

ЭЛЕКТРОННО-СТИМУЛИРОВАННОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ АДПЛЕНОК

В.В.Гончар, О.В.Канаиш, А.Г.Федорус

Методом дифракции медленных электронов обнаружено частичное электронно-стимулированное упорядочение в свежадсорбированных при $T = 5$ К неуравновешенных отжигом пленках водорода на грани (011) Мо.

В субмонослойных пленках легких элементов: H, D, Li – при температуре ниже порога заметной тепловой подвижности наблюдается разупорядочение двумерных решеток под влиянием облучения медленными электронами, обнаруживаемое по затуханию рефлексов дифракции медленных электронов (ДМЭ) ¹⁻³. В опытах с пленками Li дополнительные рефлексы угасают полностью при достаточно длительной экспозиции пленки под электронным пучком, однако в случае H и D интенсивность рефлексов ДМЭ на некоторых решетках понижается лишь частично, что свидетельствует о существовании конкурирующего процесса упорядочения. С целью выяснения природы этого процесса в настоящей работе изучено влияние медленных электронов на пленки H, адсорбированные на поверхности (011) Мо. Судя по результатам работы ⁴, в отличие от адсорбции на (011)W для получения хемосорбированной атомарной фазы не требуется предварительный отжиг, и в таком случае можно наблюдать эффект облучения медленными электронами не только предварительно упорядоченной отжигом адпленки, но и неуравновешенной пленки, адсорбированной при низкой температуре.

Методика эксперимента отличалась от применявшейся ранее ¹⁻³ тем, что опыты проводились не в стеклянном приборе, а в металлической установке „Рибер”, переоборудованной для охлаждения образцов жидким гелием. Концентрация атомов H в адсорбированном слое оценивалась на основании анализа кинетики адсорбции и спектров термодесорбции. Последние состоят из двух фаз: β_2 и β_1 , – содержащих в насыщении соответственно $7 \cdot 10^{14}$ и $14 \cdot 10^{14}$ атомов/см² ⁵, что отвечает степени покрытия $\vartheta = 1/2$ и 1.

При $T = 5$ К для термически уравновешенных пленок (отжиг при 300 К в течение 10 с) наблюдается единственная картина ДМЭ с дополнительными рефлексами, характерными для структуры (2×2) . Из сравнения изменений интенсивности этих рефлексов при последовательном увеличении дозы адсорбции с изменениями формы спектра термодесорбции установлено, что заполнение состояния β_2 соответствует максимальному развитию упорядоченной структуры (2×2) , а состояния β_1 — переходу к структуре (1×1) . Из нескольких возможных типов решетки пленки, отображаемых одной и той же картиной ДМЭ (2×2) , по величине параметра $\vartheta = 1/2$ подходит показанный на рис.1. Расположение адатомов в элементарной ячейке соответствует представлению об их связи с подложкой через орбитали поверхностных атомов Mo, выступающие под углом 45° к нормали (e_g — орбитали.). На рис.2 показано изменение интенсивности рефлексов (2×2) при облучении электронами с энергией $E = 7,5$ эВ и плотностью тока $i = 3 \cdot 10^{-4}$ А · см⁻² пленки с $\vartheta \approx 1/2$. Понижение интенсивности не до нуля соответствует частичному разупорядочению пленки под влиянием медленных электронов подобно ранее наблюдававшемуся для структуры $p(2 \times 1)$ Н и D на (011) W^{1,2}.

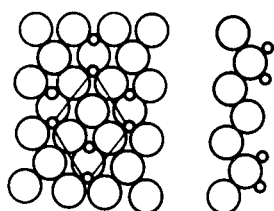


Рис.1. Модель структуры Н (2×2) — Мо (011). Малые кружки — адатомы, большие — атомы подложки

Для свежадсорбированных пленок, т.е. адсорбированных в отсутствие электронного пучка при $T = 5$ К без последующего отжига, в момент включения пучка также наблюдается картина ДМЭ с рефлексами структуры (2×2) , подобная той, что и для отожженных пленок, но интенсивность дополнительных рефлексов в этом случае гораздо меньше. По мере экспозиции под пучком их интенсивность возрастает, приближаясь к тому же уровню, что и при электронно-стимулированном разупорядочении, но не достигая его (рис.2). Этот факт, а также одинаковая постоянная времени процессов нарастания и спада интенсивности (рис.2) указывают на то, что причиной изменения интенсивности ДМЭ под влиянием облучения электронами и свежадсорбированных, и отожженных пленок является один и тот же процесс, который в одном случае приводит к частичному упорядочению первоначально неупорядоченной структуры, а в другом — к частичному разупорядочению первоначально совершенной структуры. Таким процессом может быть миграция неравновесных долго живущих колебательных возбуждений адатомов водорода⁶, индуцируемых электронным пучком. С этим заключением согласуется также наличие ненулевой начальной упорядоченности в свежадсорбированной пленке, так как в самом акте адсорбции выделяется энергия, достаточная для возбуждения колебаний адатомов.

Структура (2×2) существует во всей области $\vartheta < 1$, сначала (при $\vartheta < 1/2$) в равновесии с решеточным газом адатомов, затем (при $1/2 < \vartheta < 1$) в равновесии со структурой (1×1) . Кривые, подобные приведенным на рис.2 для $\vartheta = 1/2$, получены также для других доз адсорбции, L . На рис.3 показаны определенные на основании этих кривых характерные для разных L значения интенсивности I_0 рефлексов совершенной структуры (2×2) (получаемые при $T = 5$ К для отожженной пленки), а также нормированные по I_0 уровни интенсивности I/I_0 для следующих состояний пленки: свежадсорбированного; после достаточно длительной ($\sim 10^3$ с) выдержки под пучком электронов свежадсорбированной и отожженной пленок. На том же рисунке приведены нормированные по I_0 начальные скорости изменения интенсивности под пучком, $\frac{1}{I_0} \frac{dI}{dt}$. Очевидно, на первой стадии адсорбции (в области $\vartheta < 1/2$, левее $\max I_0$) растет путем фазового перехода первого рода фаза β_2

со структурой (2 x 2) – характерные параметры влияния электронов на структуру, приведенные на рис.3, остаются неизменными. На второй стадии ($\vartheta > 1/2$) эти параметры изменяются сложным образом, по-видимому, вследствие взаимодействия между возбужденными компонентами фаз β_1 и β_2 .

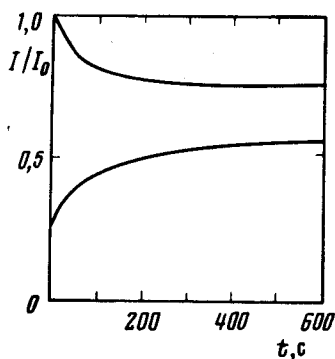


Рис.2

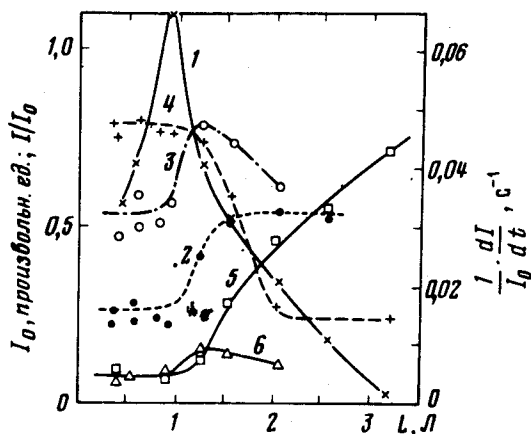


Рис.3

Рис.2. Изменение интенсивности рефлексов ДМЭ (2 x 2) при экспозиции пленки под пучком электронов $\vartheta = 1/2$, $E = 7,5$ эВ, $i \approx 3 \cdot 10^{-4}$ А · см $^{-2}$

Рис.3. Интенсивность рефлексов ДМЭ (2 x 2), I_0 , для отожженной пленки (1), уровни интенсивности, I / I_0 , для свежадсорбированной пленки до (2) и после (3) экспозиции под пучком и для отожженной пленки после экспозиции под пучком (4), а также скорости электронно-стимулированного разупорядочения (5) и упорядочения (6) в зависимости от дозы адсорбции, L

В отсутствие электронного пучка при $T = 5$ К не наблюдалось (в течение нескольких часов) упорядочения в свежадсорбированной пленке свыше уровня, определяемого кривой 2 на рис.3. Этот факт свидетельствует об отсутствии заметного квантового (подбарьерного) упорядочения в указанных условиях. Обнаруженное в настоящей работе электронно-стимулированное упорядочение хемосорбированного атомарного водорода на (011) Мо дает основание полагать, что и в пленках Н р (2 x 1) – W (011) 2 этот процесс, а не квантовая подвижность, обуславливает неполное электронно-стимулированное разупорядочение.

Авторы благодарят О.М.Брауна за полезное обсуждение.

Литература

1. Гончар В.В., Канаш О.В., Наумовец А.Г., Федорус А.Г. Письма в ЖЭТФ, 1978, 28, 358.
2. Гончар В.В., Каган Ю.М., Канаш О.В., Наумовец А.Г., Федорус А.Г. ЖЭТФ, 1983, 84, 249.
3. Наумовец А.Г., Федорус А.Г. ЖЭТФ, 1975, 68, 1183.
4. Liu R., Ehrlich G. Surface Sci., 1982, 119, 207.
5. Mahnig M., Schmidt L.L. Z. Physik. Chem. Neue Folge, 1972, 80, 71.
6. Браун О.М., Пашицкий Э.А. ФТТ, 1982, 24, 1973.