

МИКРОКАНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КОРПУСКУЛЯРНОЙ И РЕНТГЕНОВСКОЙ ЭМИССИИ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Л.З. Барабаш, Б.Н. Брагин, А.А. Голубев, А.И. Громов, Ю.А. Захаренков, В.С. Малышева, А.И. Никитенко, Т.Ф. Никитина, Г.В. Рязанов, Р.Т. Хайдаров, Б.Ю. Шарков, О.Б. Шамаев, А.С. Шиканов

УДК 621.3837.8

Разработан микроканальный анализатор для регистрации изображений в различных спектральных диапазонах рентгеновской и корпускулярной эмиссии лазерной плазмы. Проведена калибровка чувствительности в области рентгеновского излучения 1 – 19 кэВ и энергии ионов 1 – 10 кэВ.

В исследованиях по лазерному нагреву и сжатию сферических мишеней /1/ большое значение имеет обеспечение однородности облучения и симметрии создаваемой плазменной короны и сжимаемой неиспаренной части мишени. В связи с этим одной из основных задач диагностики является разработка специальной аппаратуры, позволяющей регистрировать изображение высокотемпературной плазмы с пространственным разрешением 10^{-2} мм и временным разрешением 10^{-10} с. Ранее для этих целей широко применялись рентгеновские фотоэмульсии /2/ и пленочные трековые детекторы /3/, регистрирующие в камерах-обскурах изображение рентгеновского и ионного источника. Эти устройства технически просты, но отсутствие временного разрешения и низкая чувствительность в диапазоне жестких ($h\nu > 8$ кэВ) квантов и энергии ионов менее 100 кэВ ограничивают область их применения. Перспективным решением перечисленных проблем является применение приборов на основе микроканальных пластин /4/, чувствительных как к рентгеновскому излучению, так и к корпускулярным потокам.

В работе разработан микроканальный анализатор (МКА) для регистрации изображений в различных спектральных диапазонах рентгеновской и корпускулярной эмиссии лазерной плазмы. Схема анализатора представлена на рис. 1. На входе на расстоянии А от мишени (1) расположены камеры-обскуры (3), часть из которых открыта для регистрации ионов, а часть закрыта фильтрами различной толщины из бериллия и алюминия (2) для регистрации мягкого и жесткого рентгеновского излучения. Микроканальная плас-

тина (МКП) (4), расположенная на расстоянии B от камер-обскур, преобразует поток рентгеновского, ультрафиолетового излучений и ионов в электронный. Внешний диаметр МКП 40 мм, диаметр каналов (13 мкм) определяет пространственное разрешение. Электронный поток усиливается в МКП в $10^2 - 10^4$ раз (в зависимости от величины напряжения на МКП) и далее переносится плоскопараллельным полем 5 кВ на алюминированный люминесцентный экран (5), нанесенный на волоконно-оптическую пластину, где преобразуется в видимое излучение. Регистрация изображений осуществляется высокочувствительной фотопленкой (Фото-250) (6), прижимаемой к поверхности волоконно-оптической пластины.

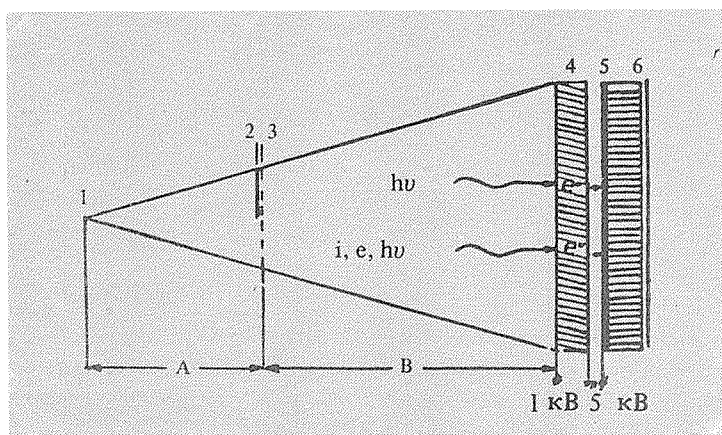
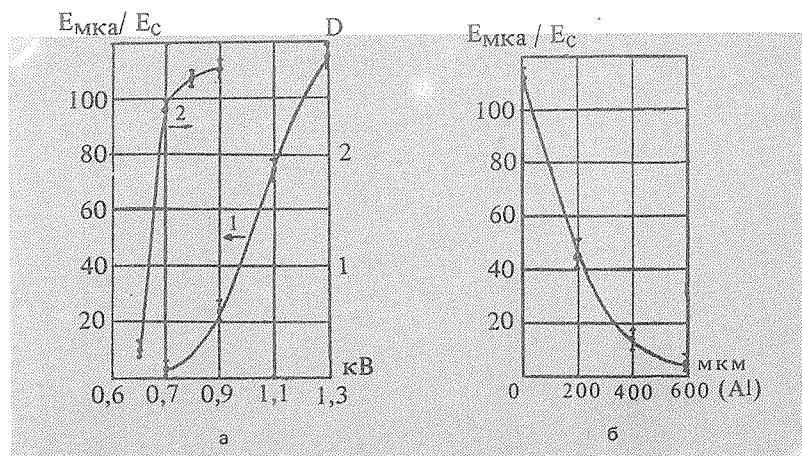


Рис. 1. Схема микроканального анализатора.

Калибровка спектральной чувствительности МКА в области жесткого рентгеновского излучения ($h\nu > 3$ кэВ) производилась на непрерывном рентгеновском микроскопе-анализаторе МИР-3 (энергия электронного пучка 3–19 кэВ), а в области мягкого рентгеновского излучения ($h\nu = 1-3$ кэВ) и энергий ионов 1–10 кэВ — в импульсном режиме на плазменном источнике, создаваемом CO_2 -лазером на твердой свинцовой мишени.

Для согласования с конструктивными особенностями установки МИР-3 (выходное бериллиевое окно толщиной 150 мкм не допускало использования открытого МКА) был изготовлен отпаянный МКА со слюдяным окном толщиной 20 мкм. Калибровка проводилась путем сравнения светового выхода МКА ($E_{\text{МКА}}$) и эталонного скintиллятора NaI(Tl) (E_c), измеряемых селеновым фотоэлементом Ф107. При этом учитывалось, что максимум

свечения сцинтиллятора (410 нм) близок к максимуму свечения МКА (450 нм). Спектр рентгеновского излучения контролировался рентгеновскими фотоэмульсиями по методу фильтров. При напряжении 13 кВ на рентгеновской трубке с медной мишенью основная доля энергии излучается в К-линиях (длина волны линии K_{α} равна 1,542 Å (8,04 кэВ), K_{β} – 1,392 Å (8,9 кэВ)).

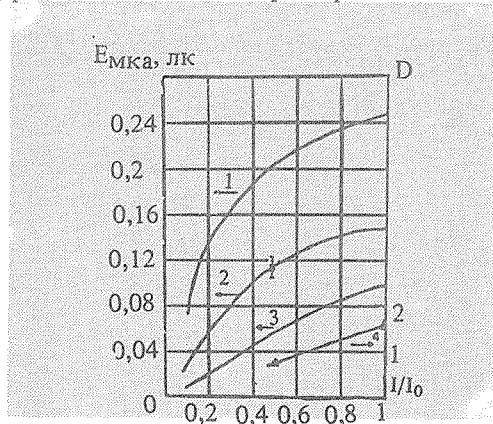


Р и с. 2. Калибровочные характеристики МКА. а) Зависимость усиления от напряжения на МКП: 1 – рентгеновское излучение, толщина Be фильтра 150 мкм, напряжение на трубке 13 кВ; 2 – ионная эмиссия, расстояние до плазмы 130 см. б) Относительный световой выход МКА на длине волны 1,54 Å (Cu K_{α}).

В экспериментах с CO_2 -лазером (энергия 10 Дж в импульсе длительностью 200 нс, плотность потока энергии $3 \cdot 10^{10}$ Вт/см²) плазма создавалась на поверхности свинцовой мишени. В качестве диафрагмы МКА использовалась прямоугольная щель размером 0,2x20 мм², устанавливаемая на различных расстояниях A (от 25 до 100 см) от мишени, расстояние B составляло 100 см. Для получения создаваемого ионами изображения щели применялся высоковольтный блок импульсного ($\tau_{и} \sim 20$ мкс) питания МКП с переменной задержкой относительно лазерного импульса. Временная задержка $\Delta t \geq 10$ мкс позволяла полностью устранить влияние световой и рентгеновской засветки МКА. Для фотографирования изображения щели, формируемого ионами с заданной энергией, фиксировалось время пролета базы мишень – МКП соответствующим подбором времени включения МКП. Вследствие большой плотности тока ионов (~ 10 мА/см²) не требовалось значи-

тельного усиления, поэтому МКА использовался в основном как ионно-электронный конвертор с визуализацией распределения интенсивности в поперечном сечении ионного пучка. На рис. 2а представлены зависимости усиления МКА от напряжения на МКП. Для жесткого рентгеновского излучения (кривая 1), генерируемого при напряжении на трубке 13 кВ и прошедшего через бериллиевое и слюдяное окна, чувствительность МКА превосходит чувствительность сцинтиллятора во всем диапазоне напряжений на МКП, причем линейный участок характеристики, находящийся в интервале 0,85 — 1,2 кВ, перекрывает динамический диапазон ~ 10 .

На рис. 2б показана спектральная чувствительность МКА по отношению к чувствительности сцинтиллятора (напряжение на трубке 13 кВ, напряжение МКП 1,3 кВ). Даже в наиболее жесткой части с энергией отсечки квантов 16 кэВ чувствительность МКА в 5 раз превосходит чувствительность сцинтиллятора NaI (Tl), расположенного за Be фильтром толщиной 150 мкм.



Р и с. 3. Зависимость светового выхода МКА от амплитуды сигнала для толщины фильтров: 1 — 150 мкм Be; 2 — 150 мкм Be + 100 мкм Al; 3 — 150 мкм Be + 200 мкм Al; 4 — ионный пучок, $\Delta t = 10$ мкс ($E_i < 10$ кэВ).

Зависимость светового выхода МКА от амплитуды выходного сигнала, изменяемого путем удаления от точечного источника, представлена на рис. 3. В случае регистрации ионного пучка показана зависимость плотности почернения фотопленки D (кривая 4). Кривые 1 и 2 демонстрируют переход МКС из линейного режима в режим насыщения, когда необходимо, в соответствии с

характеристикой усиления (рис. 2а), уменьшать напряжение на МКП. Кривая 3 характеризует линейный режим МКА с динамическим диапазоном не менее 10.

Проведенные калибровочные измерения показали, что МКА, обладая высоким пространственным и, в случае импульсного питания, временным разрешением, является высокочувствительным детектором ионной и рентгеновской эмиссии и может быть применен для диагностики ионных пучков и лазерной плазмы, а также для прецизионного анализа изображений микрообъектов.

Поступила в редакцию 24 января 1985 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б а с о в Н.Г. и др. Нагрев и сжатие термоядерных мишеней, облучаемых лазером. Итоги науки и техники, сер. радиотехника, 26, М., изд. ВИНТИ, 1982.
2. К о л о г р и в о в А.А. и др. Квантовая электроника, 2, 2223 (1975).
3. S l a t e r D.C. Appl. Phys. Lett., 31, № 3, 196 (1977).
4. Б р а г и н Б.Н. и др. ПТЭ, № 4, 158 (1975).