

Краткие сообщения

04

Исследование скользящего Z-пинча

© В.Д. Селемир, А.Е. Дубинов, Е.А. Ряслов, В.И. Каргин, Б.Г. Птицын

Федеральное государственное унитарное предприятие
 Российский федеральный ядерный центр
 Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики,
 607190 Саров, Нижегородская область, Россия
 e-mail: dubinov@ntc.vniief.ru

(Поступило в Редакцию 5 июля 2004 г.)

Предложены новые устройства для получения самосжатых разрядов. Принцип действия этих устройств основан на фокусировке скользящей по поверхности изолятора плазмы, когда прижим плазменного канала к поверхности и ее фокусировка осуществляются магнитным полем самого скользящего разряда. Проведены экспериментальные исследования одного из предложенных устройств с изолятором в виде двугранного угла. Зарегистрировано рентгеновское излучение и получено рентгеновское изображение сфокусированной плазмы.

Для получения плотной высокотемпературной плазмы, для генерации импульсов теплового рентгеновского излучения и нейтронов, а также для импульсных термоядерных исследований часто используются устройства пинчевого типа: цилиндрический Z-пинч [1], перекрещивающийся X-пинч [2] и плазменный фокус [3]. Во всех этих устройствах осуществляется объемная фокусировка токонесящей плазмы магнитным полем разряда.

В патенте [4] были предложены новые устройства для осуществления таких разрядов с фокусировкой, скользящей по поверхности изолятора плазмы, когда прижим плазменного канала к поверхности и ее фокусировка осуществляются магнитным полем самого скользящего разряда. Этим достигаются подавление развития винтовой и змейковой неустойчивостей твердой поверхностью изолятора; обеспечение удобной визуализации процесса фокусировки плазмы за счет открытой геометрии системы; точная локализация фокуса плазмы в сгибе или в угле на поверхности изолятора, что позволяет заранее установить необходимые датчики диагностики плотной плазмы.

В соответствии с [4] может быть создано несколько различных устройств: устройство для получения продольного скользящего Z-пинча (конфигурация типа „книжка“; рис. 1, *a*) с фокусировкой плазмы в сгибе изолятора, устройство для получения скользящего X-пинча (конфигурация типа „пирамида“; рис. 1, *b*) с фокусировкой плазмы в четырехгранном угле изолятора и скользящий плазменный фокус Мейзера (конфигурация типа „книжка“; рис. 1, *c*) с фокусировкой плазмы в сгибе изолятора. Во всех случаях необходимо особое расположение источника тока и подводных шин, с тем чтобы обеспечить прижим плазмы к изолятору и ее фокусировку.

Отметим, что формирование плазменной оболочки в традиционных устройствах для получения цилиндрического Z-пинча [5] и плазменного фокуса [6] часто

также осуществляются в режиме скользящего разряда, однако разрядные контуры в них организованы так, что магнитное поле разряда отрывает плазму от поверхности изолятора и осуществляет объемную фокусировку плазмы.

В данной работе приведены результаты первых исследований Z-пинча в устройстве с конфигурацией типа „книжка“, демонстрирующие его работоспособность. Конструкция устройства показана на рис. 2. Изолятор устройства был выполнен из капролона в виде двугранного угла в 90° , грани двугранного угла имели квадратную форму размером 2×2 см, толщина стенки изолятора 0.5 см. Электроды были выполнены из стали, на расстоянии 1.5 см от ребра „книжки“ они были снабжены остриями, инициирующими поверхностный разряд. Устройство помещалось в вакуумную камеру, в которой поддерживалось давление воздуха 10^{-1} Торр.

Использовался источник питания, имеющий следующие характеристики: емкость $0.8 \mu\text{F}$, индуктивность $0.55 \mu\text{H}$, зарядное напряжение 75 кВ. Питание к устройству подводилось с помощью коаксиальных кабе-

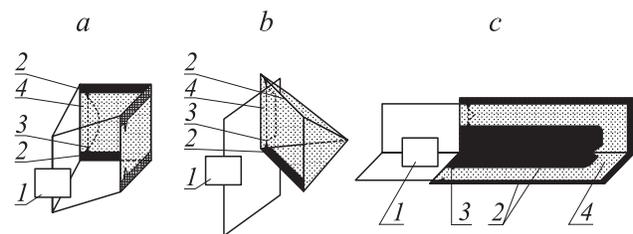


Рис. 1. Предложенные конфигурации устройства для исследования скользящих пинчей: *a* — Z-пинч типа „книжка“, *b* — X-пинч типа „пирамида“, *c* — плазменный фокус типа „книжка“. 1 — источник тока; 2 — электроды; 3 — острия инициирования разряда; 4 — поверхность изолятора, к которой прижимается разряд; пунктир — каналы разряда.

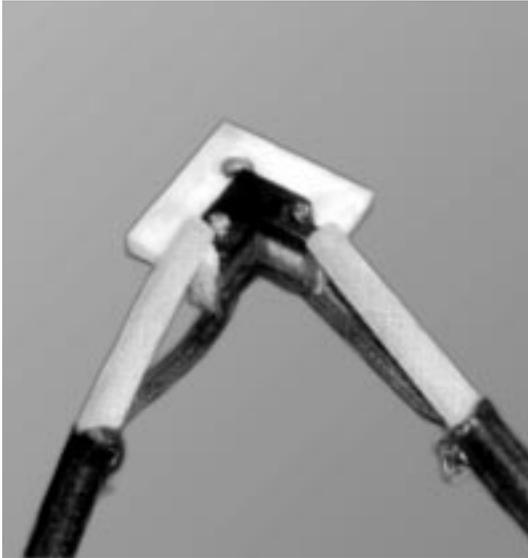


Рис. 2. Устройство для исследования скользящего Z-пинча типа „книжка“.

лей типа РК-75-9-13. Полная индуктивность разрядного контура составила $0.95 \mu\text{H}$.

В экспериментах регистрировались импульсы разрядного тока в контуре, световые импульсы, импульсы УФ излучения и импульсы мягкого рентгеновского излучения (МРИ). Для получения рентгеновского изображения разряда использовалась камера-обскура.

Регистрация световых импульсов осуществлялась с помощью фотоэлемента Ф-22, а импульсов УФ излучения — с помощью фотоэлемента Ф-32. Диафрагмы на фотоэлементах Ф-22 и Ф-32 подбирались так, чтобы амплитуды их сигналов при вспышке калибровочной лампы ИФК-120 были равны. Для регистрации импульсов МРИ использовались три полупроводниковых детектора СППД-11. Первый детектор не имел фильтра и регистрировал излучение с энергией квантов $E_\gamma > 400 \text{ eV}$, второй имел фильтр из лавсана толщиной $10 \mu\text{m}$ с алюминиевым напылением толщиной $1 \mu\text{m}$. Этот детектор регистрировал излучение с энергией квантов $E_\gamma > 2 \text{ keV}$. Третий детектор с фильтром из алюминиевой фольги ($10 \mu\text{m}$) регистрировал излучение с энергией квантов $E_\gamma > 5 \text{ keV}$. Все детекторы устанавливались в вакуумной части установки, на расстоянии 100 mm от разряда. Камера-обскура имела тот же фильтр, что и второй детектор, и помещалась на расстоянии 180 mm от ребра двугранного угла.

На рис. 3 и 4 приведены осциллограммы импульсов, полученных при амплитуде разрядного тока в контуре 70 kA . Амплитуда импульса УФ излучения в 10 раз превосходила амплитуду импульса света. Амплитуда импульса первого детектора составляла 2.8 V , второго — 0.4 V , а третьего — 0.07 V .

Известно, что чувствительность полупроводниковых детекторов СППД-11 при $E_\gamma = 400 \text{ eV}$ равна $5.5 \cdot 10^{-18} \text{ A} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2/\text{quantum}$, при $E_\gamma = 2 \text{ keV}$ —

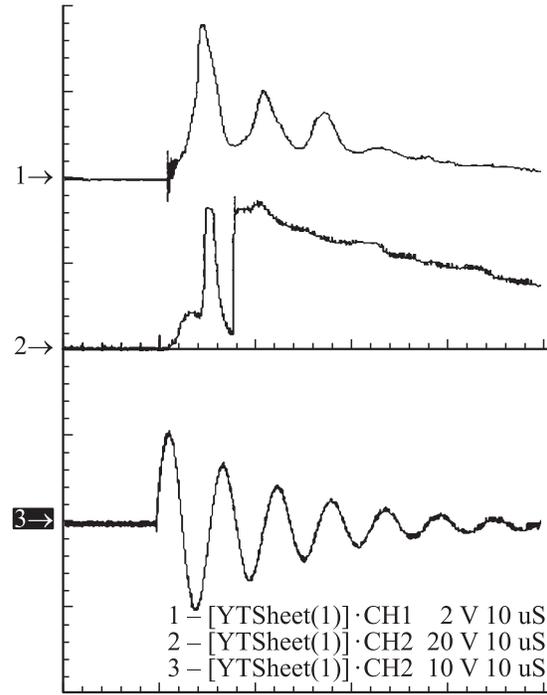


Рис. 3. Осциллограммы тока и излучения: 1 — световой импульс, 2 — импульс УФ-излучения, 3 — разрядный ток, развертка — $10 \mu\text{s}/\text{int}$.

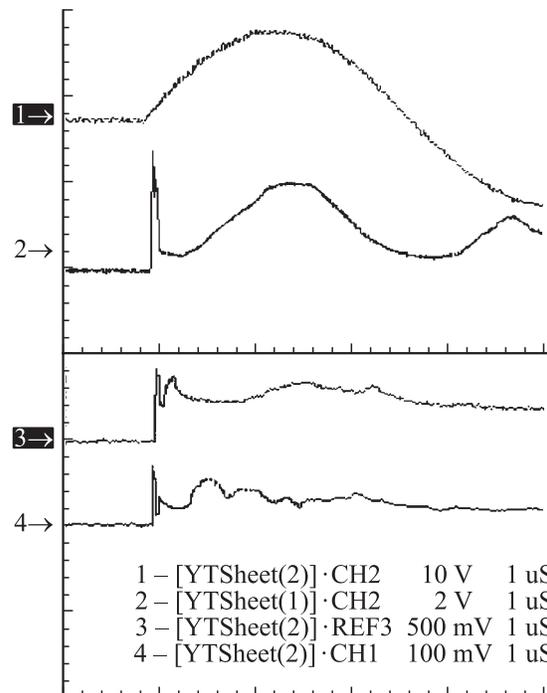


Рис. 4. Осциллограммы тока и рентгеновского излучения: 1 — разрядный ток, 2 — импульс МРИ с первого датчика ($E_\gamma > 400 \text{ eV}$), 3 — импульс МРИ со второго датчика ($E_\gamma > 2 \text{ keV}$), 4 — импульс МРИ с третьего датчика ($E_\gamma > 5 \text{ keV}$); развертка — $1 \mu\text{s}/\text{int}$.



Рис. 5. Интегральное за импульс рентгеновское изображение плазмы в области фокуса.

$56 \cdot 10^{-18} \text{ A} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2/\text{quantum}$, а при $E_\gamma = 5 \text{ keV}$ — $155 \cdot 10^{-18} \text{ A} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2/\text{quantum}$. Фильтр второго детектора ослабляет излучение $E_\gamma = 2 \text{ keV}$ в 3 раза, а фильтр третьего детектора ослабляет излучение $E_\gamma = 5 \text{ keV}$ в 1.7 раза. С учетом этого поток излучения $E_\gamma > 400 \text{ keV}$ в 23 раза выше, чем излучения $E_\gamma > 2 \text{ keV}$, а поток излучения $E_\gamma > 2 \text{ keV}$ в 27 раз выше, чем излучения $E_\gamma > 5 \text{ keV}$.

Изображение пинча, полученное с помощью рентгеновской камеры-обскуры, представлено на рис. 5. Это изображение является интегральным по времени, поэтому можно сказать, что наиболее интенсивное излучение соответствует моменту пинчевания разряда. Характерные поперечные размеры рентгеновского источника, сформированного в области ребра двугранного угла, составляли $\sim 1 \text{ mm}$.

Таким образом, первые предварительные эксперименты свидетельствуют о работоспособности и перспективности предложенных устройств для изучения магнитной фокусировки высокотемпературной плазмы.

Список литературы

- [1] Селемир В.Д., Демидов В.А., Ивановский А.В. и др. // Физика плазмы. 1999. Т. 25. № 12. С. 1085–1094.
- [2] Иваненков Г.В., Пикуз С.А., Синарс Д.Б. и др. // Физика плазмы. 2000. Т. 26. № 10. С. 927–933.
- [3] Pouzo J.O., Milanese M.M. // IEEE Trans. on Plasma Sci. 2003. Vol. 31. N 6. P. 1237–1242.
- [4] Дубинов А.Е., Птицын Б.Г., Селемир В.Д. Патент РФ № 2200372, Н 05 Н1/00, 1/04. Приоритет от 26.06.2000. БИ 2003. № 7.
- [5] Андреев С.И., Байков О.Г., Дашук П.Н., Попов П.Г. // ЖТФ. 1977. Т. 47. Вып. 6. С. 1205–1212.
- [6] Птицын Б.Г., Смирнов Е.Н. // Сб. науч. тр. Исследования по физике газового разряда / Под ред. В.Д. Селемира, А.Е. Дубинова. Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2003. С. 6–47.