

КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ КОМПАКТНОЙ ГЕОМЕТРИИ КАК ИСТОЧНИК ПЛАЗМЫ ДЛЯ АТОМНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.М.АСТАШИНСКИЙ, Л.Я.МИНЬКО,
*М.ЧУК, *М.М.КУРАИЦА, *Я.ПУРИЧ

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

*Физический факультет Белградского университета
Р.О.ВОХ 368, 11001 Белград, Югославия
E-mail: epuric@rudjer.ff.bg.ac.yu

Резюме. Рассмотрены возможности квазистационарных плазменных ускорителей компактной геометрии (КПУ-КГ) газоразрядного и эрозионного типов, генерирующих компрессионные плазменные потоки (КПП) заданного состава, как источников плазмы для атомной спектроскопии.

1. ВВЕДЕНИЕ

Для исследований в области атомной спектроскопии необходимы плазменные источники излучения, обеспечивающие возможность определения вероятностей оптических переходов в атомах и ионах, сил осцилляторов, коэффициентов переноса, а также изучения закономерностей уширения спектральных линий, в том числе в электромагнитных полях различной конфигурации.

Такие источники при своей относительной простоте должны иметь достаточно широкий диапазон термодинамических параметров, быть осесимметричными и обеспечивать хорошую воспроизводимость.

К устройствам, удовлетворяющим таким требованиям, можно отнести квазистационарные плазменные ускорители (КПУ), в которых ускорение плазмы сопровождается ее сжатием собственным азимутальным магнитным полем (Морозов, 1978). Пожалуй наибольший интерес для атомной спектроскопии представляют квазистационарные газоразрядные и эрозионные

плазменные ускорители компактной геометрии (Асташинский и др., 1989, Минько и др., 1991) с относительно небольшим энергозапасом накопителей (10 - 30 кДж), генерирующие компрессионные плазменные потоки заданного состава, характеризующиеся достаточно высокими термодинамическими параметрами плазмы. Характерная длительность квазистационарной стадии развития компрессионных потоков рассматриваемых систем составляет ~ 50 - 100 мкс.

2. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И СВОЙСТВА КПП ЗАДАННОГО СОСТАВА

Газоразрядные КПУ-КГ позволяют получать плазменные потоки практически из любых газов и их смесей, составленных в любых пропорциях. Рабочий газ подается в разрядное устройство ускорителя либо с помощью импульсного электродинамического клапана, либо предварительно откачанная вакуумная камера заполняется газом до заданного давления (так называемый режим "остаточного газа").

Следует отметить, что в системах с собственным азимутальным магнитным полем, к которым относятся и рассматриваемые КПУ, наблюдается сепарация ионов по массе и заряду, т.е. происходит "самоочищение" компрессионного потока от тяжелых ионов примесей, в основном, продуктов разрушения электродов (Морозов, 1978).

Проведенные ранее исследования таких ускорителей высокоскоростными фотографическими, спектроскопическими и интерференционно-теневыми методами позволили изучить динамику формирования, структуру и свойства компрессионных плазменных потоков, определить их основные газодинамические и термодинамические параметры (Асташинский и др., 1991, Асташинский и др., 1992, Минько и др., 1992).

При работе на водороде за срезом КПУ-КГ формируется компрессионный плазменный поток диаметром ~ 1 см и длиной ~ 4-5 см. В регистрируемых спектрах испускания плазмы компрессионного потока в области 300-700 нм наблюдаются в основном сплошное излучение и линии атомарного водорода. При малых расходах рабочего газа наблюдаются также наиболее интенсивные (резонансные) линии атомов элементов, входящих в состав материала электродов. В зависимости от начальных

параметров разряда температура плазмы составляет $\sim (1-3) \cdot 10^4$ К, а концентрация электронов — $(1-2) \cdot 10^{17}$ см⁻³.

При работе КПУ с воздухом в режиме остаточного газа в диапазоне давлений 1-5 тор, температура плазмы компрессионного потока составляла $\sim (3-4) \cdot 10^4$ К, а концентрация электронов $\sim (1-3) \cdot 10^{18}$ см⁻³ (Асташинский и др., 1984). В спектрах испускания наблюдаются в основном сплошное излучение и линии ионов азота и кислорода, вплоть до 3-й кратности ионизации. Осевое ограничение компрессионного потока неподвижной преградой позволило сформировать в течение одного разряда два взаимосвязанных, одновременно существующих источника излучения в видимой области спектра с яркостной температурой $\sim 3 \cdot 10^4$ К (компрессионный поток; состав плазмы определяется, в основном, рабочим газом) и $5 \cdot 10^4$ К (ударносжатый приповерхностный слой плазмы, состав которой преимущественно определяется материалом преграды).

Исследования газоразрядных КПУ позволили установить критерии получения при фиксированном уровне запасаемой в ускорителе энергии максимальных параметров плазмы с малым количеством примесей в зависимости от макроскопических параметров разряда (максимального значения разрядного тока, массового расхода рабочего вещества и начального напряжения накопителя энергии).

Предложенные оригинальные КПУ эрозионного типа (Минько и др., 1991) впервые обеспечили возможность получения в воздухе при атмосферном давлении (т.е. в условиях свободного доступа к плазме) компрессионных эрозионных плазменных потоков заданного состава, определяемого материалом внутреннего электрода. Проведенные исследования позволили установить физические процессы, ответственные за формирование таких потоков, найти способы увеличения эффективности ввода энергии непосредственно в компрессионный поток, определить основные газодинамические и термодинамические параметры эрозионной плазмы (Минько и др., 1991, Асташинский и др., 1995).

Компрессионный поток в таких системах имеет длину ~ 15 см при диаметре 1-2 см. В случае, когда внутренний электрод выполнен из меди, в спектре излучения плазмы наблюдаются только линии атомов и ионов меди. Концентрация электронов плазменного потока составляет при этом $\sim (1-2) \cdot 10^{17}$ см⁻³, а температура плазмы — $(2,5 - 4) \cdot 10^4$ К.

Анализ приведенных выше параметров плазмы эрозионных и газоразрядных компрессионных потоков показывает, что в них устанавливается локальное термодинамическое равновесие.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования квазистационарных газоразрядных и эрозионных плазменных ускорителей компактной геометрии позволили установить основные закономерности в физических процессах, определяющих режимы работы такого рода плазмодинамических систем, найти способы управления параметрами формирующихся компрессионных плазменных потоков заданного состава. Рассмотрение свойств КПУ-КГ показывает перспективность их использования для атомной спектроскопии.

Литература

- Морозов А.И.: 1978, Физические основы космических электрореактивных двигателей, Атомиздат, Москва.
- Асташинский В.М., Баканович Г.И., Костюкевич Е.А. и др.: 1989, Журнал прикладной спектроскопии, 50, 887.
- Минько Л.Я., Асташинский В.М., Маньковский А.А.: 1991, Журнал прикладной спектроскопии, 55, 903.
- Асташинский В.М., Ефремов В.В., Костюкевич Е.А. и др.: 1991, Физика плазмы, 17, 1111.
- Асташинский В.М., Баканович Г.И., Кузьмицкий А.М. и др.: 1992, Инженерно-физический журнал, 62, 386.
- Минько Л.Я., Асташинский В.М.: 1992, Инженерно-физический журнал, 62, 714.
- Асташинский В.М., Баканович Г.И., Минько Л.Я.: 1984, Физика плазмы, 10, 1058.
- Асташинский В.М., Баканович Г.И., Минько Л.Я.: 1984, Журнал прикладной спектроскопии, 40, 540.
- Минько Л.Я., Асташинский В.М.: 1991, Вакуумная техника, 1, 50.
- Асташинский В.М., Маньковский А.А., Минько Л.Я.: 1995, Материалы конф. "Физика низкотемпературной плазмы", 1, 98, Петрозаводск.