

СТИМУЛИРОВАННАЯ ДЕСОРБЦИЯ ВОЗБУЖДЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ ОКИСЛЕННОГО ВОЛЬФРАМА ПОКРЫТОГО НАТРИЕМ.

Альдургам Н., Гарга И.И., Кляп М.П., Поп С.С.

Методом электрон-фотонной спектроскопии исследована электронно-стимулированная десорбция возбужденных частиц из поверхности окисленного вольфрама покрытого слоем Na. Идентифицированы излучатели наблюдаемых в спектрах электрон-фотонной эмиссии линий и полос, проведены измерения зависимости их интенсивности от энергии и плотности тока бомбардирующих электронов, времени облучения поверхности электронами и расстояния от поверхности мишени. Оценены сечения электронно-стимулированной десорбции возбужденных атомов H, молекул OH и CN, скорости отлета их от поверхности мишени. Проанализированы возможные каналы образования возбужденных десорбирующихся частиц под действием бомбардирующих электронов.

ВВЕДЕНИЕ

Облучение поверхности твердых тел электронами сопровождается десорбцией частиц в нейтральном и заряженном состояниях. К настоящему времени наиболее изучена электронно-стимулированная десорбция (ЭСД) заряженных частиц [1]. Хотя ЭСД нейтралей обычно намного больше чем ионов, детектирование нейтралей сопряжено с известными методическими и техническими трудностями. Однако, десорбирующиеся нейтральные частицы с определенной вероятностью покидают поверхность твердых тел в возбужденных состояниях [1-6]. Поэтому возможно прямое

исследование ЭСД возбужденных нейтральных частиц оптическим методом по детектированию их характеристического излучения методом электрон-фотонной спектроскопии (ЭФС) [6].

Методом ЭФС наиболее широко исследована ЭСД из щелочногалоидных кристаллов [2-5] и лишь недавно данным методом предпринята попытка исследовать ЭСД из поверхности металла [6]. Данная работа является продолжением исследований, начатых ранее в [6] с целью изучения возможностей получения оптическим методом новых фундаментальных знаний об ЭСД.

ТЕХНИКА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА.

Эксперименты проводились в камере высоковакуумной установки, описанной в [7]. В качестве мишени использовалась вольфрамовая фольга с преимущественным выходом на поверхность грани (100). Поверхность мишени очищалась, окислялась и покрывалась слоем Na с концентрацией $\sim 4 \times 10^{17}$ атом/см² по методике детально описанной в [6]. Давление остаточных газов в камере установки $p \leq 1 \times 10^{-6}$ Па, а ее масс-спектрометрический анализ показал наличие молекул H₂, H₂O, N₂, CO, C₂H₄. Мишень облучалась пучком электронов с энергией E от нескольких эВ до 1500 эВ. Плотность тока электронов в пучке от 0,1 до 5 мА/см² регулировалась величиной накала катода электронной пушки. Независимое перемещение электронной пушки вокруг образца и вращение самого образца позволили облучать поверхность мишени под различными углами α и регистрировать наблюдаемое свечение поверхности при различных углах ϑ , в том числе вдоль поверхности ($\vartheta=90^\circ$), т.е. наблюдать характеристическое излучение возбужденных отлетающих частиц из ореола над мишенью. Возможность вращения мишени на угол $\vartheta \leq 100^\circ$ позволила измерить зависимость интенсивности наблюдаемых спектральных линий и молекулярных полос как функцию расстояния от поверхности путем затенения части ореола свечения самой мишенью.

Излучение в области длин волн от 200 до 800 нм анализировалось с помощью светосильного монохроматора МДР-2 с разрешением порядка 2 нм и детектировалось фотозлектронным умножителем ФЭУ-106 в режиме счета отдельных фотонов. Относительная спектральная чувствительность системы регистрации определялась при помощи эталонных источников излучения СИ 10-300 и ДВС-25.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Ранее проведенные исследования [6] оптического излучения при бомбардировке поверхности окисленного вольфрама, покрытого слоем натрия показали, что в спектре электрон-фотонной эмиссии помимо непрерывного излучения наблюдаются характеристические спектральные линии и полосы. Они испускаются возбужденными частицами, отлетающими от поверхности мишени в результате электронно-стимулированной десорбции. На рис.1 приведен спектр такого излучения при наблюдении свечения вдоль поверхности мишени. В этом случае непрерывное излучение, локализованное на бомбардируемой поверхности, не собирается оптической системой. Уточнена идентификация излучателей атомных линий и молекулярных полос, приведенных ранее в [6]. В исследуемой спектральной области длин волн обнаружены атомные линии водорода (H _{α} , H _{β} , H _{γ} , H _{δ}), натрия (Na I 589,6/589,0 нм), а также молекулярные полосы радикалов OH ($A^2\Sigma \rightarrow X^2\Pi$ с $\lambda_{\max} \approx 308$ нм) и CN ($B^2\Sigma \rightarrow X^2\Sigma$ с $\lambda \approx 387$ нм).

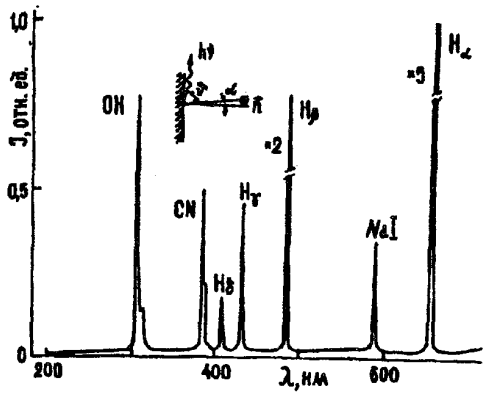


Рис. 1. Спектр свечения возбужденных нейтральных частиц, отлетающих от окисленной поверхности (100) W, покрытой слоем натрия ($E = 1000$ эВ, $\alpha = 5^\circ$, $\gamma = 80^\circ$).

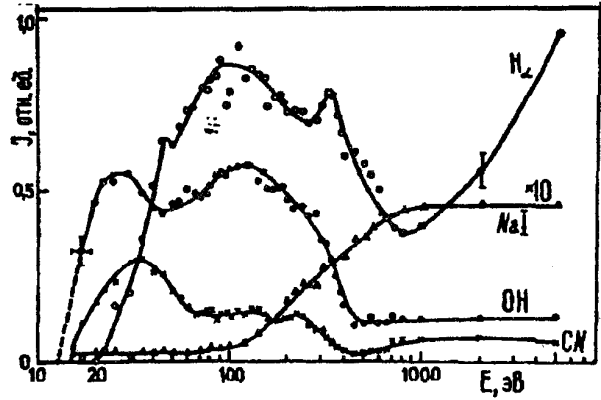


Рис. 2. Зависимости интенсивности J атомных линий H_α , NaI и молекулярных полос OH, CN от энергии бомбардирующих электронов E .

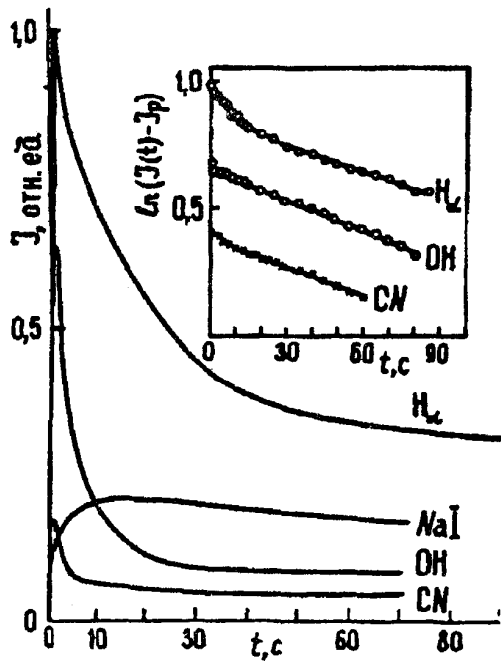


Рис. 3. Зависимости интенсивности J атомных линий H_α , NaI и молекулярных полос OH, CN от времени t облучения поверхности мишени электронами ($E = 300$ эВ, $\alpha = 5^\circ$, $\gamma = 80^\circ$).

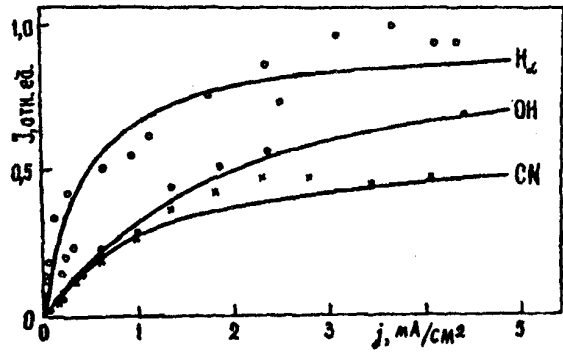


Рис. 4. Зависимости интенсивности J атомной линии H_α и молекулярных полос OH, CN от плотности тока j бомбардирующих электронов ($E = 300$ эВ, $\alpha = 5^\circ$, $\gamma = 80^\circ$). Точки - Эксперимент, сплошные кривые - расчет зависимости $J(j)$, согласно выражению (5).

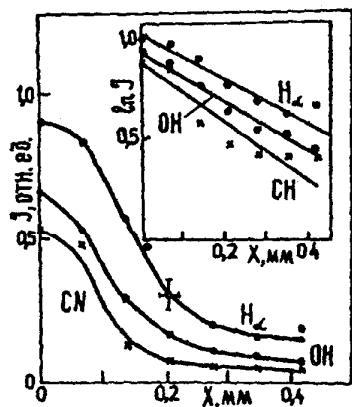


Рис. 5. Зависимости интенсивности J атомной линии H_{α} и молекулярных полос OH , CN от расстояния x до поверхности мишени ($E=300$ эВ).

На рис.2 приведены зависимости интенсивности атомных линий и молекулярных полос от энергии бомбардирующих электронов E . Видно, что, кроме атомной линии NaI , эти зависимости имеют немонотонный характер. Появление молекулярных полос OH , CN и атомных линий водорода характеризуется низкими пороговыми энергиями и резко выраженным припороговым максимумом. Заметим, что зависимости $J(E)$ для линий водорода и молекулярной полосы OH по общему виду подобны функциям возбуждения при диссоциативном возбуждении молекул H_2O электронным ударом [8]. Однако, при больших энергиях бомбардирующих электронов нами наблюдается второй максимум для атомной линии H_{α} при $E \approx 340$ эВ и для полосы OH при $E \approx 120$ эВ.

Поведение $J(E)$ для атомной линии NaI иное. Появление этой линии не имеет явно выраженного порога, а ее зависимость (E) в области малых энергий ($0-100$ эВ) подобна Зависимости выхода возбужденных атомов NaI при ЭСД из поверхности $NaCl$ [5].

Низкий энергетический порог появления атомных линий и молекулярных полос возбужденных десорбирующихся частиц и немонотонный характер поведения их зависимостей $J(E)$ свидетельствует о том, что наблюдаемая десорбция не связана с тепловым действием электронного пучка. Об этом свидетельствуют также приведенные на рис. 3 зависимости интенсивности атомных линий и молекулярных полос от времени t облучения исследуемой поверхности электронами. В момент включения электронного пучка интенсивность атомных линий водорода и молекулярных полос OH , CN скачком возрастает до максимального значения, а затем экспоненциально убывает до некоторого постоянного во времени уровня J_p . Поведение же зависимости $J(t)$ для атомной линии NaI другое. С началом бомбардировки мишени электронами интенсивность этой линии плавно возрастает до некоторого значения и далее практически не изменяется со временем облучения.

По-видимому, такое поведение измеренных зависимостей $J(t)$ свидетельствует о том, что при бомбардировке исследуемой мишени электронами вначале происходит интенсивная десорбция атомов водорода и молекул OH , CN адсорбированных на поверхности из остаточной атмосферы в камере установки. ЭСД атомов Na начинает регистрироваться лишь после десорбции верхних слоев адсорбированных на поверхности газовых частиц. Далее ЭСД атомов Na остается постоянной во времени, поскольку их количество на поверхности мало меняется.

Таким образом, нами установлена ЭСД возбужденных частиц двух видов: 1) ЭСД возбужденных частиц, адсорбированных из остаточной атмосферы на поверхности окисленного вольфрама покрытого слоем натрия и 2) ЭСД возбужденных атомов натрия, напыленных на окисленную поверхность вольфрама. Поскольку наряду с процессом ЭСД частиц остаточной атмосферы наблюдается постоянная их адсорбция

на поверхность напыленного натрия из окружающей атмосферы, корректные исследования ЭСД возбужденных атомов натрия в данных экспериментальных условиях затруднены. Поэтому далее более подробно рассмотрим лишь первый вид ЭСД возбужденных атмосферных частиц.

Для описания степени покрытия Θ поверхности мишени частицами остаточной атмосферы воспользуемся лэнгмюровскими выражениями [6]:

$$d\Theta / dt = -j\sigma\Theta / e + \eta(1 - \Theta)\Phi / N_0 \quad (1)$$

где j - плотность тока бомбардирующих электронов; σ - полное сечение ЭСД; e - заряд электрона; η - коэффициент прилипания адсорбирующихся частиц; N_0 - поверхностная концентрация центров адсорбции; Φ - поток частиц газовой фазы, падающих на поверхность из остаточной атмосферы в камере установки.

Изменение такого покрытия во времени описывается выражением:

$$\Theta(t) = \Theta_p(j) + [\Theta_0 - \Theta_p(j)] \exp(-t/t_{\text{хар}}) \quad (2)$$

где Θ - степень покрытия в начальный момент бомбардировки; $\Theta_p(j)$ - равновесное покрытие, которое образуется через некоторое время бомбардировки мишени, когда поток десорбирующихся частиц уравнивается потоком адсорбирующихся на поверхность частиц из окружающей атмосферы;

$$t_{\text{хар}} = (j\sigma/e + \eta\Phi/N_0)^{-1} \quad (3)$$

Из выражения (2), когда выполняется условие $d\Theta/dt = 0$ степень равновесного покрытия $\Theta_p(j)$ определяется выражением:

$$\Theta_p(j) = A/(A + j), \quad (4)$$

где $A = e\eta\Phi/\sigma N_0$.

Регистрируемая интенсивность J возбужденных адсорбирующихся частиц будет пропорциональна плотности тока бомбардирующих электронов, причем $I(j) \sim j\Theta_p(j)$ в случае, когда в результате ЭСД частицы сразу отлетают от поверхности мишени в возбужденных состояниях и если в результате ЭСД частицы покидают поверхность мишени в основном состоянии, а возбуждаются бомбардирующим пучком электронов в газовой фазе над поверхностью образца.

На рис.4 приведены зависимости интенсивности J атомной линии H_α и молекулярных полос OH , CN от плотности тока j бомбардирующих электронов в условиях установившегося равновесного покрытия Θ_p . Видно, что измеренные зависимости $J(j)$ хорошо аппроксимируются теоретически рассчитанной зависимостью:

$$I(j) \cong j\Theta_p(j) = jA/(A + j) \quad (5)$$

Следовательно, в условиях данного эксперимента регистрируемые атомы водорода и молекулы OH , CN десорбируют из поверхности мишени уже в возбужденных состояниях. Этот вывод согласуется и с данными о зависимостях $J(t)$. Учитывая, что $J(t) \sim i\Theta(t)$, из (2) находим:

$$\ln[J(t) - J_p] = \text{const} - t/t_{\text{хар}}, \quad (6)$$

где J_p - интенсивность спектральной линии или полосы соответствующей возбужденной частицы при равновесном покрытии ими поверхности мишени Θ_p . Как видно из рис.3 экспериментальные зависимости $J(t)$ в логарифмическом масштабе хорошо аппроксимируются линейной зависимостью (6). Это позволяет, используя выражения (6) и (3), оценить полные сечения σ ЭСД атомов водорода и молекул OH , CN . В исследуемом случае $\sigma_H \approx \sigma_{OH} \approx \sigma_{CN} \approx 2 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$. Полученные значения сечения ЭСД

возбужденных нейтральных частиц согласуются по порядку величины с сечениями ЭСД нейтралей [1].

На рис.5 приведена зависимость интенсивности J наблюдаемых атомных линий и молекулярных полос как функция расстояния x от поверхности образца. Спад интенсивности согласно [4] аппроксимируется выражением:

$$J(x) = J(x_0) \exp[-(x-x_0) \cdot v \cdot \tau], \quad (7)$$

где $J(x_0)$ - интенсивность на расстоянии x_0 , τ - радиационное время жизни возбужденных атомов и молекул, а v - среднее значение скорости, перпендикулярной поверхности образца. Используя известные времена жизни [9], согласно (7) были оценены значения скорости отлета возбужденных частиц: $v_H \approx 8 \cdot 10^3$ м/с; $v_{OH} \approx v_{CN} \approx 2 \cdot 10^3$ см, которые согласуются с данными [4].

Таким образом, присутствие Na на поверхности вольфрама приводит к увеличению адсорбции молекул остаточной атмосферы в камере установки и является причиной появления возбужденных десорбирующихся частиц, стимулированных электронной бомбардировкой. Измеренные зависимости интенсивности регистрируемых молекулярных полос и атомных линий от энергии, плотности тока и времени облучения электронами показали, что десорбирующиеся частицы отлетают от поверхности мишени уже в возбужденных состояниях. По-видимому, покрытие поверхности вольфрама слоем Na приводит к уменьшению работы выхода, что, скорее всего, и приводит к увеличению вероятности возбуждения десорбирующихся частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев В.Н., Бурмистрова О.П., Кузнецов Ю.А. Десорбция, стимулированная электронными возбуждениями //УФН.- 1989.- 158, вып.3. С.389-420.
2. Tolk N.H., Feldman L.C., Kraus J.S., at all. Optical Radiation from Electron-Stimulation of Excited Particles //Phys. Rev.Lett. 1981.- V.46.- No2.- P.166-171.
3. Avouris Ph., Beigang R., Bozso F., Walkup R. The kinetic and internal energies of $OH(A^2\Sigma^+)$ produced by electron-stimulated desorption from TiO_2 , NaCl and SrF_2 surfaces //Chem.Phys.Lett. 1986.- V.129, No5.- P.505-510.
4. Beigang R., Bozso F., Avouris Ph., Walkup R. Electron stimulated desorption of excited OH radicals from SrF surfaces //Nucl.Instr. and Meth. in Phys.Research.- 1986.- B13.- P.541-544.
5. Haglung Jr.R.F., Albrige R.Gr., Cherry D.W., at all. Mechanisms of electron - and photon-stimulated desorption in alkali halides/ //Nucl.Instr. and Meth. in Phys. Research.- 1986.- B13.- P.525-532.
6. Кляп М.П., Гарга И.И., Дробнич В.Г. и др. Электронно-стимулированная десорбция возбужденных частиц с окисленного вольфрама, покрытого натрием //Изв.АН СССР.Сер.физ.- 1990.-54, N7.- С.1369-1373.
7. Крицкий В.А., Кляп М.П., Поп С.С. Установка для исследования электронно-фотонной эмиссии тв.тел /,ПТЗ.- 1985.- N3.- С.149-151.
8. Tsurubuchi S., Iwai T., Horie T. Comparison between Crossed-Beam and Target-Gas Method for Study on Optical Excitation Function in Electron-Impact of HO_2 //Jor. of the Phys. Soc. of Japan.- 1973. V.34, No1.- P.166-171.
9. Хьюбер К.П., Герцберг. Константы двухатомных молекул.- М.: Мир, 1984. - С.408.

SUMMARY

The electron-stimulated desorption (ESD) of excited particles from oxidised surface of sodium covered tungsten was studied. The intensities of spectral lines H, Na, OH, CN as functions of energy, current density, irradiator time of bombarding electrons and distance from the target surface were investigated. The ESD cross sections of excited H atoms, OH and CN molecules as well as their escape velocities were estimated. The results are discussed in terms of possible desorption mechanisms.