

ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

С.Г. Казанцев
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Представлены результаты экспериментальных исследований по использованию оптико-акустического метода для измерения параметров мощного широкоапертурного лазерного излучения с использованием элементов оптического тракта. Показано, что щёлочно-галогидные кристаллы при применении их в качестве активного элемента позволяют создать оптико-акустический измеритель параметров импульсного и импульсно-периодического лазерного излучения апертурой до 30 см с плотностью энергии $0,1 - 10 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ и длительностью импульса $1 - 100 \text{ мкс}$ непосредственно в оптическом тракте лидара.

Ключевые слова: лидар, импульсный ТЕА CO_2 -лазер, щёлочно-галогидный кристалл, оптико-акустический метод измерения, фотоупругое взаимодействие.

Введение

К настоящему времени для измерения оптико-физических параметров лазерного излучения разработан ряд способов, подразделяющихся на калориметрические, фотоэлектрические и фотохимические [1]. Использование тех или иных методик определяется параметрами лазерного излучения и необходимой точностью измерений.

Значительная неравномерность мощного широкоапертурного лазерного излучения является наиболее существенным фактором, влияющим на точность определения таких параметров, как интенсивность и плотность энергии лазерного излучения, что в конечном итоге определяет достоверность результатов работ или исследований в целом [2, 3].

Одним из наиболее редко используемых способов измерения параметров импульсного лазерного излучения является оптико-акустический метод, в основе которого лежит явление фотоупругого взаимодействия излучения с прозрачными конденсированными средами. В то же время он обладает рядом достоинств, среди которых важнейшими для создания лидаров являются отсутствие искажений волнового фронта и ухудшения расходимости лазерного излучения.

Устройства, в которых реализуется этот метод, должны содержать прозрачный для лазерного излучения оптический элемент. Однако низкая лазерная стойкость традиционных материалов силовой ИК-оптики является причиной малой распространённости его для использования в оптических трактах мощных лазерных систем дистанционного зондирования аэрозольных и газовых компонент атмосферы.

Ряд исследований, проведённых в течение последних лет, позволяет подобрать необходимые

материалы, технологические методы их обработки и оптимизировать конструкции оптических узлов с учётом режима их облучения и условий эксплуатации с целью создания надёжной и долговечной силовой оптики [2 – 10]. В частности, оптики мощных широкоапертурных импульсных лазеров среднего ИК-диапазона.

В данной работе приводятся результаты поисковых исследований возможности использования прозрачных элементов, уже имеющихся в оптических схемах мощных широкоапертурных лазеров, для создания системы оптико-акустического измерения параметров лазерного излучения непосредственно в оптических трактах лидаров.

Методика экспериментов

В качестве источника излучения использовались импульсный и импульсно-периодический ТЕА CO_2 -лазеры микросекундной длительности, параметры которых подробно описаны в работах [2 – 4]. Оптическая схема эксперимента приведена на рис. 1.

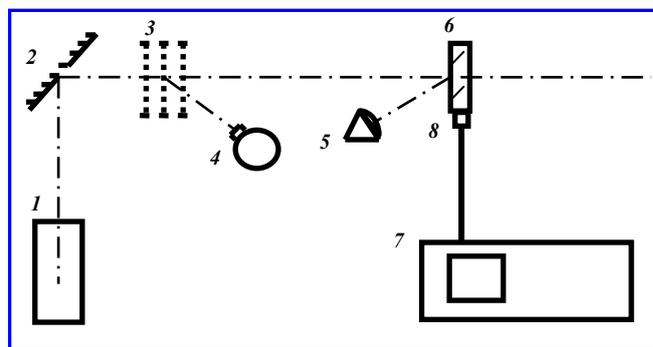


Рис. 1. Оптическая схема: 1 – CO_2 -лазер; 2 – растровая зеркальная система; 3 – проходные решётчатые болометры; 4 – охлаждаемый фотоприёмник; 5 – регистрирующая фотокамера; 6 – оптический элемент; 7 – высокоскоростной запоминающий осциллограф; 8 – пьезодатчик

Основные оптико-физические параметры излучения использованных лазеров

Длина волны, мкм	10,6
Апертура, мм	400 × 200
Длительность импульса, мкс	1 – 3, 30 – 40
Частота следования импульсов, Гц	до 100
Энергия в импульсе, кДж	0,1 – 10
Плотность энергии, Дж·см ⁻²	0,1 – 20

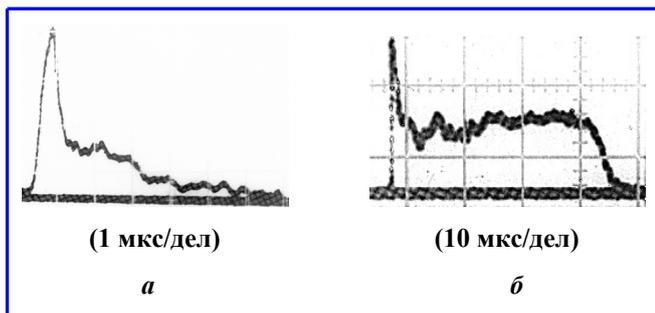


Рис. 2. Характерные формы импульсов лазерного излучения импульсного (а) и импульсно-периодического ТЕА СО₂-лазеров (б)

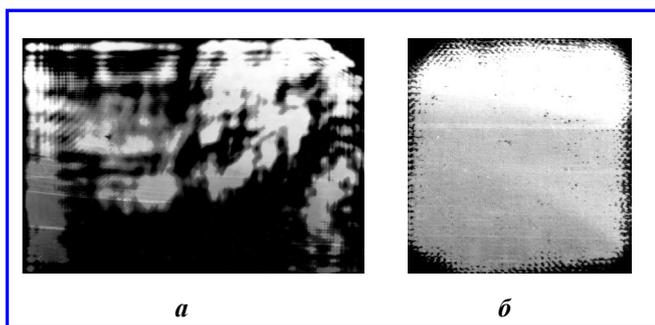


Рис. 3. Распределение излучения в сечении лазерного луча на выходной апертуре ТЕА СО₂-лазера (а) и после растровой зеркальной системы в плоскости мишени (б)

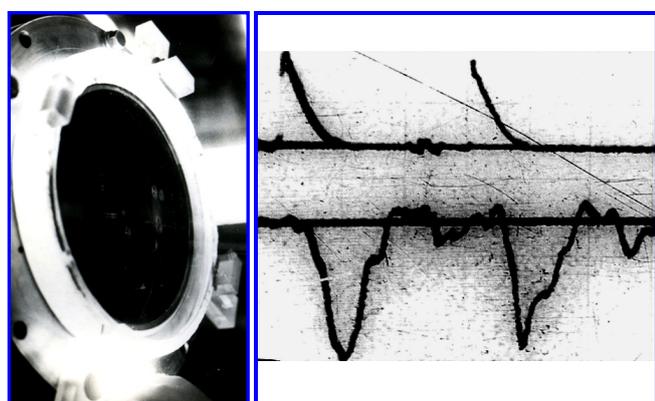


Рис. 4. Оптический клин из монокристалла NaCl (Ø 300 × 40 мм)

Рис. 5. Импульсы лазерного излучения (вверху) и сигнал с пьезодатчика (внизу); масштаб развёртки 1 мкс/дел.

Форма лазерных импульсов (рис. 2) регистрировалась с помощью охлаждаемого жидким азотом фотоприёмника, сигнал с которого подавался на высокоскоростной запоминающий осциллограф.

Распределение интенсивности излучения в сечении лазерного луча фиксировалось на калиброванной фотобумаге. Для снижения неравномерности лазерного излучения в оптической схеме была использована 100-элементная растровая зеркальная система (рис. 3).

В качестве активного оптического элемента использовался оптический клин, изготовленный из монокристаллического NaCl (рис. 4). К боковой поверхности клина закреплялся пьезодатчик из керамики марки ЦТС-19, который преобразовывал акустический отклик на прохождение лазерного импульса через кристалл в электрический сигнал, который подавался на второй вход высокоскоростного запоминающего осциллографа.

Выбор данных материалов определялся тем, что щёлочно-галогидные кристаллы отличаются высокой лазерной стойкостью, широким спектром пропускания, а также технологичностью в изготовлении оптических элементов [2, 3], а керамические элементы – высокой частотой собственного резонанса и большими значениями коэффициента электромеханической связи.

Экспериментальные результаты

На рис. 5 приведены характерные формы импульсов лазерного излучения и сигналов с пьезодатчика, возникающих при прохождении двоянных импульсов микросекундной длительности через оптический клин.

Как следует из рис. 5, импульсы акустического отклика соответствуют по амплитуде и временной задержке переднего фронта лазерным импульсам с точностью не хуже 10%.

На рис. 6 приведены результаты регистрации сигналов акустического отклика на импульсно-периодическое излучение при различных режимах облучения.

Представленные фотоснимки свидетельствуют, что оптико-акустическим методом можно фиксировать как всю серию импульсов, так и отдельные импульсы с частотой следования более 1 МГц.

На рис. 6, в отчётливо видны пропуски в серии импульсов, вызванные лавинообразным

электрическим пробоем в газовой смеси активной среды лазера, и последующие за ними аномальные выбросы, связанные с возникновением переходных процессов в системе высоковольтной накачки источника питания лазера.

Величина плотности энергии лазерного излучения, пропускаемой через клин, варьировалась в интервале $0,1 - 10 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$. Для оптического элемента из монокристаллического NaCl она не должна превышать $8 - 10 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$, так как при больших интенсивностях излучения возможно его разрушение [2 – 4].

При интенсивности меньшей $0,1 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ уровень наведённых помех от мощного лазера существенно снижал точность измерений.

Применение акустического пьезодатчика из керамики марки ЦТС-19 позволило достигнуть временного разрешения менее 1 мкс, что соответствует частоте повторения импульсов более 1 МГц.

Заключение

В результате проведённых экспериментальных исследований установлено, что данная схема может быть использована для создания оптико-акустического измерителя параметров лазерного излучения непосредственно в оптическом тракте лида.

Точность измерений интенсивности и частоты следования импульсов лазерного излучения данным методом существенно выше, чем у традиционных, достигающих величин $\pm (15 - 40)\%$ [1, 2, 11].

Принципиальным также является и то, что оптико-акустический метод позволяет оперативно производить как качественную оценку всей серии импульсов по равномерности повторения амплитуды импульсов, наличия стримеров в серии, вызванных электрическим пробоем в активной среде лазера, так и количественное определение амплитуды каждого из зафиксированных импульсов лазерного излучения с высоким временным разрешением.

Таким образом, можно также утверждать, что данный метод может быть использован для измерения оптико-физических параметров импульсных и импульсно-периодических широкоапертурных лазерных пучков любого качества с любым пространственным и временным заполнением.

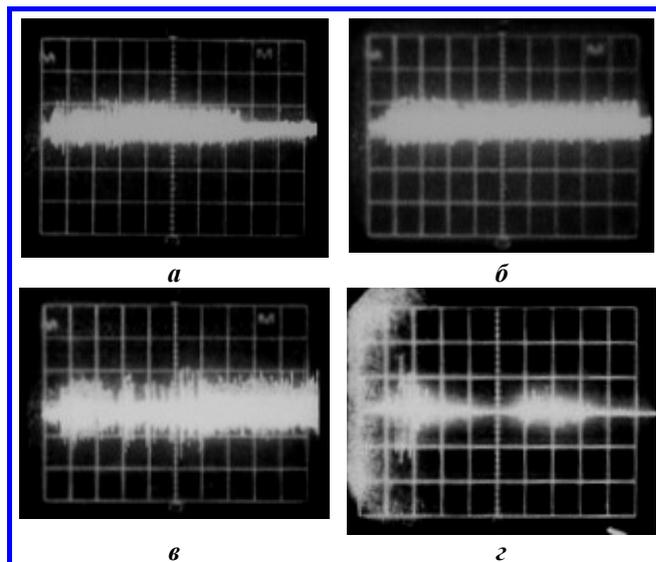


Рис. 6. Сигналы с пьезодатчика, полученные при прохождении через кристалл одиночных серий (а – в) и двойной серии (з) импульсов лазерного излучения длительностью 40 мкс различной продолжительности с частотой следования импульсов 100 Гц; масштаб развёртки 50 мс/дел. (а, б); 30 мс/дел. (в); 100 мс/дел. (з)

Литература

1. Справочник по лазерной технике : пер. с нем. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 544 с. : ил.
2. Казанцев С. Г. Создание проходной оптики мощных ТЕА CO_2 -лазеров и методы повышения лазерной стойкости материалов силовой ИК-оптики / С. Г. Казанцев // Известия ВУЗов. Физика. – 2001. – Т. 44. – № 11. – С. 67 – 77.
3. Казанцев С. Г. Лазерная стойкость перспективных материалов силовой ИК-оптики. Часть 1. Механизмы повреждения материалов силовой ИК-оптики. Часть 2. Способы повышения лазерной стойкости и срока службы оптических элементов / С. Г. Казанцев // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – Т. 16. – № 4. – С. 390 – 401.
4. Казанцев С. Г. Перспективные материалы проходной оптики мощных ИК-лазеров / С. Г. Казанцев // Ruphys news. Online journal of the United Physical Society of the RF. – 2005. – Vol. 1.
5. Kazantsev S. G. Evolution of alkali-halides defective structure at plastic deformation of large-size preparations of wide-aperture CO_2 -lasers windows / S. G. Kazantsev // SPIE. – Vol. 3403. 0277-786X/98. – P. 265 – 269.
6. Блистанов А. А. Термомеханическая обработка щелочно-галогенидных кристаллов как способ повышения стойкости к воздействию мощного импульсного лазерного излучения / А. А. Блистанов, С. Г. Казанцев, О. М. Кугаенко // Известия ВУЗов. Материалы электронной техники. – 2001. – № 4. – С. 42 – 45.
7. Блистанов А. А. Термомеханическая обработка материалов проходной оптики импульсных лазеров среднего ИК-диапазона / А. А. Блистанов, С. Г. Казанцев,

- О. М. Кугаенко [и др.] // Известия ВУЗов. Материалы электронной техники. – 2005. – № 2. – С. 37 – 39.
8. Блистанов А. А. Лазерная стойкость деформационно-упрочнённых щёлочно-галлоидных кристаллов / А. А. Блистанов, С. Г. Казанцев, О. М. Кугаенко // Известия ВУЗов. Материалы электронной техники. – 1998. – № 4. – С. 20 – 23.
9. Казанцев С. Г. Размерный эффект и лазерная стойкость материалов ИК-оптики при больших пятнах облучения / С. Г. Казанцев // Квантовая электроника. – 1997. – Т. 24. – № 3. – С. 269 – 270.
10. Казанцев С. Г. Влияние длительности лазерного импульса на оптическую стойкость материалов ИК-оптики / С. Г. Казанцев // Квантовая электроника. – 1997. – Т. 24. – № 3. – С. 271 – 273.
11. Казанцев С. Г. Щёлочно-галлоидные кристаллы как элемент оптико-акустического измерителя параметров лазерных импульсов / С. Г. Казанцев // Тезисы докладов 15 Международной конференции «Высокие технологии в медицине, биологии и геоэкологии – 2007». Новороссийск, п. Абрау-Дюрсо, 10 – 14 сентября 2007. – Абрау-Дюрсо : НПИ КубГТУ, 2007. – С. 18.

Поступила в редакцию 06.06.2011

Сергей Геннадьевич Казанцев, д-р техн. наук, зам. генерального директора – генерального конструктора, т. (495) 366-12-01, e-mail: vniiem@orc.ru.