

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ КВАНТОВОГО РАЗМЕРНОГО ЭФФЕКТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСТРОВКОВЫХ ПЛЕНОК ВИСМУТА.

Аббосов Б.А., Бабков В.К., Салихов Т.Х., Свяжина М.В.
Физико-Технический ин-т АН Республики Таджикистан,
ТГПУ, Душанбе

Известно, что физические свойства пленок отличаются от свойств массивного материала, если толщина пленки (t) мала по сравнению с характерным параметром, например, длиной свободного пробега электронов (L) [1]. При переходе к t порядка де-бройлевской длины волны электрона (λ) возможно создание материалов с принципиально новыми свойствами и в свойствах электронов проявляется квантовый размерный эффект (КРЭ). Спектр энергии электронов разбивается на подзоны, и в спектрах поглощения КРЭ проявляется на фоне прямых межзонных переходов в виде тонкой структуры [2]. Bi является "классическим" материалом для исследования КРЭ. Однако, спектральное наблюдение КРЭ (наиболее полное) в Bi затруднено малой шириной запрещенной зоны. Можно ожидать, что для пленок Bi и вдали от края поглощения, в видимой и ближней ИК областях спектра, также должен проявляться КРЭ. Целью настоящей работы являлась экспериментальная проверка этого предположения. Расчеты энергии прямых межзонных переходов (ПМП) для Bi выполнены в [3]. Основными условиями для наблюдения КРЭ являются: однородность пленки по толщине, совершенство структуры и малое размытие уровней энергии электронов (kT) по сравнению с интервалом (δE) между подзонами: $kT \ll \delta E$, что выполняется при $T \approx 4\text{K}$. Пленки Bi получают применяя технологию МЛЭ с "hot-wall", (температура подложек $\approx 250^\circ$) [4]. Температура образца при съёмке спектров 4-10 К. Перепад температур $\sim 500\text{K}$ и разница ТКР вызывают искажающие зонную структуру напряжения, минимальные при островковой структуре пленки, возникающей на SiO_2 -подложках при $t \approx 25\text{nm}$ (островки коалесцируют вдоль общего направления).

Спектры получены на спектрофотометре "Спекорд М-40" для

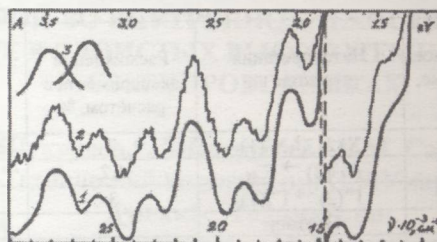


Рис. 1. Спектр поглощения пленки висмута толщиной 20 нм при 4,1 К, 1-без поляризатора, 2- поляризационные измерения, проявление КРЭ. 3 – полоса $E \approx 3,2$ эВ поляризована и вызвана островковой структурой

энергий 1,36-6,20 эВ.

В спектрах присутствуют полосы, связанные с рассеянием. Их положение рассчитывалось по теории Миэ и зависит от размеров и формы островков. Поляризационные измерения позволяют выделить компоненту напряженности вектора электрического поля световой волны, перпендикулярную к плоскости плёнки (E_{\perp}), что обеспечивает направленность движения электронов в поле волны и исключает "размазывание" КРЭ по толщине. Пространственное положение образца в криостате жестко фиксировано, но не является строго определённым относительно направления измерительного луча.

Поэтому, изменяя угол анализатора (α) с шагом $\delta\alpha$, находят значение α , при котором E_{\perp} максимально. Тогда изменение проекции квазиимпульса электрона на нормаль к плоскости плёнки будет максимально, как и, следовательно, изменение амплитуды осцилляций КРЭ. Поляризационные измерения для разделения полос ПМП и выявления структуры КРЭ проводились при температурах 4,1-77 К (анализатор - кальцит, поляризатор - сам образец) при $\delta\alpha = 5^\circ$ в диапазоне $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ (тогда нуль анализатора выбирается произвольно). Тонкая структура КРЭ в виде осцилляций наблюдалась на фоне полос ПМП и полос рассеяния, обусловленных островковой структурой. Амплитуда осцилляций КРЭ уменьшалась при нагреве от $T_{\min} \approx 7$ К системы плёнка-подложка вследствие поглощения энергии измерительного луча вплоть до достижения равновесной температуры (T_p). При 78 К осцилляции КРЭ практически неразличимы. Оценка T_p в зависимости от условий эксперимента даёт: $11\text{К} \leq T_p \leq 42\text{К}$. Результаты измерений в

Таблица. Энергии максимумов поглощения в спектрах островковых плёнок V_2O_5 .

Измеренное значение энергии, эВ	Расчетное значение, эВ	Интерпретация перехода [3]	Расхождение эксперимента с расчётом, %	Дополнения
5,52	5,89	$X(2) \rightarrow X^+(1)$	7	$T_p(\text{УФ}) > T_p(\text{В})$
4,37	4,42	$\Gamma_6^+(2) \rightarrow \Gamma_{45}$	1,2	$T_p(\text{УФ})$
3,95	4,08	$\Gamma^+(2) \rightarrow \Gamma_6(1)$	3	$T_p(\text{УФ})$
3,46	-	Плазмон	-	Резонанс <i>Mie G.</i>
3,20	-	Плазмон	-	Резонанс <i>Mie G.</i>
2,90	2,85 (\perp)	$\Gamma_6^+(1) \rightarrow \Gamma_{45}$	1,7	$T_p \approx 78 \text{ K}$, $\alpha = 110^\circ$
2,86	2,85 (\perp)	$\Gamma_6^+(1) \rightarrow \Gamma_{45}$	0,31	
2,83	2,79	$L^+(3) \rightarrow L^+(1)$	0,90	
2,694	2,6905	$L^+(3) \rightarrow L^+(1)$	0,12	
2,64	2,79	$L^+(3) \rightarrow L^+(1)$	1,2	Взято среднее расчетное значение энергий переходов
	2,69	$L^+(3) \rightarrow L^+(1)$		
	2,57	$\Gamma_6^+(2) \rightarrow \Gamma_6(1)$		
	2,56	$\Gamma_6^+(2) \rightarrow \Gamma_6(2)$		
	2,56 (?)	$\Gamma_{45}^+ \rightarrow \Gamma_{45}$		
	2,51 (\perp)	$\Gamma_6(2) \rightarrow \Gamma_{45}^+$		
2,34	2,27 (\perp)	$\Gamma_{45}^+ \rightarrow \Gamma_6(2)$	3	
2,08	-	Плазмон	-	Резонанс <i>Mie G.</i>
1,773	1,76	$\Gamma_6(2) \rightarrow \Gamma_6^+(1)$	0,7	Разрешение При $T_p, \alpha = 20^\circ$
1,754	1,75 (\perp)	$\Gamma_6^+(2) \rightarrow \Gamma_{45}$	0,2	
1,475	1,47	$L^+(3) \rightarrow L(2)$	0,4	

сопоставлении с данными [3] представлены в таблице.

[1] Комник Ю.Ф. Физика металлических плёнок. М.: Атомиздат. 1979. с. 263.

[2] Коган В.Г., Кресин В.З.- ФТТ. 1969. т.11. в.11. с. 3230-3235.

[3] Дорофеев Е.А., Фальковский Л.,А. - ЖТЭФ. 1984. т. 87. в. 6 (12). с. 22202-13.

[4] Бабков В.К., Салихов Т.Х., Свяжина М.В.- Вестник ТГПУ. 2001. № 1. с. 17-20