

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПАКТНОГО ИОННО-ЛУЧЕВОГО ИСТОЧНИКА С АНОДНЫМ СЛОЕМ

Е.П. Роговский¹⁾, Д.А. Котов²⁾, Г.В. Зеневи²⁾

¹⁾БГУИР, 220013, Минск, ул. П. Бровки, 6, eugene.rogovsky@gmail.com,

²⁾ООО «Изовак», 220040, Минск, dm_a_kotov@mail.ru, zenevich@izovac.com.

Исследованы вольтамперные характеристики компактного ионно-лучевого источника с анодным слоем в диапазоне напряжений разряда 1500 – 5000 В и расходов рабочего газа 2 – 7 ссст, а также профили плотности тока ионного пучка. Установлена возможность формирования пучка ионов, плотность тока которого достигает 60 мА/см².

Введение

Ионно-лучевые источники с анодным слоем (ИИАС) первоначально разрабатывались в качестве двигателей космических аппаратов. В бывшем СССР в конце 50-х годов А.В. Жариновым был предложен принцип ускорителя с анодным слоем. Со второй половины 60-х годов начинается интенсивная разработка различных модификаций ускорителей с замкнутым холловским током [1]. В начале 70-х годов Маишевым Ю.П. и его сотрудниками для микроэлектронной технологии была разработана модификация ИИАС - источник "Радикал" [2], пригодная для генерации ионов химически активных соединений.

На сегодняшний день ИИАС получил широкое применение в вакуумной технологии формирования тонкопленочных покрытий и используется при следующих видах обработки поверхности:

- очистка и активация поверхностей перед нанесением покрытия для повышения адгезии;
- ионное ассистирование при испарении и распылении;
- ионное ассистирование при осаждении покрытий в среде реактивного газа;
- ионно-лучевое травление;
- ионно-лучевое травление в среде реактивных газов;
- прямое осаждение из ионного пучка [3].

В основе ИИ с замкнутым, или азимутальным, дрейфом электронов лежит принцип ускорения ионов самосогласованным электрическим полем, которое создается в плазме вследствие резкого уменьшения поперечной подвижности электронов в магнитном поле. Электрический разряд в ИИАС горит в скрещенном магнитном и электрическом полях, причем электронная компонента плазмы замагничена (ВЕ-разряд). Магнитное поле имеет главным образом поперечную компоненту, а электрическое - продольную, холловский ток при этом замкнут в азимутальном направлении. Вследствие резкого ограничения подвижности электронов поперек магнитного поля потенциал на высоковольтной границе ВЕ-разряда мало отличается от анодного, а протяженность зоны ускорения в оптимальном режиме очень не велика – порядка нескольких электронных циклотронных радиусов. Зону ВЕ-разряда, которая сохраняет квазинейтральность, но в которой может существовать достаточно сильное электрическое поле, называют анодным слоем [1,4].

На данный момент существует необходимость разработки компактных сильноточных ИИАС, т.к. стоимость изготовления источников высока, а

уменьшение габаритов позволит её снизить, и необходимость повышения плотностей токов ионного пучка современной ИИАС (ед. мА/см²) ограничивает возможности их применения в компактных вакуумных системах для формирования тонкопленочных покрытий.

Основная часть

Для решения изложенных выше задач была предложена конструкция компактного ИИАС (рис. 1) и изучены его вольтамперные характеристики (ВАХ) в низковольтном и высоковольтном режимах, а также профили плотностей токов ионного пучка на разных расстояниях от торца источника.

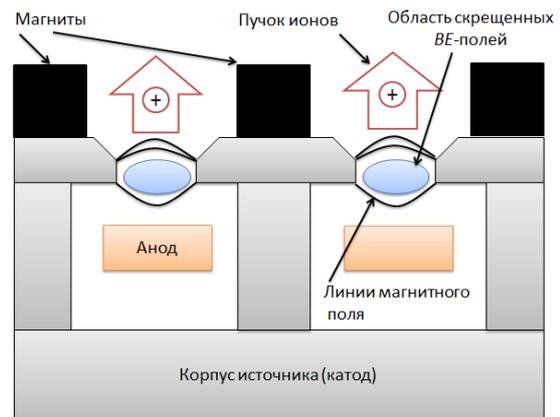


Рис. 1. Конструкция ИИАС

На рис. 2 представлено семейство кривых ВАХ источника в низковольтном режиме при напряжениях разряда V_d в диапазоне 1500 - 3500 В и значений расходов рабочего газа (аргон) Q и давлений в рабочей камере P представленных в таблице 1.

Насыщение величины тока пучка с ростом напряжения разряда говорит о переходе ИИАС в самосогласованный режим разряда. Режим насыщения тока пучка при уменьшении величины расхода рабочего газа наступает при меньших значениях напряжения разряда, что подтверждает ВАХ источника при $Q = 2$ ссст в низковольтном режиме.

Плотность тока ионного пучка, полученная путем деления тока пучка I_i на площадь выходного отверстия ускорительного канала, изменяется от 10 до 60 мА/см² при увеличении расхода рабочего газа от 2 до 7 ссст.

При работе ИИАС в режимах с напряжения

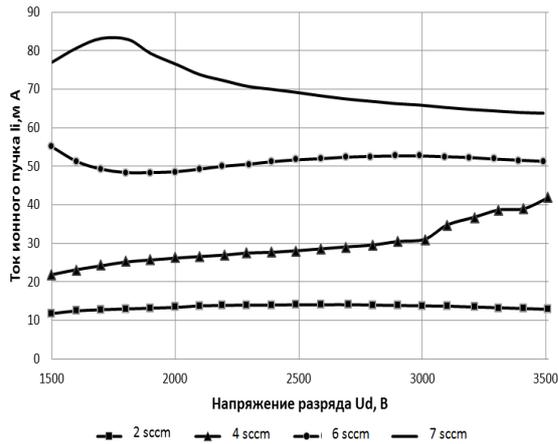


Рис. 2. Семейство кривых ВАХ в низковольтном режиме работы при различных расходах рабочего газа

Таблица 1 - Расход рабочего газа и давление в рабочей камере

Q, sccm	P, мПа
Низковольтный режим	
2	4,5
4	8
6	11
7	13
Высоковольтный режим	
5	8,7
7	12

разряда $V_d > 1000$ В возможно наличие различных видов неустойчивостей рабочих параметров (временнорезкие, ионизационные осцилляции и т.д.), которые проявляются на ВАХ в виде резких отклонений зависимости $I_i(V_d)$ от плавной кривой [5].

Пик на ВАХ с последующим уменьшением тока пучка при увеличении напряжения разряда при высоком значении расхода рабочего газа $Q = 7$ sccm является следствием сложного поведения газового разряда в магнитном поле присутствующего в ионно-лучевых источниках с анодным слоем [1].

На рис. 3 представлено семейство кривых ВАХ источника в высоковольтном режиме при напряжениях разряда V_d в диапазоне 3600-5000 В и значениях расходов рабочего газа (аргон) Q и давления в рабочей камере, представленных в таблице 1.

Плотность тока ионного пучка достигает 40 и 60 mA/cm^2 при расходах рабочего газа 5 и 7 sccm соответственно. Полученные значения плотностей тока пучка для данной конструкции ИИАС являются достаточно высокими по сравнению с известными источниками данного типа, для которых данная величина не превышает нескольких единиц mA/cm^2 [5]. Увеличение напряжения разряда в высоковольтном режиме приводит к постепенному уменьшению значения тока ионного пучка. Что вероятно связано с нарушением структуры анодного слоя и как следствием потерей электронов [1].

10-я Международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 24-27 сентября 2013 г., Минск, Беларусь
10th International Conference "Interaction of Radiation with Solids", September 24-27, 2013, Minsk, Belarus

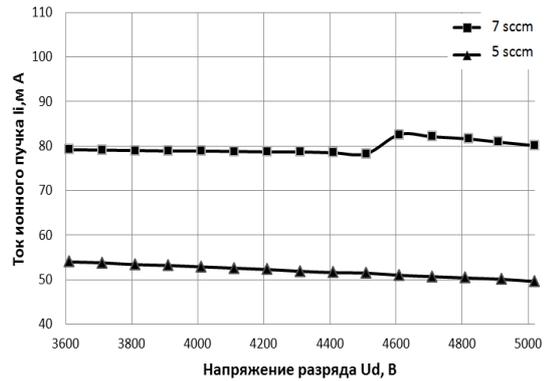


Рис. 3. Семейство кривых ВАХ в высоковольтном режиме работы при различных расходах рабочего газа

Ток ионного пучка не равен току разряда, это является следствием того, что в большинстве режимов работы ИИ рабочий газ ионизирован не полностью или часть его не подвергается воздействию электрического разряда. Коэффициент полезного действия ИИ можно определить через коэффициент токовой эффективности K_i , который равен отношению тока пучка I_i к току разряда I_d [3]. Представленный ИИАС обладает высоким K_i , полученные на основе экспериментальных испытаний значения изменяются от 0.74 до 9.2 в зависимости от конкретного режима работы.

На рис. 4 представлены профили плотности тока пучка был снят с помощью сканирующего устройства при этом $Q = 6$ sccm, $P = 14$ мПа, $V_d = 2000$ В. Плотность ионного тока измерялась с помощью зонда типа «экранированный цилиндр Фарадея» с площадью окна $0,5 \text{ cm}^2$. Измерительный зонд устанавливался на расстояниях 5 и 15 см от торца источника. Симметричность профиля пучка относительно максимального значения плотности тока ионов свидетельствует о высокой степени фокусировки пучка, которая определяется формой магнитного поля в ускорительном канале относительно его центральной оси. Отклонение от симметричности при увеличении расстояния между измерительным зондом и торцом источника говорит о дивергенции пучка ионов из-за кулоновского взаимодействия в объемном положительном заряде ионного пучка.

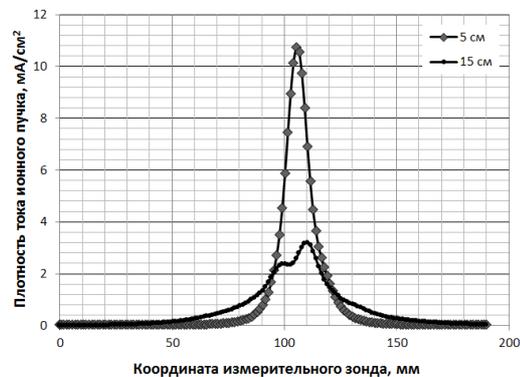


Рис. 4. Профили плотности тока ионного пучка

Заключение

Проведенные исследования показали, что предложенный компактный, диаметром 50 мм, ионно-лучевой источник позволяет получить ток пучка ионов величиной 80 мА и плотностью 60 мА/см² при расходе рабочего газа 7 сссм, что говорит о перспективности применения источника в компактных вакуумных системах для проведения исследований и изготовления образцов небольшой площади.

Список литературы

1. Гришин С.Д., Лесков Л.В. Электрические ракетные двигатели космических аппаратов. - М.: Машиностроение, 1989. – С. 3-4, 100 – 111, 120-129.
2. Маишев Ю.П. Ионно-лучевая обработка // Электронные, ионные и плазменные технологии. – 1999. – 7. – С.59 – 62.
3. Zhurin V.V. Industrial ion sources: broadbeam gridless ion source technology. - Weinheim: Wiley-VCH. -2012. –С.2-5, 24-25.
4. Zhurin V.V. Physics of closed drift thrusters // Plasma sources sci. technology. - 1999. - 8. – С.6, 11-15.
5. Zhurin V.V. Hall-Current Ion Sources, Problems and Solutions // VTC. – 2010. -5. –С.48-50.

RESEARCH OF SMALL ANODE-LAYER ION SOURCE

Evgeny Rogovsky¹⁾, Dmitry Kotov²⁾, Georgy Zenevich³⁾

¹⁾BSUIR, 220013, Minsk, 6 P. Brovkiy str., +375-29-127-25-46, eugene.rogovsky@gmail.com, ²⁾Izovac LLC, 220040, Minsk, P.O.B. 184, dm_a_kotov@mail.ru, ³⁾zenevich@izovac.com

In this article the volt-ampere characteristics of the small anode-layer ion source were studied in the discharge voltage range 1500 – 5000 V and the feed rate of working gasses range 2 – 7 sccm. Ion beam current density distribution was also studied. The maximum ion current density is 60 mA/cm².