

ПРОЕКТ УСКОРИТЕЛЯ ГАЗОВЫХ КЛАСТЕРНЫХ ИОНОВ

А.А. Андреев¹⁾, Ю.А. Ермаков²⁾, А.С. Патракеев²⁾, В.С. Черныш³⁾

¹⁾ ОАО «Приборный завод «Тензор», 119034, Москва, улица Пречистенка 40/2, строение 2.
тел. +7 (495) 2474748, AAA@msk.org.ru

²⁾ НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова,
119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 5,
тел. +7 (495) 939 36 05, yuerm@anna19.npi.msu.ru, тел. +7 (495) 939 37 70, patran@phvs.msu.ru

³⁾ Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 119992, ГСП-2, Москва Ленинские горы,
дом 1, строение 2, тел. +7 (495) 939 29 89, chernysh@phvs.msu.ru

Описан ускоритель газовых кластерных ионов (O_2)_n, (N_2)_n, (CO_2)_n и (Ar)_n при п, достигающих значений 3000, на энергии до 30 кВ.

Введение

Применение газовых кластерных ионов для обработки поверхности получило широкое распространение в последние полтора десятилетия [1]. Можно выделить, по крайней мере, два основных достоинства пучков кластерных ионов. Во-первых, это малая плотность электрического тока в таких пучках при большой плотности массового тока, что позволяет обойти трудности с объёмным зарядом, и, во-вторых, это возможность получения достаточно интенсивных потоков частиц с малой энергией, приходящейся на один атом, что становится важным, когда требуется «мягкая» обработка поверхности (например, при ионно-ассистированном осаждении плёнок).

Указанные выше достоинства особенно проявляются в случае больших кластеров, представляющих собой конгломераты, содержащие от сотен до нескольких тысяч атомов или молекул, связанных между собой ван-дер-ваальсовыми силами.

Целью настоящей работы являлось создание ускорителя газовых кластерных ионов, позволяющего проводить исследования с использованием пучков кластерных ионов различных газов.

Для получения потока таких кластеров из газовой фазы используется адиабатическое расширение газа через звуковые и сверхзвуковые сопла [2] из резервуара под высоким давлением (~ 1 – 5 атм.) в камеру, где с помощью соответствующей откачки поддерживается давление ~ 10^{-2} – 10^{-3} Торр. Тепловая, хаотическая энергия газа при этом переходит в кинетическую энергию потока, при этом температура газа в выходном сечении падает до критической. В области за соплом образуется так называемая зона молчания, скорости потока в которой достигают сверхзвуковых. Эта зона примыкает к диску Маха, отгораживающему зону сверхзвукового течения от областей, в которых течение отсутствует и давление газа определяется откачной системой. Кластеры образуются в зоне молчания, и их поток для дальнейшего использования вырезается с помощью скиммера.

Далее поток подвергается ионизации, ускорению и, в зависимости от задачи, либо анализу, либо сепарации, либо непосредственно направляется на обрабатываемый объект.

Таким образом, основные задачи, которые нам предстояло решить, состояли в разработке

систем: подачи газа; формирования потока кластеров, содержащую сменные сопла и скиммер и позволяющую юстировать поток относительно оси ускорителя; ионизации и ускорения кластеров, а также анализа пучка.

Основная часть

Разработанный нами ускоритель кластерных ионов состоит из двух основных систем, одна из которых представляет собой систему газовой подачи (СГП), а вторая является системой формирования, ионизации, ускорения и применения (СФУАП) кластерного потока (рис. 1).

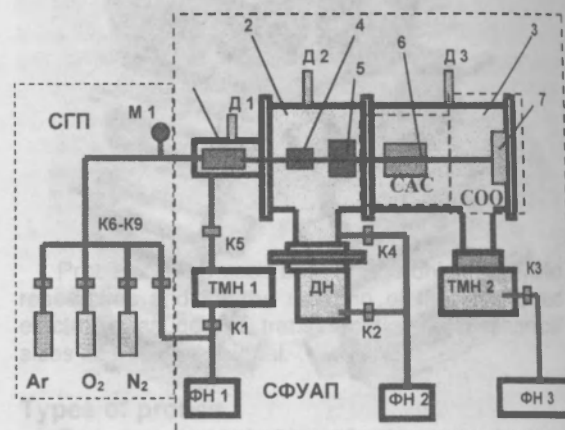


Рис. 1. Схема источника газовых кластерных ионов.

1. Камера формирования кластеров (КФК); 2. Камера ионизации и ускорения (КИУ); 3. Рабочая камера (РК); 4. Ионизатор; 5. Система ускорения и фокусировки пучка; 6. Система анализа и сепарации (САС); 7. Держатель мишеней; ФН 1-ФН 3 – Форвакуумные насосы; ДН – Диффузионный насос; ТМН1-ТМН2 – Турбомолекулярные насосы; К1-К9 – Клапаны; М1 – Манометр; Д1-Д3 – Датчики давления

Система газовой подачи состоит из нескольких (3-4) газовых баллонов, соединённых через понижающие редукторы и переключающие вентили между собой и с входным отверстием рабочего сопла. Рабочий газ поступает на вход рабочего сопла через регулятор расхода BRONKHORST TL-FLOW. Давление газа перед соплом контролируется манометром М1.

СФУАП состоит из четырёх основных частей, собранных в трёх отдельных вакуумных камерах, имеющих независимые откачные системы.

Первая часть представляет собой камеру формирования кластеров (КФК), на переднем

фланце которой крепится держатель сопла (ДС). ДС с помощью четырёх микрометрических винтов (см. рис.2) может перемещаться в плоскости, параллельной плоскости переднего фланца, что позволяет юстировать входное сопло относительно оси системы. К боковому фланцу КФК подсоединён турбомолекулярный насос TURBOVAC TW 701 со скоростью откачки 700 л/с по Ag , что позволяет получать давление в этой камере 10^{-2} – 10^{-3} Торр.

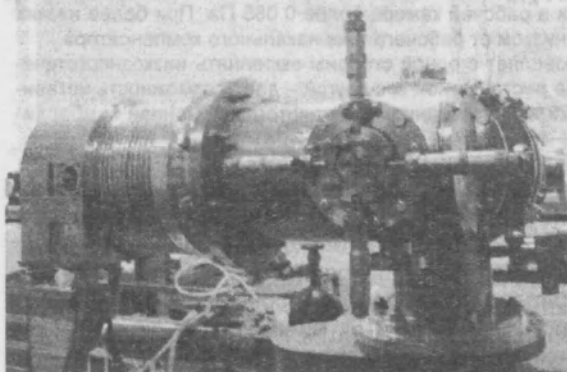


Рис. 2. Вид источника газовых кластерных ионов со стороны держателя сопла.

Переход от КФК к камере ионизации и ускорения (КИУ) осуществляется через металлический экран с расположенным по его центру скиммером, диаметр отверстия которого 0,5 мм. Расстояние входного отверстия скиммера x_s до выходного отверстия сопла подчиняется условию [3]

$$x_s/d_n < 0,67\sqrt{p_0/p_1},$$

где d_n – эффективный диаметр сопла ($\sim 0,1$ мм в нашем случае), p_0 – давление газа на входе в сопло, p_1 – давление газа в КФК. В нашем случае расстояние x_s может регулироваться перемещением сопла вдоль оси системы.

В КИУ, откачиваемой диффузионным насосом со скоростью 600 л/с, собран ионизатор (см. рис.3). В ионизаторе поток кластеров, выходящий из скиммера, ионизируется электронами, проходящими разность потенциалов $U_i < 300$ В. Макси-

мальный ток – 80 мА. Ионизатор находится под ускоряющим напряжением $U_{\text{вск}} \leq 30$ кВ относительно земли.

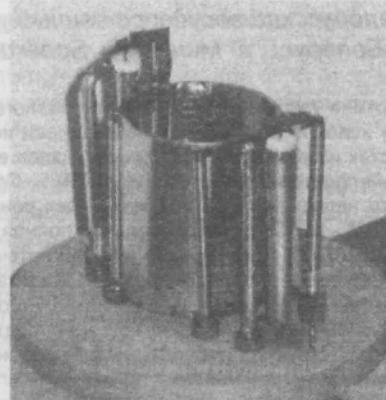


Рис.3. Общий вид ионизатора

В рабочей камере (РК), отделённой от КИУ диафрагмой диаметром 4 мм, расположены две системы: система анализа и сепарации (САС) и система обработки образцов (СОО). САС изготовлен на основе Co-Sm магнитов, создающих однородное магнитное поле в 1,00 Тл в прямоугольном параллелепипеде $15 \times 50 \times 230$ мм. РК откачивается системой Pfeiffer TurboCube.

Заключение

Таким образом, в результате проведённой работы, нами спроектирован и создан ускоритель кластерных ионов, рассчитанный на получение пучков кластерных ионов благородных газов, N_2 , O_2 и CO_2 с числом мономеров в кластере до 3000, ускоренных до энергий 30 КэВ

Список литературы

1. Yamada I., Matsuo J., Toyota N. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. - 2003. - V. B206. - P. 820-829.
2. Hagen O.F., Obert W. // J. Chem. Phys. - 1972. - V. 56. - P. 1793-1802.
3. Crist S., Sherman P.M., Glass D.R. // AIAA J.-1966. - V. 4. - P. 68-71.

THE PROJECT OF GAS CLUSTER ION SOURCE

Andrei Andreev¹⁾, Yuri Ermakov²⁾, Andrei Patrakeev²⁾, Vladimir Chernysh³⁾

¹⁾JSC "Instrumental plant "Tenzor", 40 Prechistenka str., building 2, Moscow, 119034, phone +7 (495) 2474748, AAA@msk.org.ru

²⁾Lomonosov Moscow State University Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics (MSU SINP), 1(2), Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation, phone +7 (495) 939 36 05, yuerm@anna19.npi.msu.ru, phone +7 (495) 939 37 70, patran@phvs.msu.ru

³⁾Faculty of Physics M.V. Lomonosov Moscow State University Leninskie Gory, Moscow 119992, phone +7 (495) 939 29 89, chernysh@phvs.msu.ru

The accelerator of gas cluster ions $(\text{O}_2)_n$, $(\text{N}_2)_n$, $(\text{CO}_2)_n$ and $(\text{Ar})_n$ with n up to 3000 for energy range up to 30 keV is described.