

ҚР БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
ӘЛ-ФАРАБИ АТ.ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ  
ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ФИЗИКА  
ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ  
АШЫҚ ТҮРДЕГІ ҰЛТТЫҚ НАНОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ  
ЗЕРТХАНА

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE RK  
AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY  
SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF EXPERIMENTAL  
AND THEORETICAL PHYSICS  
NATIONAL NANOTECHNOLOGY OPEN LABORATORY

**«ФИЗИКАНЫҢ ЗАМАНАУИ ЖЕТІСТІКТЕРІ ЖӘНЕ  
ІРГЕЛІ ФИЗИКАЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ» атты  
9-ші Халықаралық ғылыми конференцияның  
ТЕЗИСТЕР ЖИНАҒЫ  
*12-14 қазан, 2016, Алматы, Қазақстан***

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ  
9-ой Международной научной конференции  
«СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ФИЗИКИ  
И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ»  
*12-14 октября, 2016, Алматы, Казахстан***

**BOOK OF ABSTRACTS  
of the 9<sup>th</sup> International Scientific Conference  
«MODERN ACHIEVEMENTS OF PHYSICS AND  
FUNDAMENTAL PHYSICAL EDUCATION»  
*October, 12-14, 2016, Kazakhstan, Almaty***

Алматы  
«Қазақ университеті»  
2016

## ПОРИСТОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОКЛАСТЕРНЫХ ПЛЕНОК

З.Ж. Жанабаев, Т.Ю. Гревцева, А.Е. Жанабаева, И.С. Тлеубаева

ННЛОТ, НИИЭТФ, Алматы, Казахстан

Изучение физических свойств пористых полупроводниковых наноструктур является одной из актуальных задач нанoeлектроники, т.к. пористые материалы, в том числе пористый кремний, обладают уникальными электрическими и оптическими свойствами, что обуславливает их широкое применение в приборах оптоэлектроники, фотоники, для создания высокочувствительных газовых сенсоров, мемристоров и т.д. [1-3]. В работе [4] показано, что существует оптимальное значение пористости слоя солнечного элемента  $\eta = 2/3$ , при котором его эффективность возрастает на 30%. Настоящая работа посвящена изучению и моделированию пористости нанокластерных полупроводниковых пленок.

Пористость экспериментально определяется взвешиванием кристаллического образца и образца в пористом состоянии. Для теории важно знать связь пористости с фрактальной размерностью  $D$ , или показателем скейлинга  $\gamma = D - d$ , где  $d$  – топологическая размерность.

Пористость определяют в виде [5]

$$\eta = (\delta_1/\delta_2)^{3-D}, \quad (1)$$

где  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – наименьший и наибольший масштабы измерения структур соответственно. Однако в [5] указано, что формула (1) не универсальна, неясным остается вывод этой формулы.

Ниже мы приведем вывод формулы для  $\eta$  трехмерной фрактальной среды.

Пористость нанобъекта (полупроводника) мы определяем как относительную разность геометрической фрактальной меры  $M_D$  и геометрической регулярной меры  $M_d$ :

$$\eta = ((M_D - M_d)/M_D)^3 = (1 - M_d/M_D)^3, \quad M_d \leq M_D. \quad (2)$$

Понятие меры предполагает аддитивность и измеримость рассматриваемой характеристики объекта.

Для простоты мы можем рассматривать только по одному экземпляру наноструктур с характеристикой  $\gamma_i (i = x, y, z)$ , так как по определению (2) пористость  $\eta$  не зависит от количества наноструктур.

По смыслу введенных мер имеем:

$$M_d = a_1 + a_2 + a_3 = \sum_{i=1}^3 a_i, \quad M_D = \sum_{i=1}^3 M_{D,i}, \quad (3)$$

$$M_{D,i} = a_i (\delta_i/M_d)^{-\gamma_i}, \quad \gamma_i = D - d_i, \quad i = (x, y, z). \quad (4)$$

Здесь  $a_1, a_2, a_3$  – максимальные масштабы измерения по осям координат  $x, y, z$ . Подставляя (3) и (4) в формулу (2), имеем

$$\eta = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^3 a_i}{\sum_{i=1}^3 a_i \left( \frac{\delta_i}{\sum_{j=1}^3 a_j} \right)^{-\gamma_i}} \right)^3 = \left( 1 - M_d / \sum_{i=1}^3 a_i \left( \frac{\delta_i}{M_d} \right)^{-\gamma_i} \right)^3. \quad (5)$$

Формулу (5) мы запишем в виде:

$$\eta = \left( 1 - M_d / \left( \alpha_x \left( \frac{\delta_x}{M_d} \right)^{-\gamma_x} + \alpha_y \left( \frac{\delta_y}{M_d} \right)^{-\gamma_y} + \alpha_z \left( \frac{\delta_z}{M_d} \right)^{-\gamma_z} \right) \right)^3, \quad (6)$$

где  $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$  – максимальные масштабы структур по  $x, y, z$ ;  $\delta_x, \delta_y, \delta_z$  – минимальные масштабы измерения по  $x, y, z$ ;  $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$  – разность между фрактальной и топологической размерностями. Можно принять  $M_d = 1$ , так как мы ищем масштабно-инвариантную закономерность. Тогда нужно принять  $\delta_x, \delta_y, \delta_z \ll 1$ .

На рисунке 1(а) приведена зависимость пористости объекта от показателя скейлинга, полученная численным анализом формулы (6). На рисунке 1 приведены экспериментальные данные по фрактальной размерности пор [5]. Результаты численного анализа качественно согласуются с соответствующими экспериментальными данными [5], полученными измерениями вторичной электронной эмиссии в песчаниках. Отметим, что пористость наноматериалов экспериментально недостаточно изучена, необходимы специальные методы повышения точности измерения.

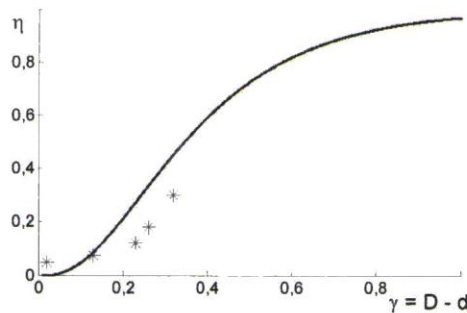


Рисунок 1. Зависимость пористости объекта от его фрактальной размерности.

$$M_d = 1, \alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 0.33, \delta_x = \delta_y = \delta_z = 0.01, d = 2, \gamma = D - d.$$

Работа выполнена при поддержке грантов 3209/ГФ4 и 0263/ПЦФ.

#### Литература:

1. Zhanabaev Z.Zh., Grevtseva T.Yu. Physical Fractal Phenomena in Nanostructured Semiconductors // Reviews in Theoretical Science. – 2014. – Vol. 2, No 3. – P.211-259.
2. Zhanabaev Z.Zh., Grevtseva T.Yu., Imanbayeva A.K., Zhanabayeva A. // Chaotic Modeling and Simulation. – 2015. – No 2. - P. 169-180.
3. Zhanabaev Z.Zh., Grevtseva T.Yu., Ibraimov M.K. Morphology and Electrical Properties of Silicon Films with Vertical Nanowires // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. – 2016. – Vol. 13, No 1. – P. 1-4.
4. Жанабаев З.Ж., Диханбаев К.К. // Мат. IV Междунар. науч. конф. «Современные проблемы физики конденсированного состояния, нанотехнологий и наноматериалов». – Алматы, 2016 (в печати).
5. Федер Е. Фракталы. – Москва: Мир, 1991. - 254 с.

## ӘЛПБИЛІК КӨРСЕТКІШ INDEX

### A

Abishev M. 64  
Aldiyarov A., Алдияров А.У. 157, 168  
Almenova A. 35  
Arzimbetova M. 55  
Aldabergenova T. 271  
Абдирахманов А.Р. 118  
Абдиреймова Г.Р. 225  
Абдрахманов А.Р. 81  
Абдукадыров М.А. 254  
Абдуллин Х.А. 236, 248, 250, 257, 263, 265, 269  
Абдурахманов Ж.З. 34  
Агишев А.Т. 179, 190  
Адамбек Г.А. 109  
Азнабаев Д.Т. 63  
Айдабол С.К. 134  
Аимбетов А.А. 4  
Аканаев А.Б. 185  
Аканаев Б.А. 185  
Акильдинова А.К. 68  
Албанбай Н. 193  
Александренко В.В. 183  
Алиаскаров Р.К. 238, 243  
Алибеков С.Т. 40  
Алимгазинова Н.Ш. 58, 181, 186, 188, 193  
Амангелді А. 60  
Амиров С.М. 90  
Амирханова К.М. 250  
Амренова А.У. 109, 115, 116  
Антощенко В.С. 211, 234  
Антощенко Е.В. 211, 234  
Архипов Ю.В. 74, 92  
Арыстан А. 128  
Асилбаева Р.Б. 179  
Аскарова А.С., Аскарова Ә.С., Askarova A. 122, 124, 126, 128, 136, 140, 143, 153, 158  
Аскарулы А. 74, 92  
Аскербеков С.К., Askerbekov S.K. 48, 49, 50, 51, 52  
Атабаев И.Г. 259  
Аулбаева А.Р. 164  
Афанасьева Н.В. 36  
Ахтанов С.Н. 175  
Ашикбаева А.Б. 74, 92

### B, Б

Balgimbekov G., Балгимбеков Г.Ш. 53, 60  
Baurzhan A. 157  
Beisenova A.D. 35  
Borisov A. 39  
Boshkayev K., Бошкаев К.А. 52, 53, 54, 55, 60  
Botantayeva G.E. 213  
Brodyagina M. 268  
Bronczyk A. 271  
Burkova N.A., Буркова Н.А. 36, 38  
Бабашева Д. 162  
Базылова Д. 132

Баймулдин Р.В. 148  
Байсагов Я.Ж. 166  
Бактиярова А.Б. 90  
Балагуров А.М. 61  
Бастыкова Н.Х. 110, 111  
Батрышев Д.Г. 208, 236, 248, 257  
Бейсебаева А.С. 177, 181  
Бейсенов Р.Е. 267  
Бейсенов Х.И. 153  
Бекбаев А.К. 63  
Бекетаева М.Т. 122  
Бекмұхамет А. 124, 126  
Березовская И.Э. 126  
Бижанов А. 220  
Бияшева З.М. 12, 40  
Болатбекова А.Б. 263  
Болегенова С.А., Бөлегенова С., **Bolegenova S.** 122, 124, 126, 128, 136, 140, 143, 153, 158  
Бониц М. 72  
Буркова Н.А. 36, 38  
Бришева Ж.Н. 54, 60  
Быченко А.Н. 34

### B

Валиолда Д.С. 47  
Васильев М.М. 4  
Воронова Н.А. 218

### C

Chubenko A. 39  
Cicero G. 269

### G

Габдулин А.Ж. 78  
Габдуллин М.Т. 4, 68, 70, 79, 86, 88, 208, 215, 236, 248, 250, 257  
Габдуллина А.Т. 109, 115, 116  
Габдуллина Г.Л. 93  
Габитов И.Р. 94, 101  
Габитова З.Х. 143, 158  
Гладких Т.М. 10  
Голубев И.С. 166  
Гревцева Т.Ю. 172, 179, 195  
Гриценко Л.В. 263, 269  
Гусейнов Н.Р. 238, 243  
Гученко С.А. 145, 164, 246

### D, Д

Daineko Y. 268  
Dalkarov O. 39  
Danlybaeva A.K. 44  
Dzhunushaliev V. 6, 14  
Давлетов А.Е. 92, 94, 96, 101  
Дамбиев Ц.Ц. 150, 155  
Данияров Т.Т. 68, 70, 79  
Даутбекова Н.К. 269  
Джалалов Т.А. 255

ПОРИСТОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОКЛАСТЕРНЫХ ПЛЕНОК З.Ж. Жанабаев, Т.Ю. Гревцева, А.Е. Жанабаева, И.С. Тлеубаева.....	195
ИНФОРМАЦИОННО-ЭНТРОПИЙНЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЛАКТИК А.Ж. Наурызбаева, Д.Рахымжанқызы, Г.С. Касымханова .....	197
ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ Ш.А. Туляганова.....	199
ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С НАСЫЩЕНИЕМ А.К. Иманбаева, Ж.Б. Токмырзаева .....	201
ОПТИЧЕСКИЙ МИКРОСКОП С ТРЕМЯ СТУПЕНЯМИ УВЕЛИЧЕНИЯ А.Л. Шакиров, В.В. Дьячков .....	203
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АНИЗОТРОПНОЙ ФРАКТАЛЬНОЙ АНТЕННЫ Б.А. Карибаев, Т. Намазбаев, З.Ж. Жанабаев, А.К. Иманбаева, А.А. Темирбаев.....	205
<b>5-СЕКЦИЯ. Конденсацияланған күй физикасы. Нанотехнология</b> <b>SECTION 5. Condensed Matter Physics. Nanotechnology</b>	
СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК PECVD МЕТОДОМ Д.Г. Батрышев, Т.С. Рамазанов, М.К. Досболаев, М.Т. Габдуллин, Е. Ерланулы.....	208
ИЗЛУЧЕНИЕ ПОЗИТРОНОВ В ВАКАНСИЯХ И ВАКАНСИОННЫХ КЛАСТЕРАХ А.И. Купчишин .....	210
РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА СИНТЕЗА ПЛЕНОК ОКСИДА МЕДИ (II) В.С. Антощенко, А.А. Мигунова, Ю.В. Францев, О.А. Лаврищев, Е.В. Антощенко.....	211
THE DEPENDENCE OF THE OPTICAL PROPERTIES OF ORGANOMETAL PEROVSKITES ON HALOGEN CONTENT K.S. Sekerbayev, G.E. Botantayeva, E.T. Taurbayev.....	213
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФУЛЛЕРЕНОВ В МЕДИЦИНЕ М.Т. Габдуллин, Б.А. Каюпов, Д.В. Исмаилов, К.К. Хамитова, Керимек Д.С. ....	215
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЦ ОБЛУЧЕНИЯ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, МЕДИЦИНСКИХ МАТЕРИАЛОВ, АНАЛИЗ И ВЫБОР РЕЖИМОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ПРОДУКЦИИ А.И. Купчишин, Б.А. Тронин, К.Ш. Шаханов .....	217
КАСКАДНО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОХОЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО И ЕГО СВЯЗЬ С УРАВНЕНИЯМИ БОЛЬЦМАНА А.И. Купчишин, А.А. Купчишин, Н.А. Воронова, В.М. Лисицын .....	218
О СВЯЗИ РАДИАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ С ЦЕПЯМИ МАРКОВА ПРИ ПРОТОННОМ ОБЛУЧЕНИИ А.А. Купчишин, А.И. Купчишин, В.М. Лисицын, Е.В. Шмыгалев, Т.А. Шмыгалева .....	219
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБЛУЧЕНИЙ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК ZnTe/GaAs М.Б. Шарипбаев, А. Бижанов, А. Жалекешов.....	220
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ К.А. Исмаилов, А.К. Саймбетов, Б.К. Исмаилов .....	222
ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ БИОМАТЕРИАЛОВ СОРБУЛАКА, ОБЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНАМИ О.В. Есырев, А.И. Купчишин, М.К. Наурызбаев, Н.Н. Ходарина .....	223