

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛИЦИДООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТЕРМОДИФФУЗИИ Mn И Ba В КРЕМНИЙ

**Нормуродов Д.А.**

Каршинский государственный университет, г.Карши,  
ул. Кучабаг -17

**Ибадуллаев Ж.**

Каршинский государственный университет, г.Карши,  
ул. Кучабаг -17

**Ташатов А.К.**

Каршинский государственный университет, г.Карши,  
ул. Кучабаг -17

### АННОТАЦИЯ

В настоящей работе исследованы характеристики тонких пленок  $Mn_2Si_3$  и  $BaSi_2$ , полученных с поверхности кремния методом термодиффузии в приповерхностном пограничном слое. Установлено, что интенсивность, энергетическое состояние и форма спектра Оже – электронов и тип химической связи определяются переходным процессом Оже – пик валентных электронов. Комплексный анализ показал, что если меняется только интенсивность, то химической связи нет, если Оже – пик расщепляются, то химическая связь есть.

**Ключевые слова:** гетероструктурных пленок, силицид, нанoeлектроника, эмиссионные свойства, граница раздела, оже-электронные спектры, интенсивность, концентрация.

### ABSTRACT

In this work, we study the characteristics of  $Mn_2Si_3$  and  $BaSi_2$  thin films obtained from a silicon surface by thermal diffusion in a near-surface boundary layer. It has been established that the intensity, energy state and shape of the Auger-electron spectrum and the type of chemical bond are determined by the Auger-peak of valence electrons transient process. A comprehensive analysis showed that if only the intensity changes, then there is no chemical bond, if the Auger peak splits, then there is a chemical bond.

**Keywords:** heterostructural films, silicide, nanoelectronics, emission properties, interface, Auger electron spectra, intensity, concentration.

Получение и изучение свойств тонких гетероструктурных пленок силицидов металлов имеет важное значение для создания новых приборов микро- и наноэлектроники, в частности, сверхвысокочастотных транзисторов, работающих на "горячих" электронах со структурой МДП, ПМП, а также многослойных интегральных схем с высокой плотностью функциональных элементов.

В настоящее время состав и морфология поверхности, эмиссионные свойства ряда силицидов (Ba-Si, Mn-Si, Co-Si, Na-Si, Pd-Si и др.) достаточно хорошо изучены [1-5]. Однако до сих пор не имеется достоверных сведений о концентрационных профилях распределения атомов металла и кремния на границе силицид-кремний, о типах и параметрах решетки силицидов, о степени ионности образующихся связей, об оптических и электрофизических свойствах тонких пленок силицидов, созданных на поверхности монокристаллов Si. Что касается динамики изменения электронной структуры поверхности Si, на различных стадиях формирования гетероструктурных пленок, то для большинства силицидов (в том числе для  $Mn_xSi_y$ ) она практически не исследована.

В данной работе приводятся результаты проведенных экспериментов по изучению: концентрационных профилей распределения атомов на границе раздела металл-кремний, силицид-кремний; морфологии и стехиометрии, кристаллической и электронной структуры поверхности пленок, полученных методом твердофазного осаждения с последующим высокотемпературным прогревом. Были исследованы силициды Mn, Ba, Ni и Pd, сформированные на поверхности Si p- и n-типа. Особое внимание обращено на изучение пленок  $Mn_2Si_3$  и  $BaSi_2$ . В отдельных случаях пленки  $BaSi_2$  были получены методом ионной имплантации.

Напыление Mn на поверхность монокристаллического Si(111) проводилось при комнатной температуре подложки в условиях высокого вакуума ( $P \approx 10^{-6}$  Па). Толщина пленки варьировалась в пределах  $\sim 200-500$  Å. Исследования проводились с использованием метода ЭОС в сочетании с травлением поверхности ионами  $Ag^+$  с энергией 3-5 кэВ. Скорость ионного травления пленок составляла 3-5 Å·мин<sup>-1</sup>. Перед измерением проводилось обезгаживание подложки (кремния), источников Mn и  $Ag^+$  при вакууме не хуже  $P \approx 5 \cdot 10^{-6}$  Па. Образцы кремния сначала подвергались длительному прогреву (10-15 ч) при  $T \approx 1200$  К и кратковременному прогреву (10-15 мин) при  $T \approx 1500$  К. После такой обработки на поверхности Si общая концентрация примесных атомов (O, C) не превышала 1-2 ат.%, а в приповерхностной области толщиной 15-20 Å и более,

их концентрация была ниже предельной чувствительности оже - спектрометра по концентрации ( $\sim 0,5$  ат.%).

Проведён анализ спектров ЭОС атомов Si и Mn. Концентрация атомов в приграничной области силицидных пленок определялась по реперным высокоэнергетическим оже-пикам Mn (590 эВ) и Si (1619 эВ). В расчетах использован метод коэффициентов оже-чувствительности с матричными поправками [6,7].

На рис. 1. приведены оже-электронные спектры кремния, толстой пленки ( $\theta \approx 500 \text{ \AA}$ ) марганца, а также силицида  $\text{Mn}_2\text{Si}_3$ . Спектры Si и Mn хорошо согласуются с известными данными [8], полученными для "чистых" образцов. Видно, что спектр  $\text{Mn}_2\text{Si}_3$  существенно отличается от спектров Mn и Si. В частности, интенсивность всех пиков Mn и Si в силициде значительно в ( $2 \div 3$  раза) меньше, чем в спектрах Mn и Si. В случае пиков типа XVV отличие спектров оже-электронов выявляются не только в изменениях интенсивностей пиков, но и в существенном изменении их положений и формы.

Известно, что изменение интенсивности пиков обусловлены изменением концентрации элементов, а изменение формы пиков - образованием новых соединений. Поэтому образование химических связей и типы образующихся соединений нами оценивались по изменению положения, формы и интенсивности пиков, обусловленных переходами валентных электронов: Si ( $L_{23}VV - 92 \text{ эВ}$ ); Mn ( $M_1M_2V - 40 \text{ эВ}$ ).

На рис. 2.а - приведены изменения интенсивности высокоэнергетических оже-пиков кремния (1619 эВ) и марганца (590 эВ) по глубине для системы Mn – Si ( $d_{\text{Mn}} \approx 200 \text{ \AA}$ ), полученных сразу после напыления пленки. Видно, что в приграничной области системы происходит существенная взаимодиффузия атомов пленки и подложки: глубина диффузии Mn в Si составляет  $\sim 150\text{-}200 \text{ \AA}$ , а Si в Mn –  $50\text{-}60 \text{ \AA}$ . Одновременно изучено поведение пика Si ( $L_{23}VV$ ) (рис.2.б). В процессе ионного травления с ростом глубины слоя наблюдается существенное увеличение интенсивности этого пика, а его форма и положение изменяются незначительно. Поэтому можно полагать, что при комнатной температуре только небольшая часть атомов Mn и Si образует химическую связь.

Прогрев этой системы при увеличении температуры приводил к увеличению глубины диффундирующих атомов и образованию соединений типа  $\text{Mn}_x\text{Si}_y$ .

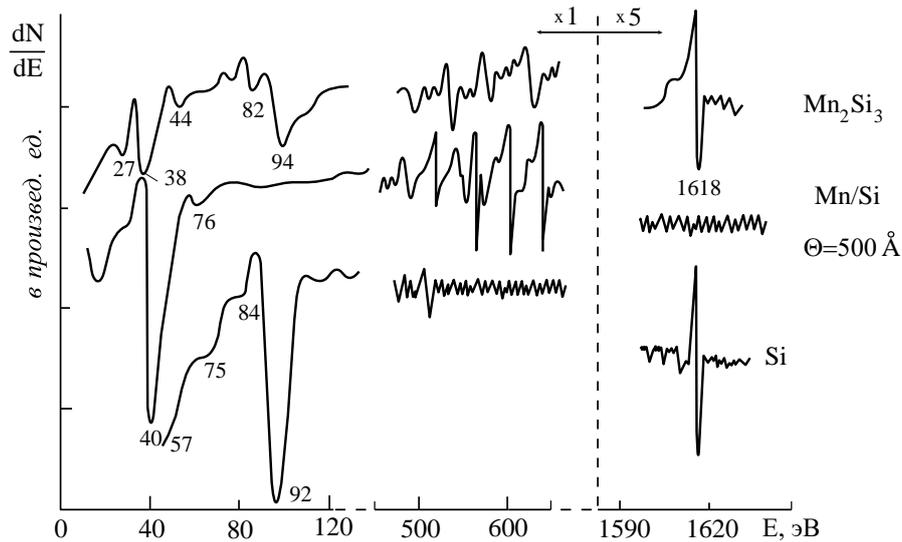


Рис.1. Оже-спектры Si, плёнки Mn/Si и плёнки силицида  $Mn_2Si_3$ .

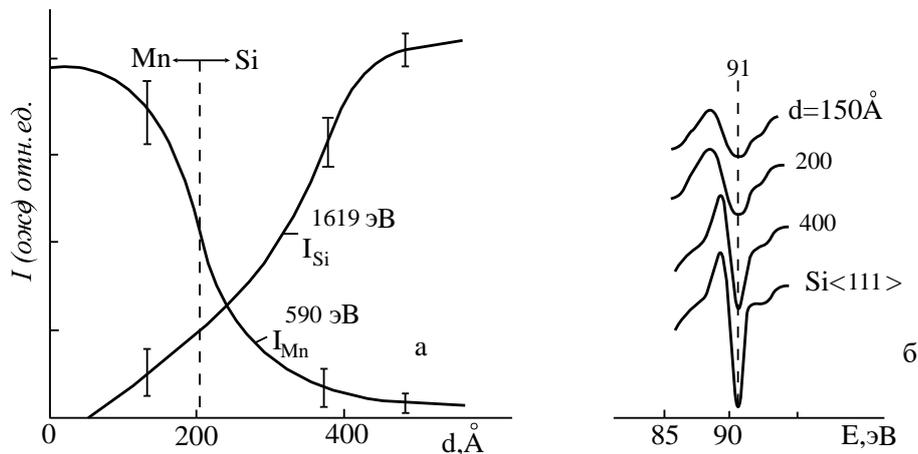


Рис.2. а) Зависимость интенсивности Оже-пигов Mn и Si от глубины системы Si(111) с плёнкой Mn толщиной 200 Å; б) Форма пика  $L_{23}VV$  кремния на различных глубинах системы Mn- Si.

При этом наиболее заметное изменение происходило за первые 2-3ч. прогрева, что связано с упорядочением данных структур. Одновременно оценивались концентрация атомов Mn, химически связанных с атомами Si, и тип образующихся соединений. Такая оценка осуществлялась на основе анализа характеристик пиков типа  $XVV$  Si и Mn. Всесторонний анализ показал (рис. 2.б):

- 1) если изменяется только интенсивность пика Si  $L_{23}VV$ , то химическая связь отсутствует;
- 2) удвоение пика соответствует частичному образованию химической связи (избыток атомов Si). По относительному изменению площадей этих пиков можно было оценить долю атомов кремния, образующих химическую связь;
- 3) если все атомы Si входят в химическую связь, то происходит сдвиг положения пика  $L_{23}VV$  (от 0,5 до 2 эВ) в сторону больших энергий.

Аналогичные результаты получены и для пика  $M_1M_2V$  марганца при 40 эВ.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ: (REFERENCES)

1. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е., Ташатов А.К., Халиков Ю.Д.// Узбекский физический журнал. - Ташкент, 1997. - № 2. - С. 38-41.
2. Халиков Ю.Д., Умирзаков Б.Е., Ташатов А.К., Нормурадов М.Т. //Узбекский физический журнал. – Ташкент, 1998. - №3. - С. 51-53.
3. Халиков Ю.Д., Ташатов А.К., Умирзаков Б.Е., Нормурадов М.Т.// Известия РАН. Серия физическая. – Москва, 1994. - №10 (58). - С. 90-92.
4. Усманов М., Умирзаков Б.Е., Ташатов А.К.// Узбекский физический журнал.– Ташкент, 1995. -№ 6.- С.31-34.
5. Нормурадов М.Т. “Экспериментальное исследование электронной структуры твердых тел. - Ташкент: изд. ТашПИ, 1987. - 56 с.
6. Shimizu R. Quantitative analysis by Auger electron spectroscopy (invited paper).// Jap. J. of Appl. Phys. – 1983. - № 11. - P. 1631-1642.
7. Palmberg P.W. Quantitative Auger electron spectroscopy using elemental sensitivity factors.// J. Vac. Sci. Technol. – 1976. - V.13, № 1. - P. 314-318.
8. Самсонов Г.В. Силициды и их использование в технике. – Киев: Изд. АН УССР, 1959. – 386 с.