

Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского
Зональная научная библиотека имени В. А. Артисевич
Отдел научной информации

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАНОСТРУКТУРЫ

технология изготовления, физические свойства, применение

Виртуальная выставка

Часть II. 80-е годы XX века – 2021 год

Саратов
2021

A531338

**Э.А. ЗАВАДСКИЙ
В.И. ВАЛЬКОВ**

**МАГНИТНЫЕ
ФАЗОВЫЕ
ПЕРЕХОДЫ**

A531338

Завадский, Э. А. Магнитные фазовые переходы / Э. А. Завадский, В. И. Вальков. – Киев : Наукова думка, 1980. – 196 с. : 17 табл. ; 99 рис. – Библиогр.: с. 170–192 (540 назв.). – Текст : непосредственный.

A532652

**МАГНЕТИЗМ
АМОΡФНЫХ
СИСТЕМ**



A532652

Магнетизм аморфных систем = Amorphous Magnetism II. Материалы Международного симпозиума. США, 1977 / под редакцией Р. Леви, Р. Хасегава ; перевод с английского В. С. Крапошина, Л. Б. Вульф. – Москва : Металлургия, 1981. – 448 с. : 24 табл., 189 рис. – Библиогр.: 701 назв. (в статьях). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A546641

Г. Ж. РАНКИС

A546641

Ранкис, Г. Ж. Динамика намагничивания поликристаллических ферритов / Г. Ж. Ранкис. – Рига : Зинатне, 1981. – 187 с. :12 табл., 80 рис. – Библиогр.: с. 166-184 (429 назв.). – Текст : непосредственный.

**ДИНАМИКА
НАМАГНИЧИВАНИЯ
ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ
ФЕРРИТОВ**

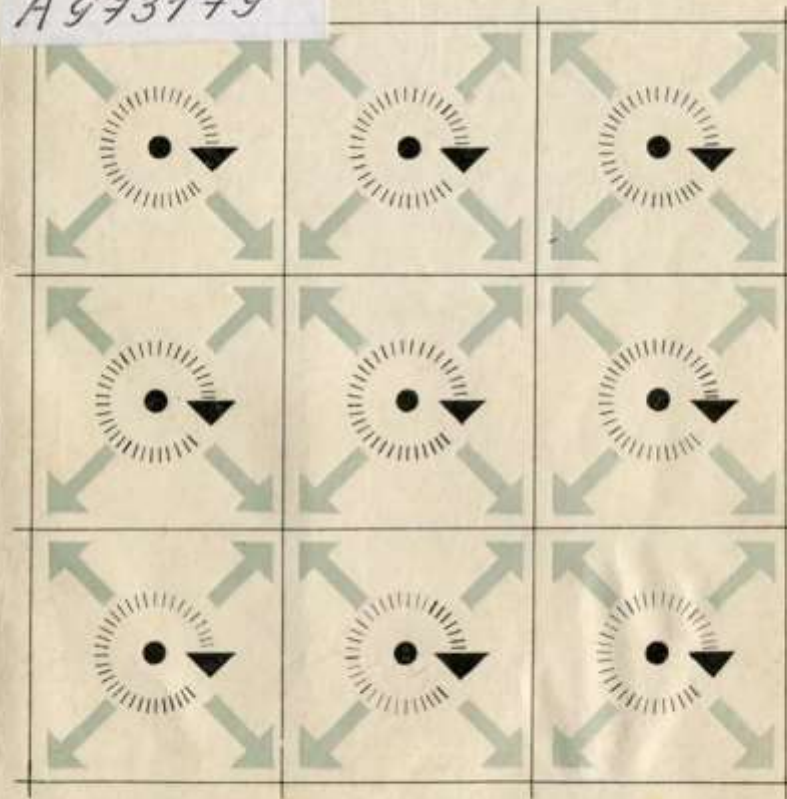


К
Н
И
Г
И

Ю.Н.ВЕНЕВЦЕВ,
В.В.ГАГУЛИН, В.Н.ЛЮБИМОВ

**СЕГНЕТО-
МАГНЕТИКИ**

A973179



A973179, A560758

Веневцев, Ю. Н. Сегнетомагнетики / Ю. Н. Веневцев, В. В. Гагулин, В. Н. Любимов. – Москва : Наука, 1982. – 224 с. : 17 табл., 100 рис. – Библиогр.: с. 186-222 (790 назв.). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

А. Малоземов, Дж. Слонзуски

A558259

A558259

Малоземов, А. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами = Magnetic Domain Walls in Bubble Materials / А. Малоземов, Дж. Слонзуски ; перевод с английского В. В. Волкова, С. А. Кижаяева под редакцией Г. А. Смоленского, Р. В. Писарева. – Москва : Мир, 1982. – 384 с. : 123 рис. – Библиогр.: с. 362-373 (512 назв.). – Текст : непосредственный.

**Доменные
стенки
в материалах
с цилиндрическими
магнитными
доменами**

A559205



**ОБЗОРЫ ПО ЭЛЕКТРОННОЙ
ТЕХНИКЕ**

Серия 6

МАТЕРИАЛЫ

Выпуск I(860)

А.И. Аграновская

**МИКРОСТРУКТУРА
ФЕРРИТОВ**

1982

A559205

Аграновская, А. И. Микроструктура ферритов / А. И. Аграновская. – Москва : ЦНИИ «Электроника», 1982. – 38 с. : 3 табл. – Библиогр.: с. 35-38 (70 назв.). – (Обзоры по электронной технике. Серия 6. Материалы, выпуск 1 (860)). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

Т. О'ДЕЛЛ

A574360

Ферро- магнито- динамика

ДИНАМИКА
ЦМД
ДОМЕНОВ
И
ДОМЕННЫХ
СТЕНОК



A574360

О'Делл, Т. Ферромагнетодинамика. Динамика ЦМД, доменов и доменных стенок = Ferromagnetodynamics. The dynamics of magnetic bubbles, domains and domain walls / Т. О'Делл ; перевод с английского А. К. Андреева, А. Ю. Якубовского под редакцией В. И. Ожогина. – Москва : Мир, 1983. – 256 с. : 75 рис. – Библиогр.: с. 239-248 (396 назв.). – Текст : непосредственный.

A571985

М. М. МИХАЙЛОВА, В. В. ФИЛИППОВ, В. П. МУСЛАНОВ

Магнитомягкие ферриты ДЛЯ радиоэлектронной аппаратуры

СПРАВОЧНИК

A571985

Михайлова, М. М. Магнитомягкие ферриты для радиоэлектронной аппаратуры : справочник / М. М. Михайлова, В. В. Филиппов, В. П. Мусланов ; под редакцией А. Е. Оборонко. – Москва : Радио и связь, 1983. – 200 с. : 119 табл., 69 рис. – Библиогр.: с. 198-199 (30 назв.). – Текст : непосредственный.

Р

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

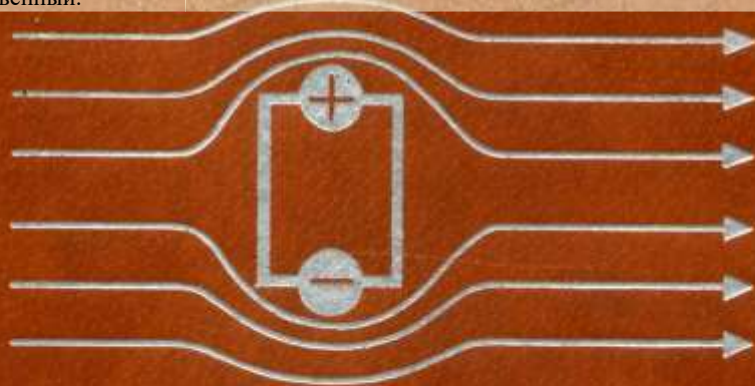
A 589231

А. Эшенфельдер

ФИЗИКА
И ТЕХНИКА
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ
МАГНИТНЫХ
ДОМЕНОВ

A589231

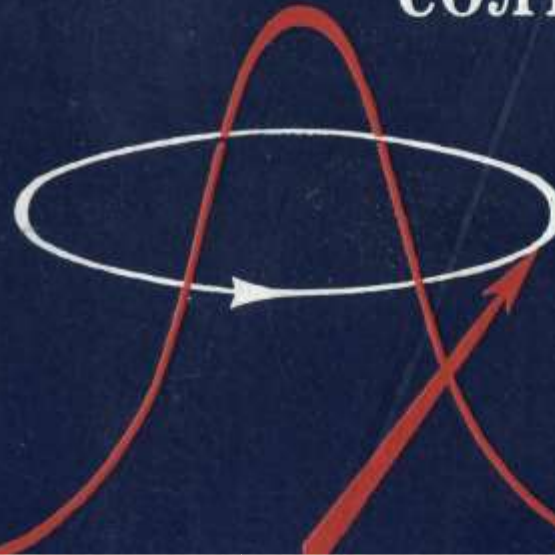
Эшенфельдер, А. Физика и техника цилиндрических магнитных доменов = Magnetic Bubble Technology : перевод с английского / А. Эшенфельдер. – Москва : Мир, 1983. – 496 с. : 10 табл., 297 рис. – Библиогр.: с. 8-9 (27 назв.) + с. 474-485 (по главам). – Текст : непосредственный.



A 588060

А. М. КОСЕВИЧ
Б. А. ИВАНОВ
А. С. КОВАЛЕВ

Нелинейные
волны
намагниченности
Динамические
и топологические
СОЛИТОНЫ



A588060

Косевич, А. М. Нелинейные волны намагниченности. Динамические и топологические солитоны / А. М. Косевич, Б. А. Иванов, А. С. Ковалев. – Киев : Наукова думка, 1983. – 192 с. : 52 рис. – Библиогр.: с. 183-189 (166 назв.). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

4583667

С. Тикадзуми

ФИЗИКА ферромагнетизма

Магнитные
свойства
вещества

A583667

Тикадзуми, С. Физика ферромагнетизма. Магнитные свойства вещества / С. Тикадзуми; перевод с японского М. В. Быстрова под редакцией Г. А. Смоленского, Р. В. Писарева. – Москва : Мир, 1983. – 304 с. : 186 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.

4709710

В. Г. БАРЬЯХТАР
И Н. Н. КРИВОРУЧКО
Д. А. ЯБЛОНСКИЙ

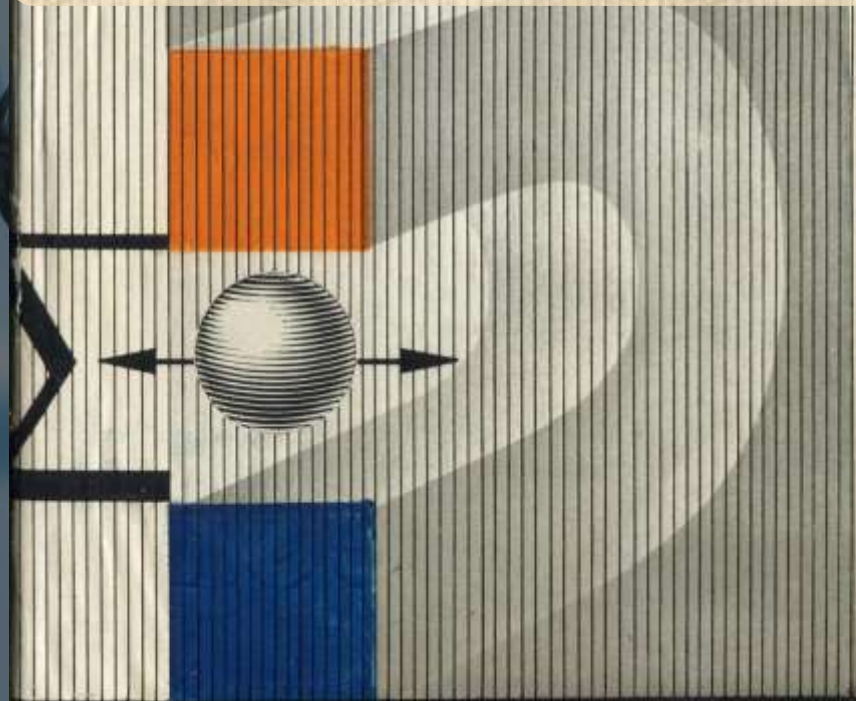
функции

ГРИНА

в теории
магнетизма

A709710

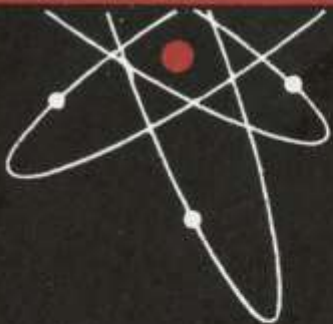
Барьяхтар, В. Г. Функции Грина в теории магнетизма / В. Г. Барьяхтар, В. Н. Криворучко, Д. А. Яблонский. – Киев : Наукова думка, 1984. – 336 с. : 91 рис. – Библиогр.: с. 333–336 (91 назв.). – Текст : непосредственный.



К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A718554

Е. А. ЖУРАКОВСКИЙ
П. П. КИРИЧОКЭЛЕКТРОННЫЕ
СОСТОЯНИЯВ ФЕРРИ-
МАГНЕ-
ТИКАХ

A718554

Жураковский, Е. А. Электронные состояния в ферромагнетиках / Е. А. Жураковский, П. П. Киричок. – Киев : Наукова думка, 1985. – 280 с.: 105 табл., 114 рис. – Библиогр.: 258-277 (453 назв.). – Текст : непосредственный.

A 727514



A727514

Магнитоэлектрические материалы. Физические свойства на сверхвысоких частотах / М. И. Бичурин, В. М. Петров, Н. Н. Фомич, Ю. М. Яковлев. – Москва : ЦНИИ «Электроника», 1985. – 81 с. : 5 табл. (+37 в Прилож.), 20 рис. – Библиогр.: с. 54-58 (49 назв.). – (Обзоры по электронной технике. Серия 6. Материалы, выпуск 2 (1113)). – Текст : непосредственный.

ОБЗОРЫ ПО ЭЛЕКТРОННОЙ
ТЕХНИКЕ

Серия 6

МАТЕРИАЛЫ

выпуск 2 (III3)

М.И.Бичурин, В.М.Петров,
Н.Н.Фомич, Ю.М.ЯковлевМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ.
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

1 9 8 5

A733815

Н. Н. Колачевский

A733815

Колачевский, Н. Я. Флуктуационные явления в ферромагнитных материалах / Н. Я. Колачевский. – Москва : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 184 с. : 6 табл., 100 рис. – Библиогр.: с. 170-179 (232 назв.). – Текст : непосредственный.

ФЛУКТУАЦИОННЫЕ
ПРОЦЕССЫ
В ФЕРРОМАГНИТНЫХ
МАТЕРИАЛАХ

A727513



ОБЗОРЫ ПО ЭЛЕКТРОННОЙ
ТЕХНИКЕ

Серия 6

МАТЕРИАЛЫ

выпуск I (1090)

А.А.Багина, О.М.Гусева, Т.П.Солдатова

МАГНИТОДИЭЛЕКТРИКИ.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

A727513

Багина, А. А. Магнитодиэлектрики. Состояние и перспективы развития / А. А. Багина, О. М. Гусева, Т. П. Солдатова. – Москва : ЦНИИ «Электроника», 1985. – 45 с. : 5 табл., 15 рис. – Библиогр.: с. 42-44 (37 назв.). – (Обзоры по электронной технике. Серия 6. Материалы, выпуск 1 (1090)). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

А730252

МАГНИТНЫЕ
И РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА
МАГНИТОДИЭЛЕКТРИКОВ

А730252

Магнитные и резонансные свойства магнитодиэлектриков : сборник статей. – Красноярск :
Институт физики имени Л. В. Киренского СО АН СССР, 1985. – 275 с. : 21 табл., 130 рис. –
Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

413
Красноярск 1985

А718815

В. К. КАРПАСЮК, В. Н. КИСЕЛЕВ
Н. ОРЛОВ, А. А. ЩЕПЕТКИН

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ
СВОЙСТВА
И
НЕСТЕХИОМЕТРИЯ
ФЕРРИТОВ
С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕТЛЕЙ
ГИСТЕРЕЗИСА

А718815

Электромагнитные свойства и нестехиометрия ферритов с прямоугольной петлёй
гистерезиса / В. К. Карпасюк, В. Н. Киселёв, Г. Н. Орлов, А. А. Щепеткин. – Москва :
Наука, 1985. – 149 с. : 29 табл., 50 рис. – Библиогр.: с. 134-146 (289 назв.). – Текст :
непосредственный.

«НАУКА»

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A 728020

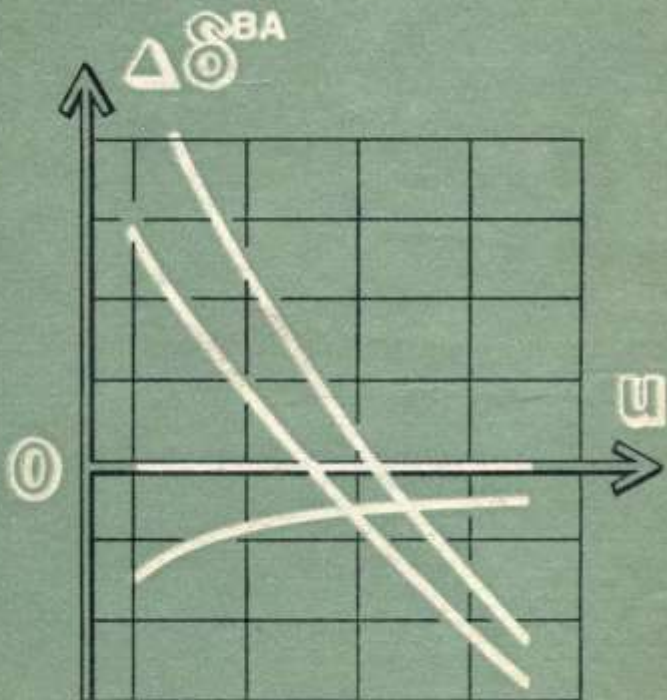


В. И. Николаев
В. С. Русаков

МЁССБАУЭРОВСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
ФЕРРИТОВ

A728020

Николаев, В. И. Мёссбауэровские исследования ферритов / В. И. Николаев, В. С. Русаков. – Москва : Издательство Московского университета, 1985. – 224 с. : 10 табл., 83 рис. – Библиогр.: с.215-223 (191 назв.). – Текст : непосредственный.



A 720480

Г. С. Кринчик

ФИЗИКА
МАГНИТНЫХ
ЯВЛЕНИЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО

A720480

Кринчик, Г. С. Физика магнитных явлений / Г. С. Кринчик. – Москва : Издательство Московского университета, 1985. – 336 с. : 147 рис. – Библиогр.: с. 332-336 (185 назв.). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

4744354

Р. Уайт

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ МАГНЕТИЗМА

A744354

Уайт, Р. Квантовая теория магнетизма = Quantum Theory of Magnetism / Р. Уайт ; перевод с английского М. А. Либермана под редакцией А. С. Боровика-Романова, Л. П. Питаевского. – 2-е издание, исправленное и дополненное. – Москва : Мир, 1985. – 304 с. : 113 рис. – Библиогр.: с. 294-298 (по главам). – Текст : непосредственный.



A737028

В. Г. Барьяхтар. Б. А. Иванов

В МИРЕ МАГНИТНЫХ ДОМЕНОВ

A737028

Барьяхтар, В. Г. В мире магнитных доменов / В. Г. Барьяхтар, Б. А. Иванов. – Киев : Наукова думка, 1986. – 160 с. : 40 рис. – Библиогр.: с. 157 (12 назв.). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A741079

А. А. Преображенский
Е. Г. Бишард

Магнитные материалы и элементы

A741079

Преображенский, А. А. Магнитные материалы и элементы : учебник для студентов вузов по специальности «Полупроводники и диэлектрики» / А. А. Преображенский, Е. Г. Бишард. – 3-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Высшая школа, 1986. – 352 с.: рис. : 46 табл., 185 рис. – Библиогр.: с. 346-348 (по главам). – Текст : непосредственный.



21 10 86

Академия наук СССР $\frac{53}{206}$

Институт
общей физики

ТРУДЫ ИОФАН

Том 3

Магнитные и электронные структуры переходных металлов и сплавов

Москва

ИЗДАНИЕ
ПЕЧАТНИЦА
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
УНИВЕРСИТЕТА

Осн. экз.

«Наука»

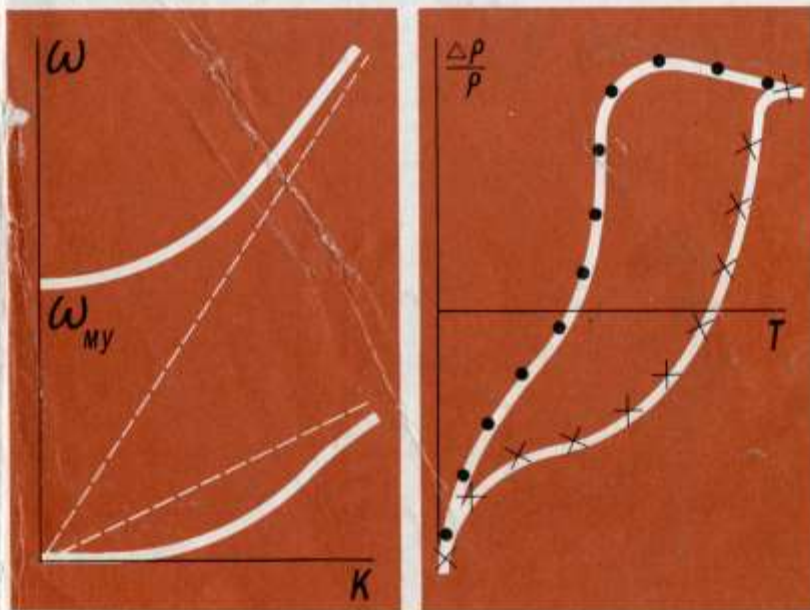
Магнитные и электронные структуры переходных металлов и сплавов : сборник статей / ответственные редакторы : В. Г. Веселаго, Л. И. Винокурова. – Москва : Наука, 1986. – 152 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – (Труды ИОФАН ; Т. 3 / главный редактор А. М. Прохоров). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A 742161

ДИНАМИЧЕСКИЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНЕТИКОВ



A742161

«НАУКА»

Динамические и кинетические свойства магнетиков / ответственные редакторы :
С. В. Вонсовский, Е. А. Туров. – Москва : Наука, 1986. – 248 с. : 7 табл., 90 рис. –
Библиогр.: после глав (343 назв.). – Текст : непосредственный.

A740387

A740387

Рудяк, В. М. Процессы переключения в нелинейных кристаллах / В. М. Рудяк. – Москва :
Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1986. – 248 с. : 147 рис. –
Библиогр.: с. 229-242 (631 назв.). – Текст : непосредственный.

В. М. РУДЯК

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛАХ

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОБЛЕМЫА 747118 ТЕОРИИ
МАГНЕТИЗМА

А747117

Современные проблемы теории магнетизма : сборник научных трудов / ответственный редактор А. С. Давыдов. – Киев : Наукова думка, 1986. – 168 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

С. Тикадзуми ФИЗИКА
ферромагнетизма

А767767

Магнитные
характеристики
и практические
применения

А767767

Тикадзуми, С. Физика ферромагнетизма. Магнитные характеристики и практические применения / С. Тикадзуми; перевод с японского А. И. Леонова под редакцией Р. В. Писарева. – Москва : Мир, 1987. – 419 с. : 306 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.

Издательство «Мир»

A767496

Ю. А. Изюмов
Ю. Н. Скрябин

A767496

Изюмов, Ю. А. Статистическая механика магнитоупорядоченных систем / Ю. А. Изюмов, Ю. И. Скрябин. – Москва : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 264 с. : 1 табл., 38 рис. – Библиогр.: с. 261-264 (177 назв.). – Текст : непосредственный.

Статистическая
механика
магнито-
упорядоченных
систем

A767123

В. Л. СЕДОВ

Антиферро-
магнетизм
гамма-железа
Проблема
инвара

γ -Fe

A767123

Седов, В. Л. Антиферромагнетизм гамма-железа. Проблема инвара / В. Л. Седов. – Москва : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1987. – 288 с. : 7 табл., 120 рис. – Библиогр.: с. 234-288 (2507 назв.). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A790940

Л.А. БАШКИРОВ
В.В. ПАНЬКОВ

A790940

Башкиров, Л. А. Механизм и кинетика образования ферритов / Л. А. Башкиров, В. В. Паньков. – Минск : Наука и техника, 1988. – 262 с. : 27 табл., 92 рис. – Библиогр. в конце глав (291 назв.). – ISBN 5-343-00230-7. – Текст : непосредственный.

МЕХАНИЗМ
И КИНЕТИКА
ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕРРИТОВ

A783343

В. Г. БАРЬЯХТАР
Ю. И. ГОРОБЕЦ

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ
МАГНИТНЫЕ
ДОМЕНЫ И ИХ
РЕШЕТКИ



A783343

Барьяхтар, В. Г. Цилиндрические магнитные домены и их решётки / В. Г. Барьяхтар, Ю. И. Горобец. – Киев : Наукова думка, 1988. – 168 с. : 31 рис. – Библиогр.: с. 159-163 (120 назв.). – ISBN 5-12-000832-1. – Текст : непосредственный.

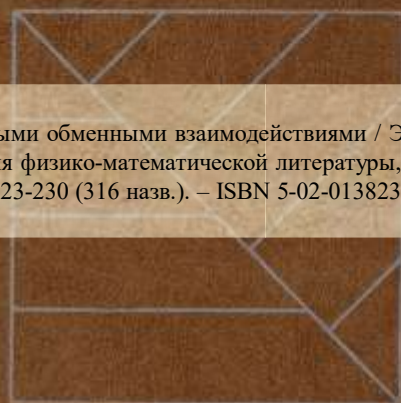
К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A778083

Магнетики со сложными обменными взаимо- действиями

Э.Л. Нагаев



A778083

Нагаев, Э. Л. Магнетики со сложными обменными взаимодействиями / Э. Л. Нагаев. – Москва : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1988. – 232 с. : 2 табл., 68 рис. – Библиогр. с. 223-230 (316 назв.). – ISBN 5-02-013823-1. – Текст : непосредственный.

A800657

В. В. Еременко
Н. Ф. Харченко
Ю. Г. Литвиненко
В. М. Науменко

МАГНИТО- ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ АНТИФЕРРО- МАГНЕТИКОВ



A800657

Магнитооптика и спектроскопия антиферромагнетиков / В. В. Ерёменко, Н. Ф. Харченко, Ю. Г. Литвиненко, В. М. Науменко ; ответственный редактор В. Г. Барьяхтар; АН УССР. Физико-технический институт низких температур. – Киев : Наукова думка, 1989. – 264 с. : 9 табл., 125 рис. – Библиогр.: 240-256 с. (381 назв.). – ISBN 5-12-001122-5. – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

А796551

Г.К. Ягола
Р.В. Спиридонов

*ИЗМЕРЕНИЕ
МАГНИТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК
СОВРЕМЕННЫХ
МАГНИТОТВЕРДЫХ
МАТЕРИАЛОВ*



А796551

Ягола, Г. К. Измерение магнитных характеристик современных магнитотвёрдых материалов / Г. К. Ягола, Р. В. Спиридонов. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – 196 с. : 18 табл., 98 рис. – Библиогр.: с. 193-195 (58 назв.). – Текст : непосредственный.

А80404

С.А. Никитин

*МАГНИТНЫЕ
СВОЙСТВА
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ
МЕТАЛЛОВ
И ИХ СПЛАВОВ*

А804044

Никитин, С. А. Магнитные свойства редкоземельных металлов и их сплавов / С. А. Никитин. – Москва : Издательство МГУ, 1989. – 248 с. : 125 рис. – Библиогр. в конце глав. – ISBN 5-211-00375-6. – Текст : непосредственный.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

А831339

Е. А. ТУРОВ

КИНЕТИЧЕСКИЕ,
ОПТИЧЕСКИЕ
И АКУСТИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА
АНТИФЕРРО-
МАГНЕТИКОВ

К
Н
И
Г
И

А831339

Туров, Е. А. Кинетические, оптические и акустические свойства антиферромагнетиков / Е. А. Туров. – Свердловск : УрО АН СССР, 1990. – 136 с. : 23 рис. – Библиогр. с. 126-131 (108 назв.). – Текст : непосредственный.

А826589

МИНИСТЕРСТВО АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
И ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО АТОМНОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

А826589

Исаев, А. А. Спин-жидкостная теория одно- и двухподрешеточных магнетиков : обзор / А. А. Исаев, В. В. Красильников, В. И. Приходько ; научный редактор С. В. Пелетминский. – Москва : ЦНИИАтоминформ, 1990. – 26 с. – Библиогр.: с. 25-26 (25 назв.). – Текст : непосредственный.

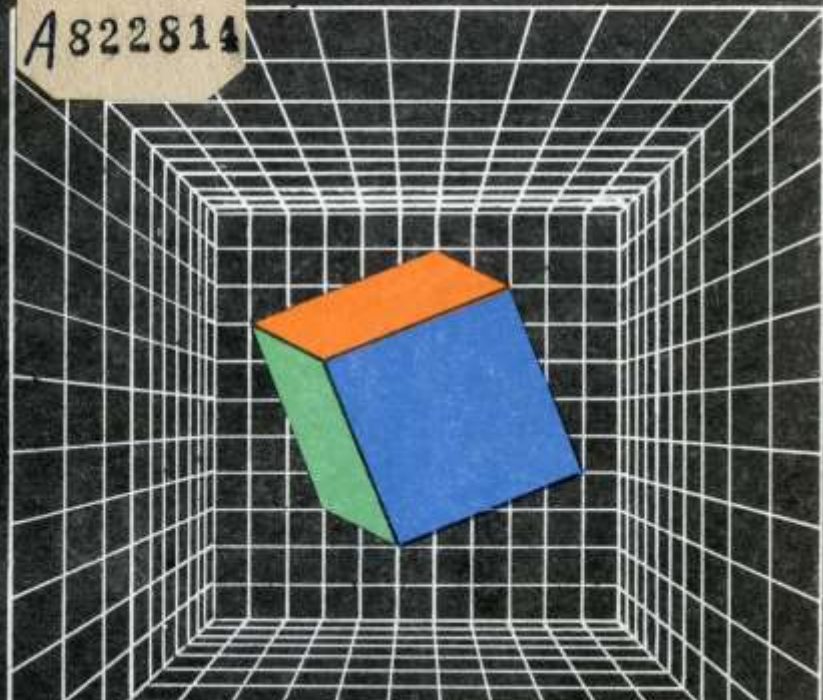
СПИН-ЖИДКОСТНАЯ ТЕОРИЯ
ОДНО- И ДВУХПОДРЕШЕТОЧНЫХ
МАГНЕТИКОВ

1990

К
Н
И
Г
И

С. М. ЖИЛЯКОВ, Е. П. НАЙДЕН

A822814



A822814

Жиляков, С. М. Магнитная структура диамагнитно-разбавленных кубических ферримагнетиков / С. М. Жиляков, Е. П. Найден. – Томск : Издательство Томского университета, 1990. – 224 с. : 96 рис. – Библиогр. после глав. – Текст : непосредственный.

**МАГНИТНАЯ СТРУКТУРА
ДИАМАГНИТНО-
РАЗБАВЛЕННЫХ
КУБИЧЕСКИХ
ФЕРРИМАГНЕТИКОВ**

A829436

Д. Д. Мишин

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

A829436

Мишин, Д. Д. Магнитные материалы : учебное пособие для вузов / Д. Д. Мишин. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Высшая школа, 1991. – 384 с. : 117 табл., 204 рис. – Библиогр. в конце глав. – ISBN 5-06-000628-X. – Текст : непосредственный.



К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И



ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЦЕЛЕВАЯ ПРОГРАММА
«ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОДДЕРЖКА
ИНТЕГРАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ НА 1997–2000 ГОДЫ»

Е. А. ПАМЯТНЫХ, Е. А. ТУРОВ

**ОСНОВЫ
ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕД
В ПЕРЕМЕННЫХ
И НЕОДНОРОДНЫХ ПОЛЯХ**

A874978, A874979

Памятных, Е. А. Основы электродинамики материальных сред в переменных и неоднородных полях : учебное пособие для вузов / Е. А. Памятных, Е. А. Туров. – Москва : Наука : Физматлит, 2000. – 240 с. : 24 рис. – Библиогр. с. 236-237 (30 назв.). – ISBN 5-02-015556-X. – Текст : непосредственный.

A878511

К. П. Белов

**ЭФФЕКТЫ ПАРАПРОЦЕССА
В ФЕРРИМАГНЕТИКАХ
И АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ**

A878511

Белов, К. П. Эффекты парапроцесса в ферримагнетиках и антиферромагнетиках / К. П. Белов. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 80 с. : 1 табл., 49 рис. – Библиогр.: с. 74-79 (131 назв.). – ISBN 5-9221-0148-X. – Текст : непосредственный.



К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

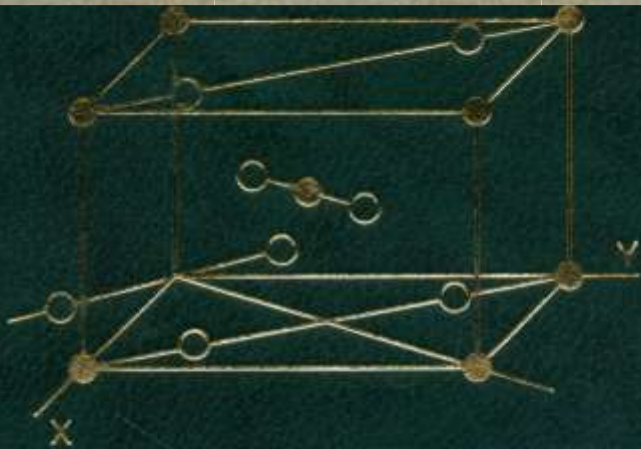
Е.А. ТУРОВ, А.В. КОЛЧАНОВ, В.В. МЕНЬШЕНИН,
И.Ф. МИРСАЕВ, В.В. НИКОЛАЕВ

A875401

СИММЕТРИЯ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНТИФЕРРОМАГНЕТИКОВ

A875401

Симметрия и физические свойства антиферромагнетиков / Е. А. Туров, А. В. Колчанов, В. В. Меньшенин [и др.]. – Москва : Физматлит, 2001. – 559, [1] с. : 94 рис. – Библиогр.: с. 530-559 (по главам). – ISBN5-9221-0099-8. – Текст : непосредственный.



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ
2001

A884521

А.В. Голенищев-Кутузов
В.А. Голенищев-Кутузов
Р.И. Калимуллин

ИНДУЦИРОВАННЫЕ ДОМЕННЫЕ СТРУКТУРЫ В ЭЛЕКТРО- И МАГНИТО- УПОРЯДОЧЕННЫХ ВЕЩЕСТВАХ

A884521

Голенищев-Кутузов, А. В. Индуцированные доменные структуры в электро- и магнитоупорядоченных веществах / А. В. Голенищев-Кутузов, В. А. Голенищев-Кутузов, Р. И. Калимуллин. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 136 с. : 2 табл., 62 рис. – Библиогр.: с. 128-135 (248 назв.). – ISBN5-9221-0449-7. – Текст : непосредственный.



53(075)
Б-83
А 962242

Е.С. Боровик, В.В. Ерёмченко,
А.С. Мильнер

ЛЕКЦИИ ПО МАГНЕТИЗМУ

A962242, A962243

Боровик, Е. С. Лекции по магнетизму/ Е. С. Боровик, В. В. Ерёмченко, А. С. Мильнер. – 3-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 510, [2] с. : 284 рис. – Библиогр.: с. 503-510 (253 назв.). – ISBN 5-9221-0577-9. – Текст : непосредственный.

624
А972699
Ф-91

Г. И. ФРОЛОВ
В. С. ЖИГАЛОВ

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОПЛЕНОЧНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

A972699

Фролов, Г. И. Физические свойства и применение магнитоплёночных нанокomпозитов / Г. И. Фролов, В. С. Жигалов. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2006. – 188 с. : 12 табл., 106 рис. – Библиогр.: с. 174-184 (199 назв.). – ISBN 5-7692-0855-4. – Текст : непосредственный.

2006

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A998962



A998962

Борисов, А. Б. Нелинейные волны, солитоны и локализованные структуры в магнетиках / А. Б. Борисов, В. В. Киселев. – Екатеринбург : УрО РАН [изд.], 2009. – Т. 1: Квазидвумерные магнитные солитоны. – 511, [1] с. : 44 рис. – Библиогр.: с. 489-507 (по главам). – ISBN978-5-7691-2032-9. – Текст : непосредственный.

**А.Б. Борисов
В.В. Киселев**

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ, СОЛИТОНЫ И ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ СТРУКТУРЫ В МАГНЕТИКАХ

Т. 1

A991368



**А.Б. Борисов
В.В. Киселев**

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ, СОЛИТОНЫ И ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ СТРУКТУРЫ В МАГНЕТИКАХ

Т. 2

A991368

Борисов, А. Б. Нелинейные волны, солитоны и локализованные структуры в магнетиках / А. Б. Борисов, В. В. Киселев. – Екатеринбург : УрО РАН, 2011. – Т. 2: Топологические солитоны, двумерные и трёхмерные «узоры». – 416, [1] с. : 112 рис. – Библиогр.: с. 394-413 (по главам). – ISBN978-5-7691-2232-3. – Текст : непосредственный.

A 893881

Модельные подходы к магнетизму двумерных зонных систем

А. А. Катанин, В. Ю. Ирхин, П. А. Игошев

A893881

Катанин, А. А. Модельные подходы к магнетизму двумерных зонных систем / А. А. Катанин, В. Ю. Ирхин, П. А. Игошев. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 176 с. : 72 рис. – Библиогр.: с. 169-175 (198 назв.). – ISBN 978-5-9221-1425-7. – Текст : непосредственный.



A 996479

Е. Ф. Кустов
В. М. Новоторцев

МАГНЕТОХИМИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СТРУКТУР

A996479

Кустов, Е. Ф. Магнетохимия молекулярных структур / Е. Ф. Кустов, В. М. Новоторцев ; Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН. – Москва : КРАСАНД, 2013. – 400 с. : 204 рис. – Библиогр.: с. 398-400 (93 назв.). – ISBN 978-5-396-00544-0. – Текст : непосредственный.



К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

Mathias Getzlaff

Getzlaff, M. Fundamentals of Magnetism / M. Getzlaff. – Berlin ; Heidelberg ; New York : Springer, 2008. – 387 p. : 18 Tabl., 292 Fig. – Bibliogr. : P. 353-357 (91 ref.). – ISBN 978-3-540-31150-8. – Имеется электронная версия текст. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-540-31152-2> (дата обращения: 10.04.2021). – Режим доступа: по подписке СГУ.

Fundamentals of Magnetism

 Springer

SOLID-STATE SCIENCES

J. Stöhr
H. C. Siegmann

Magnetism

From Fundamentals
to Nanoscale
Dynamics

Stöhr, J. Magnetism. From Fundamentals to Nanoscale Dynamics / J. Stöhr, H. C. Siegmann – Berlin ; Heidelberg ; New York : Springer, 2006. – 823 p. : 39 Tabl., 325 Fig. – Bibliogr.: P. 777-804 (862 ref.). – (Springer Series in solid-state sciences, 152). – ISSN 0171-1873. – ISBN-10 3-540-30282-4 (Springer Berlin Heidelberg New York). – ISBN-13 978-3-540-30282-7 (Springer Berlin Heidelberg New York). – Имеется электронная версия текст. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-540-30283-4> (дата обращения: 10.04.2021). – Режим доступа: по подписке СГУ.

 Springer

53
41

МАГНИТНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ

ТРУДЫ ОРДЕНА ЛЕНИНА ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ИМ. П. Н. ЛЕБЕДЕВА АКАДЕМИИ НАУК СССР

ТОМ
139

НАУЧНАЯ
КНИЖНИЦА
ФЕРРОМАГНИТНОГО
ТЕОРЕТИКА
ОСН. ЭКЗ.

ИЗДАТЕЛЬСТВО • НАУКА •

Силин, В. П. Релаксация магновов в проводящих ферромагнетиках / В. П. Силин, А. З. Солонцов. — Текст : непосредственный // Труды ФИАН ; т. 139 : Магнитные полупроводники. — Москва : Наука, 1982. — С. 121-134 : 1 рис. — Библиогр.: с. 134 (24 назв.).

1982

ТРУДЫ ОРДЕНА ЛЕНИНА ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ИМ. П. Н. ЛЕБЕДЕВА

Том 139

УДК 539.2:620.145

В. П. СИЛИН, А. З. СОЛОНЦОВ

РЕЛАКСАЦИЯ МАГНОНОВ В ПРОВОДЯЩИХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

1. ВВЕДЕНИЕ

Явления, связанные с релаксацией магновов в магнитных полупроводниках и металлах, качественно отличаются от происходящих в диэлектриках из-за существования в проводящих магнетиках, помимо спиновых волн, также и электронов проводимости. В этой связи, кроме обычных процессов рассеяния магновов [1, 2], определяемых их взаимодействием между собой, а также с колебаниями решетки, в проводниках возможны процессы рассеяния магновов на электронах, обусловленные электрон-магнитным взаимодействием. Поэтому в переходных металлах, где плотность состояний электронов из поверхности Ферми велика, а электрон-магнитное взаимодействие является сильным, такие процессы существенно влияют на релаксацию магновов. При этом одномангнитные процессы рассеяния на электронах с переворотом спина изучены сравнительно давно и хорошо известны [3, 4]. Они приводят к затуханию лишь сравнительно коротковолновых магновов.

В последние годы возник интерес к релаксации магновов, связанной с двухмагнитными процессами рассеяния на электронах, теории которой посвящены работы [5—7]. В этих работах использовались близкие подходы, основанные на эффективном гамильтониане электронов и магновов, полученном в модели коллективизированных электронов или в $s-d$ -модели Вонсовского. Однако найденные при этом в работах [5—7] зависимости декремента затухания магновов от температуры и волнового вектора оказались существенно различающимися.

Целью настоящей работы является изучение зависимости от температуры и волнового вектора затухания магновов, обусловленного двухмагнитными процессами рассеяния на электронах, в частности выяснение причин различия результатов работ [5—7]. При этом в отличие от авторов [5—7], использовавших метод эффективного гамильтониана, мы основываемся на нелинейных уравнениях движения намагниченности (см. разд. 2), которые формулируем, исходя из общих представлений теории ферромагнитной ферми-жидкости [8—10]. Вводя затем функцию распределения магновов (см. разд. 3), получаем интеграл столкновений магновов с электронами. С его помощью в разд. 4 найдем декремент затухания магновов при произвольной поверхности Ферми и произвольной степени поляризации электронов. В разд. 5 полученные результаты сравниваются с выводами работ [5—7] и с экспериментальными данными по неупругому рассеянию нейтронов.

2. УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ НЕРАВНОВЕСНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ

В этом разделе мы получим уравнение, описывающее изменение поперечной намагниченности изотропного магнетика, которое в последующем позволит нам, в частности, сформулировать статистическое описание нелинейных свойств магновов. В основу нашей динамической теории ферромагнетиков положим уравнение для матрицы плотности электронов в смешанном пред-

НОВЫЙ ВИД МАГНЕТИЗМА – АРОМАГНЕТИЗМ

Н.А.Толстой, А.А.Спартакос

Обнаружен принципиально новый вид постоянного магнетизма, наблюдаемый в целом классе органических веществ, находящихся в виде суспензии мелких кристалликов в жидкости (в частности, в воде). Постоянный магнитный момент пропорционален объему кристалликов.

Маленькие кристаллики ряда ароматических веществ, отличающихся плоским строением молекул без заместителей в их кольцах (антрацен, фенантрен, пирен, р-терфенил, трифенилен, нафтацен, перилен, пицен, пентацен, бенз (*ghi*) перилен, 1,2,6,7-добензперилен, а также азулен) обладают, как показывают опыты, проделанные с суспензиями этих кристалликов в воде и других жидкостях (концентрированные или разбавленные H_2SO_4 , D_2O , CCl_4 , HCl , KOH или минеральное масло высокой очистки), неизвестными до сих пор магнитными свойствами, совокупность которых была нами названа аромагнетизмом. Эти свойства одни и те же во всех перечисленных дисперсионных средах.

Исследовались суспензии микрокристалликов очень малой концентрации перечисленных выше веществ. При ориентации этих кристалликов (всегда несферических) возникает двурассеяние – дитиндализм – консервативный дихроизм (терминология Планка). Следовательно, поляризованный луч света ослабляется по-разному в зависимости от того, совпадает ли направление поляризации с направлением ориентации, или они взаимно перпендикулярны и при неизменной поляризации периодическое изменение осей ориентации частиц (в нашем случае в магнитном поле) вызывает периодическую модуляцию света, регистрируемого на осциллографе.

При наложении на суспензию знакопеременных прямоугольных импульсов магнитного поля возникает волна модуляции света, начинающаяся с момента смены знака поля и затухающая к концу импульса. Поскольку наблюдаемая переориентация может быть связана только с наличием у частиц постоянного магнитного момента μ , это доказывает его существование.

Напомним, что ориентация частиц, связанная с анизотропией магнитной поляризуемости, является квадратичным по полю H эффектом (одна степень H тензорно наводит момент, а вторая степень H его поворачивает вместе с частицей). Указанное поле H является полем в

53
206

ТРУДЫ ИОФАН

Том 37

Неупорядоченные
магнетики

Москва

НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
САРАТОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Осн. экз.

«Наука»

Методы исследования неупорядоченных магнетиков / О. В. Ершов, И. А. Зайцев, А. А. Минаков, И. В. Швец. – Текст : непосредственный // Труды ИОФАН ; т. 37 : Неупорядоченные магнетики. – Москва : Наука, 1992. – С. 3-36. : 19 рис. – Библиогр.: с. 35-36 (22 назв.). – ISBN 5-02-006855-1.

УДК 537.622.3./6

О.В.ЕРШОВ, И.А.ЗАЙЦЕВ, А.А.МИНАКОВ, И.В.ШВЕЦ

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ МАГНЕТИКОВ

При исследовании новых магнитных материалов, технология синтеза которых еще не достаточно развита, обычно приходится иметь дело с монокристаллами малого размера (~ 1 мм). Это означает, что некоторые традиционные методики не пригодны для исследования таких образцов. Например, в методе адиабатической калориметрии требуются образцы размером не менее 1 см. При отработке технологии новых материалов для проведения серийных исследований монокристаллов с различными примесями или монокристаллов, полученных в различных условиях, удобно применять экспресс-методики. В данной работе описаны развитые нами экспресс-методы магнитометрии монокристаллов массой порядка 1 мг.

1. Измерение магнитострикции
при помощи пленочного микротензодатчика

Традиционные методы измерения малых ($\Delta l / l < 10^{-4}$) деформаций в ряде случаев оказываются непригодными для исследования магнитострикции при криогенных температурах. Дело в том, что эти методы основаны на применении тензодатчиков, которые могут деформировать исследуемый образец при его охлаждении. Например, в наиболее простых и распространенных методах, основанных на применении резистивного проволочного тензодатчика, датчик приклеивается к образцу клеем. При охлаждении слой клея и датчик деформируют образец. Такие деформации недопустимы при исследовании магнитострикции, вызванной переориентацией доменной структуры в антиферромагнетиках [1-3], исследовании магнитострикции слабоанизотропных ферромагнетиков и в ряде других случаев, поскольку внешние деформации вносят определяющие искажения в результаты эксперимента.



РОССИЙСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЖУРНАЛ РОССИЙСКОГО
ХИМИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА
ИМ. Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

ТОМ
LIII

НАНОМАТЕРИАЛЫ:
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

2
2009

ЗНБ СГУ 1 экз.

ISSN 0373—0247

- 9 июль 2009

Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2009, т. LIII, № 2

УДК 541.1, 536.7, 621.794.66.081

Магнитные фазовые переходы в нанокластерах и наноструктурах

И. П. Суздаlev

ИГОРЬ ПЕТРОВИЧ СУЗДАЛЕВ — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физической химии нанокластеров и наноструктур Института химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН. Область научных интересов: нанокластеры, наноструктуры и наноматериалы, нанотехнология, физикохимия поверхности, мессбауэровская спектроскопия.

119991 Москва, ул. Косыгина, 4, Институт химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН, тел. (495)939-71-01, E-mail: suzdalev@chph.ras.ru

Введение

Магнитные фазовые переходы составляют важную область фундаментальных исследований, достигая в которой реализуются в ряде отраслей техники. Эти переходы обычно относят к фазовым переходам первого или второго рода в зависимости от того, меняется ли намагниченность или характер магнитного упорядочения скачком или изменения носят плавный характер вблизи критических температур (точки Кюри для ферромагнетика и точки Нееля для анти- и ферримагнетиков). При этом изменение объема элементарной ячейки магнетика и тепловой эффект фазового перехода первого рода могут играть заметную роль, но могут быть и незначительными.

Большинству массивных магнетиков свойственны фазовые переходы второго рода, хотя ряд веществ обладает магнитными фазовыми переходами первого рода, когда происходит переход из магнитоупорядоченного состояния в парамагнитное или изменение типа магнитного упорядочения. Например, такими веществами являются MnAs (переход ферромагнетик—парамагнетик), MnO, UO₂, Eu (антиферромагнетик—парамагнетик), α-Fe₂O₃ (антиферромагнетик—слабый ферромагнетик) [1, 2].

Для нанокластеров и наноструктур магнитные фазовые переходы приобретают особое значение, поскольку в отличие от массивных материалов здесь начинают действовать множество иных факторов, изменяющих характер и механизм переходов, таких как размерные эффекты, влияние поверхности, межкластерные взаимодействия и взаимодействия нанокластеров с матрицей, влияние магнитных полей и т.д. Это определяет практику исследований магнитных переходов как нового инструмента для изучения структурных особенностей наносистем, а также они формируют базу для создания новых наноматериалов и наноструктур.

В нанокластерах и наноматериалах также наблюдаются магнитные фазовые переходы первого и второго рода. Магнитные фазовые переходы второго рода в кластерах металлов и оксидов металлов, как в большинстве массивных магнетиков, выражаются в плавном исчезновении магнитного порядка и спонтанной намагниченности в области температур Кюри T_C или Нееля T_N . Нанокластеры размером менее 10 нм обладают суперпарамагнитными свойствами, что приводит к эффективному снижению T_C или T_N . Магнитные фазовые переходы первого рода в нанокластерах некоторых оксидов металлов проявляются в потере скачком спонтанной намагниченности при достижении некоторой температуры или при уменьшении размера до менее критического с переходом в парамагнитное состояние (а не суперпарамагнитное состояние) [3—5].

Проблема, возникающая при изучении магнитных фазовых переходов первого рода, для нанокластеров состоит прежде всего в том, что эти переходы должны быть выделены на фоне возможного проявления суперпарамагнетизма. Кроме того, в связи с тем, что в большинстве случаев имеет место разброс кластеров по размерам или наносистемы не образуют кластерных кристаллов и неизбежен разброс межкластерных взаимодействий, возникают затруднения в обнаружении магнитных фазовых переходов первого рода в нанокластерах и наноструктурах, если их изучают путем измерений намагниченности, дающих усредненные магнитные характеристики. В этой связи для изучения магнитных фазовых переходов первого рода весьма эффективными должны быть спектроскопические методы, позволяющие характеризовать отдельно магнитные и немагнитные фракции в одном образце, в частности, это мессбауэровская спектроскопия с характеристическими временами 10^{-11} — 10^{-10} с.

Магнитные фазовые переходы по-разному проявля-

Суздаlev, И. П. Магнитные фазовые переходы в нанокластерах и наноструктурах / И. П. Суздаlev. — Текст : непосредственный // Российский химический журнал. — 2009. — Т. 53, № 2. — С. 23-35. : 11 рис. — Библиогр.: с. 35 (20 назв.). — ISSN 1024-6215. — Имеется электронная версия. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13536105> (дата обращения: 13.09.2021). — Режим доступа: свободный.

ФИЗИКА И ХИМИЯ
СТЕКЛА

ЖУРНАЛ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ,
НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ. СТЕКЛА, КЕРАМИКА,
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ОКСИДЫ И ПОКРЫТИЯ.
НАНОЧАСТИЦЫ, НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОКОМПЗИТЫ



ТОМ 40

№ 2

2014



«НАУКА» С.-ПЕТЕРБУРГ

Осн. экз.
ЗНБ СГУ 200968

Ферромагнитные железосодержащие пористые стекла / О. А. Пшенко, И. А. Дроздова, И. Г. Полякова, К. Rogacki, A. Cizman, R. Poprawski, E. Rysiakiewicz-Pasek, T. B. Антропова. – Текст : непосредственный // Физика и химия стекла. – 2014. – Т. 40, № 2. – С. 215-222. : 4 рис. – Библиогр.: с. 221-222 (24 назв.). – ISSN 0132-6651. – Имеется электронная версия. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21448835> (дата обращения: 13.09.2021). – Режим доступа: свободный.

2014

ФИЗИКА И ХИМИЯ СТЕКЛА

Том 40, № 2

© Пшенко О. А.*, Дроздова И. А.*, Полякова И. Г.*, Rogacki К.**,
Cizman A.***, Poprawski R.*, Rysiakiewicz-Pasek E.***, Антропова Т. В.*

ФЕРРОМАГНИТНЫЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИЕ
ПОРИСТЫЕ СТЕКЛА

* Институт химии силикатов им. И. В. Гребенникова РАН,
Россия, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2,
e-mail: antr2@yandex.ru

** Institute of Low Temperatures and Structure Research,
Polish Academy of Sciences,

ul. Okólna 2, PL-50-422 Wrocław, Poland

*** Institute of Physics, Wrocław University of Technology,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Poland

Ферромагнитные пористые стекла синтезированы путем сквозного последовательного травления двухфазного стекла системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{FeO}$ в водных растворах HCl и KOH . Структура двухфазного и пористых стекол исследована методами просвечивающей электронной микроскопии, рентгенофазового анализа и порометрии. Измерены электрические и магнитные свойства пористых стекол.

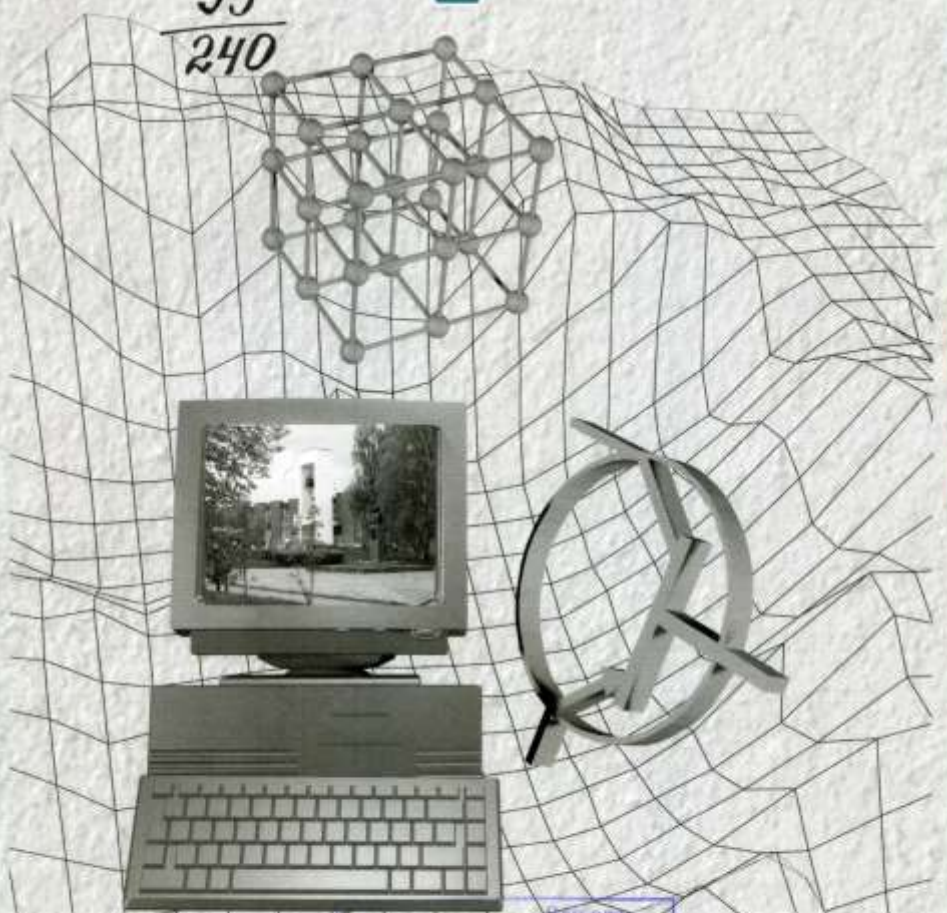
Ключевые слова: ферромагнитное пористое стекло, структура, электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, диэлектрическая проницаемость, намагниченность.

Введение. Известно, что наноструктурированные композиционные материалы обладают уникальными функциональными свойствами [1]. Среди них большой интерес вызывает создание наноконструктов с одновременным ферромагнитным и сегнетоэлектрическим упорядочениями, вследствие чего они будут обладать свойствами, присущими мультиферроикам [2] — перспективным материалам для нано- и микроэлектроники. Одним из путей решения данной проблемы является внедрение сегнетоэлектрической фазы в поровое пространство нанопористых магнитных матриц [3]. Для создания таких матриц с успехом может быть использовано явление метастабильного фазового разделения в оксидных стеклообразующих щелочно-боросиликатных (ЩБС) системах [4, 5].

Известно, что при контакте двухфазного ЩБС стекла с водными растворами минеральных кислот происходит избирательное извлечение из стекла хорошо растворимых компонентов химически нестойкой фазы [6–8]. В результате получается пористое стекло, которое по терминологии С. П. Жданова [9] принято называть микропористым (МИП) стеклом. При обработке МИП стекла в щелочном растворе происходит растворение вторичного кремнезема, находящегося в поровом пространстве ливкационных каналов, и образование так называемого макропористого (МАП) стекла [10].

Поступило 14 июня 2013 г.

Электроника

53
240

4(108)

2014

Размерный магнетизм и оптическое перемангничивание наноструктур силицидов переходных металлов / Г. И. Глушков, А. В. Тучин, С. В. Попов, Л. А. Битюцкая. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2014, № 4. – С. 11-14. : 1 табл., 1 рис. – Библиогр.: с. 14 (13 назв.). – ISSN 1561-5405. – Имеется электронная версия. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21944048> (дата обращения: 13.09.2021). – Режим доступа: свободный.

МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 537.624.9

Размерный магнетизм и оптическое перемангничивание наноструктур силицидов переходных металлов

Г.И. Глушков, А.В. Тучин, С.В. Попов, Л.А. Битюцкая

Воронежский государственный университет

Проведены теоретическое исследование электронной структуры, синтез и полностью оптическое перемангничивание наноструктур силицидов переходных металлов. Исследована зависимость магнитного момента от размеров и конфигурации кластеров силицидов. Проведен эксперимент по перемангничиванию циркулярно-поляризованным светом наноструктурированного силицида никеля, что делает возможным создание быстродействующих запоминающих устройств с высокой плотностью записи данных на его основе.

Ключевые слова: спинтроника; силициды переходных металлов; магнитный момент; оптическое перемангничивание.

Магнитные силициды являются перспективными материалами для создания устройств спинтронки, совместимых с кремниевой технологией. Большие успехи достигнуты в области синтеза низкоразмерных силицидов переходных металлов с температурой Кюри выше комнатной [1–7]. В работах [5, 7] показана возможность перемангничивания циркулярно-поляризованным светом наноструктурированного силицида никеля на поверхности кремния (100). Для повышения плотности записи применяются ближнепольные оптические зонды, позволяющие достигнуть разрешения порядка нескольких десятков нанометров [8]. Высокая плотность наноструктур и скорость перемангничивания (~10 фс) позволяют создавать сверхемкие устройства записи и хранения данных, существенно превышающие быстродействие других способов записи информации [7].

Цель настоящей работы – теоретическое исследование, синтез и полностью оптическое перемангничивание самоорганизованных наноструктур силицидов переходных металлов.

Численные расчеты электронной структуры кластеров силицидов переходных металлов проведены неограниченным методом DFT [9]. В качестве обменного функционала выбран B3LYP с базисным набором 6-31G(dp). Расчеты выполнены в Супервычислительном центре Воронежского государственного университета с использованием программного пакета Gaussian [10]. Для всех моделируемых кластеров исследовали зависимость полной энергии E_{tot} от спиновой мультиплетности $m = 2S + 1$, где S – полный электронный спин кластера. Для основных состояний рассчитывался эффективный магнитный момент μ_{eff} . Стабильность кластеров определяли расчетом приведенной энергии связи.

© Г.И. Глушков, А.В. Тучин, С.В. Попов, Л.А. Битюцкая, 2014

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

ISSN: 2225-4293

2014. Том 3. № 3



Научно-технологический центр уникального
приборостроения Российской академии наук

ОБЗОРЫ

УДК 621.375.7

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА НАНОУРОВНЕ

© Авторы, 2016

Безуглов Д. А. — д.т.н., проф., Российская таможенная академия, Ростов-на-Дону.

E-mail: bezuglovda@mail.ru

Синявский Г. П. — д.ф.-м.н., проф., зав. каф. «Прикладная электродинамика и компьютерное моделирование», физический факультет, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону.

E-mail: sinjavsky@srfedu.ru

Черкесова Л. В. — д.ф.-м.н., проф., кафедры «Математика и информатика», «Кибербезопасность информационных систем», Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону.

E-mail: chia2002@inbox.ru

Шаламов Г. Н. — вед. инж., ФГУП «Ростовский научно-исследовательский институт радиосвязи», соискатель кафедры «Прикладная электродинамика и компьютерное моделирование», физический факультет, Южный федеральный университет. E-mail: gmiirs@rmiirs.ru

Аннотация

Проанализирован перечень ферромагнитных материалов, как исследуемых так и уже используемых сегодня в радиоэлектронике, и, в частности, в наноматериалах, что позволяет дать оценку развитию мировых тенденций эволюции ферромагнетиков при создании устройств новых поколений СВЧ- и КВЧ-диапазонов на их основе. При этом акцент делается на тонкопленочные ферромагнитные среды с заданными свойствами на наноуровне. Эти свойства обеспечивают возможность управления свойствами таких ферро-структур, на основе которых и реализуются резонансные контуры нелинейных параметрических зонных систем, работающих в высших зонах неустойчивости электромагнитных колебаний. Даны характеристики наиболее востребованных структур ферроматериалов, различных форм углерода, среди которых наиболее перспективны графены и углеродные нанотрубки, установлена возможность совместного использования углеродных и кремниевых нанотехнологий. Изучены магнитные свойства наноструктур и наноструктурных образований. Выяснено, что для реализации резонансных структур на основе нелинейных параметрических зонных систем, работающих на ультрагармониках тока в высших зонах неустойчивости электромагнитных колебаний в СВЧ- и КВЧ-диапазонах, повышенный интерес представляют наноматериалы, обладающие несколькими параметрами порядка, среди которых особо выделяются мультиферроики и углеродные нанотрубки.

Ключевые слова: композитные среды, ферро-структуры, тонкопленочные технологии, наноматериалы, радиоэлектроника, ферромагнитные наноматериалы, параметрический резонанс, высшие зоны неустойчивости электромагнитных колебаний, СВЧ- и КВЧ-диапазоны

Введение

Основные направления развития радиоэлектроники XXI века основываются на исследовании Тенденции развития ферромагнитных материалов с заданными свойствами на наноуровне / Д. А. Безуглов, Г. П. Синявский, Л. В. Черкесова, Г. Н. Шаламов. — Текст : непосредственный // Физические основы приборостроения. — 2016. — Т. 5, № 4. — С. 3-22. : 1 табл., 2 рис. — Библиогр.: с. 19-21 (39 назв.). — ISSN 2225-4293. — Имеется электронная версия. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27451697> (дата обращения: 13.09.2021). — Режим доступа: свободный.

Abstract

It is analyzed enumeration of ferromagnetic materials as soon as explored, and already used today in a radio electronics, and in particular, in the nanomagneto-electronics, that allows to state an estimation to development of world tendencies of evolution of ferromagnetics at making of arrangements of new generations of Microwave and Terahertz-ranges on their base. Thus, the accent becomes on the thin-film ferromagnetic environment with the given properties on the nano-level. These properties ensure possibility of controlling with properties of such ferromagnetic structures, on which base is realized the resonance contours of the nonlinear parametrical zonal systems working in the higher zones of instability of electromagnetic oscillations. The characteristics of the most demanded structures of ferromagnetic materials are given, of various shapes of carbon, among which are most perspective graphenes and carbon nanotubes, the possibility of common using of carbon and silicon nanotechnologies is determined. The magnetic properties of nanostructures and nanostructure formations are studied. It is become clear that for embodying of resonance structures on the basis of the nonlinear parametrical zonal systems working on ultraharmonics of current in the higher zones of instability of electromagnetic oscillations in Microwave and Terahertz-ranges, the heightened interest represent the nanomaterials, possessing of several order parametres among which are especially distinguished the multiferroics and carbon nanotubes.

Keywords: composite environments, ferrostructures, thin-film technologies, nanomagneto-electronics, ferromagnetic nanomaterials, parametrical resonance, higher zones of instability of electromagnetic oscillations, Microwave and Terahertz-ranges

Магнетизм и органические парамагнетики / М. Д. Гольдфейн [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 4. – С. 13-22 : 3 рис. – Библиогр.: с. 21-22 (62 назв.). – ISSN 1998-7072. – Имеется электронная версия публикации. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/magnetizm-i-organicheskie-paramagnetyki> (дата обращения: 26.06.2021). – Режим доступа : свободный.

Г. Е. Зашков

МАГНЕТИЗМ И ОРГАНИЧЕСКИЕ ПАРАМАГНЕТИКИ

Ключевые слова: магнетизм, парамагнетик, свободный радикал, свободная электронная пара, спиновые взаимодействия, магнитная восприимчивость, магнитометр

Исследована связь между явлениями магнетизма и парамагнетизма, которые обладают стабильные радикалы разного типа. Показано, что под влиянием внешнего магнитного поля происходит изменение физико-химических свойств некоторых органических свободных радикалов с локализованными и не локализованными неспаренными электронами. Изменяется поведение низкомолекулярных и высокомолекулярных органических парамагнитных соединений происходящих в них молекулярными взаимодействиями. Некоторые низкомолекулярные полирадикалы, обладающие высокой величиной магнитной восприимчивости, могут ослабить или усилить восприимчивость приложенного магнитного поля. Одним из важнейших применений стабильных парамагнитных веществ является их использование в качестве добавок к лазерным системам протонным магнетом в физике высоких энергий. Это позволяет создать ядерные прецессионные магнитометры для геофизики и астрономии.

Keywords: magnetism, paramagnetic, free radical, properties, interaction, magnetic susceptibility, magnetometer.

Communication between the phenomenon of a magnetism and paramagnetism which stable radicals of different type process is probed. It is shown that under the influence of an outside magnetic field there is a change of physical and chemical properties of some organic free radicals to the localized and non-localized unpaired electrons. Changes of properties of low-molecular and high-molecular organic paramagnetics are caused by magnetic interactions occurring in them. Some initial polyradicals, possessing high value of a magnetic susceptibility, can weaken or increase strength of the enclosed magnetic field. One of the most important applications of stable paramagnetics is their use as components to polarized proton targets in high energy physics. It allowed to create nuclear precession magnetometers for geophysics and astronautics.

Введение

При наличии магнитного поля H все вещества образуют макроскопический магнитный момент M . Величина M связана с величиной приложенного поля H коэффициентом пропорциональности χ - магнитной восприимчивостью:

$$M = \chi H.$$

У диамагнитных веществ с заполненными орбитальными индуцированный момент ориентирован против приложенного поля, их магнитная восприимчивость отрицательна и не зависит от температуры. У парамагнитных веществ с наполненными орбитальными вектор индуцированного момента под действием приложенного магнитного поля выстраивается параллельно полю. Для не взаимодействующих (независимых) спинов величина магнитного момента обратно пропорциональна температуре и их восприимчивость может быть приближенно выражена формулой Кюри:

$$\chi = C/T,$$

где C - постоянная Кюри, T - абсолютная температура.

Обычно величину магнитной восприимчивости χ пересчитывают на эффективный магнитный момент μ_{eff} , который определяется выражением

$$\mu_{eff} = (3k/N_A) \chi T^{3/2} = \mu_B g [S(S+1)]^{1/2},$$

где k - константа Больцмана, N_A - число Авогадро, μ_B - магнетон Бора, S - спин.

Для случая взаимодействующих спинов известны многочисленные отклонения от закона Кюри. В первом приближении такое поведение описывается законом Кюри-Вейсса:

$$\chi = C/(T-\theta),$$

где "характеристическая температура" θ определяется кристаллическим полем и может быть как положительной, соответствующей ферромагнитному взаимодействию (с параллельной ориентацией спинов), так и отрицательной, соответствующей антиферромагнитному взаимодействию (с антипараллельной ориентацией спинов). Межрадикальные взаимодействия неспаренных электронов разделяют на два типа: диполь - дипольное и обменное; последнее определяется перекрытанием волновых функций неспаренных электронов и быстро уменьшается с расстоянием. Обменное взаимодействие усредняет и дипольное взаимодействие между неспаренными электронами, и внутрирадикальное сверхтонкое взаимодействие неспаренных электронов с атомными ядрами. Когда же имеется пара электронов на соседних центрах с выражено перекрывающимися волновыми функциями, возникает взаимодействие между спинами S_1 и S_2 . Оно приводит к образованию синглетного и триплетного состояний. В соответствии с гайтлер - лондоновским описанием характерный обменное взаимодействие выражается гамильтонианом:

$$\hat{H} = -2J\hat{S}_1\hat{S}_2 \quad (1)$$

Распространение уравнения (1) на многоэлектронную систему описывается гейзенберговским обменным гамильтонианом вида:

$$\hat{H} = -\sum_{ij} J_{ij} \hat{S}_i \hat{S}_j \quad (2)$$

где J_{ij} - интервал обмена между атомами i и j , имеющими суммарные спины S_i и S_j .

Обменный интеграл J характеризует степень обменного взаимодействия и оценивается в единицах энергии. Отрицательное значение J соответствует взаимодействию антиферромагнитного типа (со-

Магнетизм и топологические дефекты в магнитоэлектрических средах / А. П. Пятаков [и др.]. – Текст : непосредственный // Успехи физических наук. – 2015. – Т. 185, № 10. – С. 1077-1088 : 14 рис. – Библиогр.: с. 1087-1088 (87 назв.). – Имеется электронная версия печатной публикации. – URL: <https://ufn.ru/rn/articles/2015/10/k> (дата обращения: 10.02.2021). – Режим доступа: свободный. – ISSN 0042-1294.

Том 185, № 10

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

Микромагнетизм и топологические дефекты в магнитоэлектрических средах

А.П. Пятаков, А.С. Сергеев, Е.П. Николаева, Т.Б. Косых, А.В. Николаев, К.А. Звездин, А.К. Звездин

Дан краткий обзор исследований магнитоэлектрических материалов и мультиферроиков с учетом их доменной структуры. Особое внимание уделено магнитоэлектрическим явлениям в микромагнетизме на примере эпитаксиальных пленок ферритов-гранатов (электронно)упорядоченном слоевом и пленок доменных границ. Рассмотрены также влияние электрического поля на другие топологические дефекты в магнитоупорядоченных средах: линии и точки Блоха в доменных границах, магнитные вихри и скирмионы.

Ключевые слова: мультиферроики, магнитоэлектрический эффект, доменная граница, скирмион, линии Блоха, точки Блоха

PACS numbers: 75.85.+i, 85.70.-w, 85.75.-d

DOI: 10.3367/UFN.0013.2015.10k.1077

Содержание

1. Введение (1077).
2. Экспериментальные результаты (1079).
3. Теоретическая интерпретация результатов (1082).
 - 3.1. Возможные механизмы эффекта в пленках доменных границ. 3.2. Неупорядоченное магнитоэлектрическое взаимодействие. 3.3. Изменение констант аннигиляции.
4. Микромагнитные структуры упорядоченной размерности (1084).
 - 4.1. Линии и точки Блоха. 4.2. Скирмионы. 4.3. Магнитные вихри.
5. Заключение (1086).
- Список литературы (1087).

1. Введение

Магнитоэлектрическими называют среды, в которых наблюдаются перекрестные эффекты, связанные с воздействием электрических полей на магнитную подсистему материала и обратным влиянием магнитного поля на диэлектрические характеристики или сегнетоэлектрическое состояние вещества. Последний случай относится

к магнитным сегнетоэлектрикам или мультиферроикам [1, 2].

Традиционный подход к изучению свойств магнитоэлектрических веществ подразумевает однородность среды, при этом исследуемый объем вещества представляет собой один магнитный или сегнетоэлектрический домен. Это предполагает проведение измерений в достаточно сильных магнитных и электрических полях, поляризующих образцы до насыщения. Однако в последнее время намечалась отчетливая тенденция к исследованию материалов в спонтанном состоянии, с учетом наличия в них доменной структуры [3–6], что связано со следующими обстоятельствами.

• Все большее количество синтезируемых в настоящее время материалов приходится на долю тонких пленок, в которых, согласно закону Киттеля, размер доменов уменьшается с уменьшением толщины пленки. При этом объемная доля доменных границ в материале и их роль в формировании его свойств возрастают.

• Некоторые магнитоэлектрические эффекты могут проявляться на масштабе отдельных доменов или даже доменных границ. При этом измерение интегрального, усредненного по многим доменам, сигнала не даёт информации об изменениях такого рода.

• Особый интерес представляют отсутствующие в однородных образцах эффекты, связанные непосредственно с доменными границами и другими неоднородностями, такими как вихри, скирмионы, линии Блоха и др.

Так, в сегнетоэлектриках доменные границы имеют электропроводящие свойства, отличные от свойств доменов, которые они разделяют. Вследствие интереса к этому явлению возник после обнаружения в мультиферроике феррите виллута BiFeO_3 повышенной проводимости доменных границ [7]. (Заметим, что в сегнетоэлектриках без магнитного упорядочения проводимость доменных границ была теоретически предсказана [8] и экспериментально обнаружена [9] значительно ранее.) Интересно, что даже при смешении доменной границы её "электропроводящий образ" остается запечатанным в сегнетоэлектрике [10], что предположительно объясняется нако-

А.П. Пятаков, А.С. Сергеев, Е.П. Николаева, Т.Б. Косых, А.В. Николаев, К.А. Звездин, А.К. Звездин, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Ленинградский, 119991 Москва, Российская Федерация E-mail: pyatako@phystech.msu.ru
К.А. Звездин, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ул. Вильямса 38, 119991 Москва, Российская Федерация: ООО "Лаборатория Киттель", 3-я Хорошевская ул., 12, 121298 Москва, Российская Федерация E-mail: zvezdin@gmail.com

А.К. Звездин, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ул. Вильямса 38, 119991 Москва, Российская Федерация: Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский просп. 53, 119991 Москва, Российская Федерация

Статья поступила 1 июля 2015 г.

Ферромагнитный резонанс в наноструктурах с температурно-контролируемым межслойным взаимодействием

Д.М. Полищук^{1,2}, Ю.О. Тихоненко-Полищук¹, А.Ф. Кравец^{1,2}, А.И. Товстолыткин¹, Ю.И. Джежеря¹, А.Н. Погорелый¹, V. Korenivski²

¹Институт магнетизма НАН Украины и МОН Украины, бульв. Вернадского, 36-б, г. Киев, 01680, Украина

²Nanostucture Physics, Royal Institute of Technology, SE-106 91 Stockholm, Sweden
E-mail: atostnadi@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20 апреля 2016 г., опубликована онлайн 25 июля 2016 г.

Выполнен комплексный анализ магнитно-резонансных свойств многослойной структуры $F_1(f,d)/F_{2m}$, где F_1 и F_{2m} — свободный и обменно-маршепный сильномагнитные слои, f — слабомагнитная прослойка с точкой Кюри в окрестности комнатной температуры. В зависимости от магнитного состояния спейсера f (ферромагнитное или парамагнитное) обменное взаимодействие между слоями F_1 и F_{2m} становится функцией температуры, что открывает широкие возможности для практических применений. Полученные результаты показывают, что межслойная обменная связь может быть усилена или путем уменьшения толщины спейсера d , или путем повышения температуры. Усиление обменной связи приводит к более сильному проявлению однонаправленной анизотропии в ферромагнитном резонансе слоя F_1 , а также к нестационарному для тонких пленок усужению резонансных линий. Обнаруженные особенности анализируются в контексте сравнения двух эффектов различной природы — влияния толщины спейсера d и температуры. Так, характер изменения однонаправленной анизотропии остается одинаковым при варьировании как толщины спейсера, так и температуры. Однако усужение линии магнитного резонанса оказывается более чувствительным к изменению межслойного взаимодействия, вызванному вариацией d , и менее чувствительным к изменению, вызванному изменением температуры.

Выполнен комплексный анализ магнитно-резонансных свойств многослойной структуры $F_1(f,d)/F_{2m}$, где F_1 и F_{2m} — свободный и обменно-маршепный сильномагнитный шар, f — слабомагнитный прослойка с точкой Кюри в окрестности комнатной температуры. В зависимости от магнитного состояния спейсера f (ферромагнитный или парамагнитный) обменное взаимодействие между слоями F_1 и F_{2m} становится функцией температуры, что открывает широкие возможности для практических применений. Полученные результаты показывают, что межслойная обменная связь может быть усилена или путем уменьшения толщины спейсера d , или путем повышения температуры. Усиление обменной связи приводит к более сильному проявлению однонаправленной анизотропии в ферромагнитном резонансе шару F_1 , а также к нестационарному для тонких пленок усужению резонансных линий. Обнаруженные особенности анализируются в контексте сравнения двух эффектов различной природы — влияния толщины спейсера d и температуры. Так, характер изменения магнитной анизотропии остается одинаковым при вариации как толщины спейсера, так и температуры. Однако усужение линии магнитного резонанса оказывается более чувствительным к изменению межслойного взаимодействия, вызванному вариацией d , и менее чувствительным к изменению, вызванному изменением температуры.

PACS: 75.70.Cs Магнитные свойства интерфейсов (многослойные пленки, интерфейсы, гетероструктуры);
75.75.-e Магнитные свойства наноструктур;
76.50.-g Ферромагнитный, антиферромагнитный и ферримагнитный резонансы, спин-волновой резонанс.

Ключевые слова: магнитная многослойная структура, обменное взаимодействие, ферромагнитный резонанс, магнитное затухание, разбавленный ферромагнитный сплав, переключатель Кюри.

Ферромагнитный резонанс в наноструктурах с температурно-контролируемым межслойным взаимодействием // Д. М. Полищук, Ю. О. Тихоненко-Полищук, А. Ф. Кравец [и др.]. — Текст : непосредственный // Физика Низких Температур. — 2016. — Т. 42, № 9. — С. 972-980. : 4 рис. — Библиогр.: с. 979-980 (25 назв.). — ISSN 0132-6414. — Имеется электронная версия. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26482138> (дата обращения: 13.09.2021). — Режим доступа: свободный.

Компьютерное моделирование разбавленных магнитных наноструктур

А.Б. Бабаев^{1,2}, А.К. Муртазев^{1,3}

¹ФГБН Институт физики им. Х.И. Амарханова Дагестанского научного центра РАН, г. Магачи, Россия

²Дагестанский государственный педагогический университет, Россия

³Дагестанский государственный университет, Россия
E-mail: b_albert78@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20 мая 2016 г., после переработки 21 июня 2016 г., опубликована онлайн 24 октября 2016 г.

Методом Монте-Карло исследуются модели наноструктур магнитных материалов, содержащих слабой замороженной беспорядок в виде немагнитных примесей. Рассмотрены системы с линейным размером $L = 20-60$ при концентрациях спинов $p = 1.0, 0.90$. Построены температурные зависимости термодинамических параметров теплоемкости C , восприимчивости χ и кумулянтов Билдера четвертого порядка для частей со свободными границами. Показано, что в исследованной модели малых магнитных частиц с примесями наблюдается фазовый переход второго рода.

Методом Монте-Карло исследованы модели наноструктур магнитных материалов, содержащих слабой замороженной беспорядок в виде немагнитных примесей. Рассмотрены системы с линейным размером $L = 20-60$ при концентрациях спинов $p = 1.0, 0.90$. Построены температурные зависимости термодинамических параметров теплоемкости C , восприимчивости χ и кумулянтов Билдера четвертого порядка для частей со свободными границами. Показано, что в исследованной модели малых магнитных частиц с примесями наблюдается фазовый переход второго рода.

PACS: 75.40.Cx Статистические свойства;
75.40.Mg Изучение на численных моделях.

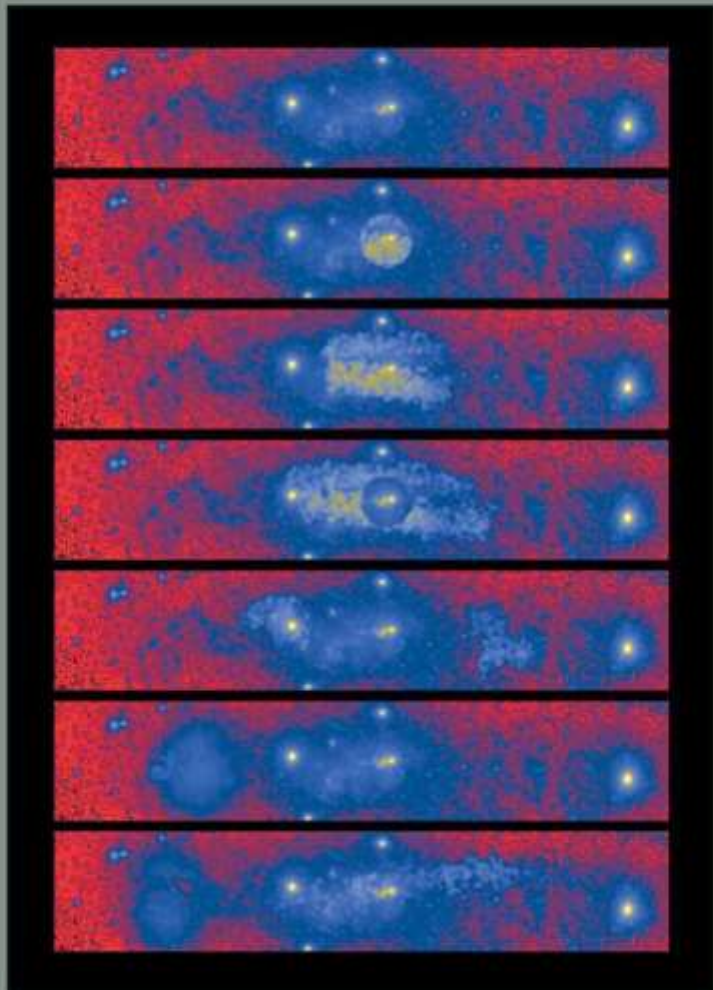
Ключевые слова: магнитные наноструктуры, метод Монте-Карло, фазовый переход второго рода.

Бурное развитие современной техники привело к широкому внедрению в практику материалов с неизвестными ранее свойствами, характерный масштаб неоднородностей которых меняется от микронных до атомных размеров. Такие материалы в последнее время нашли широкое применение в технике. Изучение фазовых переходов (ФП) и критических явлений (КЯ) в таких наноматериалах, содержащих примеси и другие дефекты структуры, представляет большой теоретический и экспериментальный интерес [1]. Это обусловлено тем, что большинство реальных наноматериалов всегда содержат примеси и другие дефекты структуры, присутствие которых влияет на их физические свойства и, в частности, может существенно изменять поведение систем при ФП. Поэтому в последнее время усилия многих исследователей были направлены на то, чтобы понять, как те или иные де-

фекты структуры влияют на поведение наносистем при ФП. Строгие аналитические расчеты магнитных и тепловых характеристик для таких систем сильно затруднены. Это связано с необходимостью правильного учета в теории сильных межспинных взаимодействий и невозможностью использовать в расчетах переход к термодинамическому пределу. Лабораторные эксперименты также сталкиваются с большими трудностями и при их постановке, и при интерпретации результатов [2]. Практически все эти трудности могут быть преодолены при изучении малых слабо неупорядоченных систем методами Монте-Карло (МК) [3].

На основе эвристических аргументов было показано, что замороженные немагнитные примеси изменяют критические показатели системы, если соответствующий показатель теплоемкости чистой системы положительный (критерий Харриса) [4]. В то же время извест-

Бабаев, А. Б. Компьютерное моделирование разбавленных магнитных наноструктур / А. Б. Бабаев, А. К. Муртазев. — Текст : непосредственный // Физика Низких Температур. — 2016. — Т. 42, № 12. — С. 1429-1431. : 3 рис. — Библиогр.: с. 1431 (14 назв.). — ISSN 0132-6414. — Имеется электронная версия. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27339836> (дата обращения: 13.09.2021). — Режим доступа: свободный.



Буздин, А. И. Физика взаимодействия сверхпроводимости и магнетизма / А. И. Буздин, А. С. Мельников. – Текст: непосредственный // Природа. – 2017. – № 10. – С. 37-42 : 5 рис. – Библиогр.: с. 41-42 (19 назв.). – Имеется электронная версия печатной публикации. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30035313> (дата обращения: 10.02.2021). – Режим доступа: свободный. – ISSN 0032-874X.

Физика взаимодействия сверхпроводимости и магнетизма

А.И.Буздин¹, А.С.Мельников²

¹Университет Бордо (Бордо, Франция)

²Институт физики микроструктур РАН (Нижний Новгород, Россия)

В последние годы активно развивается направление физики сверхпроводимости, связанное с экспериментальными и теоретическими работами по исследованию взаимодействия сверхпроводящего и магнитного упорядочений в различных системах. Оригинальные идеи по этой проблеме были высказаны В.Л.Гинзбургом в одной из его пионерных работ в 50-х годах прошедшего века. Электродинамический и обменный механизмы взаимодействия магнетизма и сверхпроводимости приводят к новым интересным эффектам в естественных ферромагнитных сверхпроводниках и искусственных гибридных структурах. Присутствие доменной структуры в ферромагнетике существенно модифицирует структуру сверхпроводящего состояния. Интерес к таким системам вызван как очевидной важностью фундаментальной проблемы конкуренции различных типов упорядочения в физике конденсированных сред, так и возможностью использования гибридных структур сверхпроводник–ферромагнетик для создания прототипов устройств сверхпроводящей спинтроники, таких как спиновые вентили, сверхпроводящие каналы управляемой геометрии или джозефсоновские контакты со спонтанной разностью сверхпроводящих фаз. Идея использования данных структур для нанометрической базисной спинэлектроники заключается в возможности управления критической температурой сверхпроводящего перехода и сверхпроводящими токами путем изменения магнитного состояния ферромагнитной подсистемы.

Ключевые слова: сверхпроводимость, ферромагнетизм, спинтроника, куперовские пары, обменное поле.

Впервые проблема сосуществования сверхпроводимости и магнетизма была теоретически сформулирована в статье В.Л.Гинзбурга в «Журнале экспериментальной и теоретической физики» в 1956 г. [1]. Взаимный антагонизм этих двух явлений очевидным образом следует уже из фундаментального свойства сверхпроводящего состояния металлов, получившего название эффекта Мейсснера, — способности выталкивать магнитное поле. Незатухающие токи сверхпроводящих электронов, которые отвечают при этом за экранировку внешних магнитных полей, в свою очередь, оказывают разрушающее влияние на саму сверхпроводимость: она исчезает при превышении некоторого критического значения приложенного магнитного поля. Любой магнитный материал представляет собой естест-



Александр Иванович Буздин, доктор физико-математических наук, профессор Университета Бордо (Франция). Занимается теорией сверхпроводимости, магнетизма, гетероструктур. Лауреат французской премии Хольвека (Hobbes Prize and a gold medal, 2013), иностранный член Академии Ломбардии (Италия), кавалер французского Ордена Академических пальм (Ordre des Palmes académiques) — за заслуги в образовании и науке.



Александр Сергеевич Мельников, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией теории мезоскопических систем Института физики микроструктур РАН (Нижний Новгород). Область научных интересов — сверхпроводимость, квантовый транспорт, мезоскопия.

53
10

7 4 АКТ 2018

ISSN 0044-4510

Том 154, Выпуск 4

Октябрь 2018



ЖУРНАЛ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
И
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
ФИЗИКИ

www.sciencejournals.ru

Осп.экз.
ЗНБ СГУ 206394

Прудников, В. В. Эффекты старения в неравновесном поведении магнитных сверхструктур и их проявление в магнитосопротивлении / В. В. Прудников, П. В. Прудников, М. В. Мамонова. – DOI 10.1134/S0044451018100140. – Текст : непосредственный // Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики. – 2018. – Т. 154, № 4. – С. 855-867. : 11 рис. – Библиогр.: с. 866-867 (41 назв.). – ISSN 0044-4510. – Имеется электронная версия. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36319645> (дата обращения: 12.09.2021). – Режим доступа: свободный.

ЭФФЕКТЫ СТАРЕНИЯ В НЕРАВНОВЕСНОМ ПОВЕДЕНИИ
МАГНИТНЫХ СВЕРХСТРУКТУР И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ
В МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИИ

В. В. Прудников*, П. В. Прудников, М. В. Мамонова

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
644077, Омск, Россия

Поступила в редакцию 5 мая 2018 г.

Осуществлено численное исследование методами Монте-Карло неравновесного поведения магнитных сверхструктур, состоящих из чередующихся магнитных и немагнитных слоев наномасштабной толщины. Анализ рассчитанной двумерной зависимости автокорреляционной функции при эволюции из высокотемпературного начального состояния выявил эффекты старения, характеризующиеся замедлением эффектов корреляции системы с увеличением времени ожидания. Показано, что в отличие от объемных магнитных систем эффекты старения возникают в магнитных сверхструктурах не только вблизи критической температуры T_c ферромагнитного упорядочения в пленках, но и в низкотемпературной фазе с $T \leq T_c$. Для магнитной мультислойной структуры выявлено ослабление эффектов старения в корреляционных процессах с ростом толщины N ферромагнитных пленок при $T = T_c(N)$, в то время как при температурах $T = T_c(N)/2$ обнаружен обратный эффект усиления старения с ростом толщины N пленок. При моделировании транспортных свойств структуры $\text{Co}/\text{Cu}(001)/\text{Co}$ осуществлен расчет температурной зависимости равновесных значений магнитосопротивления и впервые обнаружено влияние неравновесного поведения структуры на значения магнитосопротивления с проявлением в них эффектов старения.

DOI: 10.1134/S0044451018100140

1. ВВЕДЕНИЕ

Физика ультратонких магнитных пленок является направлением интенсивных научных исследований в течение последних двух десятилетий [1]. Этот повышенный интерес ученых вызван целым рядом уникальных свойств данных пленок с толщинами от одного-двух до нескольких десятков атомных слоев, существенно отличающихся от свойств объемных материалов.

Значительные достижения в развитии технологии позволяют в настоящее время получать высококачественные ультратонкие пленки и мультислойные покрытия на основе магнитных переходных металлов Fe, Co и Ni и их сплавов [1, 2]. Исследование природы магнетизма в ультратонких пленках имеет большой фундаментальный интерес из-за возникающей в них размерной зависимости для магнитных характеристик, которые демонстрируют переход от

характерных объемных значений для пленок толщиной в несколько десятков монослоев ($D \geq 10$ нм) к двумерным поверхностным значениям в пленках толщиной меньше 4–6 монослоев ($D \leq 1-2$ нм) [3, 4]. Все это обуславливает важность данных новых объектов как для развития фундаментальных основ физики магнетизма и физики поверхности, так и для практических приложений [5, 6]. Так, ультратонкие пленки магнитных металлов и сплавов являются составными элементами для магнитных сверхструктур, которые характеризуются широкой областью применений в устройствах, основанных на явлениях гигантского магнитосопротивления (ГМС) [7–9] и туннельного магнитосопротивления (ТМС) [10–12].

Наномасштабная периодичность создает в магнитных мультислойных структурах мезоскопические эффекты сильной пространственной сишовой корреляции с медленной релаксационной динамикой намагниченности при замораживании системы в неравновесном состоянии. Магнитные наноструктуры характеризуются большими временами релакса-

* E-mail: prudnikov@univer.omsk.ru

ЖУРНАЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Ноябрь 2019, том 89, выпуск 11



С-Петербург
ФТИ им. А.Ф. Иоффе



Формирование магнитных наноструктур с помощью зонда атомно-силового микроскопа / А. Г. Темирязов, М. П. Темирязова, А. В. Здоровейцев, О. В. Вихрова, Ю. В. Никулин, Ю. В. Хивинцев, С. А. Никитов. – DOI 10.21883/JTF.2019.11.48349.120-19. – Текст : непосредственный // Журнал Технической Физики. – 2019. – Т. 89, № 11. – С. 1807-1812. : 5 рис. – Библиогр.: с. 1812 (15 назв.). – ISSN 0044-4642. – Имеется электронная версия. – URL: <http://journals.ioffe.ru/articles/48349> (дата обращения: 12.09.2021). – Режим доступа: свободный.

Формирование магнитных наноструктур с помощью зонда атомно-силового микроскопа

© А.Г. Темирязов,¹ М.П. Темирязова,¹ А.В. Здоровейцев,² О.В. Вихрова,² Ю.В. Никулин,³ Ю.В. Хивинцев,³ С.А. Никитов^{4,5}

¹ Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 141190 Фрязино, Россия

² Научно-исследовательский физико-технический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, 603950 Нижний Новгород, Россия

³ Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 410019 Саратов, Россия

⁴ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 125009 Москва, Россия

⁵ Московский физико-технический институт, 141701 Долгопрудный, Россия
e-mail: temiaryzev@gmail.com

Поступило в Редакцию 28 марта 2019 г.

В окончательной редакции 28 марта 2019 г.

Принято к публикации 15 апреля 2019 г.

Представлены примеры использования метода импульсной силовой нанолитографии, выполняемой с помощью зонда атомно-силового микроскопа, для формирования магнитных нанопроволок, нанополосок, одно- и двумерных решеток с характерными размерами порядка 50–100 нм.

Ключевые слова: магнитные пленки, литография, наноструктуры, атомно-силовая микроскопия.

DOI: 10.21883/JTF.2019.11.48349.120-19

Введение

Использование магнитных материалов для разработки новых типов устройств обработки и хранения информации привлекает значительный интерес исследователей уже много лет. С течением времени появляются новые идеи: предлагается использовать в качестве носителей информации магнитные скирмионы [1], разработать трековую память [2], осуществить генерацию высокочастотных колебаний под действием спин-поляризованного тока [3], использовать доменные стенки в качестве волноводных структур [4]. Для того чтобы воплощение этих идей было конкурентоспособным, необходимо обеспечить высокую плотность отдельных элементов устройств, т.е. их размеры должны быть малы. Современная технология позволяет создавать структурированную поверхность с периодом порядка 20 нм [5], однако это крайне сложный, многоступенчатый и дорогостоящий процесс, в котором последовательно используются такие операции, как электронная литография, направленная самоорганизация блок-сополимеров (directed self-assembly of block copolymers), двойное формирование рисунка с самовыравниванием (self-aligned double patterning), нанопечать литография (nanoprint lithography) и ионное травление. Для проведения научных исследований и создания макетов устройств было бы желательно иметь более простые и дешевые методы наноструктурирования. Литография

с помощью зонда атомно-силового микроскопа (АСМ) может быть в этом плане весьма полезна. В работах [6,7] была продемонстрирована возможность создания магнитных проводящих шириной 50–60 нм. АСМ использовался для вскрытия оловянной полимерной маски, в которые далее наносился слой металла. В работе [8] был представлен альтернативный подход, предложен метод импульсной силовой нанолитографии (ISHL), выполняемой с помощью АСМ зонда, оснащенного острой алмазной иглой. ISHL позволяет проводить механическую обработку твердых материалов, т.е. появляется возможность прорезать канавки непосредственно в металлах и полупроводниках. Режущий проводящий зонд выполняет серию близко расположенных проходов, подобно движению иглы швейной машинки. Малая ширина прореза позволяет формировать достаточно плотную текстуру, в [8] был продемонстрирован массив канавок на поверхности кремния с периодом 30 нм. В настоящей работе мы хотим показать перспективность использования методики ISHL для исследования магнитных пленок и создания наноструктур на их основе.

Эксперименты проводились при помощи АСМ SmartSPM (AIST-NT). Для механической обработки поверхности использовались зонды с монокристаллическими алмазными иглами D300, SCDProbes. Измерения методами магнитно-силового микроскопа (MCM) проводились с помощью зондов PPP-1M-MFMR и SSS-MFMR, Nanosensors.

53
240

ISSN 1561-5405 (print)
ISSN 2587-9960 (online)
DOI: 10.24151/1561-5405

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Электроника

PROCEEDINGS OF UNIVERSITIES. ELECTRONICS



Том 25 Vol. 25
№ 5 No. 5
сентябрь - октябрь September - October
2020

Специал.
ЭЛЕКТРОНИКА 2020/061

301120

Амеличев, В. В. Микросистемы с высоким коэффициентом преобразования слабого магнитного поля на основе магниторезистивных наноструктур / В. В. Амеличев, А. А. Резнев, А. Н. Сауров. – DOI 10.24151/1561-5405-2020-25-5-432-439. – Текст : непосредственный // Известия Высших Учебных Заведений. Электроника. – 2020. – Т. 25, № 5. – С. 432-439. : 5 рис. – Библиогр.: с. 438 (8 назв.). – ISSN 1561-5405. – Имеется электронная версия. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44106017> (дата обращения: 12.09.2021). – Режим доступа: свободный.

МИКРО- И НАНОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА MICRO- AND NANOSYSTEM TECHNOLOGY

УДК 53.087.92

DOI: 10.24151/1561-5405-2020-25-5-432-439

Микросистемы с высоким коэффициентом преобразования слабого магнитного поля на основе магниторезистивных наноструктур

В.В. Амеличев¹, А.А. Резнев², А.Н. Сауров³

¹НИПК «Технологический центр», г. Москва, Россия

²ФГКУ «В/ч 68240», г. Москва, Россия

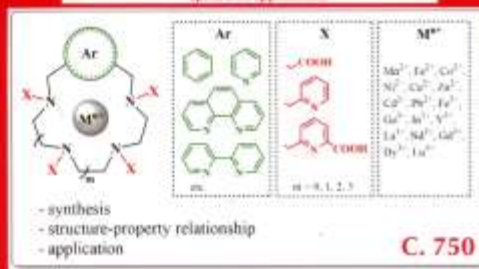
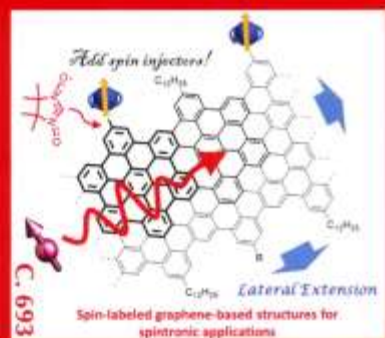
³Институт нанотехнологий микроэлектроники Российской академии наук, г. Москва, Россия

avv@tcon.ru

Магниторезистивные преобразователи магнитного поля востребованы как для прямого, так и для косвенного применения в различных областях промышленности, транспорте и специальной технике. В работе отмечены особенности применяемой термистологии и размерностей основных параметров магниторезистивных преобразователей магнитного поля. Представлены основные результаты экспериментальных исследований разработанных тонкопленочных магниторезистивных наноструктур с четной и нечетной передаточной характеристикой. Конструкция данной системы, реализованная на основе анизотропного магниторезистивного эффекта, имеет нечетную передаточную характеристику и коэффициент преобразования на уровне 8 мВ/В/Э. Конструкция, реализованная на основе гигантского магниторезистивного эффекта, имеет четную передаточную характеристику и коэффициент преобразования на уровне 27 мВ/В/Э. Показаны результаты перспективных конструктивно-технологических решений, позволяющих достигать значений коэффициента преобразования тонкопленочных магниторезистивных наноструктур более 100 мВ/В/Э. Приведены результаты исследования тестовой спин-туннельной тонкопленочной магниторезистивной наноструктуры с гигантским магниторезистивным эффектом, превышающим 100%. Отмечена новизна полученных результатов и определена перспективность использования высокочувствительных тонкопленочных магниторезистивных наноструктур для создания энергонезависимой памяти с произвольной выборкой на основе тонкопленочной магниторезистивной наноструктуры со спин-туннельным магниторезистивным эффектом.

© В.В. Амеличев, А.А. Резнев, А.Н. Сауров, 2020

Успехи химии



Обзорный журнал по химии

Том 89

Номер 7 2020

стр. 693–786

ISSN 0042-1308

Тен, Ю. А. От спин-меченых конденсированных полиароматических соединений к магнитно-активным графеновым наноструктурам / Ю. А. Тен, Н. М. Трошкова, Е. В. Третьяков. – DOI 10.1070/RCR4923. – Текст : непосредственный // Успехи химии. – 2020. – Т. 89, № 7. – С. 693-712. : 51 структ., 12 схем, 13 рис. – Библиогр.: с. 710-712 (134 назв.). – ISSN 0042-1308. – Имеется электронная версия. – URL: https://www.uspkhim.ru/ukh_fm.phtml?page=paper&paper_id=4923 (дата обращения: 29.09.2020). – Режим доступа: по подписке СГУ.

От спин-меченых конденсированных полиароматических соединений к магнитно-активным графеновым наноструктурам

Ю.А.Тен,^a Н.М.Трошкова,^a Е.В.Третьяков^{a, b*}

^a Новосибирский институт органической химии имени Н.Н.Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук,

Россия, 630090 Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 9

^b Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,

Россия, 630090 Новосибирск, ул. Пирогова, 1

Молекулярный дизайн магнитно-активных графеновых наноструктур — формирующаяся область науки. Основная цель таких исследований — получение графеновых нанолент и графеновых квантовых точек с заданными электронными, оптическими и магнитными свойствами. В обзоре рассмотрены методы синтеза спин-меченых полициклических ароматических углеводородов — гомологических предшественников графеновых наноструктур. Обсуждены достижения и перспективы развития дизайна магнитно-активных графеновых материалов. Библиография — 134 ссылки.

Оглавление

1. Введение	693
2. Графеновые наноструктуры	694
3. Нитроанилины и родственные конденсированные псевдо- и тетраены	697
4. <i>ortho</i> -Бутилнитроксилацетонные полуконденсированные арены	701
5. Магнитно-активные графеновые наноструктуры	704
6. Заключение	709

1. Введение

Развитие современного общества невозможно без использования разнообразных магнитно-активных систем и материалов. В первую очередь речь идет о магнетиках, способных проявлять эффекты магнитного упорядочения по всем

объемам образца. Такие материалы были известны еще в глубокой древности, их использовали для создания первых навигационных приборов.^{1,2} В ходе научно-технической революции потребность в материалах, обладающих заданными магнитными характеристиками, многократно возросла, что привело к открытию и практическому освоению обширного ряда магнетиков на основе переходных и редкоземельных металлов, их разнообразных сплавов, оксидов металлов, других бинарных и тройных соединений.³ Крутым достижением стало успешное использование молекулярного подхода к созданию магнитных материалов на основе органических, металлоорганических и координационных соединений, твердые фазы которых при температуре ниже критической способны претерпевать переход в ферро-, ферримагнитное или слаборамагнитное состояние.^{4–12}

К другой группе магнитно-активных материалов относятся парамагнетики, в состав которых включены изолированные обменно-связанные дуплет- (и болос) спиновые системы. Под воздействием внешних факторов эти системы способны изменять свое состояние, что на микроуровне приводит к дрейфу либо скачку физических характеристик.¹³ Фактически такие материалы способны на молекулярном уровне перекодировать внешний сигнал или внешнее воздействие в легко регистрируемый макропараметр, поэтому их рассматривают в качестве рабочих элементов сверхчувствительных сенсоров, ячеек энергонавязанной магниторезистивной оперативной памяти, а также компонентов квантовых компьютеров.

Ю.А.Тен (Yu.A.Ten). Младший научный сотрудник ИОХ СО РАН.

Телефон: +7(383)330-8859, e-mail: ten@ioch.nsc.ru

Область научных интересов: химия гетероциклических соединений, стабильные органические радикалы, высокосолеватые системы.

Н.М.Трошкова (N.M.Troshkova). Кандидат химических наук, научный сотрудник того же института.

Телефон: +7(383)330-8859, e-mail: troshkova@ioch.nsc.ru

Область научных интересов: органический синтез, аукофильное замещение в ароматических и родственных соединениях, разработка методов синтеза новых эффективных биологически активных соединений.

Е.В.Третьяков (E.V.Tret'yakov). Доктор химических наук, заведующий лабораторией, заместитель директора по научной работе ИОХ СО РАН; старший преподаватель НГУ.

Телефон: +7(383)330-9171, e-mail: tret'yakov@ioch.nsc.ru

Область научных интересов: функционально-ориентированный синтез, химия гетероциклических соединений, в том числе фторированных, стабильные органические радикалы, гетероспиновые системы, молекулярный дизайн магнетиков.

ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МИКРОВОЛНОВОГО ГИГАНТСКОГО МАГНИТОРЕЗИСТИВНОГО ЭФФЕКТА В МАГНИТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСТРУКТУРАХ

© 2019 г. Д. В. Перов^а, А. Б. Ринкевич^{а,*}^аИнститут физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН,
620108 Россия, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18

*e-mail: rin@imp.uran.ru

Поступила в редакцию 25.07.2018 г.

После доработки 28.08.2018 г.

Принята к публикации 17.09.2018 г.

Выполнен численный анализ частотных характеристик гигантского магниторезистивного эффекта в магнитных металлических наноструктурах. Показано, что существуют два предельных случая, когда параметры микроволнового гигантского магниторезистивного эффекта сильно различаются. В частности, на частотах сантиметрового и миллиметрового диапазонов электромагнитных волн для металлических магнитных наноструктур толщиной от 0,5 до 200 нм существует взаимнооднозначное соответствие между гигантским магниторезистивным эффектом и его микроволновым аналогом.

Ключевые слова: магнитные металлические наноструктуры, микроволны, гигантский магниторезистивный эффект

DOI: 10.1134/S0015323019040107

ВВЕДЕНИЕ

Всплеск интереса к физике металлических наноструктур начался в 1988 г. с открытия гигантского магниторезистивного эффекта (GMR) [1]. Впоследствии было установлено существование осциллирующего межслоевого обменного взаимодействия, которое может менять знак в зависимости от толщины спейсера, исследованы наноструктуры с антиферромагнитным и неколлинеарным упорядочением соседних ферромагнитных слоев, установлена специфика кластерно-слоистых наноструктур. В настоящее время наибольшее внимание уделяется созданию наноструктур, обладающих специальными свойствами, которые, например, пригодны для применения в магнитных сенсорах [2]. В [3] было установлено существование микроволнового гигантского магниторезистивного эффекта (μ GMR). Ключевое значение для развития этого направления имела [4], в которой было предложено использовать измерение коэффициента прохождения микроволн через наноструктуру как основной микроволновой метод исследования. Вскоре был обнаружен μ GMR при отражении микроволн от металлической сверхрешетки [5] и μ GMR в конфигурации "высокочастотный ток течет перпендикулярно плоскости слоев [6]. Оказалось, что на микроволновых частотах относительное изменение модуля коэффициента прохождения волны относительно

значное соответствие наблюдалось для металлических наноструктур различного состава, с различной толщиной спейсера и различным магнитным упорядочением соседних ферромагнитных слоев, в наноструктурах со сплошными слоями и в кластерно-слоистых системах [7–10]. Однако некоторые экспериментальные данные не подтверждают факта взаимнооднозначного соответствия μ GMR и GMR. Например, этого соответствия нет в гранулярных системах [11], а также в металлических сверхрешетках на частотах инфракрасного диапазона [12, 13]. В работе [14] проведен анализ эффекта μ GMR в широком интервале частот и из общего выражения для коэффициента прохождения электромагнитных волн через металлическую пластину были найдены два частных случая. Первый относится к наноструктурам толщиной в десятки и сотни нанометров и соответствует диапазону микроволн. В этом случае должно выполняться взаимно-однозначное соответствие μ GMR и GMR. Второй относится к крайне тонким наноструктурам с общей толщиной металла не более единиц нанометров. В этом частном случае взаимно-однозначное соответствие отсутствует, а μ GMR и GMR имеют разный знак. До настоящего времени, однако, остается неясным, какие требования накладываются на частоту волны для выполнения частных случаев, как влияет толщина наноструктуры и какие особенности в этом полем.

Перов, Д. В. Частотная зависимость микроволнового гигантского магниторезистивного эффекта в магнитных металлических наноструктурах / Д. В. Перов, А. Б. Ринкевич. – DOI 10.1134/S0015323019040107. – Текст : непосредственный // Физика Металлов и Металловедение. – 2019. – Т. 120, № 4. – С. 360–365. : 4 рис. – Библиогр.: с. 365 (16 назв.). – ISSN 0015-3230. – Имеется электронная версия. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37135720> (дата обращения: 12.09.2021). – Режим доступа: свободный.

ПРОХОЖДЕНИЕ МИКРОВОЛН ЧЕРЕЗ МАГНИТНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НАНОСТРУКТУРЫ

© 2020 г. А. Б. Ринкевич^{а,*}, Е. А. Кузнецов^{а,б}, М. А. Миляев^а, Л. Н. Ромашев^а, В. В. Устинов^а^аИнститут физики металлов УрО РАН, ул. С. Ковалевской, 18, Екатеринбург, 620108 Россия^бФГАОУ ВО "Российский государственный профессионально-педагогический университет",

ул. Машиностроителей, 11, Екатеринбург, 620012 Россия

*e-mail: rin@imp.uran.ru

Поступила в редакцию 21.07.2020 г.

После доработки 11.08.2020 г.

Принята к публикации 19.08.2020 г.

Рассмотрено проникновение электромагнитных волн дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов через магнитные металлические наноструктуры. Приведена подробная информация о микроволновом гигантском магниторезистивном эффекте. Рассмотрены проявления ферромагнитного и спин-волнового резонансов в прохождении микроволн через наноструктуры.

Ключевые слова: металлические наноструктуры, гигантский магниторезистивный эффект, микроволны

DOI: 10.31857/S0015323020120116

ВВЕДЕНИЕ

Бурное развитие физики металлических наноструктур началось с открытия эффекта гигантского магнитосопротивления [1, 2]. Этот эффект наблюдается в металлических наноструктурах, в которых есть по крайней мере два слоя, магнитные моменты внутри которых ферромагнитно упорядочены. Соседние ферромагнитно упорядоченные слои разделены неферромагнитной прослойкой – спейсером. Толщина спейсера такова, что соседние ферромагнитные слои связаны обменным взаимодействием. В наноструктурах разного типа (сверхрешетках, спиновых клапанах, трехслойных наноструктурах и др.) реализуется различная магнитная структура, которая может управляться магнитным полем. Управление спином электрон в структурах пониженной размерности составляет предмет современной области науки – спинтроники [3–6]. Сильная зависимость электросопротивления металлических наноструктур от магнитного поля быстро нашла практическое применение во многих областях техники, в первую очередь в сенсорах и устройствах магниторезистивной памяти. Поэтому сразу возник вопрос, до каких частот может осуществляться гигантский магниторезистивный эффект (GMR), и может ли он реализовываться в диапазоне микроволн и в оптике? Ответ на эти вопросы был дан в последующих работах. Тот факт, что эффект GMR реализуется на мик-

роволн через наноструктуру, и этот метод оказался очень эффективным. Сам эффект в микроволновом диапазоне частот получил название "микроволновой гигантский магниторезистивный эффект" (μ GMR). Эффект GMR наблюдали также на инфракрасном излучении [10]. В этом обзоре мы сосредоточимся, в основном, на специфике μ GMR применительно к дециметровым, сантиметровым и миллиметровым волнам, т.е. к частотам от $\sim 0,5$ до ~ 100 ГГц. Обзор ранних работ по μ GMR был опубликован в 2009 г. [11]. С тех пор прошло более десяти лет, в рассматриваемой области появились новые направления и накоплен существенно новый экспериментальный материал.

Структура настоящего обзора такова. Сначала будут изложены результаты исследования межслоевого обменного взаимодействия и "обычного" GMR, т.е. измеряемого на постоянном токе или токе низкой частоты. Затем будут приведены некоторые сведения о выращивании и аттестации металлических наноструктур, об их магнитных и магниторезистивных свойствах. Эти вопросы родственны основной теме обзора, и здесь не дается сколько-нибудь полного их изложения. Цель их обсуждения в обзоре – дать представление об этих проблемах и привести необходимые литературные ссылки. Далее будет раскрыта физика метода прохождения микроволн, будет указано, от каких параметров наноструктуры зависят прошедший и

Прохождение микроволн через магнитные металлические наноструктуры / А. Б. Ринкевич, Е. А. Кузнецов, М. А. Миляев, Л. Н. Ромашев, В. В. Устинов. – DOI 10.31857/S0015323020120116. – Текст : непосредственный // Физика Металлов и Металловедение. – 2020. – Т. 121, № 12. – С. 1239–1270. : 1 табл., 32 рис. – Библиогр.: с. 1266–1270 (123 назв.). – ISSN 0015-3230. – Имеется электронная версия. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44262575> (дата обращения: 12.09.2021). – Режим доступа: свободный.

Размерные магнитоакустические эффекты при резонансном рассеянии продольных фононов слоистой магнитной структурой

С. В. Тарасенко⁺¹⁾, В. Г. Шавров*^{*)}Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина, 83114 Донецк, Украина¹⁾Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, 125009 Москва, Россия

Поступила в редакцию 19 января 2021 г.

После переработки 10 марта 2021 г.

Принята в публикации 10 марта 2021 г.

Для магнитного слоя с границами скольжения в неограниченной немагнитной среде косвенное спин-спиновое взаимодействие через поле виртуальных фононов, поляризованных в плоскости падения, может приводить к появлению связанных состояний магнитных поляронов в слоистом спектре акустических объемных лэмбовских магнитоакустических мод. Если на такой слой извне падает продольная плоская объемная упругая волна, то данный механизм обеспечивает и формирование как акустомангнитного резонанса Фано, так и его коллине, а для конечной системы эквадистантных магнитных слоев – еще и реализацию эффекта акустического сверхзвучения. Падение квазиплоской продольной волны может сопровождаться резким усилением углового эффекта Шоха.

DOI: 10.31857/S1234567821070090

В основе возникшей в последние годы новой волны активного исследовательского интереса к магнитоакустике гибридных магнитных структур лежат не только задачи создания новых классов управляемых акустических метаматериалов [1, 2], но и бурное развитие магнитной спинтроники [3–5], предостерегающей отказ от использования зарядовых токов в пользу токов спиновых, способных перетекать без переноса массы и электрического заряда. Ожидается, что это позволит создавать гораздо более компактные и быстродействующие устройства для хранения и переработки информации. Спиновые токи могут быть обусловлены не только электронами проводимости, но и магнонами – квазичастицами спектра спиновых волн, и класс отсутствующих динамических эффектов, представляющих не только чисто академический, но и весомый практический интерес, постоянно расширяется. В этой связи, нельзя не отметить спин-торк эффект, спиновый пампинг, прямой и обратный спиновые эффекты Холла, спин-волновую электродинамику микрорезонаторов, эффекты спиновой сверхтекучести и Бозе-Эйнштейновской конденсации в газе магновнов и т.д. На этом фоне значительное внимание уделяется также и изучению условий взаимодействия магновнов с другими типами элементарных возбуждений, характерными для физики твердого тела [6, 7],

При этом не только в случае полупроводниковых гетероструктур и зарядовых токов [8], но и в случае магнитных гетероструктур и спиновых токов решение задач как оптимизация параметров уже существующих, так и создания принципиально новых спинтронных устройств требует использования таких физических моделей, которые бы наиболее корректно учитывали взаимодействие спиновых токов и упругой подсистемы [9]. Как результат, в настоящее время активно проводится исследование в области спинтроники [10], магнитоакустики микрорезонаторов [11, 12], спиновой калоритроники [13], линейной и нелинейной акустической накачки спиновых волн [14, 15], переноса фононами спинового углового момента [16, 17], изучения фононных аномалий при Бозе-Эйнштейновской конденсации магновнов в слоистых магнитных гетероструктурах [9, 18] и т.д. Внимание исследователей в основном сосредоточено на магнитной спинтронике магнитных гетероструктур с участием как ферро- (ФМ) [3–5], так и антиферромагнитных (АФМ) [19] материалов, причем не только проводников и полупроводников [3–5], но и диэлектриков [20]. Необходимо отметить, что в отличие от ФМ сред, в АФМ, в частности, имеет место обменное усиление скорости распространения спиновой волны, вследствие чего в неограниченном высокотемпературном АФМ ($T_N > T_D$, где $T_N(T_D)$ – температура Нелля (Дюбая)) [21] на плоскости внешних параметров “частота–волновое число”

*E-mail: s.mall, v.tarasenko@mail.ru

Тарасенко, С. В. Размерные магнитоакустические эффекты при резонансном рассеянии продольных фононов слоистой магнитной структурой // С. В. Тарасенко, В. Г. Шавров. – DOI 10.31857/S1234567821070090. – Текст : непосредственный // Письма в ЖЭТФ. – 2021. – Т. 113, № 7. – С. 475–485. : 1 рис. – Библиогр.: с. 484–485 (44 назв.). – ISSN 0370-274X. – Имеется электронная версия. – URL: http://jetpletters.ru/ps/2329/article_34636.shtml (дата обращения: 12.05.2021). – Режим доступа: свободный.

Плазмон-магнонное взаимодействие в системе графен–антиферромагнитный диэлектрик

А. М. Пикалов⁺¹⁾, А. В. Дорофенко^{*)}, А. Б. Грановский⁺²⁾^{*)}Физический факультет, МГУ им. М. В. Ломоносова, 119991 Москва, Россия¹⁾Институт радиоконструкций им. В. А. Котельникова РАН, 125009 Москва, Россия²⁾Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН, 125412 Москва, Россия³⁾Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова, 119991 Москва, Россия

Поступила в редакцию 3 марта 2021 г.

После переработки 12 марта 2021 г.

Принята в публикации 14 марта 2021 г.

Для системы графен–антиферромагнитный диэлектрик исследовано влияние плазмон-магнонного взаимодействия на распространение гибридной волны вдоль поверхности графена. Рассмотрены три антиферромагнетика NiO, FeF₂ и MgF₂ с различными частотами антиферромагнитного резонанса и терагерцовой области и различным затуханием магновнов. Получено, что плазмон-магнонное взаимодействие проявляется в изменении дисперсионного соотношения вблизи частоты антиферромагнитного резонанса, а эффективность этого взаимодействия зависит от положения уровня Ферми в графене и затухания магновнов.

DOI: 10.31857/S1234567821080061

1. Введение. Впервые вопрос о плазмон-магнонном взаимодействии (ПМВ) был поставлен Барьяхтаром и др. [1], но не получил значительного развития. Это связано с тем, что такое взаимодействие существенно только когда плазменная частота порядка характерных частот спиновых волн, что не выполняется для ферромагнитных металлов, для которых плазменные частоты наблюдаются в ультрафиолетовом диапазоне частот, т.е. на много порядков больше частот ферромагнитного резонанса (ФМР). Ситуация не улучшается в ферромагнитных магнитных полупроводниках (например, доширопальных халькогенидах Eu) или разбавленных магнитных полупроводниках (например, GaAs: Mn или Si: Mn), так как даже при малой концентрации носителей заряда в полупроводниках плазменный резонанс все еще не достигает области ФМР, для них обычно лежашего в мегагерцовом диапазоне. Так, в работе [2] показано, что перенормировка спектров плазмовнов и магновнов за счет их взаимодействия в ферромагнитных полупроводниках пренебрежимо мала, хотя и возможно взаимное влияние на времена жизни плазмовнов и магновнов. В антиферромагнитных металлах за счет обменного усиления антиферромагнитный резонанс (АФМР) уже может наблюдаться в области 10–100 ГГц [3].

но и в этом случае плазменные частоты выше, а затухание магновнов так велико, что влияние ПМВ незначительно. Таким образом, в однородных ферромагнитных и антиферромагнитных материалах ПМВ не имеет места. Открытие графена и графеноподобных материалов, для которых плазменные частоты лежат в терагерцовом диапазоне [4, 5] и наличие в том же диапазоне АФМР для целого ряда антиферромагнитных диэлектриков [6–8] приводят к теоретической возможности эффективного ПМВ в композитных системах графен–антиферромагнитный диэлектрик. Учитывая важность несоединенного терагерцового диапазона частот [4], возможность управления плазмовнами магнитным полем и магнонами электрическим полем или оптическим излучением [9] и развитие магноники [10], определение оптимальных условий для осуществления ПМВ представляется важной задачей.

В недавней работе [11] дано детальное описание электромагнитных мод в системе, состоящей из антиферромагнетика (АФМ) и подвешенного над ним графена. В частности, показаво, что в присутствии АФМ ТМ-мода в графене демонстрирует резонанс на частоте АФМР. Однако при этом анализе авторы пренебрегли всеми диссипативными эффектами

Пикалов, А. М. Плазмон-магнонное взаимодействие в системе графен–антиферромагнитный диэлектрик // А. М. Пикалов, А. В. Дорофенко, А. Б. Грановский. – DOI 10.31857/S1234567821080061. – Текст : непосредственный // Письма в ЖЭТФ. – 2021. – Т. 113, № 8. – С. 527–532. : 1 табл., 5 рис. – Библиогр.: с. 531–532 (16 назв.). – ISSN 0370-274X. – Имеется электронная версия. – URL: http://jetpletters.ru/ps/2333/article_34683.shtml (дата обращения: 12.05.2021). – Режим доступа: свободный.

Science

16 November 2001

ISSN 0036-8075
CODEN SCIEN
Page 1484-1488

Magnetism & Materials



AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

С
Т
А
Т
Ь
И

С
Т
А
Т
Ь
И

Freeman, M. R. Advances in magnetic microscopy / M. R. Freeman, B. C. Choi. – DOI:10.1126/science.1065300. – Текст : непосредственный // Science. – 2001. – Vol. 294, Iss. 5546. – P. 1484-1488. : 5 Fig. – Bibliogr.: P. 1487-1488 (56 ref.). – ISSN 0036-8075. – Имеется электронная версия. – URL: <https://www.science.org/lookup/doi/10.1126/science.1065300> (дата обращения: 24.09.2021). – Режим доступа: по подписке СГУ.

Advances in Magnetic Microscopy

M. R. Freeman and B. C. Choi

A remarkable number of methods for direct, real-space imaging in magnetic microscopy have been demonstrated over the past decade and a half, and the pace of development shows no sign of slowing. Our understanding of magnetism increases as each striking new image of surface and thin-film magnetization is obtained. The continued development of high-performance magnetic information technologies also requires detailed study of the magnetostatics and dynamics of microscopic magnetic structures. Both fundamental curiosity and practical interest now drive us toward innovations in magnetic microscopy for nanometer-length scale and femtosecond temporal resolutions, which are beyond the limits of traditional imaging techniques. This survey is intended to provide an overview of the motivations, accomplishments, and future prospects for this discipline.

Our desire to observe the natural world beyond the limitations of our five senses has driven the development of many new tools. In the case of vision, when objects are too small, distant, or faint, or are moving too quickly or slowly to observe with the unaided eye, we have developed telescopes, microscopes, and cameras to render them visible. The story of imaging of magnetic systems is an interesting case in point, for here we are dealing with a physical phenomenon that is detectable only by our sense of touch with the magnetic force on strongly magnetized objects. The interaction of magnetism with light can be observed by the naked eye only under very special circumstances and only since Faraday's discovery of the magnetic influence on optical polarization. Nonetheless, a very impressive suite of tools has been developed over the intervening 150 years that renders magnetic phenomena and structure as images, thus making them "visible" to the naked eye. Some of these techniques are based on such modern instruments as the scanning tunneling microscope, whereas others harken back to Faraday or even to the direct detection of magnetic forces. Recent advances have given us the ability to directly image magnetic structure on surfaces with atomic resolution and to resolve element-specific contributions to magnetism in complex materials.

The Role of Imaging in Micro- and Nanomagnetism

Magnetism in solids arises on a local scale through quantum mechanical exchange among electrons of neighboring atoms. In ferromagnets, the exchange favors parallel electron spins, and the spatial magnetic structure can range from wonderfully simple—a uniformly magnetized sample—to woefully

complex. Except for special sample shapes, uniform magnetization carries a magneto-static cost in terms of the energy associated with the long-range interaction between dipoles. The energy can be minimized if the dipoles are not all parallel, hence the formation of magnetic domains. Anisotropy effects that favor the orientation of magnetization along certain crystallographic directions further complicate the situation. The essence of this competition is summarized by so-called "exchange lengths," which dictate the minimum scale on which important variations in the direction of magnetization can occur and are often in the nanometer range. In the non-equilibrium regime, the presence of excess energy leads to additional complication including nucleation and growth of domains, propagation of spin-wave excitations on very short wavelengths, and generation of magnetostatic modes akin to the vibrations of a drumhead. The most successful model of this physics is classical (treating small volumes of material as big magnetic moments) and phenomenological: it is hand-built and constructed to follow reasonable guiding principles such as conserving the magnitude of the big moments, allowing only their directions to change. Only now are the tools becoming available to fully test this description against the complex behavior that can occur even in microscopic specimens and point the way toward improvements. A fully quantum-mechanical treatment of these problems remains intractable, but we can now perform experiments sufficiently detailed and controlled that some might regard them as "analog computations." From an applications perspective, the drive toward goals of magnetic recording at Tbit/in² areal densities and Gbit/s data rates and beyond and of very large-scale integrated magnetic logic, magnetic random access memory, and spintronics calls for very high-performance microscopies applied to materials analysis and device characterization.

Mapping Stray Magnetic Fields

The imaging techniques currently in use may be loosely classified into two (slightly overlapping) groups, according to the physical mechanism of interaction between the probe and sample, that is, stray field mapping and magnetization mapping. The earliest magnetic imaging was of fringing fields around permanent magnets, and helped set the stage for the unified understanding of electricity and magnetism. Circular patterns of iron filings around current-carrying wires (Oersted, Davy, Ampère), and the familiar bowing shapes emanating from the poles of bar magnets (Fig. 1) were fundamental observations described as field lines by Faraday (1) and later set to mathematics by Maxwell. For a long period, the iron filing method as refined by Bitter offered the greatest spatial resolution. In the Bitter method, the surface of a magnetic material is dusted with magnetic nanoparticles, which are derived either from a colloidal suspension or from an evaporant if the sample is in a vacuum or cryogenic environment. In the settling of this magnetic smoke, the particles agglomerate in the stray micromagnetic fields at domain walls. The final decoration is imaged under an optical or electron microscope, allowing very small (<100 nm) magnetic features to be resolved in multidomain ferromagnets, or in superconductors penetrated by a magnetic field.

Subsequent to Bitter, various magnetic field imaging techniques have been developed. The instrument most widely used now is the magnetic force microscope (MFM). The MFM is a variant of the noncontact atomic force microscope (AFM) first demonstrated in 1987 (2, 3). In MFM, the magnetic contrast is achieved through the magneto-static interaction between a ferromagnetic tip and the stray micromagnetic fields from the sample, in particular at domain boundaries. During measurements, the probe tip vibrates perpendicular to the sample surface, and the frequency and amplitude of the vibration change in the presence of gradients due to stray magnetic fields. MFM imaging can achieve spatial resolution of less than 10 nm, and the resolution might yet be improved using advanced tip technology, e.g., by modifying probe tips via focused ion beam milling (4). Advantages of MFM include relatively high spatial resolution and simplicity in operation as well as sample preparation. A drawback has been the difficulty of extracting quantitative information directly from MFM images, although the rather complicated interaction between the magnetic tip and sam-

Department of Physics, University of Alberta, Edmonton, Canada T6G 2J1.

Chem Soc Rev

This article was published as part of the
Molecule-based magnets themed issue

Guest editors Joel S. Miller and Dante Gatteschi

Please take a look at the issue 6 2011 [table of contents](#) to access other reviews in this themed issue



www.rsc.org/csr

EDITORIAL

Molecule-based magnets†

Joel S. Miller^a and Dante Gatteschi^b

DOI: 10.1039/C1CS90019F

The past few decades have witnessed a worldwide renaissance of magneto-chemistry to molecular-based magnetism due to a focus on new materials with unusual combinations of physical properties. This is attributed in large part to contributions from molecular chemistry. Molecules offer chemical control akin to

the development of pharmaceuticals and distinctly different structure types with respect to conventional magnets, and thus provide the opportunity for new phenomena, and combinations of properties not observed for classical magnets. One of the milestones was the 1st organic-based ferromagnet, *i.e.* ionic, 'zero-dimensional' (0-D), organic-solvent soluble $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{Me}_2)_2]^{2+}[\text{TCNE}]^{-}$ (TCNE = tetracyanoethylene) would not have been predicted to magnetically order based on the then conventional understanding of magnetism. This is due to the long nonbonded distances between spins. This and numerous other results have generated excitement, which continues and is still expanding today.

Molecule-based materials exhibiting exciting interesting magnetic behaviors that include magnetic ordering with ordering/critical temperatures (T_c) exceeding room temperature, single molecule/chain quantum effects, magnetic state switching *via* photo, thermal, pressure *etc.* control is at a stage where selected topics are poised for reflection *via* reviews to assess the field that includes a perspective for future opportunities. The entire area is too vast to summarize, and certain topics have been recently reviewed; hence herein key and emergent areas are reviewed to provide an impetus to stimulate rapid progress.

A summary of the important aspects of magnetism pertaining to organic/molecule-based magnets, including the

^a Department of Chemistry, University of Utah, 315 S. 1400 E. RM 2124, Salt Lake City, UT 84112-0850, USA. E-mail: jmiller@chem.utah.edu

^b Laboratory of Molecular Magnetism, Department of Chemistry, University of Florence, Via della Lastruccia no. 3/SeSTo, Fiorentino (FI) 50019, Italy. E-mail: dante.gatteschi@unifi.it

† Part of the molecule-based magnets themed issue.



Joel S. Miller

Joel S. Miller is a Distinguished Professor of Chemistry at the University of Utah. He has been a Visiting Professor of Chemistry at the Technion, University of Pennsylvania, Universidad de Barcelona, and Professeur Invité, Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaires (ISIS), Université Louis Pasteur, among other institutions. He was an inaugural member of the advisory board of the Journal of Materials Chemistry, and is currently on the advisory board of Advanced Materials and Chemistry—a European Journal, and a member of the Inorganic Synthesis Corporation. His research interests focus on the solid state magnetic, electrical, and optical properties of molecule-based (organic, organometallic, and inorganic coordination) materials and electron transfer complexes as well as the surface modification of solids. He has edited seventeen monographs and published over 500 papers in these and other areas and was recipient of the 2000 American Chemical Society Award for Chemistry of Materials and the 2007 American Physical Society's James C. McGroddy Prize for New Materials among several other awards for designing and discovering organic-based magnets.

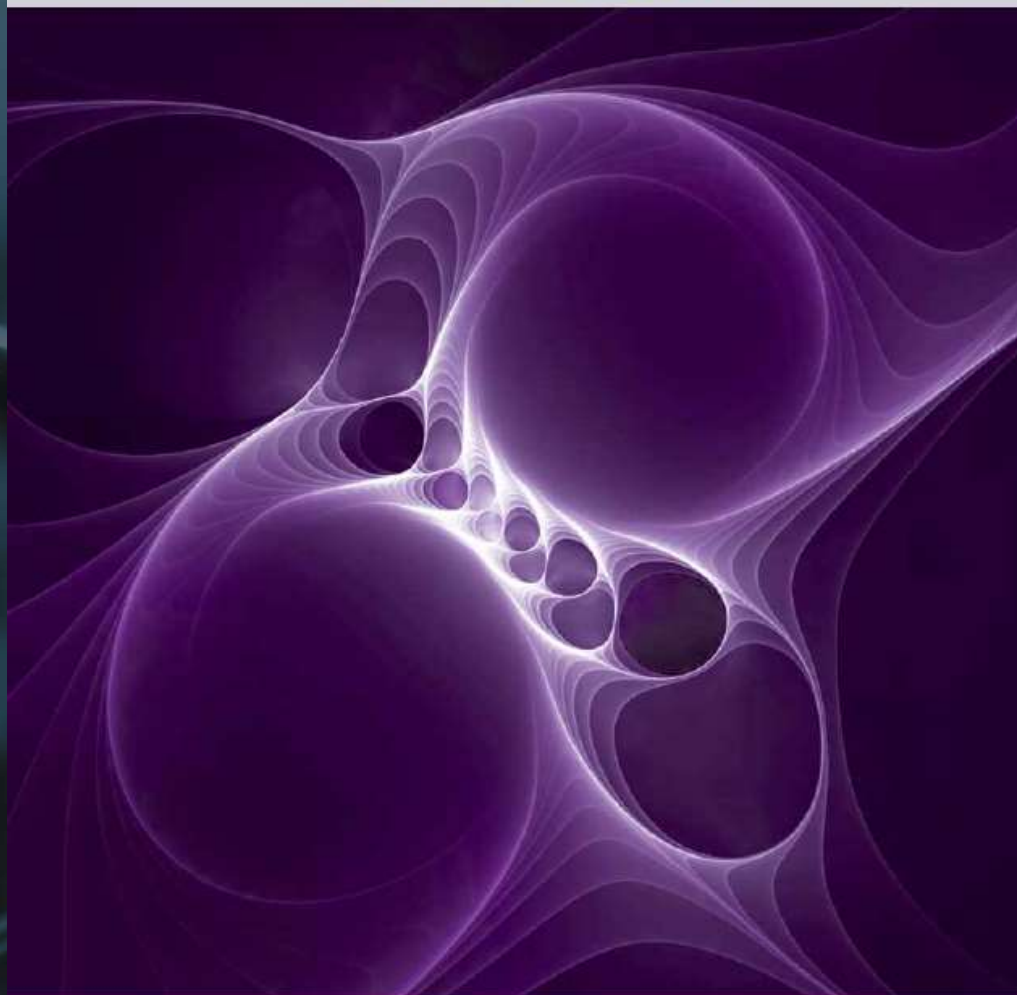


Dante Gatteschi

Dante Gatteschi is Professor of Chemistry at the University of Florence. He has had the van Arkel Chair at the University of Leiden, and the Chaire Blaise Pascal at the Université Pierre et Marie Curie of Paris. He has been on the Advisory Board of several important journals including Journal of Materials Chemistry, Advanced Materials and Angewandte Chemie. His research interests are framed in molecular magnetism where he has brought important contributions in the development of the metal radical approach, the discovery of single molecule magnets and the use of several spectroscopic techniques to characterize the magnetic properties of molecular magnets. He has published more than 600 papers in high impact journals and was recipient of the European Physics Prize in 2002 and the EPR Bruker Award in 2000 among several other awards, and was President of the European Institute of Molecular Magnetism.

Reports on Progress in Physics

The 2009/2010 Collection



IOP Publishing

Emergence of magnetism in graphene materials and nanostructures

Oleg V Yazyev^{1,2}

¹ Department of Physics, University of California, Berkeley, CA 94720, USA

² Materials Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA

E-mail: yazyev@ciwet.berkeley.edu

Received 29 April 2009, in final form 1 December 2009

Published 7 April 2010

Online at stacks.iop.org/RoPP/73/056501

Abstract

Magnetic materials and nanostructures based on carbon offer unique opportunities for future technological applications such as spintronics. This paper reviews graphene-derived systems in which magnetic correlations emerge as a result of reduced dimensions, disorder and other possible scenarios. In particular, zero-dimensional graphene nanofragments, one-dimensional graphene nanoribbons and defect-induced magnetism in graphene and graphite are covered. Possible physical mechanisms of the emergence of magnetism in these systems are illustrated with the help of computational examples based on simple model Hamiltonians. In addition, this review covers spin-transport properties, proposed designs of graphene-based spintronic devices, magnetic ordering at finite temperatures as well as the most recent experimental achievements.

(Some figures in this article are in colour only in the electronic version)

Contents

1. Introduction	1	5.3. Magnetic ordering at finite temperatures	11
2. Brief overview of experimental progress	2	6. Magnetism in graphene and graphite	12
3. Basic computational approaches	3	6.1. Radiation damage and defects in carbon materials	12
3.1. Model Hamiltonians	3	6.2. Defect-induced magnetism in graphene	12
3.2. Counting rules	5	6.3. Magnetism in graphite and multilayer graphene	14
4. Finite graphene fragments: a simple illustration	5	7. Conclusions and perspectives	15
5. Zigzag edges and nanoribbons	7	Acknowledgments	15
5.1. Physical mechanism of edge magnetism	7	References	15
5.2. Possible applications in spintronics	9		

1. Introduction

Magnetic materials are essential for modern technology. All presently used magnetic materials involve the elements belonging to either the d- or the f-block of the periodic table. For instance, among the periodic table elements only the late transition metals, Fe, Co and Ni, are ferromagnets at room temperature. Magnetic ordering in these transition metals originates from the partially filled d-electron bands. However, magnetism is not common for the light p-block elements belonging to the second period of the periodic table, even despite the fact that carbon is able to form very

such materials may possess a number of attractive properties, such as low density, biocompatibility, plasticity and many others, which stimulates the search for light-element based magnetism (Makarova and Palacio 2006).

The field of light-element magnetism and, in particular, of carbon-based magnetism is currently gaining increasing importance for the following two reasons. Firstly, the field of carbon-based magnetism has always been a very controversial area of research which suffered from the poor reproducibility of experimental results. However, the situation seems to have improved over the last few years. Several examples of magnetism in carbon-based materials continue to be reliably

Yazyev, O. V. Emergence of magnetism in graphene materials and nanostructures / O. V. Yazyev. – DOI 10.1088/0034-4885/73/5/056501. – Текст : непосредственный // Reports on Progress in Physics. – 2010. – Vol. 73. – No. 5. – Article Num. 056501 (16 pages) : 19 Fig. – Bibliogr.: P. 15-16 (137 ref.). – ISSN 0034-4885. – Имеется электронная версия публикации. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0034-4885/73/5/056501> (дата обращения: 27.09.2021). – Режим доступа: свободный.



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Physique

www.sciencedirect.com



Science in the making 2: From 1940 to the early 1980s / La science en mouvement 2 : de 1940 aux premières années 1980

Magnetic structures

Structures magnétiques

Juan Rodríguez-Carvajal^{a,*}, Jacques Villain^b^a Diffraction Group, Institut Louis-Langevin, 38054 Grenoble cedex 9, France^b Theory Group, Institut Louis-Langevin, 38054 Grenoble cedex 9, France

ARTICLE INFO

Article history:
Available online 26 July 2019Keywords:
Magnetism
Neutron diffraction
Crystallography
Superspace
Incommensurate structuresMSC-GBS:
Magnétisme
Diffraction des neutrons
Cristallographie
Superspace
Structures incommensurables

ABSTRACT

While ferromagnetism has been known since many centuries, more complex magnetic structures have only been identified in the twentieth century: ferrimagnetism, antiferromagnetism, helimagnetism, modulated structures... Incommensurate or long-period structures have first been deduced as consequences of phenomenological models, e.g. the Heisenberg Hamiltonian. The more fundamental explanation of Ruderhmann, Kittel, Kasuya, and Yoshida relies on the general phenomenon of Friedel oscillations. The coexistence of crystallographic order and magnetic order is sometimes antagonistic and results in sequences of transitions that may be continuous or not. The most effective experimental technique to observe magnetic order is neutron diffraction, but the analysis is sometimes very complicated and requires sophisticated numerical methods involving group theory. In the case of incommensurate structures, it may be useful to consider the three-dimensional system as the section of a higher-dimensional crystal. The determination of magnetic structures from neutron scattering data is facilitated by computers and adequate programs.

© 2019 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

RÉSUMÉ

Alors que le ferromagnétisme est connu depuis des siècles, ce n'est qu'au vingtième siècle qu'on identifia des structures magnétiques plus complexes, comme le ferrimagnétisme, l'antiferromagnétisme, l'héliomagnétisme ou les structures magnétiques modulées. La possibilité de structures incommensurables ou à longue période fut d'abord déduite de modèles phénoménologiques tels que le modèle de Heisenberg. L'explication, plus fondamentale, de Ruderhmann, Kittel, Kasuya et Yoshida repose sur le phénomène général que sont les oscillations de Friedel. L'ordre cristallographique et l'ordre magnétique sont souvent antagonistes, et de leur coexistence résulte souvent une suite de transitions qui peuvent être continues ou non. La technique expérimentale la plus efficace pour l'étude de l'ordre magnétique est la diffraction de neutrons, mais l'analyse est souvent très compliquée et requiert des méthodes numériques élaborées impliquant la théorie des groupes. Dans le cas des structures incommensurables, il peut être intéressant de considérer le système physique tridimensionnel comme la section d'un cristal de

* Corresponding author.

E-mail addresses: jr@ill.eu (J. Rodríguez-Carvajal), villain@ill.fr (J. Villain).

Rodriguez-Carvajal, J. Magnetic structures / J. Rodriguez-Carvajal, J. Villain. – DOI 10.1016/j.crp.2019.07.004. – Texte : непосредственный // Comptes Rendus Physique. – 2019. – Vol. 20, Iss. 7-8. – P. 770-802. : 7 Fig. – Bibliogr.: P. 800-802 (120 ref.). – ISSN 1631-0705. – Имеется электронная версия публикации. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631070519301045> (дата обращения: 16.09.2021). – Режим доступа: свободный.

Tokura, Y. Magnetic Skyrmion Materials / Y. Tokura, N. Kanazawa. – DOI 10.1021/acs.chemrev.0c00297. – Текст : непосредственный // Chemical Reviews. – 2021. – Vol. 121, Iss. 5. – P. 2857-2897 : 1 Tabl., 25 Fig. – Bibliogr.: P. 2888-2897 (368 ref.). – ISSN 0009-2665. – Имеется электронная версия публикации. – URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.0c00297> (дата обращения: 31.05.2021). – Режим доступа: по подписке СГУ.

pubs.acs.org/CR

Review

Magnetic Skyrmion Materials

Yoshinori Tokura* and Naoya Kanazawa*

Cite This: Chem. Rev. 2021, 121, 2857–2897

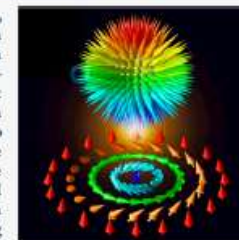
Read Online

ACCESS |

Metrics & More

Article Recommendations

ABSTRACT: Skyrmion, a concept originally proposed in particle physics half a century ago, can now find the most fertile field for its applicability, that is, the magnetic skyrmion realized in helimagnetic materials. The spin swirling vortex-like texture of the magnetic skyrmion can define the particle nature by topology; that is, all the constituent spin moments within the two-dimensional sheet wrap the sphere just one time. Such a topological nature of the magnetic skyrmion can lead to extraordinary metastability via topological protection and the driven motion with low electric-current excitation, which may promise future application to spintronics. The skyrmions in the magnetic materials frequently show up as the crystal lattice form, e.g., hexagonal lattice, but sometimes as isolated or independent particles. These skyrmions in magnets were initially found in acentric magnets, such as chiral, polar, and bilayered magnets endowed with antisymmetric spin exchange interaction, while the skyrmion host materials have been explored in a broader family of compounds including centrosymmetric magnets. This review describes the materials science and materials chemistry of magnetic skyrmions using the classification scheme of the skyrmion forming microscopic mechanisms. The emergent phenomena and functions mediated by skyrmions are described, including the generation of emergent magnetic and electric field by statics and dynamics of skyrmions and the inherent magnetoelectric effect. The other important magnetic topological defects in two or three dimensions, such as biskyrmions, antiskyrmions, merons, and hedgehogs, are also reviewed in light of their interplay with the skyrmions.



CONTENTS

1. Introduction	2857
2. Magnetic Skyrmions and Related Topological Spin Textures	2859
2.1. Definition and Topology: Skyrmion, Antiskyrmion, Hedgehog, and Meron	2859
2.2. Lattice vs Particle Pictures	2860
2.3. Magnetic Interactions	2862
3. Chiral Magnets	2863
3.1. MnSi and Fe _{1-x} Co _x Si	2863
3.2. MnGe and MnSi _{1-x} Ge _x	2867
3.3. β -Mn-type Co–Zn–Mn Alloys	2867
3.4. Cu ₂ OSeO ₃	2870
3.5. D _{3d} Crystal: Inverse Heusler MnPtSn	2870
4. Polar Magnets	2871
4.1. GaV ₄ S ₈ and GaV ₄ Se ₈	2871
4.2. VOSe ₂ O ₅	2873
4.3. Heterostructure Interfaces: Co/Pt, SrRuO ₂ /SrIrO ₃ , and Magnetic Topological Insulator	2874
5. Frustrated Magnets	2876
5.1. Gadolinium Compounds: Gd ₂ PdSi ₃ , Gd ₃ Ru ₄ Al ₁₂ , and GdRu ₂ Si ₂	2876
5.2. Perovskite Oxides: SrFeO ₃	2879
6. Emergent Properties and Applications of Skyrmions	2880
6.1. Topological Hall Effect	2880

6.2. Current Drive of Skyrmions	2881
6.3. Multiferroic Properties	2883
6.4. Nonreciprocal Responses	2884
6.5. Topological Transitions: Magnetoresistivity, Thermopower, and Unwinding Process	2885
7. Summary and Outlook	2887
Author Information	2888
Corresponding Authors	2888
Notes	2888
Biographies	2888
Acknowledgments	2888
References	2888

1. INTRODUCTION

The concept of skyrmions was proposed by Skyrme in the 1960s to account for the stability of hadrons in particle physics;^{1,2} there the particles as defined by the quantized topological defects are protected in the sense that they are characterized by a

Special Issue: Quantum Materials

Received: April 13, 2020

Published: November 8, 2020



eLIBRARY.RU

<https://www.elibrary.ru>



НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU

Поиск в библиотеке

Навигатор

- ЖУРНАЛЫ ▶
- КНИГИ ▶
- ПАТЕНТЫ ▶
- ПОИСК ▶
- АВТОРЫ ▶
- ОРГАНИЗАЦИИ ▶
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА ▶
- РУБРИКАТОР ▶
- ССЫЛКИ ▶
- ПОДБОРКИ ▶

Начальная страница

Текущая сессия

Легенда

- Доступ к полному тексту документа открыт
- Полный текст доступен на сайте издателя
- Полный текст может быть получен через систему заказа
- Доступ к полному тексту закрыт
- Если иконки нет - полный текст документа отсутствует в НЭБ

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ В ПОДБОРКЕ

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАНОСТРУКТУРЫ

Параметры

Всего найдено публикаций: **242** из **242**. Показано на данной странице: с **1** по **100**.

	Публикация	Цит.
1	ГИГАНТСКИЙ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ В ОТРАЖЕНИИ МИКРОВОЛН ОТ СВЕРХРЕШЕТОК (COFE)/SU <i>Рянкевич А.Б., Кузнецов Е.А., Перов Д.В., Миляев М.А.</i> Журнал технической физики. 2021. Т. 91. № 2. С. 308-314.	0
2	НОВОЕ СЕМЕЙСТВО ПЛАЗМЕННЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В ЧАСТИЧНО ЭКРАНИРОВАННОЙ ДВУМЕРНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЕ <i>Зарезин А.М., Гусихин П.А., Муравьев В.М., Губарев С.И., Кукушкин И.В.</i> Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 158-163.	0
3	РЕЛАКСАЦИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В ДВУМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ <i>Семенов Н.Д., Андреев И.В., Муравьев В.М., Губарев С.И., Кукушкин И.В.</i> Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 164-169.	0
4	НАБЛЮДЕНИЕ СПИНОВОГО РЕЗОНАНСА ДВУМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРОВОДИМОСТИ В БЕСКОНТАКТНОЙ ГЕОМЕТРИИ <i>Хисамеева А.Р., Щепетильников А.В., Нефёдов Ю.А., Кукушкин И.В.</i> Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 170-174.	0
5	ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ АПТАМЕРАМИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В КАЧЕСТВЕ SERS-СУБСТРАТОВ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ БЕЛКОВ <i>Грибанев Д.А., Завьялова Е.Г., Гамбарян А.С., Кукушкин В.И., Рудакова Е.В., Амбарцумян О.А.</i> Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 175-181.	0
6	ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ НА ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДА КРЕМНИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА SERS-ПОДЛОЖЕК <i>Кукушкин В.И., Астраханцева А.С., Морозова Е.Н.</i> Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 182-189.	0
7	ТЕРМАЛИЗАЦИЯ ТРИПЛЕТНЫХ МАГНИТОЭКСИТОНОВ И СПИНОВЫЙ ТРАНСПОРТ В ХОЛЛОВСКОМ ДИЭЛЕКТРИКЕ <i>Горбунов А.В., Журавлев А.С., Кулик Л.В., Тимофеев В.Б.</i> Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 190-195.	0
8	ИЗУЧЕНИЕ ЧАСТИЧНО ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ПО СПИНУ ДВУМЕРНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ВРЕМЯ-РАЗРЕШЕННОГО МАГНИТО-ОПТИЧЕСКОГО ВРАЩЕНИЯ КЕРРА <i>Ларионов А.В., Степанец-Хуссейн Э., Кулик Л.В.</i> Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 196-201.	0

Поиск > Результаты

<https://www.webofscience.com>

16,728 результатов — Web of Science Core Collection для:

"Magnetic Materials" (Тема)

Анализ результатов

Отчет по цитированию

Создать оповещение

Копировать ссылку запроса

Публикации

Возможно, вам также понравится...

Уточните результаты

Поиск в результатах по...



Быстрые фильтры

- Review Articles 716
- Early Access 39
- Открытый доступ 3,189

Годы публикаций

- 2022 1
- 2021 781
- 2020 1,046
- 2019 1,020
- 2018 970

Смотреть все

0/16,728

Добавить в список отмеченных публикаций

Экспорт

Цитируемость по убыванию

1 из 335

1 Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine

4,731

Цитирования



Pankhurst, QA; Connolly, J; (...); Dobson, J
Jul 7 2003 | JOURNAL OF PHYSICS D-APPLIED PHYSICS 36 (13) , pp.R167-R181

The physical principles underlying some current biomedical applications of magnetic nanoparticles are reviewed. Starting from well-known basic concepts, and drawing on examples from biology and biomedicine, the relevant physics of magnetic materials and their responses to applied magnetic fields are surveyed. The way these properties are con ... [Больше](#)

[Полный текст у издателя](#) *** [View PDF with EndNote Click](#)

148

Ссылки

[Связанные записи](#)

2 Making nonmagnetic semiconductors ferromagnetic

4,394

Цитирования



Ohno, H
Aug 14 1998 | SCIENCE 281 (5379) , pp.951-956

Semiconductor devices generally take advantage of the charge of electrons, whereas magnetic materials are used for recording information involving electron spin. To make use of both charge and spin of electrons in semiconductors, a high concentration of magnetic elements can be introduced in nonmagnetic III-V semiconductors currently in use for device: ... [Больше](#)

[Полный текст у издателя](#) ***

34

Ссылки

[Связанные записи](#)

73,604 результата поиска документов

KEY ("Magnetic Materials")

[✎ Редактировать](#) [📁 Сохранить](#) [🔔 Настроить оповещение](#)<http://www.scopus.com>

Scopus®

Искать в результатах...



Уточнить результаты

[Ограничить](#)[Исключить](#)

Open Access (открытый доступ) ^

 All Open Access (8 268) > Gold (1 349) > Hybrid Gold (410) > Bronze (2 400) > Green (5 570) >[Подробнее](#)[Документы](#) [Вспомогательные документы](#) [Патенты](#)[📊 Анализировать результаты поиска](#)[Показать все краткие описания](#) [Сортировать по: Цитирования \(по убыванию\)](#) ▾

Все ▾

[Экспорт](#)[Download](#)[Посмотреть обзор цитирования](#)[Посмотр цитирующих документов](#)[Добавить в список](#)

...



	Название документа	Авторы	Год	Источник	Цитирования
<input type="checkbox"/> 1	Magnetic nanoparticles: Synthesis, protection, functionalization, and application	Lu, A.-H., Salabas, E.L., Schüth, F.	2007	Angewandte Chemie - International Edition 46(8), с. 1222-1244	5207
	Просмотр краткого описания ▾ View at Publisher Связанные документы				
<input type="checkbox"/> 2	Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine	Pankhurst, Q.A., Connolly, J., Jones, S.K., Dobson, J.	2003	Journal of Physics D: Applied Physics 36(13), с. R167-R181	5026



**...Вряд ли когда-нибудь
найдётся человек, который
возьмет на себя смелость
утверждать: «Я постиг
загадку магнита!»...**