

На рис. 4, а, б представлены пространственные распределения векторов активной и реактивной интенсивности (I_a и I_r). Звуковое давление P в исследуемой области изменяется незначительно, однако видно, что в области точек 7, 8 оно принимает максимальное значение. Как и в расчете, реактивная интенсивность I_r по направлению и величине изменяется в пространстве более существенно, чем I_a . На рис. 4, в в изометрии показаны эллиптические траектории движения частиц среды. Плоскости движения совпадают с плоскостями, определяемыми векторами активной и реактивной интенсивности, при этом главные оси эллипса в общем случае не совпадают с I_a и I_r . Максимальное колебательное смещение частиц среды на частоте 700 Гц в эксперименте не превышало 10 мкм.

Анализ результатов показывает хорошее качественное согласование эксперимента и расчета. Область измерений совпадает с расчетом в интервале точек 5—11. Необходимо отметить, что линейные размеры приемной системы, использованной в эксперименте, значительно меньше характерного размера пространственного изменения акустических величин (длины звуковой волны).

Таким образом, по аналогии с другими видами волновых процессов для акустических полей в жидкостях и газах можно использовать понятие «поляризация», характеризующее поведение звуковой волны в данной точке поля. При этом состояние поляризации в общем случае будет неодинаковым в различных точках звукового поля. Волна может быть поляризована линейно или по кругу при соблюдении определенных амплитудных и фазовых условий, зависящих от условий возбуждения звукового поля, наличия границ и их характеристик. Общим случаем поляризации будет эллиптическая поляризация. Только в некоторых случаях, например для однородной плоской волны ($I_r=0$), состояние поляризации (линейной) одинаково во всех точках звукового поля. Плоскость и траектория движения частиц среды могут быть однозначно определены с помощью измерения величины и направления в пространстве векторов активной и реактивной интенсивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970, с. 49—76. [2] Жуков А. Н. и др. В кн.: Тез. докл. X Всесоюз. акуст. конф. М., 1983, с. 59.

Поступила в редакцию
16.05.84

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 2

УДК 621.37/39:534

АКУСТООПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИК ИЗОБРАЖЕНИЙ

В. И. Балакший, А. М. Богомолов, М. И. Зусман, Л. Н. Магдич,
В. Н. Парыгин, М. Ю. Шаронов

(кафедра физики колебаний)

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования нового метода визуализации ИК изображений, основанного на явлении взаимодействия света с ультразвуком. Особенность данного метода заключается в том, что визуализация происходит в два этапа: сначала на основе акустооптического (АО) взаимодействия осу-

ществляется считывание ИК изображения и получается видеосигнал телевизионного типа [1, 2], а затем из этого сигнала при помощи обычной телевизионной техники формируется видимое изображение объекта.

Основу визуализирующего устройства составляет АО ячейка 3 (рис. 1) — образец из прозрачного для ИК области спектра материала

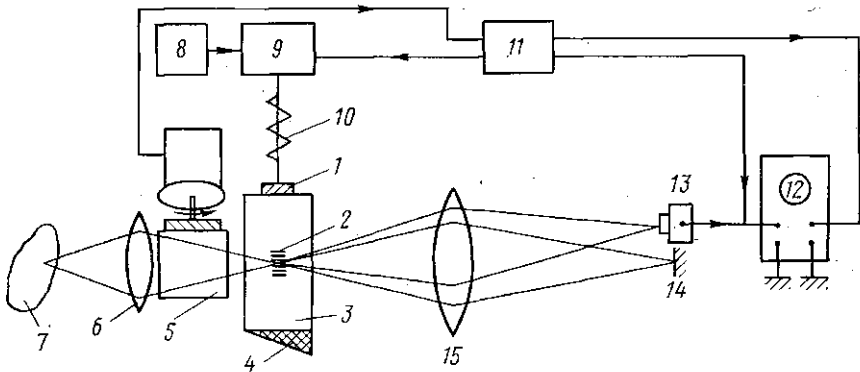


Рис. 1

с пьезопреобразователем 1, служащим для возбуждения ультразвука, и акустическим поглотителем 4, обеспечивающим в ячейке режим гонимых волн. ИК изображение объекта 7 просцируется объективом 6 в плоскость ячейки. Проходя через ячейку, свет дифрагирует в акустическом поле. Дифрагированное излучение регистрируется фотоприемником 13, расположенным в фокальной плоскости линзы 15, а непродифрагированный свет задерживается экраном 14. Возбуждение пьезопреобразователя осуществляется радиоимпульсами 10 длительностью T с частотой заполнения f_0 , соответствующей центральной частоте преобразователя. Каждый радиоимпульс создает в ячейке акустический дуг 2 длиной $h = vT$ (v — скорость звука), распространяющийся от преобразователя к поглотителю. При пробегании дуга по ячейке на нем последовательно дифрагирует излучение, идущее от различных точек объекта. Поэтому снимаемое с фотоприемника напряжение представляет собой видеосигнал развертки ИК изображения. Частота следования радиоимпульсов выбирается так, чтобы в любой момент времени в ячейке находилось не более одного дуга. В этом случае за время $\tau = A/v$ (A — апертура ячейки) каждый дуг считывает одну строку изображения. Для считывания двумерных изображений перед ячейкой располагается дефлектор, с помощью которого все изображение в целом смещается с частотой кадровой развертки ортогонально направлению распространения ультразвука в ячейке. Развертка изображения по кадру может осуществляться дефлекторами различных типов: механическими, акустооптическими и др. [3].

Одной из важнейших характеристик визуализирующего устройства является разрешение. Число разрешимых элементов в строке развертки N зависит от длины дуга h и апертуры ячейки A . Минимальная длина дуга определяется полосой пьезопреобразователя $\Delta f: h \geq v/\Delta f$, тогда как апертура ячейки обычно ограничивается затуханием ультразвука или причинами технологического характера (возможностью получения образцов АО материалов большого размера и хорошего оптического качества). В работе [2] получено следующее выражение для максимального числа разрешимых элементов: $N = R\Delta f\tau$, где R — коэффициент,

зависящий от частоты f_0 , длины взаимодействия света с ультразвуком l , длины волны света λ , типа АО взаимодействия. При изотропной дифракции в оптимальном случае $R=0,4$.

Предельная чувствительность устройства, его динамический диапазон зависят от соответствующих характеристик используемого фотоприемника, поскольку потери света в ячейке могут быть сделаны пренебрежимо малыми. Потребляемая устройством акустическая мощность в случае малой эффективности дифракции ($\eta \ll 1$) определяется выражением $P_a = 2\eta\lambda^2 b / (\pi^2 l M_2)$, где b — поперечный размер акустического пучка, M_2 — коэффициент АО качества [4].

Среди всех известных в настоящее время АО материалов наилучшим для средного ИК диапазона по совокупности различных свойств считается германий [4]. В этом кристалле максимальное значение АО качества достигается при распространении продольной акустической волны в направлении [111]: $M_2 = 260 \cdot 10^{-18}$ с³/г на длине волны $\lambda = 10$ мкм. Именно этот срез кристалла и был использован в нашем эксперименте.

АО ячейка была выполнена в виде прямоугольного параллелепипеда и имела апертуру $A=2$ см, что позволяло считать изображение с периодом строчной развертки $\tau=3,6$ мкс. Пьезопреобразователь с параметрами $f_0=130$ МГц, $\Delta f=45$ МГц, $l=0,45$ см, $b=0,2$ см был изготовлен из ниобата лития 36-градусного YZ-среза. Значение волнового параметра было равно 7; таким образом, ячейка работала в брэгговском режиме дифракции. При управляющей электрической мощности $P_s = 8$ Вт эффективность дифракции составляла $\eta = 21\%$.

Система возбуждения пьезопреобразователя включала генератор гармонических колебаний 8 ($f_0=130$ МГц) и модулятор 9, работавший в ключевом режиме. Длительность сформированных модулятором радиопульсов можно было варьировать в пределах $0,02 \div 0,5$ мкс.

Измерение разрешения визуализирующего устройства, проводившееся методом переходных характеристик [1], показало, что предельное разрешение достигалось при $T=0,02$ мкс и составляло 2,7 линий на мм. В этом случае максимальное число разрешимых элементов в строке развертки было равно $N=54$.

Сканирование ИК изображения по кадру осуществлялось механическим дефлектором 5 — прямоугольной четырехгранной призмой из германия, вращавшейся с частотой 50 Гц. Дефлектор обеспечивал смещение изображения на входе АО ячейки на 2 см. Таким образом, все-

поле обзора представляло собой квадрат со стороной 2 см.

Для наблюдения визуализированного изображения использовался осциллограф 12. Видеосигнал развертки с фотоприемника 13 (фотодиод CdHgTe) подавался на Y-вход осциллографа. Одновременно в каналы вертикального и горизонтального отклонения осциллографа с блока 11 подавалось ступенчато меняющееся напряжение. Благодаря этому электронный луч в начале каждой строки развертки

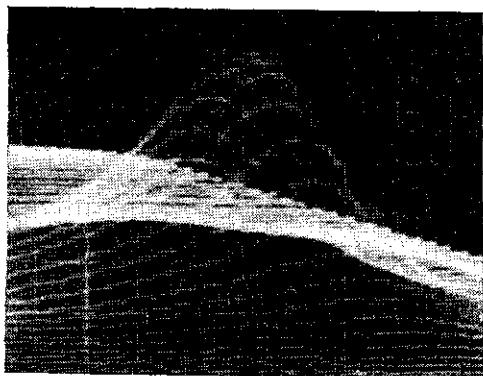


Рис. 2

дискретно смещался вправо и вниз по экрану. Такой метод позволил наблюдать рельефные изображения визуализированных объектов. С помощью блока 11 осуществлялась также синхронизация работы всех элементов устройства.

В качестве иллюстрации работы визуализирующего устройства на рис. 2 представлено изображение поперечного сечения пучка CO_2 -лазера, работающего в одномодовом режиме. Используемая методика визуализации позволяет одновременно измерить распределение интенсивности ИК излучения в каждой точке поперечного сечения пучка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Балакший В. И., Парыгин В. Н. В кн.: Обработка радиосигналов акустоэлектронными и акустооптическими устройствами. Л.: Наука, 1983, с. 28. [2] Балакший В. И., Иванов В. В., Уласена Х. А. Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1983, 26, № 11, с. 3—7. [3] Балакший В. И., Галанова И. Ю., Парыгин В. Н. Квант. электроника, 1979, 6, с. 965. [4] Магдич Л. Н., Молчанов В. Я. Акустооптические устройства и их применения. М.: Сов. радио, 1978.

Поступила в редакцию
17.04.84

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 2

УДК 533.6.011.72

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УДАРНЫХ ВОЛН В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ УГЛЕРОДНОЙ ПЛАЗМЕ

А. М. Галкин, Н. Н. Сысоев, Ф. В. Шугаев

(кафедра молекулярной физики)

В работах [1, 2] показано, что при распространении ударной волны в распадающейся плазме тлеющего разряда в воздухе наблюдаются особенности: скорость распространения ударной волны аномально возрастает, а скачок давления на фронте сглаживается. Авторы [3, 4], изучая распространение плоской ударной волны вдоль нагретой поверхности, установили, что ударная волна в пристеночной области ускоряется, а ее фронт расслаивается. В [3] отмечается, что ударная волна может трансформироваться в волну сжатия, если скорость ее распространения в невозмущенной области меньше скорости звука внутри тепловой неоднородности.

В данной работе изучена трансформация фронта ударной волны при ее распространении по неоднородности и после выхода ее из неоднородности. Неоднородная область представляла собой лазерный углеродный факел.

Опыты проведены с плоскими и сферическими ударными волнами в ударной трубе квадратного сечения ($28,5 \times 28,5$ мм). Число Маха невозмущенной ударной волны M_∞ изменялось от 1,2 до 6, начальное давление воздуха P_0 в рабочей секции ударной трубы лежало в диапазоне от 5 до 50 кПа.

Углеродный факел создавался путем фокусировки импульсов излучения рубинового лазера с энергией около 2 Дж и длительностью 40 нс на углеродную мишень, помещенную в рабочую секцию ударной трубы. Диаметр пятна фокусировки составлял примерно 400 мкм. Углеродная мишень была выполнена в виде цилиндра со сферическим затуплением.

Визуализация различных стадий взаимодействия ударных волн с углеродным факелом проводилась теневым и интерферометрическим