

## ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ НА СОСТАВ, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР

Ахмедов А.А.

ассистент

Турсунов А.Р.

ассистент

Тошбобоев Ш.М.

ассистент

Шахрисабзский филиал Ташкентского  
химико-технологического института

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8074711>

### Аннотация

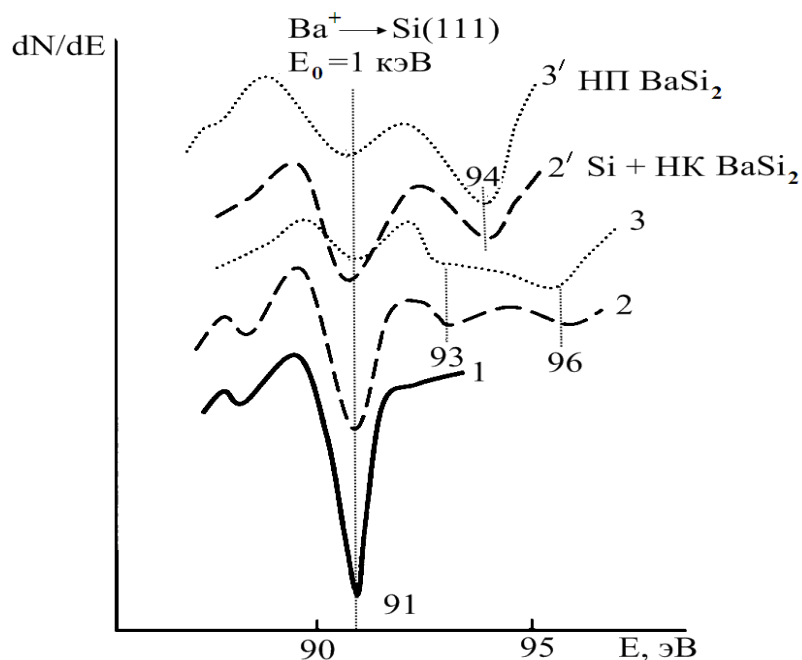
В работе исследовано влияние ионного легирования бором и азотом на интенсивность ФЛ (фотолюминесценция) системы  $\text{SiO}_2:\text{nc-Si}$ , (нановключения кристаллического Si в матрице  $\text{SiO}_2$ ) полученной методом ионной имплантации  $\text{Si}^+$  в  $\text{SiO}_2$ . В качестве исходного материала были использованы пленки диоксида кремния толщиной 0,5 мкм, выращенные на 1- чистый Si (111); 2,  $2^- \cdot D = 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ; 3,  $3^- \cdot D = 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ .

**Ключевые слова:** кремний, пленка, энергия, наноэлектроника, электрон, оксид, полупроводник

Ионная имплантация (ИИ) как способ синтеза металлических наночастиц в объеме диэлектрической матрицы в настоящее время приобретает все большее практическое значение для получения композиционных материалов с нелинейно-оптическими [1] или магнитными [2] свойствами. На рисунке 1.8 приведены оже-спектры кремния, имплантированного ионами  $\text{Ba}^+$  с  $E_0 = 0,5 \text{ кэВ}$ , до и после прогрева. Видно, что уже при  $D = 10^{15} \text{ см}^{-2}$  интенсивность оже-пика  $L_{23}VV$  кремния ( $E = 91 \text{ эВ}$ ) резко уменьшается и появляются новые пики ( $E = 93$  и  $96 \text{ эВ}$ ), характерные для силицидов типа  $\text{Ba}_x\text{Si}_y$  [3]. При дозе  $D = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  пик Si уменьшается до 8 - 10 раз, а интенсивность пиков  $\text{Ba}_x\text{Si}_y$  резко увеличивается. Как видно из рисунка 1.5, положение оже-пиков Si, имплантированного с дозами  $10^{15}$  и  $10^{16} \text{ см}^{-2}$ , практически не отличаются друг от друга, т.е. в обоих случаях образуется соединение  $\text{BaSi}_2$  (пик при  $E = 94 \text{ эВ}$ ). Однако интенсивность оже-пика  $\text{BaSi}_2$  для  $D = 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  (сплошная пленка) в три раза больше, чем для  $D = 10^{15} \text{ см}^{-2}$ , когда  $\text{BaSi}_2$  формируется в виде отдельных островков. Как видно, из рисунка 1.6, после ионной имплантации интенсивности пиков Ca и F существенно уменьшаются (в 2 - 3 раза) и появляются новые пики, характерные для легирующего элемента. Изменение относительной интенсивности токов ионов  $\text{Ba}^+$ ,  $\text{Ca}^+$  и  $\text{F}^+$  в масс-спектре  $\text{CaF}_2$ , легированного ионами Ba с  $E_0 = 0,5 \text{ кэВ}$  и  $D = 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  при прогреве показано на рисунке 1.7. Видно, что при  $T = 600 \text{ К}$  интенсивности приводит к некоторому уменьшению концентрации Ba на поверхности. Следовательно, относительная концентрация атомов Ca и F - немного возрастает. Почти монотонное изменение интенсивности токов всех элементов продолжается до  $T = 900 \text{ К}$ . В интервале  $T = 900 - 1000 \text{ К}$  наблюдается некоторое замедление изменения интенсивности токов. Результаты экспериментов, полученные методами ЭОС, ВИМС, СУОЭ и их анализ показывают, что поверхностная концентрация бария после прогрева при  $T = 1000 \text{ К}$  составляет  $\sim 20 - 25 \text{ ат.}\%$  (от общего числа имеющихся элементов) и практически все

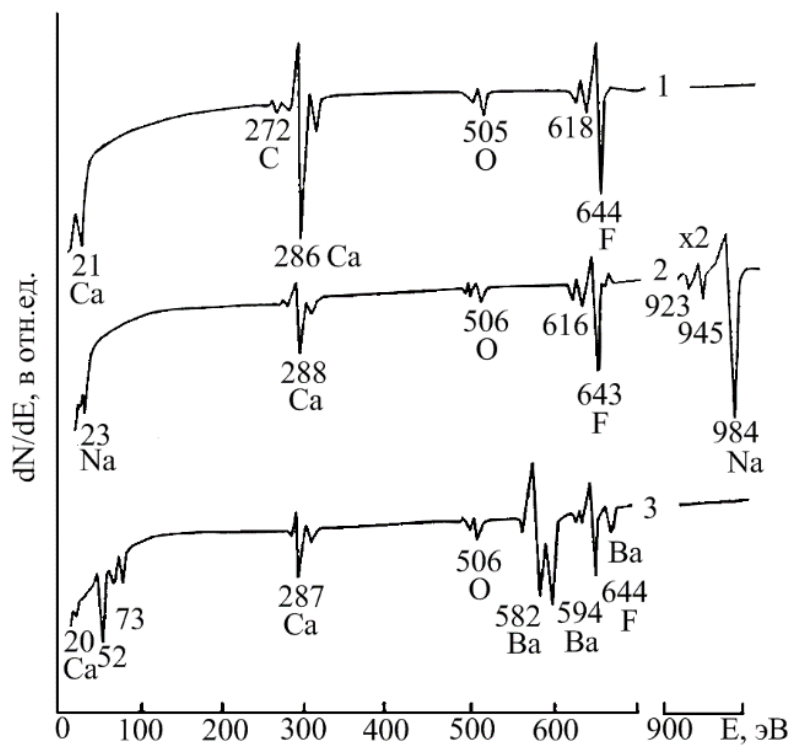
эти атомы входят в химическую связь с атомами матрицы. При этом в приповерхностном слое пленки в основном образуется соединение типа  $Ca_{1-x}Ba_xF_2$ .

В работе [4] исследовано влияние ионного легирования бором и азотом на интенсивность ФЛ (фотолюминесценция) системы  $SiO_2:nc-Si$ , (нановключения кристаллического Si в матрице  $SiO_2$ ) полученной методом ионной имплантации  $Si^+$  в  $SiO_2$ . В качестве исходного материала были использованы пленки диоксида кремния толщиной 0,5 мкм, выращенные во



1 - чистый Si (111); 2, 2'- $D=10^{15} \text{ см}^{-2}$ ; 3, 3'- $D = 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ .

Рисунок 1.5 Оже - пик  $L_{23VV}$  кремния, имплантированного ионами  $Ba^+$  с  $E_0=1 \text{ кэВ}$  с разными дозами, до (2, 3) и после (2', 3') прогрева при  $T = 1200 \text{ К}$ .



$D=8 \cdot 10^{16} \text{ см}^2$ .  $d_n=600 \text{ \AA}$

Рисунок 1.6 Оже - спектры чистой пленки  $\text{CaF}_2$  (кривая 1) и  $\text{CaF}_2$ , легированной ионами  $\text{Na}^+$  (2) и  $\text{Ba}^+$  (3) с  $E_0=0,5 \text{ кэВ}$ .

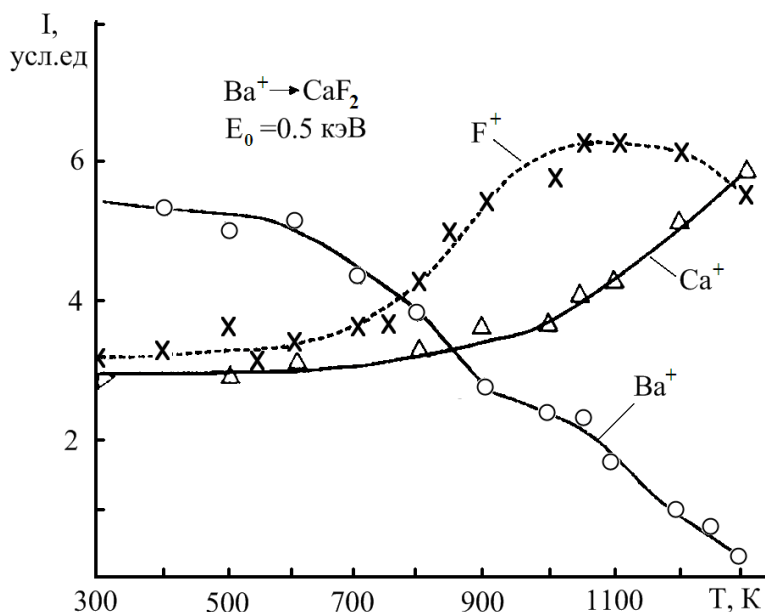


Рисунок 1.7 Изменение интенсивности токов вторичных ионов  $\text{Ba}^+$ ,  $\text{Ca}^+$  и  $\text{F}^+$  при прогреве пленки  $\text{CaF}_2$ , легированной ионами  $\text{Ba}^+$  с  $E_0=0,5 \text{ кэВ}$ .

Влажном кислороде на кремнии КЭФ-12 (100). При травлении  $\text{SiO}_2$  пленка заряжается положительно и вызывает увеличение плотности поверхностных состояний на границе  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ . Образование положительного заряда  $\text{SiO}_2$  объясняется тем, что характеристическое время захвата ловушек в  $\text{SiO}_2$  для дырок значительно

больше, чем для электронов [5]. Минимум сопротивления тестового резистора при ИХТ (ионно-химическое травление) границы  $\text{SiO}_2\text{-Si}$  соответствует положительному заряду ловушек, расположенных вблизи границы раздела

В работе [6] была проведена ионно-лучевая травление (ИЛТ) образцов, имплантированные ионами бора с дозой  $1 \cdot 10^{15} \text{см}^{-2}$  и энергией 60 кэВ на имплантере EXTRION / VARIAN. На рисунке представлены совмещенные на одном графике распределения концентраций имплантированных атомов бора в Si и  $\text{SiO}_2$  до ИЛТ (кривые 1) и после травления (кривые 2). На совмещенных распределениях толщина травленного слоя соответствует расстоянию между максимумами распределений и составляет 150 нм для Si и 127 нм для  $\text{SiO}_2$ . При этом времена ИЛТ были: для Si – 24,4 мин., для  $\text{SiO}_2$  – 12 минут. Приведенные к плотности тока ионного пучка  $1 \text{ мА} / \text{см}^2$  скорости ИЛТ составили 12 и 21 нм /мин для Si и  $\text{SiO}_2$  соответственно. Измеренные скорости ИЛТ при  $85^\circ$  приблизительно в 4 раза меньше, чем при нормальном падении ионного пучка, но вполне приемлемы для проведения процесса планаризации за разумные временные интервалы.

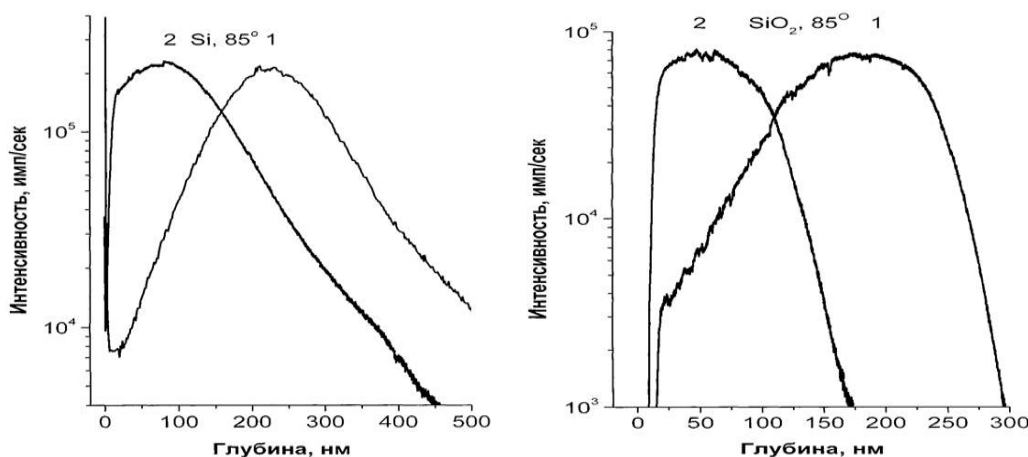


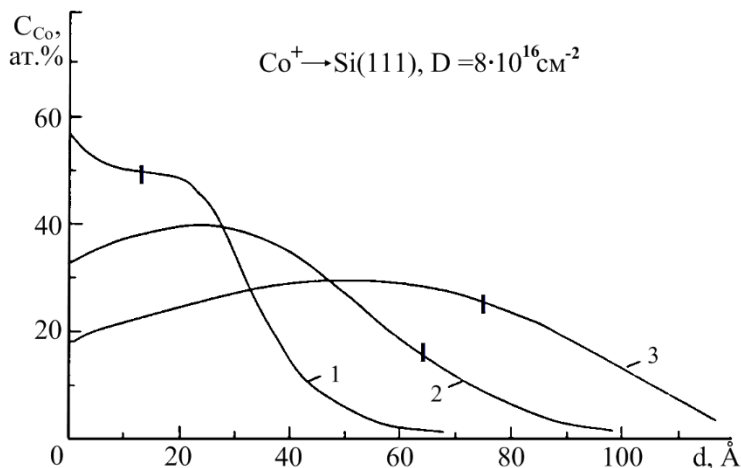
Рисунок 1.3 и 1.4 Распределение концентраций атомов бора, имплантированных в Si и  $\text{SiO}_2$ , до (кривой-1) и после (кривой-2) ионно-лучевого травления.

Отметим, что примененная методика измерения скорости ИЛТ применима для любых углов падения ионного пучка на поверхность.

Методика определения послойных профилей исследуемых мишеней на основе спектроскопии отраженных электронов основана, на взаимно однозначной связи энергетического спектра отраженных электронов с составом мишени. Восстановление послойного состава из спектра отраженных электронов представляет собой обратную задачу, каковая относится к классу некорректных задач математической физики. В работе [7] обратная задача будет решаться методом подбора [8]. Развита методика в этой работе использована для определения толщин пленок золота напыленных на кремниевую подложку. Измерение спектров проводилось на установке Нанофаб 25. Измерения, выполненные при углах:  $120 \pm 15$  градусов, для энергии 15 кэВ дают возможность определения толщин золота до 19 нм.

Покрyтия на основе титана, такие как его оксиды и нитриды, способны улучшить антитромбогенные свойства сердечнососудистых имплантатов [9].

На рисунке 1.8 приведены профили распределения атомов Co по глубине кремния, для Si (111), имплантированного ионами Co с разными энергиями при дозе насыщения [10]. Видно, что с ростом энергии ионов поверхностная концентрация Co уменьшается, а глубина проникновения ионов увеличивается.

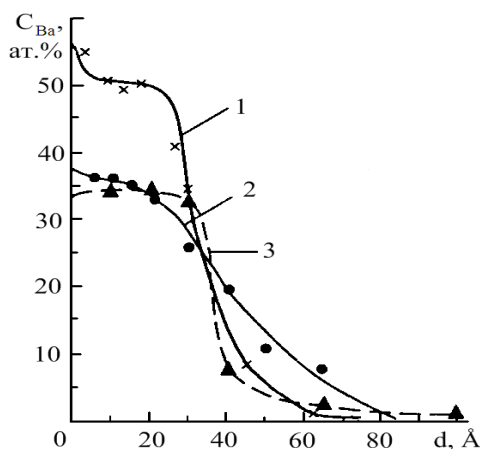


$E_0$ , кэВ: 1 - 0,5; 2 - 3; 3 - 5

Рисунок 1.8 Зависимости  $C_{Co}$  от  $d$  для Si, легированного ионами  $Co^+$ .

Для получения монокристаллических нанокристаллов и нанопленок, а также для целенаправленной модификации свойств их поверхности ионно-имплантированные образцы Si подвергались постимплантационному отжигу [5].

На рисунке 1.9 приведены концентрационные профили распределения атомов Ba по глубине для Si, имплантированного ионами  $Ba^+$  с  $E_0 = 0,5$  кэВ при оптимальной дозе  $D = 6 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup> до и после отжига. Отжиг проводился двумя способами: длительный высокотемпературный прогрев и импульсная лазерная обработка. Видно, что до отжига концентрация Ba на поверхности достигает до 55 - 60 ат.%. В случае лазерного отжига монокристаллический  $BaSi_2$  образовался при плотности энергии  $W = 1,5-2$  Дж·см<sup>-2</sup> (для получения наиболее совершенной пленки необходимо было проводить после лазерной



1 - до отжига; 2 -  $T = 1200$  К; 3 -  $W = 2$  Дж·см<sup>-2</sup>

Рисунок 1.9 Влияние температурного и лазерного отжига на профили распределения атомов бария по глубине для Si, имплантированного ионами  $Ba^+$  с  $E_0 = 0,5$  кэВ и  $D = 6 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup> и кратковременный прогрев при  $T=1000$  К.

обработки, кратковременный прогрев при  $T = 1000$  К). В этом случае, в отличие от температурного отжига, толщина однородной пленки составляла 35-40 Å, а ширина переходного слоя резко уменьшалась до 10-15 Å, однако, появлялась третья слабо легированная ( $C_{Ba} = 2-3$  ат.%) область с шириной  $\sim 100 - 150$  Å.

### Список литературы:

- 1.Арипов У.А., Алиев А.А. Изв. АН УзССР, сер физ-мат. Наук N4, 20, 1964 г.20
- 2.Schrubner E.J., Tharp L.N. Surface Sci., 8, 242,1967.21
- 3.Harri L.A., J. Appl Phys., 39, 1419, 1968.22
- 4.Harri L.A., J. Appl Phys., 39, 1428, 1968.23
- 5.Алиев А.А., Шадиходжаев И. Сб XXII Всесоюз. конференц. по эмиссион. электронике, с.308, Ленинград 1978 г.24
- 6.Hughes A.L. Momillen J.H. Re-Focussing of Electron Paths in a Radial Electrostatic Field // Jurnal. Phys. Rev.-Amsterdam. 1929.Т.34.-Р.291.
- 7.Рик Г.Р. Масс-спектрокопия.// -Москва. 1953.-С.45-55.
- 8.Шпольский Э.А. Атомная физика.// - Москва. Гос.тех.издател.1952.-С.232-236.
- 9.Гапонов. В.И. Электроника.// Москва. Том 1. 1960.-С.46-64.
- 10.Rudberg E. Calculation of resolving power of electrostatic analyses// Pras.Roy.Sec.1930.v.127.-Р.111.
- 11.Harrawer G.A., Phys Rev., 102, 340, 1956.18

