

ДВУХПИКОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ИОНОВ, РАСПЫЛЯЕМЫХ ИЗ ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛА АЛЮМИНИЯ

А.А.Косячков

*Институт металлофизики АН Украины
252142 Киев, Украина*

Поступила в редакцию 23 апреля 1993 г.

После переработки 29 июня 1993 г.

Обнаружены двухпиковые энергетические распределения вторично-ионной эмиссии из поверхности монокристалла $Al(001)$. Механизм формирования таких распределений обсужден с учетом фокусировки энергии каскада атомных столкновений в упорядоченной решетке кристалла и точечных дефектов, вносимых в поверхность ионной бомбардировкой.

Изучение энергетических и угловых распределений атомных частиц, эмитируемых поверхностью твердого тела под воздействием ионной бомбардировки, способствует более глубокому пониманию физической природы распыления и вторично-ионной эмиссии (ВИЭ), а также развитию технологических и диагностических применений этих эмиссионных явлений. Например, недавно установлено [1,2], что различные состояния связи атомов гетерогенной поверхности отображаются в виде отдельных пиков в соответствующих энергетических спектрах ВИЭ. Результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что другая фундаментальная характеристика поверхности, ее атомная структура, также может проявляться в образовании дополнительного максимума в энергетических распределениях вторичных ионов. Это иллюстрируется с помощью рис.1, где представлены энергетические распределения вторичных ионов Al^+ , эмитируемых по нормали к поверхностям сплава, поликристалла и грани (001) монокристалла алюминия, бомбардируемых под углом 60° ионами аргона с энергией 6кэВ. Из рис.1 видно, что упорядоченное расположение атомов в монокристалле дает дополнительный высокоэнергетический максимум ВИЭ. Установлено, что этот максимум исчезает в результате длительной бомбардировки поверхности ионами аргона или текстурирования монокристалла прокаткой. Таким образом, речь идет о специфическом механизме образования тонкой структуры энергетических спектров ВИЭ, свойственном только монокристаллу.

Фокусировка энергии каскада атомных столкновений в совершенных кристаллах, проявляющаяся в образовании дополнительного высокоэнергетического максимума в времяпролетных спектрах нейтральных атомов, была ранее исследована на гранях (001) и (011) монокристалла золота [3]. Высокоэнергетический максимум соответствовал атомам золота, фокусируемым в низкоиндексном направлении [001] при их прохождении сквозь кольцо атомов второго слоя поверхности, которое действует подобно дисперсионной линзе, как это изображено на вставке к рис.2. Согласно расчетам с помощью уравнений, предложенных в цитируемой работе [3], наблюдаемый в настоящем эксперименте вклад высокоэнергетического пика вторичных ионов алюминия,

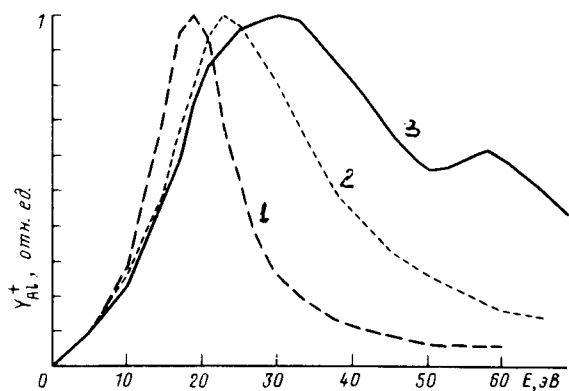


Рис.1

Рис.1. Энергетические распределения вторичных ионов алюминия, эмитируемых из поверхностей поликристаллов сплава Al-15%Cu (кривая 1), Al (2) и монокристалла Al(001) (3)

Рис.2. Энергетические распределения вторичных ионов алюминия, эмитируемых из поверхности Al(001) под различными полярными углами θ : 0° (a), 20° (b) и 36° (c)

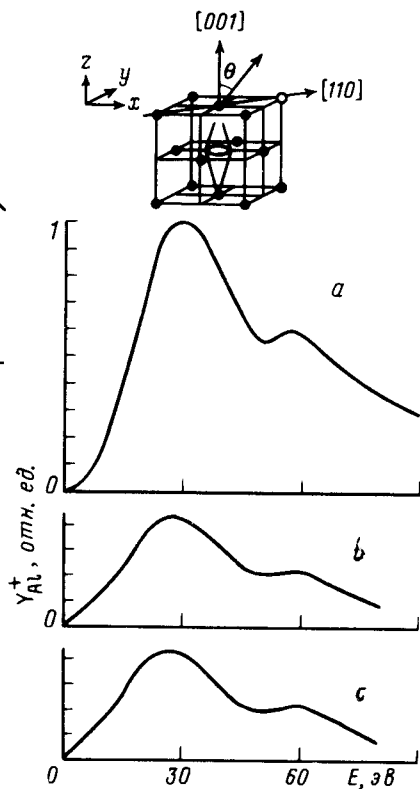


Рис.2

распыляемых в направлении (001) (полярный угол эмиссии $\theta = 0^\circ$), действительно хорошо описывается в рамках рассматриваемой модели фокусировки при использовании значения критической энергии фокусировки атомным кольцом 72 эВ и рекомендуемых в литературе значениях энергии связи атомов алюминия, составляющих в первом слое поверхности 3,80 эВ [4], во втором слое 3,39 эВ [4] и среднеквадратичном смещении атомов за счет вибрации решетки 0,4 [3].

Однако, как видно из рис.2, двухпиковая структура энергетических распределений вторичных ионов алюминия наблюдается не только в направлении фокусировки [001], но и под другими полярными углами эмиссии. Объяснение этому факту можно дать с учетом нарушения условий идеальной фокусировки за счет образования вакансий в первом слое поверхности, подвергаемой в процессе исследования ионной бомбардировке. Одиночная вакансия, например, отмеченная на вставке к рис.2 незакрашенным кружочком, принадлежит четырем фокусирующим кольцам первого слоя и является также ближайшим соседом атомов пяти колец второго слоя (одно из таких колец изображено на вставке). Эта вакансия нарушает симметрию колец первого слоя и идеальную фокусировку четырьмя из пяти колец второго слоя, так как наименьшее расстояние между атомами кольца является таким же, как и расстояние между вакансией и ближайшими атомами колец второго слоя ($d/\sqrt{2}$, где d – постоянная решетки). Таким образом, наличие вакансии обеспечивает не равный нулю прицельный параметр при воздействии сфокусированной энергии на рас-

положенный над кольцом атом первого слоя и, одновременно, возможность распыления этого атома под не равным нулю углом θ , которая в идеальной решетке исключалась симметрией колец первого слоя.

Необходимо, однако, отметить, что предлагаемая интерпретация правомерна для распыления не только вторичных ионов, но и нейтральных атомов, и, следовательно, нуждается в экспериментальном подтверждении методами детектирования нейтральных частиц с энергетическим и угловым разрешением. В частности установлено [5], что энергетические распределения вторичных ионов родия, эмитируемых из грани (111) монокристалла родия, имеют дополнительный высокоэнергетический максимум, который не наблюдается в энергетических спектрах распыления нейтральных атомов родия. Авторы работы [5] придерживаются мнения о том, что некоторые, довольно редкие, но весьма энергетичные, атомные столкновения могут исказить электронную структуру кристалла настолько сильно, что снятие возбуждения распыляемых атомов происходит уже в вакууме с образованием вторичных ионов с характерной для высокоэнергетического пика энергией. Вклад таких вторичных ионов в энергетический спектр ВИЭ мал, но может быть замечен, если вероятность ионизации распыляемых атомов по обычным механизмам [6] в целом не велика.

Использование последнего объяснения в настоящей работе несколько проблематично, так как в отличие от родия, ВИЭ алюминия характеризуется одним из наиболее высоких среди всех металлов значением вероятности ионизации [6]. Тем не менее, окончательные выводы о механизме формирования двухпиковых энергетических распределений ВИЭ монокристалла алюминия могут быть сделаны лишь на основании сопоставления спектров распыления нейтральных и ионизированных частиц, а также детального исследования зависимости наблюдаемого эффекта от дозы облучения поверхности кристалла и моделирования рассеяния поверхностных атомов с помощью методов молекулярной динамики, учитывающих коллективные взаимодействия атомов.

-
1. А.А.Косячков, В.Т.Черепин, С.М.Чичкань, Письма в ЖЭТФ **47**, 149 (1988).
 2. А.А.Косячков, В.Т.Черепин, С.М.Чичкань, А.Г.Клименко, Сверхпроводимость **3**, 1664 (1990).
 3. S.Ahmad, M.W.Thompson, Phil. Mag **A 50**, 299 (1984).
 4. П.Зигмунд, Распыление твердых тел ионной бомбардировкой, М.: Мир, 1984.
 5. G.P.Malafsky, N.Winograd, Surface. Sci. **257**, 41 (1991).
 6. В.Г.Черепин, М.А.Васильев, Вторичная ионно-ионная эмиссия металлов и сплавов, К.: Наукова думка, 1975.