

КЛАСТЕРООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ДЕСОРБЦИИ
ГАЛОГЕНИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ОСКОЛКАМИ
ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР КАЛИФОРНИЯ-252

А.А. С ы с о е в, В.Б. А р г а е в

В последнее время за рубежом интенсивно проводятся исследования десорбции ионов под действием высокоэнергетичных тяжелых ионов [1]. У нас в стране такие исследования сдерживались отсутствием соответствующих масс-спектрометрических приборов. В настоящее время появляется возможность восполнить этот пробел. Созданный в МИФИ времяпролетный масс-спектрометр обеспечивает возможность изучения десорбции ионов веществ под действием осколков деления ядер калифорния-252. В частности, с его помощью выполнены исследования многоатомных вторичных ионов галогенидов щелочных металлов. Несмотря на большое количество работ в этом направлении, вопросы корреляции образования положительно и отрицательно заряженных кластеров не рассматривались.

Подробно метод исследования, предложенный Макфарлейном в 1974 году, описан в [2]. При спонтанном делении ^{252}Cf на два осколка с энергией 70–100 МэВ и массой 90–150 а.е.м. один из них, попадая на конвертер, выбивает электроны, которые после детектирования стратовым детектором формируют стартовый импульс. Этот импульс после усиления поступает на стартовый вход многоканального временного анализатора (МВА) и запускает временную развертку. Второй осколок, попадая на анализируемый образец, вызывает десорбцию ионов. Ионы ускоряются в промежутке между подложкой с пробой и заземленной сеткой и поступают в бесполовое пространство дрейфа. Время пролета этого пространства при фиксированной кинетической энергии определяется массой иона. Ионы детектируются с помощью стопового детектора. Формируемые при этом импульсы (стоповые импульсы) после усиления поступали на стоповый вход МВА, где производилось определение

времени пролета соответствующих ионов относительно стартового импульса. Время пролета определялось с погрешностью 2,5 нс. Накопление спектра осуществлялось с помощью микроЭВМ ДВК-3М. Максимальная разрешающая способность (на полувысоте) время-пролетного масс-спектрометра достигала 800. Погрешность определения массы в диапазоне до 1000 а.е.м. не превышала 0,5 а.е.м., в диапазоне свыше 1000 а.е.м. - 0,5...5 а.е.м. Время накопления - от нескольких минут до 1-2 часов, в зависимости от природы анализируемого вещества. Анализируемый образец наносился методом инерционного осаждения [3] на алюминизированную лавсановую пленку.

Эксперименты проводились с галогенидами щелочных металлов NaI , KBr , $CsCl$. Для всех анализируемых веществ в спектрах присутствуют интенсивные пики H^+ , H^- и пики меньшей интенсивности - H_2^+ , H_2^- , H_3^+ ; в них также представлены как положительные, так и отрицательные атомарные, молекулярные и кластерные ионы. Интегральная интенсивность отрицательных ионов меньше, чем положительных: для KBr - в 3 раза, NaI - примерно на порядок, $CsCl$ - более чем на порядок. В масс-спектрах присутствуют также ионы вещества подложки (Al^+ , $C_7H_5O^+$, $C_8H_5O_3^+$).

При относительно небольших временах накопления наблюдаются пики соответствующих кластеров типа $(AB)_n A^+$ и $(AB)_n B^-$ (где A - атом щелочного металла, B - атом галогена) со значениями $n = 1, 2, 3, 4$. При увеличении времени накопления проявляются кластеры с большими значениями n .

Для примера в таблице приведены значения относительной интенсивности кластерных ионов вида $(NaI)_n Na^+$ и $(NaI)_n I^-$. Такой же примерно характер имеют спектры и для других исследованных галогенидов.

Кластер	$(NaI)Na^+$	$(NaI)_2Na^+$	$(NaI)_3Na^+$	$(NaI)_4Na^+$
Относительный выход	1	0.338	0.100	0.046
Кластер	$(NaI)I^-$	$(NaI)_2I^-$	$(NaI)_3I^-$	$(NaI)_4I^-$
Относительный выход	1	0.306	0.052	0.039

При упругом механизме распыления материалов ионами (энергия не превышает десятков кэВ) образование кластеров связано с вылетом многоатомного иона непосредственно из мишени [4]. В отношении образования кластеров при распылении высокоэнергетичными многозарядными ионами (осколками деления), когда преобладает механизм неупругого взаимодействия, высказываются противоречивые суждения. В [5] считают, что кластеры образуются над поверхностью мишени. Противоречивость такого суждения в следующем. Во-первых, от одного высокоэнергетичного многозарядного иона регистрируется не более нескольких десятков вторичных ионов.

Следовательно, по существу, над мишенью не образуется плотной плазмы. Во-вторых, коэффициент распыления в среднем тоже не высок (10–100 ат/с), а аномально высок (10^3 – 10^4) только для определенной структуры нанесенного образца [6]. Многократные столкновения частиц при их десорбции практически исключены.

Таким образом, можно утверждать, что кластеры образуются непосредственно на мишени. Причем близкие значения интенсивностей положительно и отрицательно заряженных кластеров свидетельствуют в пользу одного механизма их образования. Остается открытым вопрос о механизме формирования отрицательного заряда кластера. Анализ возможных механизмов образования отрицательного заряда и сопоставление их с экспериментальными данными позволяет предположить три возможных механизма его приобретения: непосредственно в мишени, над мишенью и путем перезарядки положительных ионов в момент удаления их от поверхности. Предположение первого варианта вступает в противоречие с механизмом вылета частицы из мишени. Начальный импульс вылетающей частицы приобретается в результате взаимодействия положительного объемного заряда вдоль трека и образующегося положительного иона.

Приобретение отрицательного заряда кластером над мишенью в результате столкновения со свободными электронами маловероятно по двум причинам. Во-первых, такие столкновения редки. Во-вторых, в силу неупругого характера взаимодействия электронная температура существенно высока (средняя энергия ~ 70 эВ [6]). А отсюда вероятность образования стабильных отрицательных ионов чрезвычайно мала. Более предпочтительным является третий вариант формирования отрицательного заряда кластера при удалении положительного иона от мишени. Время удаления многоатомного иона от мишени составляет 10^{-12} – 10^{-13} с, т.е. значительно больше времени релаксации зарядового состояния трековой области. Захват электронов в условиях достаточно высокой вероятности трехчастичных соударений (электрон–электрон–ион) создает благоприятные условия образования стабильных отрицательных кластеров.

В заключении отметим, что метод времяпролетных измерений ионов, полученных при распылении осколками деления ядер калифорния-252, весьма информативен и позволяет исследовать механизмы взаимодействия тяжелых быстрых ионов с веществом. Выявление особенностей и закономерностей этих процессов в отношении веществ различного вида актуально с точки зрения понимания его возможностей в практическом приложении. Это особенно касается создания на этом принципе масс-спектрометра для анализа полупроводников и диэлектриков, для которых наблюдается повышенный выход положительных ионов по сравнению с металлами.

- [1] C o t t e r R.J. // Anal. Chem. 1988. V. 60. P. 781A-793A.
- [2] S u n d q v i s t B., M a s f a r l a n e R.D. // Mass Spectrom. Rev. 1985. V. 4. P. 421-460.
- [3] Б о р и с о в С.Н. // Методы и аппаратура анализа вещества для космических исследований. 1986, Рязань. С. 90-93.
- [4] C o l t o n R.J., R o s s M.M., K i d w e l l D.A. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. 1986. B13. N 1-3. P. 259-277.
- [5] G a r r i s o n B.J., W i n o g r a d N. // Science. 1982. V. 216. P. 805-810.
- [6] Б а р а н о в И.А., К р и в о х а т с к и й А.С., О б н о р с к и й В.В. // ЖТФ. 1981. Т. 51. В. 12. С. 2457-2475.

Поступило в Редакцию
10 мая 1989 г.

Московский инженерно-физический институт

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 14 26 июля 1989 г.
07

БЕЗОПОРНАЯ АССОЦИАТИВНАЯ ПСЕВДОГЛУБОКАЯ ГОЛОГРАММА

Ю.Н. Д е н и с ю к, Н.М. Г а н ж е р л и

В работе [1] было введено понятие „псевдоглубокая голограмма“ – наклонная тонкая голограмма, на которой сагиттальной системой пучков зарегистрирован объект, считываемый при восстановлении голограммы только в пределах соответствующей этому объекту строки. Там же было показано, что такая голограмма по своим свойствам полностью идентична обычной голограмме, зарегистрированной в глубокой трехмерной среде. При этом роль глубины псевдоглубокой голограммы играет ее протяженность вдоль считывающего пучка.

Одним из существенных свойств обычно глубокой голограммы является возможность осуществления с ее помощью ассоциативных операций, которая была обоснована теоретически П.И. Ван-Херде-ном еще в 1963 году [2].

В настоящей работе приведены результаты экспериментов по записи и ассоциативному считыванию безопорных псевдоглубоких голограмм, а также рассмотрены механизмы этого явления и сопровождающих его эффектов. Геометрия записи и считывания таких