

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ НЕЙТРАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ПРИ РАССЕЯНИИ НА ТВЕРДОЙ МИШЕНИ

В. М. Чичеров

В составе излучения, испускаемого твердой мишенью при ионной бомбардировке, присутствует группа быстрых частиц-ионов и нейтральных атомов, энергии которых сравнимы с энергией налетающих ионов. Эти частицы – партнеры одного или нескольких последовательных парных соударений иона с атомами мишени [1]. Угловые и энергетические распределения этих частиц содержат значительную информацию как о микроскопических свойствах облучаемого образца – его кристаллической структуре [2], тепловых колебаниях решетки [3] составе поверхности [4], так и о потенциалах взаимодействия двух сталкивающихся атомных систем [1].

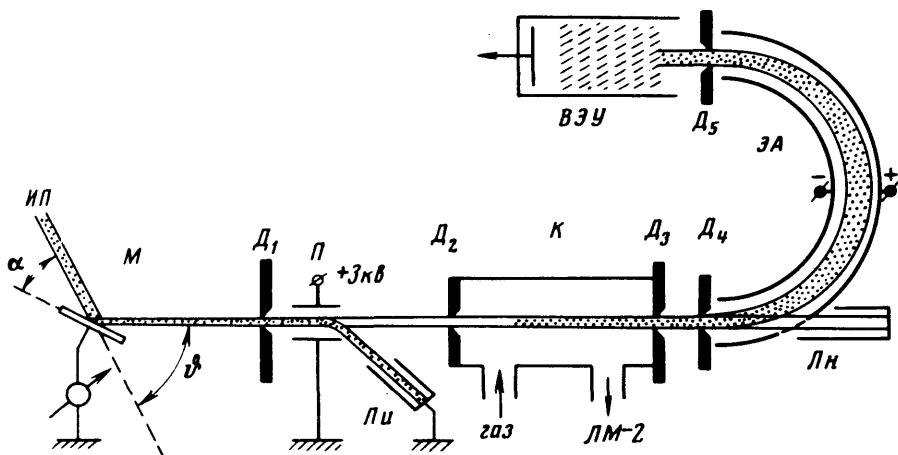


Рис. 1. Схема установки:  $M$  – медная мишень,  $ИП$  – ионный пучок,  $D_1$  –  $D_5$  – диафрагмы,  $П$  – отклоняющие пластины,  $K$  – камера обтирки,  $ЭА$  – электростатический анализатор,  $ВЭУ$  – вакуумный электронный умножитель,  $Ли$  – ловушка отклоненных ионов,  $Лн$  – ловушка нейтральных частиц, не испытавших обтирки

Во многих случаях, например, при облучении металлов ионами инертных газов с энергией  $10^3 - 10^4$  эВ, подавляющее большинство быстрых рассеянных частиц – нейтральны и лишь несколько процентов приходится на долю ионов [5]. Несмотря на это почти все имеющиеся в литературе сведения относятся к ионной компоненте рассеяния. Свойства нейтральной компоненты изучены гораздо хуже. Совершенно не исследовались энергетические спектры быстрых нейтральных атомов. Между тем, сопоставление спектров ионов и нейтралов могло бы оказаться полезным для выяснения механизма эмиссии вторичных частиц, подобно тому как это было в случае катодного распыления [6].

Анализ нейтральной компоненты рассеяния гораздо сложнее соответствующего анализа ионной компоненты, так как для его выполнения требуется предварительно ионизовать нейтральные атомы, не искажив при этом их довольно узкого энергетического распределения. Использование время пролетных методов, согласно сообщению авторов работы [7], оказалось неудачным ввиду наложения спектров частиц различного сорта.

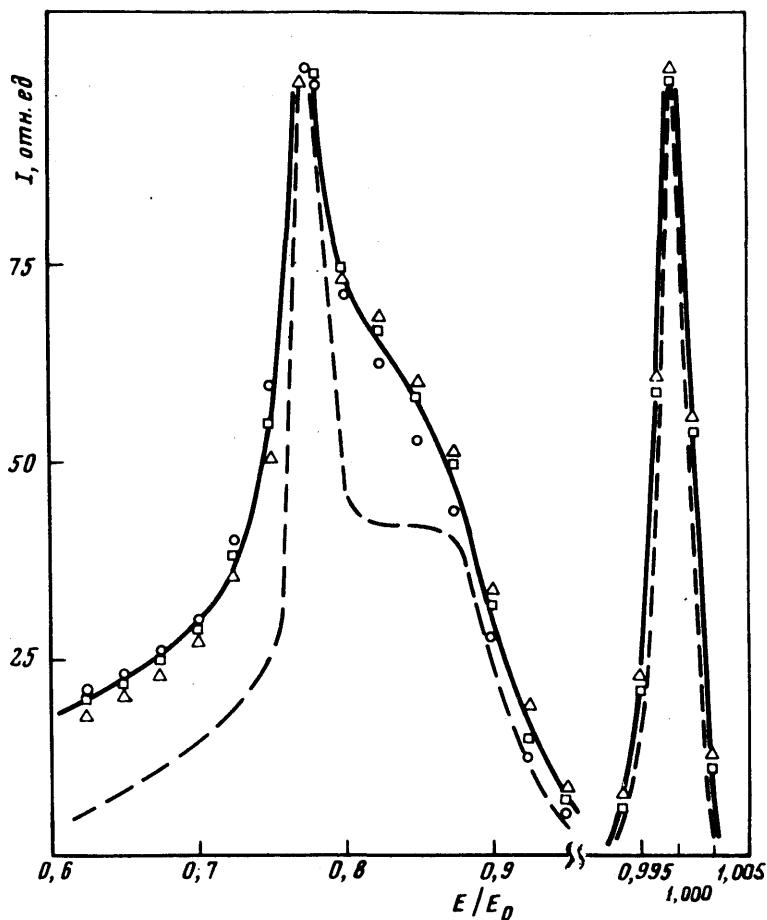


Рис. 2. Энергетические спектры (нормированные в максимуме) рассеянных частиц; мишень — медный поликристаллический образец, бомбардировка ионами аргона, начальной энергии  $E_0 = 16 \text{ кэв}$ ,  $\theta = 40^\circ$ ,  $\alpha = 15\%$ . — спектр рассеянных ионов; — спектр рассеянных нейтралов;  $\Delta$  — обтирка в аргоне,  $\square$  — обтирка в гелии,  $\circ$  — обтирка в водороде. В правой части рисунка: — спектр, получаемый на входе энергоанализатора при подаче на его входную щель монокинетического пучка атомов аргона с начальной энергией  $E_0 = 16 \text{ кэв}$ :  $\Delta$  — обтирка в аргоне,  $\square$  — обтирка в гелии, — спектр ионов

В настоящей работе была осуществлена обтирка быстрых нейтральных атомов в газовой мишени с последующим анализом по энергиям в электрическом поле. Энергетические спектры ионов и нейтральных

атомов были получены в одинаковых условиях, что позволило сравнить их между собой.

Схема установки приведена на рис. 1 (использовались элементы аппарата, описанной в [3]). Медная мишень  $M$  бомбардировалась однозарядными ионами аргона. Диафрагма  $D_1$  размером  $10 \times 1 \text{ mm}^2$  выделяла узкий пучок частиц, испытавших рассеяние на угол  $\theta$ . Пластины  $P$  служили для удаления ионов из рассеянного пучка. Камера обтирки  $K$  была ограничена щелями регулируемой ширины; давление газа в ней измерялось ионизационным манометром. Пройдя камеру обтирки пучок частиц попадал на входную щель электростатического анализатора. Разрешение по энергиям было не хуже 1%.

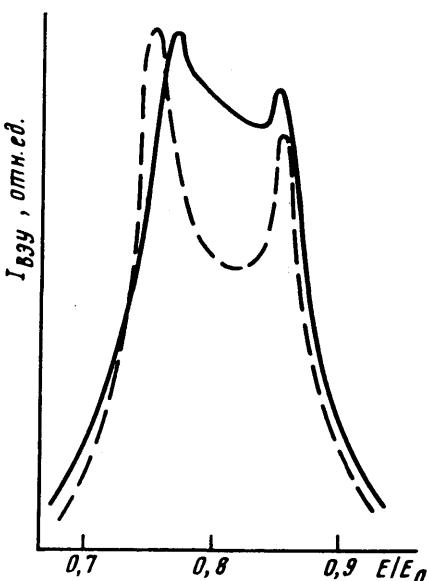


Рис. 3. Энергетический спектр расеянных ионов (пунктир) и быстрых нейтральных атомов (сплошная линия), полученный при бомбардировке ионами аргона грани (100) кристалла меди; плоскость рассеяния совпадает с плоскостью (110). Энергия бомбардирующих ионов  $E_0 = 9 \text{ кэв}$ .

Сначала, в отсутствие газа в камере обтирки и при закороченных пластинах  $P$ , снимались энергетические спектры ионов на грани (100) кристалла меди и на поликристаллической мишени (пунктир на рис. 2 и рис. 3). Эти спектры имеют обычный вид (см. например [1, 2]).

Энергетические спектры нейтральных атомов (сплошные кривые рис. 2 и рис. 3) снимались при наполнении камеры обтирки водородом, гелием, либо аргоном при давлениях от  $2 \cdot 10^{-5}$  до  $2 \cdot 10^{-3} \text{ тор}$ . На пластины  $P$  было подано отклоняющее напряжение. При построении спектров учитывалась зависимость сечения обтирки от энергии быстрого нейтрального атома [8, 9].

Совпадение спектров полученных при подаче на вход энергоанализатора монокинетических пучков атомов и ионов (рис. 2) позволяет утверждать, что влиянием потерь энергии при обтирке (см., например, [ 10]) на форму изучаемых спектров можно пренебречь. Об этом же свидетельствует практически полное совпадение формы энергетических спектров, полученных при обтирке на разных газах (рис. 2).

Как мы видим, спектры быстрых нейтралов оказались в общих чертах сходными со спектрами ионов.

Однако, обращает на себя внимание следующее обстоятельство. При рассеянии на монокристалле положения пиков в спектрах ионов и в спектрах нейтральных атомов не совпадают. Вершина левого пика в спектрах нейтралов отчетливо сдвинута в сторону более высоких энергий. Правое крыло спектра, обусловленное рассеянием более высокой кратности, имеет большую интенсивность в спектре нейтралов.

Эти результаты указывают на различие механизмов образования ионной и нейтральной компонент. По-видимому, при формировании нейтральной компоненты относительно большую роль играет механизм рассеяния на цепочке атомов [ 11], в то время, как ионная компонента образуется преимущественно путем парных соударений.

Автор благодарит С.Ю.Лукьянова за внимание и интерес к работе, О.Б.Фирсова и В.А.Молчанова за обсуждение результатов, С.Н.Звонкова за большую помощь в работе.

Поступила в редакцию  
17 августа 1972 г.

## Литература

- [ 1] S.Datz. C.Snock. Phys. Rev., **134A**, 347, 1964.
- [ 2] E.S.Maschkova, V.A.Molchanov. Proc. VIII Intern. Conf. Phenomena in Ionized gases, Vienna, 1966.
- [ 3] В.М.Чичеров. ЖЭТФ, **55**, 25, 1968.
- [ 4] С.Ю.Лукьянов, В.М.Чичеров. ЖЭТФ, **60**, 1399, 1971.
- [ 5] М.Каминский. Атомные и ионные столкновения на поверхности металла, Москва, Мир, 1967, стр. 309.
- [ 6] В.И.Векслер, Б.А.Ципенюк. ЖЭТФ, **60**, 1394, 1971.
- [ 7] W.F.Van der Weg, D.J.Bierman. Physica, **44**, 177, 1969.
- [ 8] F.J.Heer, W.Huizenga, J.Kistemaker. Physica, **23**, 181, 1957.
- [ 9] Th.J.M.Sluyters, E. de Haas. J.Kistemaker. Physica, **25**, 1376, 1959.
- [ 10] Н.В.Федоренко. УФН, **68**, 481, 1959.
- [ 11] В.М.Кивилис, Э.С.Парилис. Н.Ю.Тураев. ДАН ССР, **173**, 805, 1967.