

04; 07; 12

© 1992

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ „ГОРЯЧЕЙ ТОЧКИ“  
БЫСТРОГО Z-ПИНЧА С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙНОЙ  
БРЭГГ-ФРЕНЕЛЕВСКОЙ ЛИНЗЫЮ.А. Агафонов, Б.А. Брюнеткин,  
А.И. Ерко, А.П. Мингалиев, С.А. Пикюз,  
В.М. Романова, И.Ю. Скобелев,  
А.Я. Фаенов, Т.А. Шелковенко

Последние достижения рентгеновской оптики [1] существенно расширяют возможности для экспериментов в области спектральной диагностики высокотемпературных плазменных источников. Создание искусственных рентгеновских элементов с объемной структурой зон Френеля, (т. н. брэгг-френелевских линз) позволяет не только преодолеть ограниченность выбора природных и синтетических кристаллов, которые могут быть использованы в рентгеноспектральных приборах, но и существенно улучшить такие характеристики последних, как светосила и пространственное разрешение. Открылась принципиальная возможность получения изображений плазмы высокого качества в излучении практически с любой длиной волны в диапазоне мягкого рентгена и вакуумного ультрафиолета и, что особенно важно, в излучении отдельных спектральных линий многозарядных ионов, присутствующих в плазме. Анализ изображений плазмы в спектральных линиях [2] является чрезвычайно мощным диагностическим инструментом, позволяющим исследовать закономерность физических процессов, недоступных другим методам.

В настоящей работе впервые сообщается об использовании линейной брэгг-френелевской линзы (БФЛ) для фокусировки излучения мощного импульсного источника рентгеновского излучения на основе быстрого Z-пинча.

Наносекундный Z-пинч в сильноточном диоде [3] является не только интересным физическим объектом, но и весьма перспективным источником излучения для различных приложений, в том числе и контроля различных элементов и устройств рентгеновской оптики. Он обладает малыми (порядка нескольких микрон) размерами, высокой яркостью [4] в широком спектральном интервале (0.01-10 кэВ), что делает его удобным источником для такого рода экспериментов. Исследования велись на установке БИН (ток в диоде до 250 кА, длительность электрического импульса ~100 нс). В качестве нагрузки диода использовались как одиночные проволочки из вольфрама, так и проволочки в конфигурации X-пинча.

В ИПТМ была создана линейная брэгг-френелевская линза со 121-слойной ( $2d=70 \text{ \AA}$ )  $W/Si$  структурой размером 0.5x5 мм (см. рис. 1). Линза имела фокусное расстояние  $f_0=7 \text{ см}$  для

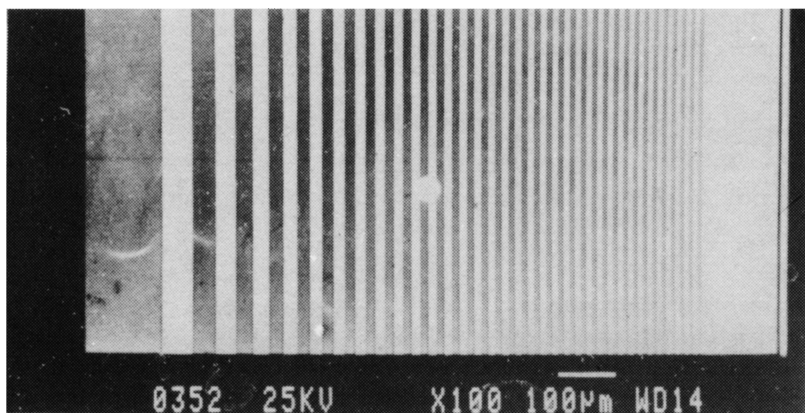


Рис. 1. Фотография линейной БЛ.

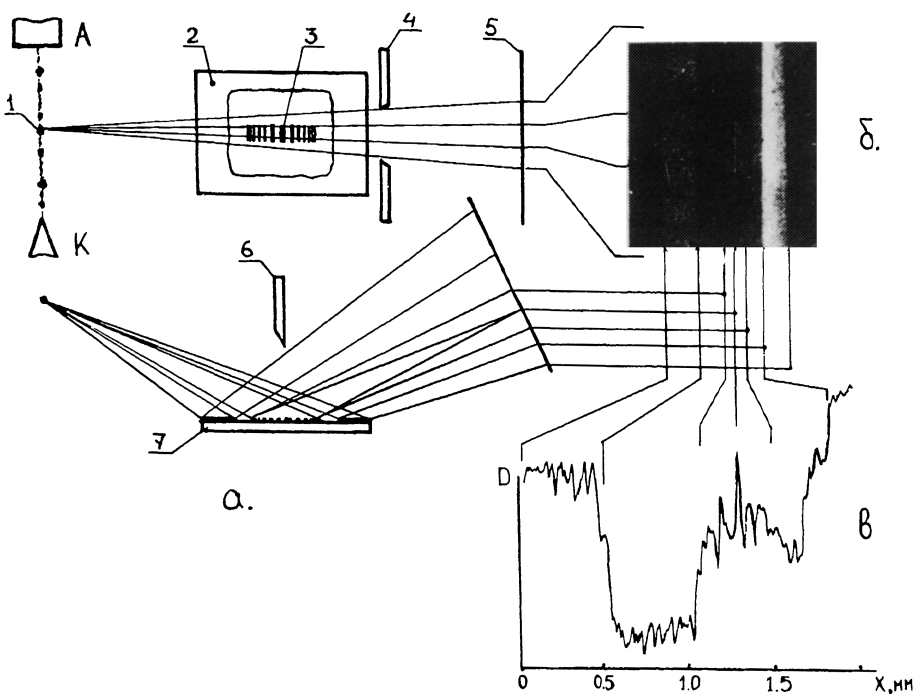


Рис. 2, а) Схема работы линзы в излучении с длиной волны  $3 \lambda_0 = 4.5 \text{ \AA}$ : 1 - „горячая точка” плазмы взрывающейся проволоочки, 2 - брэгговская структура, 3 - структура френелевской линзы, 4, 6 - ограничивающие диафрагмы, 5 - фотоэмульсия, 7 - кремниевая подложка, А - анод, К - катод сильноточного диода. б) Фотографии изображения плазмы в I и III порядках дифракции. в) Денситограмма изображения плазмы.

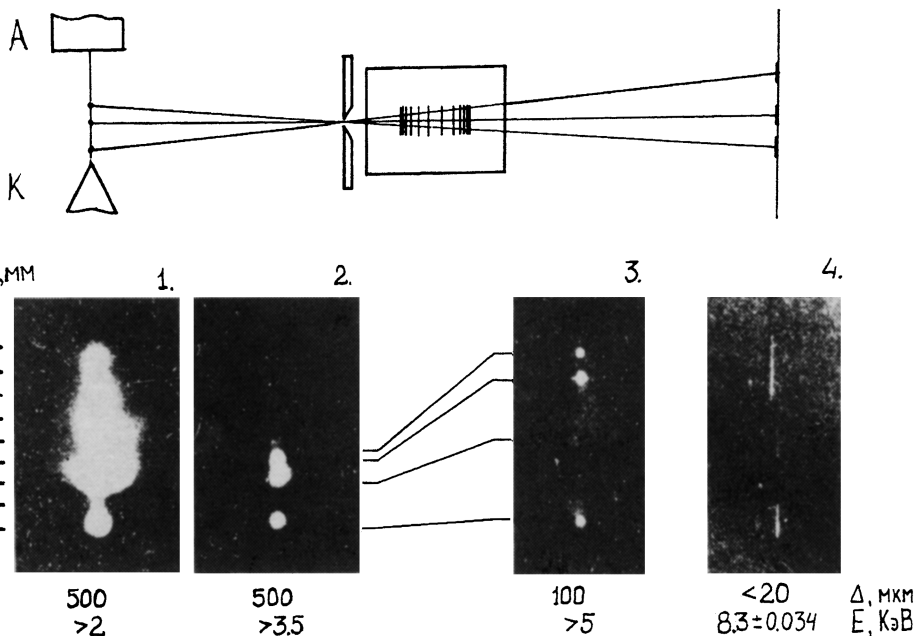


Рис. 3. а) Схема работы линзы в излучении  $\lambda_0 = 1.5 \text{ \AA}$ . б) Результаты эксперимента: 1, 2, 3 - обскурogramмы, 4 - изображения, полученные линзой.  $E_i$  - энергия отсечки фильтров в камерах-обскурах.  $\Delta$  - реальные пространственные разрешения камер-обскур.

длины волны  $\lambda_0 = 1.5 \text{ \AA}$ . Наши предыдущие измерения, выполненные с помощью камер-обскур, показали, что размеры областей плазмы, излучающей кванты с энергиями  $\geq 3-5 \text{ кэВ}$ , для вольфрама не превышают нескольких микрон [3]. Вместе с тем мы не имели достаточно надежных измерений для более жесткого излучения, из-за трудностей, связанных с изготовлением обскур и фильтрацией излучения.

На первом этапе линза была испытана в излучении с длиной волны  $3\lambda_0 = 4.5 \text{ \AA}$  при угле скольжения  $\theta(3\lambda_0) = \arcsin(3\lambda_0/2d)$ . Конфигурация вакуумной камеры позволяла в принципе работать с любыми увеличениями, однако для простоты последующей перестройки на длину волны  $\lambda_0$  нами был выбран вариант с увеличением  $k=1$ , т. е. объект и фотопленка находились на расстоянии удвоенного фокуса третьего порядка (для длины волны  $4, 5 \text{ \AA}$ )  $a=b=2 \cdot \left(\frac{f_2}{3} \times 3\right) = 140 \text{ мм}$  от линзы.

Схема и результаты эксперимента представлены на рис. 2. Использованный экземпляр линзы имел по периметру подложки многослойную брэгговскую структуру, формируемую в процессе изгото-

товления линзы. Поэтому помимо изображения, формируемого собственно линзой, на фотопленке наблюдаются широкие полосы, образуемые излучением, отраженным от этой структуры (см. рис. 2, б). Зарегистрированное изображение плазменной „горячей точки“ плазмы выглядит следующим образом: очень узкая линия шириной  $\leq 10$  мкм на фоне широкой размытой полосы шириной  $\sim 0.5$  мм, образуемой излучением 1 порядка дифракции, т. к. в этом случае источник находится между линзой и главным фокусом. Размер полученного изображения согласуется с размером, измеренным с помощью камер-обскур.

Для работы на длине волны  $1.5 \text{ \AA}$  лишняя брэгговская структура по периметру кристалла была стравлена, а перед линзой была установлена щель  $\sim 100$  мкм (см. рис. 3, а). На рис. 3, б представлены обскурограммы 1, 2, 3, полученные за фильтрами с различными энергиями отсечки и изображение плазмы, сформированное БФЛ в излучении с длиной волны  $1.5 \text{ \AA}$ . Размер изображения „горячих точек“ плазмы не превышает 20–30 мкм, что свидетельствует о наличии весьма плотных областей плазмы с высокими градиентами, подсвечиваемыми, по-видимому, электронным пучком, генерируемым при обрыве тока в пинче на стадии второго сжатия [3].

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А р и с т о в В.В., Е р к о А.И. Рентгеновская оптика. М.: Наука, 1991. 150 с.
- [2] В r u n e r k i n В.А. et al. Proc. 21<sup>st</sup> ECLIM. In: Laser and Particle Beams, 1992. V. 10. special issue.
- [3] Б а р т н и к А. и др. // Физика плазмы. 1990. Т. 16. С. 1482.
- [4] Б р ю н е т к и н Б.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 19. С. 16.

Поступило в Редакцию  
30 июля 1992 г.