

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

---

*В. В. Козловский    А. Э. Васильев*

# РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

## Часть 2. РАДИАЦИОННОЕ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ И ПРОТОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Учебное пособие

 **ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Санкт-Петербург  
2016

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

---

*В. В. Козловский    А. Э. Васильев*

# РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Часть 2. РАДИАЦИОННОЕ  
ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ  
В ПОЛУПРОВОДНИКАХ  
ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ  
И ПРОТОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Учебное пособие



Санкт-Петербург  
2016

УДК 621.38+539.1(075.8)

ББК 32+852я73

К59

*Козловский В. В. Радиационная физика полупроводников. Ч. 2. Радиационное дефектообразование в полупроводниках при электронном и протонном облучении* : учеб. пособие / В. В. Козловский, А. Э. Васильев. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. — 100 с.

Пособие соответствует ГОС направления магистерской подготовки 03.04.02\_01 «Физика наноструктур и наноэлектроника».

В пособии впервые дано систематическое изложение современного состояния исследований модифицирования полупроводников пучками протонов. Выполнен анализ общих феноменологических закономерностей взаимодействия легких ионов с монокристаллическими полупроводниками. Проведено концептуальное обобщение результатов фундаментальных исследований, полученных в течение последнего времени по основным направлениям радиационного модифицирования полупроводников пучками протонов: трансмутационному ядерному легированию, радиационно-стимулированной диффузии, легированию радиационными дефектами, формированию наноразмерных пористых слоев. В первую часть пособия, вышедшего в 2015 году, вошли главы, связанные с ионно-стимулированными процессами и ядерным трансмутационным легированием. Во вторую часть пособия вошли главы, в которых описывается легирование полупроводников радиационными дефектами, как точечными, так и протяженными.

Пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки магистров «Техническая физика». Пособие может быть также использовано будущими магистрами Института физики, нанотехнологий и телекоммуникаций (ИФНИТ) СПбПУ изучающими дисциплину «Физика конденсированного состояния» и преподавателями при подготовке к лекциям и практическим занятиям.

Печатается по решению

Совета по издательской деятельности Ученого совета

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

© Козловский В. В., Васильев А. Э., 2016

ISBN 978-5-7422-5185-9 (ч. 2) © Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016

ISBN 978-5-7422-5086-9

## Оглавление

Глава 3. Легирование полупроводников радиационными дефектами.....	3
3.1. Легирование полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$ радиационными дефектами.....	3
3.1.1. Арсенид галлия.....	4
3.1.2. Фосфид индия.....	13
3.1.3. Влияние протонного облучения на электрофизические свойства соединений $A^{III}B^V$ .....	15
3.1.4. Перспективы применения протонного облучения для создания полупроводниковых приборов на основе соединений $A^{III}B^V$ .....	
3.2. Легирование кремния радиационными дефектами.....	29
3.2.1. Радиационные дефекты в кремнии, облученном протонами и альфа-частицами.....	29
3.2.2. Энергетические уровни радиационных дефектов в облученном кремнии.....	29
3.2.3. Скорости образования и профили распределения концентрации радиационных дефектов в облученном кремнии.....	34
3.2.4. Применение легирования радиационными дефектами в технологии изготовления кремниевых приборов.....	41
3.3. Легирование узкозонных полупроводников радиационными дефектами.....	47
3.4. Легирование широкозонных полупроводников радиационными дефектами.....	51
3.4.1. Нитрид галлия.....	51
3.4.2. Карбид кремния.....	58
Глава 4. Формирование скрытых пористых и дефектных слоев.....	65
4.1. Формирование скрытых наноразмерных пористых слоев в полупроводниках.....	65
4.2. Использование пористых слоев в технологии полупроводниковых материалов и приборов.....	70
4.2.1. Технология “Smart Cut”.....	70
4.2.2. Геттерирование примесей пористыми слоями.....	88
Заключение.....	92
Библиографический список.....	94