

# Иодный фотодиссоционный лазер с внутрирезонаторным пространственно-временным модулятором света

Г.Н.Качалин, С.Н.Певный, Д.Н.Пивкин, А.С.Сафронов

*Экспериментально исследована схема иодного лазера с двумя различными внутрирезонаторными устройствами пространственно-временной модуляции излучения на основе электрооптической керамики ЦТСЛ. Показана возможность генерации лазера в различных угловых направлениях при использовании обоих устройств. Энергия генерации лазера составляла 10 мДж при длительности импульса 200 нс и расходимости излучения  $6.3 \times 10^{-4}$  рад. «Поле зрения» лазера  $5.1 \times 10^{-3}$  рад состояло из дискретного набора  $8 \times 8$  направлений.*

**Ключевые слова:** внутрирезонаторный метод управления диаграммой направленности, иодный фотодиссоционный лазер, пространственно-временные модуляторы излучения, электрооптическая ЦТСЛ-керамика, сопряженный резонатор, пространственный контраст излучения.

## 1. Введение

Управление диаграммой направленности выходного излучения является актуальной задачей в различных областях применения лазеров. Для ее решения эффективно используются внутрирезонаторные методы сканирования [1, 2]. К достоинствам такого подхода относятся высокие скорости переключения диаграммы направленности и возможность цифрового или аналогового управления устройством в автоматическом режиме [3].

Лазер с внутрирезонаторным сканированием должен иметь сопряженный резонатор, в котором существует не одна, а множество эквивалентных оптических осей, направления которых заполняют все «поле зрения» лазера, и пространственно-временной модулятор света (ПВМС), обеспечивающий селекцию выбранной оптической оси [4, 5]. Особенность сопряженного резонатора состоит в том, что при полном обходе каждая точка его фокальной плоскости переходит сама в себя без увеличения. Для селекции направления излучения лазера традиционно используются ПВМС [6].

Применение ПВМС на основе электрооптической керамики ЦТСЛ (цирконат-титанат свинца, легированный лантаном) в сопряженном резонаторе Nd:YAG-лазера предложено и реализовано в работах [4, 7].

С помощью такого устройства в настоящей работе получено внутрирезонаторное управление диаграммой направленности иодного фотодиссоционного лазера. Характерное время электрооптического просветления ячейки устройства не превышало 5 нс.

## 2. Устройство управления диаграммой направленности на основе ПВМС

В настоящей работе исследованы две схемы внутрирезонаторного устройства управления диаграммой направ-

ленности иодного фотодиссоционного лазера на основе ПВМС из электрооптической керамики ЦТСЛ. Применение данных устройств в иодном лазере, генерирующем излучение на длине волны 1.315 мкм, требует увеличения подаваемого на ячейки ПВМС управляющего напряжения по сравнению с напряжением на ячейках ПВМС для излучения видимого диапазона. Вследствие этого может возникнуть электрический пробой на поверхностях модуляторов.

В первом устройстве [5] (рис. 1, а) использовался ПВМС в виде двух ортогональных одномерных матричных пластин 3 и 4 из керамики ЦТСЛ с подаваемым на каждую пластину четвертьволновым напряжением, разделенных пластиной из кристаллического кварца 7, вращающей плоскость поляризации на  $90^\circ$ . Вся конструкция устанавливалась между двумя поляризаторами 1 с одинаковым азимутом пропускания. Достоинствами этой схемы явля-

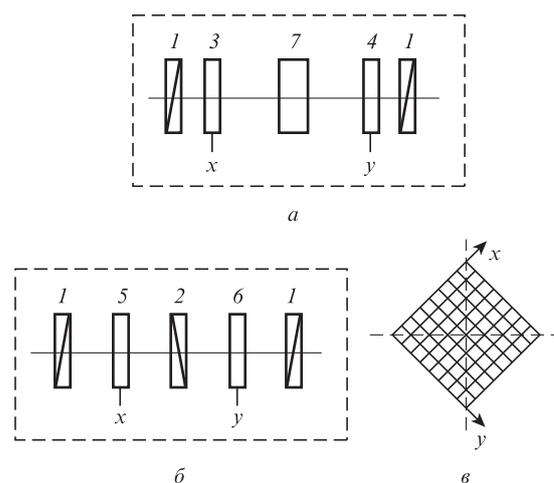


Рис. 1. Принципиальные схемы устройства управления диаграммой направленности на основе ПВМС – схема с кварцевой вращающей пластиной (а), схема на основе двух полуволновых затворов (б) и схема расположения ячеек ПВМС (в):

1 – поляризатор с вертикальным азимутом пропускания; 2 – поляризатор с горизонтальным азимутом пропускания; 3 и 4 – пластины ПВМС по координатам  $x$  и  $y$  (четвертьволновое управляющее напряжение); 5 и 6 – пластины ПВМС по координатам  $x$  и  $y$  (полуволновое управляющее напряжение); 7 – кварцевая кристаллическая пластина, вращающая плоскость поляризации на  $90^\circ$  [5].

Г.Н.Качалин, С.Н.Певный, Д.Н.Пивкин, А.С.Сафронов. Институт лазерно-физических исследований ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ», Россия, Нижегородская обл., 607188 Саров, просп. Мира, 37; e-mail: kachalingrigorij@mail.ru

Поступила в редакцию 27 февраля 2012 г.

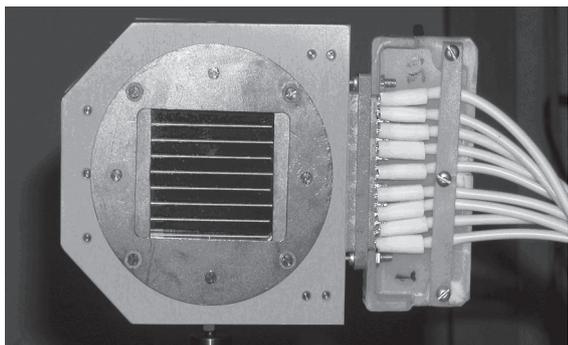


Рис.2. Фотография отдельной пластины ПВМС по одной из координат.

ются отсутствие электрического поверхностного пробоя, приводящего к срыву генерации, благодаря подаче четвертьволнового напряжения ( $2.33 \pm 0.07$  кВ) на пластины электрооптической керамики и малые оптические потери. К ее недостаткам можно отнести невысокий контраст –  $\gamma = 4$  [6]. Под контрастом понимается отношение интенсивности излучения, прошедшего через включенную ячейку ПВМС, к интенсивности излучения, прошедшего через все невключенные ячейки.

Во втором устройстве (рис.1.б) использовался ПВМС в виде двух ортогональных, одномерных матричных пластин 5 и 6, на которые подавалось полуволновое управляющее напряжение. Каждая пластина располагалась между поляризаторами 1 и 2 со скрещенными азимутами пропускания. Преимуществом этой схемы является высокий оптический контраст ( $\gamma \approx 1000$  [6]), а недостатком – большая длина и вероятность поверхностного электрического пробоя из-за подачи на пластины полуволнового управляющего напряжения ( $3.3 \pm 0.1$  кВ), в 1.4 раза большего, чем в первом устройстве.

Фотография отдельной пластины ПВМС по одной из координат представлена на рис.2. Функционирование каждой пластины ПВМС основано на формировании строчной развертки за счет поперечного электрооптического эффекта в керамике ЦТСЛ состава 9.75:65:35 [4].

### 3. Оптическая схема лазера

Оптическая схема иодного фотодиссоционного лазера с внутрирезонаторным устройством управления диаграммой направленности приведена на рис.3. Использовался линейный сопряженный резонатор. Он состоял из двух плоских зеркал 1, расположенных в фокальных плоскостях софокусных линз 3 и 7. Вывод излучения из резонатора осуществлялся полупрозрачным зеркалом 6. Размер элементарной ячейки устройства управления диаграммой направленности составлял  $3 \times 3$  мм. Активная среда представляла собой газовую смесь гептафторидпропана

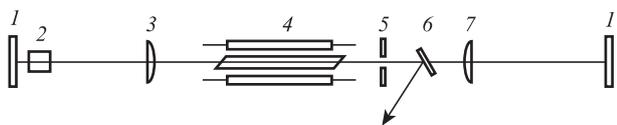


Рис.3. Оптическая схема иодного фотодиссоционного лазера: 1 – зеркала резонатора; 2 – устройство управления диаграммой направленности на основе ПВМС; 3 и 7 – линзы сопряженного резонатора с фокусными расстояниями 4.7 и 1.6 м соответственно; 4 – кювета с активной средой и лампами накачки; 5 – апертурная диафрагма диаметром 12 мм; 6 – полупрозрачное зеркало ( $R = 50\%$ ).

( $n\text{-C}_3\text{F}_7\text{I}$ ) с аргоном в соотношении 1:10 с суммарным давлением 15–20 Тор, которая заполняла кварцевую трубку длиной 0.5 м с внутренним диаметром 20 мм. Накачка активной среды проводилась двумя импульсными ксенонowymi лампами ИФП 8000, помещенными в алюминиевый отражатель.

Принципиальное отличие данной схемы от описанных в работах [3, 4, 7] заключается в том, что ПВМС размещался у одного из зеркал резонатора в фокальной плоскости линзы углового селектора.

### 4. Эксперимент

При помещении в резонатор иодного фотодиссоционного лазера первого устройства (рис.1.а) с размером элементарной ячейки  $3 \times 3$  мм, содержащего кварцевую вращающую пластину, было экспериментально получено сканирование направления излучения по двум угловым координатам в поле  $8 \times 8$  направлений. Лазер работал в режиме свободной генерации. Расходимость излучения составляла  $8 \times 10^{-4}$  рад. Усредненная по 35 опытам энергия лазерного излучения  $E = 12 \pm 1$  мДж. Осциллограмма лазерного импульса приведена на рис.4.

Для демонстрации генерации лазера в нескольких угловых направлениях осуществлялось поочередное включение трех ячеек. Картина распределения интенсивности излучения в дальней и ближней зонах для этого случая представлена на рис.5. В дальней зоне отчетливо проявляется засвечивание соседних с включенной ячеек устройства управления диаграммой направленности. Это объясняется конструкцией данного устройства, которая обеспечивает малый контраст ( $\gamma = 4$  [6]) в режиме многомодовой генерации.

Для определения контраста в режиме одномодовой генерации была проведена серия экспериментов с использованием неодимового лазера с импульсной ламповой накачкой. Они показали, что устройство на основе кварцевой вращающей пластины позволяет получить высокий контраст ( $\gamma > 500$ ) в дальней зоне при дифракционном согласовании излучающей апертуры лазера с угловым размером ячейки ПВМС. При этом энергия генерации снижается в два раза по сравнению с многомодовым режимом.

Устройство управления диаграммой направленности излучения с кварцевой вращающей пластиной в лазере с дифракционно рассогласованными размерами излучающей апертуры и ячейки ПВМС принципиально не позво-

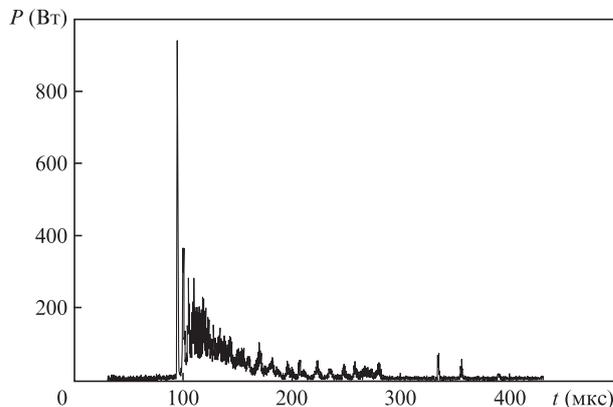


Рис.4. Осциллограмма импульса излучения лазера с устройством управления диаграммой направленности на основе кварцевой вращающей пластины.

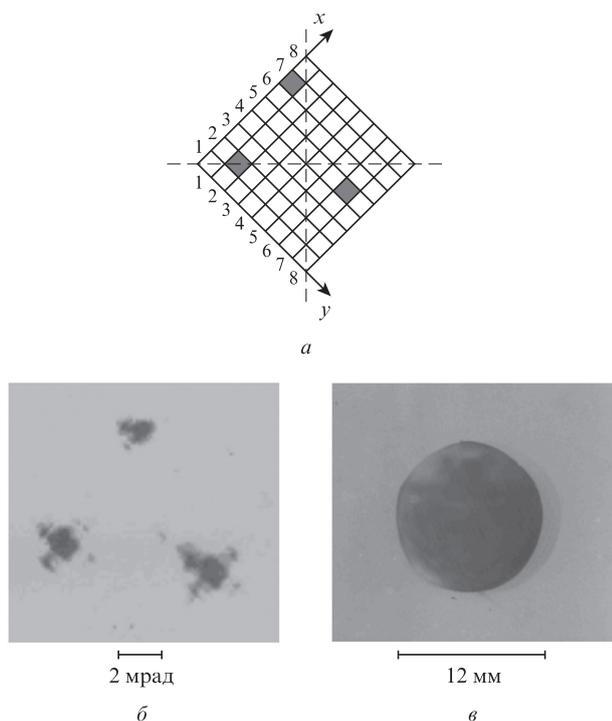


Рис.5. Схема включения ячеек устройства управления диаграммой направленности (а), а также картины распределения интенсивности излучения в дальней (б) и ближней (в) зонах.

ляет получить высококонтрастную генерацию в одной элементарной ячейке. Однако в ряде применений лазеров это может оказаться полезным.

Для получения высококонтрастного распределения интенсивности излучения в дальней зоне в резонатор помещалось второе устройство управления диаграммой направленности на основе двух ортогональных полуволновых затворов, схема которого представлена на рис.1,б. В ходе экспериментов было реализовано управление диаграммой направленности иодного лазера во всем рабочем поле. При этом из-за возрастания потерь в резонаторе энергия генерации снизилась до  $10 \pm 1$  мДж, а длительность импульса составила 200 мкс. Расходимость излучения оказалась равной  $6.3 \times 10^{-4}$  рад, что объясняется высоким

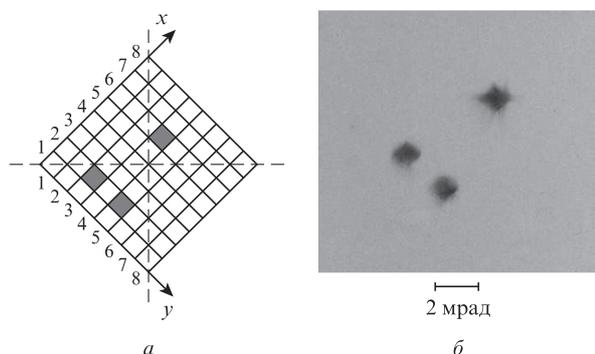


Рис.6. Схема включения ячеек устройства (а) и картина распределения интенсивности излучения в дальней зоне (б).

контрастом. Осциллограмма лазерного импульса в этом случае аналогична приведенной на рис.4. Схема включения ячеек ПВМС и картина распределения интенсивности излучения в дальней зоне после включения трех ячеек представлены на рис.6.

Необходимо отметить, что при работе на краях рабочего поля энергия генерации снижается на 15% по сравнению с энергией генерации в осевом направлении из-за эффектов виньетирования в кювете с активной средой.

Результаты экспериментов показывают, что схема с двумя ортогональными полуволновыми затворами позволяет получать генерацию в выбранных направлениях в пределах «поля зрения» лазера с высококонтрастным распределением интенсивности излучения в дальней зоне.

## 5. Выводы

Таким образом, впервые продемонстрирована работа иодного фотодиссоционного лазера в режиме свободной генерации с внутрирезонаторным управлением диаграммой направленности при использовании двух различных устройств на основе ПВМС.

Получены следующие характеристики излучения лазера: энергия генерации до 12 мДж при применении устройства управления диаграммой направленности на основе кварцевой вращающейся пластины (она снижается на 17% для устройства на основе двух ортогональных полуволновых затворов), длительность импульса генерации 200 мкс, расходимость излучения  $(6-8) \times 10^{-4}$  рад.

Показано, что использование устройства управления диаграммой направленности на основе двух ортогональных полуволновых затворов позволяет получать высококонтрастное распределение интенсивности излучения в дальней зоне даже при дифракционно рассогласованных размерах ячейки ПВМС и излучающей апертуры лазера. Для получения подобного высококонтрастного распределения в схеме с устройством на основе кварцевой вращающейся пластины необходимо обязательно выполнять дифракционное согласование излучающей апертуры лазера с размером элементарной ячейки ПВМС.

Устройство управления диаграммой направленности излучения с кварцевой вращающейся пластиной целесообразно применять в резонаторах лазеров, работающих при небольшом превышении порога генерации. В более мощных лазерах лучше использовать высококонтрастное устройство на основе двух ортогональных полуволновых затворов.

1. Myers R.A., Pole R.V. *IBM J. Res. Dev.*, **11**, 502 (1967).
2. Patent US 3639854 (1968).
3. Алексеев В.Н., Дмитриев Д.И., Жилин А.Н. и др. *Квантовая электроника*, **21**, 753 (1994).
4. Алексеев В.Н., Котылев В.Н., Либер В.И. *Квантовая электроника*, **27**, 233 (1999).
5. Качалин Г.Н., Шкапа А.Ф. *Докл. IV научно-технич. конф. «Молодежь в науке»* (Саров, ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ»), 2006, с. 335).
6. Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.Н., Парфенов А.В. *Пространственные модуляторы света* (М.: Радио и связь, 1987).
7. Alekseev V., Liber V., Starikov A., Anspoks A., Auzins E., Klotins E., Kotleris J. *Ferroelectrics*, **131**, 301 (1992).