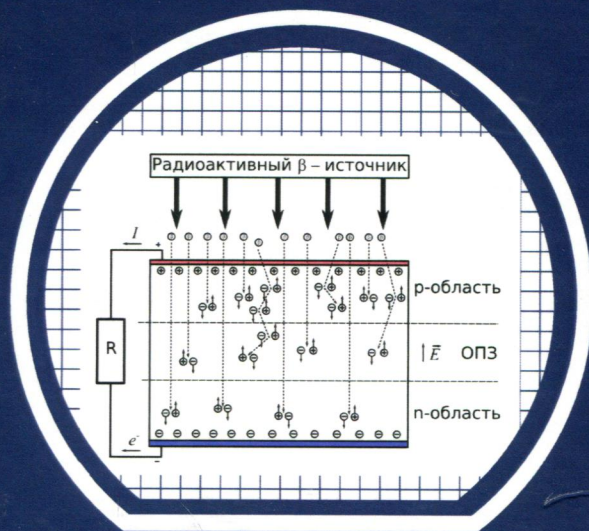


Физика полупроводниковых преобразователей



ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

**Под редакцией
Академика РАН, профессора А. Н. Саурова
члена-корреспондента АН Татарстана,
профессора С. В. Булярского**

Москва
2018

УДК 621.382

ББК 22.37

Ф50

Физика полупроводниковых преобразователей / под ред. Академика РАН, профессора А. Н. Саурова, члена-корреспондента АН Татарстана, профессора С. В. Булярского. М.: РАН, 2018. – 280 с.

В коллективной монографии излагаются физические процессы и механизмы, приводящие к снижению эффективности преобразования неэлектрических величин в электрический ток. Изучается природа возрастания обратных токов р-п-переходов и диодов Шоттки, связанная с образованием рекомбинационных центров в областях пространственного заряда этих приборов. Разработана модель переноса носителей заряда, которая объединяет и обобщает известные механизмы формирования обратных токов, а именно диффузионный, прыжковый и туннельный, а также формулирует критерии преобладания конкретного механизма. В работе рассчитана вероятность электронных переходов с учетом электрон-фононного взаимодействия, которая объясняет быстрое нарастание обратных токов с ростом приложенного напряжения. В монографии развиваются методики определения параметров рекомбинационных центров и электрон-фононного взаимодействия, рассчитываются обратные токи и эффективность преобразователей. На конкретных примерах показаны причины снижения эффективности приемников рентгеновского излучения, ядерных батареек, регистраторов частиц высоких энергий.

Книга содержит материалы как обучающего, так и научного характера. Она будет полезна ученым и инженерам, работающим в полупроводниковой отрасли, а также студентам и аспирантам, обучающимся в этом направлении.

ISBN 978-5-907036-30-7

DOI: 10.31857/S9785907036307000001

© Академик РАН А. Н. Сауров,
член-корреспондент АН Татарстана
С. В. Булярский, 2018

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
Глава 1. Сауров А. Н. Полупроводниковые преобразователи	8
1.2. Твердотельные приемники рентгеновского и оптического излучения	11
1.1. Кремниевые полупроводниковые преобразователи.....	8
1.3 Ядерные батареи.....	15
1.4. Показатели качества полупроводниковых преобразователей.	19
Глава 2. Булярский С. В. Обобщенная модель переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах	23
2.1. Области пространственного заряда полупроводникового прибора.	23
2.2. Неравновесные носители заряда, рекомбинация и генерация.	28
2.3. Основные понятия и приближения, характеризующие электрон-фононное взаимодействие.	32
2.4. Квантово-механический расчет вероятности электронно-колебательного перехода с локализованных состояний глубоких центров.	38
2.5. Связь вероятности перехода с коэффициентом поглощения света.	41
2.6. Локализация носителей заряда в пространственно-неоднородных структурах.	48
2.7. Обобщенная модель переноса носителей заряда в пространственно-неоднородных структурах.	51
2.8. Вольт-амперная характеристика при туннельной рекомбинации.....	58
2.9. Индуцированная рекомбинация.	68
Глава 3. Булярский С. В., Грушко Н. С., Лакалин А. В. Рекомбинационная спектроскопия электронных состояний в области пространственного заряда полупроводниковых преобразователей	72
3.1. Прямая вольт-амперная характеристика, обусловленная рекомбинацией в области пространственного заряда.....	72
3.2. Рекомбинационная спектроскопия. Приведенная скорость рекомбинации.....	82
3.3. Рекомбинационная спектроскопия. Производная приведенной скорости рекомбинации	87
3.4 . Рекомбинационная спектроскопия. Метод, основанный на разделении зависимости $R_{np}^2(U)/\exp(eU/2kT)$ на составляющие.....	89
3.5. Рекомбинационная спектроскопия. Дифференциальный показатель наклона ВАХ β	91
3.6. Прямые вольт-амперные характеристики при рекомбинации через многозарядные рекомбинационные центры.	93
3.7. Определение параметров центров рекомбинации золота в кремнии по вольт-амперным характеристикам р-п-переходов.....	102
Глава 4. Булярский С. В. Экспериментальное определение кинетических коэффициентов генерационно-рекомбинационных процессов и параметров их электрон-фононного взаимодействия	106
4.1. Кинетические уравнения генерационно-рекомбинационных процессов.	106
4.2. Изотермическое определение параметров центров рекомбинации и его разновидность нестационарная спектроскопия глубоких уровней.	109
4.3. Термостимулированные эксперименты по определения параметров рекомбинационных центров.....	117

4.4. Измерение полевой зависимости скорости эмиссии дырок с глубокого уровня комплекса VGaSAs в GaAs.	123
4.5. Измерение сечений фотоионизации электронов на примере рекомбинационного центра комплекса VGaSAs в GaAs.	125
4.6. Расчет форм-функции полосы поглощения комплекса VGaSAs из экспериментальных спектров сечения фотоионизации.	129
4.7. Расчет форм-функции излучения для комплекса VGaSAs в GaAs из экспериментальной полосы люминесценции.	131
4.8. Расчет форм-функции полосы поглощения комплекса VGaSAs из форм-функции полосы его излучения.	135
4.9. Определение параметров электрон-фононного взаимодействия. Построение конфигурационно-координатных диаграмм.	139
4.10. Влияние процессов нестационарного изменения степени заполнения глубоких уровней ловушки EL2 на спектр термостимулированной емкости. ...	142
Глава 5. Булярский С. В. Вычисление обратных токов с учетом изменения кинетических коэффициентов в сильных электрических полях и электрон-фононного взаимодействия.	149
5.1. Механизмы формирования обратных токов р-п-переходов и контактов металл-полупроводник.	149
5.2. Расчет вероятности фотоионизации глубоких центров в сильных электрических полях.	158
5.3. Расчет полевых зависимостей скоростей термической эмиссии.	162
5.4. Ток СВЧ варикапов и диодов Шоттки Ni-GaAs при обратном смещении.	166
5.5. Обратные токи светодиодов на основе арсенида галлия.	170
Глава 6. Басаев А. С., Булярский С. В. Полупроводниковые преобразователи рентгеновского излучения на основе кремниевых р-і-п-диодов.	173
6.1. Коэффициент полезного действия полупроводниковых преобразователей рентгеновского излучения.	173
6.2. Характеристики области пространственного заряда преобразователей рентгеновского излучения.	177
6.3. Определение параметров рекомбинационных центров методом термостимулированной емкости.	179
6.4. Изменение состава глубоких центров в области пространственного заряда при термостимулированном нагреве.	184
6.5. Рекомбинационные процессы в области пространственного заряда рентгеночувствительных приемников.	192
6.6. Температурные зависимости коэффициентов захвата центров рекомбинации.	197
6.7. Рекомбинация с участием многозарядных центров в преобразователях рентгеновского излучения.	199
6.8. Влияние электрон-фононного взаимодействия на обратные вольт-амперные характеристики преобразователей рентгеновского излучения.	202
6.9. Анализ путей снижения концентрации центров рекомбинации.	206
Глава 7. Булярский С. В., Абанин И. Е., Лакалин А. В., Светухин В. В. Полупроводниковые преобразователи β-излучения в электрическую энергию.	210
7.1. Источники питания, использующие энергию β -распада ядер.	210

7.2. Прямое преобразование β -излучения в электрический ток с помощью кремниевых p-i-n-диодов	213
7.3. Анализ потерь, которые возникают за счет самопоглощения в β -источнике.	220
7.4. Рекомбинационные процессы в преобразователях β -излучения на базе p-i-n-переходов.	229
7.5. Обратные вольт-амперные характеристики преобразователей.....	236
7.6. Оценка рекомбинационных потерь и потерь в преобразователе.....	238
7.7. Бета-батареи с непрямым преобразованием через стадию радиостимулированной люминесценции.....	247
Глава 8. Светухин В. В. Детекторы частиц высоких энергий на основе германия, легированного литием	256
8.1. Детекторы частиц на основе германия.....	256
8.2. Распад твёрдого раствора лития в германии.....	258
8.3. Моделирование роста фрактальных кластеров в решетке типа алмаз методом Монте-Карло.....	263
8.4. Экспериментальное исследование кинетики образования кластеров лития в детекторном германии.	265
8.5. Центры зарождения кластеров лития в германии.	268
8.6. Исследование кинетики разрушения кластеров лития в детекторном германии.	269
8.7. Деградация n-слоя германиево-литиевого детектора гамма-излучения... ..	273
8.8. Моделирование деградации и восстановления n-слоя германиево-литиевого детектора.....	273