

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

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ

Н.Р. Гусейнов<sup>1,2</sup>, М.М. Муратов<sup>1,2</sup>, М.Т. Габдуллин<sup>2,3</sup>, Р.Р. Немкаева<sup>2</sup>, М.М. Мырзабекова<sup>2</sup>,  
Я.Л. Шабельникова<sup>4</sup>, С.И. Зайцев<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа (ННЛОТ), Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Казахстанско-Британский Технический Университет, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов (ИМПТ) РАН,  
Черноголовка, Россия

Ионно-лучевая литография подобна электронно-лучевой литографии. Принципиальное отличие ионно-лучевой литографии является использование более тяжелых заряженных частиц - ионов. В настоящее время, по разным причинам, ионно-лучевая применяется гораздо реже электронно-лучевой литографии, несмотря на множество преимуществ по сравнению с последней. Ионы движутся по более прямым траекториям, чем электроны, вторичные частицы (в основном атомы) имеют достаточно малую длину пробега. А это говорит о том, что ионно-лучевая литография способна преодолеть фундаментальный предел разрешения электронно-лучевой литографии в ~10нм.

Учитывая все преимущества ионно-лучевой литографии, была сформулирована задача изучения всех основных законов взаимодействия ионов с современными резистами. В работе сообщается о двух важных результатах. Проведено строгое сравнение чувствительности резиста - полиметилметакрилат (ПММА) к облучению электронными и ионными пучками. Показано, что, как и в случае электронного облучения, резист демонстрирует как положительное (при низких дозах), так и отрицательное (при более высоких дозах) поведение чувствительности. Но по сравнению с электронным экспонированием, чувствительность резиста примерно в тысячу раз выше к ионному экспонированию, как в положительной, так и отрицательной областях.

	Позитив, [ $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ]	Негатив, [ $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ]	Отношение, Нег./Поз.
Электроны (30 keV)	150	~ 5000	33
Ионы $\text{Ga}^+$ (30 keV)	0,15	~ 2,2	15
Отношение, Ионы/Электроны	1000	2200	

Вторая серия экспериментов касалась изучения глубины травления (толстого) резиста в зависимости от дозы облучения. Обнаружено, что в отличие от облучения электронами, распределение энергии осажденной ионами сильно неоднородно по глубине, что приводит к сильно неоднородной зависимости скорости травления от глубины и дозы облучения.

Эти данные явились основой для попыток количественно восстановить пространственное распределение потерь энергии быстрых ионов в веществе.

Описание процесса основывается на формуле (1), в которой скорость растворения резиста  $V$  связана с плотностью поглощенной энергии  $E_{exp}(z)$ , облученной дозой  $D$  и контрастом резиста  $\gamma$  следующим соотношением:

$$\frac{V}{V_0} = \left( \frac{D E_{exp}(z)}{D_0} \right)^\gamma \quad (1)$$

Плотность поглощенной энергии выражается эмпирической формулой (2) в виде смещенной Гауссоиды полученной в работах [1,2] методом Монте-Карло (программа TRIM)

$$E_{exp}(z) = A \exp\left(-\frac{(z-B)^2}{2C^2}\right) \quad (2)$$

Как видно из рисунка 1, наблюдается согласие между экспериментальными и расчетными данными. Описание экспериментальных результатов приведенными формулами позволяет восстановить контраст резиста  $\gamma = 3.1$  и длину свободного пробега ионов в ПММА  $L=43$  нм. Это значение на 20% меньше длины энергии, полученной при моделировании (53 нм). Пока неясно, связано ли это различие с несовершенством формулы (сечения взаимодействия в TRIM), встроенной в алгоритм моделирования, или разница обусловлена простотой разрабатываемой модели.

Таким образом, в дополнение к практической значимости измеренных характеристик (чувствительности, контраста) представленная методика открывает экспериментальный способ изучения процессов взаимодействия быстрых ионов с веществом.

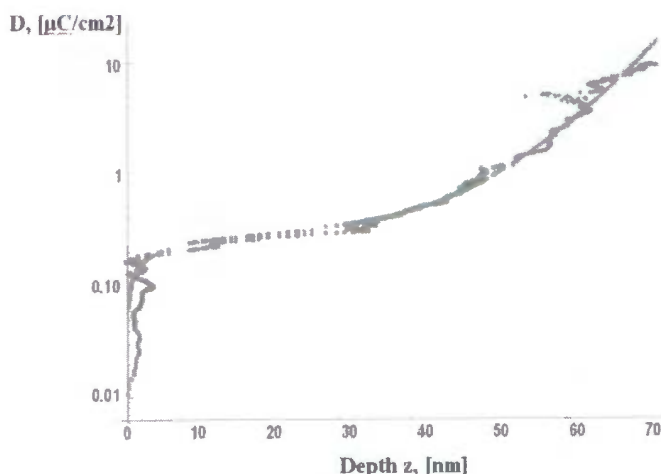


Рисунок 1. Сравнение экспериментальной глубины травления (синие точки) с кривой моделирования (желтые точки) согласно с (1) и (2) позволяют определить значения контраста резиста ( $\gamma \sim 3,1$ ) и энергетической длины пробега ионов  $\text{Ga}^+$  в ПММА.

В ионно-лучевой литографии по сравнению с электронно-лучевой литографией, наблюдается сильная зависимость чувствительности резиста от толщины. При увеличении толщины от 10 нм до 70 нм чувствительность, измеренная в единицах  $[\mu\text{C} / \text{cm}^2]$ , изменяется на порядок, оставаясь, однако, все еще высокой по сравнению с чувствительностью к облучению электронами.

#### Список литературы

1. Ya. Shabelnikova, S. Zaitsev, The International Conference "Micro- and Nanoelectronics – 2016" (ICMNE-2016) with the Extended Session "Quantum Informatics" (QI 2016) October 3-7, 2016, Moscow Region, Russia.
2. Ya. Shabelnikova, S. Zaitsev, Modeling the distribution of energy deposited by FIB in ion beam lithography, see Abstracts of MNE 2017, Sept 18-22, 2017, BRAGA, Portugal

## UNIQUE APPROACHES TO SYNTHESIZE 1D/3D $\text{SrTiO}_3$ NANOFIBERS USING COMBINATION OF ELECTROSPINNING AND SOL-GEL TECHNIQUE

Yerkin SHABDAN, Kadirzhan K. DIKHANBAYEV

*Al-Farabi Kazakh National University*

#### Abstract:

In this study, a unique approach was developed to synthesize 1D/3D composite nanofibers of strontium titanate using combination of electrospinning and sol-gel technique. This wideband gap  $\text{SrTiO}_3$  is important for photocatalytic water splitting research. The electrospinning and sol-gel method are very easy and effective way to produce 1D nanofibers. Different crystallite sizes of  $\text{SrTiO}_3$ -nanofibers (STO-NFs) were produced by varying the synthesis parameters including precursor concentration and calcination temperature. The synthesized nanofibers were characterized using XRD, SEM. The crystallite size of STO-NFs decreases with increasing precursor concentration (3.03–15.78 vol.%) and gradually increases as the calcination temperature increases within the range of 600–800 °C. This synthesis technique provides a good example to produce other inorganic photocatalytic 1D/3D porous structure materials.

#### Introduction

Solar energy, with a magnitude of approximately  $10^5$  terawatts on earth surface, is considered one of the important renewable energy sources in fulfilling the world's energy demand [1, 2]. Due to the lack of continuous availability of solar light [3–5], the study of converting solar energy into other forms of energy for continuous supply becomes crucial. Therefore, water splitting research becomes intensive [6, 7], since

<i>К.Н. Турманова, Ж.К. Толепов, А.С. Жакыпов, О.Ю. Приходько, Г.А. Исмайлова, С.Я. Максимова</i> Технология получения наноразмерных пленок Ge <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> Te <sub>5</sub> , модифицированных примесью серебра	175
<i>Әбдісадықова К.Н., Жорахан Ж., Сыдықова Д.М.</i> Күміс нанобөлшектерімен легіріленген жұқа TiO <sub>2</sub> қабықшаларының қасиеттері	177
<i>Н.Х. Ибраев, А.К. Аймуханов</i> Плазмно-усиленный активный элемент для перестраиваемого лазера на красителе	179
<i>В.Д. Кравцова, А.Ж. Дуkenбай, Г.А. Исмайлова, О.Ю. Приходько</i> Технология получения и электронные свойства модифицированных алициклических полиимидных пленок	184
<i>Н.Х. Ибраев, Д.А.Афанасьев</i> Синтез наночастиц Al методом лазерной абляции в различных растворителях	185
<i>Д.Г. Батрышев, Е. Ерлану, М.Т. Габдуллин, Н.Е. Аханова, Желкобаев Ж.Е., Дарзбек С.А.</i> Разработка системы измерения наноперемещений	188
<i>Н.В. Васильева, Г.Т. Смагулова</i> Синтез нанодисперсного порошка $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> с помощью методов печини и золь-гель синтеза	189
<i>Н.В. Васильева, Г.Т. Смагулова, З.А. Мансуров</i> Получение защитного гидрофобного покрытия на основе нанодисперсной серы	191
<i>Н.Р. Гусейнов, М.М. Муратов, М.Т. Габдуллин, Р.Р. Немкаева, М.М. Мырзабекова, Я.Л. Шабельникова, С.И. Зайцев</i> Экспериментальное изучение распределения энергии в ионно-лучевой литографии	193
<i>Yerkin Shabdan, Kadirzhan K. Dikhanbayev</i> Unique approaches to synthesize 1D/3D SrTiO <sub>3</sub> nanofibers using combination of electrospinning and sol-gel technique	194
<i>Е.С. Мухаметкаримов, О.Ю. Приходько, С.Л. Михайлова, К. Даутхан, А. Аманбеков, А. Ғалымжанова, У. Имангазы</i> Моделирование плазмонного резонанса поглощения света в композитных средах	199
<i>Ж.К. Толепов, К.Н. Турманова, А.С. Жакыпов, Г.А. Исмайлова, Г. Наурызбайқызы, О.Ю. Приходько</i> Структура и электронные свойства пленок GST225, модифицированных металлом	200
<i>Е. Ерланулы, Д.Г. Батрышев, Т.С. Рамазанов, М.Т. Габдуллин, Н.Е. Аханова</i> Синтез углеродных наностен методом PECVD для создания суперконденсаторов	201
<i>А. И. Купчишин, Б. Г. Таипова, Б. А. Тронин, К.Ш. Шаханов</i> Исследование механических свойств некоторых полимерных изоляционных материалов	202
<i>А. И. Купчишин, М. Н. Ниязов, А.Т. Абдухаирова</i> Деформация политетрафторэтилена при разных нагрузках и электронном облучении	205
<i>А.И. Купчишин, М.Н. Ниязов, Б.Г. Таипова, Н.Н. Ходарина, К.Ш. Шаханов</i> Исследование механических свойств текстолита и стеклотекстолита при испытании на плоский прямой изгиб	207
<i>А. И. Купчишин, О.В. Есырев, Н.Н. Ходарина, Б.Г. Таипова, Т.И. Зубарева</i> Оптические исследования необлученных, загрязненных и облученных биоматериалов	210
<i>А.И. Купчишин.</i> Каскадно-вероятностная функция для стабильных частиц, генерирующих радиационные дефекты	212
<i>А.И. Бондарев, З.Ж. Жанабаев, К.К. Диханбаев, С.М. Манаков</i> Поверхностная модификация газового сенсора на основе пористого кремния и кремниевых нанонитей	216
<i>С.М. Манаков, М.К. Ибраимов, Е. Сагидолда, Ш.А. Жуматова, М.Б. Дарменкулова</i> Газовый сенсор на основе пористого кремния и кремниевых нанонитей	220
<i>Л.В. Михайлов, Г.А. Исмайлова, С.Л. Михайлова, М.Ж. Куатова, А.М. Сидяров, Т.М. Жалилов.</i> Автоматизированная система смарт окна с использованием солнечных панелей	225
<i>Е.Е. Сандыбаев, А. Д. Мурадов, М. Przybylski, К.М. Мукашев, Г.Ш. Яр-Мухамедова</i> Исследование механических свойств полиимидных композитных пленок с наполнителями из углеродных нанотрубок	228