

## АННИГИЛЯЦИЯ ПОЗИТРОНОВ В ПЛЕНКАХ МЕТАЛЛОВ

К.А.Валиев<sup>1)</sup>, В.И.Гольданский, Ю.А.Новиков<sup>1)</sup>, А.В.Раков<sup>1)</sup>,

М.К.Филимонов, В.П.Шантарович

Наблюдаются особенности в угловых распределениях аннигиляционных фотонов субмикронных пленок металлов, которые коррелируют с работой выхода позитронов для этих металлов.

В последнее время все большее внимание в физике твердого тела уделяется исследованию поверхностных слоев вещества. При этом важная роль отводится методам позитронной аннигиляции<sup>1)</sup>. Однако основным направлением применения позитронных методов в этой области до настоящего времени было либо изучение микроповерхности с применением временной или угловой техники в мелкодисперсных слоях с развитой удельной поверхностью, либо изучение макроповерхности, но в дорогостоящем варианте позитронных пучков<sup>2)</sup>, когда наблюдается энергетический спектр или аннигиляционные характеристики позитронов, вы-

---

1) Институт общей физики АН СССР.

ходящих в результате обратной (по отношению к направлению первоначального позитронного пучка) диффузии с исследуемой поверхностью.

В данной работе мы изменили обычный метод угловой корреляции к изучению макроповерхности, причем к наблюдению аннигиляционных характеристик той части позитронов, которые не вышли за пределы образца, а аннигилируют, будучи захваченными в его приповерхностном слое.

В опыте с плоско-щелевой геометрией, примененной в данном случае, исследуется, как известно,  $z$ -компонента импульса электронов вещества. Ось  $z$  перпендикулярна исследуемой поверхности образца, которая проходит через геометрический центр установки и щель неподвижного детектора.

Исследуемые образцы представляли собой систему: пленка на подложке, для которой в работе <sup>3</sup> была рассмотрена "двухслойная" модель, согласно которой угловое распределение аннигиляционных фотонов (УРАФ) для образца с пленкой ( $f_{12}(\theta)$ ) может быть определено через УРАФ подложки ( $f_1(\theta)$ ) и вещества пленки ( $f_2(\theta)$ )

$$f_{12}(\theta) = (1 - \beta)f_1(\theta) + \beta f_2(\theta),$$

где  $\beta$  – вероятность аннигиляции позитронов в пленке. Для тонких пленок

$$\beta = \mu \rho d,$$

где  $\mu$  – массовый коэффициент ослабления пучка позитронов;  $\rho$  – плотность вещества пленки;  $d$  – толщина пленки.

Проведенные измерения <sup>3</sup> УРАФ для образцов с пленками меди и алюминия толщиной 6 мкм показали хорошее согласие с моделью для пленки меди, но для пленки алюминия точности измерения не хватило.

В рамках "двухслойной" модели, в предположении, что все ошибки статистические и минимальная толщина  $d_{min}$ , исследуемая методом УРАФ, определяется из условия

$$\beta = 2\sigma_\beta,$$

где  $\sigma_\beta$  – ошибка определения  $\beta$ , было получено выражение для  $d_{min}$

$$d_{min} = \frac{2}{\mu \rho} \frac{[\sigma_1^2(\theta) + \sigma_{12}^2(\theta)]^{1/2}}{|f_2(\theta) - f_1(\theta)|},$$

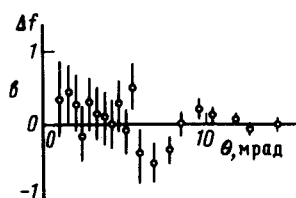
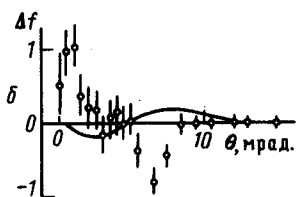
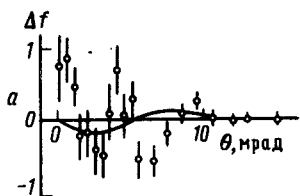
где  $\sigma_1(\theta)$  и  $\sigma_{12}(\theta)$  – ошибки измерения УРАФ подложки и образца с пленкой. Отсюда следует, что при точности эксперимента  $\sim 1\%$  минимальная толщина пленки меди составляет 1 мкм, а алюминия – 20 мкм.

В этой связи были проведены некоторые методические усовершенствования <sup>4</sup>, которые позволили довести точность измерения до 0,1% в максимуме УРАФ, что дало возможность перейти к измерениям с субмикронными пленками.

В данной работе использовались пленки меди, тантала и хрома толщиной 0,3 мкм, нанесенные на подложку из монокремния КЭФ-4,5 с ориентацией поверхности (100), на которую для предотвращения нарушения поверхности при нанесении пленок металлов была нанесена пленка окиси кремния толщиной 0,5 мкм. Измерения проводились с шагом по углу 0,5 – 1,0 мрад (угловое разрешение 0,7 мрад). Источником позитронов служил изотоп <sup>22</sup>Na активностью 10 МКюри. Достигнутая в эксперименте точность составила 0,3%.

На рисунке показаны разности  $\Delta f$  УРАФ образцов с пленками ( $f_{12}(\theta)$ ) меди (а), тантала (б) и хрома (в) на подложке и подложки ( $f_1(\theta)$ ). Сплошной линией на рисунке показан вид этой разности в случае выполнения "двухслойной" модели. Обращает на себя внимание не только то, что экспериментальная разность  $\Delta f$  не совпадает с теоретической, но и имеет существенно различный характер для разных пленок. Так для меди (работа выхода позитрона

$\varphi_+$  равна  $0,8 \text{ эВ}^5$ ) имеется два узких пика при  $\theta = 0$  и  $4$  мрад. Статистическая обеспеченность такого разделения достаточно высока (гипотеза о статистическом разбросе величины  $\Delta f$  около нулевого значения дает  $\chi^2 = 37$  при числе степеней свободы 19). Для тантала ( $\varphi_+ = 0,0 \text{ эВ}^5$ ) есть только один пик при  $\theta = 0,5$  мрад, а для хрома ( $\varphi_+ = -2,2 \text{ эВ}^5$ ) никаких особенностей в пределах ошибок нет.



Разность угловых распределений аннигиляционных фотонов (УРАФ) для образцов с пленками меди (а), тантала (б) и хрома (в) толщиной  $0,3 \text{ мкм}$  на подложке из монокремния с ориентацией поверхности (100) и подложки. Сплошная линия соответствует этой разности при выполнении "двухслойной" модели <sup>3</sup>

Мы считаем, что появление пиков в  $\Delta f$  для меди и тантала связано с аннигиляцией позитронов или атомов позитрония на поверхности металла. Отрицательная работа выхода позитрона для хрома способствует эмиссии позитронов в вакуум и, тем самым, удалению их от поверхности металла.

Выражаем благодарность Т.М.Махвиладзе и М.Е.Сарычеву за полезные обсуждения.

#### Литература

1. Гольданский В.И., Левин Б.М., Шантарович В.П. Поверхность, 1982, № 5, 1.
2. Vehanen A., Mäkinen J., Hautojärvi P., Huomo M., Lahtinen J., Nieminen R.M., Valkealahti S. Phys. Rev., 1985, В32, 7561.
3. Аравин Л.Г., Новиков Ю.А., Филимонов М.К., Шантарович В.П. Поверхность, 1987, № 3 (в печати).
4. Аравин Л.Г., Киреев Н.В., Новиков Ю.А., Филимонов М.К., Шантарович В.П. Заявка на изобретение № 4039485. Положительное решение от 12.09.86.
5. Positrons in Solids, ed P.Hautojärvi, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 1979, 12, 190.