

07;12

## Исследование применения матричного фотоприемного устройства для внутрирезонаторной селекции направления излучения лазера

© Г.Н. Качалин, С.Н. Певный, Д.Н. Пивкин, А.С. Сафронов, А.Ф. Шкапа

Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики,  
607190 Саров, Нижегородская область, Россия  
e-mail: KachalinGrigorij@mail.ru

(Поступило в Редакцию 13 апреля 2011 г.)

Экспериментально исследован фотодиссоционный йодный лазер с внутрирезонаторным устройством пространственно-временной модуляции излучения, которое управлялось внешним матричным фотоприемником. Показана возможность работы лазера в различных направлениях, задаваемых световым сигналом. Энергия лазерного излучения составила 11 Дж при длительности импульса 180 мкс и расходимости  $1.2 \cdot 10^{-4}$  рад.

### Введение

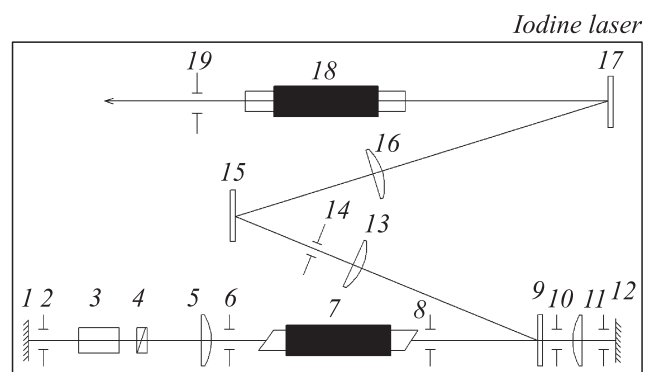
Возможность углового сканирования лазерным пучком важна с точки зрения различных технологических применений, например в микроэлектронике. Пространственное безынерционное управление лучом можно осуществлять, используя внутрирезонаторную селекцию направления генерации лазера [1,2]. Если лазерный резонатор конструктивно содержит собирающую линзу, то можно задавать направление генерации, изменяя прозрачность соответствующего участка в фокальной плоскости этой линзы. Переключение направления генерации может быть реализовано постановкой в резонатор матричного пространственно-временного модулятора света (ПВМС), пропускание выбранного элемента которого зависит от прикладываемого к нему электрического напряжения [3]. Коммутация напряжения на элементах матрицы должна осуществляться по сигналу какого-либо внешнего источника. Таким источником может быть, в частности, матричное фотоприемное устройство (МФПУ), регистрирующее положение мишени и оптически сопряженное с ПВМС.

### 1. Йодный лазер с узлом ПВМС

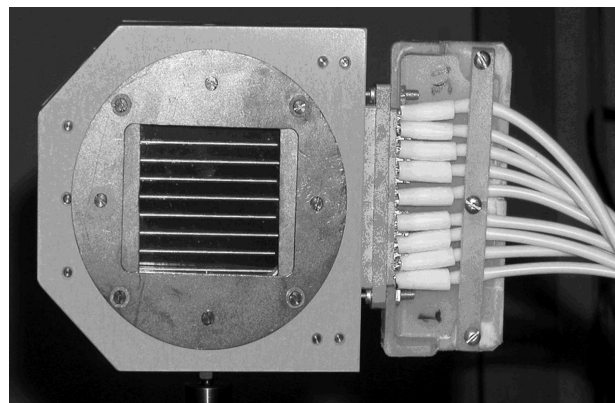
В серии экспериментов устройство ПВМС было отработано в резонаторе фотодиссоционного йодного лазера с лампой накачкой и длиной волны излучения  $\lambda = 1.315 \mu\text{m}$ . Лазер был построен по традиционной схеме: задающий генератор, система оптического согласования, усилитель [4]. Сопряженный резонатор состоял из двух зеркал, расположенных в фокальных плоскостях софокусных линз [5,6]. На рис. 1 представлена оптическая схема йодного лазера с узлом ПВМС.

ПВМС представляет собой быстродействующий электрооптический прибор, в основе работы которого лежит явление двулучепреломления света при прохождении керамики с наведенной анизотропией [7]. Характерное время включения данного узла составляет 5 мкс. Управляющее четвертьволновое напряжение

для модулятора с размером ячейки 5 мм составляет  $U_{\lambda/4} = 3.9 \pm 0.4 \text{ kV}$  при температуре 293 К, полуволновое напряжение  $U_{\lambda/2} = 5 \pm 0.2 \text{ kV}$  [8]. Устройство

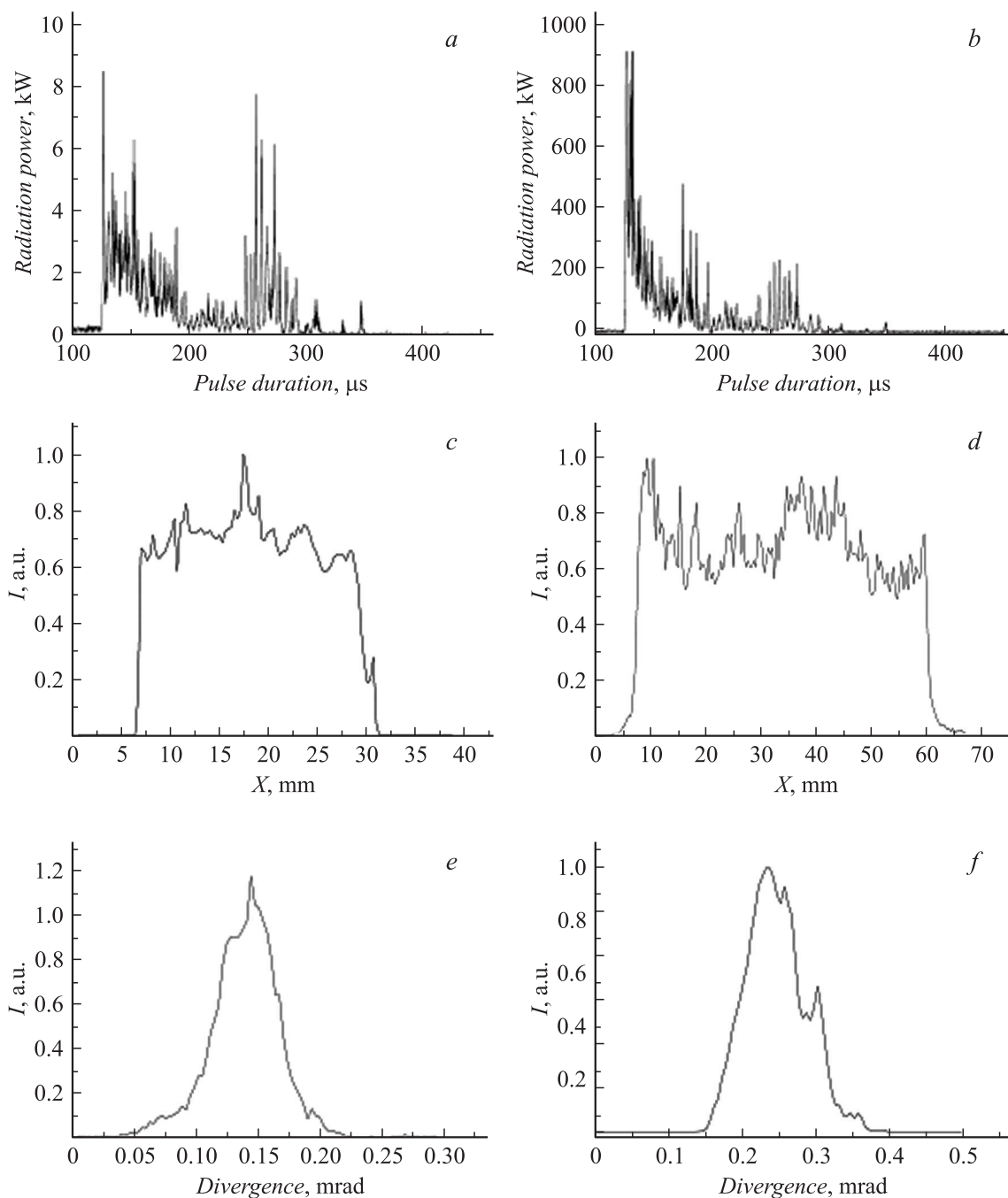


**Рис. 1.** Оптическая схема йодного лазера с узлом ПВМС: 1, 12 — зеркала резонатора; 2, 6, 8, 10, 11, 14, 19 — диафрагмы; 3 — устройство ПВМС; 4 — поляризатор; 5, 11 — собирающие линзы сопряженного резонатора; 7 — кювета задающего генератора йодного фотодиссоционного лазера; 9, 15, 17 — поворотные плоские зеркала с различными коэффициентами отражения; 13, 16 — собирающие линзы; 18 — кювета усилителя йодного фотодиссоционного лазера.

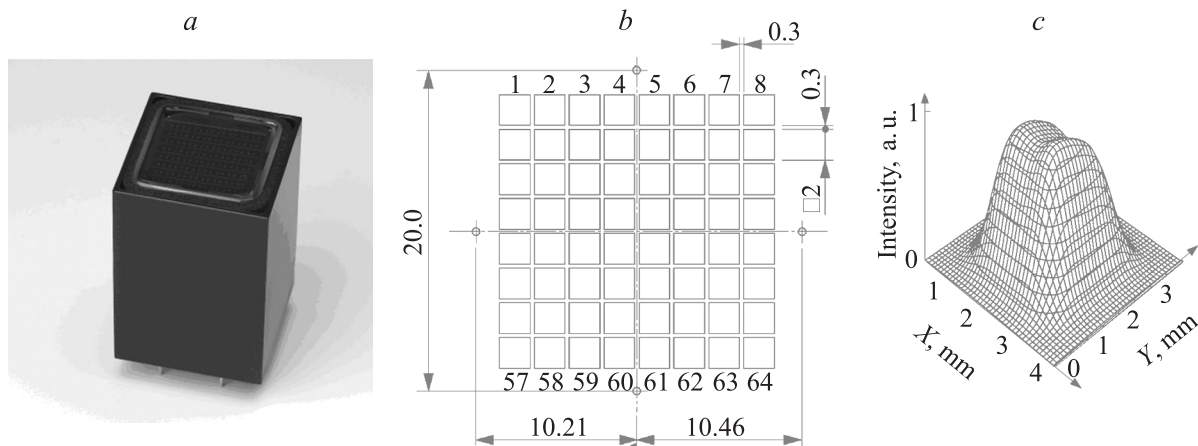


**Рис. 2.** Внешний вид модулятора.

Параметры выходного лазерного излучения	Диафрагма		ПВМС	
	ЗГ	УС	ЗГ	УС
$E, J$	$0.65 \pm 0.02$	$9.6 \pm 0.3$	$0.3 \pm 0.1$	$11 \pm 0.3$
$\tau, \mu s$	244	244	200	180
$P, kW$	2.7	39	1.7	62
$\theta, mrad$	0.6	0.3	0.5	0.1



**Рис. 3.** Формы импульсов и распределения интенсивности лазерного излучения по поперечному сечению пучка в ближней и дальней зонах после задающего генератора (*a, c, e*) и усилителя (*b, d, f*): *a, b* — формы импульса; *c, d* — распределения интенсивности лазерного излучения в ближней зоне пучка; *e, f* — распределения интенсивности в дальней зоне пучка.



**Рис. 4.** Внешний вид ФЭУ и конфигурация приемных элементов: *a* — внешний вид модуля многоанодного ФЭУ; *b* — конфигурация размещения чувствительных элементов; *c* — зонная чувствительность одного элемента.

ПВМС состоит из двух скрещенных модуляторов. Внешний вид одного модулятора представлен на рис. 2.

Первая серия опытов проводилась с использованием модельной диафрагмы (5 × 5 mm), соответствующей размеру одной ячейки ПВМС, без модуляторов, для определения фактических значений энергии ( $E$ ), формы и длительности ( $\tau$ ) импульса излучения задающего генератора и усилителя. Вторая серия опытов была проведена с использованием модуляторов. В таблице приведены полученные результаты. Снижение энергии обусловлено оптическими потерями на узле ПВМС. Энергия ( $E$ ), длительность ( $\tau$ ) по уровню 0.1 мощности, средняя мощность ( $P$ ), расходимость излучения ( $\theta$ ).

Формы импульсов, а также распределения интенсивности лазерного излучения по поперечному сечению пучка в ближней и дальней зоне представлены на рис. 3.

## 2. Применение МФПУ для внутррезонаторной селекции направления излучения лазера

МФПУ регистрирует положение точечного источника и выдает команду на открытие ячейки ПВМС, после открытия которой обеспечивается практически безынерционное наведение луча на исходной точечный источник.

Основным элементом МФПУ является 64-канальный фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Внешний вид ФЭУ и конфигурация приемных элементов показаны на рис. 4.

Основные технические характеристики МФПУ: формат матрицы приемных элементов  $m = 8 \times 8$ , размер приемных элементов  $2 \times 2$  mm, полоса частот приемных каналов 1 kHz, спектральный диапазон работы 310–870 nm, частота обновления координатной информации 1.3 kHz, температурный диапазон работы 278–313 K.

Аналоговый сигнал МФПУ преобразуется в цифровой код для дальнейшей его обработки. В состав МФПУ

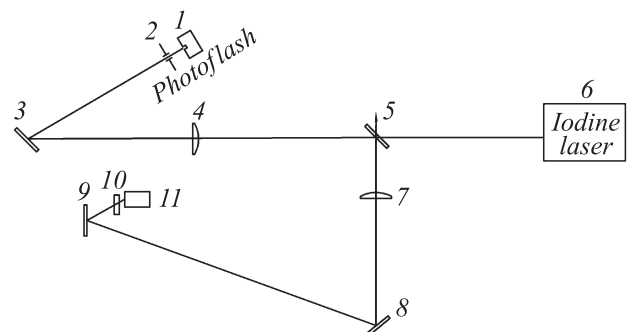
входит также вычислительное устройство, программное обеспечение которого выполняет следующие функции.

- Прием данных от модуля МФПУ с частотой обновления не менее 1 kHz,
- Обработка данных,
- Выработка сигналов для управления ПВМС.

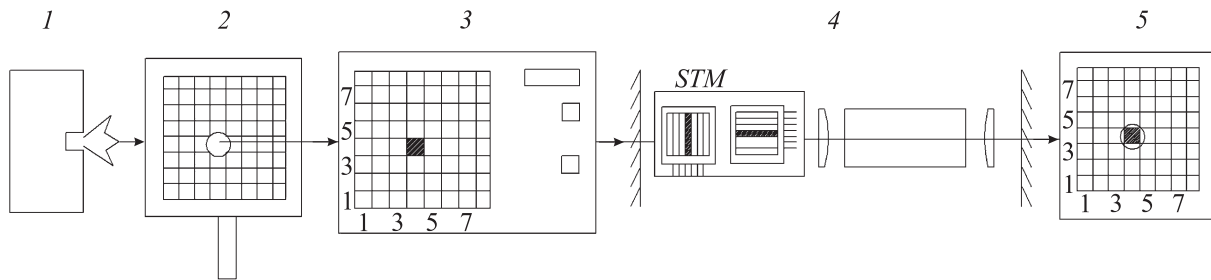
Устройства МФПУ и ПВМС были разработаны и изготовлены в ФГУП НИИКИ ОЭП. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

На рис. 5 представлена оптическая схема экспериментального стенда на основе йодного фотодиссоционного лазера, предназначенного для получения внутррезонаторной селекции направления излучения лазера с помощью устройства ПВМС, управляемого оптически сопряженным с ним МФПУ. Подробная оптическая схема йодного лазера (элемент номер 6) была представлена ранее на рис. 1.

В качестве точечного источника применялась импульсная фотовспышка, которая выдавала однократ-



**Рис. 5.** Оптическая схема экспериментального стенда на основе йодного фотодиссоционного лазера: 1 — импульсная фотовспышка; 2 — диафрагма; 3, 8, 9 — поворотные плоские зеркала; 4, 7 — собирающие линзы; 5 — поворотное зеркало с коэффициентами отражения ( $R_{0.63} \approx 0.95$ ;  $R_{1.3} \approx 0.05$ ); 6 — йодный фотодиссоционный лазер; 10 — блок светофильтров; 11 — матричное фотоприемное устройство (МФПУ).

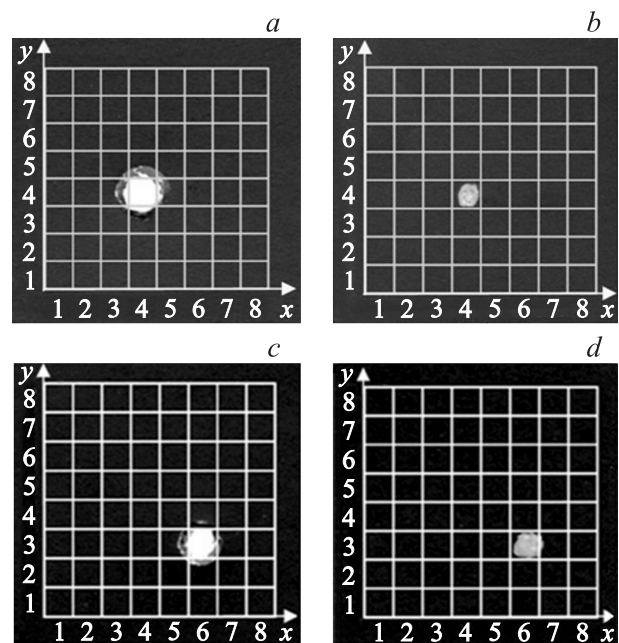


**Рис. 6.** Схематическая картина проведенных опытов при работе лазера по различным ячейкам ПВМС: 1 — импульсная фотовспышка; 2 — диафрагма с наклеенной фотобумагой; 3 — МФПУ; 4 — йодный лазер с устройством ПВМС в резонаторе; 5 — фотобумага с ожогом, сделанным лазерным излучением.

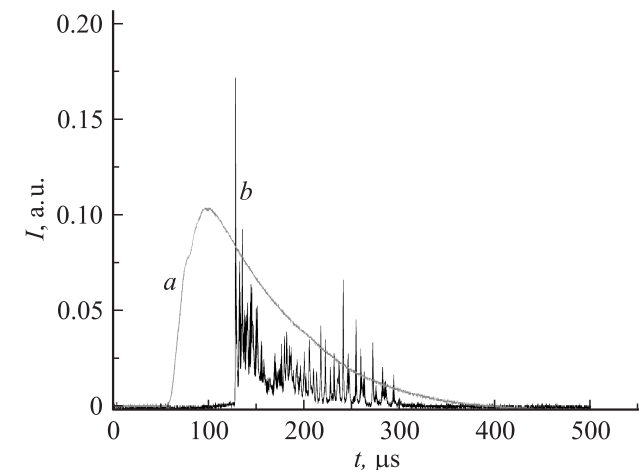
ный световой импульс длительностью  $150\mu\text{s}$ . Перед вспышкой была установлена металлическая диафрагма ( $d_2 = 3\text{ mm}$ ) с наклеенной заселенной фотобумагой, на которой регистрировался ожог от лазерного излучения. Для того чтобы излучение фотовспышки проходило через непрозрачную фотобумагу, в ней было проделано отверстие, размер которого соответствовал размеру металлической диафрагмы, на которую была наклеена фотобумага. Изображение диафрагмы линзами 4 и 7 перестраивалось на МФПУ, которое выдавало синхромпульс на открытие соответствующей ячейки ПВМС. По этому сигналу блок электронных ключей ПВМС выдавал высоковольтные открывающие импульсы на молекуляторы и импульс на запуск лазера. На рис. 6 представлена схематическая картина проведенных опытов.

Осциллограмма светового импульса запускающего лазер представлена на рис. 7, из которого видно, что генерация йодного лазера начиналась через  $50\mu\text{s}$  после срабатывания импульсной фотовспышки.

В первом опыте наведение излучения происходило на ячейку (4;4), расположенную на оптической оси задающего генератора. В этом случае лазерное излучение полностью проходит обратно в диафрагму. Во втором опыте наведение излучения происходило на внеосевую



**Рис. 8.** Работа йодного лазера по ячейкам (4;4) и (6;3) ПВМС со световым запуском от импульсной фотовспышки; a, c — изображение излучающей апертуры вспышки; b, d — ожог в дальней зоне от лазерного излучения.



**Рис. 7.** Осциллограммы светового импульса, запускающего лазер (a), импульса генерации (b).

ячейку (6;3). Запуск лазера производился аналогично первому опыту. На рис. 8 представлены изображения излучающей апертуры вспышки и соответствующий ожог в дальней зоне от лазерного излучения, полученные на фотобумаге.

Наложение координатных сеток на рисунках проведено для более наглядного представления местоположения лазерного ожога в зависимости от инициированного светом импульсом рабочей ячейки ПВМС.

На основании проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что выбранная схема управляемого лазера позволила получить генерацию в направлении запускающего светового импульса, в поле зрения  $\pm 4 \cdot 10^{-4}\text{ rad}$ , ограниченного угловым размером ПВМС, с задержкой не более  $65\mu\text{s}$ .

## Заключение

В результате исследований экспериментально продемонстрировано управление йодным лазером с внутривибрационной сканировкой направления излучения на основе ПВМС, управляемого оптически сопряженным с ним МФПУ, без потерь энергии. Управляющий электрический импульс формируется по световому сигналу от точечного источника, зарегистрированного одной из ячеек МФПУ. Сканирование направления излучения возможно в поле зрения  $\pm 4 \cdot 10^{-4}$  рад, ограниченного угловым размером ПВМС. Выходное излучение лазера имеет следующие параметры: энергия импульса генерации — 11 Дж, расходимость —  $1.2 \times 10^{-4}$  рад, длительность — 180 мкс. Задержка генерации относительно запускающего импульса составляет 65 мкс.

## Список литературы

- [1] Pole R.V.J. // Opt. Soc. Amer. 1965. P. 254.
- [2] Пивкин Д.Н., Качалин Г.Н., Шкапа А.Ф. // Сб. докл. 8-й Научно-технической конф. „Молодежь в науке“. Саров, 2009. С. 300–305.
- [3] Алексеев В.Н., Дмитриев Д.И., Жилин А.Н., Решетников В.И., Стариков А.Д. // Квант. электрон. 1994. Т. 21. Вып. 8. С. 753–758.
- [4] Звельо О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1984.
- [5] Качалин Г.Н., Шкапа А.Ф. // Тез. докл. IX Нижегородской сессии молодых ученых. Саров, 2004. 161 с.
- [6] Качалин Г.Н., Шкапа А.Ф. // Сб. докл. 4-й Научно-технической конф. „Молодежь в науке“. Саров, 2005. С. 335–346.
- [7] Васильев А.А., Кассасент Д., Компанец И.Н., Парфенов А.В. Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987.
- [8] Алексеев В.Н., Котылев В.Н., Либер В.И. // Квант. электрон. 1999. Т. 27. Вып. 3. С. 233–238.