

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Национальный исследовательский  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**В.В. Углов, Н.Т. Квасов, И.В. Сафронов,  
Г.Е. Ремнев, С.В. Злоцкий**

# **РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ**



ТОМСК  
«Издательство НТЛ»  
2018

УДК 539.1:539.21  
P153

P153 **Углов В.В., Квасов Н.Т., Сафронов И.В., Ремнев Г.Е., Злоцкий С.В.** Радиационная стойкость наноструктурированных материалов. – Томск: Изд-во НТЛ, 2018. – 172 с.

ISBN 978-5-89503- 623-5

В монографии представлены результаты теоретического моделирования и экспериментальных исследований радиационной повреждаемости наноструктурированных материалов, включая отдельные наночастицы, нанокomпозиционные структуры, аморфные материалы и многослойные тонкопленочные покрытия. Установлены особенности дефектообразования в низкоразмерных системах при их ионном облучении. На основе полученных результатов делается вывод о перспективности использования наноструктурированных систем в качестве радиационно стойких материалов.

УДК 539.1:539.21

*Представленные результаты получены  
в результате выполнения проекта Российского научного фонда  
№ 16-19-10246 «Разработка научных основ создания  
радиационно стойких нанокomпозиционных материалов»*

**Рецензент:** **Овчинников Владимир Владимирович,**  
профессор, главный научный сотрудник  
Института электрофизики УрО РАН

ISBN 978-5-89503- 623-5

© В.В. Углов, Н.Т. Квасов,  
И.В. Сафронов, Г.Е. Ремнев,  
С.В. Злоцкий, 2018

© Оформление. Дизайн.  
ООО «Издательство НТЛ», 2018



# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. <b>Физические процессы, происходящие при взаимодействии ускоренных ионов с нанокпозиционными материалами</b> .....	11
1.1. Пробег заряженных частиц в материалах.....	11
1.2. Размерная зависимость упругих свойств наночастиц.....	24
Глава 2. <b>Температурный разогрев и напряженно-деформированное состояние наночастиц материала при радиационном воздействии</b> .....	34
2.1. Температурный разогрев радиационно-поврежденных областей наноструктурированных материалов.....	34
2.2. Термоупругое напряженно-деформированное состояние наноструктурированных материалов, формируемое радиационным воздействием.....	39
Глава 3. <b>Моделирование процессов формирования и эволюции дефектно-примесной системы в наночастицах при радиационном воздействии</b> .....	43
3.1. Расчет сечения взаимодействия волны с дефектом.....	43
3.2. Динамические явления в облучаемых материалах.....	49
Глава 4. <b>Теплофизические и физико-механические свойства наночастиц и наноструктурированных материалов</b> .....	54
4.1. Температура плавления наночастиц.....	54
4.2. Упругие характеристики наноструктурированных материалов и их радиационная стойкость.....	61

---

Глава 5. Массоперенос в облучённых ускоренными ионами нанокпозиционных многослойных системах и механизмы радиационной стойкости материалов.....	65
Глава 6. Моделирование процессов дефектообразования, аморфизации и кластеризации при облучении ксеноном пс-TiN/a-Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -наноккомпозита .....	82
6.1. Нанокристаллическая пс-TiN-фаза.....	88
6.2. Аморфная а-Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -фаза.....	98
Глава 7. Структурно-фазовое состояние наноструктурированных тонких пленок после ионного облучения.....	104
7.1. Формирование наноккомпозитных и многослойных пленок .....	104
7.2. Структура пленок после облучения ионами ксенона .....	108
7.3. Структура пленок после облучения ионами гелия .....	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	153
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	155