

Физическая аппаратура и ее элементы

УДК 539.1

Спектрограф заряженных частиц с линейным законом распределения потенциала на дискретном плоском электроде

Т. Я. Фишкова

Проведено компьютерное моделирование электростатического спектрографа, предложенного автором ранее, в режимах с вынесенным за пределы поля источником заряженных частиц. При линейном возрастании потенциала на дискретном электроде диапазон одновременно регистрируемых энергий $E_{max}/E_{min} = 50$. При этом разрешение по энергии лежит в пределах 0,2—0,6 %.

PACS: 41.85.Qg

Ключевые слова: спектрограф, заряженные частицы, дискретный (разрезной) плоский электрод, диапазон энергий, разрешение по энергии.

Введение

Для быстрого определения состава и свойств различных материалов, а также корпускулярной диагностики плазмы используются различные многоканальные системы, в частности, электростатические спектрографы, которые осуществляют одновременный анализ в широком диапазоне энергий вторичных частиц, исходящих с поверхности или из объема вещества. Автором настоящей работы предложен спектрограф простой конструкции [1], состоящий из двух электродов — дискретного (разрезного) плоского и коробчатого.

В работе [2] исследован такой спектрограф при подаче на части плоского электрода напряжений, величина которых меняется по различным законам при заземленном коробчатом электроде. С помощью компьютерного моделирования рассчитаны параметры спектрографа для пяти различных законов распределения потенциала на разрезном плоском электроде с показателем степени роста $k = 2, 1,5, 1, 0,5, 0,25$ при фокусировке пучков в широком диапазоне энергий на плоский позиционно-чувствительный детектор (ПЧД). Получено, что диапазон одновременно регистрируе-

мых энергий E в указанных модификациях спектрографа увеличивается по мере уменьшения степени роста потенциала на частях плоского электрода и составляет, соответственно, $E_{max}/E_{min} = 20, 25, 50, 100, 200$. При этом максимально достигнутый диапазон в предложенной автором конструкции двухэлектродного спектрографа в четыре и более раз превышает диапазон одновременно регистрируемых энергий в известных электростатических спектрографах.

Расчеты автора показали, что наилучшее разрешение по энергии имеет устройство с линейным распределением потенциала ($k = 1$) на частях плоского электрода, при котором $E_{max}/E_{min} = 50$. Однако, эти результаты автора, приведенные в работе [2], получены для простейшего случая, когда исследуемый объект расположен на границе поля, что трудно осуществимо на практике.

Следует отметить, что ранее в работе [3] предложен спектрограф с рекордным для того времени диапазоном одновременно регистрируемых энергий на базе двумерного поля квадруполя. Он состоял из трех плоских электродов, расположенных в виде треугольника под разными углами друг к другу, причем один из них был разрезан на пять частей. Такая конструкция значительно сложнее, чем предлагаемая автором (см. [1]).

Целью настоящей работы является расчет электростатического спектрографа с вынесенным за пределы поля объектом исследования (источника частиц), состоящего из дискретного плоского

Фишкова Татьяна Яковлевна, ст. научный сотрудник.
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе.
Россия, 194021, С.-Петербург, Политехническая ул. 26.
E-mail: fishkova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11 марта 2015 г.

© Фишкова Т. Я., 2015

электрода с линейным распределением питающего напряжения и заземленного коробчатого электрода.

Компьютерное моделирование

Расчет электронно-оптических свойств спектрографа с вынесенным за пределы его поля источником заряженных частиц выполнен по программе автора ТЕО. Схема рассчитываемого устройства с видом эквипотенциалей при линейном законе распределения потенциала на дискретном плоском электроде представлена на рис. 1, причем для наглядности масштаб по вертикальной оси y в три раза больше, чем по оси z . Система очень компактна, т. к. её длина L относительно величины апертуры a составляет всего $L/a = 4,8$. Дискретный плоский электрод разбит на десять равных частей длиной $l_n = 0,4a$ с одинаковыми промежутками $s_n = 0,05a$. Расстояние от середины первой части до передней стенки спектрографа $z_1 = 0,25a$. Расстояния до середины каждой последующей части равно $z_n = z_1 [1 + 1,8(n-1)]$, где n — порядковый номер каждой части. Величины потенциалов на частях дискретного электрода возрастают по линейному закону $V_n = V_1(z_n/z_1)$, где V_1 — потенциал на первой части разрезного электрода. Для указанной геометрии спектрографа сила, при которой осуществляется фокусировка пучков заряженных частиц различных энергий на одну и ту же линию, на которой расположен ПЧД, определялась по трем независимым параметрам — положениям объекта (источника вторичных частиц) и линии его фокусов для различных энергий, а также по углу наклона центральной траектории пучков на входе в систему.

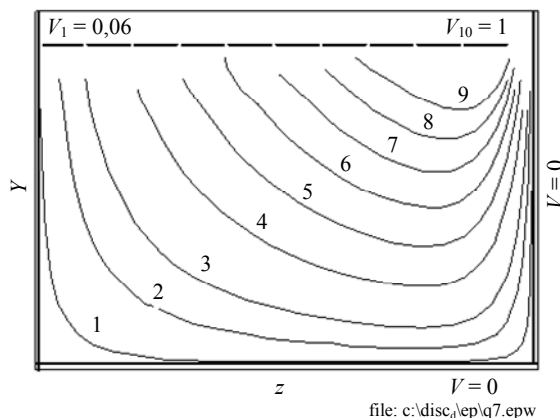


Рис. 1. Картина эквипотенциалей при линейном распределении потенциала на дискретном плоском и заземленном коробчатом электродах.

Кривая 1 соответствует потенциалу $\varphi = 0,01$, 2 — $\varphi = 0,05$, 3 — $\varphi = 0,1$, 4 — $\varphi = 0,2$, 5 — $\varphi = 0,3$, 6 — $\varphi = 0,4$, 7 — $\varphi = 0,5$, 8 — $\varphi = 0,6$, 9 — $\varphi = 0,7$

Расчеты показали следующее: если линия фокусов находится на нижней пластине 2, параллельной дискретному плоскому электроду 1, то

оптимальная (с точки зрения минимального размера изображения) одновременная фокусировка пучков в широком диапазоне их энергий осуществляется для источника, расположенного в точке с координатами $y_i = -0,2a$, $z_i = -0,4a$ при угле впуска центральной траектории пучка равном $\theta = 24,7^\circ$. При этом впуск пучков через электрод 2 осуществляется вблизи торцевой стенки и при фокусирующей силе $F = eV_1/E_1 = 2,2$ (E_1 — минимальная энергия) пучок с максимальной энергией занимает всю апертуру спектрографа.

На рис. 2 даны траектории пучков с разбросом по энергии $E_{max}/E_{min} = 50$ в оптимальном режиме работы с вынесенным за пределы поля объектом исследования.

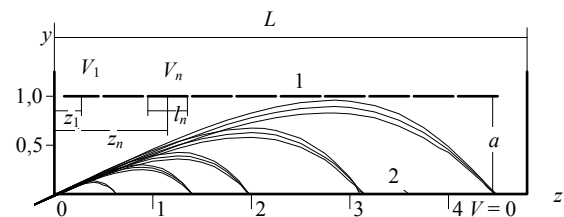


Рис. 2. Траектории пучков заряженных частиц в спектрографе в широком диапазоне изменения их энергий $1 < E/E_1 < 50$ с линейным распределением потенциала на дискретном плоском электроде 1 и заземленном коробчатом электроде 2

На рис. 3 представлены основные параметры спектрографа в описанном выше режиме работы. Видно, что положение точек фокусировки пучков на ПЧД, а также дисперсия по энергии в области $E/E_1 > 10$ возрастают практически по линейному закону. Разрешение по энергии, определяемое при растворе пучка равном $\pm 1^\circ$, в широкой области энергий $1 < E/E_{min} < 42$ не превышает $\rho < 0,35\%$, а затем несколько возрастает.

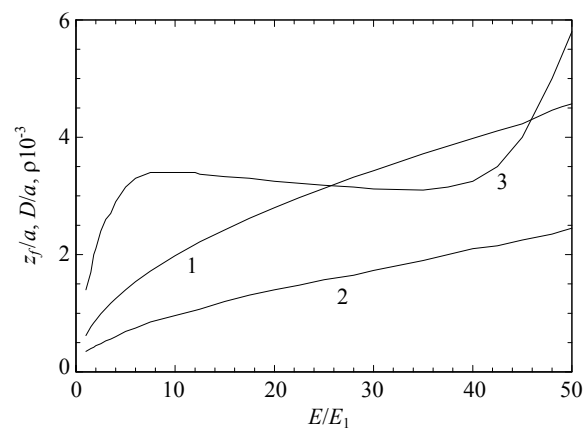


Рис. 3. Зависимость основных электронно-оптических параметров спектрографа от диапазона энергий: кривая 1 — положение точек фокусировки на одной линии z_f/a , 2 — величина линейной дисперсии D/a , 3 — разрешение спектрографа по энергии $\rho = \Delta E/E$

Заключение

В работе проведено компьютерное моделирование электростатического двухэлектродного спектрографа, конструкция которого предложена автором ранее. При вынесенном за пределы поля источнике заряженных частиц выявлен оптимальный режим работы устройства с линейным законом распределения питающего напряжения на разрезном плоском электроде при заземленном коробчатом электроде. Параметры рассчитанного в настоящей работе спектрографа превосходят известные электростатические спектрографы по ве-

личине одновременно регистрируемых на плоский позиционно-чувствительный детектор пучков различных энергий, а также по величине разрешения в широкой области энергий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фишкова Т. Я. «Электростатический спектрограф для заряженных частиц» Патент РФ № 140365 от 08.04.2014, тип – Полезная модель. Опубликовано 10.05.2014, Б.И. № 13.
2. Фишкова Т. Я. // ЖТФ. 2015. Т. 85. Вып. 6. С. 156.
3. Jacka M., Kirk M., et al. // Rev. Sci. Instr., 1999. V. 70. No. 5. P. 2282.

Charged-particle spectrograph with a linear of potential distribution on the discrete plane electrode

T. Ya. Fishkova

Ioffe Physico-Technical Institute
26 Politechnitsheskaya str., St. Petersburg, 194021, Russia
E-mail: fishkova@mail.ru

Received March 11, 2015

Computer simulation of the electrostatic spectrograph, proposed earlier by the author, with an external source outside the field is realized. By linear increase potential at the discrete planar electrodes, the simultaneously registered range of energies is $E_{max}/E_{min} = 50$. The energy resolution is equal to 0.2—0.6 %.

PACS: 41.85.Qg

Keywords: charge-particle spectrograph, discrete plane electrode, energy range, energy resolution.

REFERENCES

1. T. Ya. Fishkova, *Electrostatic Spectrograph for Charge Particles*. RF Patent No. 140365, April 8, 2014. Published May 10, 2014. Bull. No. 13.
2. T. Ya. Fishkova, *Tech. Phys.* **60** (6), (2015).
3. M. Jacka, M. Kirk, et al., *Rev. Sci. Instr.* **70**, 2282 (1999).