

# Регистрация двумерных изображений микромишени с непрерывной разверткой во времени

А.В.Бессараб, А.В.Сосипатров, Н.А.Суслов

*Описана методика регистрации двумерных изображений источника рентгеновского излучения с непрерывной разверткой во времени, основанная на использовании рентгеновского ЭОП в сочетании с камерой-обскуром, имеющей линейную структуру диафрагмы. Даны основные соотношения для определения параметров схемы регистрации. Описана постановка методики и приведены результаты регистрации двумерного изображения микромишени с непрерывной разверткой во времени в эксперименте на лазерной установке «Искра-4».*

**Ключевые слова:** двумерные изображения, микромишени, развертка во времени.

В экспериментах по ЛТС исследование динамики сжатия микромишеней имеет большое значение с точки зрения как понимания самого процесса, так и тестирования расчетных программ. Регистрация изображений с высоким временным разрешением (порядка пикосекунд) осуществляется с помощью рентгеновских электронно-оптических преобразователей (РЭОП), известных как щелевые камеры, в сочетании с системами, формирующими изображения мишеней в рентгеновском излучении. В качестве таких систем обычно используются щелевая диафрагма [1], камера-обскура [2] или рентгеновский микроскоп [3]. Такое сочетание позволяет получать развертку во времени отдельных сечений двумерных изображений.

На современном этапе исследований наибольший интерес представляет изучение вопросов однородности и устойчивости сжатия микромишеней. Исследования различного рода неустойчивостей, возникающих на границе раздела двух сред при ускоренном их движении, составляют заметную часть современных исследований по ЛТС [4]. Для решения этих проблем необходима регистрация двумерных изображений с высоким временным разрешением, для чего используются либо методика импульсного рентгеновского просвечивания [5], либо кадровые системы регистрации [6]. Однако обе методики, обеспечивая достаточно высокое пространственное разрешение, обладают все же недостаточным временным разрешением и небольшим числом кадров.

Перспективной с этой точки зрения является методика регистрации с высоким временным разрешением с помощью обычного РЭОП не одного, а ряда одномерных изображений, отвечающих различным сечениям двумерного изображения мишени. Это позволяет в конечном итоге восстановить двумерное изображение практически с непрерывной разверткой во времени с предельным временным разрешением, присущим щелевым камерам. О реализации такой методики на лазерной установке «Gekko XII» сообщалось в [7]. В [8] было пред-

ложено дальнейшее развитие методики с целью получения более высокого пространственного разрешения, а также получения с высоким временным разрешением двумерных высокомономатических изображений. Сообщение о реализации подобной методики приведено также в [9]. К сожалению, в указанных работах не отмечен такой важный момент, как методика совмещения изображений мишени со щелью фотокатода РЭОП, а работа [9] для широкого круга исследователей доступна лишь в виде тезисов.

В настоящей работе реализована методика регистрации двумерного изображения микромишени с непрерывной разверткой во времени в эксперименте на иодной лазерной установке «Искра-4» [10].

## 1. Описание методики и результаты регистрации изображения

Суть методики регистрации двумерного изображения с непрерывной разверткой во времени описана в [7]. На рис.1 приведена принципиальная схема регистрации. Изображения формируются с помощью ряда диафрагм, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга вдоль линии, образующей небольшой угол  $\theta$  со щелью фотокатода РЭОП. Соседние изображения попадают на щель фотокатода со смещением  $\delta$ :

$$\delta = (1 + M)s \sin \theta, \quad (1)$$

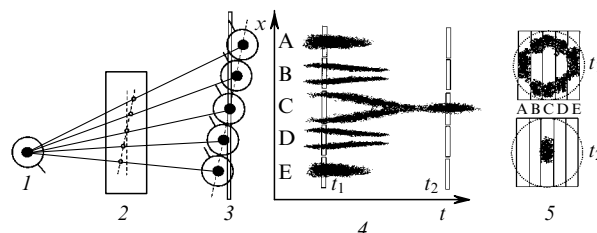


Рис.1. Принципиальная схема методики регистрации двумерных изображений с непрерывной разверткой во времени: 1 – микромишень; 2 – диафрагма с рядом отверстий; 3 – щель фотокатода; 4 – развернутые во времени сечения изображения; 5 – схема восстановления двумерного кадрового изображения.

где  $s$  – расстояние между отверстиями;  $M$  – коэффициент увеличения. Таким образом, двумерное изображение раскладывается на ряд одномерных, смещенных относительно друг друга. В идеальном случае смещение  $\delta$  должно равняться пространственной разрешающей способности РЭОП  $\delta_s$ , с которой должен быть согласован и диаметр отверстий  $d_{ph}$ :

$$d_{ph} \geq \frac{\delta_s}{1 + M}. \quad (2)$$

Для того чтобы получить изображение всей мишени диаметром  $D_t$ , необходимое число сечений и соответственно минимальное число отверстий  $N_{ph}$  должно составлять:

$$N_{ph} = \frac{D_t M}{\delta}. \quad (3)$$

Длина щели фотокатода  $L$  при этом должна быть достаточной для размещения  $N_{ph}$  изображений, т. е.

$$L > s(1 + M) \cos \theta N_{ph}. \quad (4)$$

Соотношения (1), (3) и (4) позволяют определить значения  $s$ ,  $M$  и  $\theta$  в зависимости от  $L$ ,  $D_t$  и  $\delta_s$ . Однако на практике длина щели фотокатода может оказаться недостаточной для получения необходимого числа сечений изображения, поэтому в соответствии с решаемой задачей необходим компромисс в выборе пространственного разрешения и ширины поля зрения в направлении, перпендикулярном щели фотокатода. Очевидно, что полное число пространственных элементов на мишени, изображения которых можно развернуть во времени, не превышает полного числа элементов на длине щели фотокатода. В связи с этим при сохранении предельного пространственного разрешения вдоль щели возможны два варианта регистрации в перпендикулярном направлении.

В одном из них можно обеспечить предельно возможное пространственное разрешение, но для более узкого поля зрения. В другом варианте можно регистрировать поле зрения необходимой ширины, но с худшим пространственным разрешением, т. к. в этом случае распределение интенсивности в перпендикулярном направлении необходимо будет интерполировать по неполному числу сечений изображения. С одинаковым в обоих направлениях предельным пространственным разрешением  $\Delta r$  можно зарегистрировать изображение области размером  $D$ :

$$D = \Delta r (L / \delta_s)^{1/2}. \quad (5)$$

Двумерное (кадровое) изображение может быть восстановлено для любого момента времени. Число таких кадров равно  $\tau / \Delta t$  ( $\tau$  – длительность зарегистрированного процесса,  $\Delta t$  – временное разрешение щелевой камеры) и может достигать  $\sim 300$ . При этом для сравнения с другими методиками можно получить информацию интегрального характера либо по пространству, либо по любому промежутку времени.

Развернутый во времени набор сечений двумерного изображения считается сканирующим микроденситометром и с учетом конкретных параметров схемы реги-

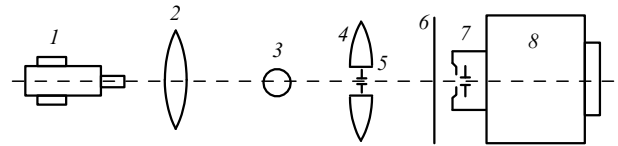


Рис.2. Схема эксперимента по реализации методики регистрации двумерных изображений с непрерывной разверткой во времени: 1 – микроскоп; 2 – объектив; 3 – микромишень; 4 – линза; 5 – диафрагма с рядом отверстий; 6 – светозащитный фильтр; 7 – щель фотокатода; 8 – РЭОП «Агат-СФ5».

страции обрабатывается на компьютере. Схема восстановления мгновенного двумерного изображения показана на рис.1. Отметим, что ошибки в определении  $s$ ,  $\theta$  и  $M$  в конечном итоге приводят лишь к повороту восстановленного изображения.

Схема реализации методики регистрации двумерного изображения микромишени с непрерывной разверткой во времени представлена на рис.2. Существенным моментом методики является совмещение ряда изображений микромишени со щелью фотокатода РЭОП (см. рис.1). С этой целью диафрагма с рядом отверстий устанавливалась в отверстие в центре линзы 4. При этом центральное отверстие на диафрагме совмещалось с оптическим центром линзы с точностью  $\sim 10$  мкм. С помощью линзы 4 в плоскости микромишени 3 формировалось изображение щели фотокатода 7, и в оптический микроскоп 1 через объектив 2 можно было одновременно наблюдать микромишень и изображение щели. Фокусное расстояние линзы 4 было таким, что для отверстий диафрагмы камер-обскура, установленных в ее центре, обеспечивалось необходимое увеличение  $M$ . Поперечное перемещение линзы 4 приводило к смещению изображения щели относительно микромишени. Таким образом, перемещением линзы 4 можно было совместить центр изображения щели фотокатода с центром мишени. Центральное отверстие на диафрагме при этом автоматически попадало на линию, соединяющую центры мишени и щели фотокатода, соответственно центр изображения мишени, построенного этим отверстием, попадал на середину щели.

Для ориентации ряда отверстий относительно щели фотокатода под заданным углом  $\theta$  в окуляр микроскопа было вмонтировано перекрестие с измерительной сеткой. Первоначально микроскоп устанавливался для наблюдения щели фотокатода, при этом одна из линий перекрестия ориентировалась вдоль оси щели. Затем микроскоп смещался вдоль оптической скамьи для наблюдения изображения диафрагмы с рядом отверстий, построенного объективом 2. Это позволяло путем поворота линзы 4 вместе с диафрагмой устанавливать нужный угол между щелью фотокатода и линией, вдоль которой располагался ряд отверстий. В эксперименте первоначально устанавливался угол  $\theta$ , затем перемещением линзы 4 с помощью механизмов юстировки совмещались центры микромишени и изображения щели фотокатода.

Описанный метод наведения позволил авторам впервые на лазерной установке «Искра-4» развернуть во времени изображения ряда сечений микромишени. В качестве щелевой камеры использовался РЭОП «Агат-СФ5». Характеристики РЭОП, а также параметры диафрагмы и схемы регистрации приведены ниже.

Число отверстий на диафрагме $N_p$ (шт.) . . . . .	9
Диаметр отверстий $D_{ph}$ (мкм) . . . . .	$25 \pm 2$
Расстояние между отверстиями $s$ (мкм) . . . . .	290
Смещение отверстий от номинального положения (мкм) . . . . .	$< 2$
Увеличение $M$ . . . . .	1.91
Ширина щели фотокатода (мкм) . . . . .	80
Скорость временной развертки (нс/см) . . . . .	1.65
Собственное временное разрешение РЭОП (пс) . . . . .	27
Результатирующее временное разрешение (пс) . . . . .	30
Пространственное разрешение РЭОП $\delta_s$ (мкм) . . . . .	80
Пространственное разрешение в плоскости мишени вдоль щели (мкм) . . . . .	38
Пространственное разрешение в плоскости мишени перпендикулярно щели (мкм) . . . . .	70

Для защиты фотокатода щелевой камеры от излучения плазмы мишени в видимом диапазоне между линзой 4 и щелью фотокатода 7 непосредственно перед опытом устанавливался светозащитный фильтр из лавсана 6 толщиной 3.5 мкм с двухсторонним напылением слоев алюминия толщиной  $\sim 0.1$  мкм. Поскольку входное окно отпаянной времяанализирующей трубки РЭОП было изготовлено из слюды толщиной 5 мкм, изображения регистрировались с помощью квантов с энергией  $h\nu > 2.9$  кэВ.

Зарегистрированный набор развернутых во времени сечений двумерного изображения считывался сканирующим микроденситометром и с учетом конкретных параметров схемы регистрации по специально разработанной программе обрабатывался на компьютере. В эксперименте использовалась мишень диаметром 410 мкм. При таком диаметре мишени и относительно небольшой длине щели фотокатода в эксперименте удалось развернуть во времени лишь шесть сечений двумерного изображения. При этом угол  $\theta$  был выбран равным  $9^\circ$ , для того чтобы в направлении, перпендикулярном щели фотокатода, шестью сечениями охватить изображение всей мишени. Развернутые во времени изображения сечений представлены на рис.3. Видно, что зарегистрированы все шесть сечений, причем они располагаются симметрично относительно центра мишени, что свидетельствует о высокой точности совмещения щели фотокатода

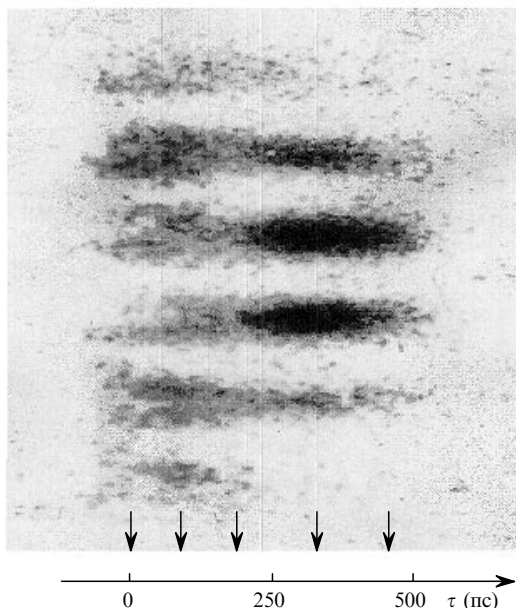


Рис.3. Изображения одномерных сечений, развернутые во времени.

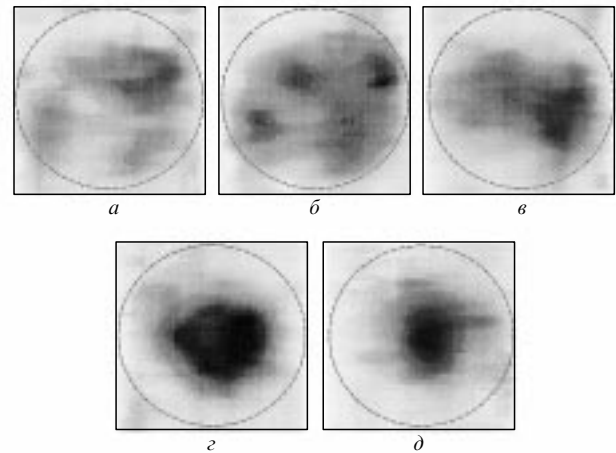


Рис.4. Восстановленные двумерные кадровые изображения микромишени для  $\Delta t = 0$  (а), 85 (б), 180 (в), 320 (з) и 455 пс (д). Штриховой линией показан начальный диаметр микромишени (410 мкм).

с изображением центра мишени. Представляется, что именно недостаточная точность использованного метода наведения не позволила авторам работы [9] восстановить изображения всей мишени.

Двумерные кадровые изображения, восстановленные для пяти моментов времени ( $\Delta t = 0, 85, 180, 320$  и  $455$  пс), охватывающих различные стадии работы мишени, представлены на рис.4. Выбранные моменты времени помечены стрелками на рис.3. Штриховой линией на рис.4 для наглядности дан начальный диаметр мишени, а его центр совмещен с центром сжатой области. Как видно из рис.3, полученные изображения из-за малого числа зарегистрированных квантов имеют заметный шумовой фон, поэтому для получения гладкой картины каждого кадра изображения интегрировались по времени на интервале 50 пс.

Для того чтобы по зарегистрированным сечениям получить изображения всей мишени, распределение интенсивности в направлении, перпендикулярном щели фотокатода, определялось по интерполяционной формуле Лагранжа [11]. Из рис.4 видно, что в данном опыте лазерные пятна расположены на поверхности мишени несколько несимметрично. Кроме того, лазерное излучение в двух каналах (нижние пятна на рис.4, а-в), по-видимому, отстает от остальных по времени прихода на мишень. Из рис.4, з, д видно также, что свечение оболочки, сжимающей ДТ-газ, в значительной степени неоднородно, и за интервал времени 165 пс происходит существенное изменение структуры сжатой области.

Описанная в настоящей работе методика использовалась в экспериментах на лазерной установке «Искра-4», о результатах которых сообщалось в работе [12].

## Заключение

Таким образом, предложен метод наведения изображений мишени на щель РЭОП, обладающий высокой точностью. Данный метод позволил в эксперименте на лазерной установке «Искра-4» реализовать методику регистрации двумерного изображения микромишени с непрерывной разверткой во времени. Получены полные двумерные изображения мишени с длительностью кадра 50 пс, что обусловлено недостаточной чувствительностью используемого РЭОП «Агат-СФ5». Потенциальная длительность кадра составляет 30 пс.

Изображения микромишени диаметром 410 мкм получены с пространственным разрешением  $\sim 40$  мкм вдоль щели фотокатода и  $\sim 70$  мкм в перпендикулярном направлении. Для мишеней меньших размеров можно, в принципе, получить заметно лучшее пространственное разрешение, реально ограниченное только чувствительностью РЭОП.

Данные двумерные кадровые изображения показывают динамику облучения микромишени и изменение структуры ее сжатой области.

1. Бельков С.А., Бессараб А.В., Воронич И.Н. и др. *ЖЭТФ*, **101**, 80 (1992).
2. Attwood D.T., Coleman L.M., Boyle M.J. et al. *Phys.Rev.Letts*, **38**, 282 (1977).
3. Key M.H., Rumsby P.T., Evas R.G. et al. *Phys.Rev.Letts*, **45**, 1801 (1980).
4. Lindl J. *Phys. Plasmas*, **2**, 3933 (1995).
5. Johnson R.R., Bruce H., Gabl F.F. et al. *Laser Interaction and Related Plasma Phenomena*, **8**, 529 (1988).
6. Kilkenny J.D., Bell P., Hanks R. et al. *Rev.Sci.Instrum.*, **59**, 1793 (1988).
7. Shiraga H., Heya M., Fujishima A. et al. *Rev.Sci.Instrum.*, **66**, 722

- (1995).
8. Shiraga H., Miyanaga N., Heya M. A. et al. *Rev.Sci.Instrum.*, **68**, 745 (1997).
9. Кирдяшкин М.Ю., Лазарчук В.П., Литвин Д.Н. и др. *Тезисы докл. XXV конф. по физике плазмы и УТС* (Звенигород, Россия, 1998).
10. Воронич И.Н., Ефимов Д.Г., Зарецкий А.И. и др. *Изв. АН СССР. Сер. физич.*, **54**, 2024 (1990).
11. Корн Г., Корн Т. *Справочник по математике* (М., Наука, 1984).
12. Бессараб А.В., Воронич И.Н., Гаранин С.Г. и др. *Тезисы докл. XXV конф. по физике плазмы и УТС* (Звенигород, Россия, 1998).

**A.V.Bessarab, A.V.Sosipatrov, N.A.Suslov. Continuously time-resolved two-dimensional microtarget imaging.**

A technique for continuously time-resolved two-dimensional imaging of an x-ray radiation source is described. The technique involves using an x-ray image converter tube (streak camera) in combination with a pinhole camera, which has a linear pinhole array. The basic relationships for determining the parameters of the recording system are given. Setting up the procedure is described and the results of recording of a two-dimensional microtarget image with a continuous time scan in an experiment at the 'Iskra-4' laser facility are outlined.