

ПАРАМЕТРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОН ОТ ГЛУБИНЫ ИОННО-ЛЕГИРОВАННОГО СЛОЯ ДЛЯ Si ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

С.Б.Донаев, Б.Е.Умирзаков, Б.Д.Донаев

Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

В настоящее время хорошо изучены состав, структура и свойства нанопленок силицидов металлов. Однако их изменения на различных глубинах переходного слоя силицид-кремний практически не исследованы. Поэтому настоящая работа посвящена изучению зонной структуры на поверхности и фиксированных глубинах приповерхностных слоев Si, имплантированного ионами Ba⁺ с энергией E₀=0,5 кэВ при дозе насыщения. Методами ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии и вторично-эмиссионной спектроскопии исследованы физико-химические свойства приповерхностных слоев Si, имплантированного низкоэнергетическими (E₀≤5 кэВ) ионами Ba⁺. В качестве объекта исследования выбран монокристаллический кремний Si(111) p-типа. Для достижения цели использованы методы оже-электронной спектроскопии (ОЭС), ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС) и спектроскопия упруго отраженных электронов (СУОЭ), что позволяли определить элементный и химический состав, величины квантового выхода, и параметры энергетических зон.

Установлено, что для E₀ = 0,5 кэВ зависимость концентрации атомов Ba⁺ от глубины d имеет ступенчатый характер. До d≈25-30Å C_{Ba} практически не меняется и составляет ~50-55 ат.%. Начиная с d≈25-30Å с ростом глубины C_{Ba} уменьшается и при d≈80Å не превышает 1-2 ат.%, следовательно в этой области изменяются параметры зон и плотности состояний в валентных электронов. Наблюдаемые изменения объясняются как образованием химических связей между атомами Ba и Si, так и возникновением новых электронных состояний в запрещенной зоне из-за наличия несвязанных атомов бария и кремния.

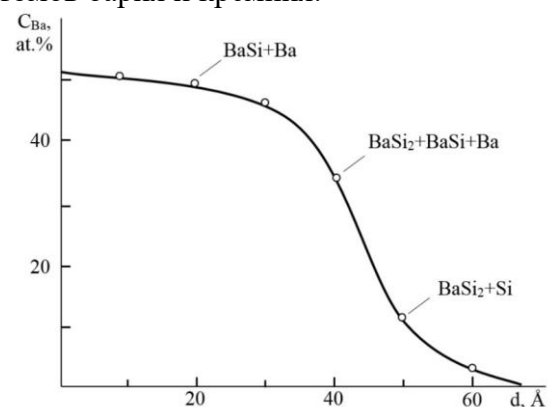


Рис. 1. Профили распределения (а) атомов Ba по глубине для Si, легированного ионами Ba⁺ с E₀=0,5 кэВ при D = 6·10¹⁶ см⁻²

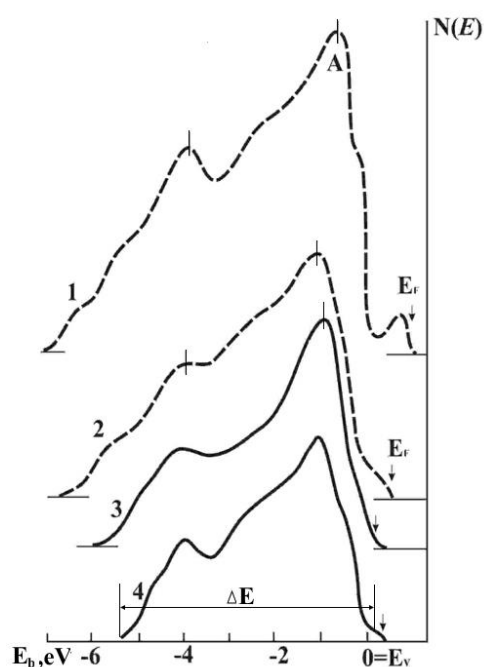


Рис.2. КЭР фотоэлектронов снятых с различных глубин d для Si (111), имплантированного ионами Ba⁺ с E₀=0,5 кэВ при D = 6·10¹⁶ см⁻²: 1 – d = 0 (поверхность); 2 – d = 35 Å; 3 – 80 Å; 4 – чистый Si(111).

Состав и зонно-энергетические параметры для различных фиксированных глубин Si, имплантированных ионами Ba с E = 0,5 кэВ.

d, Å	E _F , эВ	E _v , эВ	E _c , эВ	E _g , эВ	Состав
25	2,3	3,1	2,3	0,8	BaSi+Ba
40	3,2	3,8	2,9	0,8	BaSi+BaSi ₂ +Ba
60	3,6	4,3	3,2	0,9	BaSi ₂ +Si
80	4,3	4,6	3,5	1,1	Si
Чистый Si (111)	4,5	4,8	3,7	1,1	Si

Из таблицы видно, что уровень ферми E_F на глубинах d ≥ 80 Å, где отсутствуют атомы Ba, расположен на ~0,3 эВ выше потолка валентной зоны E_v. При приближении к поверхности, т.е. с ростом концентрации бария, положение уровня Ферми смещается в сторону дна зоны проводимости E_c и при d≤25 Å, где концентрация бария ~50 ат.%, он располагается в нижней части зоны проводимости.

Выводы.

Установлено, что ионная имплантация Ba⁺ в Si приводит к изменению параметров энергетических зон и плотности состояния электронов валентной зоны, к увеличению квантового выхода фотоэлектронов кремния. Наблюдаемые изменения обусловлены как образованием химических связей между атомами Ba и Si, так и возникновением новых электронных состояний в запрещенной зоне из-за наличия несвязанных атомов бария.

Физико-химические свойства кремния, легированного ионами Ba⁺ с E₀=0,5 кэВ высокой дозой, до глубины 25÷30 Å заметно не изменяются, т.е.в приповерхностной области образуется почти однородный слой. Между этим слоем и нелегированной областью имеется переходной слой, толщина которого составляет ~40-50 Å.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Boltaev E.U., Dzhurakhalov A.A. Obtaining of epitaxial films of metal silicides by ion implantation and molecular beam epitaxy // Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology, Volume 101, Issue 1-3, Pages 124-127, DOI: 10.1016/S0921-5107(02)00677-3
- [2]. Umirzakov, B.E., Pugacheva, T.S., Tashatov, A.T., Tashmukhamedova, D.A. Electronic structure and optical properties of CaF₂ films under low energy Ba⁺ ion-implantation combined with annealing // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 166, Pages 572-576, DOI: 10.1016/S0168-583X(99)01151-9
- [3]. Isakhanov Z.A., Mukhtarov Z.E., Umirzakov B.E., Ruzibaeva M.K. Optimum ion implantation and annealing conditions for stimulating secondary negative ion emission // Technical Physics, 2011, 56 (4), pp.546- 549. DOI: 10.1134/S1063784211040177
- [4]. Komarov F. F., Ismailova G. A., Mil'chanin O. V., Parkhomenko I. N., Zhusipbekova F. B., Yar-Mukhamedova G. Sh. Effect of thermal processing on the structure and optical properties of crystalline silicon with GaSb nanocrystals formed with the aid of high-dose ion implantation // Technical Physics volume 60, pages1348–1352(2015), <https://doi.org/10.1134/S1063784215090078>
- [5]. Wittmer R., Ting C.Y., Tu K.N. Atomic motion of dopant during interfacial silicide formation // Thin Solid Films. 1983, Vol.104, № 1-2, p.191-195.
- [6]. Donaev, S.B., Tashatov, A.K., Umirzakov, B.E. Effect of Ar⁺-ion bombardment on the composition and structure of the surface of CoSi₂/Si(111) nanofilms // Journal of Surface Investigation, Volume 9, Issue 2, Pages 406-409, DOI: 10.1134/S1027451015020263.
- [7]. Kuznetsova V.S., Novikov S.V., Nichenametla C.K., Calvo J., Wagner-Reetz M. Structure and Thermoelectric Properties of CoSi-Based Film Composites // Semiconductors, volume 53, pages775–779 (2019), <https://doi.org/10.1134/S1063782619060101>
- [8]. Savenkov G.G., Zegrya A.G., Zegrya G.G., Rumyantsev B.V., Sinani A.B., Mikhailov Yu.M. The Possibilities of Energy-Saturated Nanoporous Silicon-Based Composites (Review and New Results) // Technical Physics, volume 64, pages361–367(2019), <https://doi.org/10.1134/S1063784219030204>
- [9]. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е. Энергетические спектры поверхности твердых тел, имплантированных ионами низких энергий. Ташкент: Фан, 1989. 156 с.
- [10]. Solomkin F.Yu., Orekhov A.S., Novikov S.V., Arkharova N.A., Isachenko G.N., Zaitseva N.V., Sharenkova N.V., Samunin A.U., Klechkovskaya V.V., Burkov A.T. On the Structure and Thermoelectric Properties of CoSi Obtained from a Supersaturated Solution–Melt in Sn // Semiconductors, volume 53, pages761–764(2019), <https://doi.org/10.1134/S1063782619060253>
- [11]. Дубов В.Л., Фомин Д.В. BaSi₂ – перспективный материал для фотоэлектрических преобразователей(обзор)// Успехи прикладной физики, 2016, том 4, № 6
- [12]. Migas D.B., Shaposhnikov V.L., and Borisenko V.E., Phys. Stat. Sol. (B) 7, 2611 (2007).