**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОВЫХ ИОННО-КЛАСТЕРНЫХ ПУЧКОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ТВЁРДОГО ТЕЛА**

Шмаков А.А., Коробейщиков Н.Г., Каляда В.В., Зарвин А.Е.

*Новосибирский государственный университет, Россия, 630090.*

*E-mail: alekshmakov@phys.nsu.ru*

Развивающимся направлением в физике последних лет является получение и изучение кластерных пучков [1] и применение их особенных свойств в промышленности и науке [2, 3]. Увеличивающийся интерес к пучкам кластеров обуславливается их уникальным промежуточным местом между отдельными атомами или молекулярными соединениями и трёхмерными твёрдыми телами или жидкостями. Благодаря дискретной структуре уровней энергии в кластере и большей величине площади поверхности по отношению к внутреннему объёму кластеры имеют новые уникальные свойства, разнящиеся со свойствами молекул, атомов и макроскопических объектов. Однако не существует чёткой границы, отличающей кластеры от других объектов из-за проявления разных свойств жидкости и твёрдых тел при различном числе атомов в кластере.

Форсированные исследования кластерных обеспечили возникновение ряда полезных для практического применения направлений исследований, таких, как взаимодействие высокоэнергетических кластеров и кластерных ионов с поверхностью твёрдого тела, применение кластерных пучков для напыления плёнок, получение новых материалов и обработка поверхности, в том числе для её последующей модификации [4, 5].

В Отделе прикладной физики научно-исследовательской части НГУ на протяжении ряда лет исследовались процессы формирования кластеров в чистых газах, таких как аргон, азот, метан, моносилан, кислород, изопрен, а также во всевозможных их смесях [6, 7]. Были изучены механизмы формирования моногазовых кластеров, а также смешанных кластеров в сверхзвуковых импульсных и непрерывных струях разреженных газов за звуковыми и сверхзвуковыми соплами [8]. В настоящий момент ведутся работы по реализации методики ионно-кластерной полировки поверхности.

Отличительной особенностью кластерной полировки является малая удельная энергия отдельных атомов, объединённых в кластер, которая зависит от ускоряющего напряжения, так и от размера кластера. Например, при характерных энергиях кластерного иона ~30 кэВ с размером 1000 атомов, удельная энергия составляет 30 эВ. Благодаря этому, при столкновении ионизированного кластера с мишенью воздействие кластера не распространяется на глубинные слои атомов мишени.

Изучение массового состава кластерного пучка со средним размером кластеров более нескольких сотен атомов аргона невозможно на стандартных квадрупольных и времяпролетных масс-спектрометрах из-за ограниченности динамического диапазона приборов. В настоящей работе использовался метод задерживающего потенциала, реализующий возможность измерения любого спектра масс, при достаточно плавном изменении напряжения на тормозящей сетке.

Было установлено, что возможна сепарация кластерных ионов по массам путём запирания лёгких ионов потенциалом на экстракторе - дополнительном электроде за областью ионизации, предназначенном для вытягивая электрическим полем ионизированных атомов. При этом фиксировалось смещение спектра в сторону большего числа атомов в составе кластера. Указанный эффект, вероятно, объясняется разрушением крупных кластеров в ускоряющем промежутке, которое происходило из-за возможных столкновений кластеров и мономеров.

Пример, иллюстрирующий возможность использования электростатической сепарации для отделения кластерной составляющей от мономерной в ионном пучке при рабочих режимах, приведен на рисунке 1. Для сравнения приведёны масс-спектры ионно-кластерного пучка с энергией 20 кэВ, зарегистрированные при разных потенциалах на экстракторе. В оптимальном, по общей интенсивности ионно-кластерного потока, режиме P0= 6 bar, наблюдается отделение маломерной составляющей потока от многомерной его части.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 1. Влияние потенциала экстрактора на состав  ионно-кластерного пучка.  На лабораторном стенде для обработки материалов ионно-кластерным пучком LEMPUS-1 выполнено согласование его параметров с учётом проведённых экспериментов и исследованы параметры получаемых пучков. Замечен эффект электростатической сепарации ионного потока по массам и отлажена методика определения состава ионно-кластерного потока с помощью задерживающего потенциала. Измерены распределения кластеров аргона по размерам в зависимости от условий экспериментов. Также получены первые образцы обработанных материалов, исследование параметров шероховатости которых, выполнены методами СЭМ (JEOL CarryScope JCM5700 , Hitachi TM-1000) и АСМ (NT-MDT SolverNext, Integra Prima HD). |

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Г. Н. Макаров, “Экстремальные процессы в кластерах при столкновении с твердой поверхностью”, *УФН*, **176:2** (2006), 121
2. Yamada, J. Matsuo, Z. Insepov,M. Akizuki, *Nucl. Instr. and Meth.* **106** (1995) 165.
3. K. Goto, J. Matsuo, Y. Tada, Y. Momiyama, T. Sugii, I. Yamada, *IEDM Tech. Digst.* (1997) 471.
4. W. Qin, R.P. Howson, M. Akizuki, J. Matsuo, G.Takaoka, I. Yamada, Mater. Chem. Phys. **54** (1–3) (1998) 258.
5. I.Yamada, J.Matsuo, N.Toyoda and A.Kirkpatrick, *Material Science and Engineering*, **R34**, (2001) 231.
6. А.Е. Зарвин, Коробейщиков Н.Г., Мадирбаев В.Ж., Шарафутдинов Р.Г. // *Письма в ЖТФ* **26 (**2000) в.22, 21.
7. Зарвин А.Е., Коробейщиков Н.Г., Мадирбаев В.Ж., Шарафутдинов Р.Г. // *Письма в ЖТФ* **71** (2001) в. 4, 51.
8. Мадирбаев В.Ж., Зарвин А.Е., Коробейщиков Н.Г., Шарафутдинов Р.Г. // *Письма в ЖТФ* **27** (2001) в.19, 39.