

Магистрант ФЭиА, М.А. Давлатов,
 науч. рук. проф. Д.А. Ташмухамедова, ТашГТУ

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР, СОЗДАНЫХ В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ ПЛЕНОК Si И GaAs

Одно из перспективных направлений опто-, микро- и нанoeлектроники – создание на поверхности полупроводниковых материалов нанопленок и отдельных нанокристаллических фаз [1 – 3]. При этом немаловажное значение имеют однотипность и близость параметров кристаллической решетки матрицы и наноматериала, что в определенных условиях дает возможность получить однородные и регулярно расположенные на поверхности нанокристаллические фазы.

На рис. 1 приведены фотоэлектронные спектры для пленок CoSi_2/Si (100) разной толщины. Наличие основных пиков Si можно объяснить возбуждением электронов из поверхностных состояний (ПС), а также 3p и 3s состояний валентных электронов. Видно, что ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС) для пленки с $\theta > 60 - 70 \text{ \AA}$ мало отличается от спектров «толстой» пленки ($\theta = 500 \text{ \AA}$), полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) [5]. С уменьшением толщины пленки начало спектра (относительно спектра «толстой» пленки) смещается в сторону больших энергий, т.е. наблюдается увеличение фотоэлектронной работы выхода. Это увеличение при $\theta = 12 - 15 \text{ \AA}$ составляет $\sim 0,4 - 0,5 \text{ эВ}$ ($\Phi = 4,9$ для «толстой» пленки; 4,5 для «тонкой» пленки). Одновременно происходило изменение кривой энергетического распределения фотоэлектронов (увеличивается интенсивность максимумов и минимумов), что обусловлено перераспределением валентных электронов. По-видимому, с уменьшением толщины пленок валентные электроны преимущественно концентрируются на определенных участках валентной зоны, а на других участках – резко уменьшаются. Можно полагать, что энергетическое распределение валентных электронов будет приближаться к дискретному. Аналогичное состояние можно прогнозировать и для электронного состояния зоны проводимости [6].

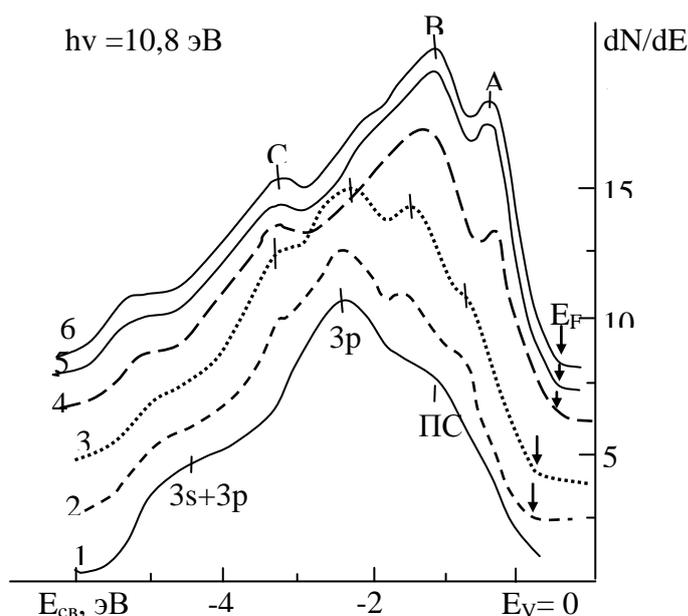


Рис. 1. Спектры УФЭС пленки CoSi_2/Si (100) с $d, \text{ \AA}$: 1 – 0 (подложка Si), 2 – 12, 3 – 50, 4 – 0, 5 – 120, 6 – 500 (МЛЭ пленка). А, В, С – пики характерные для толстой пленки CoSi_2 ; E_F – уровень Ферми; E_v – потолок валентной зоны; E_{cb} – энергия связи электронов, $h\nu$ – энергия фотонов; dN/dE – первая производная от распределения электронов по энергиям,

В табл. 1 приведены оценочные значения ширины запрещенной зоны E_g для нанопленок и нанокристаллов разных размеров. Значение E_g определено на основе совместного анализа УФЭС и спектроскопии упруго отраженных медленных электронов (СУОЭ) [4]. По спектрам фотоэлектронов определены положения уровня потолка валентной зоны E_V и уровня Ферми E_F . E_V определялся по формуле $E_V = h\nu - \Delta E$; где ΔE – ширина спектра. Положение E_F исследуемого образца определяли по смещению начала спектра фотоэлектронов относительно E_F чистого Si. Ширина запрещенной зоны оценивалась по первому пику спектра упруго отраженные медленных электронов (УОЭ). Этот пик примерно соответствует началу неупругого взаимодействия первичных электронов с электронами твердого тела и возникает при переходе электронов из E_V на дно зоны проводимости E_C . Контрольные измерения проводились методом поглощения света в области $\lambda = 3000 - 10000$ нм ($E_\lambda = 0,4 - 1,2$ эВ).

Таблица 1

Значения E_g для нанопленок и нанокристаллов CoSi_2/Si

Параметр зоны	Нанопленки θ , нм				Нанокристаллы d , нм ($\theta = 5$ нм)			
	0 (Si)	2,0 – 2,5	3,0 – 3,5	5,0	0 (Si)	15 – 20	25 – 30	40
E_g	1,11	0,65	0,6	0,5	1,11	1,0	0,9	0,5

Из табл. 1 видно, что в случае нанопленок CoSi_2/Si значение E_g при $\theta = 5,0$ нм составляет 0,5 эВ, что очень близко к E_g «толстой» пленки CoSi_2 [4]. При уменьшении θ , начиная с $\theta = 3 - 4$ нм, наблюдается заметное увеличение E_g и при $\theta = 2,0 - 2,5$ нм достигает $\sim 0,65$ эВ. В случае нанокристаллов CoSi_2 при $d = 40$ нм практически формируется нанопленка, поэтому значение E_g при $\theta = 5,0$ нм составляет 0,5 эВ. Резкое увеличение E_g наблюдается при $d = 25 - 30$ нм, а при $d = 15 - 20$ нм значение E_g составляет 1,0 эВ. Отметим, что в нашем случае эпитаксиальные пленки при $\theta \leq 2$ нм, нанокристаллические фазы при $d \leq 15$ нм CoSi_2 с хорошей стехиометрией не образовались.

Получены наноструктуры трехкомпонентных соединений $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ с толщиной $\theta = 20 - 70$ Å в поверхностной области GaAs имплантацией ионов Al^+ с энергиями от 0.5 до 5 кэВ в сочетании с отжигом. При низких дозах облучения ($D \leq 10^{15}$ см⁻²) формировались нанокристаллические фазы, а при больших дозах ($D \geq 2 \cdot 10^{16}$ см⁻²) нанопленки типа $\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{As}$. Оценочные значения E_g для нанопленки $\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{As}/\text{GaAs}$ с $\theta = 20 - 25$ Å составляли $\sim 2,3$ эВ, а для нанокристалла – 2,9 эВ.

Литература

1. Poole Ch.P., Owens F.J. Introduction to nanotechnology. John Wiley & Sons. 2003; 376 p.
2. Meldrum A., Haglund R.F.Jr., Boatner L.A. and White C.W. Advanced Materials. 13 (19) (2001); 1431–1444.
3. Mikushkin V.M. Technical Physics. 44 (9) (1999); 1077–1080.
4. Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Kurbanov Kh.Kh. //Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 5 (4) (2011); 693p.
5. Эргашов Ё.С., Ташмухамедова Д.А., Умирзаков Б.Е. Получение наноразмерных фаз силицидов металлов в приповерхностной области кремния и изучение их электронных структур методом прохождения света. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. Москва. Россия, 2017; № 4; С. 104 – 108.
6. Ergashov Y.S. Composition and properties of nanoscale Si structures formed on the $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$ surface by Ar^+ ion bombardment. Technical physics, 2017; Vol. 62, No. 5.P. 777 –780.

**ELECTRONIC STRUCTURE OF NANODIMENSIONAL STRUCTURES
CREATED IN THE NEAR-SURFACE REGION OF Si AND GaAs FILMS.**

M.A. Davlatov, D.A. Tashmukhamedova

**Si VA GaAs ПЛЕНКАЛАРИ ЮЗА ҚАТЛАМЛАРИДА ЯРАТИЛГАН
НАНОЎЛЧАМЛИ СТРУКТУРАЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОН ТУЗИЛИШИ**