

В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, А. П. Шпак,  
В. Ф. Мачулин, В. П. Кладько, И. В. Прокопенко,  
Р. Н. Кютт, Е. Н. Кисловский, С. И. Олиховский,  
Е. В. Первак, И. М. Фодчук,  
А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев

**ДИФРАКТОМЕТРИЯ  
НАНОРАЗМЕРНЫХ ДЕФЕКТОВ  
И ГЕТЕРОСЛОЕВ КРИСТАЛЛОВ**



Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины  
Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины  
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской АН  
Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича  
Кабардино-Балкарский государственный университет

**В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, А. П. Шпак,  
В. Ф. Мачулин, В. П. Кладько, И. В. Прокопенко,  
Р. Н. Кютт, Е. Н. Кисловский, С. И. Олиховский,  
Е. В. Первак, И. М. Фодчук,  
А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев**

## **ДИФРАКТОМЕТРИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ДЕФЕКТОВ И ГЕТЕРОСЛОЕВ КРИСТАЛЛОВ**

**Научный абонемент**

Киев «Академперіодика» 2005

В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, А. П. Шпак, В. Ф. Мачулин, В. П. Кладько, И. В. Прокопенко, Р. Н. Кютт, Е. Н. Кисловский, С. И. Олиховский, Е. В. Первак, И. М. Фодчук, А. А. Дышеков, Ю. П. Халачев

**Дифрактометрия наноразмерных дефектов и гетеростроек кристаллов/ Молодкин В. В., Низкова А. И., Шпак А. П. и др. — Киев: Академперіодика, 2005. — 364 с.**

Монография описывает один из революционных прорывов в физике и посвящается всемирному году физики. Настоящая коллективная монография написана в рамках руководимой академиком НАН Украины А. П. Шпаком программы научных исследований по проблеме «Наноструктурные системы, наноматериалы и нанотехнологии». В монографии анализируются новые уникальные возможности диагностики дефектов и характеристик основных структурных параметров наносистем на основе использования созданных в Институте металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины и имеющих мировой приоритет кинематической (М. А. Кривоглазом) и динамической (В. В. Молодкиным) теорий диффузного рассеяния дефектами кристаллов. В отличие от этих разработанных и описанных в монографии новых методов, традиционные методы неразрушающей диагностики таких наноразмерных объектов, к примеру рентгеновская топография, неэффективны, так как наноразмеры находятся за пределами чувствительности традиционных неразрушающих методов. Впервые демонстрируются принципиально новые функциональные возможности разработанных методов диагностики, использующих динамические эффекты диффузного рассеяния, в частности, такие, как интегральная дифрактометрия быстропотекающих процессов структурных изменений (рентгеновское кино), которая оказывается особенно эффективной для источников синхротронного излучения. Показана качественно новая возможность неразрушающей количественной диагностики характеристик дефектов одновременно нескольких типов (сертификация 21 века). Даются впервые основы неразрушающей, селективной по глубине диагностики характеристик дефектов в каждом из слоев гетеросистем. Иллюстрируется, при сохранении всех перечисленных новых функциональных возможностей, уникальная чувствительность разработанных методов диагностики нового поколения к характеристикам наноразмерных дефектов и наноструктур в монокристаллических объектах со сложной гетероструктурой. К их числу относятся как упруго изогнутые кристаллы, монокристаллы с нарушенными поверхностными слоями, гетероструктуры с наноразмерными слоями и переходными областями, так и сверхрешетки с самоорганизованными решетками квантовых точек.

Данное издание, по мнению авторов, будет полезным для исследователей в области диагностики дефектов в кристаллах и изделиях нанотехнологий, а также аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

Ил. 122. Табл. 88. Библиогр.: с. 340-362 (579 назв.)

#### Научные редакторы

академик НАНУ А. П. Шпак,  
чл.-корр. НАНУ В. В. Молодкин  
чл.-корр. НАНУ В. Ф. Мачулин

#### Ответственный редактор

д-р физ.-мат. наук В. А. Татаренко

#### Рецензенты

чл.-корр. НАНУ Л. А. Вулавин,  
проф. В. А. Бушнев,  
проф. В. С. Карамурзов

*Утверждено к печати  
ученым советом Института металлофизики  
им. Г. В. Курдюмова НАН Украины*

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	9
<b>ГЛАВА 1. Динамическая природа структурной чувствительности полной (суммы брэгговской и диффузной) интегральной отражательной способности монокристаллов (ПИОС).....</b>	<b>12</b>
§1. Введение.....	12
§2. Теоретические основы динамической интегральной дифрактометрии в геометрии Лауэ методом ПИОС.....	19
§3. Определение методом ПИОС в геометрии Лауэ величин характеристик случайно распределенных в монокристалле микродефектов одного известного типа.....	22
§4. Нарушение закона сохранения ПИОС несовершенного монокристалла при динамическом рассеянии рентгеновского излучения в геометрии Брэгга.....	29
§5. Энергетические и азимутальные зависимости интегральной отражательной способности реальных монокристаллов в случае Брэгг-дифракции рентгеновских лучей.....	31
§6. Выводы.....	39
<b>ГЛАВА 2. Экспериментальное обнаружение и установление дифракционной природы в кристаллах с несколькими типами дефектов нового явления — изменения избирательности чувствительности ПИОС и определяющего типа дефектов в результате изменения экспериментальных условий дифракции.....</b>	<b>40</b>
§1. Введение.....	40
§2. Физическое обоснование принципиальной возможности использования толщинных зависимостей ПИОС, полученных в случаях «тонкого» и «толстого» кристаллов в геометрии Лауэ, для определения величин их структурно чувствительных параметров.....	44

§3. Проблема неоднозначности диагностики как эффект наблюдаемого изменения характеристик дефектов с изменением порядка отражений.....	49
§4. Определение методом ПИОС в геометрии Лауэ величин характеристик случайно распределенных в монокристалле микродефектов нескольких известных типов.....	51
§5. Выводы.....	55
<b>ГЛАВА 3. Влияние нарушенного поверхностного слоя (НПС) на динамическое рассеяние в кристаллах с дефектами .....</b>	<b>57</b>
§1. Введение.....	57
§2. Зависимость чувствительности ПИОС к наличию НПС от условий Брэгг-дифракции рентгеновского излучения в идеальных кристаллах.....	60
2.1. Теоретическая модель.....	60
2.2. Сравнение экспериментальных данных с различными теоретическими моделями НПС.....	63
2.3. Исследование поверхности Si(100) при использовании спектральной зависимости ПИОС.....	65
§3. Создание и использование для диагностики модели ПИОС в геометрии Брэгга для НПС кристаллов с СРД.....	66
3.1. Теоретическая часть.....	66
3.2. Экспериментальная реализация метода для диагностики характеристик НПС и СРД одного типа.....	70
3.3. Возможности диагностики наноразмерных НПС и СРД нескольких типов в сильно поглощающих кристаллах.....	74
§4. Выводы.....	77
<b>ГЛАВА 4. Интегральная дифрактометрия статистически распределенных наноразмерных дефектов (СРНД) в упруго изогнутом монокристалле.....</b>	<b>79</b>
§1. Введение.....	80
§2. Влияние упругого изгиба (УИ) на диффузное рассеяние и экстинкционные эффекты в монокристаллах с дефектами.....	86
§3. Установление природы возможных механизмов как аддитивного, так и неаддитивного влияния УИ и СРНД на величину ПИОС.....	93

§4. Количественное описание влияния на ПИОС упругого изгиба для монокристаллов с разными характеристиками СРНД.....	98
§5. Изучение совместного влияния изгиба и СРНД различных типов и размеров на величину ПИОС.....	103
§6. Использование деформационных зависимостей ПИОС для диагностики СРНД в монокристалле.....	109
§7. Выводы.....	113
<b>ГЛАВА 5. Точные аналитические решения задач рентгеновской кристаллооптики для структур с переменным градиентом деформации.....</b>	<b>115</b>
§1. Физическая интерпретация типов решений уравнений Такаги согласно теории устойчивости.....	117
§2. Структура с переменным градиентом деформации.....	120
§3. Динамическая рентгеновская дифракция в кристалле с экспоненциальным градиентом деформации. Точное аналитическое решение и основные качественные особенности волнового поля....	123
§4. Динамическая дифракция в случае резкого градиента деформации.....	126
§5. Расчет равномерно пригодных разложений для вырожденных гипергеометрических функций.....	135
§6. Новые точные аналитические решения рентгеновской динамической дифракции в кристаллах с переменным градиентом деформации.....	140
§7. Рентгенодифрактометрическое исследование двухслойной гетероструктуры с переходным слоем с учетом изменения электронной плотности.....	146
<b>ГЛАВА 6. Рентгеновская дифрактометрия структурных изменений в нанопористом кремнии при ионной имплантации фосфора.....</b>	<b>154</b>
§1. Введение.....	154
§2. Объект исследований.....	155
§3. Экспериментальная часть.....	156
§4. Теоретическая часть.....	156
§5. Результаты.....	159



5.1. Рентгенодифракционные исследования.....	159
5.2. Фотолюминесценция.....	160
§6. Выводы.....	162
<b>ГЛАВА 7. Рентгеноструктурные исследования дефектообразования при имплантации кремния ионами фосфора.....</b>	<b>163</b>
§1. Интегральные параметры структурного совершенства имплантированных ионами фосфора кристаллов.....	163
§2. Влияние отжига на процессы дефектообразования в имплантированных ионами фосфора кристаллах кремния.....	172
§3. Моделирование распределения деформаций в поверхностных слоях кремния, имплантированного ионами фосфора.....	176
<b>ГЛАВА 8. Высокоразрешающая дифрактометрия многослойных эпитаксиальных систем.....</b>	<b>181</b>
§1. Введение.....	181
§2. Использование двухкристальных кривых отражения.....	182
§3. Моделирование кривых отражения.....	186
§4. Использование трехкристальной дифрактометрии.....	192
§5. Определение параметров сверхрешеток CdSe/BeTe.....	195
§6. Исследование сверхрешеток AlGaIn/Ga.....	200
§7. Определение параметров дислокационной структуры эпитаксиальных слоев.....	207
<b>ГЛАВА 9. Диагностика многослойных наноразмерных систем...218</b>	<b>218</b>
§1. Введение.....	218
§2. Теоретическая часть.....	221
§3. Объект исследований.....	225
§4. Результаты исследований.....	227
4.1. Многослойная структура с квантовой ямой (КЯ) типа $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ...228	228
4.2. Многослойная структура с КЯ типа $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ .....	232
4.3. Многослойная структура с буферными слоями $\text{GaAs}_{1-y}\text{N}_y$ и слоем КЯ типа $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$ .....	234

4.4. Многослойная система с двумя квантовыми ямами — $\text{In}_{0,37}\text{Ga}_{0,63}\text{As}_{1-x}\text{N}_x$ .....	237
4.5. Система $\text{In}_{0,37}\text{Ga}_{0,63}\text{As}_{1-y}\text{N}_y/\text{GaAs}$ .....	238
§5. Выводы.....	239
<b>ГЛАВА 10. Эффекты диффузного рассеяния от дефектов в многослойных структурах с квантовой ямой (стенкой).....</b>	<b>241</b>
§1. Введение.....	241
§2. Дифракционная модель.....	243
2.1. Когерентное рассеяние.....	244
2.2. Диффузное рассеяние.....	248
§3. Структурные и дифракционные параметры КЯ и буферных слоев.....	252
§4. Эксперимент.....	253
§5. Обработка измеренной КДО и анализ результатов.....	254
§6. Резюме и выводы.....	258
<b>ГЛАВА 11. Высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия многослойных периодических структур с квантовыми точками и ямами (стенками).....</b>	<b>260</b>
§1. Исследование короткопериодных сверхрешеток GaAs/AlAs с помощью высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии.....	261
§2. Поведение сателлитных дифракционных максимумов короткопериодных сверхрешеток GaAs–AlAs с различной степенью кристаллического совершенства слоев.....	267
§3. Формирование кривых отражения для квазизапрещенных отражений в короткопериодных сверхрешетках GaAs–AlGaAs.....	272
§4. Применение квазизапрещенных рентгеновских рефлексов для исследования многослойных периодических структур.....	276
§5. Рентгенодифракционные исследования 2D–3D структурных переходов в многослойных периодических структурах $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ .....	282
§6. Влияние упорядочения в периодических структурах с квантовыми точками на характер брэгговской дифракции.....	287
§7. Исследование латерального и вертикального упорядочения квантовых точек в многослойных наноструктурах $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ с	



## Содержание

помощью двумерных карт рассеяния рентгеновских лучей в обратном пространстве.....	294
<b>ГЛАВА 12. Основы динамической дифрактометрии микродефектов в каждом слое гетероструктуры с квантовой ямой и эффектов сегрегации и взаимодиффузии.....</b>	<b>314</b>
§1. Введение.....	314
§2. Динамическая теория рассеяния в многослойной системе с дефектами.....	316
2.1. Когерентное рассеяние.....	316
2.2. Диффузное рассеяние.....	320
§3. Эксперимент.....	322
§4. Дифракционные и структурные параметры КЯ и буферных слоев.....	323
§5. Анализ КДО и обсуждение результатов.....	325
§6. Резюме и выводы.....	332
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>333</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>340</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В последнее время созданы теоретические основы, методы и приборы нового (четвертого) поколения диагностики дефектов в кристаллах, многослойных гетеросистемах и наноструктурах. Эти методы оказались чувствительными и к наноразмерным дефектам, которые не поддаются изучению топографическими методами.

Первое и второе поколения неразрушающей диагностики — это классическая кристаллография идеальной структуры кристаллов на основе брагговского кинематического (однократного) рассеяния (первое поколение) и динамического (многократного) рассеяния (второе поколение).

Третье и четвертое поколения диагностики — это диагностика дефектов в кристаллах на основе приоритетных теорий диффузного рассеяния, созданных сотрудниками Института металлофизики имени Г. В. Курдюмова Национальной академии наук Украины. Третье — на основе кинематической теории М. А. Кривоглаза и К. П. Рябощапки и четвертое — на основе динамической теории В. Б. Молодкина и Е. А. Тихоновой.

Актуальность третьего и четвертого поколений обусловлена тем, что, как сегодня стало общепризнанным, свойства материалов определяются не столько исходным строением и параметрами их идеальной кристаллической решетки, которые могут быть надежно определены методами классической кристаллографии, сколько характером наведенной в них целенаправленно современными технологиями и прецизионными методами инженерии практически на атомном уровне дефектной структуры или специальной сверхструктуры. Речь идет, например, о таких функциональных материалах, как монокристаллы с профилированными поверхностями и модифицированными поверхностными слоями, макроскопически однородно деформированные (упруго изогнутые) монокристаллы с дефектами, сверхрешетки, многослойные композиционные структуры, в том числе и с квантовыми стенками, и т.п. Диагностический контроль для управления такой дефектной структурой и, следовательно, качеством материалов (их сертификация) является важнейшей и много более сложной задачей, которая, зачастую, когда характерные размеры областей когерентного рассеяния превышают длину экстинкции, уже не может быть ре-

шена в рамках классической кристаллографии, а также кинематической теории диффузного рассеяния, так как в этих случаях последние оказываются бессильными.

Это обусловлено тем, что в таких материалах становятся существенными и сильно изменяют характер распределения в обратном пространстве дифрагированной интенсивности процессы многократного рассеяния, и кинематическая теория, являющаяся приближением однократного рассеяния, оказывается неприменимой принципиально. Картина рассеяния перестает быть прямым Фурье-изображением кристалла.

Классификация дефектов кристалла по их влиянию на картину рассеяния, выполненная М. А. Кривоглазом, не работает. Диагностика в этом случае возможна только на основе более общей и строгой, но существенно более сложной динамической теории рассеяния.

Дополнительным преимуществом диагностики четвертого поколения является то, что она основана на экспериментальном исследовании и использовании уникальной структурной чувствительности принципиально новых идейно и методически измерений параметров предсказанных новых эффектов многократности диффузного рассеяния (экстинкции за счет рассеяния на дефектах, явления сохранения с ростом искажений в отличие от кинематического случая полной, т.е. суммы брэгговской и диффузной, интегральной отражательной способности и др.). Это позволило существенно повысить такие показатели диагностики разработанными новыми методами, как чувствительность, информативность и экспрессность, и обеспечило новые возможности диагностики, которые не имели аналогов в мировой практике. В частности, эти методы (полных кривых отражения, интегральной и интегрально-дифференциальной трехкристалльных дифрактометрий, полной интегральной отражательной способности (ПИОС) и др.) обеспечили такие принципиально новые функциональные возможности диагностики, как: количественная характеристика целого спектра (нескольких типов) дефектов в кристаллах (сертификация 21 века); селективная по глубине неразрушающая диагностика кристаллов, в том числе и многослойных структур; интегральная дифрактометрия быстропротекающих процессов (рентгеновское кино).

Настоящая коллективная монография посвящена изложению теоретических и экспериментальных основ указанных новых методов дифрактометрии и освещению их диагностических возможностей. Авторы этой монографии являются непосредственными создателями методов четвертого поколения диагностики и представляют коллективы Института металлофизики им. Г. В. Курдюмова и Института физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева Национальной академии наук Украины (г. Киев), Санкт-Петербургского физико-технического института им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, Черновицкого национального университета им. Ю. Федьковича и Кабарди-

но-Балкарского государственного университета (г. Нальчик), которые внесли определяющий вклад в решение указанной проблемы.

Первая половина монографии (главы 1–4) посвящена интегральным методам динамической дифрактометрии хаотически распределенных дефектов разного типа, в том числе и наноразмерных, содержащихся в идеальных монокристаллах, а также в монокристаллах с макроскопически однородными упругими деформациями и нарушенными поверхностными слоями.

Во второй половине (главы 5–12) рассмотрены высокоразрешающие методы главным образом динамической дифрактометрии дефектов в сложнапряженных гетероструктурах и основных параметров самих этих структур, в том числе и с квантовыми стенками, а также в периодических многослойных структурах с самоорганизованными решетками квантовых точек.

Данное издание, по мнению авторов, будет полезным для исследователей в области диагностики дефектов в кристаллах и изделиях нанотехнологий, а также аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Глава 1

1. J. E. Thomas, T. O. Baldwin, and P. H. Dederichs, *Phys. Rev. B*, **3**: 1167 (1971).
2. P. H. Dederichs, *Phys. Rev. B*, **4**: 1041 (1971).
3. B. C. Larson and F. W. Young, Jr., *Z. Naturforsch.*, **28a**: 626 (1973).
4. B. C. Larson, *J. Appl. Crystallogr.*, **8**: 150 (1975).
5. М. А. Кривоглаз, *Дифракция рентгеновских лучей и нейтронов в неидеальных кристаллах* (Киев: Наукова думка; 1983).
6. H. Trinkaus, *Z. Angew. Phys.*, **31**, No. 5–6: 229 (1971).
7. H. Trinkaus, *Phys. Status Solidi B*, **51**, No. 1: 307 (1972).
8. P. H. Dederichs, *J. Phys. F: Metal Phys. (London)*, **3**, No. 2: 471 (1973).
9. B. C. Larson and W. G. Schmatz, *Phys. Rev. B*, **10**, No. 6: 2307 (1974); B. C. Larson and W. Schmatz, *Phys. Status Solidi (b)*, **99**: 267 (1980).
10. P. Ehrhart, H. Trinkaus, and B. C. Larson, *Phys. Rev. B*, **25**, No. 2: 834 (1982).
11. B. C. Larson, F. W. Young, Jr., *J. Appl. Phys.*, **48**, No. 3: 880 (1977).
12. J. Narayan and B. C. Larson, *J. Appl. Phys.*, **48**, No. 11: 4536 (1977).
13. B. C. Larson and F. W. Young, *Phys. Status Solidi A*, **104**, No. 1: 273 (1987).
14. A. N. Morozov and V. T. Bublik, *J. Cryst. Growth*, **97**: 475 (1989).
15. L. A. Charniy, A. N. Morozov, V. T. Bublik, K. D. Scherbachev, I. V. Stepantsova, and V. M. Kaganer, *J. Cryst. Growth*, **118**: 163 (1992).
16. P. Franzosi, *J. Cryst. Growth*, **126**: 85 (1993).
17. R. J. Matvi, M. R. Melloch, K. Zhang, and D. L. Miller, *J. Phys. D: Appl. Phys. (London)*, **28**, No. 4A: A139 (1995).
18. K. Karsten and P. Ehrhart, *Phys. Rev. B*, **51**, No. 16: 10508 (1995).
19. A. Pillukat, K. Karsten, and P. Ehrhart, *Phys. Rev. B*, **53**, No. 12: 7823 (1996).
20. В. Б. Молодкин, С. И. Олиховский, М. Е. Осиновский, *Металлофизика*, **5**, № 1: 3 (1983).
21. V. Holý, *Acta Crystallogr. A*, **40**, No. 6: 675 (1984).
22. В. Е. Дмитриенко, В. М. Каганер, *Металлофизика*, **9**, № 1: 71 (1987).
23. В. Б. Молодкин, С. И. Олиховский, М. Е. Осиновский, *Металлофизика*, **5**, № 5: 3 (1983).
24. В. М. Каганер, В. Л. Инденбом, *Металлофизика*, **8**, № 1: 25 (1986).
25. V. V. Kochelab, V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, and M. E. Osinovskii, *Phys. Status Solidi A*, **108**, No. 1: 67 (1988).

## Литература

26. В. А. Бушуев, *Кристаллография*, **34**, вып. 2: 279 (1989).
27. В. В. Ратников, Э. К. Ковьев, Л. М. Сорокин, *Физ. тверд. тела*, **26**, № 7: 2155 (1984).
28. В. В. Ратников, Л. М. Сорокин, *Физ. тверд. тела*, **26**, № 11: 3445 (1984).
29. В. В. Ратников, Р. Н. Кютт, *Ж. техн. физ.*, **55**, № 2: 391 (1985).
30. Р. Н. Кютт, В. В. Ратников, *Металлофизика*, **7**, № 1: 36 (1985).
31. Р. Н. Dederichs, *Phys. Status Solidi*, **23**, No. 1: 377 (1967).
32. Р. Н. Dederichs, *Phys. Rev. B: Solid State*, **1**, No. 4: 1306 (1970).
33. Р. Н. Dederichs, *Solid State Phys.*, **27**: 135 (1972).
34. R. Kohler, W. Mohling, and M. Paseman, *Phys. Status Solidi (a)*, **53**: 509 (1979).
35. Y. Chikaura, M. Imai, Y. Suzuki, and Y. Yatsurugi, *J. Cryst. Growth*, **103**: 141 (1990).
36. M. Lefeld-Sosnowska, J. Gronkowski, and G. Kovalski, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **28**, No. 4A: A42 (1995).
37. V. Holý and J. Kubena, *Phys. Status Solidi (b)*, **151**, No. 1: 23 (1989).
38. V. Holý and J. Kubena, *Phys. Status Solidi B*, **170**, No. 1: 9 (1992).
39. V. Holý and K. T. Gabrielyan, *Phys. Status Solidi (b)*, **140**, No. 1: 39 (1987).
40. N. Kato, *Acta Crystallogr.*, **A36**, No. 5: 763 (1980).
41. N. Kato, *Acta Crystallogr.*, **A36**, No. 5: 770 (1980).
42. M. Al Haddad and P. Becker, *Acta Crystallogr. A*, **44**, No. 3: 62 (1988).
43. P. Becker and M. Al Haddad, *Acta Crystallogr.*, **A45**: 333 (1989).
44. P. Becker and M. Al Haddad, *Acta Crystallogr.*, **A48**: 121 (1992).
45. А. М. Поляков, Ф. Н. Чуховский, Д. И. Пискунов, *Ж. эксп. теор. физ.*, **99**, № 2: 589 (1991).
46. J. P. Guigay and F. N. Chukhovskii, *Acta Crystallogr.*, **A48**: 819 (1992).
47. J. P. Guigay and F. N. Chukhovskii, *Acta Crystallogr.*, **A51**: 288 (1995).
48. S. Takagi, *Acta Crystallogr.*, **15**, No. 12: 1131 (1962).
49. S. Takagi, *J. Phys. Soc. Jap.*, **26**, No. 5: 1239 (1969).
50. D. Taupin, *Bull. Soc. Franc. Miner. Cryst.*, **87**, No. 2: 469 (1964).
51. N. Kato, *Acta Crystallogr.*, **A47**: 1 (1991).
52. В. Б. Молодкин, Е. А. Тихонова, *ФММ*, **24**, № 3: 385 (1967).
53. Е. А. Тихонова, *Физ. тверд. тела*, **9**, № 2: 516 (1967).
54. В. Б. Молодкин, *Металлофизика*, **2**, № 1: 3 (1980); *Металлофизика*, **3**, № 4: 27 (1981).
55. Л. И. Даценко, В. Б. Молодкин, М. Е. Осинковский, *Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами* (Киев: Наукова думка: 1988).
56. P. P. Ewald, *Ann. Phys.*, Bd. **49**, F. 4: 117 (1916).
57. H. Bethe, *Ann. Phys.*, **87**, No. 55: (1928).
58. M. Laue, *Röntgenstrahlinterferenzen* (Leipzig: Akademische Verlags- ges.: 1948).
59. M. Köhler, *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wissensch. Math. Physik. Kl.* (1935), S. 334.
60. G. Moliere, *Ann. Phys.*, **35**: 272 (1939); *Ann. Phys.*, **35**: 297 (1939); *Ann. Phys.*, **36**: 265 (1939).
61. А. М. Afanasev and Yu. Kagan, *Acta Crystallogr.*, **A24**, No. 2: 163 (1968).

62. R. W. James, *Solid State Phys.*, **15**: 55 (1963).
63. B. W. Batterman and H. Cole, *Rev. Mod. Phys.*, **36**: 681 (1964).
64. З. Г. Пинскер, *Рентгеновская кристаллоптика* (Москва: Наука: 1982), с. 392.
65. A. N. Kostyuk, V. B. Molodkin, and S. I. Olikhovskii, *Phys. Status Solidi (b)*, **178**, No. 1: 45 (1993).
66. V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, and A. N. Kostyuk, *Phys. Status Solidi (b)*, **183**, No. 1: 59 (1994).
67. V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, E. N. Kislovskii, E. G. Len, and E. V. Pervak, *Phys. Status Solidi (b)*, **227**, No. 2: 429 (2001).
68. К. П. Рябошапка, *Физика рассеяния рентгеновских лучей деформированными кристаллами* (Киев: Наукова думка: 1993).
69. V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, M. E. Osinovskii, A. N. Gureev, L. I. Datsenko, A. I. Nizkova, and B. F. Zhuravlev, *Phys. Status Solidi A*, **87**, No. 2: 597 (1985).
70. V. V. Nemoshkalenko, V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, M. V. Kovalchuk, Yu. M. Litvinov, E. N. Kislovskii, and A. I. Nizkova, *Nucl. Instrum. and Meth. in Physics A*, **308**: 294 (1991).
71. В. Г. Барьяхтар, Е. Н. Гаврилова, В. Б. Молодкин, С. И. Олиховский, *Металлофизика*, **14**, No. 11: 68 (1992).
72. В. В. Кочелаб, В. Б. Молодкин, С. И. Олиховский, *Металлофизика*, **13**, № 6: 84 (1991).
73. С. Н. Воронков, Ф. Н. Чуховский, *Кристаллография*, **36**, № 4: 1041 (1981).
74. A. Iida, *Phys. Status Solidi*, **54**, No. 2: 701 (1979).
75. В. В. Немошкаленко, В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, С. И. Олиховский, А. П. Шпак, М. Т. Когут, О. Л. Школьников, *Металлофизика*, **14**, № 8: 79 (1992).
76. E. R. Weber, *Appl. Phys. A*, **30**: 1 (1993).
77. J. K. Solberg, *Acta Crystallogr. A*, **34**: 684 (1978).
78. M. Seibt and W. Schroter, *Solid State Phenom.*, **19&20**: 283 (1991).
79. E. Nes, *Acta Metall.*, **22**, No. 1: 81 (1974).
80. J. K. Solberg and E. Nes, *J. Mater. Sci.*, **13**: 2233 (1978).
81. F. M. Livingston, S. Messoloras, R. C. Newman, B. C. Pike, R. J. Stewart, and W. J. Binns, *J. Phys. C: Solid State Phys. (London)*, **17**, No. 34: 6253 (1984).
82. V. G. Bar'yakhtar, M. V. Kovalchuk, Yu. M. Litvinov, V. V. Nemoshkalenko, V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, E. N. Kislovskii, and A. I. Nizkova, *Nucl. Instrum. and Meth. in Physics A*, **308**: 291 (1991).
83. Е. Н. Гаврилова, Е. Н. Кисловский, В. Б. Молодкин, С. И. Олиховский, *Металлофизика*, **14**, № 3: 70 (1992).
84. В. Г. Барьяхтар, В. В. Немошкаленко, В. Б. Молодкин, С. И. Олиховский, Е. Н. Гаврилова, Е. Н. Кисловский, В. В. Кочелаб, А. И. Низкова, *Металлофизика*, **15**, № 12: 18 (1993).
85. V. V. Nemoshkalenko, V. B. Molodkin, E. N. Kislovskii, M. T. Kogut, A. I. Nizkova, E. N. Gavrilova, S. I. Olikhovskii, and O. V. Sul'zhenko, *Металлофиз. новейшие технол.*, **16**, № 2: 48 (1994).
86. В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, С. И. Олиховский и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, **24**, № 5: 585 (2002).



87. *Обработка полупроводниковых материалов* (Ред. Н. В. Новиков, В. Бергольди) (Киев: Наукова думка: 1982).

## Глава 2

1. F. M. Livingston, S. Messoloras, R. C. Newman, B. C. Pike, R. J. Stewart, and W. J. Binns, *J. Phys. C: Solid State Phys. (London)*, **17**, No. 34: 6253 (1984).
2. A. Bourret, *Inst. Phys., Conf. Ser.*, No. 87, Sec. 1: 39 (1987).
3. W. Bergholz, M. J. Binns, J. R. Booker, J. C. Hutchison, S. H. Kinder, S. Messoloras, R. C. Newman, R. J. Stewart, and J. G. Wilkes, *Philos. Mag.*, **B59**, No. 5: 499 (1989).
4. J. R. Patel and A. Authier, *J. Appl. Phys.*, **46**: 118 (1975).
5. J. Partanen and T. Tuomi, *J. X-Ray Sci. Technol.*, **2**: 165 (1990).
6. J. R. Patel and B. W. Batterman, *J. Appl. Phys.*, **34**: 2716 (1963).
7. А. И. Курбаков, Э. Э. Рубинова, Н. А. Соболев, В. А. Трунов, Е. И. Шеек, *Кристаллография*, **31**, № 5: 979 (1986).
8. A. Magerl, J. R. Schneider, and W. Zulehner, *J. Appl. Phys.*, **67**, No. 1: 533 (1990).
9. J. R. Patel, *J. Appl. Crystallogr.*, **8**: 186 (1975).
10. B. Dietrich and P. Zaumseil, *Gettering and Defect Engineering in the Semiconductor Technology (8-18 October 1985, Garzau)* (Ed. H. Richter) (Garzau: 1985), p. 161.
11. V. Stoyanoff, C. A. Pimentel, D. A. Bulla, W. E. Castro, Jr., S. Hahn, and F. A. Ponce, *Semiconductor Silicon* (Eds. H. R. Huff, T. Abe, and B. Kolbesen) (1986), p. 800.
12. J. R. Schneider, H. Nagasawa, K. D. Liss, A. Magerl, and W. Zulehner *HASYLAB Annual Report (1990)*, p. 394; *HASYLAB at DESY* (Hamburg, Germany: 1991).
13. S. Messoloras, J. R. Schneider, R. J. Stewart, and W. Zulehner, *Semicond. Sci. Technol.*, **4**: 340 (1989).
14. S. Gupta, S. Messoloras, J. R. Schneider, R. J. Stewart, and W. Zulehner, *Semicond. Sci. Technol.*, **5**: 783 (1990).
15. N. Kato and A. R. Lang, *Acta Crystallogr.*, **A12**, No. 4: 787 (1959).
16. D. Sippel, K. Kleinstuck, and G. E. R. Schulze, *Phys. Lett.*, **14**: 174 (1965).
17. J. L. Lawrence and A. Mcl. Mathieson, *Acta Crystallogr.*, **A33**: 288 (1977).
18. V. A. Somenkov, S. Sh. Shilstein, N. E. Belova, and K. Utemisov, *Solid State Commun.*, **25**: 593 (1978).
19. N. M. Olekhovich, A. L. Karpey, A. I. Olekhovich, and L. D. Puzenkova, *Acta Crystallogr.*, **A39**: 116 (1983).
20. N. Kato, *J. Appl. Phys.*, **39**, No. 5: 2225 (1968); *ibidem*: 2231 (1968).
21. N. Kato, *Acta Crystallogr.*, **A36**, No. 5: 763 (1980).
22. N. Kato, *Acta Crystallogr.*, **A36**, No. 5: 770 (1980).
23. N. M. Olekhovich and A. L. Karpey, *Phys. Status Solidi A*, **82**: 365 (1984).
24. С. Н. Воронков, Д. И. Пискунов, Ф. Н. Чуховский, С. К. Максимов, *Ж. эксл. теор. физ.*, **92**, вып. 3: 1099 (1987).

25. С. Н. Воронков, Ф. Н. Чуховский, Д. И. Пискунов, *Физ. тверд. тела*, **27**, № 6: 1911 (1985).
26. G. G. Shull, *Phys. Rev. Lett.*, **21**: 1585 (1968).
27. G. G. Shull and J. A. Oberteuffer, *Phys. Rev. Lett.*, **29**, No. 13: 871 (1972).
28. T. Takama, H. Harima, and S. Sato, *Acta Crystallogr.*, **A46**, 412: 783 (1990).
29. J. R. Schneider and R. Bouchard, *Acta Crystallogr.*, **A48**, No. 6: 804 (1992).
30. P. Becker and M. Al Haddad, *Acta Crystallogr.*, **A46**: 123 (1990).
31. В. В. Молодкин, Е. А. Тихонова, *ФММ*, **24**, № 3: 385 (1967).
32. Е. А. Тихонова, *Физ. тверд. тела*, **9**, № 2: 516 (1967).
33. В. В. Молодкин, *Металлофизика*, **2**, № 1: 3 (1980); *Металлофизика*, **3**, № 4: 27 (1981).
34. Л. И. Даценко, В. В. Молодкин, М. Е. Осиновский, *Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами* (Киев: Наукова думка: 1988).
35. В. В. Кочелаб, В. В. Молодкин, С. И. Олиховский, *Металлофизика*, **13**, № 6: 84 (1991).
36. P. P. Ewald, *Ann. Phys.*, **Bd. 49**, F. 4: 117 (1916).
37. H. Bethe, *Ann. Phys.*, **87**: 55 (87).
38. M. Laue, *Röntgenstrahlinterferenzen* (Leipzig: Akademische Verlagsges.: 1948).
39. S. M. Hu, *Appl. Phys. Lett.*, **48**: 115 (1986).
40. W. Patrick, E. Hearn, W. Westdorp, and A. Bohg, *J. Appl. Phys.*, **50**, No. 11: 7156 (1979).
41. H. Bender, *Phys. Status Solidi (a)*, **86**: 245 (1984).
42. T. Y. Tan and W. K. Tice, *Philos. Mag. B*, **34**, No. 4: 615 (1976).
43. J. Vanhelemont, S. Amerlinckx, and C. Claeys, *J. Appl. Phys.*, **61**: 2170 (1987).
44. В. В. Молодкин, В. В. Немошкаленко, А. И. Низкова и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, **22**, № 3: 3 (2000).
45. A. Borghesi, B. Pivac, A. Sassella, and A. Stella, *J. Appl. Phys.*, **77**, No. 9: 4169 (1995).
46. С. Й. Оліховський, Є. М. Кисловський, В. В. Молодкин та ін., *Металлофиз. новейшие технол.*, **22**, № 6: 3 (2000).

## Глава 3

1. *Proc. of the 1-st Int. Autumn School 'Gettering and Defect Engineering in the Semiconductor Technology' (Oct. 8-18, 1985, Jarzau, DDR)* (Ed. H. Richter).
2. А. М. Афанасьев, П. А. Александров, Р. М. Имамов, *Рентгеновская диагностика субмикронных слоев* (Москва: Наука: 1986).
3. А. Н. Гурьев, И. В. Прокопенко, *Завод. лаб.*, **45**, No. 6: 536 (1979).
4. Л. И. Даценко, Н. Ф. Короткевич, *Укр. физ. ж.*, **18**, № 1: 145 (1973).
5. Л. И. Даценко, *Вісн. АН УРСР*, № 3: 19 (1975).
6. Л. И. Даценко, *Укр. физ. ж.*, **24**, № 5: 577 (1979).
7. Е. Н. Кисловский, В. П. Кладыко, А. В. Фомин и др., *Завод. лаб.*,

- 51, № 7: 30 (1985).
8. Л. И. Даценко, В. Б. Молодкин, М. Е. Осинковский, *Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами* (Киев: Наукова думка: 1988).
  9. Л. И. Даценко, Е. Н. Кисловский, Т. Г. Крыштаб и др., *Поверхность*, № 8: 69 (1985).
  10. Е. Н. Кисловский, Т. Г. Крыштаб, В. И. Хрупа, Л. И. Даценко, *Металлофизика*, 8, № 3: 52 (1986).
  11. Т. Г. Крыштаб, Е. Н. Кисловский, В. И. Хрупа, *Металлофизика*, 8, № 4: 109 (1986).
  12. В. Г. Барьяхтар, А. Н. Гуреев, В. В. Кочелаб и др., *Металлофизика*, 11, № 3: 73 (1989).
  13. В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, С. И. Олиховский и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, 24, № 4: 521 (2002).
  14. *Обработка полупроводниковых материалов* (Ред. Н. В. Новиков, В. Бертольди) (Киев: Наукова думка: 1982).
  15. Т. Ф. Русак, К. Л. Енишерова, *Электронная техника. Полупроводниковые приборы*, № 3: 3 (1983).
  16. М. Г. Мильвидский, В. Г. Фомин, М. М. Хацкевич и др., *Физика и химия обработки материалов*, № 2: 122 (1986).
  17. W. Stevenson Andrew, *Acta Crystallogr.*, A49: 174 (1993).
  18. В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, С. И. Олиховский и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, 24, № 5: 585 (2002).
  19. S. M. Hu, *Appl. Phys. Lett.*, 48: 115 (1986).
  20. W. Patrick, E. Hearn, W. Westdorp et al., *J. Appl. Phys.*, 50, No. 11: 7156 (1979).
  21. E. R. Weber, *Appl. Phys. A*, 30: 1 (1993).
  22. F. Shimura, H. Tsuya, and T. Kawamura, *J. Electrochem. Soc.*, 128: 1578 (1981).
  23. K. Graff, H. A. Hefner, and W. Hemmerici, *J. Electrochem. Soc.*, 135, No. 4: 952 (1988).
  24. B. Shen, T. Sekiguchi, J. Jablonski et al., *J. Appl. Phys.*, 76, No. 8: 4540 (1994).
  25. В. Б. Молодкин, В. В. Немошкаленко, А. И. Низкова и др. *Металлоф. новейшие технол.*, 22, № 3: 3 (2000).
  26. В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, С. И. Олиховский и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, 24, № 8: 1089 (2002).
  27. R. I. Fox, *IEEE*, 13: 367 (1966).
  28. H. F. Wenzl, *Z. Naturforsch.*, 26a, No. 3: 495 (1971).
  29. K. D. Weltzin, R. A. Swalin, and T. F. Hutchinson, *Acta Metall.*, 13: 115 (1965).
  30. М. А. Кривоглаз, *Дифракция рентгеновских лучей и нейтронов в неидеальных кристаллах* (Киев: Наукова думка: 1983).
  31. А. П. Шпак, В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, *Успехи физ. мет.*, 5, № 1: 51 (2004).

## Глава 4

1. L. P. Hunter, *J. Appl. Phys.*, 30, No. 6: 874 (1959).

## Литература

2. В. И. Кушнир, Э. В. Суворов, К. В. Мухин, *Физ. тверд. тела*, **22**, № 7: 2135 (1980).
3. H. Chen, *Mater. Letters*, **4**, No. 2: 65 (1986).
4. L. I. Datsenko, V. I. Khrupa, and E. N. Kislovskii, *Phys. Status Solidi A*, **68**, No. 2: 399 (1981).
5. В. И. Хрупа, Л. И. Даценко, Е. Н. Кисловский, *Металлофизика*, **2**, № 4: 55 (1980).
6. В. И. Хрупа, Л. И. Даценко, Е. Н. Кисловский, А. С. Васильковский, *Металлофизика*, **6**, № 6: 70 (1984).
7. В. И. Хрупа, Е. Н. Кисловский, Л. И. Даценко, *Металлофизика*, **3**, № 4: 96 (1981).
8. Л. И. Даценко, В. И. Хрупа, *Укр. физ. ж.*, **26**, № 12: 1995 (1981).
9. Л. И. Даценко, В. И. Хрупа, *Металлофизика*, **4**, № 3: 112 (1982).
10. З. Г. Пинскер, *Рентгеновская кристаллооптика* (Москва: Наука: 1982), с. 392.
11. Ф. Н. Чуховский, *Металлофизика*, **2**, № 6: 3 (1980).
12. Ф. Н. Чуховский, *Металлофизика*, **3**, № 5: 3 (1981).
13. F. Balibar, F. N. Chukhovskii, and C. Malgrange, *Acta Crystallogr. A*, **39**, No. 4: 387 (1983).
14. F. N. Chukhovskii and Yu. P. Kharachev, *Phys. Status Solidi A*, **88**, No. 1: 69 (1985).
15. F. N. Chukhovskii and C. Malgrange, *Acta Crystallogr. A*, **45**, No. 10: 732 (1989).
16. Л. И. Даценко, В. Б. Молодкин, М. Е. Осинковский, *Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами* (Киев: Наукова думка: 1988).
17. Г. В. Гринь, Е. Н. Кисловский, П. В. Петрашень, А. Ю. Разумовский, *Металлофизика*, **12**, № 5: 113 (1990).
18. Е. Н. Кисловский, Л. И. Даценко, В. Б. Молодкин, Г. В. Гринь, А. И. Низкова, *Металлофизика*, **12**, № 6: 37 (1990).
19. В. Б. Молодкин, *Металлофизика*, **2**, № 1: 3 (1980).
20. М. А. Кривоглаз, *Дифракция рентгеновских лучей и нейтронов в неидеальных кристаллах* (Киев: Наукова думка: 1983).
21. И. М. Дубровский, В. Б. Молодкин, Л. В. Тихонов, Е. А. Тихонова, *ФММ*, **27**, № 1: 21 (1969).
22. А. Н. Костюк, В. Б. Молодкин, С. И. Оляховский, *Динамическая теория дифракции рентгеновских лучей в упруго изогнутых монокристаллах с микродефектами* (Киев: 1991) (Препр. АН Украины. ИТФ. № 91-60P: 1998).
23. A. N. Kostyuk, V. B. Molodkin, and S. I. Olikhovskii, *Phys. Status Solidi (b)*, **178**, No. 1: 45 (1993).
24. V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, and A. N. Kostyuk, *Phys. Status Solidi (b)*, **183**, No. 1: 59 (1994).
25. L. I. Datsenko and E. N. Kislovskii, *Phys. Status Solidi A*, **25a**, No. 2: 551 (1974).
26. N. Kato, *J. Phys. Soc. Jap.*, **19**, No. 6: 971 (1964).
27. F. N. Chukhovskii and P. V. Petrashen, *Acta Crystallogr. A*, **33**, No. 2: 311 (1977).
28. N. Kato, *X-Ray Diffraction* (Ed. L. V. Azaroff, R. Karlow, N. Kato et al.) (New York: John Wiley: 1974).

29. Z. N. Kalman and S. J. Weismann, *Appl. Crystallogr.*, **12**, No. 2: 209 (1979).
30. В. И. Хрупа, Е. Н. Кисловский, Л. И. Даценко, *Металлофизика*, **2**, № 4: 55 (1980).
31. В. И. Хрупа, Л. И. Даценко, Е. Н. Кисловский, А. С. Васильковский, *Металлофизика*, **6**, № 6: 70 (1984).
32. V. I. Khrupa, E. N. Kislovskii, and L. I. Datsenko, *Phys. Status Solidi*, **63**, No. 1: 439 (1981).
33. П. В. Петрашень, *Металлофизика*, **8**, № 1: 35 (1986).
34. П. В. Петрашень, Ф. Н. Чуховский, *Металлофизика*, **8**, № 3: 45 (1986).
35. V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, M. E. Osinovskii et al., *Phys. Status Solidi A*, **87**, No. 2: 597 (1985).
36. А. П. Шпак, В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, *Успехи физ. мет.*, **5**, № 1: 51 (2004).
37. A. Borghesi, B. Pivac, A. Sassela, and A. Stella, *J. Appl. Phys.*, **77**, No. 9: 4169 (1995).
38. В. Б. Молодкин, В. В. Немошкаленко, А. И. Низкова и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, **22**, № 3: 3 (2000).
39. В. Б. Молодкин, С. И. Олиховский, А. Н. Костюк, Л. Г. Ткачук, *Металлофиз. новейшие технол.*, **23**, № 7: 861 (2001).
40. В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, С. И. Олиховский и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, **25**, № 1: 107 (2003).
41. S. M. Hu, *Appl. Phys. Lett.*, **48**, № 2: 115 (1986).
42. В. Б. Молодкин, А. И. Низкова, С. И. Олиховский и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, **24**, № 11: 1483 (2002).
43. F. M. Livingston, S. Messoloras, R. C. Newman, B. C. Pike, R. J. Stewart, W. J. Binns, W. P. Brown, and J. G. Wilkes, *J. Phys.*, **17**: 6253 (1984).

## Глава 5

1. А. М. Афанасьев, С. С. Фанченко, *Докл. АН СССР*, **287**, № 6: 1395 (1986).
2. П. В. Петрашень, Ф. Н. Чуховский, *Докл. АН СССР*, **309**, № 1: 105 (1989).
3. З. Г. Пинскер, *Рентгеновская кристаллооптика* (Москва: Наука: 1982).
4. В. В. Лидер, Ф. Н. Чуховский, Ю. П. Хапачев, М. Н. Барашев, *Физ. тверд. тела*, **31**, вып. 4: 74 (1989).
5. Ю. П. Хапачев, Ф. Н. Чуховский, *Физ. тверд. тела*, **26**: вып. 5: 1319 (1984).
6. Ю. П. Хапачев, *Физика и химия поверхности* (Нальчик: КБГУ: 1982), с. 36–39.
7. F. N. Chukhovskii and Yu. P. Kharachev, *Phys. Status Solidi (a)*, **88**, No. 1: 69–76 (1985).
8. В. А. Бушуев, Р. Н. Кютт, Ю. П. Хапачев, *Физические принципы рентгенодифрактометрического определения параметров реальной структуры многослойных эпитаксиальных пленок* (Ред.

- Ю. П. Хапачев) (Нальчик: Кабардино-Балкарский госуниверситет: 1996).
9. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, Д. А. Тарасов, *Физ. тверд. тела*, **38**, вып. 5: 1375 (1996).
  10. А. А. Dyshekov, Yu. P. Kharachev, and D. A. Tarasov, *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, № 3–4: 206 (1996).
  11. Ю. П. Хапачев, Ф. Н. Чуховский, *Металлофизика*, **13**, № 7: 65 (1991).
  12. Ш. Элаши, *ТИИЭР*, **64**, № 12: 22 (1976).
  13. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Тезисы II Национальной конференции по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования материалов* (Москва: 1999), с. 190.
  14. В. А. Якубович, В. М. Старшинский, *Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения* (Москва: Наука: 1972).
  15. В. П. Демидович, *Лекции по математической теории устойчивости* (Москва: Наука: 1967).
  16. Yu. P. Kharachev, *Phys. Status Solidi (b)*, **120**: 155 (1983).
  17. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, Д. А. Тарасов, *Физ. тверд. тела*, **38**: вып. 5: 1375 (1996).
  18. А. А. Dyshekov, Yu. P. Kharachev, and D. A. Tarasov, *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, № 3–4: 206 (1996).
  19. А. А. Dyshekov, Yu. P. Kharachev, D. A. Tarasov, *Nuovo cimento*, **19**: 531 (1997).
  20. В. Б. Молодкин, А. П. Шпак, А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Динамическое рассеяние рентгеновского и синхротронного излучения в сверхрешетках. Рентгенодифракционная кристаллооптика сверхрешеток* (Киев: Академперіодика: 2004).
  21. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Поверхность*, № 2: 101 (1999).
  22. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Ж. техн. физ.*, **69**, вып. 6: 67 (1999).
  23. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Успехи физ. мет.*, **2**, № 4: 281 (2001).
  24. Ю. П. Хапачев, А. А. Дышеков, *Теория динамической рентгеновской дифракции в сверхрешетках* (Нальчик: КВГУ: 2002).
  25. В. Б. Молодкин, А. П. Шпак, А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Динамическое рассеяние рентгеновского и синхротронного излучения в сверхрешетках. Рентгенодифракционная кристаллооптика сверхрешеток* (Киев: Академперіодика: 2004).
  26. F. N. Chukhovskii and Yu. P. Kharachev, *Phys. Status Solidi (a)*, **88**, No. 1: 69 (1985).
  27. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, Э. Х. Шидов, *Тез. докл. II Межреспубл. сем. «Современные методы и аппаратура рентгеновских дифрактометрических исследований материалов в особых условиях»* (Киев: 1991), с. 93.
  28. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Поверхность*, № 3: 20 (1998).
  29. Е. А. Тихонова, *Материалы конф. «Субструктурное упрочнение*

- металлов и дифракционные методы исследования» (Киев: Наукова думка: 1985), с. 203.
30. *Справочник по специальным функциям* (Ред. М. Абрамовиц, И. Стиган) (Москва: Наука: 1979).
31. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Поверхность*, вып. 6: 21 (1998).
32. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, Т. И. Оранова, В. А. Бушуев, *Поверхность*, № 1: 100 (2003).
33. A. M. Afanasev, M. V. Kovalchuk, E. K. Kovev, and V. G. Kohn, *Phys. Status Solidi (a)*, 42: 415 (1977).
34. А. Найфа, *Методы возмущений* (Москва: Наука: 1976).
35. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования материалов* (Дубна: 1997), т. 3, с. 113.
36. A. A. Dyshekov, *Programme and Abstracts of IV European Conference on High Resolution X-Ray Diffraction and Topography XTOP98*, p. 3.49.
37. А. А. Дышеков, *Тезисы II Национальной конференции по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования материалов* (Москва: 1999), с. 189.
38. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Металлофиз. новейшие технол.*, 24, № 4: 513 (2002).
39. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Докл. Акад. наук высшей школы*, № 1: 24 (2003).
40. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Поверхность*, № 8: 73 (2002).
41. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, В. Б. Молодкин, *Межрегиональный сб. научных трудов. Альманах, посвященный 100-летию со дня рождения акад. А. Н. Колмогорова «Актуальные вопросы современного естествознания»* (Нальчик: КВГУ: 2003), с. 68.
42. Ж. И. Алферов, *Ж. техн. физ.*, 32, № 1: 3 (1998).
43. А. А. Дышеков, Ю. П. Хапачев, *Материалы совещания «Рентгеновская оптика-2003»* (Нижний Новгород: 2003), с. 233.

## Глава 6

1. D. Buttard, G. Dolino, and D. Bellet, *Solid State Communs.*, No. 109: 1 (1999).
2. Е. В. Астрова, В. В. Ратников, Р. Ф. Витман, *Физ. техн. полупроводников*, 31, № 5: 1261 (1997).
3. Д. Н. Горечев, Л. В. Белеков, О. М. Сресели, *Физ. техн. полупроводников*, 34, № 6: 1130 (2000).
4. Е. В. Астрова, Т. Н. Васюнькина, *Физ. техн. полупроводников*, 36, № 5: 593 (2002).
5. С. П. Зимин, *Физ. техн. полупроводников*, 34, № 3: 359 (2000).
6. М. Е. Компан, В. Е. Харцнев, И. Ю. Шабанов, *Физ. тверд. тела*, 39, № 12: 2137 (1997).
7. У. Риссел, Х. Руге, *Ионная имплантация* (Москва: Наука: 1983).
8. З. Т. Кузницкий, *Неорганические материалы*, 33, № 2: 142 (1997).
9. А. Г. Казанский, С. М. Петрушко, Н. В. Рыжов, *Физ. техн. полу-*



- проводников, 33, вып. 3: 332 (1999).
10. V. Chamard, C. Pichat, and G. Dolino, *Solid State Communs.*, **118**: 135 (2001).
  11. M. Servidori and F. Gembali, *J. Appl. Crystallogr.*, **21**: 176 (1988).
  12. M. Nemiroff and V. S. Speriosu, *J. Appl. Phys.*, **58**, No. 10: (1985).
  13. А. В. Гончарский, А. В. Колпаков, А. А. Степанов, *Метрология*, № 11: 19 (1986).
  14. С. А. Степанов, Е. А. Кондрашкина, А. Н. Чузо, *Поверхность*, № 9: 112 (1988).
  15. R. Fabbri, G. Lulli, R. Nipoti, and M. Servidori, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **B80/81**: 624 (1993).
  16. И. М. Фодчук, О. С. Кшевецкий, *Металлофизика*, **14**, № 5: 57 (1992).
  17. А. М. Афанасьев, П. А. Александров, Р. П. Имамов, *Рентгендифракционная диагностика субмикронных слоев* (Москва: Наука: 1989).

## Глава 7

1. М. Г. Мильвидский, *Полупроводниковые материалы в современной электронике* (Москва: Наука: 1986).
2. Е. И. Зорин, А. В. Павлов, Д. И. Тетельбаум, *Ионное легирование полупроводников: Библиотека радиотехнолога* (Москва: Энергетика: 1975), вып. 6.
3. В. С. Вавилов, *Действие излучений на полупроводники* (1988).
4. В. Г. Литовченко, В. Г. Попов, *Знание: серия «Физика»*, № 1: 23 (1990).
5. Ю. М. Таиров, *Технология полупроводниковых приборов*.
6. У. Риссел, Х. Руге, *Ионная имплантация* (Москва: Наука: 1983).
7. Z. T. Kuzniki, *J. Appl. Phys.*, **74**: 2058 (1993).
8. З. Т. Кузницкий, *Неорганические материалы*, **33**: № 2: 142 (1997).
9. S. G. Svensson, J. Lalita, N. Keskitalo, A. Hallen, and C. Jagadish, *First Polish-Ukrainian Symposium 'New Photovoltaic Materials for Solar Cells' (October 21-22, 1996)* (Cracow: Przegorzaly: 1997), p. 27.
10. M. Nemiroff and V. S. Speriosu, *J. Appl. Phys.*, **58**, No. 10: (1985).
11. A. Fukuhara, Y. Takano, M. Namba, and M. Maki, *J. Appl. Crystallogr.*, **13**: 31 (1980).
12. R. Fabbri, M. Servidory, and A. Zani, *J. Appl. Phys.*, **66**, No. 10: (1989).
13. C. Cellini, A. Carnera, M. Berti, A. Gasparotto, D. Steer, M. Servidori, S. Milita, *Nuclear Instruments and Methods of Physics Research*, **B96**: 227 (1995).
14. R. Fabbri, G. Lulli, R. Nipoti, and M. Servidori, *Nuclear Instruments and Methods of Physics Research*, **B80/81**: 624 (1993).
15. L. Sealy, R. C. Barklie, G. Lulli, R. Nipoti, R. Balboni, S. Milita, and M. Serbidori, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **B96**: 215 (1995).
16. А. В. Данилин, А. В. Двуреченский, I. A. Ryazantsev, P. A. Timofeev, and V. D. Verner, *Phys. Status Solidi A*, **65**: 453 (1981).
17. M. Servidori, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **B19/20**: 443 (1987).

18. E. Zielinska-Rohozinska, M. Lefeld-Sosnowska, J. Gronkowski, and J. Krylow, *Phys. Status Solidi A*, **20**: 93 (1973).
19. U. Zammit, K. N. Madhusoodanan, M. Marinelli, F. Scudieri, F. Mercuri, E. Wendler, and W. Wesch, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **B96**: 241 (1995).
20. П. В. Павлов, В. Д. Скупов, Д. И. Тетельбаум, *Физика и химия обработки материалов*, № 6: 19 (1987).
21. Б. И. Мукашев, Ж. А. Кусаинов, К. Х. Иусупов, В. В. Смирнов, С. Ж. Токмолдин, *Поверхность. Физика, химия, механика*, № 7: 68 (1983).
22. С. В. Степанова, М. С. Финарев, *Поверхность. Физика, химия, механика*, № 8: 36 (1982).
23. R. N. Kyutt, P. V. Petrashen, and L. M. Sorokin, *Phys. Sol.*, **A60**: 381.
24. A. L. Golovin, R. M. Imamov, and E. A. Kondrashkina, *Phys. Status Solidi A*, **88**: 505 (1985).
25. J. Burgeat, and D. Taupin, *Acta Crystallogr.*, **A24**: 99 (1968).
26. В. А. Лабунов, Е. А. Кондрашкина, А. И. Полонин, А. И. Прохоренко, *Поверхность*, № 4: 90 (1989).
27. В. Г. Кон, М. В. Прилепский, И. М. Суходрева, *Поверхность. Физика, химия, механика*, № 11: 122 (1984).
28. В. Н. Мордкович, И. М. Суходрева, Л. Д. Черюканова, *Поверхность*, № 4: 90 (1983).
29. С. А. Степанов, Е. А. Кондрашкина, А. Н. Чузо, *Поверхность*, № 9: 112 (1988).
30. А. Д. Гончарский, А. Д. Колпаков, А. А. Степанов, *Поверхность. Физика, химия, механика*, № 12: 66 (1986).
31. С. А. Кспецкий, Ю. П. Стецко, И. М. Фодчук, И. В. Мельничук, В. С. Полянюк, *Укр. физ. ж.*, **30**, № 3: 344 (1990).
32. И. М. Фодчук, О. С. Кшевещкий, *Металлофизика*, **14**, № 5: 57 (1992).
33. А. М. Афанасьев, П. А. Александров, Р. П. Имамов, *Рентгенодифракционная диагностика субмикронных слоев* (Москва: Наука: 1989).
34. А. М. Афанасьев, С. С. Фанченко, *Докл. АН СССР*, **287**, № 6: 1395 (1986).
35. Л. И. Даценко, В. Б. Молодкин, М. Е. Осиповский, *Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами* (Киев: Наукова думка: 1988).
36. В. Г. Барьяхтар, Е. Н. Гаврилова, В. Б. Молодкин и др., *Металлофизика*, **14**, № 11: 68 (1992).
37. В. Г. Барьяхтар, В. В. Немошкаленко, В. Б. Молодкин, С. И. Олиховский, Е. Н. Гаврилова, Е. Н. Кисловский, В. В. Кочелаб, А. И. Низкова, *Металлофизика*, **15**, № 12: 18 (1993).
38. А. В. Бригинец, С. М. Красуля, В. И. Хрупа, *Кристаллография*, **39**, № 2: (1994).
39. В. Г. Барьяхтар, А. Н. Гуреев, В. В. Кочелаб, В. Б. Молодкин и др., *Металлофизика*, **11**, № 3: 73 (1989).
40. И. М. Фодчук, Н. Д. Раравский, А. Г. Гимчинский, А. В. Евдокименко, З. Т. Кузницкий, З. Свянтек, *Металлофиз. новейшие техн.*, **20**, № 12: 73 (1998).

## Глава 8

1. Д. К. Боуэн, Б. К. Таннер, *Высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия и томография* (Ред. И. Л. Шульпина) (Санкт-Петербург: Наука: 2002).
2. Ю. А. Тхорик, Л. С. Хазан, *Пластическая деформация и дислокации несоответствия в гетероэпитаксиальных системах* (Киев: Наукова думка: 1983).
3. V. S. Speriosu, H. L. Glass, and T. Kobayashi, *Appl. Phys. Lett.*, **34**: 539 (1979).
4. A. Fukuhara and J. Takano, *Acta Crystallogr.*, **A33**: 137 (1977).
5. Yu. P. Kharachev, *Phys. Status Solidi (b)*, **120**: 155 (1983).
6. W. J. Bartels, J. Honstra, and D. J. W. Lobeek, *Acta Crystallogr.*, **A42**: 539 (1986).
7. J. G. E. Klappe and P. F. Fewster, *J. Appl. Crystallogr.*, **27**: 103 (1994).
8. D. Taupin, *Bull. Soc. Fr. Mineral Crystallogr.*, **57**: 469 (1964).
9. А. М. Афанасьев, П. А. Александров, Р. М. Имамов, *Рентгеновская диагностика субмикронных слоев* (Москва: Наука: 1986).
10. П. В. Петрашень, *Физ. тверд. тела*, **16**: 2168 (1974).
11. П. В. Петрашень, *Физ. тверд. тела*, **17**: 2814 (1974).
12. R. N. Kyutt, P. V. Petrashen', and L. M. Sorokin, *Phys. Status Solidi*, **60**: 381 (1980).
13. P. E. Zolotoyabko, *J. Appl. Crystallogr.*, **31**: 241 (1998).
14. V. S. Speriosu and T. Vreeland, *J. Appl. Phys.*, **56**: 1591 (1984).
15. I. D. Feranchuk, S. I. Feranchuk, A. A. Minkevich, and A. Ulyamenkov, *Phys. Rev. B*, **68**: 235307 (2003).
16. M. J. A. Yousif, O. Nur, M. Willander, C. J. Patel, C. Hernandez, Y. Campidelli, D. Bensahel, and R. N. Kyutt, *Solid State Electronics*, **45**: 1869 (2001).
17. D. Korakakis, K. F. Ludwig, and T. D. Moustakas, *Appl. Phys. Lett.*, **72**: 1004 (1998).
18. S. Yamaguchi, M. Kosaki, Y. Watanabe et al., *Appl. Phys. Lett.*, **79**: 3062 (2001).
19. A. Saxler, P. Debray, R. Perrin et al., *J. Appl. Phys.*, **87**: 369 (2000).
20. B. Heying, X. H. Wu, S. Keller, Y. Li, D. Kaponek, B. P. Keller, S. P. DenBaars, and J. S. Speck, *Appl. Phys. Lett.*, **68**: 643 (1996).
21. T. Metzger, R. Hopler, E. Born, O. Ambacher, M. Stutzmann, R. Stommer, M. Schuster, H. Gobel, S. Christiansen, M. Albrecht, and H. P. Strunk, *Phil. Mag.*, **A77**: 1013 (1998).
22. V. Ratnikov, R. Kyutt, T. Shubina, T. Pashkova, E. Valcheva, and B. Monemar, *J. Appl. Phys.*, **88**: 6252 (2000).
23. P. Gay, P. B. Hirsch, and A. Kelly, *Acta Metall.*, **1**: 315 (1953).
24. M. J. Hordon and B. L. Averbach, *Acta Metall.*, **9**: 237 (1961).
25. G. K. Williamson and W. H. Hall, *Acta Metall.*, **1**: 22 (1953).
26. J. E. Ayers, *J. Crystal Growth*, **135**: 71 (1994).
27. V. M. Kaganer, R. Kohler, M. Schmidbauer, R. Opitz, and B. Jenichen, *Phys. Rev. B*, **55**: 1793 (1997).
28. V. M. Kaganer, O. Brandt, A. Trampert, and K. H. Ploog, *Phys. Rev.* (в печати).

## Литература

29. P. H. Кютт, Т. С. Аргунова, *Физ. тверд. тела*, **31**: 40 (1989).
30. P. van der Sluis, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **26**: A186 (1993).
31. P. H. Кютт, Т. С. Аргунова, С. С. Рувимов, Л. М. Сорокин, *Физ. тверд. тела*, **36**: 2700 (1994).
32. B. Heying, X. H. Wu, S. Keller, Y. Li, D. Karolnek, B. P. Keller, S. P. Den Baars, and J. S. Speck, *Appl. Phys. Lett.*, **68**: 643 (1996).
33. C. Feggarì, L. Francesio, P. Franzosi, and S. Gennari, *Nuovo cimento*, **19D**: 277 (1997).
34. P. H. Кютт, В. В. Ратников, Г. Н. Мосина, М. П. Щеглов, *Физ. тверд. тела*, **41**: 30 (1999).
35. V. Ratnikov, R. Kyutt, T. Shubina, T. Pashkova, E. Valcheva, and V. Monemar, *J. Appl. Phys.*, **88**: 6252 (2000).
36. М. А. Кривоглаз, *Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами* (Москва: Наука: 1967).
37. V. Srikant, J. S. Speck, and D. R. Clarke, *J. Appl. Phys.*, **82**, No. 9: 4286 (1997).
38. V. V. Ratnikov, R. N. Kyutt, T. V. Shubina, T. Pashkova, and V. Monemar, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **34**: A30 (2001).
39. А. С. Усиков, В. В. Третьяков, А. В. Бобыль, P. H. Кютт, В. В. Лундин, В. В. Пушный, Н. М. Шмидт, *Физ. техн. полупроводников*, **39**: 1300 (2000).
40. D. Balzar, *J. Appl. Crystallogr.*, **25**: 559 (1992).
41. I. Groma, *Phys. Rev. B*, **57**: 7535 (1998).
42. M. Wilkens, *Kristal und Technik*, **11**: 1159 (1976).

## Глава 9

1. C. E. Zah, R. Bhat, B. N. Pathak, F. Favire, W. Lin, M. C. Wang, N. C. Andreadakis, D. M. Hwang, M. A. Koza, T. P. Lee, Z. Wang, D. Darby, D. Flanders, and J. J. Heich, *J. Quantum Electronics*, **30**: 511 (1994).
2. А. Е. Жуков, А. Ю. Егоров, В. М. Устинов, А. Ф. Цацульников, М. В. Максимов, Н. Н. Фалеев, П. С. Копьев, *Физ. техн. полупроводников*, **31**, № 1: 19 (1997).
3. Н. Н. Леденцов, В. М. Устинов, В. А. Щукин, П. С. Копьев, Ж. И. Алферов, Д. Бимберг, *Физ. техн. полупроводников*, **32**: 385 (1998).
4. А. Ю. Егоров, А. Е. Жуков, А. Р. Ковш, В. М. Устинов, В. В. Мамутин, С. В. Иванов, В. Н. Жмерик, А. Ф. Цацульников, Д. А. Бедарев, П. С. Копьев, *Письма в Ж. техн. физ.*, **24**, № 3: 81 (1998).
5. M. Kondow, T. Kitatani, M. C. Larson, K. Nakahara, K. Uomi, H. Inoue, *J. Crystal Growth*, **188**: 255 (1998).
6. Ч. Чжень, Д. А. Бедарев, Б. В. Воловик, Н. Н. Леденцов, А. В. Лунев, М. В. Максимов, А. Ф. Цацульников, А. Ю. Егоров, А. Е. Жуков, А. Р. Ковш, В. М. Устинов, П. С. Копьев, *Физ. техн. полупроводников*, **33**, № 1: 91 (1999).
7. D. E. Mars, D. I. Babic, Y. Kaneko, and Y. L. Chang, *J. Vacuum Science and Technology*, **17B**: 1272 (1999).
8. F. Hoehnsdorf, J. Koch, S. Leu, W. Stolz, B. Borchert, and M. Dru-

- minsk, *Electron. Lett.*, **35**, No. 7: 571 (1999).
9. I. Vurgaftman, J. R. Meyer, and L. R. Ram-Mohan, *J. Appl. Phys.*, **89**, No. 11: 5815 (2001).
  10. Y. L. Soo, S. Huang, Y. H. Kao, J. G. Chen, and S. L. Hulbert, *Phys. Rev. B*, **60**, No. 19: 13605 (1999).
  11. Г. Э. Цырлин, В. Н. Петров, С. А. Масалов, А. О. Голубок, *Физ. техн. полупроводников*, **33**, вып. 6: 733 (1999).
  12. Ч. Чжень, Д. А. Бедарев, Б. В. Воловик, Н. Н. Леденцов, А. В. Лунев, М. В. Максимов, А. Ф. Цацульников, А. Ю. Егоров, А. Е. Жуков, А. Р. Ковш, В. М. Устинов, П. С. Копьев, *Физ. техн. полупроводников*, **33**, № 1: 91 (1999).
  13. А. Е. Жуков, А. Р. Ковш, А. Ю. Егоров, Н. А. Малеев, В. М. Устинов, Б. В. Воловик, М. В. Максимов, А. Ф. Цацульников, Н. Н. Леденцов, Ю. М. Шерняков, А. В. Лунев, Ю. Г. Мусихин, Н. А. Берг, П. С. Копьев, Ж. И. Алферов, *Физ. техн. полупроводников*, **33**, вып. 2: 180 (1999).
  14. Y. S. Lin, K. J. Ma, C. Hsu, S. W. Feng, Y. C. Cheng, C-C. Liao, C. C. Yang, C-C. Chou, C-M. Lee, and J-I. Chyi, *Appl. Phys. Lett.*, **77**, No. 19: 2988 (2000).
  15. E. D. Jones, N. A. Modine, A. A. Allerman, S. R. Kurtz, A. F. Wright, S. T. Tozer, and X. Wei, *Phys. Rev. B*, **60**, No. 7: 4430 (1999).
  16. M. Kondow, T. Kitatani, K. Nakahara, and T. Tanaka, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, **12**: 777 (2000).
  17. М. М. Соболев, И. В. Кочнев, В. М. Лянтратов, Н. А. Берг, Н. А. Черкашин, Н. Н. Леденцов, Д. А. Бедарев, *Физ. техн. полупроводников*, **34**, вып. 2: 200 (2000).
  18. Б. В. Воловик, А. Р. Ковш, W. Passenberg, H. Kuenzel, Н. Н. Леденцов, В. М. Устинов, *Письма в Ж. техн. физ.*, **26**, вып. 10: 88 (2000).
  19. Y. L. Soo, S. Huang, Y. H. Kao, J. N. Chen, S. L. Hulbert, J. F. Geisz, S. Kurtz, J. M. Olson, S. R. Kurtz, E. D. Jones, and A. A. Allerman, *Phys. Rev. B*, **60**, No. 19: 13605 (1999).
  20. J. C. Harmand, G. Ungaro, L. Largeau, and G. Le Roux, *Appl. Phys. Lett.*, **77**, No. 16: 2482 (2000).
  21. B. M. Arora, K. S. Chandrasekaran, M. R. Gokhale, G. Nair, V. Rao, G. Amarendra, and B. Viswanathan, *J. Appl. Phys.*, **87**, No. 12: 8444 (2000).
  22. S. Sato, *Jap. J. Appl. Phys.*, **39**: 3403 (2000).
  23. X. Yang, J. B. Herroux, L. F. Mei, and W. I. Wang, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, No. 26: 4068 (2001).
  24. W. Li, J. Turpeinen, P. Melanen, P. Savolainen, P. Ususimaa, and M. Pessa, *Appl. Phys. Lett.*, **78**: No. 1: 91 (2001).
  25. S. Kurtz, J. Webb, L. Gedvilas, D. Friedman, J. Geisz, J. Olson, R. King, D. Joslin, and N. Karam, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, No. 6: 748 (2001).
  26. W. Li, M. Pessa, and J. Likonen, *Appl. Phys. Lett.*, **78**: No. 19: 2864 (2001).
  27. W. Li, M. Pessa, T. Ahlgren, and J. Decker, *Appl. Phys. Lett.*, **79**, No. 8: 1094 (2001).

## Литература

28. M.-A. Pinault and E. Tournie, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, No. 11: 1562 (2001).
29. M. C. Y. Chan, C. Surya, and P. K. A. Wai, *J. Appl. Phys.*, **90**, No. 1: 197 (2001).
30. А. В. Сахаров, И. Л. Крестников, Н. А. Малеев, А. Р. Ковш, А. Е. Жуков, А. Ф. Цацульников, В. М. Устинов, Н. Н. Леденцов, Д. Бимберг, J. A. Lott, Ж. И. Алферов, *Физ. техн. полупроводников*, **35**: 889 (2001).
31. В. А. Одноблудов, А. Ю. Егоров, Н. В. Крыжановская, А. Г. Гладышев, В. В. Мамутин, А. Ф. Цацульников, В. М. Устинов, *Письма в Ж. техн. физ.*, **28**, вып. 22: 82 (2002).
32. S. Sanoprim, F. Nakajima, S. Imura, R. Katayama, J. Wu, K. Okabe, and Y. Shiraki, *Phys. Status Solidi B*, **234**, No. 3: 782 (2002).
33. А. А. Тонких, В. А. Егоров, Н. К. Поляков, Г. Э. Цырлин, Н. В. Крыжановская, Д. С. Сизов, В. М. Устинов, *Письма в Ж. техн. физ.*, **28**, вып. 10: 72 (2002).
34. Д. С. Сизов, М. В. Максимов, А. Ф. Цацульников, Н. А. Черкашин, Н. В. Крыжановская, А. Б. Жуков, Н. А. Малеев, С. С. Михрин, А. П. Васильев, Р. Селив, В. М. Устинов, Н. Н. Леденцов, Д. Бимберг, Ж. И. Алферов, *Физ. техн. полупроводников*, **36**, вып. 9: 1097 (2002).
35. A. Segmuller, P. Kristina, and L. Esaki, *J. Appl. Phys.*, **10**: 1 (1977).
36. J. Kervarec, M. Baudet, J. Callet, P. Aunray, J. Emery, and A. Regbeny, *J. Appl. Crystallogr.*, **17**: 196 (1984).
37. V. S. Sprosu and T. Vreeland, *J. Appl. Phys.*, **56**: 1591 (1984).
38. R. M. Flemming, D. B. McWhan, A. C. Gossard, W. Wiegmann, and R. Logan, *J. Appl. Phys.*, **5**: 337 (1980).
39. W. J. Bartels, J. Honstra, and D. J. W. Lobeek, *Acta Crystallogr.*, **A42**: 539 (1986).
40. P. F. Fewster and C. J. Curling, *J. Appl. Phys.*, **62**: 4154 (1987).
41. P. F. Fewster, *Inst. Phys. Conf.*, **164**: 197 (1999).
42. K. Chut and B. K. Tanner, *Semicond. Sci. Technol.*, **2**: 765 (1987).
43. А. М. Афанасьев, П. А. Александров, Р. П. Имамов, *Рентгенодифракционная диагностика субмикронных слоев* (Москва: Наука: 1989).
44. А. М. Афанасьев, М. А. Чуев, Р. М. Имамов, А. А. Ломов, *Кристаллография*, **45**, № 4: 715 (2000).
45. T. Vreeland, Jr. and V. H. Rain, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A4**: 3153 (1989).
46. Т. С. Аргунова, А. Н. Баранов, С. С. Рузимов, Л. М. Сорокин, В. В. Шерстнев, *Физ. тверд. тела*, **31**, № 8: 158 (1989).
47. А. В. Гончарский, А. В. Колпаков, А. А. Степанов, *Метрология*, № 11: 19 (1986).
48. R. Zaus, *Appl. Crystallogr.*, **26**: 801 (1993).
49. Р. Н. Кютт, *Физ. тверд. тела*, **39**, № 7: 1188 (1997).
50. Н. Н. Фалеев, В. В. Чалдышев, А. Е. Куницын, В. В. Преображенский, М. А. Путьато, Б. Р. Семягин, В. В. Третьяков, *Физ. техн. полупроводников*, **32**, № 1: 24 (1998).
51. А. А. Дышечков, Ю. П. Хапачев, *Ж. техн. физ.*, **69**, вып. 6: 67 (1999).
52. В. П. Евтихийев, Е. Ю. Котельников, И. В. Кудряшов, В. Е. Токранов, Н. Н. Фалеев, *Физ. техн. полупроводников*, **33**, вып. 5: 634 (1999).

53. E. D. Lones, N. A. Modine, A. A. Allerman, S. R. Kurtz, A. F. Wright, S. T. Tozer, and X. Wei, *Phys. Rev. B*, **60**, No. 7: 4430 (1999).
54. Р. Н. Кютт, В. В. Ратников, Г. Н. Мосина, М. П. Щеглов, *Физ. тверд. тела*, **41**, № 1: 30 (1999).
55. Я. И. Нестерец, В. И. Пунегов, К. М. Павлов, Н. Н. Фалеев, *Ж. техн. физ.*, **69**, вып. 2: 44 (1999).
56. S. J. Xu, H. Wang, Q. Li, M. H. Xie, X. C. Wang, W. J. Fan, and S. L. Feng, *Appl. Phys. Lett.*, **77**, No. 14: 2130 (2000).
57. Z. Pan, Y. T. Wang, L. H. Li, W. Zhang, Y. W. Lin, Z. Q. Zhou, and R. H. Wu, *J. Crystal Growth*, **217**: 26 (2000).
58. Н. Н. Фалеев, Ю. Г. Мусихин, А. А. Суворова, А. Ю. Егоров, А. Е. Жуков, А. Р. Ковш, В. М. Устинов, М. Tabuchi, Y. Takeda, *Физ. техн. полупроводников*, **35**, вып. 8: 969 (2001).
59. X. Yang, J. B. Heroux, L. F. Mei, and W. I. Wang, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, No. 26: 4068 (2001).
60. V. B. Molodkin, M. Pessa, E. M. Pavelescu, I. M. Fodchuk, E. N. Kislovskii, S. I. Olikhovskii, T. P. Vladimirova, O. G. Gimchinsky, O. P. Kroitor, and E. S. Skakunova, *Металлофиз. новейшие технол.*, **24**, № 4: 477 (2002).
61. И. М. Фодчук, О. П. Кройтор, В. Б. Гевик, О. Г. Гимчинский, В. Б. Молодкин, Е. Н. Кисловский, С. И. Олиховский, М. Песса, Е. М. Павелеску, *Металлофиз. новейшие технол.*, **25**, № 8: 1019 (2003).
62. Н. Л. Попов, Ю. А. Успенский, А. Г. Турьянский, И. В. Пиршин, А. В. Виноградов, Ю. Я. Платонов, *Физ. техн. полупроводников*, **37**, вып. 6: 700 (2003).
63. В. П. Кладько, Л. И. Даценко, В. Ф. Мачулин, В. Б. Молодкин, *Металлофиз. новейшие технол.*, **25**, № 5: 635 (2003).
64. Р. Н. Кютт, *Актуальные вопросы современного естествознания* (Нальчик: Каб.-Балк. ун-т.: 2003), с. 79.
65. S. A. Takagi, *J. Phys. Soc. Jap.*, **26**, No. 5: 1239 (1969).

## Глава 10

1. *Semiconductor Heteroepitaxy* (Eds. B. Gil and R.L. Aulombard) (Singapore: World Scientific: 1995).
2. H. Amano and I. Akasaki, *Properties, Processing, and Applications of Gallium Nitride and Related Semiconductors* (Ed. J. Edgar) (London: IEE/INSPEC: 1999).
3. D. Bimberg, M. Grundman, and N. N. Ledentsov, *Quantum Dot Heterostructures* (Chichester: John Wiley&Sons: 1999).
4. S. Nakamura and G. Fasol, *The Blue Laser Diode* (Berlin: Springer: 1997).
5. А. М. Афанасьев, П. А. Александров, Р. М. Имамов, *Рентгенодифракционная диагностика субмикронных слоев* (Москва: Наука: 1989).
6. D. K. Bowen and B. K. Tanner, *High Resolution X-Ray Diffractometry and Topography* (London: Taylor&Francis: 1998).
7. V. Holy, U. Pietch, and T. Baumbach, *High-Resolution X-Ray Scattering from Thin Films and Multilayers* (Berlin: Springer: 1998).



8. P. F. Fewster, *X-Ray Scattering from Semiconductors* (London: Imperial College Press: 2000).
9. V. S. Speriosu, *J. Appl. Phys.*, **52**, No. 10: 6094 (1981).
10. V. S. Speriosu and T. Vreeland, *J. Appl. Phys.*, **56**, No. 6: 1591 (1984).
11. П. В. Петрашень, *Физ. тверд. тела*, **17**, № 9: 2814 (1975).
12. П. В. Петрашень, *Физ. тверд. тела*, **16**, № 8: 2168 (1974).
13. L. Tapfer and K. Ploog, *Phys. Rev. B*, **33**, No. 8: 5565 (1986).
14. J. Burgeat and D. Taupin, *Acta Crystallogr. A*, **24**: 99 (1968).
15. A. Fukuhara and Y. Takano, *Acta Crystallogr. A*, **33**: 137 (1977).
16. B. C. Larson and J. F. Barhorst, *J. Appl. Phys.*, **51**, No. 6: 3181 (1980).
17. M. A. G. Halliwell, M. H. Lyons, and M. J. Hill, *J. Cryst. Growth*, **68**: 523 (1984).
18. C. R. Wie, T. A. Tombrello, and T. Vreeland, *J. Appl. Phys.*, **59**, No. 11: 3743 (1986).
19. W. J. Bartels, J. Hornstra, and D. J. Lobeek, *Acta Crystallogr. A*, **42**, No. 6: 539 (1986).
20. Yu. N. Belyaev and A. V. Kolpakov, *Phys. Status Solidi A*, **76**: 641 (1983).
21. D. M. Vardanyan, H. M. Manoukyan, and H. M. Petrosyan, *Acta Crystallogr. A*, **41**: 212 (1985).
22. V. Holý, J. Kuběna, and K. Ploog, *Phys. Status Solidi B*, **162**, No. 2: 347 (1990).
23. M. Dimer, E. Gerda, R. Ruffer et al., *J. Appl. Phys.*, **79**, No. 12: 9090 (1996).
24. А. М. Афанасьев, М. А. Чуев, Р. М. Имамов и др., *Кристаллография*, **42**, № 3: 514 (1997).
25. E. Kh. Mukhamedzhanov, C. Bocchi, S. Franchi et al., *J. Appl. Phys.*, **87**, No. 9: 4234 (2000).
26. P. Zaumseil, *Phys. Status Solidi A*, **91**, No. 2: K31 (1985).
27. P. Zaumseil, U. Winter, F. Cembali et al., *Phys. Status Solidi A*, **100**, No. 1: 95 (1987).
28. M. Servidori, R. Angelucci, F. Cembali et al., *J. Appl. Phys.*, **61**, No. 5: 1834 (1987).
29. R. Balboni, S. Milita, and M. Servidori, *Phys. Status Solidi A*, **148**, No. 1: 95 (1995).
30. P. Zaumseil and U. Winter, *Phys. Status Solidi A*, **120**, No. 1: 67 (1990).
31. A. Kazimirov, N. Faleev, H. Temkin et al., *J. Appl. Phys.*, **89**, No. 11: 6092 (2001).
32. F. Cembali, M. Servidori, and A. Zani, *Solid State Electronics*, **28**: 933 (1985).
33. А. М. Афанасьев, М. А. Чуев, Р. М. Имамов, А. А. Ломов, *Кристаллография*, **45**, № 4: 715 (2000).
34. А. М. Афанасьев, М. А. Чуев, Р. М. Имамов, А. А. Ломов, *Кристаллография*, **46**, № 5: 781 (2001).
35. А. М. Афанасьев, Р. М. Имамов, *Кристаллография*, **48**, № 5: 786 (2003).
36. М. А. Кривоглаз, *Дифракция рентгеновских лучей и нейтронов в неидеальных кристаллах* (Киев: Наукова думка: 1983).
37. C. Ferrari, M. R. Bruni, F. Martelli, and M. G. Simeone, *J. Cryst. Growth*, **126**: 144 (1993).
38. V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, and E. N. Kislovskii et al., *Phys.*

39. *Status Solidi B*, **227**: 429 (2001).
40. S. I. Olikhovskii, V. B. Molodkin, and E. N. Kislovskii et al., *Phys. Status Solidi B*, **231**: 199 (2002).
41. Л. И. Даценко, В. Б. Молодкин, М. Е. Осинковский, *Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами* (Киев: Наукова думка: 1988).
42. В. Б. Молодкин, С. И. Олиховский, М. Е. Осинковский, *Металлофизика*, **5**, № 1: 3 (1983).
43. В. Б. Молодкин, С. И. Олиховский, Е. Н. Кисловский и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, **19**, № 12: 25 (1997).
44. С. Й. Оліховський, Є. М. Кисловський, В. Б. Молодкін та ін., *Металлофиз. новейшие технол.*, **22**, № 6: 3 (2000).
45. Є. М. Кисловський, С. Й. Оліховський, В. Б. Молодкін та ін., *Металлофиз. новейшие технол.*, **22**, № 7: 21 (2000).
46. V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, E. N. Kislovskii et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **34**, No. 5: A82 (2001).
47. П. В. Петрашень, *Металлофизика*, **8**, № 1: 35 (1986).
48. П. В. Петрашень, Ф. Н. Чуховский, *Металлофизика*, **8**, № 3: 45 (1986).
49. P. H. Dederichs, *Phys. Rev. B*, **4**, No. 4: 1041 (1971).
50. B. C. Larson, *J. Appl. Crystallogr.*, **8**, No. 2: 150 (1975).
51. V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, E. N. Kislovskii et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **34**, No. 5: A82 (2001).
52. П. В. Петрашень, *Металлофизика*, **8**, № 1: 35 (1986).
53. П. В. Петрашень, Ф. Н. Чуховский, *Металлофизика*, **8**, № 3: 45 (1986).
54. P. H. Dederichs, *Phys. Rev. B*, **4**, No. 4: 1041 (1971).
55. B. C. Larson, *J. Appl. Crystallogr.*, **8**, No. 2: 150 (1975).
56. V. B. Molodkin, M. Pessa, E. M. Pavelescu et al., *Металлофиз. новейшие технол.*, **24**, No. 4: 477 (2002).
57. И. М. Фодчук, О. П. Кройтор, В. Б. Гевик и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, **25**, № 9: 1219 (2003).
58. В. Б. Молодкин, Е. Н. Кисловский, С. И. Олиховский и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, **25**, № 12: 1605 (2003).
59. В. В. Стрельчук, В. П. Кладько, М. Я. Валах и др., *Наносистемы, наноматериалы, нанотехнології*, **1**, № 1: 309 (2003).
60. В. П. Кладько, В. Ф. Мачулин, И. В. Прокопенко и др., *Наносистемы, наноматериалы, нанотехнології*, **1**, № 2: 447 (2003).
61. P. F. Fewster, *J. Appl. Crystallogr.*, **25**, No. 6: 714 (1992).
62. V. Holý, J. Kuběna, E. Abramof et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **26**, No. 4: A146 (1993).
63. B.-T. Lee, R. Gronsky, and E. D. Bourret, *J. Appl. Phys.*, **64**, No. 1: 114 (1988).
64. C. Frigeri, *J. Cryst. Growth*, **126**: 91 (1993).
65. L. A. Charniy, A. N. Morozov, V. T. Bublik et al., *J. Cryst. Growth*, **118**: 163 (1992).
66. R. Bloch, D. Bahr, J. Olde et al., *Phys. Rev. B*, **42**, No. 8: 5093 (1990).
67. В. Т. Бублик, К. Д. Щербачев, *Кристаллография*, **39**, № 6: 1105 (1994).
68. В. Т. Бублик, М. И. Воронова, А. В. Марков, К. Д. Щербачев, *Кристаллография*, **45**, № 5: 893 (2000).
69. А. В. Марков, В. Т. Бублик, М. И. Воронова, К. Д. Щербачев, *Поверхность*, № 10: 40 (2001).
70. L. Tapfer and K. Ploog, *Phys. Rev. B*, **40**, No. 14: 9802 (1989).
71. S. Fleischer, C. D. Beiling, S. Fung et al., *J. Appl. Phys.*, **81**, No. 1: 190 (1997).
72. B. M. Arora, K. S. Chandrasekaran, M. R. Gokhale et al., *J. Appl.*

- Phys.*, **87**, No. 12: 8444 (2000).
68. T. E. M. Staab, R. M. Nieminen, J. Gebauer et al., *Phys. Rev. Lett.*, **87**, No. 4: 045504-1 (2001).
69. P. S. Branicio, J. P. Rino, F. Shimojo et al., *J. Appl. Phys.*, **94**, No. 6: 3840 (2003).
70. С. И. Олиховский, В. Б. Молодкин, Е. Н. Кисловский и др., *Металлофиз. новейшие технол.*, **27**, № 1: 1605 (2005).

## Глава 11

1. М. Херман, *Полупроводниковые сверхрешетки* (Москва: Мир: 1989).
2. V. Holý, J. Kuběna, and K. Ploog, *Phys. Status Solidi (b)*, **162**, No. 3: 347 (1990).
3. V. S. Speriosu and T. Vreelang, *J. Appl. Phys.*, **56**, No. 6: 1591 (1984).
4. V. Holy, U. Pietch, and T. Baumbach, *High-Resolution X-Ray Scattering from Thin Films and Multilayers* (Berlin: Springer: 1998).
5. H.-J. Herzog, *Sol. Stat. Phenomena*, **32-33**: 523 (1993).
6. I. Tapfer and K. Ploog, *Phys. Rev. B*, **33**: 5565 (1986).
7. В. И. Пунегов, *Физ. тверд. тела*, **37**, № 4: 1134 (1995).
8. V. P. Kladko, L. I. Datsenko, A. V. Kuchuk, A. V. Shalimov, J. Domagala, and A. A. Korchovy, *Ukr. Phys. Journ.*, **49**, No. 1: 345 (2004).
9. В. И. Пунегов, *Письма в Ж. техн. физ.*, **18**, № 4: 66 (1992).
10. В. И. Пунегов, *Кристаллография*, **35**, № 3: 576 (1990).
11. R. N. Kyutt, P. V. Petrashen, and L. M. Sorokin, *Phys. Status Solidi (a)*, **60**, No. 11: 381 (1980).
12. В. А. Бушуев, *Физ. тверд. тела*, **31**, № 11: 70 (1989).
13. Л. И. Даценко, В. П. Кладько, В. Ф. Мачулин, В. Б. Молодкин, *Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами в области аномальной дисперсии* (Киев: Академперіодика: 2002).
14. В. И. Пунегов, К. М. Павлов, *Кристаллография*, **38**, № 5: 34 (1993).
15. В. П. Кладько, Л. И. Даценко, В. Ф. Мачулин, В. Б. Молодкин, *Металлофиз. новейшие технол.*, **25**, № 4: 556 (2003).
16. V. Kladko, L. Datsenko, V. Machulin, J. Domagala, and P. Lytvyn, *J. Appl. Crystallogr.*, **37**: 150 (2004).
17. I. Tapfer and K. Ploog, *Phys. Rev. B*, **40**, No. 14: 9802 (1989).
18. V. Kladko, L. Datsenko, A. Korchovy, V. Machulin, P. Lytvyn, A. Shalimov, A. Kuchuk, and P. Kogutyuk, *Semicond. Phys. Quantum&Optoelectr.*, **6**, No. 3: 293 (2003).
19. В. П. Кладько, В. Ф. Мачулин, И. В. Прокопенко, М. Литвин, П. П. Когутюк, А. А. Корчевой, *Металлофиз. новейшие технол.*, **26**, № 2: 217 (2004).
20. Ю. Н. Дроздов, С. А. Гусев, Е. Н. Садова, В. М. Данильцев, О. И. Хрыкиа, В. И. Пашкин, *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, № 2: 67 (2003).
21. R. N. Kyutt, T. V. Shubina, S. V. Sorokin, D. D. Solnyshkov, S. V. Ivanov, and M. Willander, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **36**, No. 3: A166 (2003).
22. K. Mukai, Y. Nakata, K. Otsubo, M. Sugawara, N. Yokoyama, and

## Литература

- H. Ishikawa, *IEEE J. Quantum Electron.*, **36**: 556 (2000).
23. H. Li, Q. Zhuang, Z. Wang, and T. Daniels-Race, *Appl. Phys. Lett.*, **87**: 188 (2000).
24. L. Brussaferri, S. Sanguinatti, and E. Grilli, *Appl. Phys. Lett.*, **69**, 3354 (1996).
25. L. Chu, A. Zrenner, G. Bohm, and G. Abstreiter, *Appl. Phys. Lett.*, **76**: 1944 (2000).
26. В. И. Пунегов, *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, № 2: 21 (2003).
27. В. П. Кладько, В. Ф. Мачулин, В. В. Стрельчук, И. В. Прокопенко, А. И. Гудыменко, А. А. Корчевой, *Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии*, **1**, № 2: 447 (2003).
28. K. Zhang, Ch. Heyn, and W. Hansen, *Appl. Phys. Lett.*, **77**, No. 9: 1295 (2000).
29. T. Mano, R. Notzel, G. J. Hamhuis, T. J. Eijkemans, and J. H. Wolter, *J. Appl. Phys.*, **95**, No. 1: 109 (2004).
30. V. Holý, J. Stangl, G. Springholz, M. Pinczolits, G. Bauer, I. Kegel, and T. H. Metzger, *Physica B*, **283**: 65 (2000).
31. Z. Zhuang, J. Stangl, A. A. Darchuber, G. Bauer, P. Mikulik, V. Holý, N. Darowski, and U. Pietsch, *J. Mater. Science*, **10**: 215 (1999).
32. J. Tersoff, C. Teichert, and M. G. Lagalli, *Phys. Rev. Lett.*, **76**, 1675 (1996).
33. Q. Xie, A. Madhukar, P. Chen, and N. P. Kobayashi, *Phys. Rev. Lett.*, **75**: 2542 (1995).
34. V. Holý, A. A. Darchuber, J. Stangl, S. Zerlauth, F. Shaffler, G. Bauer, N. Darowski, D. Lubbert, U. Pietsch, and I. Varva, *Phys. Rev. B*, **58**: 7934 (1998).
35. A. A. Darchuber, P. Schittenhelm, V. Holý, J. Stangl, and G. Bauer, *Phys. Rev. B*, **55**: 15652 (1997).
36. S. M. Hu, *J. Appl. Phys.*, **66**: 2741: (1989).
37. A. A. Darchuber, P. Schittenhelm, V. Holý, J. Stand, G. Bauer, and G. Abstreiter, *Phys. Rev. B*, **55**, No. 23: 15652 (1997).
38. I. Kegel, T. H. Metzger, A. Lorke, J. Pai, J. Stangl, G. Bauer, J. M. Garcia, and P. M. Petroff, *Phys. Rev. Lett.*, **85**, No. 8: 1694 (2000).
39. Я. И. Нестерев, В. И. Пунегов, К. М. Павлов, Н. Н. Фалеев, *Ж. техн. физ.*, **69**, № 2: 44 (1999).
40. Q. D. Zhuang, J. M. Li, Y. P. Zeng, L. Pan, H. X. Li, M. Y. Kong, and L. Y. Lin, *J. Cryst. Growth*, **200**: 375 (1999).
41. Y. I. Nesterets and V. I. Punegov, *Acta Crystallogr. A*, **A56**: 540 (2000).
42. K. M. Pavlov and V. I. Punegov, *Acta Crystallogr. A*, **A56**: 227 (2000).
43. A. A. Darchuber, P. Schittenhelm, V. Holý, J. Stand, G. Bauer, and G. Abstreiter, *Phys. Rev. B*, **55**, No. 23: 15652 (1997).
44. A. A. Darchuber, E. Koppensteiner, G. Bauer, P. D. Wang, Y. P. Song, C. M. Sotomayor Torres, and M. C. Holland, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **28**, No. 4: 195 (1995).
45. P. H. Dederichs, *Phys. Rev. B*, **B4**: 1041 (1971).
46. V. B. Molodkin, S. I. Olikhovski, and M. E. Osinovski, *Phys. Metals*, **5**: 1 (1984).

## Литература

47. Н. Н. Фалеев, К. М. Павлов, В. И. Пунегов, А. Ю. Егоров, А. Е. Жукон, А. Р. Ковш, С. С. Михрин, В. М. Устинов, М. Tabuchi, Y. Takeda, *Физ. техн. полупроводников*, **33**, № 11: 1359 (1999).
48. K. C. Hsieh, J. N. Baillargeon, and K. G. Cheng, *Appl. Phys. Lett.*, **57**: 2244 (1990).
49. A. C. Chen, A. M. Moy, L. J. Chou, K. C. Hsieh, and K. Y. Cheng, *Appl. Phys. Lett.*, **66**, No. 1: 2694 (1995).
50. S. T. Chou, K. Y. Cheng, L. J. Chou, and K. C. Hsieh, *J. Appl. Phys.*, **78**: 6270 (1995).
51. A. G. Normann, S. P. Achrenkiel, Moutinho, M. M. Al-Jassim, A. Mascarenhas, and J. Mirecki-Millunchick, *Appl. Phys. Lett.*, **73**: 1844 (1998).
52. F. Glas, *J. Appl. Phys.*, **62**: 3201 (1987).
53. D. W. Stokes, R. L. Forrest, J. H. Li, S. C. Moss, B. Z. Nosh, B. R. Bennett, L. J. Whitman, and M. Goldenberg, *J. Appl. Phys.*, **93**, No. 1: 811 (2003).

## Глава 12

1. А. П. Шпак, В. Б. Молодкін, С. Й. Оліховський та ін., *Металлофиз. новейшие технол.*, **27**, № 6: 721 (2005).
2. V. Lordi, V. Gambin, S. Friedrich et al., *Phys. Rev. Lett.*, **90**, No. 14: 145505-1 (2003).
3. G. Bisognin, D. De Salvador, C. Mattevi et al., *J. Appl. Phys.*, **95**, No. 1: 48 (2004).
4. Y. Qu, C. Y. Liu, S. Yuan et al., *J. Appl. Phys.*, **95**, No. 7: 3422 (2004).
5. K. Nakashima and K. Tateno, *J. Appl. Phys.*, **95**, No. 7: 3443 (2004).
6. H. F. Liu, C. S. Peng, J. Likonen et al., *J. Appl. Phys.*, **95**, No. 8: 4102 (2004).
7. H. D. Sun, R. Macaluso, S. Calvez et al., *J. Appl. Phys.*, **96**, No. 3: 1418 (2004).
8. R. Kudrawiec, E.-M. Pavelescu, J. Wagner et al., *J. Appl. Phys.*, **96**, No. 5: 2576 (2004).
9. R. Kudrawiec, E.-M. Pavelescu, J. Andrzejewski et al., *J. Appl. Phys.*, **96**, No. 5: 2909 (2004).
10. K. Muraki, S. Fukatsu, Y. Shiraki, and R. Ito, *J. Cryst. Growth*, **127**: 546 (1993).
11. M. Ig and K. H. Ploog, *Phys. Rev. B*, **48**, No. 15: 11512 (1993).
12. R. Kaspi and K. R. Evans, *Appl. Phys. Lett.*, **67**, No. 6: 819 (1995).
13. P. Yashar, M. R. Pillai, J. Mirecki-Millunchick, and S. A. Barnett, *J. Appl. Phys.*, **83**, No. 4: 2010 (1998).
14. S. Martini, A. A. Quivy, M. J. da Silva et al., *J. Appl. Phys.*, **94**, No. 11: 7050 (2003).
15. G. G. de la Cruz, *J. Appl. Phys.*, **96**, No. 7: 3752 (2004).
16. C. M. Yee-Rendon, A. Perez-Centeno, M. Melendez-Lira et al., *J. Appl. Phys.*, **96**, No. 7: 3702 (2004).
17. V. S. Speriosu and T. Vreeland, *J. Appl. Phys.*, **56**, No. 6: 1591 (1984).
18. M. A. G. Halliwell, M. H. Lyons, and M. J. Hill, *J. Cryst. Growth*, **68**: 523 (1984).

19. W. J. Bartels, J. Hornstra, and D.J. Lobeek, *Acta Crystallogr. A*, **42**, No. 6: 539 (1986).
20. L. Tapfer and K. Ploog, *Phys. Rev. B*, **33**, No. 8: 5565 (1986).
21. V. Holy, J. Kuběna, and K. Ploog, *Phys. Status Solidi B*, **162**, No. 2: 347 (1990).
22. D. K. Bowen and B. K. Tanner, *High Resolution X-Ray Diffractometry and Topography* (London: Taylor&Francis: 1998).
23. А. М. Афанасьев, М. А. Чуев, Р. М. Имамов, А. А. Ломов, *Кристаллография*, **45**, № 4: 715 (2000).
24. А. М. Афанасьев, М. А. Чуев, Р. М. Имамов, А. А. Ломов, *Кристаллография*, **46**, № 5: 781 (2001).
25. А. М. Афанасьев, Р. М. Имамов, *Кристаллография*, **48**, № 5: 786 (2003).
26. P. F. Fewster, *J. Appl. Crystallogr.*, **25**, No. 6: 714 (1992).
27. Л. И. Даценко, В. Б. Молодкин, М. Е. Осинковский, *Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами* (Киев: Наукова думка: 1988).
28. V. B. Molodkin, S. I. Olikhovskii, E. N. Kislovskii et al., *Phys. Status Solidi B*, **227**, No. 2: 429 (2001).
29. S. I. Olikhovskii, V. B. Molodkin, E. N. Kislovskii et al., *Phys. Status Solidi B*, **231**, No. 1: 199 (2002).
30. С. Й. Оліховський, В. Б. Молодкін, Є. М. Кисловський та ін., *Металлофіз. новітні технології*, **27**, № 2: 197 (2005).
31. С. Й. Оліховський, Є. М. Кисловський, В. Б. Молодкін та ін., *Металлофіз. новітні технології*, **22**, № 6: 3 (2000).
32. V. Grillo, M. Albrecht, T. Remmele et al., *J. Appl. Phys.*, **90**, No. 8: 3792 (2001).
33. G. Leibiger, V. Gottschalch, and M. Schubert, *J. Appl. Phys.*, **90**, No. 12: 5951 (2001).
34. М.А. Кривоглаз, *Дифракция рентгеновских лучей и нейтронов в неидеальных кристаллах* (Киев: Наукова думка: 1983).
35. M. C. Y. Chan, Ch. Surya, and P. K. A. Wai, *J. Appl. Phys.*, **90**, No. 1: 197 (2001).
36. В.-Т. Lee, R. Gronsky, and E. D. Bourret, *J. Appl. Phys.*, **64**, No. 1: 114 (1988).
37. C. Frigeri, *J. Cryst. Growth*, **126**: 91 (1993).
38. L. A. Charniy, A. N. Morozov, V. T. Bublik et al., *J. Cryst. Growth*, **118**: 163 (1992).
39. R. Bloch, D. Bahr, J. Olde et al., *Phys. Rev. B*, **42**, No. 8: 5093 (1990).
40. В. Т. Бублик, К. Д. Щербачев, *Кристаллография*, **39**, № 6: 1105 (1994).
41. В. Т. Бублик, М. И. Воронова, А. В. Марков, К. Д. Щербачев, *Кристаллография*, **45**, № 5: 893 (2000).
42. А. В. Марков, В. Т. Бублик, М. И. Воронова, К. Д. Щербачев, *Поверхность*, № 10: 40 (2001).

*Наукове видання*

Молодкін Вадим Борисович  
Низкова Ганна Іванівна  
Шпак Анатолій Петрович  
Мачулін Володимир Федорович  
Кладько Василь Петрович  
Прокопенко Ігор Васильович  
Кютт Регінальд Миколайович  
Кисловський Євгеній Миколайович  
Оліховський Степан Йосипович  
Первак Катерина Вадимівна  
Фодчук Ігор Михайлович  
Дишкев Артур Альбекович  
Хапачев Юрій Пшиканович

# **ДИФРАКТОМЕТРІЯ НАНОРОЗМІРНИХ ДЕФЕКТІВ І ГЕТЕРОШАРІВ КРИСТАЛІВ**



Видавничий дім «Академперіодика» НАН Україна  
01004 Київ-4, вул. Терещенківська, 4  
Свідectво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 544 від 27.07.2001 р.

Підписано до друку 11.11.2005. Формат 60×90/16.  
Папір офсетний. Друк різнографічний.  
Ум. друк. арк. 22,75. Обл.-вид. арк. 24,81.  
Наклад 350 прим. Зам. №1545.

---

Друкарня Видавничого дому «Академперіодика» НАН України  
01004 Київ-4, вул. Терещенківська, 4