



**ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ НАНОСИСТЕМЫ
Si/NiSi₂/Si, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОГО
ОСАЖДЕНИЯ**

Мустафаева Нилуфар Мойли қизи

преподаватель-стажер,

Каршинский государственный технический университет.

safirayanilufar@gmail.com

Аннотация: В данной статье представлены результаты формирования многослойной наносистемы Si/NiSi₂/Si, полученной методом твердофазного осаждения. Исследование направлено на изучение состава, морфологии и электронной структуры нанослоя кремния на поверхности эпитаксиальной структуры NiSi₂/Si(111) при высокой температуре. Показано, что при температуре 1000 К формируется сплошная поликристаллическая пленка кремния, тогда как при повышении температуры до 1150 К происходит ее разрушение и интенсивная диффузия никеля. Также установлено, что при определенных условиях возможно образование эпитаксиальных пленок NiSi₂ с хорошими омическими свойствами. Полученные данные имеют практическое значение для создания высокочастотных транзисторов и интегральных схем нового поколения.

Ключевые слова: наносистема, кремний, никелид кремния, эпитаксия, твердофазное осаждение, диффузия, омический контакт.

**FORMATION OF A MULTILAYER NANOSYSTEM Si/NiSi₂/Si,
OBTAINED BY THE METHOD OF SOLID-PHASE DEPOSITION**

Abstract : This article presents the results of the formation of a multilayer nanosystem Si/NiSi₂/Si obtained by solid-phase deposition. The study focuses on the composition, morphology, and electronic structure of the silicon nanolayer on the

surface of the epitaxial $\text{NiSi}_2/\text{Si}(111)$ structure at high temperatures. It is shown that at a temperature of 1000 K, a continuous polycrystalline silicon film is formed, whereas at 1150 K, the film breaks down and intense nickel diffusion occurs. It is also established that under certain conditions, epitaxial NiSi_2 films with good ohmic properties can be formed. The obtained results have practical significance for the development of high-frequency transistors and next-generation integrated circuits.

Keywords: nanosystem, silicon, nickel silicide, epitaxy, solid-phase deposition, diffusion, ohmic contact.

При создании СВЧ транзисторов и интегральных схем на основе наноразмерных гетероэпитаксиальных ПДП и МДП структур особое требование представляется к типу материала, толщине и свойствам контактирующего материалы. К ним прежде всего относятся малая толщина переходного слоя Ме-ПП, неизменность состава и морфологическая совершенство поверхности пленки, стабильность свойств контактов в процессе изготовления и эксплуатации, сохранение барьерных свойств по отношению к S1 в широком диапазоне температур и при высоких токовых нагрузках и др. Для получения хорошего омического контакта необходимо уменьшить удельное сопротивления до 50-100 мкОм·см [1-10].

В данной работе приводятся экспериментальные результаты по изучению состава, морфологии и электронной структуры нанопленок Si, полученных на поверхности $\text{NiSi}_2/\text{Si}(111)$ методом твердофазного осаждения при температуры подложки 1000 K. с последующим отжигом.

Перед напылением, проволоки из особо чистого Ni обезгаживались в течении 5–6 часов при вакууме не хуже, чем 10^{-5} Па. Скорость напыления пленок Ni определялась предварительно и составляла $\sim 5 \text{ \AA}/\text{мин}$. Толщина NiSi_2 составляла ~ 20 нм. Для создания трехслойной системы на поверхности гетероэпитаксиальной структуры $\text{NiSi}_2/\text{Si}(111)$ при $T=1000 \text{ K}$ напылялась пленки Si с толщиной ~ 50 нм. Морфология поверхности изучалась методами растровой электронной микроскопии (РЭМ). При снятии зависимости $I(h\nu)$ использовалось

световое излучение с длиной волны $\lambda=6200-800$ nm (энергия квантов 0,2-1,5 эВ). Профили распределения атомов по глубине определялись методом ОЭС в сочетании с травлением поверхности ионами Ar^+ с энергией 3 кэВ, при угле падения $80-85^\circ$ относительно нормали.

На рис 1 приведены РЭМ-изображения и ДБЭ-картина (вставка) поверхности системы $\text{Si}/\text{NiSi}_2/\text{Si}(111)$. Видно, что при $T=1000$ К растет сплошная поликристаллическая пленки [3-8,10-14].

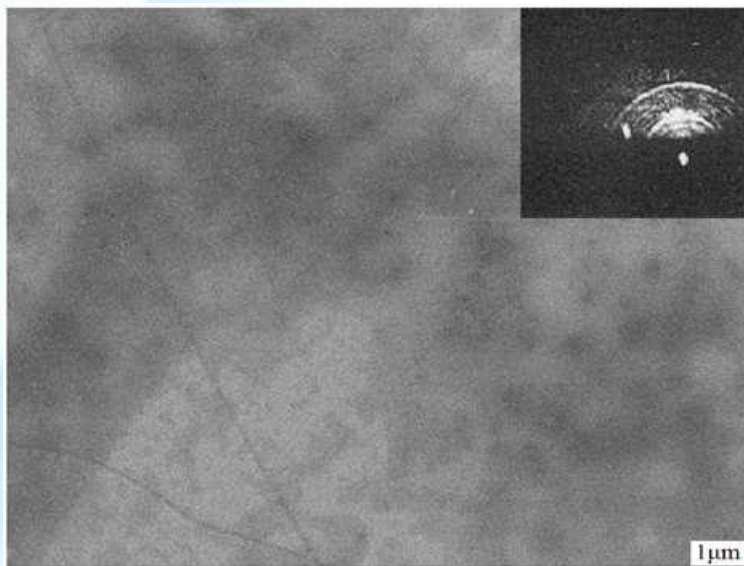


Рис. 1. РЭМ- и ДБЭ (вставка) изображения поверхности системы $\text{Si}/\text{NiSi}_2/\text{Si}(111)$. Пленки Si напылялось при $T \approx 1000$ К с толщиной ~ 50 нм

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 $\text{Si}/\text{NiSi}_2/\text{Si}(111)$ с толщиной менее 20-30 нм.

Показано, что в процессе твердофазного осаждения Ni на Si в сочетании с отжигом, на поверхности Si формируются эпитаксиальные нанопленки NiSi_2 . При толщинах $h \leq 150$ Å пленки имеют островковый характер. Однородная сплошная пленка NiSi_2 образуется, начиная с $h = 200$ Å. Определены удельное сопротивление и ширина запрещенной зоны пленки NiSi_2 .

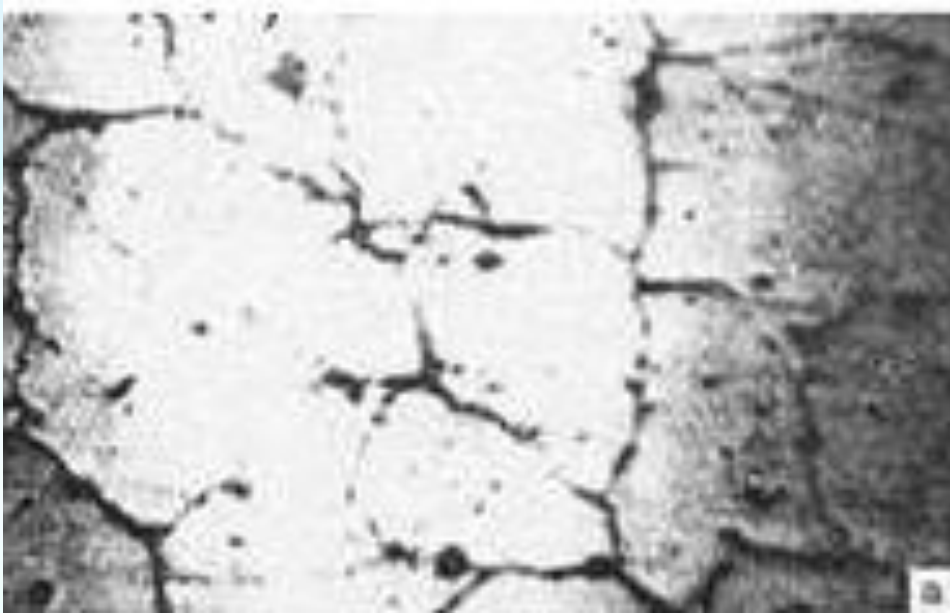


Рис. 2. РЭМ – изображение поверхности система $\text{Si/NiSi}_2/\text{Si}(111)$, подвергнутого прогреву при $T=1150\text{ K}$ в течение 40 мин.

При дальнейшем росте T зависимости $\rho(T)$ проходит через минимум при $T \approx 1150\text{ K}$. При этом пленка Si разлагается на отдельные крупноячейсты блоки (рис.2)

Эти изменения нами объявляется разложения NiSi_2 интенсивной диффузией Ni в пленку Si . На рис.3. приведение зависимости поверхностной концентрации Ni от T . Видно, что при $T \approx 1150$ C_{Ni} на поверхности составляет $\sim 4-5\text{ ат.}\%$. Увеличение C_{Ni} продолжается до $T \approx 1200\text{ K}$. Дальнейший рост T приводит к уменьшению C_{Ni} . При $T=1400\text{ K}$ состав и структура поверхности характерные для $\text{Si}(111)$ полностью восстанавливается. По-видимому при этой T пленки Si/NiSi_2 полностью испаряются с поверхности $\text{Si}(111)$.

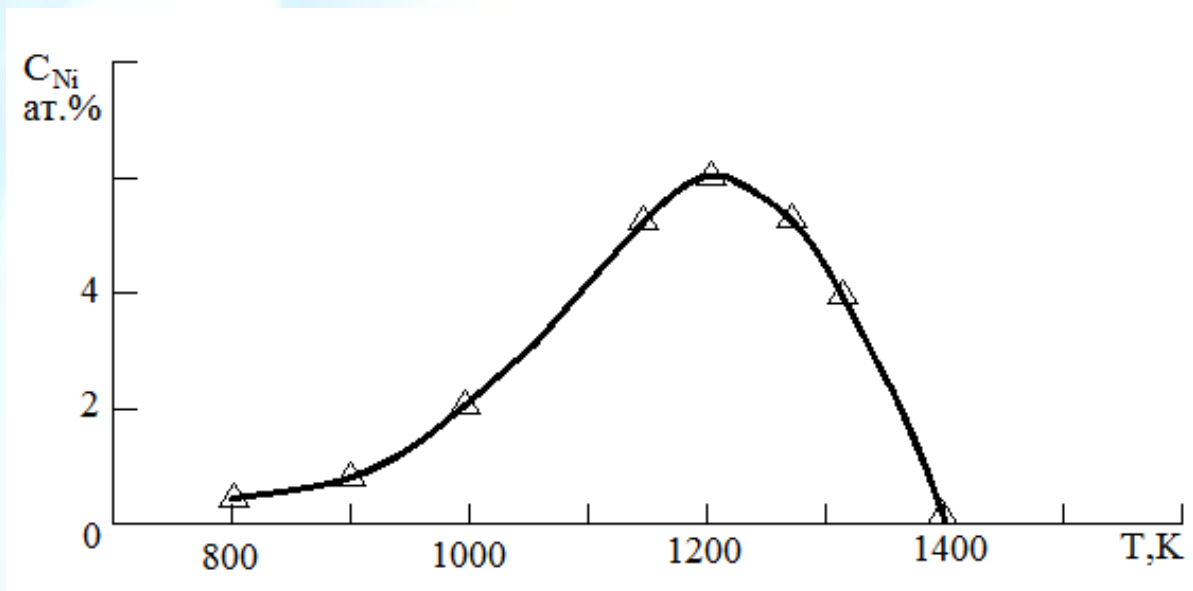


Рис. 3. Зависимость поверхностной концентрации C_{Ni} от температуры для системы Si/NiSi₂/Si (111)

Определены профили распределения атомов Si и Ni по глубине трехслойной системы. При напыления Si на поверхность эпитаксиальный гетераструктуры NiSi₂ / Si (111) при $T \approx 1000$ К формировалась сплошная, однородная пленка Si. При увеличении T до 1050 К разложению вместе поликристаллические пленка Si формировались крупноячеистые блоки, что объясняется переходу сплошной пленки NiSi₂ на островковые. При $T \approx 1100$ К наблюдается разложение NiSi₂ на составляющие и частичной ($\sim 3-4$ час) диффузии Ni к поверхности, что приводит к уменьшению ρ пленки Si.

Список литература

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. A. K. 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. Mustafoeva 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 Disordering 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 NISl₂, 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 NISl₂/SI, полученных методом твердофазной эпитаксии// Journal of Innovations in Social Sciences. Volume: 03 Issue: 01 | Jan - 2023 ISSN: 2181-2594. С.117-121