

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ИСТОЧНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ X-ПИНЧА

А. П. Артемов<sup>1,2</sup>, Н. А. Лабецкая<sup>2</sup>, А. В. Федюнин<sup>2</sup>, С. А. Чайковский<sup>3,4</sup>

*В работе показано, что на малогабаритном импульсном генераторе с импедансом 0.13 Ом с помощью X-пинча из четырех молибденовых проволок в спектральном диапазоне выше 3 кэВ удастся реализовать источник рентгеновского излучения с размерами 0.5–2 мкм. Представлена методика определения размеров источника, а также результаты экспериментального определения размеров излучающей области X-пинча. Проведена оптимизация параметров X-пинча, состоящего из проволок разного диаметра для данного генератора с целью получения источника мягкого рентгеновского излучения минимальных размеров.*

**Ключевые слова:** X-пинчи, плазменные источники излучения, рентгеновская радиография, диагностика плазмы.

X-пинч является нагрузкой импульсных генераторов тока, представляющей собой две или более тонких проволоки, скрещенных между собой в форме буквы “X” и касающихся друг друга в точке их пересечения. При пропускании по ней импульса тока с амплитудой в несколько сотен кА и длительностью порядка 100 нс удастся получить источник мягкого рентгеновского излучения (с энергией квантов  $E > 1$  кэВ) микронных размеров и с длительностью импульса единицы наносекунд в точке начального пересечения проволок [1–3]. Такие источники представляют интерес для реализации методики рентгеновского зондирования с высоким пространственным и временным разрешением при исследовании плазменных и биологических объектов.

<sup>1</sup> Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 36.

<sup>2</sup> Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр-т Академический, 2/3.

<sup>3</sup> ГОУ ВПО “Московский физико-технический институт”, 141700, Россия, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

<sup>4</sup> E-mail: aap545@gmail.com

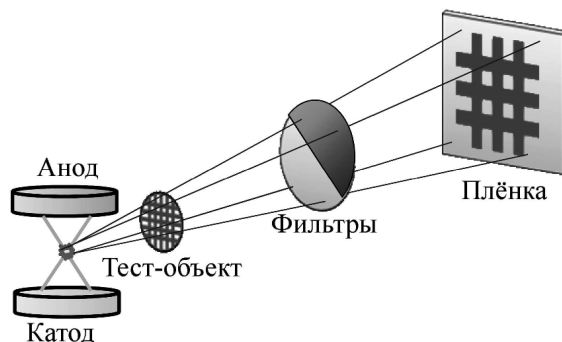


Рис. 1: Схема точечного проецирования тест-объекта на пленку.

Наиболее интенсивно исследования  $X$ -пинчей проводились на стационарных сравнительно больших и мощных установках БИН (ФИАН, амплитуда тока 270 кА, длительность импульса 150 нс, длительность фронта 50 нс, импеданс линии 1 Ом) и ХР (Корнельский университет, амплитуда тока 480 кА, длительность импульса 100 нс, длительность фронта 20 нс, импеданс линии 0.5 Ом) [2]. На этих установках был получен источник излучения с размером  $< 1$  мкм и длительностью вспышки рентгеновского излучения  $< 1$  нс. В ИСЭ СО РАН был разработан малогабаритный ( $50 \times 50 \times 40$  см) низкоиндуктивный импульсный генератор с максимальным током 300 кА и временем нарастания тока 180 нс [4], который в силу своей компактности может быть размещен в практически любой лаборатории и использован для рентгеновской радиографии на основе  $X$ -пинча. В связи с этим возник вопрос о возможности получения на данном генераторе таких же параметров излучающей области  $X$ -пинча, как на установках БИН и ХР.

В работе исследовано влияние диаметра проволок  $X$ -пинча на размер источника и длительность импульса излучения в различных спектральных диапазонах на малогабаритном низкоиндуктивном импульсном генераторе с уровнем тока 300 кА и временем его нарастания 180 нс. В экспериментах применялись молибденовые проволоки, так как, согласно [1, 2], наилучшими излучательными характеристиками обладают  $X$ -пинчи из молибдена, вольфрама, алюминия.

На рис. 1 представлена схема эксперимента. Методика заключалась в точечном проецировании тест-объекта (сетка из скрещенных под прямым углом вольфрамовых проволок диаметрами 6, 12 и 30 мкм) на пленку.

Для определения размеров источника проводилось сравнение рассчитанного с учетом дифракции [5] и экспериментального распределения интенсивности в плоскости

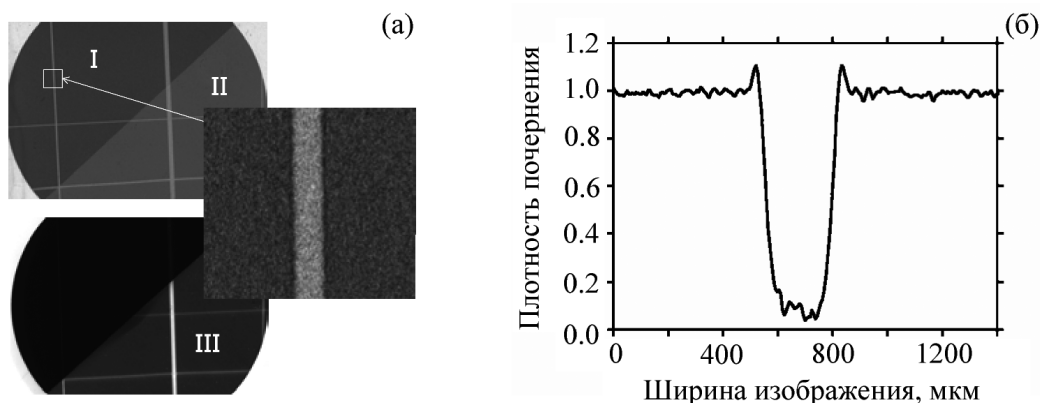


Рис. 2: (а) Изображения сетки из вольфрамовых проволочек на разных плёнках в излучении  $4 \times 25.4$  мкм X-пинча. I)  $E > 3$  кэВ; II)  $E > 4$  кэВ; III)  $E = 1 - 1.5$  кэВ. (б) Экспериментальное распределение интенсивности в плоскости изображения  $W$  проволочки диаметром 12 мкм.

изображения тест-объекта. В эксперименте использовался X-пинч из четырех молибденовых проводников. В ходе эксперимента диаметры проводников варьировались в ряду: 12.7, 25.4, 38 мкм. Длительность импульса излучения измерялась с помощью вакуумного рентгеновского диода и составляла 2–3 нс независимо от диаметра проводника. На рис. 2(а) представлены изображения тест-объекта в разных спектральных диапазонах. На распределении интенсивности в плоскости изображения вольфрамовой проволочки диаметром 12 мкм отчетливо различимы дифракционные эффекты (рис. 2(б)).

Показано, что на малогабаритном ( $50 \times 50 \times 40$  см) импульсном генераторе с импедансом 0.13 Ом с помощью X-пинча из четырех молибденовых проволочек в спектральном диапазоне выше 3 кэВ удастся реализовать источник излучения с размерами 0.5–2 мкм. При увеличении диаметра проволочек в ряду 12.7, 25.4 и 38 мкм размер источника в спектральном диапазоне выше 3 кэВ увеличивается незначительно, в спектральном диапазоне 1–1.5 кэВ увеличивается приблизительно в два раза. Размер источника в осевом направлении приблизительно в два раза больше его диаметра. С точки зрения импульсной рентгенографии на основе данного импульсного генератора наиболее подходящими из молибденовых проволочек являются проволочки диаметром 20–30 мкм. При уменьшении диаметра проводника формируется двойной импульс излучения, при увеличении диаметра проводника увеличивается размер источника и/или снижается выход излучения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] С. А. Пикуз, Дисс. на соискание степени док. физ.-мат. наук. (М., ФИАН. 2006).
- [2] S. A. Pikuz, T. A. Shelkovenko, V. M. Romanova, et al., NUKLEONIKA **46**, 21 (2001).
- [3] S. A. Pikuz, T. A. Shelkovenko, D. B. Sinars, et al., Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer **71**, 581 (2001).
- [4] Н. А. Ратахин, В. Ф. Федущак, А. А. Эрфорт и др., Известия ВУЗов. Физика **50**, 87 (2007).
- [5] P. Choi, C. Dumitrescu, E. Wyndham, et al., Rev. Sci. Instrum. **73**, 2276 (2002).

*По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара “Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики”, Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.*

Поступила в редакцию 24 мая 2010 г.