

04; 07; 12

© 1993

ПЗС-КАМЕРА В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Г.А. Гаврилов, Д.А. Мосесян,
Ю.Г. Помигуев, Г.Ю. Сотникова

Разработка систем регистрации двумерных изображений, работающих в режиме регистрации импульсов, — задача, актуальная для постановки экспериментов, связанных с исследованиями пространственно-энергетических характеристик излучения, в частности структуры импульсных плазм (лазерная плазма, z -пинч и др.), а также для спектроскопических исследований, целью которых является анализ спектра импульсного излучения (регистрация спектров собственного излучения короткоживущих объектов; эксперименты, связанные с зондированием объекта исследования импульсным излучением, и т.п. [1, 2]).

Одним из интенсивно развивающихся в настоящее время направлений, требующих применения такого рода систем регистрации, являются эксперименты по диагностике плазмы методом томсоновского рассеяния. В основе этого метода лежит явление излучения вторичных волн электронами плазмы, совершающими вынужденные колебания в поле падающей зондирующей электромагнитной волны. При этом частотный спектр рассеянного излучения несет информацию о параметрах плазмы (электронной и ионной температуре, электронной плотности).

Применение для регистрации спектра рассеяния комбинации спектрографа и пространственно-чувствительного детектора, позволяющего измерить весь спектр рассеяния в одном импульсе зондирующего излучения, делает возможным использование метода томсоновского рассеяния для определения локальных во времени параметров короткоживущих нестационарных плазм. В работе [3] путем регистрации спектров томсоновского рассеяния были определены значения электронной плотности и температуры в области переднего фронта быстрорасширяющейся ЛП на различных расстояниях от мишени. В данной работе дано описание пространственно-чувствительного детектора, который обеспечивает высокую чувствительность и оптимальным образом отвечает особенностям регистрации однократных импульсных изображений. Схема установки для исследования лазерной плазмы приведена на рис. 1.

Лазерная плазма образуется при фокусировке излучения импульсного неодимового лазера ($E = 3$ Дж, $\tau = 2$ нс, $\lambda = 0.53$ мкм) на поверхности плоской бериллиевой мишени. Образовавшаяся плазма расширяется в вакуум и на определенном расстоянии R от мишени пересекается в направлении, перпендикулярном оси разлета

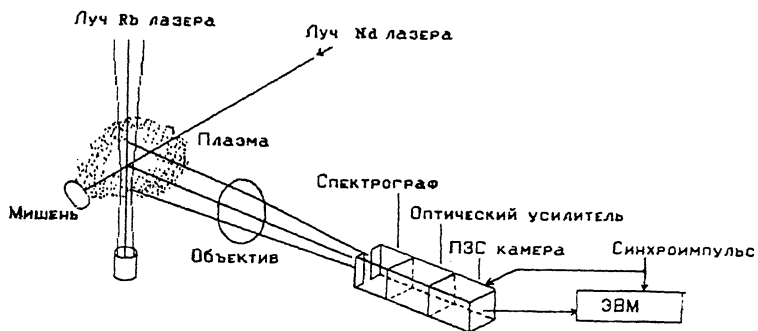


Рис. 1.

плазмы, пучком зондирующего излучения рубинового лазера ($E = 0.55$ Дж; $\tau = 20$ нс, $\lambda = 0.6943$ мкм), сфокусированным в каустику диаметром 500 мкм.

Для регистрации спектров томсоновского рассеяния используется монохроматор типа MDR-23, работающий в режиме спектрографа, в выходной фокальной плоскости которого установлен детектор изображения, созданный на базе усилителя изображения и ПЗС-камеры, видеосигнал с которой поступает на персональный компьютер. Изображение каустики зондирующего излучения создается на входной щели монохроматора сферической линзой ($f = 50$ мм) с увеличением 1:1. Ширина входной щели установлена равной диаметру каустики, что обеспечивает регистрацию всего рассеянного излучения в телесном угле сбора 2×10^{-2} ср, величина которого определяется диаметром апертуры осветительной линзы. В выходной фокальной плоскости монохроматора создается спектрально развернутое изображение области пересечения каустики зондирующего пучка и плазмы. Высота этого изображения и соответственно исследуемой области плазмы определяется высотой входной щели монохроматора (6 мм). Регистрация такого изображения с пространственным разрешением в направлении дисперсии монохроматора дает возможность определить форму спектра рассеяния. Использование же двумерного детектора изображения, позволяющего проводить регистрацию с пространственным разрешением в направлении, перпендикулярном направлению дисперсии (т.е. по высоте входной щели), дает возможность проследить изменение формы спектра рассеяния вдоль оси зондирующего пучка, т.е. по сечению плазмы, перпендикулярному оси разлета. Поскольку интенсивность рассеянного излучения в описываемых экспериментах достаточно мала (10^5 – 10^6 фотонов на входе детектора изображения), для увеличения яркости изображения используется усилитель изображения на базе микроканальных пластин, обеспечивающий коэффициент усиления по каналу $k \approx 10^6$. В качестве входного и выходного окон усилителя используются волокон-

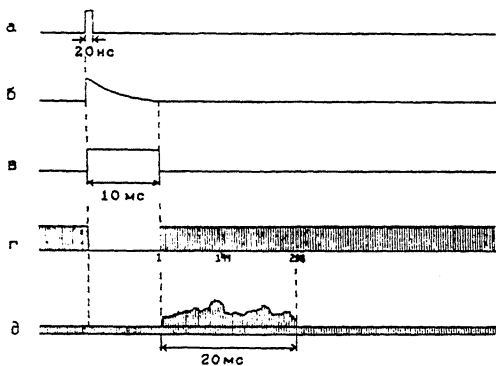


Рис. 2.

но-оптические шайбы, что обеспечивает передачу изображения с пространственным разрешением $\cong 50$ мкм.

Для регистрации изображения используется ТВ-камера на среднеформатной ПЗС-матрице типа ФПЗС-13М [4]. Матрица в принципе предназначена для работы в режиме покадрового переноса, поэтому имеет 2 секции по 144 строки в каждой (число элементов в строке - 256, размер элемента 24×32 мкм). В связи с тем, что матрица регистрирует импульсное однократное изображение, в камере в качестве регистрирующей поверхности используются обе секции (256×288 элементов). Эпюры сигналов, поясняющие работу ПЗС-камеры, приведены на рис. 2. ПЗС-матрица работает в ждущем режиме регистрации: во время ожидания импульса света непрерывно осуществляется построчный перенос зарядов (обусловленных темновыми токами и возможной фоновой засветкой) из светочувствительных секций в выходной регистр и вывод их через выходное устройство матрицы. С приходом внешнего синхроимпульса (а), совпадающего с началом импульса излучения зондирующего лазера, матрица переходит в режим накопления заряда: на время накопления останавливается вертикальный регистр переноса и на электроды одной из фаз подается обедняющее напряжение. Длительность накопления определяется временем послесвечения люминофора усилителя изображения и выбрано равным 10 мс. Эпюры послесвечения люминофора (б), импульс накопления (в) и напряжение на накапливающей фазе вертикального регистра (г) приведены на рис. 2. По окончании накопления камера переходит в режим считывания. Импульс начала считывания (окончания накопления) падает на ЭВМ. Видеосигнал первых после начала считывания 288 строк (д), содержащий информацию об исследуемом процессе, вводится в ЭВМ для последующей обработки. Считывание изображения осуществляется за 20 мс (T_k). После считывания последней (288) строки камера продолжает считывание темновых зарядов вплоть до начала следующего цикла накопления. Такая организация работы

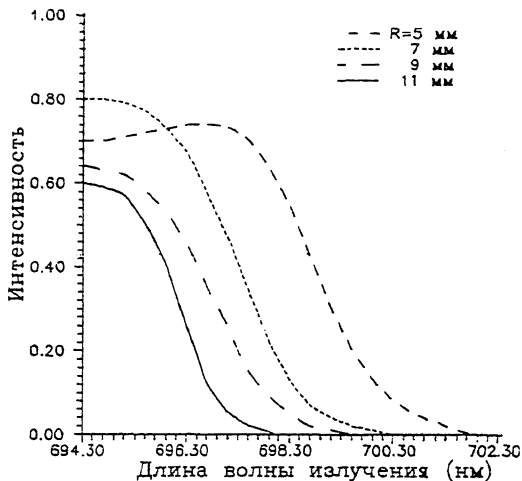


Рис. 3.

ПЗС-матрицы упрощает электрическую схему устройства управления матрицей и не приводит к возрастанию темнового сигнала при любом по длительности интервале между циклами накопления.

Особенностью ПЗС-матрицы, использованной в данной работе, является наличие стекловолоконной шайбы (диаметр волокна 8 мкм), плотно прижатой к поверхности матрицы. Такая конструкция позволила плотно прижать матрицу к стекловолоконной шайбе выходного окна усилителя света. При этом потери света сводятся к минимуму, что увеличивает чувствительность всей системы в целом.

Видеосигнал с ПЗС имеет параметры, близкие к вещательным ($T_{\text{стр}} = 64$ мкс, $T_{\text{к}} = 20$ мс, $U_{\text{вых}} = 1$ В), поэтому для ввода данных в ЭВМ может быть использован любой стандартный интерфейс связи ТВ-камеры с ЭВМ. Единственное изменение в интерфейсе связано с необходимостью подачи на него импульса начала считывания.

Разрешающая способность спектрографа определяется шириной аппаратной функции и составляет 6 \AA (500 мкм в выходной фокальной плоскости). Разрешающая способность детектора изображения определяется усилителем света и составляет 50 мкм. Таким образом, разрешающая способность всего канала регистрации в направлении дисперсии определяется исключительно шириной аппаратной функции спектрографа. Разрешающая способность в направлении, перпендикулярном направлению дисперсии, определяется aberrациями спектрографа и составляет 200 мкм (экспериментально определенная величина).

При ширине рабочего поля матрицы порядка 9 мм и линейной дисперсии спектрографа 12 Å/мм используемый детектор позволяет регистрировать в одном импульсе спектр шириной до 100 Å.

Сигнал с ПЗС-матрицы оцифровывается восьмиразрядным АЦП и записывается в память персонального компьютера. Зарегистрированный спектр хранится в памяти компьютера в виде двумерного массива, каждый элемент которого соответствует сигналу одной ячейки матрицы. Типичный спектр рассеяния лазерной плазмы, полученный в результате обработки видеосигнала ПЗС-камеры на ЭВМ представлен на рис. 3. Семейство кривых соответствует спектрам рассеяния при зондировании плазмы на разных расстояниях R от мишени.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Гаврилов Г.А., Бузялис Р.Р., Сотников Г.Ю. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 17. С. 1077.
- [2] Гаврилов Г.А., Помигуев Ю.Г., Сотников Г.Ю., Тер-Мартirosян А.Л. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 23. С. 1.
- [3] Бобашев С.В., Мосесян Д.А.; Симановский Д.М., Шмаенок Л.А. // Письма в ЖТФ. В печати.
- [4] Алексеенко М.Д., Баранчиков М.Л. Приемники оптического излучения: Справочник. М.: Радио и связь, 1987. 296 с.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию
17 февраля 1993 г.