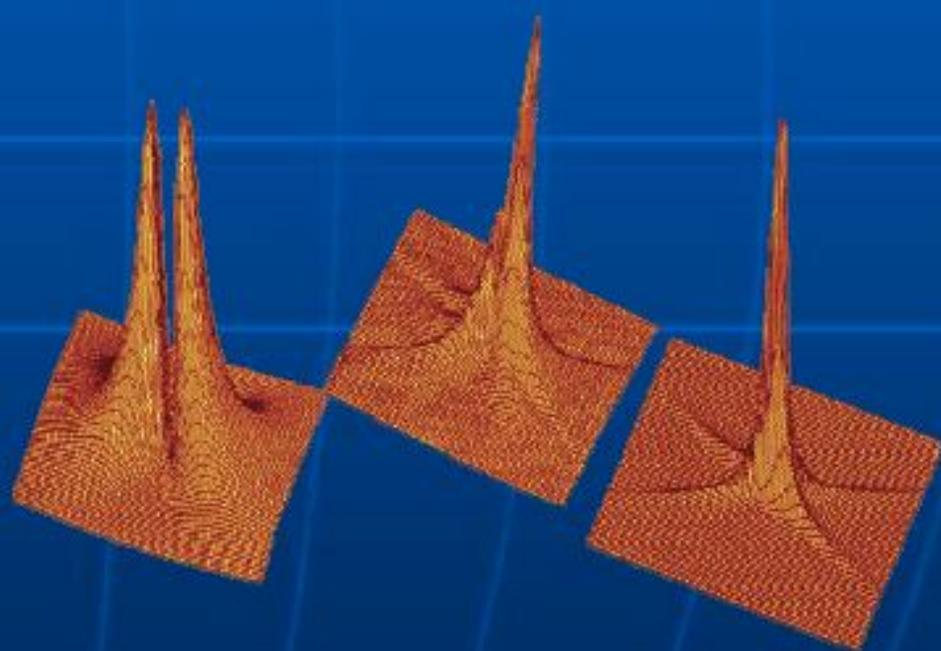


**ОСНОВЫ ИНТЕГРАЛЬНОЙ
МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
ДИФФУЗНОДИНАМИЧЕСКОЙ
ДИФРАКТОМЕТРИИ**



**НАЛЬЧИК
2013**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Х.М. БЕРБЕКОВА»

**ОСНОВЫ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
ДИФФУЗНОДИНАМИЧЕСКОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ**

НАЛЬЧИК
2013

УДК 53(01);539.26:539.3:548.7

ББК 22.37:22.346

О75

О75 Основы интегральной многопараметрической диффузодинамической дифрактометрии [Текст] : монография / В. Б. Молодкин, М. В. Ковальчук, И. М. Карнаухов, В. Е. Сторишко, С. В. Лизунова, С. В. Дмитриев, А. И. Низкова, Е. Н. Кисловский, В. В. Молодкин, Е. В. Первак, А. А. Катасонов, В. В. Лизунов, Е. В. Скакунова, Б. С. Карамурзов, А. А. Дышеков, А. Н. Багов, Т. И. Оранова, Ю. П. Хапачев. – Нальчик : Каб.-Балк. ун-т, 2013. – 121 с. – 500 экз. – ISBN 978-5-7558-0523-0.

В монографии изложена динамическая теория интегральных интенсивностей брэгговского и диффузного рассеяний рентгеновских лучей в кристаллах с дефектами нескольких типов. Показано, что обнаруженное авторами повышение чувствительности и информативности диагностики дефектов обусловлено преобразованием зондирующего кристалл волнового поля из бегущего в стоячие и взаимодействующие между собой брэгговские и диффузные блоховские волны, которые и обеспечивают колоссальное усиление проявления дефектов в картине многократного рассеяния и возникновение очень существенной зависимости этого усиления от условий дифракции. Обсуждаются созданные модели высокоинформативной интегральной многопараметрической диффузодинамической комбинированной дифрактометрии (ИМДКД), базирующейся на анализе оказавшихся уникально чувствительными к характеристикам дефектов зависимостей интегральных интенсивностей от различных параметров, характеризующих условия дифракции (углы Брэгга, азимутальные углы, толщины и изгибы кристаллов, длины волн, амплитуды ультразвуковых колебаний, различные геометрии и предельные случаи дифракции и др.). Приведены результаты экспериментальной апробации созданных моделей для ИМДКД монокристаллических изделий с нарушенными поверхностными слоями и дефектами нескольких типов, которые могут быть и неоднородно распределенными.

Монография предназначена для исследователей в области диагностики дефектов в кристаллах и изделий нанотехнологий, а также аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

УДК 53(01);539.26:539.3:548.7

ББК 22.37:22.346

ISBN 978-5-7558-0522-0

© Кабардино-Балкарский
государственный университет, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА	5
ВВЕДЕНИЕ	7
1. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИЙ РАССЕЯНИЯ В КРИСТАЛЛАХ С ДЕФЕКТАМИ	10
1.1. Кинематическая картина рассеяния	10
1.2. Динамическая теория рассеяния в кристаллах с дефектами нескольких типов	12
1.2.1. Дифференциальные отражательные способности	12
1.2.2. Коэффициент экстинкции	20
1.2.3. Интегральные интенсивности в случае малых эффектов экстинкции	25
1.2.4. Интегральные интенсивности в случае больших эффектов экстинкции	31
2. МЕТОД ИНТЕГРАЛЬНОЙ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДИФFUЗНОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ (ИМДДКД)	36
2.1. Физические основы метода ИМДДКД	36
2.1.1. Анализ результатов динамической теории полной интегральной интенсивности дифракции в геометрии Лауэ (на просвет)	37
2.1.2. Анализ результатов динамической теории полной интегральной интенсивности дифракции в геометрии Брэгга (на отражение)	47
2.3. Эффект асимметрии азимутальной зависимости нормированной ПИИДД	48
2.4. Деформационные зависимости интегральной интенсивности рассеяния кристаллами с дефектами для Лауэ-дифракции в области К-края поглощения	50
2.5. Деформационные зависимости интегральной интенсивности рассеяния кристаллами с дефектами для Лауэ-дифракции в условиях нарушения закона Фриделя	53
2.6. Экспериментальная апробация метода ИМДДКД	54
2.7. Выводы	63
3. ОСНОВЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ РЕНТГЕНО- АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ МИКРОДЕФЕКТОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ	65
3.1. Введение	65
3.2. Физические основы и принципы нового подхода	65
3.3. Теоретическая модель	68
3.4. Определение коэффициентов модели	72
3.5. Результаты диагностики на основе созданной модели	77
3.6. Выводы	81

4. ОСНОВЫ ДИФРАКТОМЕТРИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ С НАРУШЕННЫМИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ СЛОЯМИ И НЕОДНОРОДНО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ МИКРОДЕФЕКТАМИ	82
4.1. Основы метода полной интегральной динамической дифрактометрии монокристаллов с нарушенным поверхностным слоем	84
4.1.1. Введение	84
4.1.2. Теоретическая модель	84
4.1.3. Установление зависимости величины интерференционного вклада в ПИИДД от толщины нарушенного поверхностного слоя (НПС)	88
4.1.4. Практическое применение модели для определения параметров НПС монокристалла после разных обработок	89
4.1.5. Эффект асимметрии азимутальной зависимости нормированной на идеальный кристалл полной интегральной интенсивности динамической дифракции в кристаллах с НПС с толщиной, соизмеримой с длиной экстинкции	93
4.2. Основы метода полной интегральной дифрактометрии (ПИД) микродефектов монокристаллов и параметров НПС	97
4.2.1. Введение	97
4.2.2. Принципы определения методом ПИИДД параметров НПС и дефектов, без ограничений на размеры дефектов и толщины НПС	99
4.2.3. Экспериментальная реализация метода ПИИДД для диагностики НПС и дефектов нескольких типов, соответственно толщины и размеры которых также могут превышать длину экстинкции	101
4.2.4. Выводы	103
4.3. Основы метода ПИИДД монокристаллов с дефектами и НПС в случае неравномерного распределения микродефектов	104
4.3.1. Введение	104
4.3.2. Принципы определения методом ПИИДД размеров дефектов при их неравномерном распределении	106
4.3.3. Практическая реализация разработанного метода диагностики для изучения кинетики многопараметрической структуры кристаллов при различных дозах радиационного облучения	109
4.3.4. Выводы	113
4.4. Выводы	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	114
ЛИТЕРАТУРА	116

ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

Настоящая монография посвящена анализу основ интегральной многопараметрической диффузодинамической дифрактометрии монокристаллических материалов с дефектами. В ней изложена динамическая теория интегральных интенсивностей брэгговского и диффузного рассеяний рентгеновских лучей в кристаллах с дефектами нескольких типов. Рассмотрены выражения для интегральной интенсивности рассеяния и ее брэгговской и диффузной составляющих, связывающие их с характеристиками дефектов в кристаллах при дифракции, как на отражение, так и на прохождение. Описаны экстинкционные эффекты за счет рассеяния на дефектах без ограничений на их размеры в когерентном и диффузном рассеяниях при малых и больших эффектах диффузной экстинкции для дифференциального и интегральных коэффициентов и факторов экстинкции за счет многократности рассеяния на флуктуационных отклонениях от периодичности решеток кристаллов. На основе построенной динамической теории, при ее сравнении с кинематической, обсуждается новая физическая концепция, которая позволила раскрыть и детально проанализировать физическую природу обнаруженных явлений, обуславливающих, с одной стороны, принципиальное ограничение информативности кинематической картины рассеяния, а с другой стороны, радикальное повышение информативности картины динамического рассеяния. Показано, что это повышение информативности за счет преобразования зондирующего кристалл волнового поля из бегущего в стоячие и взаимодействующие между собой брэгговские и диффузные блоховские волны обусловлено обнаруженным явлением колоссального усиления проявления дефектов в картине многократного рассеяния и возникновения очень существенной зависимости от условий дифракции как установленного усиления, так и характера влияния дефектов на динамическую картину в целом, что не имеет места принципиально в кинематическом случае. Показаны обусловленные этим явлением и рядом следствий из него (таких как нарушение при многократном рассеянии двух законов сохранения кинематической теории, а именно – независимости полной интегральной интенсивности дифракции от характеристик дефектов, а вклада

ее диффузной составляющей от условий дифракции) уникальные диагностические возможности созданной интегральной многопараметрической диффузодинамической комбинированной дифрактометрии (ИМДДКД). В частности, показаны качественно новые возможности реализации впервые многопараметрической диагностики материалов и изделий нанотехнологий. При этом обсуждаются созданные на основе построенной теории модели высокоинформативной ИМДДКД, базирующейся на анализе оказавшихся уникально чувствительными к характеристикам дефектов зависимостей интегральных интенсивностей от различных параметров, характеризующих условия дифракции (углы Брэгга, азимутальные углы, толщины и изгибы кристаллов, длины волн, амплитуды ультразвуковых колебаний, различные геометрии и предельные случаи дифракции и др.), а также на изучении скачков интенсивности вблизи К-края поглощения и отклонений от закона Фриделя и их деформационных, толщинных и др. зависимостей. Обсуждены результаты экспериментальной апробации созданных моделей для ИМДДКД монокристаллических изделий с нарушенными поверхностными слоями и дефектами нескольких типов, которые могут быть и неоднородно распределенными.

**Член-корреспондент НАН Украины,
профессор В.Б. Молодкин**

ЛИТЕРАТУРА

1. Röntgen W.C. *Nobel Lectures. Physics 1901–1921*. – Amsterdam: Elsevier Publishing Co., 1967.
2. VonLaue M. *Rontgenstrahlinterferenzen*. – Leipzig: Akademische Verlagsges, 1948.
3. Hammond C. *The Basics of Crystallography and Diffraction. 2nd Ed.* – London: Oxford University Press, 2001.
4. James R.W. *Solid State Phys.*, 15: 55 (1963).
5. Batterman B.W. and Cole H. *Rev. Mod. Phys.*, 36: 681 (1964).
6. Ахиезер А.И., Померанчук И.Я. *Некоторые вопросы теории ядра*. – М.: ОГИЗ, 1948.
7. Krivoglaz M.A. *X-ray and Neutron Diffraction in Nonideal Crystals*. – Berlin: Springer, 1996.
8. Молодкин В.Б., Тихонова Е.А. // *ФММ*, 24, № 3: 385 (1967).
9. Молодкин В.Б. // *ФММ*, 25, № 3: 410 (1968).
10. Молодкин В.Б. // *ФММ*, 27, № 4: 582 (1969).
11. Молодкин В.Б. // *Металлофизика*, 2, № 1: 3 (1980).
12. Molodkin V.B. // *Phys. Metals*, 3: 615 (1981).
13. Molodkin V.B., Olikhovskii S.I. and Osinovskii M.E. // *Phys. Metals*, 5: 1 (1984).
14. Molodkin V.B., Olikhovskii S.I. and Osinovskii M.E. // *Phys. Metals*, 5: 847 (1985).
15. Kochelab V.V., Molodkin V.B., Olikhovskii S.I. and Osinovskii M.E. // *Phys. Status Solidi A*, 108, № 1: 67 (1988).
16. Даценко Л.И., Молодкин В.Б., Осиновский М.Е. *Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами*. – Киев: Наукова думка, 1988.
17. Molodkin V.B., Olikhovskii S.I., Kislovskii E.N., Len E.G. et al. // *Phys. Status Solidi B*, 227, № 2: 429 (2001).
18. Olikhovskii S.I., Molodkin V.B., Kislovskii E.N., Len E.G. et al. // *Phys. Status Solidi B*, 231, № 1: 199 (2002).
19. Олиховский С.И., Молодкин В.Б., Кононенко О.С., Катасонов А.А. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 29, № 7: 887 (2007).
20. Олиховский С.И., Молодкин В.Б., Кононенко О.С., Катасонов А.А. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 29, № 9: 1225 (2007).
21. Олиховский С.И., Молодкин В.Б., Низкова А.И., Кононенко О.С. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 29, № 10: 1333 (2007).
22. Молодкин В.Б., Низкова А.И., Шпак А.П., Мачулин В.Ф. и др. // *Дифрактометрия наноразмерных дефектов и гетерослоев кристаллов*. – Киев: Академперіодика, 2005.

23. Molodkin V.B., Kovalchuk M.V., Shpak A.P., Olikhovskii S.I. et al. // *Diffuse scattering and the fundamental properties of materials*. – New Jersey: Momentum Press: 2009.
24. Шпак А.П., Ковальчук М.В., Карнаухов И.М., Молодкин В.В. и др. // *Успехи физ. мет.*, 9, № 3: 305 (2008).
25. Шпак А.П., Ковальчук М.В., Низкова Г.І., Гінько І.В. та ін. *Спосіб багатопараметричної структурної діагностики монокристалів з декількома типами дефектів* (патент України № 36075) (zareєстровано в державному реєстрі патентів України на винаходи 10 жовтня 2008).
26. Багов А.Н., Динаев Ю.А., Дышеков А.А., Оранова Т.И. и др. *Рентгенодифракционная диагностика упруго-напряженного состояния наногетероструктур*. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2008.
27. Shpak A.P., Molodkin V.B., Olikhovskii S.I., Kyslovskyy Ye.M. et al., *Phys. Status Solidi A*, 204, № 8: 2651 (2007).
28. Molodkin V.B., Olikhovskii S.I., Kislovskii Ye.N., Fodchuk I.M. et al. // *Phys. Status Solidi A*, 204, № 8: 2606 (2007).
29. Пинскер З.Г. *Рентгеновская кристаллооптика*. – М.: Наука, 1982.
30. Тихонова Е.А. // *ФТТ*, 9, № 2: 516 (1967).
31. Dederichs P.H. // *Phys. Rev. B*, 1, № 4: 1306 (1970).
32. Немошкаленко В.В., Молодкин В.Б., Олиховский С.И., Кисловский Е.Н. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 22, № 2: 51 (2000).
33. Оліховський С.Й., Кисловський Є.М., Молодкін В.Б., Лень Є.Г. та ін. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 22, № 6: 3 (2000).
34. Барьяхтар В.Г., Гаврилова Е.Н., Молодкин В.Б., Олиховский С.И. // *Металлофизика*, 14, № 11: 68 (1992).
35. Nemoshkalenko V.V., Molodkin V.B., Olikhovskii S.I., Kovalchuk M.V. et al. // *Nucl. Instrum. and Meth. in Physics Research A*, 308, № 1: 294 (1991).
36. Молодкин В.Б., Олиховский С.И., Дмитриев С.В., Лень Е.Г. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 28, № 7: 953 (2006).
37. Молодкин В.Б., Дмитриев С.В., Первак Е.В., Белоцкая А.А. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 28, № 8: 1047 (2006).
38. Шпак А.П., Молодкин В.Б., Дмитриев С.В., Первак Е.В. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 30, № 9: 1189 (2008).
39. Даценко Л.И., Кисловский Е.Н. // *УФЖ*, 20, № 5: 810 (1975).
40. Datsenko L.I., Kislovsky E.N. and Prokopenko I.V. // *УФЖ*, 22: 513 (1977).
41. Молодкин В.Б., Гудзенко Г.И., Олиховский С.И., Осиновский М.Е. // *Металлофизика*, 5, № 3: 10 (1983).
42. Молодкин В.Б., Олиховский С.И., Осиновский М.Е., Гуреев А.Н. и др. // *Металлофизика*, 6, № 2: 18 (1984).
43. Молодкин В.Б., Олиховский С.И., Осиновский М.Е., Гуреев А.Н. и др. // *Металлофизика*, 6, № 3: 105 (1984).

44. Molodkin V.B., Olikhovskii S.I., Osinovskii M.E., Gureev A.N. et al. // *Phys. Status Solidi A*, 87, № 2: 597 (1985).
45. Nemoshkalenko V.V., Molodkin V.B., Kislovskii E.N. and Kogut M.T. // *Металлофизика*, 16, № 2: 48 (1994).
46. Шпак А.П., Молодкин В.Б., Низкова А.И. // *Успехи физ.мет.*, 5, № 1: 51 (2004).
47. Низкова А.И., Молодкин В.Б., Московка И.А. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 26, № 6: 783 (2004).
48. Шпак А.П., Молодкин В.Б., Низкова А.И. // *Успехи физ. мет.*, 5, № 1: 51 (2004).
49. Молодкин В.Б., Немошкаленко В.В., Низкова А.И., Олиховский С.И. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 22, № 3: 3 (2000).
50. Молодкин В.Б., Олиховский С.И., Дмитриев С.В., Лень Е.Г. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 27, № 12: 1659 (2005).
51. Molodkin V.B., Olikhovskii S.I., Kislovskii E.N., Vladimirova T.P. et al. // *Phys. Rev. B*, 78: 224109 (2008).
52. Шпак А.П., Молодкин В.Б., Ковальчук М.В., Носик В.Л. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 31, № 5: 615 (2009).
53. Шпак А.П., Молодкин В.Б., Ковальчук М.В., Носик В.Л. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 31, № 7: 927 (2009).
54. Шпак А.П., Молодкин В.Б., Ковальчук М.В., Носик В.Л. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 31, № 8: 1041 (2009).
55. Кочелаб В.В., Молодкин В.Б., Олиховский С.И. // *Металлофизика*, 13, № 6: 84 (1991).
56. Olekhnovich N.M., Karpey A.L., Olekhnovich A.I. and Puzenkova L.D. // *Acta Crystallogr. A*, 39: 116 (1983).
57. Немошкаленко В.В., Молодкин В.Б., Низкова А.И., Олиховский С.И. и др. // *Металлофизика*, 14, № 8: 79 (1992).
58. Molodkin V.B., Datsenko L.I., Khrupa V.I., Osinovskii M.E. et al. // *Phys. Metals*, 5, No. 6: 1072 (1985).
59. Барьяхтар В.Г., Гуреев А.Н., Кочелаб В.В., Молодкин В.Б. и др. // *Металлофизика*, 11, № 3: 73 (1989).
60. Шпак А.П., Молодкин В.Б., Дмитриев С.В., Первак Е.В. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 29, № 8: 1009 (2007).
61. Шпак А.П., Молодкин В.Б., Дмитриев С.В., Первак Е.В. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 30, № 10 (2008) (в печати).
62. Datsenko L.I., Khrupa V.I. and Kislovskii E.N. // *Phys. Status Solidi A*, 68, No. 2: 399 (1981).
63. Хрупа В.И., Кисловский Е.Н., Даценко Л.И. // *Металлофизика*, 2, № 4: 55 (1980).
64. Чуховский Ф.Н. // *Металлофизика*, 2, № 6: 3 (1980).

65. Bar'yakhtar V.G., Kovalchuk M.V., Litvinov Yu.M., Nemoshkalenko V.V. et al. // *Nucl. Instrum. and Meth. in Physics. A*, 308: 291 (1991).
66. Гаврилова Е.Н., Кисловский Е.Н., Молодкин В.Б., Олиховский С.И. // *Металлофизика*, 14, № 3: 70 (1992).
67. Барьяхтар В.Г., Немошкаленко В.В., Молодкин В.Б., Олиховский С.И. и др. // *Металлофизика*, 15, № 12: 18 (1993).
68. Молодкин В.Б., Олиховский С.И., Дмитриев С.В., Лень Е.Г. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 28, № 9: 1177 (2006).
69. Мачулин В.Ф., Хрупа В.И. // *Рентгеновская диагностика слабо искаженных кристаллов*. – Киев: Наукова думка, 1995.
70. Шпак А.П., Ковальчук М.В., Молодкин В.Б., Носик В.Л. та ін., *Способ багатопараметричної структурної діагностики монокристалів з декількома типами дефектів* (патент України № 89594) (заресстровано в державному реєстрі патентів України на винаходи 10 лютого 2010 р.)
71. Молодкин В.Б., Ковальчук М.В., Мачулин В.Ф. и др. // *Успехи физ. мет.*, 12: 295 (2011).
72. Шпак А.П., Ковальчук М.В., Молодкин В.Б. и др. // *Актуальные вопросы современного естествознания*. Вып. 9: 45 (2011).
73. Петрашень П.В., Чуховский Ф.Н. // *Кристаллография*, 21:283 (1976).
74. Шпак А.П., Ковальчук М.В., Молодкин В.Б., Носик В.Л. и др. // *Успехи физ. мет.*, 10, № 3: 229 (2009).
75. Хрупа В.И. // *УФЖ*, 38, № 9: 1393 (1993).
76. Григорьев Д.О., Даценко Л.И., Мачулин В.Ф. и др. // *Металлофизика*, 15, № 1: 23 (1993).
77. Молодкин В.Б., Ковальчук М.В., Мачулин В.Ф. и др. // *Металлофиз. новейшие технол.*, 2012. Т. 34, № 9.
78. Молодкин В.Б., Низкова А.И., Олиховский С.И., Мазанко В.Ф., Богданов Е.И., Богданов С.Е., Гранкина А.И., Когут М.Т., Кривицкий В.П., Прасолов Ю.Н. *Определение толщины нарушенного слоя на поверхности монокристаллов методом интегральных отражательных способностей при Брэгг-дифракции рентгеновского излучения* // *Металлофиз. новейшие технол.*, 24, № 4: 521–532 (2002).
79. Шпак А.П., Ковальчук М.В., Молодкин В.Б. и др. *Полная интегральная интенсивность (ПИИ) рассеяния рентгеновских лучей монокристаллами с механически нарушенным поверхностным слоем толщиной порядка длины экстинкции* // *Металлофиз. новейшие технол.* 2010, Т. 32, № 10.
80. Молодкин В.Б., Низкова А.И., Дмитриев С.В., Белоцкая А.А., Когут М.Т., Гранкина А.И., Богданов Е.И., Рудницкая И.И., Гимчинский О.Г., Московка И.И., Венгер В.Н. *Возможность установления неоднородности распределения дефектов с глубиной в монокристаллах* // *Металлофиз. новейшие технол.*, 28, № 8: 1041–1053 (2006).

81. Молодкин В.Б., Низкова А.И., Василик Я.В., Богданов Е.И., Лизунова С.В., Дмитриев С.В., Лизунов В.В. *Основы рентгеновской дифрактометрии соизмеримых с длиной экстинкции как нарушенных поверхностных слоев, так и неравномерно распределенных микродефектов в монокристаллах* // Металлофиз. новейшие технол., 2012. Т. 34, № 6.

82. Таланин И.Е. *Механизм образования и свойства ростовых микродефектов в бездислокационных монокристаллах кремния*: дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. – Черновцы: ЧНУ, 2005.

83. Данильчук Л.Н., Окунев А.О., Ткаль В.А. *Рентгеновская дифракционная топография дефектов в кристаллах на основе эффекта Бормана*. – Великий Новгород: НовГУ, 2006.

84. Вавилов В.С., Кекелидзе Н.П., Смирнов Л.С. *Действие излучений на полупроводники*. – М.: Наука, 1988.

85. Винецкий В.П., Холодарь Г.А. *Радиационная физика полупроводников*. – Киев: Наукова думка, 1979.

86. Olikhovskii S.I., Molodkin V.B., Kislovskii E.N., Len E.G. and Pervak E.V. *Bragg diffraction of X-rays by single crystals with large microdefects II. Dynamical diffuse scattering amplitude and intensity* // Phys.stat.sol. (b) 231, № 1, 199–212 (2002).

87. Молодкин В.Б., Олиховский С.И., Дмитриев С.В., Лень Е.Г., Первак Е.В. *Обобщенная динамическая теория Брэгг-дифракции рентгеновских лучей в монокристаллах с дефектами нескольких типов* // Металлофизика и новейшие технологии, 2006, Т. 28, № 7.

88. Кривоглаз М.А. *Дифракция рентгеновских лучей и нейтронов в неидеальных кристаллах*. – Киев: Наукова думка, 1983.

89. Молодкин В.Б., Дмитриев С.В., Первак Е.В. и др. *Эффект асимметрии азимутальной зависимости интегральной интенсивности дифракции Брэгга в монокристаллах с дефектами* // Металлофиз. новейшие технологии / Metallofiz. Noveishie Tekhnol. 2006. Т. 28, № 8.

90. Фодчук И.М., Гуцуляк Т.Г., Маслюк В.Т. и др. // УФЖ, 48, № 9: 971 (2003).

91. Молодкин В.Б., Ковальчук М.В., Мачулин В.Ф. и др. *Основы динамической высокоразрешающей дифрактометрии функциональных материалов*. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2013.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Молодкин Вадим Борисович
Ковальчук Михаил Валентинович
Карнаухов Иван Михайлович
Сторишко Владимир Ефимович
Лизунова Светлана Вячеславовна
Дмитриев Сергей Васильевич
Низкова Анна Ивановна
Кисловский Евгений Николаевич
Молодкин Виталий Вадимович
Первак Екатерина Вадимовна
Катасонов Антон Анатолиевич
Лизунов Вячеслав Вячеславович
Скакунова Елена Сергеевна
Карамурзов Барасби Сулейманович
Дышеков Артур Альбекович
Багов Алий Николаевич
Оранова Татьяна Ивановна
Хапачев Юрий Пшиканович

**ОСНОВЫ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
ДИФФУЗНОДИНАМИЧЕСКОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ**

Компьютерная верстка *В.Н. Мидовой*
Корректор *Е.А. Балова*

В печать 19.03.2013. Формат 70х90 ¹/₁₆.
Печать трафаретная. Бумага офсетная. 9.07 усл.п.л. 9.0 уч.-изд.л.
Тираж 500 экз. Заказ № 6798.
Кабардино-Балкарский государственный университет.
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.

Полиграфический участок ИПЦ КБГУ
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.