

**ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКОЙ
ELECTRONIC STRUCTURE OF SURFACES OF SEMICONDUCTORS MODIFIED
BY ION-BOMBARDMENT**

Д.А. Ташмухамедова, М.Б. Юсупжанова, А.Т. Нурматов, Д.А. Мирзаев,
Б.Е. Умирзаков

D.A. Tashmukhamedova, M.B. Yusupjanova, D.M. Muradkabilov, D.A. Mirzaev,
B.E. Umirzakov

Ташкентский Государственный Технический Университет, 100095, ул.
Университетская, 2, Ташкент, Узбекистан, e-mail: ftmet@mail.ru

Nanoscale layers type $MeSi_x$, $Ga_{1-x}Me_xAs$ и $Cd_{1-x}Me_xTe$ were engineered by low-energy ion implantation and after annealing of Si, GaAs and CdTe surfaces. It was shown that the density of valence electrons and parameters of the lattice depend on x and dimensions of nanostructures.

Структурные свойства ионно-имплантированных полупроводников широко исследованы различными группами с помощью таких методов исследования, как дифракция медленных электронов, фотоэлектронная спектроскопия, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, электронная оже – спектроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, дифракция быстрых электронов, рассеяние ионов средних энергии, сканирующая туннельная микроскопия [1, 2]. Однако до сих пор физические особенности квантово-размерных структур, зависимость электронного состояния и других свойств от состава, структуры и размеров наноматериалов, а также зависимость свойств наноматериалов от метода их получения до сих пор до конца не изучены. Практически не разработаны научные основы и не предложены методики создания наноразмерных структур, на различных глубинах приповерхностной области полупроводников, позволяющих повысить эффективность солнечных элементов.

Данная работа посвящена изучению влияния наноразмерных структур созданных в поверхностных слоях Si, GaAs и CdTe методом низкоэнергетической имплантации ионов металлов.

1. Наноразмерные структуры созданные на поверхности Si.

Объектами исследования являлись полированные до зеркального блеска монокристаллические образцы n - тип Si (111) с размерами $1 \times 1 \times 0,2 \text{ см}^3$. Перед ионной

имплантацией образцы очищались прогревом при вакууме $P = 10^{-7}$ Па сначала длительно (2 – 3 часа) при $T = 1100$ К и затем кратковременно при $T = 1400$ К. Имплантация ионов Ni проводилась с энергией $E_0 = 1 - 5$ кэВ при дозе насыщения ($D = (6 - 8) \cdot 10^{16}$ см $^{-2}$). После прогрева при $T = 900$ К Si (111), имплантированного ионами Ni с $E_0 = 1$ кэВ на поверхности формировалась нанопленка NiSi $_2$ с толщиной 35 – 40 Å. Между пленкой NiSi $_2$ (111) и Si (111) формируется переходной слой с толщиной 40 – 50 Å.

На рис. 1 приведены зависимости значений коэффициента неупругоотраженных электронов (НОЭ) η от угла падения φ первичного пучка для чистого Si и NiSi $_2$ /Si (111), снятых при энергии первичных электронов $E_p = 1200$ эВ.

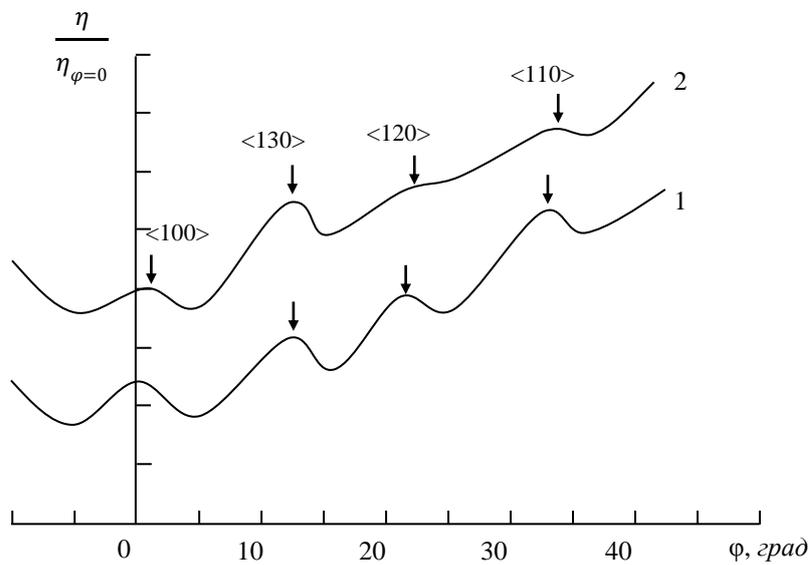


Рис. 1. Зависимости $\eta/\eta_{\varphi=0}$ от угла падения электронов $E_e = 2$ кэВ. 1 – Si; 2 - NiSi $_2$ /Si.

Угол φ определялся относительно нормали образца. Сравнение кривых 1 и 2 показывает, что угловое положение основных пиков Si и NiSi $_2$ /Si хорошо совпадают друг с другом, т.е. тип и постоянные решетки NiSi $_2$ и переходного слоя практически идентичны с таковыми для Si. Что касается изменения состава силицида при изменении концентрации Ni от 30 – 35 ат.% до 0 пока нет однозначного ответа. Можно полагать, что в переходном слое в узлах решетки, в зависимости от концентрации Ni происходит частичная замена Si атомами Ni.

На рис. 2 приведены фотоэлектронные спектры Si и Si с нанопленкой NiSi $_2$, снятые при $h\nu = 10,8$ эВ. По оси абсцисс отложена энергия связи $E_{св}$ электронов, отсчитанная относительно уровня Ферми E_F . Видно, что на кривых энергетического распределения фотоэлектронов (кривые 1 и 2) форма и положения пиков резко

отличаются друг от друга, т.е. образование силицида приводит к существенному изменению плотности состояния валентных электронов кремния. В случае пленки NiSi₂ явно выраженные особенности обнаруживаются при энергиях -1,0; -2,7 и -4,5 эВ. Эти особенности, по-видимому, образуются вследствие гибридизации 3d (3d_{5/2} и 3d_{3/2}) состояния Ni с 3p и 3s состояниями Si.

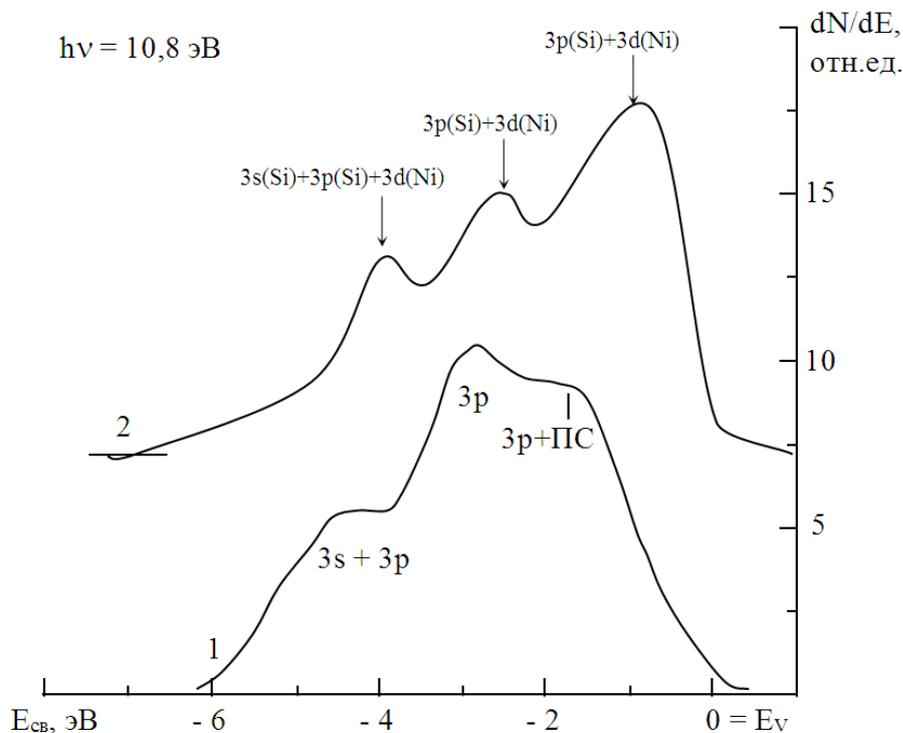


Рис. 2. УФЭС для 1 – Si (111); 2 – нанопленки NiSi₂/Si (111) с $\theta = 35 - 40$ Å.

2. Наноразмерные структуры, созданные на основе GaAs и CdTe.

На рис. 3 приведены зависимости интенсивности проходящего света через пленки GaAs и пленки GaAs с нанокристаллами и с нанопленкой Ga_{0,6}Ba_{0,4}As. Видно, что резкое уменьшение I в случае чистого GaAs происходит, начиная со значения $h\nu \approx 1,3$ эВ, а в случае пленки GaBaAs – со значения $h\nu = 0,8$ эВ. Экстраполяция этих кривых к оси $h\nu$ показывает, что значение E_g для GaAs и GaBaAs равна $\sim 1,4$ эВ и $0,9$ эВ соответственно. В случае GaAs с нанокристаллами GaBaAs (кривая 2) резкое уменьшение интенсивности света наблюдается при двух значениях $h\nu = 1,1$ и $1,3$ эВ. Первое уменьшение связано с поглощением света на участках покрытых нанокристаллами GaBaAs, а второе – на не покрытых нанокристаллами GaBaAs. Таким образом можно полагать, что E_g для нанокристаллов GaBaAs составляет $\sim 1,2$ эВ.

В случае имплантации ионов Ba⁺ в CdTe, после прогрева образовались соединения типа Cd_{1-x}Ba_xTe. В таблице приведены оптимальные режимы

формирования трехкомпонентных наноструктур CdMeTe/CdTe. Из таблицы видно, что значение x и толщина пленки зависят от энергии и дозы ионов Ba^+ . Все эти фазы и пленки были эпитаксиальными.

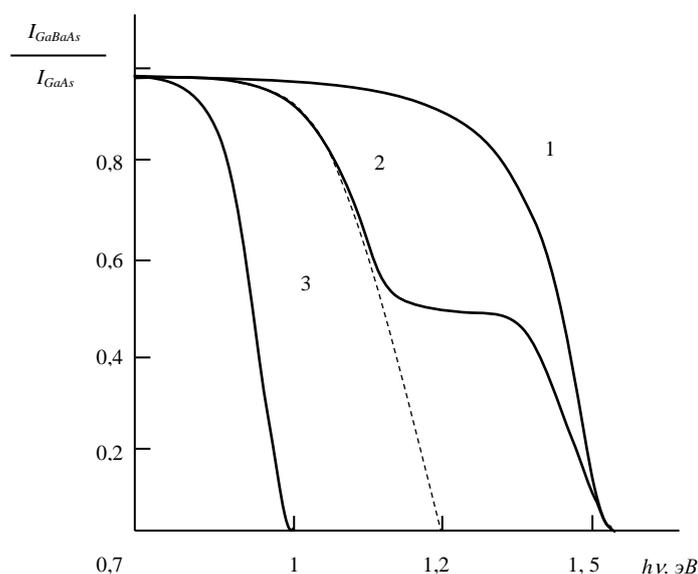


Рис. 3. Зависимости интенсивности I проходящего света от энергии фотонов: 1 – GaAs (111), 2 – GaAs с нанокристаллами $Ga_{0,6}Ba_{0,4}As$, 3 – GaAs с нанопленкой $Ga_{0,6}Ba_{0,4}As$.

Оптимальные режимы формирования трехкомпонентных наноструктур CdMeTe/CdTe(100)

Ионы	E_0 , кэВ	D , cm^{-2}	T_0 , К	Структура	Примерный состав	Толщина пленки d , Å
Ba	1	10^{15}	900	НК	$Cd_{0,6}Ba_{0,4}Te$	35-40
		$6 \cdot 10^{16}$	1000	НП	$Cd_{0,5}Ba_{0,5}Te$	35-40
	3	10^{15}	900	НК	$Cd_{0,7}Ba_{0,3}Te$	50-60
		$8 \cdot 10^{16}$	1000	НП	$Cd_{0,5}Ba_{0,5}Te$	50-60

Результаты экспериментальных исследований показывают, что имплантация ионов металлов в Si, GaAs и CdTe в сочетании с отжигом позволяет получить на их поверхностной области наноразмерные фазы (при низких дозах $D \leq 5 \cdot 10^{15} cm^{-2}$) и пленки ($D > 10^{16} cm^{-2}$) типа $MeSi_2$, $GaMeAs$ и $CdMeTe$.

- [1] Мурадкабилов Д.М., Ташмухамедова Д.А., Умирзаков Б.Е. // Поверхность рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2013. № 10. С. 58 – 62.
- [2] Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Рузибаева М.К., Ташатов А.К., Донаев С.Б., Мавлянов Б.Б. // ЖТФ. 2013, том 83, вып. 9. С. 146–149.

