

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЛАТЕНТНЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ NiSi₂, СОЗДАНЫХ МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ В ОБЛАСТИ КРЕМНИЯ

Н. М. Мустафаева

Каршинский инженерно - экономический институт, 180003 Карши, Республика Узбекистан, mustafoyevan@gmail.com

ARTICLE INFO.

Ключевые слова: нанопленки NiSi₂, структура поверхности, Оже-электронной спектроскопии, твердофазного осаждения, морфология, сверхвысокого вакуума, гетероструктура, ширина запрещенной зоны, растровой электронной, атомно-силовой микроскопии, островковый рост.

Резюме

В работе имплантацией ионов Ni⁺ в Si в сочетании с отжигом в приповерхностном слое Si на глубине 15-25 nm получены нанокристаллические фазы и слои NiSi₂. При D=8·10¹⁶ см⁻³ формировались нанопленочная гетероструктура типа Si/NiSi₂/Si. Впервые оценены ширины запрещенных зон нанокристаллических фаз и слоев NiSi₂, созданных в приповерхностной области Si. Показано, что при толщинах h < 150 Å формируются островковые пленки NiSi₂. Ширина запрещенной зоны островков и пленок NiSi₂ практически не отличаются друг от друга и составляла ~ 0,6 эВ, а значения □ отличаются на несколько порядков.

<http://www.gospodarkainnowacje.pl/> © 2023 LWAB.

Гетероструктуры типа NiSi₂/Si имеют больше перспективы в создание новых приборов функциональной электроники, в частности, в создании СВЧ-транзисторов, детекторов излучения, омических контактов и барьерных структур [1-9]. Большинство силицидных фаз обладают свойствами характерными для металлов [2]. Физико-химические свойства тонких и сверхтонких плёнок хорошо изучены только для силицидов Na, Ba, Pd и Co. В работах [4,6-14] показано, что при отжиге тонких пленок Co и Pd на кремний происходит наноструктурирование пленок и образование силицидов этих металлов.

Данный работа посвящен получению нанокристаллических фаз и слоев NiSi₂ на различных глубинах приповерхностной области Si изучению их электронной и кристаллической структуры и параметров зон.

Перед осаждением пленок кремниевые образцы Si(111) очищались прогревом в условиях сверхвысокого вакуума (P = 10⁻⁷ Па) при T = 1100 K в течении 2–3 часов и до T = 1400 K в импульсном режиме. При этом поверхность полностью очищается от кислорода (в пределах чувствительности ОЭС).

Перед напылением, проволоки из особо чистого Ni обезгаживались в течении 5–6 часов. Скорость напыления пленок определялась предварительно с использованием метода ОЭС в сочетании с отжигами и она составляла ~0,5 Å/мин. Напыление атомов Ni, прогрев образцов, исследования их состава и параметров энергетических зон с использованием методов оже-электронной и ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (ОЭС и УФЭС) и измерением

интенсивности проходящего через образец света проводились в одном и том же приборе в условиях сверхвысокого вакуума ($P = 10^{-7}$ Па). Морфология поверхности изучалась методами растровой электронной и атомно-силовой микроскопии (РЭМ и АСМ). Напыление Ni различной толщины (от 10 Å до 100 Å) проводилась при комнатной температуре, при этом образовались сплошные аморфные пленки и на границе раздела Ni/Si не наблюдалось заметной взаимодиффузии Ni в Si и Si в Ni. Перед напылением Si на поверхность NiSi₂/Si(111) очищалась прогревом при $T \approx 900-1000$ К в течение 3-4 часа и получена NiSi₂ с гладкой поверхностью со структурой (1x1).

Для создания трехслойной системы на поверхности гетероэпитаксиальной структуры NiSi₂/Si(111) при $T=1000$ К напылялась пленки Si с толщиной ~ 50 нм. Толщина NiSi₂ составляла ~ 20 нм. Испарение кремния осуществлялось электронной бомбардировкой.

Увеличение T до 1100-1150 К способствует получению монокристаллической пленки Si. Однако, при этом из-за нарушение сплошности пленки NiSi₂ формируется островковые образования. На рис 1 представлен оже профиль сформированной гетероструктуры Si/NiSi₂/Si(111). Видно, что граница раздела между слоями Si/NiSi₂ и NiSi₂/Si(111) резкая и толщина переходных слоев не превышает 4-5 нм. Наши дальнейшее исследования показали, что в случае массивных пленок NiSi₂ толщиной 500-600 нм, островки образуются при $T \approx 1200$ К.

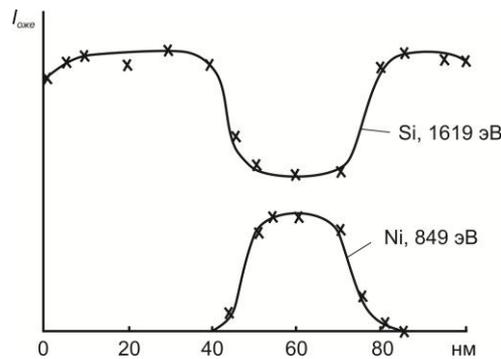


Рис.1. Зависимость интенсивности Оже пиков Si ($E=1619$ эВ) и Ni ($E=849$ эВ) для системы Si/NiSi₂/Si(111); $d_{Si} = 50$ нм, $d_{NiSi_2} = 20$ нм

Уменьшение толщины напыляемой пленки Si до 10 нм также позволило уменьшить температуру образования монокристаллической пленки до 950-1000 К. Однако при такой температуре не формировалась сплошная однородная пленка Si. Эти исследования показали что методом ТФЭ невозможно получить трехслойной системы Si/NiSi₂/Si(111) с толщина мене 20-30 нм.

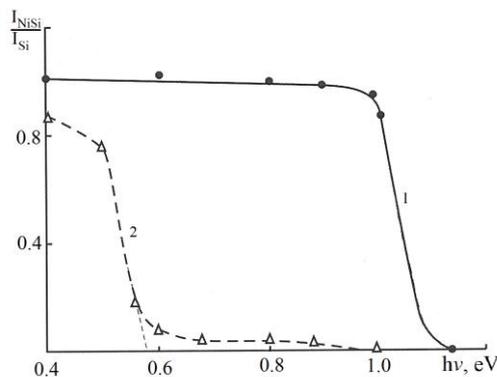


Рис. 2. Зависимость интенсивности приходящего света от энергии фотонов для 1-чистого Si(111); 2-системы Si/NiSi₂/Si(111). $d_{NiSi_2} = 20$ нм, $d_{Si} = 50$ нм.

Таким образом, в работе методом ТФЭ-роста получена трехслойная наносистема Si/NiSi₂/Si(111). Показано, что при T≈1000 К формируется сплошная, однородная поликристаллическая пленка Si. Начиная с T=1100 К наблюдается распад сплошной пленки на монокристаллические островки Si, что объясняется распадом и разложением пленки NiSi₂. Впервые определены энергетические зоны отдельных слоев системы Si/NiSi₂/Si(111)

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Н. М. Мустафоева, Н. М. Мустафаева // Исследование Физические Свойства Нанопленок Nisi2/Si // Таълим ва ривожланиш таҳлили онлайн илмий журнали, 2022 йил октябр, Vol. 2 No. 10 (2022)
4. N. M. Mustafoeva, A. K. Tashatov, N. M. Mustafaeva, X. J. Mavlonova // Investigation of Physical Properties of Nisi 2/Si Nanofilm // Pioneer: Journal of Advanced Research and Scientific Progress (JARSP) Volume: 01 Issue: 04 | 2022 ISSN: 2751-7551
5. N. M. Mustafoeva, A. K. Tashatov, N. M. Mustafaeva, X. J. Mavlonova // Surface Morphology of Nisi 2 /Si Films Produced By Solid-Phase Epitaxy// Pioneer: Journal of Advanced Research and Scientific Progress (JARSP) Volume: 01 Issue: 04 | 2022 ISSN: 2751-7551
6. А. К. Ташатов , Н. М. Мустафоева // Нанопленок CoSi₂ На Поверхности Si При Твердофазном Осаждении // Miasto Przyszłości Kielce, Vol. 25 (2022):
7. Donaev S.B., Umirzakov B.E., Mustafaeva N.M. Emissivity of laser-activated Pd–Ba alloy // Technical Physics, Vol.64, Issue 10 (2019), pp.1541-1543.
8. Donaev S.B. Tashatov A.K. Mustafaeva N.M. // Electronic and Optical Properties of GaAlAs/GaAs thin films // Technical Physics, Vol.64, Issue 10(2019), pp.1506-1508
9. Ташатов А.К. Мустафоева Н.М. // Морфология поверхности пленок NiSi₂/Si полученных методом твердофазной эпитаксии // Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы; Сборник материалов международной онлайн конференции Ташкент. 2020. 92-97. с.
10. Ташатов А.К. Мустафоева Н.М. // Морфология, состав и структура поверхности пленок NiSi₂/Si полученных методом твердофазной эпитаксии // Узбекский физический журнал, 23(2), 2021. С.55-60
11. Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Tashatov A.K., Mustafoeva N.M., Muradkabilov D.M. // Effect of the Disorder of Thin Surface Layers on the Electronic and Optical Properties of Si(111) // Semiconductors, 2020, 54(11), стр. 1424–1429
12. Tashatov A.K. Mustafoeva N.M. // Surface Morphology of NiSi₂/Si Films Obtained by the Method of Solid-Phase Deposition // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2020, Vol.14, No 1, pp. 81-84.
13. Мустафоева Н. М. // Анализ состояния скрытых нанокристаллов NISI₂, созданных в приповерхностной области SI // Journal of Innovations in Social Sciences. Volume: 03 Issue: 01 | Jan - 2023 ISSN: 2181-2594. С.112-117
14. Мустафоева Н. М. // Морфология и состав поверхности пленок NISI₂/SI, полученных методом твердофазной эпитаксии// Journal of Innovations in Social Sciences. Volume: 03 Issue: 01 | Jan - 2023 ISSN: 2181-2594. С.117-121