

УДК 50.47.02, 533.9.08, 621.039.66

## **Автоматизированная система экспресс-диагностики параметров ионного пучка**

*И. Н. Канель, А. Н. Носырев, П. А. Цыганков*

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

*Даны описание системы автоматической экспресс-диагностики параметров ионного пучка, ее основные компоненты, алгоритмы работы и результаты анализа пучков технологических источников разных типов.*

В современном технологическом оборудовании нанесения покрытий и ионно-плазменной обработки при проведении научных исследований широко используются плазменные ускорители [1]. В силу особенностей организации рабочего процесса таких устройств характеристики ионного пучка могут существенно изменяться даже при незначительных изменениях технологических факторов или в процессе эксплуатации.

Для оперативного контроля параметров ионного пучка в технологических процессах поточного производства, а также для юстировки и проверки таких характеристик ионных ускорителей, как энергия ионов и распределение плотности ионного тока, требуется поверочное оборудование экспресс-диагностики.

Для этих целей были созданы программно-аппаратный комплекс PROBE-DAM, предназначенный для автоматизированной регистрации энергетического спектра ионов в пучке, состоящий из датчика, подсоединяемого через защищенный гибкий кабель с фланцем для монтажа в вакуумной камере к блоку управления (рис. 1), а также программы обработки и отображения данных.

Определение энергетического спектра ионов в пучке осуществляется путем измерения тормозной характеристики с помощью электростатического анализатора [2], представляющего собой трехэлектродный зонд с двумя сеточными и одним сплошным электродом, который является коллектором ионов.

Сеточные электроды обеспечивают экранирование плазмы от возмущающего потенциала зонда, отделение ионной компоненты плазменного пучка и устранение влияния вторичной электронной эмиссии с входной сетки. Параметры этих электродов подобраны так, чтобы обеспечить регистрацию пучков с концентрацией до  $10^{11} \text{ см}^{-3}$ .

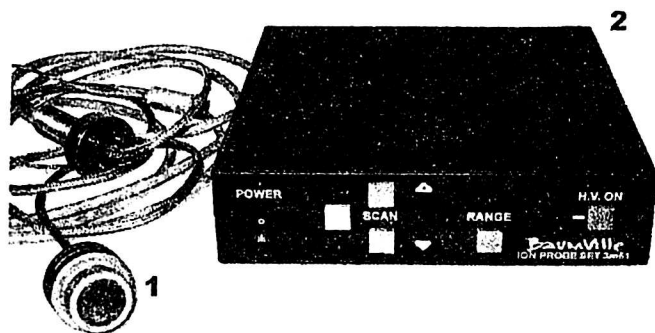


Рис. 1. Общий вид диагностического комплекса: 1 — зонд с вакуумным фланцем; 2 — блок управления

Входная апертура зонда составляет 21 мм. Для повышения пространственного разрешения используется набор диафрагм с калиброванными входными отверстиями. Зонд эффективно регистрирует пучки в диапазоне давлений аргона в вакуумной камере до 0,15 Па. Металлокерамическая конструкция зонда обеспечивает долговременную стабильную работу под интенсивными плазменными пучками.

Для регистрации тормозной характеристики ионов  $I_{col}(E)$ , представляющей зависимость ионного тока на коллекторе от коллекторного по-

тенциала  $U_c$ , анализирующее напряжение, изменяющееся в диапазоне 0—3000 В с шагом менее 3 В, подается на зонд через высоковакуумный разъем с блока управления, а ток регистрируется высокочувствительным (0,3—15 мА) дифференциальным усилителем с автоматическим выбором усиления. Измеренные сигналы преобразуются в цифровой вид 10-разрядными АЦП и поступают на компьютер через LPT-порт. Программное обеспечение позволяет осуществлять непрерывный мониторинг поступающих с анализатора данных, обработку в режиме реального времени, визуализацию и, при необходимости, сохранение обработанных данных. Результаты обработки представляются в виде кривых торможения на экране монитора. Характерные тормозные характеристики для сеточного ионного источника и ускорителя с анодным слоем представлены на рис. 2. Значения тока с зонда при небольших потенциалах на коллекторе позволяют оценить плотность ионного тока при условии учета прозрачности сеточных электродов и фиксированном диаметре входной диафрагмы.

Особый интерес представляет энергетическое распределение ионного тока. Тормозная характеристика связана с дифференциальной  $f(E)$  функцией распределения ионов по энергиям следующим образом [2]:

$$f(E) = - \frac{\left( \frac{I_{col}(E)}{I_{col.max}} \right)}{dE}$$

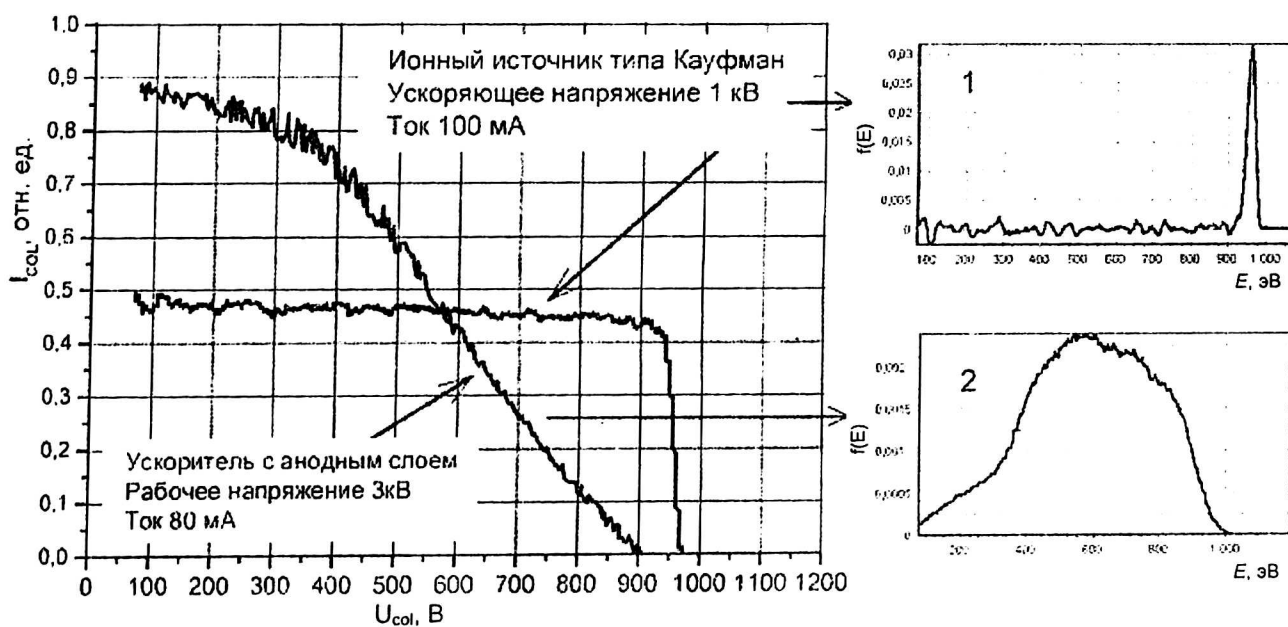


Рис. 2. Типовые тормозные характеристики технологических ионных источников и соответствующие им энергетические спектры ионов по результатам анализа программным модулем DAM: 1 — ионного источника Кауфмана; 2 — плазменного ускорителя с анодным слоем

Высокоскоростная обработка данных осуществляется в модуле анализа (DAM). Поскольку задача анализа связана с обработкой большого объема информации, то модуль построен на основе SQL-базы данных [3], что привело к многократному увеличению быстродействия по сравнению со стандартными алгоритмами. Так, время анализа тормозной кривой, зафиксированной массивом из 500 значений, не превышает 1 с.

Условно алгоритм анализа можно разбить на следующие этапы:

- загрузка данных из файла в SQL-базу данных;
- усреднение и сортировка по тормозному напряжению;
- сглаживание кривой торможения (сглаживание движущимся фреймом);
- дифференцирование кривой торможения;
- сглаживание полученной кривой распределения;
- нормализация функции распределения ионов по энергии.

Метод сглаживания фреймом заключается в усреднении данных (арифметическое среднее) на отрезке выбранной длины (фрейме), который перемещается вдоль кривой. Регулируя ширину сглаживающего фрейма, можно увеличивать или

уменьшать степень сглаженности результирующей кривой. Результатом работы модуля является график функции распределения ионов по энергиям. Модуль имеет возможность сохранять полученные результаты в графическом виде.

Зная полный ионный ток и используя полученную функцию распределения, несложно определить абсолютную величину тока ионов с заданной энергией. Энергетическое распределение ионов для сеточного ионного источника и ускорителя с анодным слоем, полученное обработкой модулем DAM, представлено на рис. 2.

Опыт эксплуатации разработанной системы оперативного контроля параметров ионного пучка подтвердил эффективность ее использования при работе с большинством из известных ионных источников технологического применения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гришин С. Д., Лесков Л. В. Электрические ракетные двигатели. — М.: Машиностроение, 1989.
2. Козлов О. В. Электрический зонд в плазме. — М.: Атомиздат, 1969.
3. Грабер М. SQL. — М.: Лорри, 2001.

## Computerized diagnostic equipment for ion beam parameters measurements

*I. N. Kanel, A. N. Nosirev, P. A. Tsygankov*

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

*Computerized diagnostic equipment for ion beam parameters measurements is presented. Its components and algorithm of function are described. The results of analysis of ion beams from different types of ion sources for technological application are presented.*