При введении в смесь цезия и инертного газа примерно десяти объемных процентов углекислого газа, очищенного от примесей кислорода и водяного пара, амплитуда импульсов фототока уменьшалась на четыре порядка по сравнению с ее значениями в идентичных условиях, но при отсутствии углекислого газа. Это, вероятно, объясняется высокой скоростью взаимодействия цезия с углекислым газом [8–10].

Ленинградский политехнический институт

Поступило в редакцию
9 II 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. *А. В. Елецкий, Б. М. Смирнов.* ДАН СССР, *190*, № 4, 809, 1970.
2. *A. Javan, J. S. Levine.* IEEE J. Quant. Electr, *8*, № 11, 827, 1972.
3. *K. J. Nygaard.* IEEE J. Quant. Electr, *9*, № 10, 1020, 1973.
4. *L. A. Schlie, D. L. Drummond, B. D. Guenther.* Bull. Amer. Phys. Soc., *20*, № 2, 237, 1975.
5. *N. Klein, B. E. Cherigton.* Bull. Amer. Phys. Soc., *21*, № 2, 155, 1976.
6. *H. Rothwell, D. Leep, A. Gallagher.* Bull. Amer. Phys. Soc., *23*, № 2, 142, 1978.
7. *P. Shuker, W. L. Morgan, A. Gallagher, A. V. Phelps.* Bull. Amer. Phys. Soc., *23*, № 2, 142, 1978.
8. *В. Г. Карпухин, П. Г. Леонов.* ТВТ, *12*, № 1, 194, 1974.
9. *И. А. Васильева, В. П. Колесник, В. А. Синельщиков.* ТВТ, *15*, № 2, 421, 1977.
10. *Г. И. Стоцкий, Р. С. Иванов, Н. М. Королев, М. М. Маликов,* ТВТ, *16*, № 3, 661, 1978.

УДК 621.374.2

О СТРУКТУРЕ *Z*-ПИНЧА В СЛУЧАЕ АЗИМУТАЛЬНО-НЕОДНОРОДНОГО ОБРАТНОГО ТОКОПРОВОДА

Белоголовцев Г. И., Маркин А. П., Холев С. Р.

В установках для исследования *Z*-пинчей в качестве обратных токопроводов часто применяют отдельные проводники, обычно симметрично расположенные вокруг разрядной камеры [1–4]. Такие конструкции находят применение, например, в импульсных источниках света на основе *Z*-пинча.

Структура сжимающейся плазмы в установках с азимутально-неоднородным, в частности, несплошным токопроводом существенно отличается от структуры *Z*-пинча в случае однородного аксиально симметричного обратного токопровода. Отличие обусловлено, естественно, взаимодействием магнитного поля токопроводов с токами плазмы и проявляется прежде всего в образовании ярко светящихся отделенных друг от друга плазменных каналов вместо сплошного сжимающегося кольцевого слоя при обычном *Z*-пинче.

Экспериментальное исследование указанных особенностей *Z*-пинча проводилось на установке, описанной в [5]. Ее основные характеристики: C=11,2 мкФ, U=30 кВ, рабочий газ – аргон, давление p_0=21–63 Па, амплитуда тока в первом полупериоде 240 кА, полупериод тока 3 мкс. Обратный токопровод выполнялся в виде круглых медных стержней *3* диаметром 6 мм, расположенных вокруг разрядной камеры *2* на расстоянии 64 мм от ее оси (рис. 1). Число стержней в описываемых экспериментах: четыре и восемь. Разрядная камера из кварцевого стекла имела размеры: диаметр – 100, длина – 130 мм.

Фотографирование разряда проводилось прибором СФР. Для этого с торца камеры в центре одного из электродов вырезалось окно диаметром 22 мм с продолжающей его вертикальной щелью шириной 3 мм (эксперимент с восемью стержнями в качестве обратного токопровода). В случае четырех стержней окно выполнялось в виде овала с продолжающей его щелью той же ширины (на рис. 1 овал и щель показаны пунктиром). Следует отметить, что съемка сбоку по понятным геометрическим причинам не может выявить отличие каналов от азимутально-однородного слоя.

Для предотвращения переэкспонирования пленки световой поток ослаблялся нейтральными светофильтрами в $\sim 10^2$–10^3 раз.

С помощью щелевой фоторазвертки измерялись радиальные скорости плазменных каналов, их радиальные размеры и расположение в камере. На рис. 1, *а* приведены характерные снимки, показывающие развитие процесса во времени, с обратным токопроводом из четырех стержней, на рис. 1, *б* – из восьми. Изображения каналов на фотографиях несколько вытянуты в радиальном направлении вследствие большой радиальной скорости каналов (~20–50 км/с) и конечности времени экспозиции. Радиальные размеры каналов, измеренные по фоторазверткам, изменялись от 2-3 мм в начале движения, до ~10 мм перед началом кумуляции. Можно считать с большой степенью достоверности, что по этим каналам течет значительная часть тока разряда.

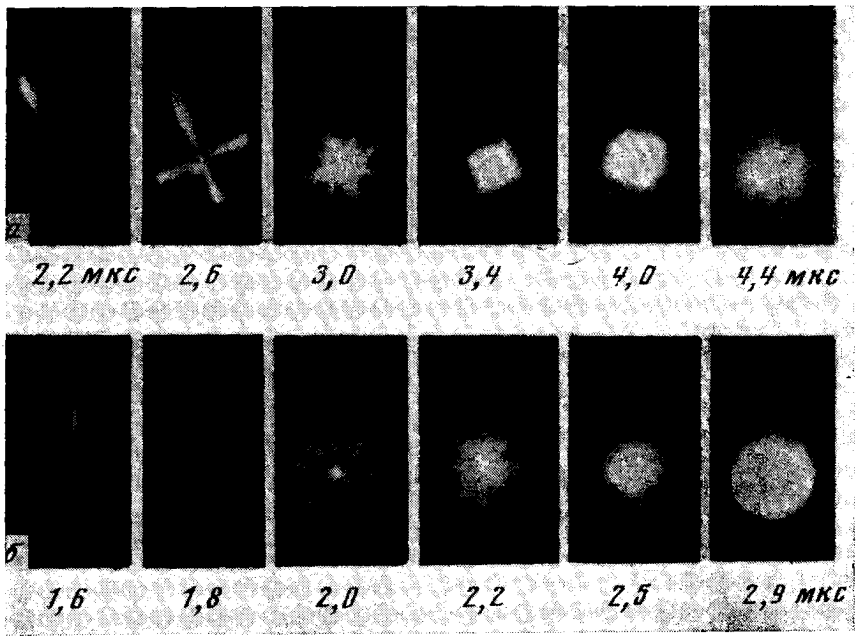

Рис. 1. Снимки развития разряда: *а* — токопровод из четырех стержней; *б* — токопровод из восьми стержней. Время отсчитывается от нуля тока

На фотографиях видно движение плазменных каналов к центру и их столкновение (кумуляция) с образованием в последней стадии сжатия цилиндрически симметричного светящегося плазменного шнура и последующим его расширением. Кумуляция плазменных каналов, так же, как и в обычном Z-пинче, сопровождается вспышкой излучения в видимой и ультрафиолетовой областях. По фотоэлектрическим измерениям импульсы этого излучения превосходили интегральное излучение каналов и расширяющегося плазменного шнура примерно на порядок, что указывает на значительное повышение температуры и концентрации плазмы во время кумуляции. Об этом же говорит и сплошной характер спектра в это время.

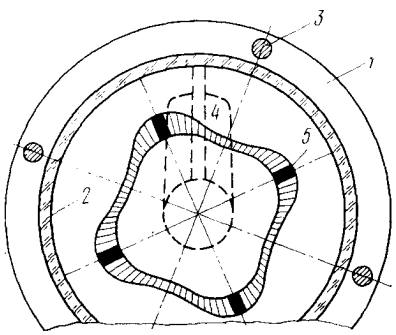

Рис. 2. Схематическое изображение структуры токового слоя в случае токопровода из четырех стержней: *1* — электрод; *2* — камера; *3* — стержень токопровода; *4* — окно; *5* — плазменные каналы

Рассмотрим, опираясь на данные эксперимента, основные черты модели процесса для случая обратного токопровода из четырех стержней, расположенных симметрично вокруг камеры (рис. 2). Отметим, что на биссектрисах углов, опирающихся на соседние стержни и с общей вершиной в центре камеры, азимутальные составляющие суммарного магнитного поля от всех токопроводов отличны от нуля и направлены в ту же сторону, что и азимутальная составляющая магнитного поля разрядного тока, т. е. увеличивают последнюю. В то же время радиальные составляющие магнитных полей токопроводов на биссектрисах взаимно компенсируются. В областях же вне биссектрис полной компенсации радиальных составляющих нет. Следовательно, в этих областях на плазму действуют пондеромоторные силы, имеющие отличные от нуля азимутальные составляющие, направленные к биссектрисам. Действие этих сил и приводит к возникновению вблизи биссектрис уплотненных и нагретых в результате сжатия каналов плазмы, обнаруженных в экспериментах.

Если начальное давление газа в камере достаточно для образования ударных волн, то образование плазменных каналов можно объяснить столкновением ударных волн, расходящихся от соседних стержней, как от центров.

Фоторазвертки показали, что вдоль линий стержни – центр камеры тоже происходит распространение ударных волн. Скорость этих волн может быть больше скорости каналов, движущихся по биссектрисам, поскольку, по крайней мере, в первые моменты сжатия магнитное поле против стержней больше, чем на биссектрисах. Это наблюдалось особенно отчетливо в экспериментах с восемью стержнями. На фотографиях (рис. 2, *б*) хорошо видна кумуляция этих волн в момент $t=2{,}0$ мкс, предшествующий кумуляции каналов. Однако эта кумуляция значительно слабее кумуляции каналов, которая дает основную, наиболее интенсивную вспышку. Максимум интенсивности излучения приходится на момент времени $t=2{,}5$ мкс. В случае обратного токопровода из четырех стержней эта предварительная кумуляция еще слабее. Таким образом, даже если в некоторый, близкий к начальному, момент времени образовавшийся скин-слой плазмы имел цилиндрическую форму, то при своем движении к центру плазменная оболочка быстро теряет азимутальную однородность и приобретает характерный гофрированный вид, показанный на рис. 2. Сплошным черным цветом на рисунке показаны ярко светящиеся плазменные каналы, несколько сплющенные в азимутальном направлении. Штриховкой обозначена относительно слабо светящаяся область плазмы. Следует отметить хорошую воспроизводимость описанной структуры при заданных начальных условиях.

Рассмотренная структура пинча открывает определенную возможность управления механизмом сжатия плазмы и, следовательно, параметрами плазмы при кумуляции посредством подбора числа стержней, начального давления газа (или способа его подачи) и т. д. В наших экспериментах это уже использовалось для формирования мощного короткого светового импульса с достаточно крутыми передними и задними фронтами. Несомненно, в каналах сосредоточена лишь часть массы газа, находящегося в камере, а суммарная пондеромоторная сила остается примерно той же, что и в случае сплошного обратного токопровода. Поэтому возникает интересный вопрос о возможности существенного повышения скорости схлопывания каналов, т. е. существенного повышения температуры при их кумуляции.

Обнинский филиал
МИФИ

Поступило в редакцию
1 III 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. *М. Р. Бедилов, В. М. Лихачев, Г. В. Михайлов, М. С. Рабинович.* Тр. ФИАН, *32*, 98, 1966.
2. *А. Ф. Александров, Л. А. Рухадзе.* Физика сильноточных электроразрядных источников света. Атомиздат, 1976.
3. *Г. И. Белоголовцев.* ПТЭ, № 1, 1977.
4. *Г. Г. Зукакишвили, И. Ф. Кварцхава, Л. М. Зукакишвили.* Физика плазмы, *4*, 725, 1978.
5. *Г. И. Белоголовцев.* ПТЭ, № 4, 1978.

УДК 536.212.2

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ КАЛИЙ — ЦЕЗИЕВЫХ СПЛАВОВ

Шпильрайн Э. Э., Крайнова И. Ф., Королева В. В.

Исследование теплопроводности калий – цезиевых сплавов является составной частью комплекса исследований системы натрий – калий – цезий. Результаты экспериментов, касающиеся теплопроводности натрий – калиевых сплавов, опубликованы в [1]. Данные по теплопроводности натрий – цезиевых сплавов находятся в печати.

Все работы этой серии исследований проводились на установке, описанной в [2]. Над уровнем сплава создавалось давление аргона до 10 бар для предотвращения возможности вскипания. Исследовались пять составов сплавов во всем диапазоне составов в ат.% Cs: 15,0; 30,0; 50,1; 65,0; 85,1 или соответственно в вес.%: 37,5; 59,3; 77,3; 86,3 и 95,1. Сплавы изготавливались в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья. Для изготовления сплавов использовались чистые калий с содержанием примесей не более 0,004% и цезий – не более 0,003%. Полученные экспериментальные значения представлены на графиках (рис. 1, 2).

При обработке данных по каждому сплаву методом наименьших квадратов получены уравнения, описывающие температурную зависимость теплопроводности сплава. Эти данные представлены в Вт/см·К в зависимости от T К.

Для сплава 15,0 ат.% Cs получены уравнения:

до 850 К

$$\lambda=-0{,}903+6{,}57\cdot10^{-3}\,T-13{,}3\cdot10^{-6}\,T^2+11{,}52\cdot10^{-9}\,T^3-3{,}658\cdot10^{-12}\,T^4, \qquad (1)$$

свыше 850 К

$$\lambda=0{,}295-0{,}07\cdot10^{-3}\,T. \qquad (2)$$