

полосы ЛМ по формуле (4) при указанных значениях параметров и экспериментальный спектр ЭДП пленки $nZ_n\text{Se}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Видно, что теория и эксперимент хорошо согласуется как по полуширине полосы, так и по числу ее плазмонных повторений.

Многоплазмонные переходы в ЭДП, кроме того, можно привлечь для интерпретации урбаховского «хвоста» в краевом поглощении прямозонных полупроводников. В этом случае

$$K(\omega) = K_0 \exp\left(-c\beta \frac{\omega_p - \omega}{\omega_p}\right). \quad (6)$$

Используя асимптотику функции Бесселя $I_n(z)$ при $n \gg 1$, находим

$$c = 1 + \frac{1}{\beta} \ln \frac{2(\omega_p - \omega)}{a(n+1)\epsilon\omega_p}. \quad (7)$$

Таким образом, многоплазмонные оптические переходы являются актуальным механизмом излучения и поглощения света в сильно возбужденных прямозонных полупроводниках.

Л и т е р а т у р а

- [1] Зиновьев Н. Н., Ярошецкий И. Д. Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 33, № 2, с. 109—112.
- [2] Кукушкин И. Д. ЖЭТФ, 1983, т. 84, № 5, с. 1840—1847.
- [3] Ву Зоан Мьен, Сенокосов Э. А., Стойкова В. Г., Усатый А. Н., Чукичев М. В. ФТП, 1985, т. 19, № 9, с. 1574—1576.
- [4] Вавилов В. С., Сенокосов Э. А., Чукичев М. В. ФТТ, 1986, т. 28, № 9, с. 2614—2620.
- [5] Bohm D., Pines P. Phys. Rev., 1953, vol. 92, N 3, p. 609—625.
- [6] Бонч-Бруевич В. Л., Тябликов С. В. Метод функций Грина в статистической механике. М.: ГИФМЛ, 1961. 312 с.

Кишиневский государственный университет
им. В. И. Ленина
Кишинев

Поступило в Редакцию
4 сентября 1987 г.

УДК 539.211

Физика твердого тела, том 30, в. 2, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 2, 1988

РАЗУПОРЯДОЧЕНИЕ ДВУМЕРНЫХ РЕШЕТОК КИСЛОРОДА НА ГРАНИ (011) МОЛИБДЕНА, ИНИЦИИРУЕМОЕ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПЕРЕХОДАМИ В АТОМАХ КИСЛОРОДА И МОЛИБДЕНА

И. Н. Засимович, Е. В. Клименко, А. Г. Наумовец

Явление электронно-стимулированного разупорядочения (ЭСР) адсорбированных пленок состоит в том, что падающий поток электронов создает дефекты в двумерной решетке адатомов и в пределе приводит к полному нарушению дальнего порядка. До настоящего времени ЭСР наблюдалось только для трех самых легких адсорбатов — водорода, дейтерия и лития — на гранях (011) W и Mo [1^{-3}]. При этом считалось, что начальной стадией процесса ЭСР является создание того или иного возбуждения в электронной оболочке самого адсорбированного атома.

В этой работе мы сообщаем о первом наблюдении ЭСР субмонослойной пленки более тяжелого адсорбата — кислорода — и об исследовании энергетической зависимости эффективного сечения этого процесса, которая указывает на то, что ЭСР может инициироваться электронными переходами не только в адатомах, но и в подложке.

Опыты выполнены в сверхвысоком вакууме ($p \sim 10^{-11}$ Тор). Структура пленок исследовалась методом дифракции медленных электронов (ДМЭ), изменения работы выхода регистрировались методом контактной разности потенциалов. В интервале субмонослойных покрытий кислорода нами наблюдались три упорядоченные структуры — (2×2) , (6×2) и (6×1) , со стехиометрическими кислородными покрытиями θ , соответственно 0.25, ~ 0.5 , ~ 1.0 [4]. Последняя структура при прогреве до ~ 750 К перестраивается в сложную структуру окисла [5].

При облучении электронами поверхности образца, охлажденного до 77 К, интенсивность дифракционных рефлексов структур (2×2) и (6×2) довольно быстро уменьшается, тогда как рефлексы наиболее плотной решетки (6×1) практически не затухают (рис. 1). Необходимым условием наблюдения этого эффекта является охлаждение образца до температур, при которых термическая подвижность адатомов подавлена.

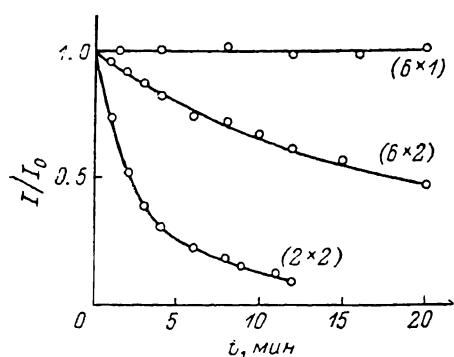


Рис. 1. Изменение интенсивности сверхструктурных рефлексов кислорода при облучении электронами с $E \approx 60$ эВ.

Плотность тока $\sim 2 \cdot 10^{-4}$ А/см².

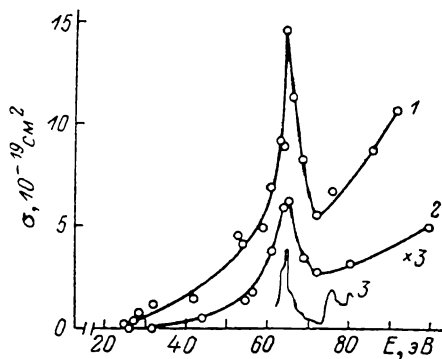


Рис. 2. Зависимость z от энергии электронов.

1 — для структуры (2×2) , $\theta \approx 0.25$, 2 — для структуры (6×2) , $\theta \approx 0.5$; 3 — распределение плотностей состояний (в относительных единицах) для грани (011) Мо выше уровня Ферми [7]. Пик плотности состояний совмещен по оси E с максимумами кривых 1 и 2.

В принципе затухание рефлексов могло бы быть вызвано электронно-стимулированной десорбцией (ЭСД) кислорода. Однако исходная картина ДМЭ восстанавливается после отжига пленки (например, структура (2×2) восстанавливается при 350 К за время ~ 10 с), причем эксперимент можно повторять таким образом десятки раз. Затухание сверхструктурных рефлексов сопровождается возникновением гало вокруг основных рефлексов, что указывает на сохранение в пленке ближнего порядка. Наконец, прямые исследования [6] показали, что: 1) скорость ЭСД кислорода с грани (011) Мо сильно возрастает с ростом θ , тогда как в нашем случае изменения противоположны (рис. 1); 2) ЭСД для системы О—Мо (011) практически отсутствует для кислородных покрытий ≤ 0.3 . Кроме того, работа выхода системы в результате облучения в наших опытах практически не изменяется. Таким образом, в наших условиях опыта эффект определяется, по крайней мере в основном, разупорядочением пленки.

Для выяснения физических механизмов процесса ЭСР мы исследовали зависимость скорости затухания рефлексов от энергии пучка. На основе этих данных по методу, предложенному в [1], была рассчитана энергетическая зависимость эффективного сечения σ процесса дефектообразования для структур (2×2) и (6×2) (рис. 2). Зависимости $\sigma(E)$ показывают, что ЭСР пленок кислорода начинается с пороговой энергии ≈ 24 эВ. Она определяется, по-видимому, созданием дырки на уровне $2S_{1/2}$ адатома кислорода, которому соответствует энергия 24 эВ [8].

Однако наличие на кривой $\sigma(E)$ резкого максимума при $E \approx 65$ эВ свидетельствует о том, что этот процесс не является единственным возможным каналом инициирования ЭСР. Положение максимума хорошо согласуется

с положением уровня $4S_{1/2}$ молибдена (энергия его относительно уровня Ферми, согласно [8], равна 62 эВ, тогда как ближайший уровень кислорода расположен при 532 эВ). Это позволяет заключить, что процесс ЭСР может начинаться также с ионизации внутренней оболочки атомов подложки. Ранее для ряда систем были обнаружены аналогичные эффекты в электронно- и фотостимулированной десорбции [9-11].

Как известно, зависимость вероятности ионизации внутренней оболочки от энергии в припороговой области должна отражать распределение плотности свободных состояний непосредственно выше уровня Ферми. Действительно, ход кривых $\sigma(E)$ хорошо коррелирует с распределением плотности состояний в молибдене при $E > E_F$ (рис. 2).

По аналогии с работами [9-11], в которых рассматриваются механизмы электронно-стимулированной десорбции, можно предположить, что и в случае ЭСР за ионизацией внутренней оболочки следует внутриатомный либо междуатомный Оже-процесс, в результате которого удаляются электроны с наружных оболочек атомов кислорода. Адамом начинает смещаться к новому положению равновесия и до момента полной релаксации электронного возбуждения может приобрести кинетическую энергию, достаточную для образования дефекта в 2-мерной решетке. Эта энергия гораздо меньше, чем энергия десорбции, и с этой точки зрения процесс ЭСР должен быть более вероятен, чем процесс десорбции. Однако следует учитывать, что при разупорядочении пленки и десорбции адатом движется в разных направлениях, так что строгое сравнение вероятностей этих процессов требовало бы рассмотрения трехмерной модели. В любом случае наблюдение ЭСР требует охлаждения подложки до температур, при которых невозможен отжиг образующихся дефектов.

Знание физических факторов, определяющих вероятность образования радиационных дефектов в адпленке, дает возможность либо избежать разупорядочения, если оно нежелательно, либо контролируемо использовать его для управления свойствами поверхности.

Л и т е р а т у р а

- [1] *Наумовец А. Г., Федорус А. Г.* ЖЭТФ, 1975, т. 68, № 3, с. 1183—1188.
- [2] *Гончар В. В., Каган Ю. М., Канаш О. В., Наумовец А. Г., Федорус А. Г.* ЖЭТФ, 1983, т. 84, № 1, с. 249—259.
- [3] *Гончар В. В., Канаш О. В., Федорус А. Г.* Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 38, № 4, с. 162—164.
- [4] *Bauer E., Porra H.* Surf. Sci., 1983, vol. 127, N 1, p. 243—254.
- [5] *Kennett H. M., Lee A. E.* Surf. Sci., 1975, vol. 48, N 2, p. 624—632.
- [6] *Азизов У. В., Гумов В. С., Сагатов Я. Р.* Изв. АН СССР, сер. физич., 1985, т. 49, № 9, с. 1684—1687.
- [7] *Petroff I., Viswanathan C. R.* Phys. Rev. B, 1971, vol. 4, N 3, p. 799—816.
- [8] *Зигбан К.* и др. Электронная спектроскопия. М.: Мир, 1971. 324 с.
- [9] *Knotek M. L.* Rep. Prog. Phys., 1984, vol. 47, N 11, p. 1499—1561.
- [10] *Menzel D., Kirschner J., Staib P.* Surf. Sci., 1979, vol. 87, N 2, p. L267—L272.
- [11] *Jeger R., Stöhr J., Feldhaus J., Brennan S., Menzel D.* Phys. Rev. B, 1981, vol. 23, N 5, p. 2102—2110.

Институт физики АН УССР
Киев

Поступило в Редакцию
15 сентября 1987 г.