

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра физики твердого тела**

**ШАРИПОВ**  
Шахзод Дилшодович

**МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ И СТРУКТУРА  
ТОНКИХ ПЛЕНОК  $Sb_2Se_3$ , СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ  
ХИМИЧЕСКОГО МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОГО ОСАЖДЕНИЯ**

Дипломная работа

Научный руководитель:  
доцент кафедры физики твердого тела,  
кандидат физико-математических наук,  
доцент  
Поляк Наталья Ипполитовна

Рецензент:  
заведующий кафедрой ядерной физики,  
кандидат физико-математических наук,  
доцент  
Тимощенко Андрей Игоревич

Допущена к защите  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 г.

Зав. кафедрой физики твердого тела  
доктор физико-математических наук, профессор Углов В.В.

Минск, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ.....	3
ANNOTATION.....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	7
1.1 Солнечная энергетика (преимущества и недостатки), перспективы ее развития .....	7
1.2 Методы и технология получения тонких пленок.....	12
1.3 Тонкие пленки на основе $Sb_2Se_3$ .....	13
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	25
2.1 Материал исследования .....	25
2.2 Рентгеноспектральный микроанализ, растровая электронная и атомно-силовая микроскопии .....	27
2.3 Рентгеноструктурный анализ.....	28
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ .....	30
3.1 Морфология поверхности пленок.....	30
3.2 Структурно-фазовый анализ пленок.....	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	49

## РЕФЕРАТ

Дипломная работа: 50 с., 31 рис., 7 табл., 30 источников, 1 прил.

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ТОНКИЕ ПЛЕНКИ  $Sb_2Se_3$ , МЕТОД ХИМИЧЕСКОГО МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОГО ОСАЖДЕНИЯ, МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ, СТРУКТУРА ПЛЕНОК, РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНЫЙ МИКРОАНАЛИЗ, РАСТРОВАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ И АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИИ, РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ.

Объектом исследования являлись тонкие пленки  $Sb_2Se_3$ , синтезированные методом химического молекулярно-пучкового осаждения.

Цель работы: изучение морфологии поверхности пленок  $Sb_2Se_3$ , полученных при различных температурах источника, установление их фазового состава и определение преимущественной ориентировки кристаллов.

Методы исследования: рентгеноспектральный микроанализ, растровая электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, рентгеноструктурный анализ.

Обнаружено, что синтезированные пленки имеют в целом схожую морфологию поверхности – столбчатую структуру; с ростом температуры источника кристаллиты отличаются размерами и имеют различный наклон по отношению к подложке; характеризуются развитым рельефом поверхности (средняя шероховатость поверхности  $S_a$  составляет около 0,2-0,4 мкм), наличием либо отсутствием микрополостей и микротрещин. Установлено что пленки состоят преимущественно из фазы  $Sb_2Se_3$  (JCPDS-00-015-0861) с ромбической кристаллической решеткой (пространственная группа  $Rnma$ , № 62), сильно различаются по своей текстуре.

Полученные результаты могут быть использованы для применения синтезированных пленок  $Sb_2Se_3$  в солнечных элементах и улучшения их эффективности.

## ANNOTATION

Thesis: 50 pages, 31 figures, 7 tables, 30 sources, 1 app.

SOLAR ENERGY,  $Sb_2Se_3$  THIN FILMS, CHEMICAL MOLECULAR-BEAM DEPOSITION METHOD, SURFACE MORPHOLOGY, FILM STRUCTURE, X-RAY SPECTRAL MICROANOSPECTRAL MICROANALYSIS AND RASTROUS

The object of investigation was thin films of  $Sb_2Se_3$  synthesized by the method of chemical molecular beam deposition.

The aim of the work is to study the surface morphology of  $Sb_2Se_3$  films obtained at different source temperatures, to establish their phase composition, and to determine the preferred orientation of crystals.

Research methods: X-ray spectral microanalysis, scanning electron microscopy, atomic force microscopy, X-ray structural analysis.

It was found that the synthesized films have a generally similar surface morphology - a columnar structure; with an increase in the temperature of the source, the crystallites differ in size and have a different slope with respect to the substrate; characterized by a developed surface relief (the average surface roughness  $S_a$  is about 0.2-0.4 microns), the presence or absence of microcavities and microcracks. It was found that the films mainly consist of the  $Sb_2Se_3$  phase (JCPDS-00-015-0861) with a rhombic crystal lattice (space group  $Pnma$ , no. 62), differ greatly in their texture.

The results obtained can be used to apply the synthesized  $Sb_2Se_3$  films in solar cells and improve their efficiency.