

связано с тем, что при 440 К происходит изменение формы поверхности Ферми и взаимное перераспределение ее частей с дырочными и электронными свойствами [8,9] и усилением вклада электронного типа носителей. Имеются работы [4], в которых говорится, что подобные явления происходят, например, при переходах, связанных с образованием волн зарядовой плотности. Аномальное поведение электросопротивления в области температур 300–600 К в интеркалатных соединениях Ag_xTaS_2 , где $M = Ti, Ta, Zr, X = S, Se, Te$ мы планируем обсудить более подробно в следующей работе.

Список литературы

- [1] Sholz G.A., Friend R.F. // *Mat. Res. Bull.* 1980. V. 15. P. 1703–1716.
- [2] Mahy J., Wiegers G.A., van Bolhuis F., Diederling A., Haage R.J. // *Phys. Stat. Sol. (a)*. 1988. V. 107. P. 873–887.
- [3] Guo G.Y., Liang W.Y. // *J. Phys. C: Solid State Phys.* 1987. V. 20. P. 4315–4334.
- [4] Булаевский Л.Н. // *УФН*. 1975. Т. 116. № 3. С. 449–483.
- [5] Friend R.H. // *Rev. Chem. Mineral.* 1982. V. 19. P. 467.
- [6] Суевалов С.А., Конев В.Н. // *ФТТ*. 1993. Т. 35. № 1. С. 228–229.
- [7] Титов А.Н., Биккин Х.М. // *ФТТ*. 1992. Т. 34. № 4. С. 1316–1318.
- [8] Bouwmeester H.J.M., van der Lee A., van Smaalen S., Wiegers G.A. // *Phys. Rev. B*. 1991. V. 43. N 12. P. 9431–9435.
- [9] Wiegers G.A., Meerschaut A. // *Manuals Science Forum*. 1992. 100 & 101. Ch. 2. P. 1–72. Preprint.

Уральский государственный университет
им. А.И.Горького
Екатеринбург

Поступило в Редакцию
15 февраля 1994 г.

© *Физика твердого тела*, том 36, № 9, 1994
Solid State Physics, vol. 36, N 9, 1994

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ СЕЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТИТАНОМ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 240–1500 eV

С.В.Некипелов, В.Н.Сивков

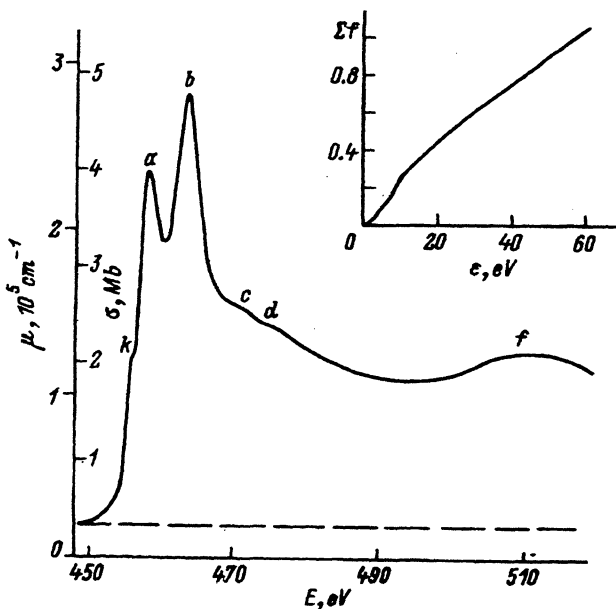
Настоящая работа является продолжением проведенных нами ранее исследований [1–6] спектральных зависимостей сечения поглощения ультрамягкого рентгеновского излучения в области порогов ионизации внутренних оболочек атомов в молекулах и твердых телах. Проведение абсолютных измерений сечения поглощения в области ближней тонкой структуры рентгеновских спектров поглощения в веществе требует разработки методик оценки фонового излучения и измерений концентрации поглощающих атомов или молекул в исследуемом образце. С целью определения сечения поглощения металлического титана в области энергии 240–1500 eV в данной работе проведены измерения плотности, исследование структуры и состава свободных металлических пленок титана, приготовленных методом термического испарения титана в вакууме, а также измерения их коэффициентов поглощения в

широкой области энергий квантов как на тормозном излучении, так и на рентгеновских монохроматических линиях. Методики приготовления исследованных образцов в виде свободных пленок металлического титана и абсолютных измерений коэффициентов поглощения подробно описаны в работе [4].

Измерение плотности титановых пленок толщиной 800–2000 Å проводилось с использованием метода взвешивания для определения поверхностной плотности δ и метода многочечевой интерферометрии для измерения толщины пленок d . Плотность титановой пленки определялась из соотношения $\rho = \delta/d$ с относительной погрешностью не более 30%. Полученные результаты показали, что в пределах погрешности измерений плотность пленки на зависит от толщины и имеет значение $\rho = 4.7 \text{ g/cm}^3$, близкое к плотности массивного титана $\rho_0 = 4.54 \text{ g/cm}^3$.

Исследования структуры и химического состава титановых пленок проводились методами рентгеновской дифрактометрии и эмиссионного спектрального анализа, результаты которых позволяют полагать, что приготовленные методом термического испарения в вакууме тонкие титановые пленки являются аморфными и не содержат примесей атомов других элементов в концентрациях, больших 0.01–0.02%.

Исследования спектральной зависимости коэффициентов поглощения свободных металлических титановых пленок проводились на рентгеновском спектрометре-монохроматоре РСМ-500 методом прямого фотопоглощения на тормозном излучении в области $\text{Ti}L_{2,3}$ -порога ионизации с энергетическим разрешением $\Delta E = 0.3 \text{ eV}$ и на рентгеновских монохроматических линиях в интервале энергий квантов 240–1500 eV.



Спектральные зависимости коэффициента поглощения μ и сечения поглощения σ металлического титана в области $L_{2,3}$ -края поглощения.

Точкой отмечены значения δ , измеренные на рентгеновских монохроматических линиях. На вставке — спектральная зависимость суммы сил осцилляторов Σf для подболочки титана, ϵ — энергия фотоэлектрона, сосчитанная от края поглощения k .

Сечения поглощения для металлического титана, измеренные на рентгеновских характеристических линиях

Энергия E , eV	Сечение σ , Mb
248.0	1.12
259.7	1.07
277.4	0.93
284.4	0.93
302.7	0.98
311.3	0.88
341.3	0.71
395.4	0.52
452.2	0.47
525.3	2.20
572.9	2.20
704.8	1.46
810.9	1.07
851.5	0.74
1485.6	0.24

Полученные в настоящей работе результаты по спектральному ходу сечения поглощения μ и сечений поглощения σ тонких свободных титановых пленок в области $TiL_{2,3}$ -края поглощения показаны на рисунке, а данные измерений на монохроматических линиях в широком интервале энергий квантов приведены в таблице. При этом сечения поглощения рассчитывались по формуле $\sigma = \mu m_a / \rho$, где m_a — масса атома титана. Следует заметить, что измеренные σ хорошо сшиваются с экспериментальными результатами в области $M_{2,3}$ -порога ионизации [7] и согласуются с данными других измерений [8]. Из рисунка видно, что тонкая структура $L_{2,3}$ -спектра поглощения металлического титана включает в себя край поглощения K , интенсивные полосы a и b , слабые пики c и d и широкую полосу поглощения f . Наблюдаемая ближняя тонкая структура спектра интерпретируется [3,4] как электронные переходы с $2p_{3/2}$ - и $2p_{1/2}$ -уровней в свободные $3d$ -состояния титана (полосы a и b), а полосы c и d — как те же переходы, но с одновременным возбуждением валентного электрона. Наплыв K связывается с краем поглощения $2p_{3/2}$ -электронов титана в свободные состояния зоны проводимости, а широкая полоса f — как первая EXAFS-осцилляция.

Полученные нами данные по сечениям поглощения металлического титана позволяют, используя связь между σ и спектральной плотностью сил осцилляторов df/dE [9] (E — энергия рентгеновского кванта)

$$\sigma (\text{Mb}) = 1.098 \cdot 10^{-16} (\text{cm}^2 \cdot \text{eV}) df/dE,$$

рассчитать спектральную плотность df/dE , а затем путем интегрирования вычислить сумму сил осцилляторов $\Sigma f(\epsilon)$ (ϵ — энергия фотоэлектрона выше $L_{2,3}$ -края поглощения) для $L_{2,3}$ -подоболочки металлического титана. Полученная спектральная зависимость $\Sigma f(\epsilon)$ выше

TiL_{2,3}-края поглощения приведена на вставке к рисунку. При этом вклад поглощения 3p-электронов титана определялся путем экстраполяции σ из длинноволновой области (штриховая линия на рисунке).

Нами проведена оценка величины суммы сил осцилляторов для L_{2,3}-подболочки с использованием данных работы [10] для поглощения в области TiK-края поглощения для экстраполяции σ в коротковолновой области, которая оказалась равной 5.8, что близко к количеству 2p-электронов в атоме титана (6).

Список литературы

- [1] Сивков В.Н., Акимов В.Н., Виноградов А.С., Зимкина Е.М. // Опт. и спектр. 1984. Т. 57. № 2. С. 265-268.
- [2] Акимов В.Н., Виноградов А.С., Павлычев А.А., Сивков В.Н. // Опт. и спектр. 1985. Т. 59. № 2. С. 342-347.
- [3] Сивков В.Н., Акимов В.Н., Виноградов А.С. // Опт. и спектр. 1987. Т. 63. № 2. С. 275-278.
- [4] Сивков В.Н., Виноградов А.С. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 3. С. 897-901.
- [5] Виноградов А.С., Духняков А.Ю., Ипатов В.М., Павлычев А.А., Сивков В.Н. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 2. С. 400-405.
- [6] Виноградов А.С., Акимов В.Н., Некипелов С.В., Павлычев А.А., Жаде-нов А.В. // Опт. и спектр. 1992. Т. 72. № 5. С. 1094-1101.
- [7] Sonntag B., Haensel R., Kunz C. // Solid St. Comm. 1969. V. 7. N 3. P. 597-599.
- [8] Kuser D.E. // Proc. 6th Int. Conf. at X-ray Optics and Microanalysis / Ed. G.Shinoda, K.Kokra and I.Ickinokawa. Univ. Tokyo Press. 1972. P. 1762-1768.
- [9] Фано У., Купер Л. Спектральное распределение сил осцилляторов в атомах. М.: Наука, 1972. 200 с.
- [10] Henke B.L., Lee P., Tanaka T.J., Chimabukuro R.L. // Atomic Data and Nuclear Data Tables. 1982. V. 27. N 1. P. 1-144.

Сыктывкарский государственный университет

Поступило в Редакцию
28 февраля 1994 г.