

Важной характеристикой фотонного пучка является величина яркости излучения $\Delta E/\Delta\Omega$ - полная излученная энергия в единичный телесный угол, которая достигает своего максимального значения на длине L_0 [5]. В осевом случае измеренная яркость излучения $\Delta E/\Delta\Omega = (0.53 \pm 0.04) \cdot 10^9$ МэВ/ср, что примерно вдвое меньше, чем в работе [5]. Возможно, это несогласие связано со специфическими особенностями характера многократного рассеяния электронов, пролетающих вблизи кристаллографических осей, которые не учтены в теоретической работе.

Из наших данных следует, что вопрос определения оптимальной толщины L_0 как при плоскостном, так и при осевом каналировании электронов для энергии 4,5 ГэВ остается открытым. Необходимы дальнейшие исследования зависимости излучения от толщины в условиях каналирования частиц в различных монокристаллах.

Л и т е р а т у р а

- [1] К и т а к о в М.А. - Phys. Lett., 1976, 59A, р. 17.
- [2] Б у л г а к о в Н.К., В о д о п њ я н о в А.С., Г о л о в а т ю к В.Н. и др. - Препринт ОИЯИ-1-83-640, Дубна, 1983 г.
- [3] А в а к я н Р.О., А в а к я н Э.О., А в е т и с я н А.Э. и др. - Препринт ЕФИ 704(19)-84, Ереван, 1984.
- [4] А в а к я н Р.О., А в е т и с я н А.Э., А р м а г а н я н А.А. и др. - Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, в. 22, с. 1393.
- [5] Б а й е р В.Н., К а т к о в В.Н., С т р а х о в е н к о В.М. - Препринт ИЯФ 84-11, Новосибирск, 1984.
- [6] Т е л е г и н В.И., Х о к о н о в М.Х. - ЖЭТФ, 1982, т. 83, с. 260.
- [7] А в а к я н Р.О., А в е т и с я н А.Э., А г а р о н я н А.В. и др. - Препринт ЕФИ-776(3)-85, Ереван, 1985.

Ереванский физический институт

Поступило в Редакцию
5 января 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 10

26 мая 1988 г.

ВКЛАД АТОМНОГО ФАКТОРА В АНИЗОТРОПИЮ ВЫХОДА УПРУГО ОТРАЖЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ВОЛЬФРАМА

М.В. Г о м о ю н о в а, И.И. П р о н и н

В последние годы в связи с продолжающимся интенсивным развитием методов электронной спектроскопии поверхности твердого тела большое внимание уделяется изучению механизма упругого отражения электронов средней энергии от твердого тела. Было обнаружено, что в угловых распределениях электронов, упруго отраженных от поликристаллов, проявляются „аномалии“, связанные с дифференциаль-

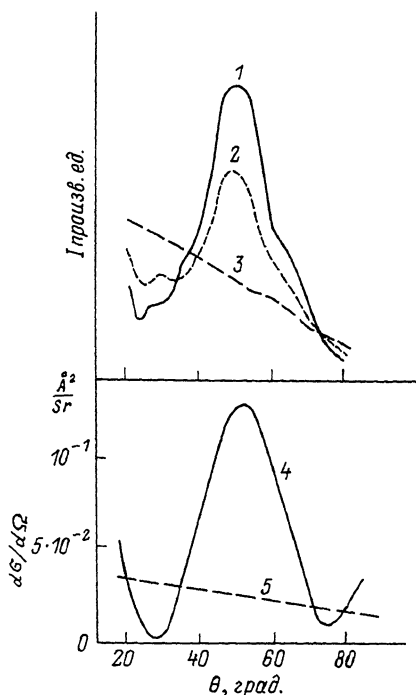
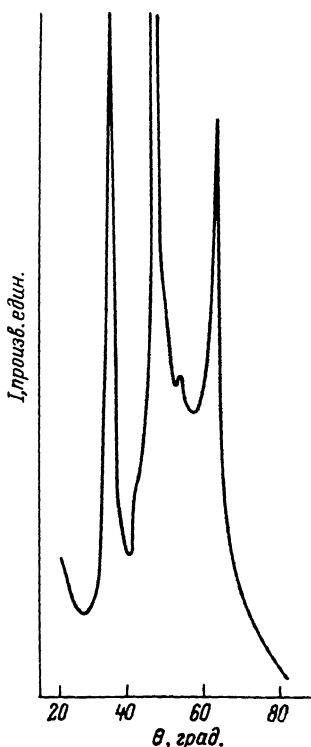


Рис. 1. Распределение $I(\theta)$ электронов, упруго отраженных от монокристаллического вольфрама, по полярному углу вылета при $E_p = 0.5$ кэВ и $\varphi = 0^\circ$ (азимутальная плоскость (100)).

Рис. 2. Распределения $I(\theta)$ упруго отраженных электронов по полярному углу вылета при $E_p = 0.5$ кэВ и азимуте $\varphi = 34^\circ$; 1 - $W\{100\}$; 2 - $W\{100\} - Si$, $d = 4 \text{ \AA}$; 3 - $W\{100\} - Si$, $d = 14 \text{ \AA}$. Зависимости $\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$ дифференциального сечения упругого рассеяния электронов от угла [10] для атомов W (кривая 4) и Si (кривая 5) при $E_p = 0.5$ кэВ.

ным сечением рассеяния электронов на отдельных атомах [1, 2]. Для монокристаллов большую роль в анизотропии выхода упруго отраженных электронов (УОЭ) играет когерентное рассеяние их на периодическом потенциале решетки кристалла, которое и являлось предметом исследования угловых распределений УОЭ от таких объектов [3-5]. Эффекты же, связанные с рассеянием на отдельных атомах, в этих исследованиях не рассматривались. Имеются лишь

указания на проявление атомного фактора рассеяния в энергетической зависимости интегрального коэффициента упругого отражения электронов от монокристаллов [6, 7]. Поэтому представляло интерес обнаружить его влияние на угловые распределения УОЭ от монокристаллов и проанализировать его роль для этих объектов. С этой целью в настоящей работе была изучена система $W\{100\}-Si$.

Исследование выполнено на вторично-электронном спектрометре с угловым разрешением, подробно описанном в [8] и позволявшем измерять распределения УОЭ по азимутальному φ и полярному θ углам их вылета при нормальном падении первичных электронов на поверхность кристалла. Энергия E_p электронов менялась в диапазоне 0,5–1 кэВ, характерном для проявления особенностей атомного сечения W . Для Si они лежат в области более низких энергий. Результаты получены как для чистой грани $W\{100\}$, так и для покрытой неупорядоченными пленками Si возрастающей толщины, не превышавшей ~ 10 монослоев. Структура поверхности образца контролировалась методом ДМЭ, а его чистота и количество нанесенного кремния – методом ЭОС [9]. Вакуум в рабочей камере прибора при измерениях был не хуже, чем $5 \cdot 10^{-10}$ Тор.

Полученные результаты иллюстрируют показанные на рис. 1, 2 распределения $I(\theta)$ для монокристалла с чистой поверхностью, снятые при $E_p = 0,5$ кэВ для двух азимутов φ_1 и φ_2 . При азимуте φ_1 УОЭ вылетают вдоль атомных плоскостей (100) и в этом случае на распределениях $I(\varphi)$ наблюдаются максимумы эмиссии. Азимут φ_2 , наоборот, соответствует направлениям аномальной проницаемости или близким к ним, так что выход УОЭ минимален, а дифракционные эффекты проявляются слабо. Ход приведенных кривых различен. В первом случае отчетливо наблюдаются брэгговские максимумы отражения. Вносят свой вклад в структуру кривых и кучки-полосы [10]. Вместе с тем обращает на себя внимание отсутствие роста общего фона распределения с уменьшением θ . На кривой $I(\theta)$, снятой при φ_2 , также имеется сильный эмиссионный контраст, который проявляется в виде широкого максимума при $\theta \approx 55^\circ$ и глубокого минимума в области небольших углов вылета ($\sim 25^\circ$).

Для того, чтобы определить природу этих особенностей, сравним приведенную кривую $I(\theta)$ с зависимостью дифференциального сечения упругого рассеяния электронов на атомах W от угла рассеяния, построенную нами на основе приведенных в [10] теоретических данных и также показанную на рис. 2. Видно хорошее совпадение общего ее хода с нашей экспериментальной кривой. Опираясь на это согласие, а также на соответствующие данные, полученные для поликристаллических твердых тел [1, 2], мы полагаем, что вид зависимости $I(\theta)$ при φ_2 определяется главным образом дифференциальным сечением упругого рассеяния электронов на атомах W . При этом атомный фактор „включается в игру“ через механизм квазиупругого рассеяния электронов на фононах. Он же объясняет и отмеченные выше особенности фона распределения $I(\theta)$, снятого в азимутальной плоскости (100). Сходные эффекты наблюдаются и при других энергиях первичных электронов.

Убедительным подтверждением высказанной точки зрения являются результаты исследования угловых распределений УОЭ от $W\{100\}$, покрытого пленками Si переменной толщины d (рис. 2, кривые 2 и 3). Для атомов Si дифференциальное сечение упругого рассеяния монотонно убывает с ростом угла θ (см. рис. 2, кривая 5), превышая его значение для W в окрестностях $\theta \approx 30^\circ$ и 75° , и существенно ниже его при $\theta = 45-60^\circ$. При напылении на W кремния по мере роста толщины пленки вид распределения $I(\theta)$ сильно меняется — уменьшается эмиссия УОЭ в области максимума, характерного для W , и наоборот, возрастает в интервалах углов θ вблизи 30° и больших 75° . При толщинах пленки, равных и превышающих глубину выхода УОЭ, кривая $I(\theta)$ приобретает такой же монотонно спадающий характер, как и зависимость атомного сечения для Si . Заметим, что для $Mo\{100\}$ [5], у которого особенности атомного фактора рассеяния, подобно Si , находятся в области более низкой энергии, чем у W , максимумы УОЭ, обусловленные рассматриваемым механизмом, не наблюдались.

Отчетливое проявление атомного сечения рассеяния электронов в угловых распределениях УОЭ от монокристаллов свидетельствует об определяющей роли в упругом отражении электронов средней энергии однократных рассеяний на большие углы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Канченко В.А., Крынько Ю.Н., Мельник П.В., Находкин Н.Г. — ФТТ, 1983, т. 25, с. 1448.
- [2] Бронштейн И.М., Васильев А.А., Пронин В.П., Хинич И.И. — Изв. АН СССР, сер. физ., 1985, т. 49, с. 1755.
- [3] Mosser A., Burggraf Ch., Goldsztaub S., Ohtuski Y.H. — Surf. Sci., 1976, v. 54, p. 195.
- [4] Allie G., Blanc E., Dufayard D. — Surf. Sci., 1977, v. 62, p. 215.
- [5] Gomoynova M.V., Pronin I.I., Shmulevitch I.A. — Surf. Sci., 1984, v. 139, p. 443.
- [6] Шильман А.Р., Кораблев В.В., Морозов Ю.А. — Изв. АН СССР, сер. физ., 1971, т. 36, с. 1060.
- [7] Шильман А.Р., Кораблев В.В., Морозов Ю.А. — ФТТ, 1970, т. 12, с. 758.
- [8] Пронин И.И., Гомоюнова М.В., Бернацкий Д.П., Заславский С.Л. — ПТЭ, 1982, № 1, с. 174.
- [9] Агеев В.Н., Гомоюнова М.В., Пронин И.И., Хоружий С.В. — Поверхность. Физика, химия, механика, 1988, № 4.