



Investigation of Physical Properties of NiSi₂/Si Nanofilm

N. M. Mustafoeva

Karshi Institute of Irrigation and Agrotechnology, 180003 Karshi, Uzbekistan

A. K. Tashatov

Karshi State University, 180003 Karshi, Uzbekistan

N. M. Mustafaeva, X. J. Mavlonova

Karshi Institute of Engineering and Economics, 180003 Karshi, Uzbekistan

Abstract

Single epitaxial NiSi₂ nanofilms ~3.0–6.0 nm thick were obtained by low-energy implantation of Ni ions in combination with annealing. The band-energy parameters, the density of electronic states, and the emission and optical parameters of the NiSi₂/Si(111) system have been studied. The composition, band gap, crystal structure, and electrical properties of the Si (111) surface layers of the NiSi₂/Si film system were obtained by ion implantation.

Keywords: NiSi₂ nanofilms, surface structure, Auger electron spectroscopy, solid phase deposition, morphology.

Пленки CoSi₂ и NiSi₂, полученные методами молекулярно-лучевой эпитаксии и твердофазной эпитаксии, широко используются в создании МДП- и ПДП-структур, транзисторов с проникаемой и металлической базами, барьерных слоев и омических контактов. Поэтому получению и изучению состава, структуры и свойств тонких пленок силицидов, особенно CoSi₂, посвящено большое число работ [1-4]. В этих системах толщина пленки силицидов составляет не менее 30-50 нм. Уменьшение толщины этих пленок способствует созданию сверхвысокочастотных транзисторов и интегральных схем, работающих с предельной частотой >100 GHz. Одним из перспективных методов получения нанокристаллов и нанопленок с толщиной $d < 5-10$ нм на поверхности полупроводников является низкоэнергетическая ионная имплантация [5-9].

В настоящей работе впервые исследованы основные физические свойства наноразмерных структур NiSi₂, созданных на поверхности Si методом низкоэнергетической ионной имплантации. Объектами исследования являлись монокристаллические образцы n-типа Si(111). Перед ионной имплантацией кремниевые образцы очищались прогревом при вакууме $P=10^{-7}$ Pa сначала длительно 2-3 ч при $T=1100$ K и затем кратковременно при $T=1400$ K. Имплантация ионов Ni⁺ проводилась с энергией $E_0=1-5$ keV при дозе насыщения ($D=(6-8) \cdot 10^{16}$ cm⁻²). Элементный и химический составы поверхности определяли методом оже-электронной спектроскопии (ОЭС), электронная структура (параметры энергетических зон, плотность состояния валентных электронов)-методами ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС) и снятия зависимости $I(h\nu)$, где I-интенсивность света, проходящая через образец, h - энергия фотонов ($h\nu=0.2-1.5$ eV).

Зонно-энергетические, эмиссионные и оптические параметры Si(111) и пленок NiSi₂/Si(111)

Образец	d, nm	φ , eV	Φ , eV	E_g , eV	χ , eV	σ_m	Y	ρ , $\mu\Omega \cdot cm$
Si(111)	0	4.7	5.1	1.1	4	1.1	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^6$
NiSi ₂ /Si(111)	3.0	4.3	4	0.6	3.4	1.5	$4 \cdot 10^{-4}$	80
	6.0	-	4	0.5	3.5	1.6	$4 \cdot 10^{-4}$	60
	50.0	4.2	4	0.5	3.5	1.6	-	55

Исследования проводились и для пленок NiSi₂/Si, полученных имплантацией ионов Ni с $E_0=3$ и 5 keV. При этом после прогрева формировались пленки NiSi₂ с толщиной 4.5-5.0 и 6.0-6.5 nm соответственно. В таблице приведены некоторые физические параметры Si и пленки NiSi₂/Si с толщиной $d = 3.0$ и 6.0 nm, где φ и Φ - термо и фотоэлектронная работа выхода, E_g - ширина запрещенной зоны, χ -сродство к электрону, σ_m -максимальное значение коэффициента ВЭЭ, Y -квантовый выход фотоэлектронов, ρ - удельное сопротивление. Для сравнения там же приведены параметры для толстой пленки NiSi₂ с толщиной 50.0 nm, полученной методом твердофазной эпитаксии. Из таблицы видно, что ширина запрещенной зоны NiSi₂ с $d = 3.0$ nm составляет 0.6 eV и обладает свойствами, близкими к металлам ($\rho = 80 \mu\Omega \cdot cm$). При этом значение σ_m и Y увеличивается до 1.5 и 2 раза. По-видимому, эмиссионная эффективность слоев NiSi₂ немного больше, чем эффективности слоев Si, что может быть связано с заметным отличием атомной плотности NiSi₂ ($\sim 4.5g/cm^3$) от плотности Si ($2.42g/cm^3$). Электронные и оптические свойства пленок NiSi₂ с $d = 6.0$ nm существенно не отличались от таковых для толстой пленки.

Методом низкоэнергетической ($E_0=1-5$ keV) имплантации ионов Ni в сочетании с отжигом получены однородные эпитаксиальные нанопленки NiSi₂ с толщиной $\sim 3.0-6.0$ nm. Исследованы зонно-энергетические параметры, плотности электронных состояний, эмиссионные и оптические параметры системы NiSi₂/Si(111). Показано, что ширина запрещенной зоны нанопленок NiSi₂ составляет $\sim 0.5-0.6$ eV, квантовый выход фотоэлектронов $\sim 4 \cdot 10^{-4}$, удельное сопротивление ($60 - 80 \mu\Omega \cdot cm$).

Список Литературы

1. Алтухов А.А., Жирнов В.В. Анализ морфологии и стехиометрии пленок CoSi/Si(100), полученных методами ТФЭ и РЭ // Материалы II-го Всесоюзного межотраслевого совещания "Тонкие пленки в электронике": Москва-Ижевск. 1991. С. 15-22.
2. Гомоюнова М.В., Пронин И.И., Галль Н.Р., Молодцов С.Л., Вялых Д.В. Взаимодействие кобальта с поверхностью окисленного кремния // ФТТ. 2003. Т. 45. Вып. 8. С. 1519–1522.
3. Рудаков В.И., Денисенко Ю.И., Наумов В.В., Сима-кин С.Г. Особенности формирования CoSi₂ при двухстадийном быстром термическом отжиге структур Ti/Co/Ti/Si(100)// Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. Вып. 3. С. 36–44
4. Алексеев А.А., Олянич Д.А., Утас Т.В., Котляр В.Г., Зотов А.В., Саранин А.А. // ЖТФ. 2015. Т. 85. Вып. 10. С. 94–100.
5. Umirzakov, V.E., Donaev, S.B. //On the creation of ordered nuclei by ion bombardment for obtaining nanoscale Si structures on the surface of CaF₂ films // Journal of Surface Investigation, 2017, 11(4), стр. 746–748
6. Umirzakov V.E., Tashmukhamedova D.A., Tashatov A.K., Mustafоеva N.M., Muradkabilov D.M. // Effect of the Disordering of Thin Surface Layers on the Electronic and Optical



Properties of Si(111) // Semiconductors, 2020, 54(11), стр. 1424–1429

7. A. K. Tashatov, N. M. Mustafoyeva // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2020, Vol. 14, No. 1, pp. 81–84.
8. Umirzakov, B.E., Tashmukhamedova, D.A., Tashatov, A.K., Mustafoeva, N.M. //Electronic and Optical Properties of NiSi₂/Si Nanofilms // Technical Physics, 2019, 64(5), стр. 708–710
9. А.К. Ташатов, Н.М. Мустафоева, Б.Е. Умирзаков. Формирование нанопленок CoSi₂ на поверхности Si при твердофазном осаждении // 51-й Международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. Москва 2022 г. с. 152