

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ СОСТОЯНИЯ СУБМОНОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК Cs НА ГРЯНЯХ (110) И (100) W

Г.В.Бенеманская, М.Н.Лапушкин

Обнаружено образование индуцированных электронных поверхностных состояний в субмонослойных пленках Cs на гранях (110) и (100) монокристалла W. Формирование индуцированных и модификация собственных поверхностных состояний исследованы по концентрационным зависимостям эмиссии электронов при возбуждении поляризованным лазерным светом.

Собственные поверхностные состояния (ПС) граней монокристалла W достаточно подробно исследованы методами фотоэмиссионной спектроскопии¹⁻³. Однако до настоящего времени оставалось неясным каковы изменения спектра ПС вольфрама и других металлических кристаллов в результате адсорбции или образования на поверхности чужеродных пленок. В³ впервые исследовано поведение спектра собственных ПС W(100) по мере нанесения цезиевого покрытия. Было установлено, что при увеличении степени субмонослойного покрытия θ ($\theta < 1$) пик ПС подложки с энергией $E = 0,3$ эВ ниже уровня Ферми E_F линейно сдвигается в сторону больших энергий связи. Положение пика стабилизируется при $\theta \approx 0,6$ и соответствует $E = 1,3$ эВ. В спектре не наблюдалось появления новых энергетических состояний.

Нами обнаружена поверхностная электронная эмиссия, которая наблюдается при $\theta > 0,5$ в системе W(100) – Cs, при $\theta > 0,6$ в системе W(100) – Cs и возрастает более чем на порядок при увеличении покрытия до монослоя. Результаты свидетельствуют о формировании индуцированных адсорбцией ПС, которые вносят существенный вклад в локальную плотность состояний вблизи E_F . Характер изменения эмиссии с собственных ПС подложки при малых покрытиях согласуется с данными³.

В работе исследована фотоэмиссия электронов с поверхностных состояний систем W(110) – Cs и W(110) – Cs методом поляризационных зависимостей фотоэмиссионного тока⁴. Регистрировались концентрационные кривые фотоэмиссии $I_s(\theta)$ и $I_p(\theta)$ соответственно для *s*- и *p*-поляризации света. Эмиссия возбуждалась сфокусированным лазерным светом различных длин волн: 4416 Å (2,81 эВ), 4579 Å (2,71 эВ), 6328 Å (1,96 эВ), 6764 Å (1,84 эВ). Лазерный луч падал на кристалл под углом 45°. Измерения проводились в условиях высокого вакуума ($P \sim 10^{-10}$ торр).

Фотоэмиссия при *s*-поляризации возбуждающих лазерных линий соответствует пороговой эмиссии из объема подложки⁴. Контур $I_s(\theta)$ для каждой системы формируется соответствующей зависимостью работы выхода $\phi(\theta)$ ⁵. При *p*-возбуждении фотоэмиссионные зависимости $I_p(\theta)$ существенно отличаются от объемной эмиссии $I_s(\theta)$ и содержат дополнительную компоненту $I_{\perp}(\theta)$ – эмиссию с ПС: $I_p(\theta) = I_{\perp}(\theta) + \alpha \cdot I_s(\theta)$, где коэффициент α зависит от оптических постоянных подложки⁴. Для вольфрама $1 < \alpha < 2$.

При изучении индуцированного адсорбированной пленкой изменения энергетической структуры поверхности в фотоэмиссионной спектроскопии обычно используется метод разностных спектров. Такой подход проиллюстрирован на рис. 1, где для системы W(110) – Cs выделена поверхностная фотоэмиссия $I_{\perp}(\theta)$. При покрытиях $0,45 < \theta < 0,50$ поверхностная эмиссия уменьшается с ростом θ в несколько раз, достигая минимального значения при $\theta \sim 0,5$. Дальнейшее увеличение θ приводит к сильному росту поверхностной эмиссии.

Однако в нашем случае изучения поляризационных зависимостей $I(\theta)$ метод разностных кривых не достаточно информативен, так как существенное влияние на формирование контура $I_p(\theta)$ оказывает не только изменение локальной плотности состояний, но и изменение $\phi(\theta)$. Поэтому целесообразно рассматривать отношение $I_p(\theta) / I_s(\theta) = I_{\perp}(\theta) / I_s(\theta) + \alpha$, которое соответствует поверхностной эмиссии, нормированной на эмиссию из объема подложки, и тем самым исключает явное влияние изменения работы выхода при увеличении θ .

На рис. 2 приведены результаты указанной обработки экспериментальных данных. Характерной чертой является немонотонное изменение интенсивности поверхностной эмиссии при уплотнении субмонослойной пленки. Первоначальный спад интенсивности эмиссии с ПС хорошо согласуется с данными ³. При покрытиях бо́льших половины монослоя в обеих системах наблюдается резкое увеличение интенсивности поверхностной эмиссии, которое наиболее ярко проявляется при возбуждении эмиссии непосредственно вблизи порога. Это свидетельствует о достаточно узкой $\sim 0,3$ эВ энергетической зоне ниже E_F , в которой происходит резкое увеличение локальной плотности индуцированных поверхностных состояний. Разный вид кривых $I_p(\theta) / I_s(\theta)$ при различных энергиях возбуждающего света отражает спектральную зависимость поверхностной фотоэмиссии.

Отметим, что для исследованных двух систем существует явно выраженный интервал покрытий, в котором наблюдается наименьшая интенсивность поверхностной эмиссии (рис. 2).

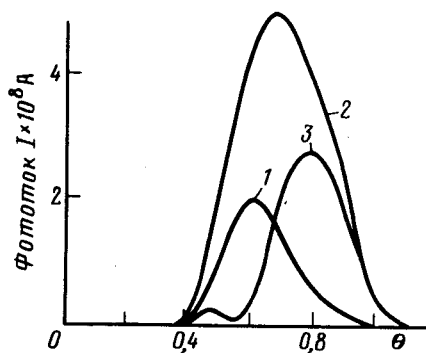


Рис. 1

Рис. 1. Фотоэмиссионные зависимости $I(\theta)$ системы $W(110) - Cs$ при возбуждении $h\nu = 1,96$ эВ: 1 - $I_s(\theta)$, 2 - $I_p(\theta)$, 3 - $I_{\perp}(\theta) = I_p(\theta) - \alpha \cdot I_s(\theta)$ при $\alpha = 2$

Рис. 2. Концентрационные зависимости поверхностной фотоэмиссии, нормированной на эмиссию из объема $I_p(\theta) / I_s(\theta) = I_{\perp}(\theta) / I_s(\theta) + \alpha$ для системы: а - $W(110) - Cs$ при энергии возбуждения: 1 - 1,84 эВ, 2 - 1,96 эВ, 3 - 2,71 эВ, 4 - 2,81 эВ; б - $W(100) - Cs$ при энергии возбуждения: 1 - 1,96 эВ, 2 - 2,81 эВ

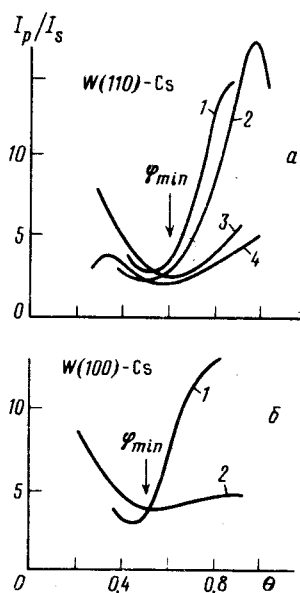


Рис. 2

Этот интервал покрытий соответствует минимальному значению работы выхода для каждой изучавшейся системы. В области покрытий, отвечающих ϕ_{min} практически отсутствует и спектральная зависимость поверхностной эмиссии.

Таким образом полученные результаты обнаруживают модификацию спектра ПС вблизи E_F , которая свидетельствует о перестройке электронной структуры граней чистого вольфрама и образовании двумерных электронных индуцированных ПС в пленке Cs. Теоретические исследования показывают, что при адсорбции Cs на $W(100)$ зона валентных электронных состояний адсорбата расположена вблизи E_F , и ее заполнение увеличивается с ростом θ ⁶. В связи с этим можно полагать, что наблюдающееся при адсорбции увеличение локальной плотности поверхностных состояний связано с формированием двумерной зоны $6s - 6p$ валентных состояний Cs.

До настоящего времени индуцированные ПС обнаружены ^{4,7} при исследовании пороговой фотоэмиссии. По-видимому, использование высокоэнергетических источников возбуждения не позволило наблюдать в ³ электронные ПС, индуцированные адсорбцией Cs. Это предположение подтверждается также спектральной зависимостью эмиссии с индуцированных ПС при $\theta \sim 1$ (рис. 2), которая имеет тенденцию к уменьшению квантового выхода эмиссии при увеличении энергии возбуждения.

Литература

1. *Weng S.-L., Inglesfield J.E., King D.A., Somerton C.* J. Phys. C., 1981, 14, 3099.
2. *Holmes M.W., King D.A., Inglesfield J.E.* Surf. Sci., 1979, 89, 133.
3. *Soukiassian P., Riwan R., Lecante J., Wimmer E., Chubb S.R., Freeman A.J.* Phys. Rev. B, 1985, 31, 4911.
4. *Бенеманская Г.В., Лапушкин М.Н.* Письма в ЖЭТФ, 1985, 41, 432.
5. *Фоменко В.С.* "Эмиссионные свойства материалов", Киев, 1981.
6. *Wojciechowski K.F.* Surf. Sci., 1976, 55, 246.
7. *Lindgren S.A., Wallden L.* Sol. State Comm., 1978, 28, 283.

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 марта 1987 г.
