

04; 07; 12

© 1993

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛЯННО-КАПИЛЛЯРНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

В.Л. Канцырев, Н.Р. Мингалиев,
 О.Г. Петрухин, С.А. Пикунз,
 В.М. Романова, Т.А. Шелковенко,
 А.С. Шляпцева, А.Я. Фаенов

Стекло-капиллярные концентраторы (СКК) мягкого рентгеновского излучения (МРИ) позволяют существенно улучшать характеристики лазер-плазменных и Z-пинчевых плазменных источников МРИ [1, 2]. В частности, в работах [1, 2] экспериментально показано, что при использовании даже малогабаритных плазменных источников (с начальным энергозапасом до 2–3 кДж) достигаются большие значения плотности потока МРИ в пятне фокусировки – $10^5 \dots 10^6$ Вт/см² ($\lambda \approx 0.9\text{--}1.0$ нм), которые характерны для опытов с синхротронными источниками.

В представляемой работе изучалась возможность применения СКК для изучения структуры излучающей области мощных плазменных источников МРИ в широком диапазоне МРИ ($\lambda \leq 1.0$ нм), а также исследовались его передающие и фокусирующие свойства в зависимости от длины волны МРИ.

В качестве мощного плазменного источника МРИ применялась установка БИН [3] в конфигурации X-пинч с Al, Cu, Pd и W проволочными анодами (рис. 1). Энергия, выделяемая на нагрузке, составляла около 3 кДж при напряжении 300 кВ, максимуме тока – 250 кА и длительности импульса около 100 нс. Набор диагностических средств включал кадровый ЭОП, рентгеновскую многоканальную камеру-обскуру с отверстиями диаметром около 100 мкм и фильтрами из алюминированного лавсана или Be толщиной соответственно 3 и 100 мкм, а также рентгеновский кристаллический спектрограф.

Максимум интенсивности МРИ источника БИН приходился на следующие спектральные диапазоны (в зависимости от материала анода):

- 1) Al (K-спектр) $\lambda = 0.6\text{--}0.8$ нм,
- 2) Cu (L-спектр) $\lambda = 0.8\text{--}1.5$ нм,
- 3) Pd (L-спектр) $\lambda = 0.35\text{--}0.4$ нм,
- 4) W (M-спектр) $\lambda = 0.5\text{--}0.6$ нм.

В работе применялся СКК, аналогичный по конструкции использованному в работах [1, 2]. Число стеклянных капилляров – 450

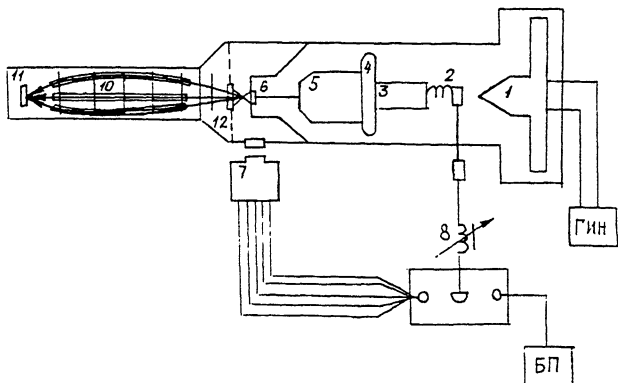


Рис. 1. Схема мощного плазменного источника МРИ-БИН со стеклянно-капиллярным концентратором.

1 - промежуточный конденсатор, 2 - промежуточный разрядник, 3 - формирующая линия, 4 - выходной разрядник, 5 - анодный узел, 6 - диод, 7 - система скоростной многокадровой фотографии, 8 - регулирующая линия задержки, 9 - разрядник линии ЭОП, 10 - стеклянно-капиллярный концентратор, 11 - датчик или облучаемый образец, 12 - защитный фильтр.

(внутренний диаметр каждого - 400 мкм, внешний диаметр каждого - 60 мкм), их длина 500 мм (рис. 1).

СКК размещался по оси разряда (рис. 1). Защита входного окна СКК от воздействия плазмы обеспечивалась специальным устройством, в котором использовались сменяемые фильтры из алюминированного лавсана толщиной 1 или 3 мкм. Рентгеновское излучение на выходе СКК регистрировалось датчиками с пленкой УФ-ВР, защищенной от видимого излучения двойным алюминированным лавсановым фильтром толщиной по 3 мкм, или термолюминесцентными датчиками (ТЛД), обработка которых велась по методике, описанной в работе [4].

В ходе экспериментов установлено, что СКК ослабляет по меньшей мере на два порядка величины жесткую рентгеновскую компоненту ($\lambda \leq 0.1$ нм), интенсивность которой велика у мощных плазменных установок и которая обычно усложняет изучение структуры излучающей области источника.

Наилучшие результаты по передаче и фокусировке МРИ на установке БИН были получены с Al анодом. Так, значение плотности энергии МРИ в пятне фокусировки достигало $E = 20-30$ мДж/см² ($q_{\text{МРИ}} = 10^5-10^6$ Вт/см²), в спектральном диапазоне $\lambda \leq 1.0$ нм. Значение коэффициента концентрации МРИ-К (отношение плотности энергии импульса МРИ в пятне фокусировки к величине E , измеренной на таком же расстоянии без фокусировки) достигало 20-80. В данном эксперименте СКК работал как рентгеновская линза,

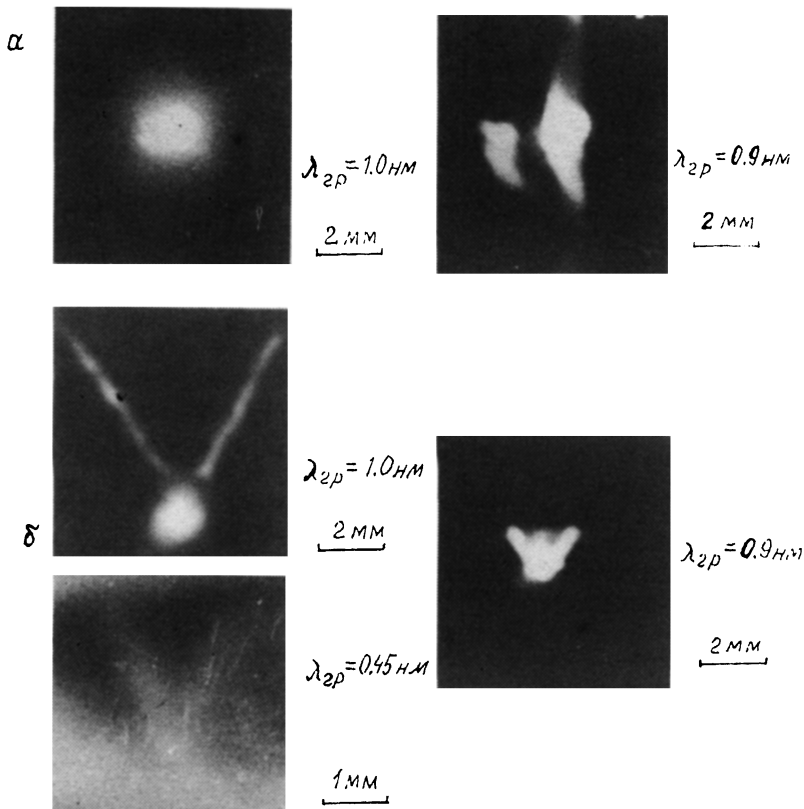


Рис. 2. Изображения пятен фокусировки МРИ, полученные после СКК (слева) и вакуумные обскурোগраммы излучающей области разряда (справа).

а - анод - Al , б - анод Pd . $\lambda_{гп}$ - граничная длина волны МРИ, пропускаемого защитным фильтром.

передающая изображение плазмы в масштабе 1:1. Полученное в фокусе СКК изображение излучающей Al плазмы представлено на рис. 2, а совместно с обскурোগраммой этого же Al разряда. Видно, что пятно фокусировки имеет хорошее заполнение и ту же форму, что и поперечное сечение СКК - шестиугольник с боковым „выбросом“, соответствующим второму плазменному пятну на обскурোগрамме разряда.

Наиболее ярко возможность использования СКК для изучения структуры излучающей области X-пинча продемонстрирована опытами с Pd анодом в широком спектральном диапазоне МРИ $\lambda \leq 1.0 \text{ нм}$. На рис. 2, б показаны два изображения Pd плазмы для $\lambda \leq 1.0 \text{ нм}$

и $\lambda \leq 0.45$ нм совместно с обскурোগраммой разряда ($\lambda \leq 0.9$ нм). Хорошо видна идентичность этих изображений с учетом разрешения СКК (1–1.5 мм). Причем на изображении, полученном с помощью СКК, видны те элементы структуры, которые плохо или совсем не видны на обскурোগрамме в более жестком диапазоне спектра (рис. 2, б).

Разрешающая способность СКК может быть улучшена до 25–50 мкм за счет применения тонких капилляров (в частности, конусных), а также более точной сборки пакета капилляров.

Учитывая приведенные выше результаты по изучению структуры излучающей области плазменных источников и тот факт, что СКК является фильтром, отсекающим жесткий рентген, представляется особенно перспективным применение СКК для получения изображений горячей плазмы в так называемом „водном окне” — $2.3 \leq \lambda \leq 4.4$ нм.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А н а н ь и н О.Б., Б ы к о в с к и й Ю.А., Ж у р а в л е в А.А., З н а м е н с к и й В.А., К а н ц ы р е в В.Л., Ф р о л о в С.П. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 2, С. 55–58.
- [2] А н а н ь и н О.Б., Б ы к о в с к и й Ю.А., К а н ц ы р е в В.Л., К о л о г р и в о в А.А., К о п ы т о к К.И., Ш л ы п ц е в а А.С., Я к о в л е в М.Я. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 10. С. 79–83.
- [3] И в а н е н к о в Г.В., Л е б е д е в А.Н., П и к у з С.А. Препринт ФИАН № 210. М., 1989.
- [4] З в е р е в С.А., К а л а ш н и к о в М.П., Л ы п и д е в с к и й В.К., М и х а й л о в Ю.А., Р о д е А.В., С к л и з ь к о в Г.В., Ф е д о т о в С.И. Препринт ФИАН № 96. М., 1980.

Поступило в Редакцию
14 марта 1993 г.