

ТЕНЕВАЯ ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ В ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ КОМПРЕССИОННО- УСКОРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Е.А.КОСТЮКЕВИЧ

Институт молекулярной и атомной физики
Национальной академии наук Беларуси
Пр. Ф.Скарыны, 70. 220072 Минск, Беларусь
E-mail: lrpd@imaph.bas-net.by

Резюме. Рассмотрены возможности теневых методов диагностики для исследования газоразрядных и эрозионных плазменных потоков в различных условиях окружающей среды.

1. ВВЕДЕНИЕ

В исследованиях плазменных потоков, генерируемых электроразрядными плазмодинамическими системами, находят заметное распространение методы визуализации оптических неоднородностей, в том числе и разнообразные варианты теневого метода. Отличаясь сравнительной простотой в реализации, этот метод вместе с тем предоставляет значительную сложность в отношении количественной обработки результатов, обусловленную, в частности, необходимостью применять в расчетах процедуру двойного интегрирования, что отрицательно сказывается на точности измерения рефракции плазмы. Тем не менее анализ теневых спектров порой позволяет находить с меньшими затратами ряд других параметров плазменного потока. Наконец, визуализация ударно-волновых структур, сопровождающих течение плазмы, дает возможность получить более полное представление об исследуемом процессе. Ниже представлен обзор работ, выполненных с применением теневых методов.

2. МАГНИТОПЛАЗМЕННЫЙ КОМПРЕССОР (МПК)

Динамику взаимодействия генерируемого МПК компрессионного потока с неподвижной преградой изучали с помощью теневого прибора ($D=120$ мм), сопряженного с фоторегистратором СФР (Асташинский, 1984). Источником света служил рубиновый лазер, работавший в режиме свободной генерации. Газоразрядный ускоритель с энергией накопителя 30 кДж работал в режиме остаточного газа (азота) в диапазоне давлений 133÷665 Па. Скорость набегания потока на текстолитовую преграду, установленную в 12 см от торца внутреннего электрода, составляла $\sim 5 \cdot 10^6$ см/с.

Воздействие компрессионного плазменного потока на преграду приводит к появлению у ее поверхности ударносжатого слоя плазмы. Примерно с 45 мкс от начала тока разряда в непосредственной близости от ударносжатого приповерхностного слоя плазмы на расстоянии ~ 2 см от поверхности преграды формируется скачок уплотнения, который исчезает только с развалом компрессионного потока. Он отчетливо виден на кинокадрах теневой картины исследуемого процесса (рис. 1).



Рис. 1

При оптимизации работы МПК в режиме с клапанным напуском водорода исследование формы газового импульса и определение расхода газа проводили с помощью интерференционно-теневого устройства на основе He-Ne лазера (Асташинский, 1991). Излучение лазера, отражаясь от тонкой клиновидной пластинки, пересекает поток газа в заданной точке и падает на точечную диафрагму, образуя на ней систему интерференционных полос, частота которых определяется углом клина. Установленный за диафрагмой фотоумножитель регистрирует модуляции излучения, обусловленные изменением рефракции в потоке. Особенность устройства в том, что оно

позволяет измерять угол отклонения луча в неоднородности непосредственно из осциллограммы, не прибегая к трудоемким процедурам калибровки. Типичная осциллограмма формы газового импульса приведена на рис. 2.

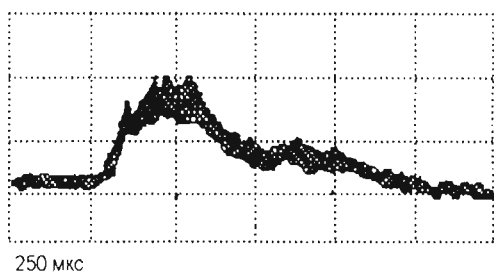


Рис. 2

3. КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ СИЛЬНОТОЧНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ

В экспериментах использовали теневой прибор с полем зрения 200 мм. Температуру плазмы определяли из результатов экспериментов по набеганию сверхзвукового компрессионного потока на тонкий клин с острой передней кромкой, установленный под нулевым углом атаки на расстоянии 35 см от среза катодного трансформера (Асташинский, 1998). По углу наклона линий возмущений (углу Маха), отходящих от вершины клина, можно определить число Маха набегающего потока. Зная скорость потока, можно определить температуру плазмы:

$$T_{pl} \approx \frac{(V_{m} \cdot \sin \alpha)^2 \cdot M_i}{\gamma k (1 + z)}, \quad (1)$$

где V_m — скорость плазмы компрессионного потока, α — угол Маха, M_i — масса иона, z — заряд иона, k — постоянная Больцмана, γ — показатель адиабаты Пуассона.

На рис. 3 представлен типичный теневой спектр обтекания клина компрессионным плазменным потоком. Измеренные значения температуры плазмы составили 10-15 эВ.



Рис. 3

4. КОАКСИАЛЬНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ

Полученные при исследованиях коаксиального плазменного ускорителя с утопленным центральным электродом и протяженным цилиндрическим изолятором теневые снимки истечения плазмы из межэлектродного канала позволили прояснить картину формирования плазменного потока. При давлениях до 4 тор пробой между центральным и кольцевым электродами развивается симметрично по множественным токовым каналам, более или менее равномерно распределенным по внутренней стенке диэлектрической вставки. Каждый из них инициирует свою ударную волну. Эти волны с удалением от торца кольцевого электрода образуют плоский волновой фронт (рис. 4а). При более высоких давлениях пробой между электродами происходит по 1-2 каналам, что приводит к нарушению симметричности как волнового фронта, так и фронта свечения плазменного потока (рис. 4б).

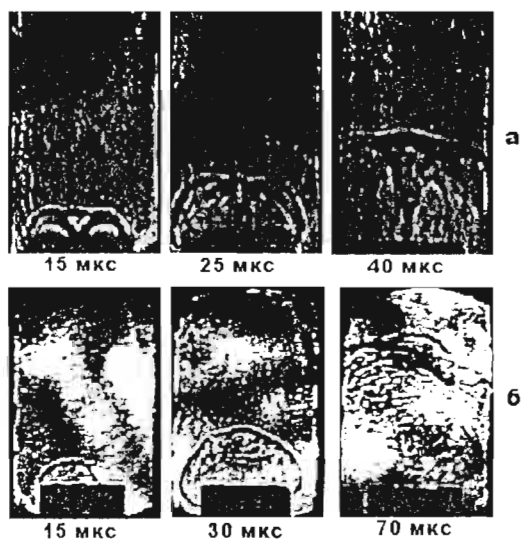


Рис. 4

ЛИТЕРАТУРА

Астащинский В.М., Баканович Г.И., Минько Л.Я.: 1984, Физика плазмы, **10**, 1058.

Астащинский В.М., Ефремов В.В., Костюкевич Е.А. и др.: 1991, Физика плазмы, **17**, 1111.

Астащинский В.М., Костюкевич Е.А., Маньковский А.А., Минько Л.Я.: 1998, Конф. по физике низкотемпературной плазмы "Плазма XX век". Петрозаводск, Россия, **1**, 84.