

УНИВЕРСИТЕТЫ РОССИИ




Н. В. Кудреватых, А. С. Волегов

ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ

И ИХ СОЕДИНЕНИЯ



 Уральский
федеральный
университет

 Юрайт
издательство
biblio-online.ru



Н. В. Кудреватых, А. С. Волегов

ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

*Рекомендовано методическим советом УрФУ
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся
по программе магистратуры по направлениям подготовки
«Физика», «Стандартизация и метрология»*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**

**Москва ■ Юрайт ■ 2017
Екатеринбург ■ Издательство Уральского университета**

Авторы:

Кудреватых Николай Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов Физического департамента Института естественных наук Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина;

Волегов Алексей Сергеевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов Физического департамента Института естественных наук Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Рецензенты:

Мушников Н. В. – член-корреспондент Российской академии наук, заведующий Лабораторией ферромагнитных сплавов Института физики металлов Уральского отделения Российской академии наук;

Ермоленко А. С. – профессор, доктор физико-математических наук, профессор Института физики металлов Уральского отделения Российской академии наук.

Кудреватых, Н. В.

К88

Физика металлов. Редкоземельные металлы и их соединения : учеб. пособие для вузов / Н. В. Кудреватых, А. С. Волегов. – М. : Издательство Юрайт, 2017 : Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. – 197 с. – Серия : Университеты России.

ISBN 978-5-9916-9977-8 (Издательство Юрайт)

ISBN 978-5-7996-1913-8 (Изд-во Урал. ун-та)

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам, подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии учебники прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции.

В учебном пособии изложены сведения о магнетизме редкоземельных металлов и их интерметаллических соединений, начиная с истории открытия редкоземельных элементов и до современных представлений о природе их магнетизма. Учебное пособие позволит студентам лучше понимать физические принципы использования интерметаллидов в практических приложениях и может служить основой для разработки ими новых магнитных материалов после окончания университета.

Предыдущее издание пособия вышло в Издательстве Уральского университета под названием «Магнетизм редкоземельных металлов и их интерметаллических соединений».

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по естественнонаучным направлениям.

УДК 539.2/6(075.8)

ББК 34.2я73



Delphi Law Company

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-9916-9977-8

(Издательство Юрайт)

ISBN 978-5-7996-1913-8

(Изд-во Урал. ун-та)

© Кудреватых Н. В., Волегов А. С., 2015

© Уральский федеральный университет, 2015

© ООО «Издательство Юрайт», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
1. Краткая история открытия редкоземельных элементов, мировые и российские запасы, практическое применение сплавов и соединений на их основе	6
1.1. История открытия редкоземельных элементов	6
1.2. Краткие сведения о месторождениях и мировых запасах редкоземельных элементов	10
1.3. Российские месторождения редкоземельных элементов	15
1.4. Области потребления редкоземельных элементов	19
2. Электронная структура редкоземельных элементов (положение в периодической системе, квантовые числа и правила Хунда). Магнитные моменты атомов редкоземельных элементов	24
3. Кристаллическая структура редкоземельных металлов. Лантаноидное сжатие	35
4. Магнитная структура редкоземельных металлов	41
5. Феноменология и физическая природа возникновения неколлинеарных магнитных структур в редкоземельных металлах	45
6. Магнитокристаллическая анизотропия в редкоземельных металлах	53
6.1. Математическое описание явления магнитокристаллической анизотропии	53
6.2. Методы определения констант магнитокристаллической анизотропии сильно анизотропных магнетиков	55
6.3. Константы магнитокристаллической анизотропии редкоземельных металлов и эксперименты по выяснению природы анизотропии в них	60
6.4. Элементы теории магнитокристаллической анизотропии по механизму кристаллического поля и анизотропного обмена	65

7. Магнитоупругие явления и магнитострикция в редкоземельных металлах	73
8. Теоретическое рассмотрение температурных зависимостей спонтанной намагниченности и коэффициентов магнитокристаллической анизотропии в рамках локализованной модели	83
9. «Магнитное» применение редкоземельных металлов. Интерметаллиды. Интерметаллические соединения редкоземельных металлов (основные понятия)	88
10. Наиболее типичные кристаллические структуры интерметаллидов на основе редкоземельных элементов	96
11. Обменные взаимодействия в интерметаллидах на основе редкоземельных металлов	103
12. Спонтанная намагниченность соединений редкоземельных элементов на основе железа и кобальта	110
13. Температурные зависимости намагниченности подсистем R- и 3d-ионов в соединениях редкоземельных элементов на основе железа и кобальта	123
14. Магнитокристаллическая анизотропия соединений редкоземельных элементов на основе железа и кобальта	140
15. Анизотропная магнитострикция интерметаллидов R3Э – 3d-элемент	169
15.1. Концентрационные и температурные зависимости констант анизотропной магнитострикции в системе интерметаллидов $(Sm_x Y_{1-x})_2 Co_{17}$	170
15.2. Анизотропная магнитострикция соединений $R_2 Co_{17}$	174
15.3. Анизотропная магнитострикция соединений $Er_2 (Co_{1-x} Fe_x)_{17}$	177
15.4. Анизотропная магнитострикция монокристаллов редкоземельных соединений типа RT_2	182
15.5. Магнитострикционные материалы на основе соединений типа RT_2	188
Заключение	193
Список библиографических ссылок	194
Список рекомендуемой литературы	195