

11

О природе десорбирующихся частиц при электронно-стимулированной десорбции самария с окисленного вольфрама

© В.Н. Агеев, Ю.А. Кузнецов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail: kuznets@ms.ioffe.rssi.ru

Поступило в Редакцию 30 июня 2003 г.

Впервые установлено, что при электронно-стимулированной десорбции (ЭСД) резонансы выхода, связанные с возбуждением остовных уровней самария (Sm) и вольфрама (W), образованы нейтральными частицами различной химической природы. Наиболее вероятно, что после возбуждения самария десорбируются атомы Sm, а после возбуждения вольфрама — молекулы SmO.

Выход нейтральных частиц при электронно-стимулированной десорбции (ЭСД) из слоев европия (Eu) и самария (Sm), адсорбированных на поверхности окисленного вольфрама (W), в зависимости от энергии бомбардирующих электронов носит резонансный характер [1–4]. Положение пиков выхода хорошо коррелирует с энергиями возбуждения остовных уровней Eu и Sm $5p$ и $5s$ или с энергиями возбуждения остовных уровней W $5p$ и $5s$. Зависимости интенсивности пиков, возникающих при возбуждении остовных уровней редкоземельных металлов (РЗМ) и W, от температуры подложки и концентрации напыленного РЗМ качественно отличаются, что указывает на различную природу этих пиков [5,6]. Регистрация потоков нейтральных частиц в этих экспериментах осуществлялась с помощью детектора на основе

поверхностной ионизации (ПИ), эмиттером в котором служила нагретая вольфрамовая лента. Этим методом невозможно разделить выход атомов Eu и Sm от выхода молекул EuO и SmO. Было высказано предположение, что пики, связанные с возбуждением уровней РЗМ, образованы атомами РЗМ, а пики, связанные с возбуждением уровней W, образованы молекулами EuO и SmO. Это предположение согласуется с результатами расчетов, в которых учтено, что скорость диссоциации молекул EuO больше, чем скорость термической десорбции ионов Eu^+ с нагретой поверхности W [7], и позволяет избежать трудностей, связанных с объяснением перехода возбуждения от W к Sm через промежуточный атом кислорода.

Цель настоящей работы — показать, что после возбуждения Sm и W при ЭСД из адсорбированного слоя Sm на окисленном W десорбируются нейтральные частицы различной химической природы. Для реализации поставленной задачи необходимо уменьшить скорость диссоциации молекул SmO на эмиттере детектора ПИ. Обычно это достигается путем адсорбции на поверхности металла неметаллической пленки, и, например, скорость диссоциации молекул CsCl на поверхности грани Ir (111), покрытой графитовой пленкой, уменьшается в 10^6 раз [8]. Мы выбрали в качестве эмиттера в детекторе поверхностной ионизации вольфрамовую ленту, покрытую монослоем кислорода, по следующим причинам:

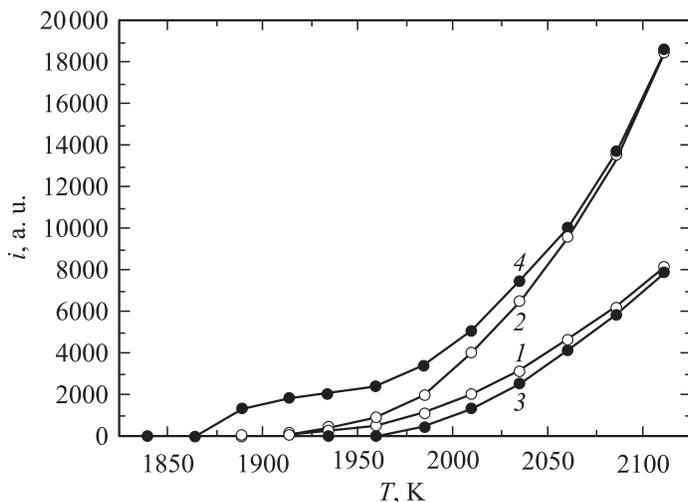
1) монослой кислорода на вольфраме термически устойчив до $T \sim 2000$ К [9];

2) работа выхода этой поверхности примерно на 0.75 eV выше, чем у чистого W [10];

3) реакции окисления молекул SmO на поверхности W–O маловероятны.

Все это позволило надеяться получить ток ПИ недиссоциированных молекул SmO.

Измерения тока ПИ потоков частиц, возникающих при ЭСД из Sm, адсорбированного на поверхности окисленного W, проводились в установке для измерений выхода и энергораспределений нейтральных частиц при ЭСД, описанной ранее [11]. Эмиттером в детекторе ПИ служила W-лента размерами $70 \times 2 \times 0.01$ mm, температура которой определялась с помощью оптического микропирометра. Для создания монослойного покрытия кислорода лента выдерживалась при давлении кислорода 10^{-6} Torr и температуре 1600 К в течение 300 s [9]. В качестве подложки (мишени) использовались текстурированные W-ленты с



Графики зависимостей тока ПИ в детекторе с эмиттером из вольфрама (кривые 1 и 2) и вольфрама, покрытого монослоем кислорода (кривые 3 и 4), от температуры эмиттера. Потоки частиц поступают на эмиттер в результате ЭСД из адсорбированного слоя Sm на окисленном W для энергий электронов $E_e = 34 \text{ eV}$ (кривые 1 и 3) и $E_e = 42 \text{ eV}$ (кривые 2 и 4). Степени покрытия подложки самарием составляют 0.10 (кривые 1 и 3) и 1.0 (кривые 2 и 4).

преимущественным выходом на поверхность грани (100) с различной степенью окисления. Самарий осаждался на поверхность подложки при $T = 300 \text{ K}$ из прямоканального испарителя, сделанного из танталовой трубки, в которую загружался металлический самарий непосредственно перед откачкой прибора. Трубка располагалась вдоль ленты-подложки и имела несколько отверстий, что обеспечивало равномерное распределение потока атомов Sm вдоль подложки. Эмиттером электронов служила вольфрамовая нить, расположенная параллельно ленте-подложке, обеспечивавшая ток электронов $\sim 5 \cdot 10^{-6} \text{ A}$. Поток атомов Sm при ЭСД создавался при энергии электронов $\sim 34 \text{ eV}$, а поток предположительно молекул SmO — при энергии электронов $\sim 42 \text{ eV}$. Энергия электронов учитывает поправку на работу выхода эмиттера [12]. Давление остаточных газов в приборе было ниже $\sim 10^{-10} \text{ Torr}$.

На рисунке приведены зависимости тока ПИ в детекторе с эмиттером из вольфрама (кривые 1 и 2) и вольфрама, покрытого монослоем

кислорода (кривые 3 и 4), от температуры эмиттера. Потоки поступающих в детектор частиц создавались при ЭСД из адсорбированного слоя Sm на окисленном вольфраме для степени покрытия $\theta = 0.10$ и энергии электронов $E_e = 34 \text{ eV}$ (кривые 1 и 3) и степени покрытия $\theta = 1.0$ и энергии электронов $E_e = 42 \text{ eV}$ (кривые 2 и 4). Кривые 1 и 3 соответствуют возбуждению основного уровня $5p \text{ Sm}$, а кривые 2 и 4 — возбуждению основного уровня $5p \text{ W}$. Видно, что ток ПИ с вольфрама при возбуждении уровня $5p \text{ Sm}$ меньше, чем при возбуждении уровня $5p \text{ W}$, однако форма температурной зависимости тока в обоих случаях подобна: имеется одинаковый температурный порог, после которого ток экспоненциально увеличивается с ростом температуры. Следовательно, на W ток поверхностной ионизации связан с частицами одинаковой химической природы, хотя ЭСД инициируется электронами различной энергии.

Совершенно отличная ситуация возникает при использовании ПИ детектора с эмиттером из вольфрама, покрытого монослоем кислорода (кривые 3 и 4). Температура порога появления тока ПИ после возбуждения уровня $5p \text{ Sm}$ увеличивается (кривая 3) по сравнению с эмиттером из W (кривая 1), и с ростом T ток ПИ на эмиттере из W, покрытого монослоем кислорода (кривая 3), асимптотически приближается к зависимости тока на эмиттере из вольфрама (кривая 1). С другой стороны, ток ПИ, связанный с возбуждением уровня $5p \text{ W}$, на эмиттере из вольфрама, покрытого монослоем кислорода, появляется при значительно более низкой температуре (кривая 4), чем ток, связанный с возбуждением того же уровня, но на эмиттере из вольфрама (кривая 2). Форма зависимости тока ПИ от температуры на эмиттере из W, покрытого монослоем кислорода (кривая 4), заметно отличается от экспоненциальной формы этой зависимости на W (кривая 2). Сначала ток резко возрастает с ростом T , достигает плато, а затем асимптотически приближается к зависимости тока ПИ от T для эмиттера из вольфрама (кривая 2).

Различные температурные зависимости тока ПИ с эмиттера из W, покрытого монослоем кислорода, после возбуждения при ЭСД уровней $5p \text{ Sm}$ и $5p \text{ W}$ однозначно свидетельствуют о различной природе частиц, образующихся в этих двух случаях.

Разумно предположить, что частицы, связанные с возбуждением уровня $5p \text{ Sm}$, являются атомами Sm, и их ток ПИ на W (кривая 1) подчиняется формуле Саха–Ленгмюра [13]. Тогда увеличение

температуры появления тока поверхностной ионизации на эмиттере из вольфрама, покрытого монослоем кислорода (кривая 3), означает, что монослой кислорода на W, хотя и увеличивает работу выхода поверхности, препятствует установлению зарядового равновесия между Sm и W. И весьма возможно, что появление тока ПИ соответствует началу испарения кислорода с W в результате окисления Sm.

С другой стороны, можно полагать, что частицы, связанные с возбуждением уровня $5pW$, являются молекулами SmO. Монослой кислорода на W затрудняет диссоциацию молекул SmO и увеличивает работу выхода поверхности. Поэтому, так как потенциал ионизации молекул SmO меньше потенциала ионизации атомов Sm на ~ 0.1 eV [14], температурный порог появления ионов SmO⁺ ниже температурного порога появления ионов Sm⁺ на ~ 100 K. С ростом T начинается диссоциация молекул SmO, и поэтому выход ионов SmO⁺ проходит через максимум, как часто наблюдается при ПИ молекул [15].

Подобная форма зависимостей тока ПИ от T для кривых 1 и 2 подтверждает справедливость высказанного нами ранее предположения, что молекулы SmO диссоциируют на W быстрее, чем десорбируются ионы Sm⁺ [3], а относительное положение этих кривых указывает на преобладание при ЭСД из слоя Sm, адсорбированного на окисленном W, выхода молекул SmO по сравнению с выходом атомов Sm.

Таким образом, показано, что ЭСД из слоя Sm, адсорбированного на поверхности окисленного W, приводит к десорбции атомов Sm после возбуждения уровня $5pSm$ и к десорбции молекул SmO после возбуждения уровня $5pW$.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 03-02-17523) и Российской государственной программы „Поверхностные атомные структуры“ (ГК № 1152).

Список литературы

- [1] Ageev V.N., Kuznetsov Yu.A. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 13. С. 86.
- [2] Ageev V.N., Kuznetsov Yu.A., Madey T.E. // J. Vac. Sci. Technol. 2001. V. A19. N 4. P. 1481.
- [3] Ageev V.N., Kuznetsov Yu.A., Potekhina H.D. // ФТТ. 2003. Т. 45. В. 5. С. 157.
- [4] Ageev V.N., Kuznetsov Yu.A., Madey T.E. // Surf. Sci. 2003. V. 528. № 1-3. P. 47.

- [5] *Агеев В.Н., Кузнецов Ю.А.* // ФТТ. 2002. Т. 44. В. 6. С. 1121.
- [6] *Ageev V.N., Kuznetsov Yu.A., Madey T.E.* // J. Electr. Spectr. 2003. V. 128. N 2–3. P. 223.
- [7] *Агеев В.Н., Кузнецов Ю.А., Потехина Н.Д.* // ФТТ. 2001. Т. 43. В. 10. С. 1894.
- [8] *Зандберг Э.Я., Тонтегоде А.Я., Юсифов Ф.К.* // ЖТФ. 1971. Т. 41. В. 11. С. 2420.
- [9] *Агеев В.Н., Ионов Н.И.* // ФТТ. 1969. Т. 11. В. 11. С. 3200.
- [10] *Ицук В.А.* Автореферат канд. диссертации. Институт физики АН УССР. Киев, 1971.
- [11] *Агеев В.Н., Бурмистрова О.П., Кузнецов Ю.А.* // ФТТ. 1987. Т. 29. В. 6. С. 1740.
- [12] *Knotek M.L.* // Spr. Ser. Chem. Phys. 1983. V. 24. P. 139.
- [13] *Зандберг Э.Я., Ионов Н.И.* Поверхностная ионизация. М.: Наука, 1969. 432 с.
- [14] *Levin R.D., Lias S.G.* // Natl. Stand. Ref. Data Ser. 1982. V. 71. P. 526.
- [15] *Блашенко Н.М., Ионов Н.И., Лаврентьев Г.Я.* // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 7. С. 392.