

5. Leyendecker G., Bäuerle D., Geittner P., Lydtin H. Laser-induced chemical vapor deposition of carbon // Appl. Phys. Lett.—1981.— V. 39.— P. 921—923.
6. Калафати Ю. Д., Рябова Л. А., Сербинов И. А., Салун В. С. Лазерное осаждение материалов из газовой фазы // Тез. докл. VI Всесоюз. конф. по росту кристаллов (Цахкадзор, Арм. ССР, сент. 1985 г.).— Ереван, 1985.— Т. 2.
7. Du Y. O., Kempfer U., Piglmayer K. e. a. New types of periodic structures in laser-induced chemical vapor deposition // Appl. Phys.—1986.— V. A39.— P. 167—174.

Поступило в редакцию 5 ноября 1986 г.

УДК 535.24.02

А. Б. КАТРИЧ, А. В. ХУДОШИН
(Харьков)

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Согласно [1, 2] к пространственно-энергетическим параметрам излучения относятся диаграмма направленности, энергетическая и угловая расходимость, обобщенная площадь, диаметр и размеры пучка в различных направлениях. Однозначно могут быть определены только диаграмма направленности и обобщенная площадь, значение остальных зависит от вида функции распределения плотности энергии или мощности в сечении пучка ($\Phi P, f(r)$). Например, в методе калиброванных диафрагм [2] зависимость результатов измерений от центровки диафрагмы и вида ΦP очевидна.

Основная причина возникающих трудностей — отсутствие однозначной аналитической связи между ΦP и измеряемой характеристикой. Несоответствие между необходимостью объективного описания пучка излучения и неоднозначностью имеющихся по [1, 2] параметров можно устранить, рассматривая лазерное излучение как вероятностный процесс. Действительно, метрологическое описание не учитывает внешне по отношению к излучению причины, а предсказать реализацию конкретного пучка без рассмотрения источника, среды и других факторов невозможно, т. е. мы имеем дело со случайным событием.

Для вероятностного описания пучка достаточно использовать два положения. Во-первых, в качестве случайной величины r можно взять область пространства, в которой существует излучение. Плотности вероятности соответствует нормированная плотность мощности $f(r)$, а функции распределения вероятности — доля мощности δ в заданной области A_0 . Математическое ожидание $E(r)$ представляет собой координаты энергетического центра пучка R :

$$E(r) = R = \int_{A_0} r f(r) dA. \quad (1)$$

Дисперсия $D(r)$ определяет среднеквадратичный радиус пучка σ :

$$D(r) = \sigma^2 = \int_{A_0} (r - R)^2 f(r) dA. \quad (2)$$

Во-вторых, существование излучения в пространстве рассматривается как случайный процесс, зависящий от неслучайной переменной r . Реализацией такого процесса является ΦP , и математическая обработка осуществляется либо по ансамблю реализаций, либо по единственному распределению. Время вводится как независимая координата (аналогично r), или проводится усреднение. Для ΦP как единственной реализации случайного процесса находятся средние по области существования пучка значения ΦP и ее квадрата:

$$\bar{f} = A_0^{-1} \int_{A_0} f(r) dA, \quad \bar{f}^2 = A_0^{-1} \int_{A_0} f^2(r) dA. \quad (3)$$

Здесь нормировка соответствует полной мощности. При таком подходе используются любые другие характеристики случайных величин, корреляционные функции и т. д. Выражения имеют физические аналоги — центр масс, радиус инерции, средняя плотность.

Обобщенная площадь сечения пучка для непрерывного излучения — функция времени, равная

$$A_{00} = \frac{\bar{f}^2}{f^2} = \frac{A_0}{D(f) + 1}. \quad (4)$$

Известное определение [1] для импульсного излучения отличается от приведенного усреднением по времени соответствующих средних значений в (4) и выражается через значение дисперсии $D(f)$ только в случае стационарного распределения интенсивности, когда

$$W_p(r, t) = f(r) T(t).$$

Значение задаваемого уровня или доли мощности при нахождении расходимости не оговорено, поэтому использование обобщенных величин либо площади круга со среднеквадратичным радиусом (2) не противоречит ГОСТу [1, 2]. Доля мощности, соответствующая расходимости, будет однозначно определена видом ФР, а не задана субъективно. Ее значение не может быть малым, так как функции распределения интенсивности являются положительными, гладкими и локализованными в пространстве. Подтверждением служат приведенные на рис. 1 параметры для ФР в виде кольца (ФР изменяет вид от функции Гаусса до узкого кольца на периферии заданной области при увеличении b от 0 до 18). Видно, что доля мощности δ_{06} и δ_0 в пределах обобщенной площади и круга радиусом σ слабо зависит от вида распределения, в то время как значения соответствующих площадей меняются в широких пределах. По приведенным параметрам можно получить информацию о виде распределения. Для равномерного пучка круглой формы $A_{06} = 2A_0$, при приближенном выполнении равенства ФР компактна и мощность сосредоточена вблизи энергетического центра.

Для всех опробованных функций в пределах A_{06} заключено от 50 до 100% всей мощности. На рис. 2 показано отношение энергетических расходимостей — обычной Θ и по обобщенной площади Θ_{06} в зависимости от заданной доли мощности δ . ФР выражена суммой различного числа функций Гаусса со случайным положением и амплитудой. В основном зависимости сгруппированы вблизи кривой 2 для одной функции Гаусса. При $\Theta_{06} = \Theta$ значения $\delta_{06} = (0,8-0,95)$, что соответствует расходимости по уровню e^{-1} , общепринятой для технологических лазеров. Лишь для пучков с малой высокоинтенсивной областью и обширным низкоинтенсивным фоном δ_{06} падает до 0,5—0,7 (кривая 1). Экспериментальные отношения для пучка неодимового лазера лежат между кривыми 3 и 4, распределение изменялось при помощи различных диафрагм и энергии накачки.

Аппаратурному определению характеристик случайных процессов посвящена достаточно обширная литература (например, [3]). Наибольшей информативностью обладают устройства, выполняющие измерение диаграммы направленности пучка, по которой и рассчитываются как вторичные любые числовые характеристики. Как правило, это сложные измерительно-управляющие комплексы с микропроцессорной обработкой или введением данных в универсальную ЭВМ. В связи с большим количеством каналов регистрации подобные системы оказываются малоэффективными при быстропотекающих процессах либо при необходимости измерения одного-двух интегральных параметров.

Использование однозначных аналитических выражений позволяет непосредственно измерять интегральные характеристики пучка. Необходимые функциональные преобразования производятся либо собственно приемником, либо внешним обрабатывающим устройством. Например, линейные пленочные или проволочные болометры дают отклик в виде проекции ФР в известном направлении [4]. По полученным проекционным данным при помощи аналоговых сумматоров и введения весовых коэффициентов осуществляется измерение полной мощности, координат энергетического центра, σ . Обобщенная площадь вычисляется аналоговым устройством при наличии известной квадратичности характеристики преобразования [5]. При аналоговой обработке сокращается число каналов регистрации, увеличивается быстродействие и расширяется выбор доступных приемников излучения.

Вероятностный подход к пространственно-энергетическим характеристикам позволяет объективно описать и сопоставить пучки с помощью однозначно определяемых диаграммой направленности интегральных параметров. С применением функ-

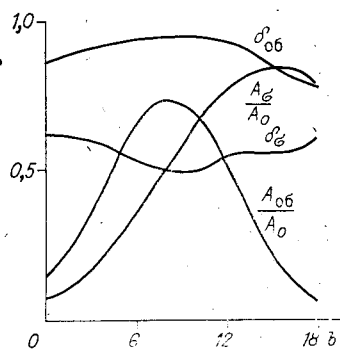


Рис. 1. Зависимость относительных значений площадей и соответствующей им доли энергии от вида функции распределения

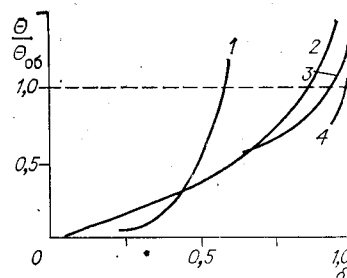


Рис. 2. Отношение энергетической расходимости Θ к расходимости по обобщенной площади Θ_{06} при различной доле энергии δ

циональных преобразователей или микропроцессорной техники измерения автоматизируются, появляется возможность нахождения комплекса параметров и их использования в системах управления излучателем.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24453—80. Измерения параметров и характеристик лазерного излучения.
2. ГОСТ 26086—84. Лазеры. Методы измерения диаметра пучка и энергетической расходимости излучения.
3. Мирский Г. Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов.— М.: Энергия, 1972.
4. Катрич А. Б., Кузьмичев В. М. К вопросу определения энергетического центра и диаметра пучка излучения оптического квантового генератора // Квантовая электрон.— 1975.— Т. 2, № 1.
5. Катрич А. Б., Кузьмичев В. М., Худощин А. В. Измерение параметров пучков излучения при нелинейной характеристике преобразования // Тез. докл. на 5-й Всесоюз. конф. «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение».— М.: Изд-во ВНИИОФИ, 1984.

Поступило в редакцию 8 октября 1985 г.

УДК 535.36.375 : 621

В. И. ПРОЦЬ, И. П. СТАВИЦКИЙ, М. Ф. СТУПАК
(Новосибирск)

ПОЛУЧЕНИЕ ОДИНОЧНЫХ СУБНАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ЛАЗЕРЕ С ВРМБ-ВТР-ЗЕРКАЛОМ

Опубликовано уже довольно много работ (см., например, [1]) по твердотельным лазерам, у которых одно или оба зеркала резонатора являются нелинейными зеркалами, работающими на вынужденном рассеянии Манделъштама — Бриллюэна (ВРМБ-зеркало) или на вынужденном температурном рассеянии (ВТР-зеркало). Интерес к этому новому типу зеркальных резонаторов обусловлен существенным положительным влиянием обращения волнового фронта (ОВФ) в нелинейных зеркалах на характеристики лазерного излучения.

Нами отмечалось [2, 3], что конкуренция или одновременное развитие нескольких нелинейных процессов в ВРМБ-ВТР-зеркалах могут приводить к большому разнообразию режимов работы таких лазеров. Более того, как отмечено в работе [4]: «К настоящему времени нет количественной теории и даже понимания всех процессов, существенных для работы такого лазера». В данном сообщении обращается внимание на один из нелинейных процессов в лазере с ВРМБ-ВТР-зеркалами и приводятся результаты использования этого процесса для получения заданных характеристик лазерного излучения.

Исследование динамики генерации лазера с двумя ВРМБ-ВТР-зеркалами показало, что при инжекции внешнего сигнала через нелинейное зеркало (НЗ) (кювета

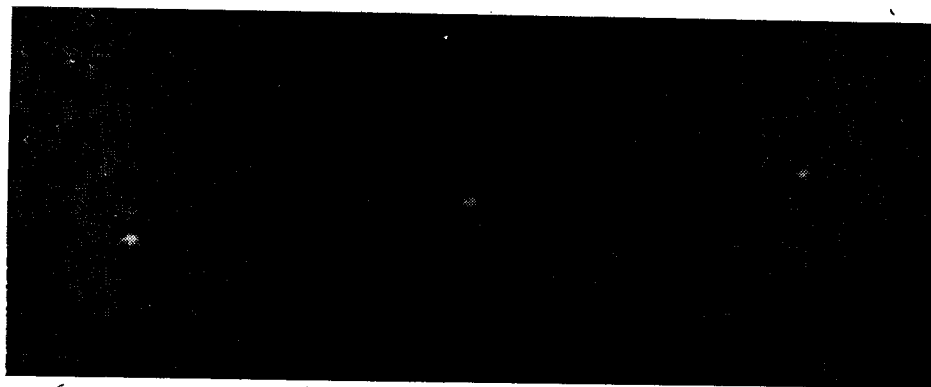


Рис. 1. Хронограмма спектра генерации в припороговом режиме (полукольцо второй гармоники) лазера с двумя нелинейными ВРМБ-зеркалами. Временной интервал между импульсами 9 нс, область свободной дисперсии интерферометра Фабри — Перо $2,5 \text{ см}^{-1}$. Временная развертка слева направо