

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
НАЦИОНАЛЬНАЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
ОТКРЫТОГО ТИПА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Сборник трудов
V международной научной конференции
**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ
КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ,
НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛОВ**
(Сарсембиновские чтения)
17-18 мая 2018



Алматы 2018

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ

Физико-технический факультет

Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа (ННЛОТ)

Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической
физики (НИИЭТФ)

Сборник трудов

V Международной научной конференции

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ, НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

(Сарсембиновские чтения)

Алматы, 17-18 мая 2018 года

Алматы
«Казак университеті»
2018

ПОЛУЧЕНИЕ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ МЕТОДОМ МЕТАЛЛ-СТИМУЛИРОВАННОГО ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТЫ

Д. Ермухамед¹, Г.К. Мусабек¹, Г.Т. Шокобаева¹, Г.А. Амирханова², В.А. Сиваков³

¹Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Институт информационных и вычислительных технологий НАН РК, Алматы, Казахстан

³Лейбниц институт фотонных технологий, Йена, Германия

Аннотация

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния концентрации плавиковой кислоты в травящем растворе при металл-стимулированном химическом травлении поверхности пластины монокристаллического кремния на структурные свойства полученных кремниевых нанонитей. Структурные свойства кремниевых нанонитей исследованы методом рамановской спектроскопии. Показано, скорость роста нанонитей линейно зависит от концентрации плавиковой кислоты в травящем растворе. Из исследований спектров комбинационного рассеяния следует, что интенсивность света для образцов КНН серий А, В, С возрастает с увеличением концентрации травящего раствора.

Введение

Одним из перспективных, новых полупроводниковых наноматериалов являются кремниевые нанонити (КНН). Широкий диапазон оптической адсорбции, высокая интенсивность поглощения, высокая подвижность электронов делает КНН незаменимым материалом для создания наноструктур [1, 2], полевых транзисторов [3, 4], интегрированных схем [5]. В настоящий момент наиболее распространенным методом получения КНН относительно используемого подхода можно разделить на два: метод «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Методы с подходом «сверху-вниз» зарекомендовали себя как более простые в исполнении и не дорогие, например, такие как, лазерная абляция [6, 7], химическое травление [8, 9], методы роста из растворов [10], по сравнению с методами с подходом «снизу-вверх», которые требуют больших затрат, например, химическое осаждение из паровой фазы [11-13], молекулярно-лучевая эпитаксия [14, 15], термическое испарение [16-18].

Метод металл-стимулированного химического травления (МСХТ) относится к методам реализации из растворов «сверху-вниз» и является одним из наиболее широко используемых, поскольку он достаточно прост в исполнении и не требует применения дорогостоящего оборудования [19]. Обычно рост КНН методом МСХТ выполняется в три этапа. На первом этапе процесса роста наночастицы благородного металла (часто используются серебро, золото, платина) осаждаются на поверхность полупроводниковой подложки из раствора. Частицы благородного металла выполняют роль катализатора окислительно-восстановительных реакций, приводящих к образованию наноструктур. В ряде работ [20, 21] было показано, что наиболее эффективным катализатором для роста КНН являются серебро. На втором этапе процесса осуществляется травление «сверху-вниз» в растворе, содержащем перекиси водорода и плавиковой кислоты. Скорость травления регулируется в зависимости от времени травления. На заключительном этапе метода МСХТ на поверхности полученной наноструктуры металлические наночастицы удаляются путем выдерживания в концентрированной азотной кислоте. Хотя исследованию физических свойств КНН и их практическому применению посвящено достаточно большое количество статей, до сих пор остается много открытых вопросов, требующих детального исследования влияния различных параметров получения наноструктур на их физические свойства. В частности, не до конца изучено влияние концентрации H_2O_2 в травящем растворе на морфологию поверхности и физические свойства нанонитей. В настоящей статье исследовано влияние состава травящего раствора на оптические свойства КНН.

Экспериментальная часть

Опытные образцы КНН были получены методом МСХТ на поверхности монокристаллических пластин р-типа проводимости, с кристаллографической ориентацией поверхности (100) и удельным сопротивлением 1-10 Ом*см. Перед началом травления кремниевые подложки очищались в ультразвуковой ванне в растворах азотной кислоты.

в течение 2 минут. Затем слой естественного оксида удалялся путем выдерживания в 2% водном растворе плавиковой кислоты в течение 2 минут. Далее следовал сам процесс формирования нанонитей.

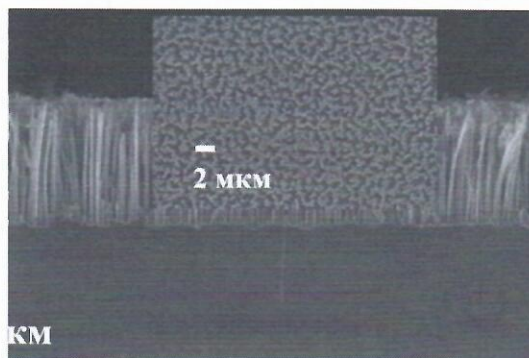
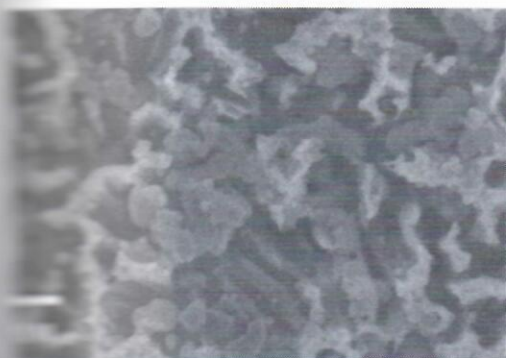
В качестве металла-катализатора использовалось серебро. На первом этапе процесса на поверхность кремниевых подложек осаждались наночастицы серебра из раствора 5M HF:0.02M AgNO₃ в соотношении (1:1) в течение 30 секунд. На втором этапе МСХТ для роста нанонитей использовался раствор 5M HF:30% H₂O₂ взятый в трех разных соотношениях, а именно (10:1), (20:1) и (30:1). Серии образцов, полученных при этих концентрациях HF, были обозначены как образцы серии А, серии В и серии С соответственно. Время травления изменялось от 1 до 60 минут. На заключительном этапе процесса наночастицы серебра удалялись путем выдерживания в концентрированной азотной кислоте в течение 5 минут. Готовые образцы промывались в деионизированной воде и высушивались в струе азота.

Морфология и структурные свойства полученных методом МСХТ структур КНН были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss Ultra 55 FE-SEM, размеры комбинационного рассеяния образцов измерялись на установке NTegra Spectra. Все измерения и измерения проводились на воздухе при комнатной температуре.

Результаты и обсуждения

На рисунках 1 б, в, г приведены СЭМ снимки поверхностей и бокового склона нанонитей серий А, В и С, полученных при фиксированном времени травления - 15 минут, а также СЭМ изображение поверхности кремниевой пластины, покрытой частицами серебра - катализатора реакции растворения кремния (рис. 1а). Из рисунка 1а видно, что наночастицы серебра однородной, плотной пленкой покрывают поверхность подложки монокристаллического кремния. Морфология и размеры осаждающихся наночастиц серебра зависят от времени их осаждения на первом этапе МСХТ. Наночастицы серебра играют важную роль в осуществлении процесса МСХТ, поскольку участвуют в катодной реакции, тем самым снижая электрохимический барьер реакции. Вертикальное образование КНН обуславливается продольным продвижением серебряных частиц с поверхности в сторону кремниевой подложки «сверху-вниз», при одновременном растворении кремния вблизи осаждающихся частиц. Размеры наночастиц серебра, осажденных на поверхность кремниевой подложки при комнатной температуре в течение 30 секунд варьируются от 10 нм до 100 нм, что позволяет контролировать размеры будущих пор между КНН. Таким образом, исследуемые структуры КНН также относятся к микропористой структуре.

На рисунках 1 б, в, г можно проследить изменение длины КНН в зависимости от концентрации азотной кислоты в травящем растворе. Например, при фиксированном времени травления длина КНН серий А, В и С составила 5,239 мкм, 6,9 и 6,1 мкм соответственно, что указывает на то, что увеличение доли HF в травящем электролите приводит сначала к медленному увеличению, а потом к максимальной постоянной скорости реакции.



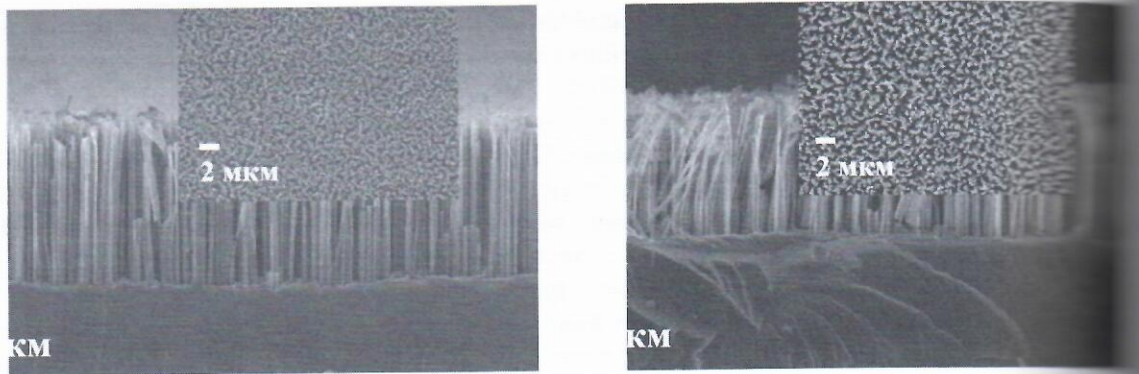


Рисунок 1 - СЭМ снимки поверхности кремниевой пластины, покрытой частицами серебра (а) и слоем КНН (б, в, г), полученных при времени травления 15 минут и различной концентрации (10:1) раствора плавиковой кислоты с перекисью водорода

На рисунке 2 показаны графики зависимости длины КНН от времени травления при различных концентрациях HF. Видно, что длина нанонитей линейно растет с увеличением концентрации раствора плавиковой кислоты для всех серий образцов. Также были рассчитаны значения скорости роста КНН. Скорость роста нанонитей для серии А – 0,07-0,4 мкм/мин, для серий В и С соответственно 0,3-0,5 мкм/мин и 0,4-0,8 мкм/мин. Из данных значений можно отметить, что скорость роста КНН возрастает с ростом концентрации раствора плавиковой кислоты.

На рисунке 3 а, б, в показаны спектры КРС образцов серий А, В и С, полученных при времени травления 1- 60 минут. Из представленных графиков следует, что с ростом длины КНН наблюдается все большее смещение основного пика кремния в длиноволновую область, что говорит о появлении новых химических связей на поверхности структуры, обусловленных пассивацией. Также можно отметить рост полуширины основного пика с ростом толщины слоя КНН, что указывает на образование менее упорядоченной фазы в структуре КНН.

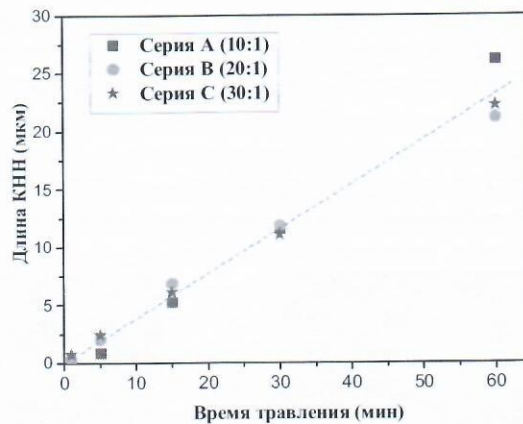


Рисунок 2 - Зависимость длины КНН от времени травления при различных концентрациях HF в травящем растворе

На рисунке 3г представлены спектры КРС образцов КНН из серий А, В и С, полученные в фиксированном времени травления - 15 минут. Видно, что рост концентрации HF в травящем растворе приводит к более интенсивному растворению материала подложки и к большому уширению основного пика КРС что, в свою очередь, обуславливает протекание менее контролируемого процесса порообразования и образования более пористых КНН.

Таким образом, при высокой концентрации плавиковой кислоты в травящем растворе начинается растравливание поверхности КНН, что приближает материал к менее упорядоченной фазе. Для всех трех образцов наблюдается смещение основного пика КРС кремния с 520 см^{-1} в сторону меньших значений, что в свою очередь говорит о пассивации поверхности наноструктур в процессе травления. В среднем этот процесс происходит с примерно одинаковой скоростью для всех исследуемых образцов.

плавиковой кислоты. Также из приведенных графиков зависимости можно заметить, что эффективность комбинационного рассеяния света для образцов КНН серий А, В, С возрастает с увеличением концентрации травящего раствора. Этот рост эффективности процессов комбинационного рассеяния света может быть объяснен увеличением локального поля в КНН вследствие частичной локализации света [25].

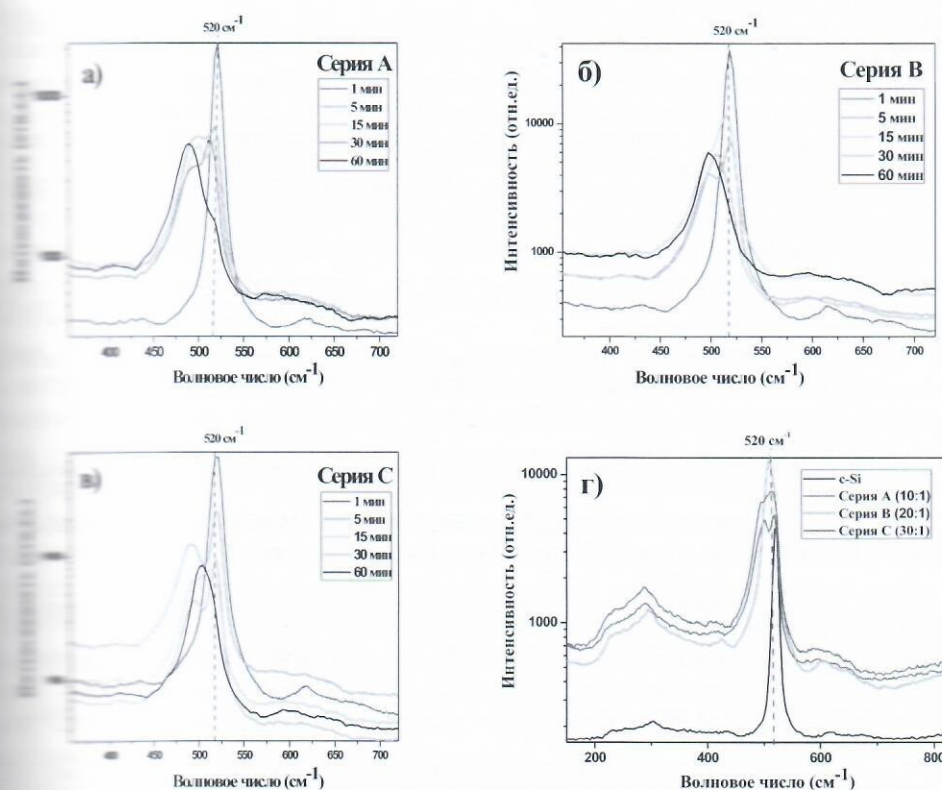


Рисунок 3 - Спектры комбинационного рассеяния: образцов КНН серии А (а), серии В (б), серии С (в) и монокристаллического кремния и КНН серий А, В, С, полученных при фиксированном времени травления - 15 минут

Выводы

В результате метал-стимулированного химического травления были получены образцы нанопроволок из кремния при различных концентрациях плавиковой кислоты в травящем растворе, с увеличением роста наноструктур. Исследовано влияние концентрации плавиковой кислоты в травящем растворе на структурные свойства экспериментальных образцов. Установлено, что рост наноструктур в травящем растворе приводит к более интенсивному и менее упорядоченному растворению нанопроволок в процессе травления, что приводит к росту скорости травления. При высокой концентрации плавиковой кислоты в травящем растворе начинается растравливание поверхности КНН, что приводит материал к менее упорядоченной фазе.

Список литературы

1. Chen, X. Li, T. I. Kamins, K. Nauka, R. S. Williams Sequence-specific label-free DNA sensors based on silicon nanowires. // Nano Letters – 2004. – Vol. 4. – P. 245-247.
2. Lieber, C. M. Lieber Direct ultrasensitive electrical detection of DNA and DNA sequons variations using nanowire sensors. // Nano Letters – 2004. – Vol. 4. – P. 51-54.
3. Li, M. D. Edelstein, C. A. Richter, E. M. Vogel Enhanced channel modulation in dual-gated silicon nanowire transistors. // Nano Letters – 2005. – Vol. 5. – P. 2519-2523.
4. Zhong, D. L. Wang, W. U. Wang, C. M. Lieber High performance silicon nanowire field effect transistors. // Nano Letters – 2003. – Vol. 3. – P. 149-152.
5. Duan, X. Duan, Y. Cui, L. J. Lauhon, K. Kim, C. M. Lieber Logic gates and computation from assembled nanowire networks. // Science – 2001. – Vol. 294. – P. 1313-1317.
6. Duan, X. F. Duan, J. T. Hu, C. M. Lieber Doping and electrical transport in silicon nanowires. // Journal of Physical Chemistry B – 2000. – Vol. 104. – P. 5213-5216.
7. Lieber, C. M. Lieber A laser ablation method for the synthesis of crystalline semiconductor nanowires. // Science – 1998. – Vol. 279. – P. 208-211.

8. Z. P. Huang, H. Fang, J. Zhu Fabrication of silicon nanowire arrays with controlled diameter, length, and density. // *Materials* – 2007. – Vol. 19. – P. 744-748.
9. K. Q. Peng, M. L. Zhang, A. J. Lu, N. B. Wong, R. Q. Zhang, S. T. Lee Ordered silicon nanowire arrays via nanosphere lithography and metal-induced etching. // *Applied Physics Letters* – 2007. – Vol. 90. – P. 163123.
10. J. D. Holmes, K. P. Johnston, R. C. Doty, B. A. Korgel Control of thickness and orientation of solution-grown silicon nanowires. // *Science* – 2000. – Vol. 287. – P. 1471-1473.
11. J. B. Hannon, S. Kodambaka, F. M. Ross, R. M. Tromp The influence of the surface migration of gold on the growth of silicon nanowires. // *Nature* – 2006. – Vol. 440. – P. 69-71.
12. Y. Wang, V. Schmidt, S. Senz, U. Gösele Epitaxial growth of silicon nanowires using an aluminium catalyst. // *Nanotechnology* – 2006. – Vol. 1. – P. 186-189.
13. I. Lombardi, A. I. Hochbaum, P. D. Yang, C. Carraro, R. Maboudian Synthesis of high density, size-controlled silicon nanowire arrays via porous anodic alumina mask. // *Chemistry of Materials* – 2006. – Vol. 18. – P. 988-991.
14. J. Bauer, F. Fleischer, O. Breitenstein, L. Schubert, P. Werner, U. Gösele, M. Zacharias Electrical properties of undoped silicon nanowires grown by molecular-beam epitaxy. // *Applied Physics Letters* – 2007. – Vol. 90. – P. 012101.
15. B. Fuhrmann, H. S. Leipner, H. Höche, L. Schubert, P. Werner, U. Gösele Ordered arrays of silicon nanowires grown by nanosphere lithography and molecular-beam epitaxy. // *Nano Letters* – 2005. – Vol. 5. – P. 2524-2527.
16. H. Pan, S. Lim, C. Poh, H. Sun, X. Wu, Y. Feng, J. Lin Growth of Si nanowires by thermal evaporation. // *Nanotechnology* – 2005. – Vol. 16. – P. 417.
17. N. Wang, Y. H. Tang, Y. F. Zhang, C. S. Lee, I. Bello, S. T. Lee Nucleation and growth of Si nanowires from silicon thermal evaporation. // *Physical Review B* – 1998. – Vol. 58. – P. 16024.
18. Z. W. Pan, Z. R. Dai, L. Xu, S. T. Lee, Z. L. Wang Temperature-controlled growth of silicon-based nanowires by thermal evaporation of SiO₂ powders. // *The Journal of Physical Chemistry B* – 2001. – Vol. 105. – P. 2507-2514.
19. Z. Huang, N. Geyer, P. Werner, J. Boor, U. Gösele Metal assisted chemical etching of silicon: a review. // *Materials* – 2011. – Vol. 23. – P. 285-308.
20. C. Chartier, S. Bastide, C. Lévy-Clément Metal-assisted chemical etching of silicon in HF-H₂O₂. // *Electrochimica Acta* – 2008. – Vol. 53. – P. 5509-5516.
21. M.L. Zhang, K.Q. Peng, X. Fan, J.S. Jie, R.Q. Zhang, S.T. Lee, N.B. Wong Preparation of large-area uniform silicon nanowires arrays through metal-assisted chemical etching. // *Journal of Physical Chemistry C* – 2008. – Vol. 112. – P. 4450.
22. Y. Qu, L. Liao, Y. Li, H. Zhang, Y. Huang, X. Duan Electrically conductive and optically active porous silicon nanowires. // *Nanoletters* – 2009. – Vol. 9. – P. 4539-4543.
23. G. Brönstrup, N. Jahr, C. Leiterer, A. Czák, W. Fritzsche, S. Christiansen Optical properties of individual silicon nanowires for photonic devices. // *American Chemical Society* – 2010. – Vol. 4. – P. 7113-7122.
24. D. Li, Y. Wu, P. Kim, L. Shi, P. Yang, A. Majumdar Thermal conductivity of silicon nanowires. // *Applied Physics Letters* – 2003. – Vol. 83. – P. 2934-2936.
25. L.A. Osminkina, K.A. Gonchar, V.S. Marshov, K.V. Bunkov, D.V. Petrov, L.A. Golovan, F. Talkenberg, V.A. Shalaginov, V.Yu. Timoshenko Optical properties of silicon nanowire arrays formed by metal-assisted chemical etching: evanescent light localization effect. // *Nanoscale Research Letters* – 2012. – Vol. 7. – P. 524.

СОДЕРЖАНИЕ

З.А. Мансуров. Новые углеродные функциональные наноматериалы	3
А. Дробышев, А.Алдияров, А. Нурмуқан, Д. Соколов, А. ИК-спектрометрические исследования структурно-фазовых превращений в тонких пленках криовакуумных конденсаторов простейших органических молекул	11
А.И. Купчишин. Разрушения полимерных материалов и композитов электронными пучками	12
З.Ж. Жанабаев, Гревцева Т.Ю., Диханбаев К.К. Электрические свойства нанопористых полупроводников	18
И.В.Разумовская, В.Н.Гумирова, Н.П.Ковалец, С.А.Бедин Особенности разрушения трековых мембран и композитов на их основе	25
Т.А. Koketay, Tussupbekova A.K., Mussenova E.K., Mussabekova A.K. Investigation of the properties of the tcl peak in the temperature range of the phase transition of ammonium-galloid crystals	30
Т.А. Koketay, Tussupbekova A.K., Baltabekov A.S., Mussenova E.K., Mussabekova A.K. Mechanism of radiation-stimulated emission in the region of the phase transition temperature in ammonium-galloid crystals	32
S.E. Kumekov, N.K. Saitova, E.I.Terukov The mechanism of photoluminescence of carboncontaining nanostructured objects	33
Абрамкин Д. С., Бакаров А. К. Петрушков М. О., Емельянов Е. А., Путьто М. А., Преображенский В. В., Семягин Б. Р., Есин М. Ю., Кожухов А. С., Гутаковский А. К., Шамирзаев Т. С. Новые полупроводниковые низкоразмерные гетероструктуры: формирование, кристаллическое строение и энергетический спектр	34
К.О. Базалева, Ю.А. Пучков, П.А. Цыганков, Н.О. Лебедева, Электрохимическое поведение наноструктурированных пленок Ti/Al	39
А.К. Шоканов, М.Ф. Верецак, М.К.Кулбеков, И.А. Манакова Исследования золокерамических материалов методом ядерной гамма резонансной спектроскопии	45
Н. Х. Ибраев, Р. Х. Джанабекова, А. Ж. Жумабеков, Е. В.Селиверстова Синтез и свойства наноструктурированных пленок восстановленного оксида графена	51
А.Р. Альмухаметова, Л.А. Габдрахманова, Р.Ф. Альмухаметов, К.М. Мукашев Исследование структурных и фазовых превращений в нанокристаллическом кобальте	54
А.К. Кеңжесулов, А.А. Мамаева, А.В. Трибологическое поведение кальций-фосфатных покрытий осажденных на титане магнетронным распылением	59
А.М. Жукешов, А.Т. Габдуллина, М. Мухамедрыскызы, З. Мажит, Д. Камалова, Н.Т. Балманова Температурно-фазовые изменения в структуре сталей при воздействии импульсных потоков плазмы	61
А. И. Купчишин, Б. Г. Таипова, Н. А. Воронова, А.М. Суцих Исследование зависимости деформации от дозы электронного облучения полимерных материалов	64
А. И. Купчишин, М. Н. Ниязов, А.Т. Абдухаирова, Б.А.Тронин Моделирование на ЭВМ пространственных распределений дефектов в материалах	66
А.И. Купчишин, М.Н. Ниязов, Б.Г. Таипова, Н.Н. Ходарина Установка для исследования свойств донных отложений водоемов оптическим методом	70
Е.А. Грушевская, Е.А. Дмитриева, С.А. Ибраимова, И.А. Лебедев, К.А. Мить, Д.М. Мухамедишина, А.И. Федосимова Модификация плазменным воздействием физических характеристик тонких пленок, полученных из растворов тетраоксида олова	73
Е.А. Дмитриева, И.А. Лебедев, А.И. Федосимова, Е.А. Грушевская, Д.М. Мухамедишина, К.А. Мить Структура поверхности тонких пленок SnO ₂ синтезированных золь-гель методом	79
Ж.Ж. Бекишев, Б.Е. Алимбек, Е.А.Сыргабек Возможности вовлечения отходов переработки пшеничного зерна в технологический цикл получения некоторых редких металлов	84

Каймульдинова Э.С. Численное исследование теплоэнергетических систем с применением метода компьютерного моделирования	84
Б.Б. Камал, О.Е. Кайнолдаев, Г.А. Байгаринова, Е.С. Мухаметкаримов Получение пленок карбида титана на подложках монокристаллического кремния методом магнетронного распыления	91
А. Кутлимратов, Т.М. Салиев, А.С. Саидов, У.Х. Рахмонов Причины выходя из строя карбидокремниевых нагревателей и возможность их восстановления	94
Мархабаева А.А. Синтез и исследование свойств материалов на основе оксидов цинка и вольфрама	96
У.Х. Рахмонов. Зонная энергетическая диаграмма и электролюминесценция гетероструктуры $n\text{GaP} - p^+(\text{ZnSe})_{1-x}\text{y}(\text{Si}_2)_\text{y}(\text{GaP})_x$	97
И.Б. Сапаев, Б. Сапаев, М.М. Баиев, М.А. Махмудов, М.Б. Сапаева Гетеропереход между теллурид кадмием и кремнием	102
Г.Т. Смагулова, В.В. Кайдар, М.Т. Артыкбайева, З.А. Мамсуров Complex recycling of waste of coal industry	106
З.М. Бияшева, В.В. Дьячков, Ю.А. Зарипова, А.Л. Шакиров, А.В. Юшков Модель бинокулярного микроскопа с тремя ступенями увеличения	109
К.А. Тауасаров, Ксенбаев А. Аморфты кремнийдің электрлік және оптикалык касиеттері	113
В.В. Дьячков, А.Е. Рахман, Ю.А. Зарипова, А.В. Юшков, А.Л. Шакиров, М.Т. Бигельдиева, К.С. Дюсебаева, К.Е. Абрамов Изучение фрактальных свойств в топологии распределения бета-загрязненности региона алматинской области	115
М.А. Тулегенова, Т.К. Қуанышбеков, Н.Р. Гусейнов, А.М. Ильин Антикоррозионные защитные покрытия на основе малослойных графеновых наноструктур	120
М.Н. Султангазин, Н.Е. Аханова, М.Т. Габдуллин, Д.В. Исмаилов Дуговой синтез углеродных наноструктур в жидкой фазе	126
М.М. Мырзабекова, Н.Р. Гусейнов, Р.Р. Немкаева, М.Т. Габдуллин Влияние электронного облучения на свойства оксида графена	131
Д. Ермухамед, Г.К. Мусабек, Г.Т. Шокобаева, Г.А. Амирханова, В.А. Сиваков Получение кремниевых нанонитей методом металл-стимулированного химического травления при различной концентрации плавиковой кислоты	136
К.К. Диханбаев, Г.К. Мусабек, Е. Шабдан, Т.Т. Таурбаев, Ш.Б. Байсанатова Влияние лазерного возбуждения на E_g пористого кремния	141
Г.А. Исмаилова, Л.В. Михайлов, С.Л. Михайлова, Р.Б. Абил Структура и оптические свойства имплантированных слоев и систем «нанокристаллы в Si» и «нанокристаллы в SiO ₂ ».	146
Т.М. Гладких, М.Е. Бидайбекова, В.В. Дьячков, Ю.А. Зарипова, А.Л. Шакиров. Эффект «здоровый-больной» в организменной топологии радиоактивных наноточек	147
Н.Б. Есболов, Н.В. Терюкалова, Г.Т. Смагулова Синтез углеродных нанотрубок методом cvd в реакторе к псевдокипящим слоем катализатора	151
Ш.Т. Нұрболат, Ж.К. Калкозова, Х.А. Абдуллин Органикалык ерітінділердің фотовыдырау процестерінде нанокұрылымдалған оксидті жартылай өткізгіштерді қолдану	152
Смагулова Г.Т., Есболов Н.Б., Терюкалова Н.В., Приходько Н.Г. Получение углеродных нанотрубок в реакторе с псевдокипящим слоем катализатора	156
К.К. Хамитова, Д.С. Керимбеков, Д.В. Исмаилов, М.Т. Габдуллин, Д.В. Щур. Анализ токсичного воздействия фуллереновой сажи на проростки семян растений	159
Н. Е. Аханова. Синтез фуллеренов C ₆₀ и C ₇₀ электродуговым методом с высоким выходом	163
А.В. Мостовицкий, А.П. Ильин, Д.В. Исмаилов Установка для измерения электропроводности нанопорошка меди при нагревании	166
А.А. Азаткалиев, Д.В. Исмаилов, Х.А. Абдуллин Синтез нанопорошков металлического вольфрама	170