



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ГЕНЕРАЦИИ ЛАЗЕРА НА НЕОДИМОВОМ СТЕКЛЕ, СОДЕРЖАЩЕГО ФУЛЛЕРОИДЫ В РЕЗОНАТОРЕ

Н.В. Марусин, Р.Ш. Затрудина

Введение

Проведенное ранее экспериментальное исследование зависимости коэффициентов пропускания жидких сред, содержащих фуллероиды (ЧЧ-0, ЧЧ-1, ЧЧ-стп, астралены [2]), от интенсивности падающего излучения показало, что при интенсивностях излучения на длине волны $1.06 \text{ мкм} \sim 1 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$ коэффициент пропускания этих веществ уменьшается. Теоретически это свойство может быть использовано для создания пассивных модуляторов интенсивности излучения для устройств лазерной техники. Для выяснения этой возможности требовалось провести экспериментальное исследование * влияния этих сред на режим генерации лазера.

1. Методика эксперимента

Для определения влияния жидких сред, содержащих фуллероиды, на режим генерации лазера на неодимовом стекле кюветы с исследуемыми образцами помещали в его резонатор. Исследования проводились в режимах гигантского импульса и свободной генерации. Схема экспериментальной установки для режима гигантского импульса представлена на рисунке 1. Энергия генерации составила 40 мДж при энергии накачки 350 Дж. Лазерный импульс падал на светоделительную пластинку (5), которая разделяла его на две части. Прошедшая часть попадала на измеритель средней энергии ИМО-2Н (6), а отраженная часть – на фотоэлемент коаксиальный

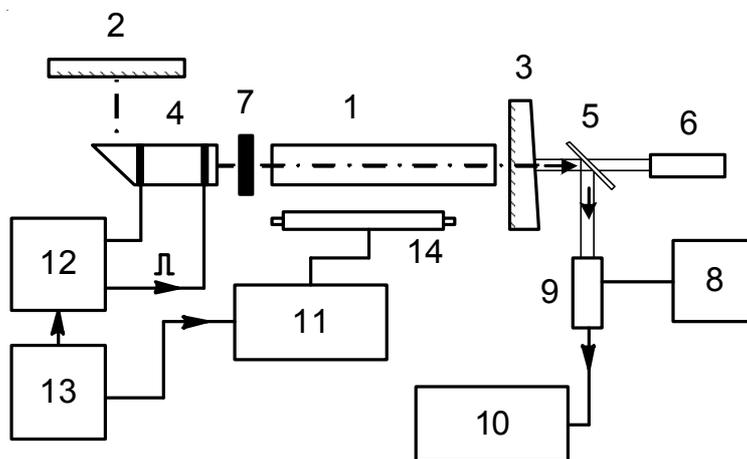


Рис. 1. Схема экспериментальной установки лазера на неодимовом стекле в режиме гигантского импульса, содержащего в резонаторе исследуемые образцы:

1 – активный элемент; 2 – «глухое» зеркало ($R = 99 \%$); 3 – выходное зеркало ($R = 86 \%$); 4 – электрооптический модулятор; 5 – светоделительная пластинка; 6 – измеритель средней энергии ИМО-2Н; 7 – кювета с исследуемым образцом; 8 – блок питания коаксиального фотоэлемента; 9 – фотоэлемент коаксиальный ФК-15; 10 – скоростной осциллограф С7-19; 11 – блок накачки; 12 – блок управления затвором; 13 – запускающее устройство; 14 – лампа накачки

* Авторы выражают благодарность В.С. Перетягину и С. Князеву за оказанную помощь при проведении эксперимента.

ФК-15 (9). Сигнал с коаксиального фотоэлемента поступал на вход скоростного осциллографа С7-19 (10). Типичная осциллограмма гигантского импульса приведена на рисунке 3.

Схема экспериментальной установки для определения влияния жидких сред, содержащих фуллероиды, на режим свободной генерации лазера представлена на рисунке 2. В режиме свободной генерации энергия импульса составила 400 мДж при накачке 350 Дж. Методика эксперимента по определению влияния жидких сред, содержащих фуллероиды, на режим генерации лазера в режиме свободной генерации, совпадает с аналогичной методикой для случая гигантского импульса.

Исследования проводились для четырех образцов. Образец № 1 – суспензия астралена в дистиллированной воде, образцы № 2, 3 и

4 – растворы аддукта наночуглерода в дистиллированной воде (условные обозначения ЧЧ-0, ЧЧ-1, ЧЧ-стп соответственно).

2. Обсуждение результатов

В случае режима гигантского импульса при внесении образца № 1 в резонатор лазера энергия генерации составила 10 мДж при энергии накачки 350 Дж. Коэффициент пропускания образца № 1 $T = 92 \%$. Характерные осциллограммы временного хода генерации лазера при внесении образца № 1 в резонатор лазера приведены на рисунке 4.

Из сравнения осциллограмм, приведенных на рисунках 3 и 4, видно, что образец № 1 оказывает существенное влияние на режим генерации лазера. В частности, как видно из осциллограмм на рисунке 4, за «основным»

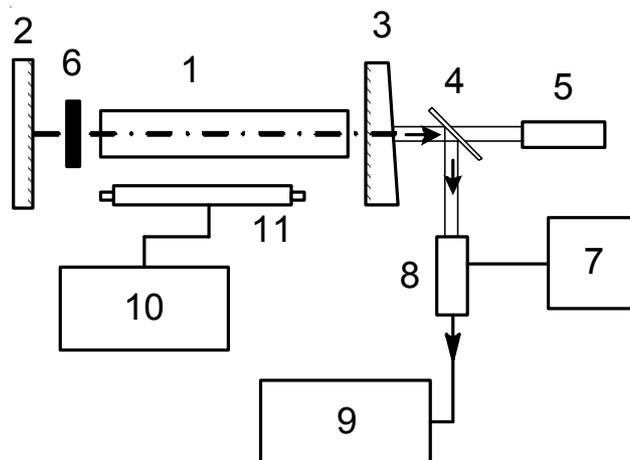


Рис. 2. Схема экспериментальной установки лазера на неодимовом стекле в режиме свободной генерации, содержащего в резонаторе исследуемые образцы:

- 1 – активный элемент; 2 – «глухое» зеркало ($R = 99 \%$); 3 – выходное зеркало ($R = 86 \%$);
- 4 – светоделительная пластинка; 5 – измеритель средней энергии ИМО-2Н; 6 – кювета с исследуемым образцом;
- 7 – блок питания коаксиального фотоэлемента; 8 – фотоэлемент коаксиальный ФК-15; 9 – скоростной осциллограф;
- 10 – блок накачки; 11 – лампа накачки

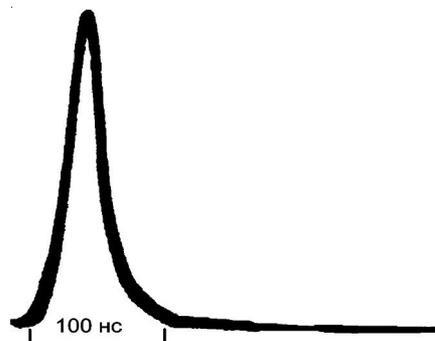


Рис. 3. Характерная осциллограмма временного хода генерации лазера в режиме гигантского импульса

гигантским импульсом следует «дополнительный», причем максимальная задержка между ними не превышает 80 нс.

Характерная осциллограмма временного хода генерации лазера при внесении образца № 2 в резонатор лазера приведена на рисунке 5. Энергия генерации составила 1,5 мДж при энергии накачки 350 Дж. Коэффициент пропускания образца № 2 $T = 87\%$. Из сравнения осциллограмм, приведенных на рисунках 3 и 5, видно, что образец № 2 приводит к укорочению гигантского импульса и существенному искажению его спада. При внесении образцов № 3 и № 4 в резонатор лазера осциллограммы временного хода генерации лазера зарегистрировать не удалось.

В случае режима свободной генерации при внесении образца № 1 в резонатор

лазера энергия импульса составила 7 мДж при энергии накачки 350 Дж. Коэффициент пропускания образца № 1 $T = 84\%$. Характерные осциллограммы временного хода генерации лазера при внесении образца № 1 в резонатор представлены на рисунке 6. Из осциллограмм видно, что временной ход генерации лазера представляет собой последовательность импульсов с периодом $T_{\text{п}} = (4,0 + 0,9)$ нс и длительностью на полувысоте $(2,2 + 0,9)$ нс. Погрешность определения периода следования импульсов связана с конечной толщиной луча осциллографа. Длительность последовательности импульсов (цуга) составляет 140 нс.

При внесении образца № 2 в резонатор лазера энергия импульса составила 3,5 мДж при энергии накачки 350 Дж. Коэффициент пропускания образца № 2 $T = 63\%$. Характерные осциллограммы временного хода генерации лазера при внесении образца № 2 в резонатор



Рис. 4. Характерные осциллограммы временного хода генерации лазера при внесении образца № 1 в резонатор лазера

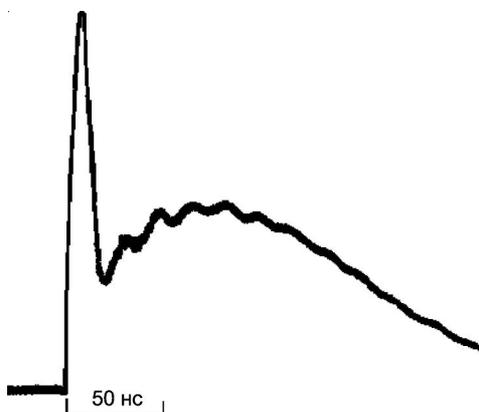


Рис. 5. Характерная осциллограмма временного хода генерации лазера при внесении образца № 2 в резонатор

циллограммы временного хода генерации лазера при внесении образца № 2 в резонатор представлены на рисунке 7. Из осциллограмм видно, что временной ход генерации лазера представляет собой последовательность импульсов с периодом $T_n = (4,1 + 0,9)$ нс и длительностью на полувысоте $(1,8 + 0,9)$ нс.

При внесении образца № 3 в резонатор лазера энергия импульса составила 3 мДж при энергии накачки 350 Дж. Коэффициент пропускания образца № 3 $T = 48$ %. Характерные осциллограммы временного хода генерации лазера при внесении образца № 3 в резонатор представлены на рисунке 8. Из осциллограмм видно, что временной ход генерации лазера представляет собой последовательность импульсов с периодом $T_n = (4,0 + 0,9)$ нс и длительностью на полувысоте $(1,9 + 0,9)$ нс.

При внесении образца № 4 в резонатор лазера энергия генерации составила 2 мДж при энергии накачки 350 Дж. Коэффициент пропускания образца № 4 $T = 60$ %. Характерные осциллограммы временного хода генерации лазера при внесении образца № 4 в резонатор представлены на рисунке 9. Из осциллограмм видно, что временной ход генерации лазера представляет собой последовательность импульсов с периодом $T_n = (4,0 + 0,9)$ нс и длительностью на полувысоте $(1,8 + 0,9)$ нс.

Исходя из осциллограмм, представленных на рисунках 6–9, можно сделать вывод, что все 4 образца вносят существенные изменения в режим генерации лазера. Период следования импульсов для всех четырех образцов близок к аксиальному (резонатор лазера имеет оптическую длину $L = 60$ см, его аксиальный период равен 4 нс), что является характерным признаком режима синхронизации мод.

Как видно из приведенных осциллограмм, влияние фуллероидов на режим генерации лазера достаточно разнообразно. Исходя из временного хода генерации, можно провести предварительные оценки характеристик исследуемых фуллероидов. Допустим, что имеется вещество, коэффициент пропускания которого уменьшается при увеличении интенсивности излучения. В том случае, если такое вещество поместить в резонатор, то с превышением интенсивности излучения некоторого порогового значения его коэффициент поглощения увеличится, что приведет к увеличению внутррезонаторных потерь. Это приведет к затуханию генерации и, возможно, к ее исчезновению. В этих условиях коэффициент поглощения начнет релаксировать и через некоторое время примет первоначальное значение.

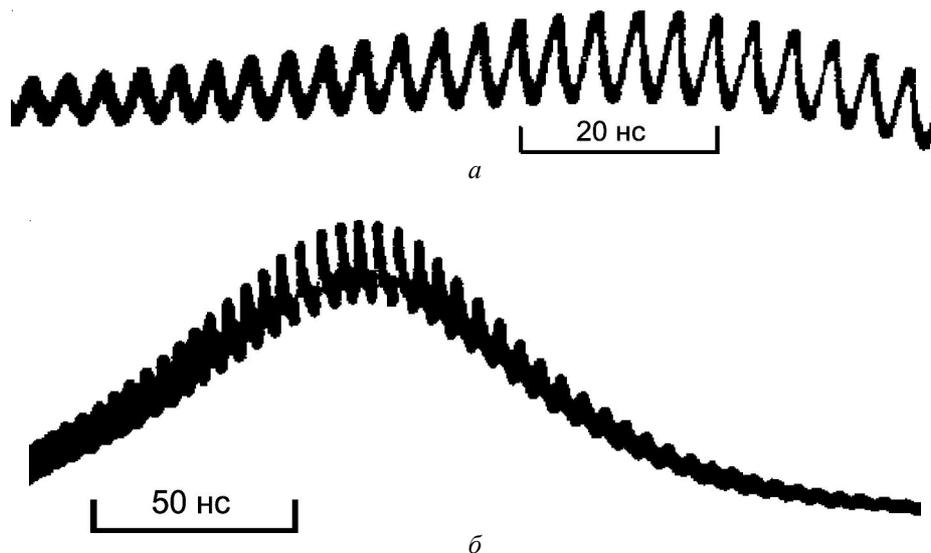


Рис. 6. Характерные осциллограммы временного хода генерации лазера при внесении образца № 1 в резонатор. Здесь и на рисунках 7–9:

- a* – последовательность ультракоротких импульсов;
- б* – пассивная синхронизация мод на фоне пичка свободной генерации

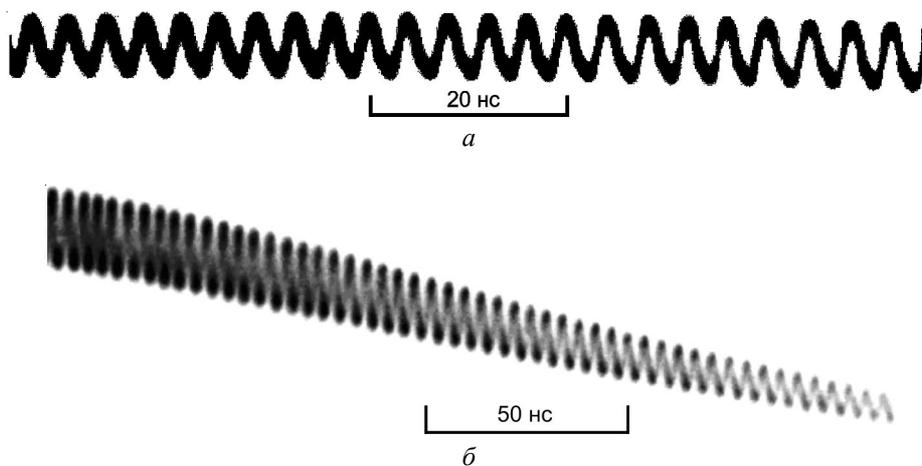


Рис. 7. Характерные осциллограммы временного хода генерации лазера при внесении образца № 2 в резонатор

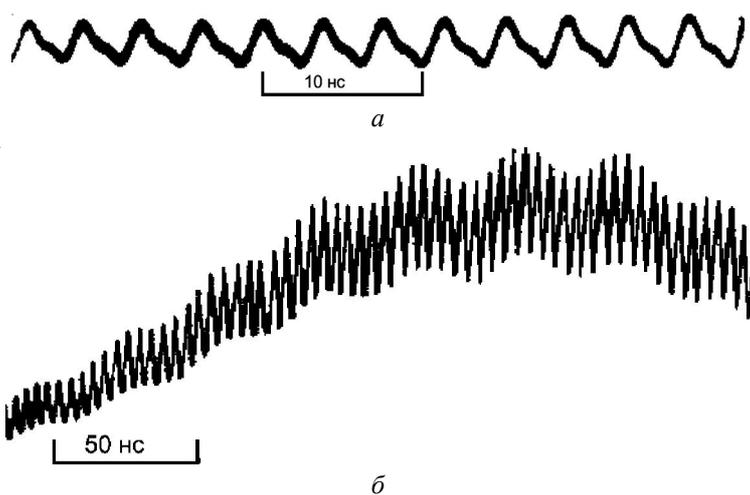


Рис. 8. Характерные осциллограммы временного хода генерации лазера при внесении образца № 3 в резонатор

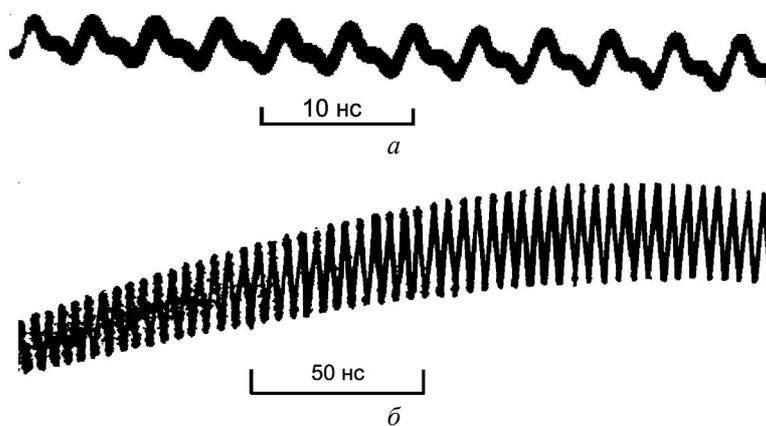


Рис. 9. Характерные осциллограммы временного хода генерации лазера при внесении образца № 4 в резонатор

Если к этому времени в активной среде накопится достаточная инверсия населенностей, то возможно возникновение второго и последующих импульсов генерации. Временной ход генерации на рисунке 4 обнаруживает схожее поведение, и поэтому второй импульс можно трактовать как возникновение генерации лазера после релаксации коэффициента поглощения и уменьшения внутрирезонаторных потерь. Это дает возможность провести оценку сверх времени релаксации коэффициента пропускания для образца № 1 – суспензии астралена, которое составляет ~80 нс. Полученный режим двух импульсов имеет ряд важных практических применений. Снижение тепловой нагрузки на мишень обеспечивает применение режима двух импульсов в особых технологических процессах, чувствительных к температурной перегрузке. Особо важен этот режим для лазерного воздействия на живые ткани [1]. Следует также отметить влияние на режим генерации лазера, оказываемое образцом № 3. Как видно из осциллограммы, приведенной на рисунке 8, во временном ходе генерации проявляется амплитудная модуляция последовательности импульсов с периодом 35 нс, что соответствует частоте 28 МГц. Это, очевидно, также является следствием нелинейности оптических свойств исследуемых веществ.

Заключение

В рамках данной работы экспериментально было установлено влияние фуллеренов на режим генерации лазера на неодимовом стекле. В режиме гигантского импульса влияние проявлялось в значительном искажении формы и количества генерируемых импульсов. В режиме свободной генерации излучение лазера представляло характерную последовательность импульсов, следующих с аксиальным периодом резонатора, что позволяет говорить в этом случае об установлении режима синхронизации мод, хотя и неполной ввиду большой длительности импульсов (~2 нс) относительно теоретически предсказываемого значения (~100 пс).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Першин, С. М. Нелинейный рост эффективности взаимодействия второго импульса с мишенью при возбуждении плазмы цугом импульсов Nd:YAG-лазера / С. М. Першин // Квантовая электроника. – 2009. – Т. 39, № 21. – С. 63–67.
2. Пономарев, А. Н. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа и способ их получения : пат. 2196731 Рос. Федерация : МПК7 С 01 В 31/02 / Пономарев А. Н., Никитин В. А.; заявитель и патентообладатель ЗАО «АСТРИН». – № 2000124887/12; заявл. 21.09.00; опубл. 20.01.03, Реестр ФИПС.