

10; 12

© 1992

ВТОРИЧНАЯ ИОН-ИОННАЯ ЭМИССИЯ С ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА, УСИЛЕННАЯ РЕЗОНАНСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

И.В. Закурдаев, Д.Е. Миловзоров,
В.А. Шишляков

Вторичная ион-ионная эмиссия (ВИИЭ) является мощным инструментом для исследования поверхностных свойств твердых тел и взаимодействия ускоренных ионов с поверхностью [1]. Однако из-за низких значений коэффициента ВИИЭ и резкой зависимости его от элементного состава и условий на поверхности достоверность исследований значительно снижается [2].

В настоящей работе предлагается использовать для повышения коэффициента ВИИЭ с поверхностей металлов резонансное возбуждение распыляемых атомов излучением перестраиваемого лазера с длиной волны, соответствующей переходу электрона в атоме с основного на возбужденное состояние, энергия ионизации с которого меньше работы выхода металла, с последующим туннелированием возбужденного электрона в поверхность металла. На рис. 1 изображена схема процесса ВИИЭ с лазерным резонансным возбуждением в системе металл-атом для натрия.

Оценим эффективность туннельной ионизации с резонансным лазерным возбуждением. Вероятность проникновения электрона сквозь одномерный потенциальный барьер $D(x)$ можно найти, воспользовавшись приближенным соотношением Вентцеля, Крамера и Бриллюэна (ВКБ) [3]:

$$D(x) = \exp\left(-\left(\frac{8m}{\hbar}\right)^{1/2} \int_{x_1}^{x_2} (V(x) - E)^{1/2} dx\right), \quad (1)$$

где $V(x)$ и E - потенциальная и кинетическая энергия электрона, m - масса электрона, \hbar - постоянная Планка, деленная на 2π , x_1 и x_2 - точки пересечения потенциального барьера на уровне энергии E . Представив потенциальный барьер в виде прямоугольника с высотой I и шириной x , получим

$$D(x) = \exp\left(-\left(\frac{8m}{\hbar}\right)^{1/2} I^{1/2} x\right), \quad (2)$$

где I - потенциал ионизации атома с уровня, на который переводится электрон резонансным лазерным излучением с энергией

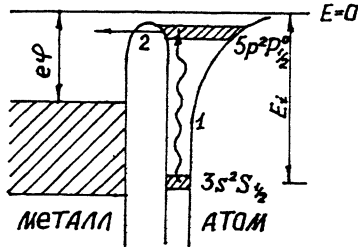


Рис. 1. Схема резонансной ионизации атома натрия. $e\varphi = 2.75$ эВ работа выхода, $E_i = 5.138$ эВ – энергия ионизации; 1 – возбуждение электронного перехода в атоме резонансным лазерным излучением с энергией фотона $\hbar\omega$, 2 – туннелирование возбужденного электрона в поверхность металла.

фотона $\hbar\omega$ $I = I_i - \hbar\omega$, где I_i – потенциал ионизации атома, ω – частота лазерного излучения, \hbar – постоянная Планка, деленная на 2π , x – расстояние от атома до поверхности.

Определим вероятность ионизации $P(x)$ на определенном отрезке траектории атома, проходящего со скоростью v_a от распыляемой ионным пучком поверхности до точки x_a у поверхности;

$$P(x) = 1 - \exp\left(-\int_0^{x_a} \frac{D(x)\nu dx}{v_a}\right), \quad (3)$$

где ν – частота, с которой электрон внутри атома ударяется о барьер, $\nu = 10^{16}$ с $^{-1}$ [3]. В результате подстановки (2) в (3) и интегрирования последнего получим

$$P(x) = 1 - \exp\left(\left(\frac{\hbar}{8m}\right)^{1/2} \frac{\nu}{v_a I^{1/2}} \left(\exp\left(-\left(\frac{8m}{\hbar}\right)^{1/2} I^{1/2} x_a\right) - 1\right)\right); \quad (4)$$

x_a можно представить как $x_a = v_a \tau_a$, где τ_a – длительность импульса лазерного излучения, осуществляющего резонансное возбуждение распыляемого атома у поверхности.

Таким образом,

$$P(\tau_a) = 1 - \exp\left(\left(\frac{\hbar}{8m}\right)^{1/2} \frac{\nu}{v_a I^{1/2}} \left(\exp\left(-\left(\frac{8m}{\hbar}\right)^{1/2} I^{1/2} v_a \tau_a\right) - 1\right)\right). \quad (5)$$

Для средних скоростей атомов, распыленных килоэлектронвольтовыми ионными пучками $v_a \sim 10^5$ см/с [4], вероятность ионизации близка к единице.

При вероятности возбуждения атомов резонансным лазерным излучением 0.5 (режим насыщения возбуждаемого перехода) [5]. Эффективность ионизации распыляемых атомов может быть близкой к значению 0.5.

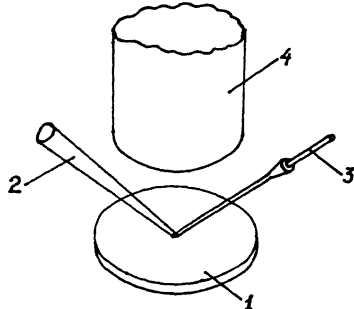


Рис. 2. Схема экспериментов: 1 - поликристаллический образец натрия, 2 - пучок ускоренных ионов, 3 - излучение перестраиваемого лазера, 4 - вторично-электронный умножитель.

На рис. 2 приведена схема экспериментов по исследованию ВИИЭ с резонансным лазерным возбуждением распыленных атомов. Поверхность натрия распылялась ионным пучком аргона со следующими параметрами [6]: энергия ионов - 5 кэВ, ионный ток на образце - 500 мкА, диаметр ионного пучка - 3 мм. Резонансное возбуждение распыленных атомов натрия осуществлялось удвоенным по частоте в кристалле КДР излучением перестраиваемого лазера на растворах органических соединений ЛЖИ-509 с накачкой излучением твердотельного лазера ЛТИ-409. Вторичные ионы регистрировались вторично - электронным умножителем ВЭУ-2А. Углы наклона ионного пучка и лазерного излучения к нормали к поверхности составляла 45° . Эксперимент проводился в вакууме при давлении по остаточным газам 10^{-5} Па.

При настройке излучения перестраиваемого лазера на длину волны $\lambda = 285.3$ нм, соответствующей электронному переходу атома натрия $2p^6 3s^2 S_{1/2}^2 \rightarrow 2p^6 5p^2 P_{1/2}^0$, наблюдалось импульсное увеличение вторичного ионного тока на порядок (по амплитуде импульсов к среднему значению вторичного ионного тока). При сканировании излучения перестраиваемого лазера по длине волны импульсы тока вторичных ионов натрия наблюдались в диапазоне длин волн более широком, чем спектральная ширина линии лазерного излучения - 0.03 нм, что может быть объяснено уширением энергетических уровней атома за счет взаимодействия его с поверхностью металла.

В заключение необходимо отметить перспективность применения резонансного возбуждения атомов лазерным излучением во вторично-ионной масс-спектрометрии для достоверного элементного анализа поверхностных слоев твердых тел и исследований процесса распыления поверхности ионным пучком.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ф е л д м а н Л., М а й е р Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989. 344 с.
- [2] З а к у р д а е в И.В., М и л о в з о р о в Д.Е., Ш е р о з и я Г.А., Ш и ш л а к о в В.А. // ПТЭ. 1991. № 3. С. 115-117.
- [3] М ю л л е р Э., Ц о н ь Т. Автоионная микроскопия. М.: Металлургия, 1972. 360 с.
- [4] З а к у р д а е в И.В., М и л о в з о р о в Д.Е., Ш е р о з и я Г.А., Ш и ш л а к о в В.А. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 14. С. 51-55.
- [5] Л е т о х о в В.С. Лазерная фотоионизационная спектроскопия. М.: Наука, 1987. 320 с.
- [6] К у з ь м и н а М.В., М и л о в з о р о в Д.Е., О р л о в Ю.В., С т р е л ь н и к о в Д.В., Ш и ш л а к о в В.А. // ПТЭ. 1991. № 3. С. 120-121.

Научно-исследовательский
технологический
институт, Рязань

Поступило в Редакцию
3 декабря 1991 г.