

04; 07; 12

© 1992

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ ИСТОЧНИК С КАПИЛЛЯРНЫМ КОНЦЕНТРАТОРОМ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

О.Б. А н а н ь и н, Ю.А. Б ы к о в с к и й,
В.Л. К а н ц ы р е в, А.А. К о л о г р и в о в,
К.И. К о п ы т о к, А.С. Ш л ы п ц е в а,
М.Я. Я к о в л е в

Характеристики плазменных источников мягкого рентгеновского излучения (МРИ), предназначенных для использования в технологии рентгенолитографии, рентгеновской микроскопии: [1-3], исследованиях по взаимодействию МРИ с поверхностью диэлектриков и полупроводников [4], могут быть существенно улучшены при включении в их конструкцию зеркальных и капиллярных концентраторов МРИ. Впервые возможность транспортировки и фокусировки МРИ от лазерно-плазменного источника (ЛПИ) капиллярным концентратором была экспериментально показана в работе [5], где была достигнута плотность потока МРИ $g_p = 10^5$ Вт/см² (в спектральном диапазоне $\lambda \leq 1.2$ нм) в пятне фокусировки диаметром 2 мм, на расстоянии 600 мм от лазерной плазмы. В концентраторе использовался эффект полного внешнего отражения МРИ от внутренней поверхности стеклянных капилляров. Однако плотность энергии импульса в пятне фокусировки \bar{E}_p не превышала $(2...3) \cdot 10^{-3}$ Дж/см², что не отличается от \bar{E}_p , достигаемой без фокусировки на минимально допустимом расстоянии 3...5 см от лазерной плазмы.

Резкое повышение g_p и \bar{E}_p и придание плазменному источнику МРИ новых свойств могло быть достигнуто при применении совместно с концентратором плазменного источника типа малоиндуктивная вакуумная искра (МВИ) [6], у которого значение η (коэффициент преобразования начального энергозапаса источника в МРИ) на два порядка величины больше, чем у ЛПИ, а усредненный размер излучающей области не намного больше: у ЛПИ ~ 0.5 мм, у МВИ $\sim 1...1.5$ мм.

Вообще, из имеющихся в настоящее время систем концентрации МРИ, капиллярный концентратор – единственный, способный эффективно работать в спектральной области $\lambda \approx 0.5-1.5$ нм, где интенсивность МРИ плазменных источников максимальна. Гибкость формы капиллярной фокусирующей системы обеспечивает возможность эффективно концентрировать МРИ не только от „точечных“ источников типа лазерной плазмы, но и от источников с нестабильным от импульса к импульсу пространственным положением „точечной“

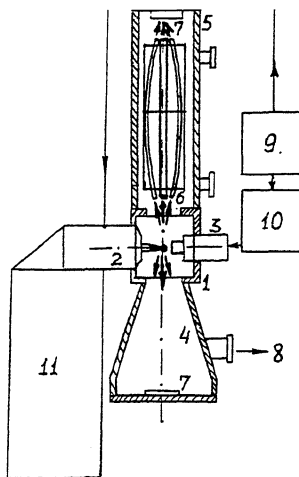


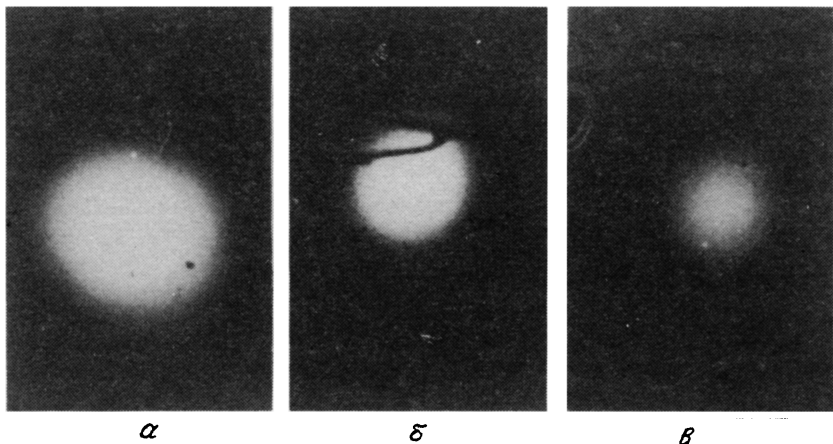
Рис. 1. Схема источника МРИ малоиндуктивная вакуумная искра с капиллярным концентратором. 1 - вакуумная камера, 2 - анод МВИ, 3 - катодный узел МВИ, 4 - камера экспонирования образцов, 5 - камера концентратора, 6 - концентратор МРИ из стеклянных капилляров, 7 - облучаемые образцы и кассеты с датчиками, 8 - откачка, 9 - блок управления, 10 - блок поджига разряда, 11 - малоиндуктивный конденсатор МВИ.

излучающей области типа МВИ, или с протяженной излучающей областью типа газоплазменного источника.

Исследования выполнялись на установке, схема которой приведена на рис. 1. Малогабаритная МВИ имела начальный энергозапас до 2 кДж при напряжении на аноде до 18 кВ и полупериоде разряда 2 мкс. Концентратор МРИ аналогичен описанному в работе [5] и состоял из 450 стеклянных капилляров, каждый из которых имел внутренний диаметр 400 и внешний 600 мкм. В концентраторе использовался эффект полного внешнего отражения МРИ от внутренней поверхности капилляров. Переднее и заднее фокусные расстояния концентратора составляли 60 мм.

Область наибольшей концентрации МРИ изучалась с помощью кассет с пленкой УФ-ВР (защитный фильтр - 3 мкм лавсан с 0.2 Аг слоем) и термомлюминесцентных дозиметров (ТЛД), которые использовались без защитных фильтров. Длительность импульса МРИ определялась рi-диодом.

Входное окно концентратора защищалось от воздействия плазмы МВИ Ве фильтрами толщиной от 15 до 100 мкм, которые, в свою очередь, предохранялись от плазмы с помощью лавсановой ленты толщиной 3 мкм, которая протягивалась перед Ве фильтром.

1.4 мм
┌──────────┐

а

б

в

Рис. 2. Изображение пятна фокусировки МРИ источника с различными защитными входными фильтрами. Выходной фильтр во всех случаях - 3 мкм лавсана с 0.2 мкм $A\bar{L}$ слоем. а) Входной фильтр - 15 мкм Ве, суммарная граничная длина волны - 0.9 нм. б) Входной фильтр - 50 мкм Ве, суммарная граничная длина волны - 0.65 нм. в) Входной фильтр - 100 мкм Ве, суммарная граничная длина волны - 0.53 нм. На фрагменте б) видна четкая тень от металлической проволоки диаметром 100 мкм, установленной перед рентгеновской пленкой.

Измерения показали, что размеры фокусного пятна с однородным распределением интенсивности МРИ по радиусу пятна зависят от спектрального интервала регистрации изображения и менялись от 3...4 мм (15 мкм Ве и 3 мкм лавсанового фильтра, длина волны отсечки 0.9 нм) до 1.3 мм (100 мкм Ве и 3 мкм лавсанового фильтра, длина волны отсечки 0.53 нм) (рис. 2). При этом значение \bar{E}_p , измеренное ТЛД только при наличии защитных входных фильтров из Ве и 3 мкм лавсана, менялось от 15...30 до 0.3 МДж/см². Объяснение этих явлений заключается в том, что более „жесткое“ МРИ транспортируется через концентратор только капиллярами, расположенными вблизи его оси. Капилляры, находящиеся во внешних слоях, „жесткое“ МРИ не транспортируют, так как углы их изгиба превосходят критические углы отражения МРИ с короткими длинами волн [7] от стенок капилляров.

Измерения длительности импульса МРИ ($\tau_p \approx 40...50$ нс, что совпадает с работой [8]) и \bar{E}_p позволили оценить величину g_p , которая достигла значения 10^6 Вт/см², по сравнению с 10^5 Вт/см²

в работе [5]. Это значение согласуется с оценками, полученными из расчета лучевой нагрузки на лавсановую пленку, необходимой для ее частичного расплавления в области пятна фокусировки МРИ, что и наблюдалось в нашей работе при использовании входного защитного фильтра из 15 мкм Ве:

$$q_p = \frac{\Delta T \cdot C_v \cdot d}{\tau_p}, \quad (1)$$

где ΔT – скачок температуры пленки в предположении адиабатического поглощения МРИ, C_v – объемная теплоемкость пленки 2.3 Дж/см³.град, d – толщина пленки 3 мкм, τ_p – длительность импульса МРИ 40...50 нс. Значение q_p , соответствующее началу плавления лавсана ($\Delta T \approx 70...80^\circ$), в наших условиях оказалось равным 10⁶ Вт/см².

Значения q_p и \bar{E}_p , полученные в настоящей работе, характерны для экспериментов с применением источников синхротронного излучения.

Таким образом, разработан новый тип малогабаритного плазменного источника с концентрацией МРИ, позволяющей получать плотность потока МРИ до 10⁶ Вт/см² при плотности энергии импульса МРИ 15...30 мДж/см² в пятне диаметром 2...4 мм в спектральном диапазоне МРИ $\lambda < (0.9...1.0)$ нм.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Басов Н.Г., Быковский Ю.А., Виноградов А.В., Канцырев В.Л. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1985. В. 9. С. 5-14.
- [2] Ананьин О.Б., Быковский Ю.А., Канцырев В.Л., Козырев Ю.П. Авт. свид. № 520863 от 15.10.1974 г. Бюлл. изобретений и открытий СССР. 1979. В. 11. С. 229.
- [3] Ананьин О.Б., Быковский Ю.А., Канцырев В.Л., Козырев Ю.П., Плешаков П.Г. Авт. свид. на изобретение № 534983 от 17.02.1975 г. Бюлл. изобретений и открытий СССР. 1978. В. 22. С. 201.
- [4] Канцырев В.Л., Кологривов А.А., Копыток К.И., Шляпцева А.С. Тез. докл. ХП Междунар. конф. по когерентной и нелинейной оптике (КиНО'91). Ленинград, 24-27 сентября 1991 г. Т. 1. С. 103-104.
- [5] Ананьин О.Б., Быковский Ю.А., Журавлев А.А., Знаменский В.А., Канцырев В.Л., Фролов С.П. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 2. С. 55-58.

Зверьков А.К., Канцырев В.Л., Кривцов А.А., Шляпцева А.С. // Физика плазмы. 1987. Т. 13. В. 7. С. 831-835.

Аркадьев В.А., Коломийцев А.И., Кумахов М.А., Лабузов В.В., Чергов Ю.П., Шахнароков Н.М. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1987. В. 2. С. 44-47.

Гулин М.А., Долгов А.Н., Николаев О.В., Савелов А.С. Физика плазмы. 1990. Т. 16. В. 8. С. 1015-1017.

Поступило в Редакцию
28 марта 1992 г.