{E_{\text{пор}}}$$

Из представленных на рисунке 5 результатов видно, что при использовании в качестве пассивного затвора суспензии астраленов с большим начальным коэффициентом пропускания ($T = 0,72$) режим пассивной синхронизации мод реализуется при значениях параметра накачки от 0,45 до 0,8, что соответствует энергии накачки 280–350 Дж соответственно. Дальнейшее увеличение энергии накачки на используемой экспериментальной установке было невозможно по техническим причинам. Уменьшение начального коэффициента пропускания до

$T = 0,65$ приводит к уменьшению значений параметра накачки, при которых реализуется режим пассивной синхронизации мод, причем ширина этого диапазона практически не меняется (0,25–0,55).

Однако при дальнейшем незначительном уменьшении коэффициента пропускания до $T = 0,63$ пассивная синхронизация мод наблюдалась лишь при значениях параметра накачки $A = 0,11$ и $A = 0,25$.

Область пассивной синхронизации мод при использовании в качестве пассивного фильтра раствора аддуктов нанокластеров углерода (АНКУ) заметно отличается от аналогичной области для пассивного фильтра на основе суспензии астраленов. При большом значении начального коэффициента пропускания ($T = 0,75$) пассивная синхронизация мод наблюдается уже при значениях параметра накачки $A = 0,19$. Верхнюю границу диапазона определить не удалось из-за технических ограничений на максимальную энергию накачки для данной экспериментальной установки. Однако при снижении начального коэффициента пропускания пассивного затвора до $T = 0,68$ диапазон значений параметра накачки, в котором осуществляется режим пассивной синхронизации мод, резко сужается и сильно смещается в область больших значений $A = 0,52–0,62$.

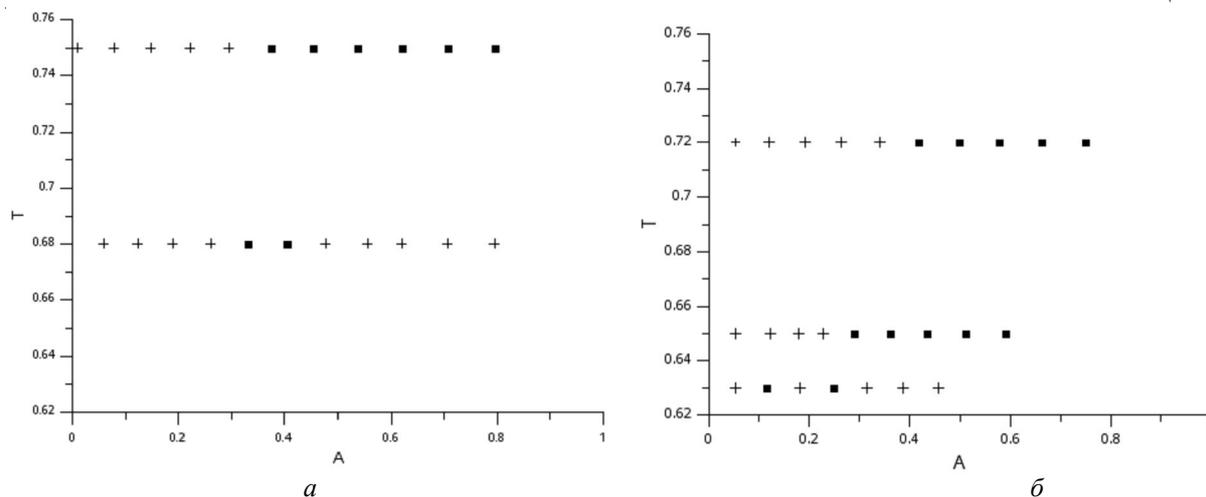


Рис. 5. Диапазон накачек и значений начального пропускания пассивного затвора, в котором реализуется режим ПСМ:

a – суспензия астраленов; *б* – раствор аддуктов нанокластеров углерода; «■» – обозначен режим пассивной синхронизации мод; «+» – режим свободной генерации

Итак, как для затвора на суспензии астраленов, так и для затвора на растворе АНКУ, режим пассивной синхронизации мод реализуется в широком диапазоне значений параметра накачки лишь при больших значениях начального коэффициента пропускания $T = 0,72–0,75$. Можно ожидать, что при уменьшении коэффициента пропускания ниже некоторого минимального значения режим пассивной синхронизации мод окажется нереализуемым.

Заключение

Таким образом, как водная суспензия астраленов, так и водный раствор аддуктов нанокластеров углерода могут быть использованы в качестве пассивного затвора для лазеров с пассивной синхронизацией мод. При начальном пропускании затвора более 70 % режим пассивной синхронизации мод реализуется в широком диапазоне значений параметра накачки. Причем существенным отличием пассивного затвора на суспензии астраленов от пассивного затвора на водном растворе аддуктов нанокластеров углерода является более низкий порог режима синхронизации мод. В то же время пассивный затвор на водном растворе аддуктов нанокластеров углерода имеет более широкий диапазон значений начального пропускания, в котором реализуется режим синхронизации мод – нижняя его граница $T = 0,63$. Снижение же начального пропускания пассивного затвора на водной суспензии астраленов до

$T = 0,68$ приводит к резкому сужению диапазона значений параметра накачки, то есть коэффициент пропускания $T = 0,68$ является пороговым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Затрудина, Р. Ш. Экспериментальное исследование зависимости коэффициентов пропускания жидких сред, содержащих фуллероиды, от интенсивности падающего излучения / Р. Ш. Затрудина, А. С. Калинин, Т. Д. Коробова, Н. В. Марусин // Нанотехнологии и наноматериалы: современное состояние и перспективы развития в условиях Волгоградской области : материалы 2-й Всерос. науч.-техн. конф., г. Волгоград, 17–18 дек. 2009 г. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2009. – С. 224–230.
2. Нелинейно-оптические ограничители лазерного излучения на суспензиях углеродных и фуллероидных наночастиц / И. М. Белоусова, В. П. Белоусов, О. Б. Данилов [и др.] // Оптический журнал. – 2004. – Т. 71, № 3. – С. 6–12.
3. Новые гетеронаноструктуры на основе астраленов. Спектральные характеристики и некоторые аспекты использования / М. А. Беляева, М. В. Грязнова, В. В. Данилов [и др.] // Оптика и спектроскопия. – 2005. – Т. 99, № 5. – С. 791–796.
4. Пономарев, А. Н. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа и способ их получения : пат. РФ на изобретение № 2196731/А. Н. Пономарев, В. А. Никитин. – 2002.
5. Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles / A. I. Shames, E. A. Katz, A. M. Panich [et al.] // Diamond and Related Materials. – 2009. – Vol. 18, № 2–3. – P. 505–510.

DYNAMICS OF GENERATION OF THE LASER WITH A PASSIVE SHUTTER ON CARBON NANOCCLASTERS

R.Sh. Zatrudina, I.V. Kasjanov, N.V. Marusin, V.S. Peretyagin

For the first time the regime of passive mode-locking in the Nd³⁺-glass laser with suspension of astralens as a passive shutter is realized. Optimal on duration USP position of a passive shutter in the cavity is defined. Stability of a regime of passive mode-locking in the Nd³⁺-glass laser with suspension of astralens and a solution of carbon nanoparticles as nonlinear filters is investigated. Areas of values of linear transmittance and values of parameter of a pumping in which this laser regime of generation is realized, are defined.

Key words: *astralens, carbon nanoparticles, passive shutter, passive mode-locking, laser.*