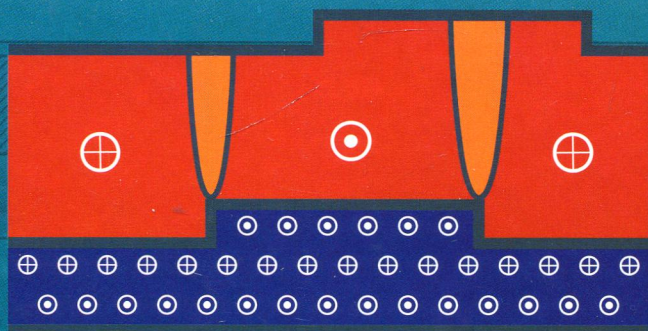


А.И. Морозов  
А.С. Сигов

# ФРУСТРИРОВАННЫЕ МАГНИТНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ



**А.И. Морозов  
А.С. Сигов**

# **ФРУСТРИРОВАННЫЕ МАГНИТНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ**



**МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ®  
2017**

УДК 537.6; 538.9

ББК 22.3

М 80

Морозов А. И., Сигов А. С. **Фрустрированные магнитные наноструктуры.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. — 144 с. — ISBN 978-5-9221-1717-3.

В предлагаемой читателю книге рассмотрены многослойные магнитные наноструктуры, нашедшие широкое применение в считывающих головках жестких дисков и лежащие в основе перспективной магниторезистивной памяти. Показано, что в многослойной системе ферромагнетик–антиферромагнетик поведение магнитных параметров порядка в слоях нанометровой толщины во многом определяется фрустрациями, возникающими на границах раздела слоев. Предсказаны новые типы доменных стенок, порождаемых фрустрациями обменного взаимодействия. Построены фазовые диаграммы «толщина слоя (слоев)–шероховатость» тонкой пленки ферромагнетика на антиферромагнитной подложке и спин-вентильной системы ферромагнетик–антиферромагнетик–ферромагнетик с учетом энергии одноионной анизотропии. Обнаружено, что благоприятным для появления обменного сдвига в системе ферромагнетик–антиферромагнетик является наличие взаимно-перпендикулярных легких осей, лежащих в плоскости слоев. Кроме этого, либо должно существовать связанное состояние доменной стенки на границе раздела, либо должен иметь место пиннинг доменной стенки дефектами кристаллической решетки в антиферромагнетике вблизи границы с ферромагнетиком.

Для научных работников и специалистов в области магнитоэлектроники и магнитных наноструктур.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Глава 1. <b>Вместо введения</b> . . . . .   | 5  |
| 1.1. Магнитные наноструктуры уже в каждом доме. . . . .   | 5  |
| 1.2. Явление гигантского магнетосопротивления . . . . .   | 6  |
| 1.3. Теория ГМС . . . . .   | 11 |
| 1.4. Туннельное магнетосопротивление . . . . .  | 14 |
| 1.5. Спин-поляризованный ток . . . . .  | 15 |
| 1.6. MRAM (магниторезистивная память со случайной выборкой) . . . . .   | 19 |
| 1.7. Суперпарамагнитный порог . . . . .   | 22 |
| Глава 2. <b>Фрустрации обменного взаимодействия</b> . . . . .   | 25 |
| 2.1. Откуда у спина чувство безысходности? . . . . .  | 25 |
| 2.2. Фрустрации в системе с немагнитной прослойкой . . . . .  | 26 |
| 2.3. Фрустрации в системе ферромагнетик–антиферромагнетик . . . . .   | 27 |
| Глава 3. <b>Доменные стенки и фазовая диаграмма спин-вентильной системы с немагнитной прослойкой</b> . . . . .  | 30 |
| 3.1. Доменная стенка, порождаемая фрустрацией . . . . .   | 30 |
| 3.2. Фазовая диаграмма . . . . .  | 32 |
| 3.3. Поведение в магнитном поле . . . . .   | 37 |
| 3.4. Экспериментальные наблюдения . . . . .   | 38 |
| Глава 4. <b>Тонкая пленка ферромагнетика на антиферромагнитной подложке. Нескомпенсированный срез</b> . . . . . | 39 |
| 4.1. Описание модели . . . . .  | 39 |
| 4.2. Уединенная доменная стенка . . . . .   | 40 |
| 4.3. Спиновые вихри . . . . .   | 45 |
| 4.4. Фазовая диаграмма . . . . .  | 47 |
| 4.5. Экспериментальные результаты . . . . .   | 52 |

|   |     |
|---|-----|
| Глава 5. <b>Скомпенсированный срез</b> . . . . .  | 53  |
| 5.1. Спин-флоп ориентация . . . . .   | 53  |
| 5.2. Случай «заряженных» краев атомных ступеней на границе раздела<br>«ферромагнетик–антиферромагнетик» . . . . .                         | 57  |
| Глава 6. <b>Поведение в магнитном поле</b> . . . . .  | 62  |
| 6.1. Обменный сдвиг. Нескомпенсированный срез . . . . .   | 62  |
| 6.2. Обменный сдвиг. Скомпенсированный срез . . . . .   | 65  |
| 6.3. Подложка конечной толщины. «Переключение» нанодоменного со-<br>стояния . . . . .   | 67  |
| 6.4. Обменный сдвиг вблизи температуры Нееля. . . . .   | 75  |
| Глава 7. <b>Спин-вентильная структура ферромагнетик — антифер-<br/>ромагнетик — ферромагнетик</b> . . . . .                               | 81  |
| 7.1. Фрустрации в трехслойной системе. . . . .  | 81  |
| 7.2. Доменные стенки в трехслойной системе . . . . .  | 82  |
| 7.3. Фазовая диаграмма . . . . .  | 88  |
| 7.4. Фазовый переход «полидоменное состояние — монодоменное состо-<br>яние с обменными спиралями» в антиферромагнитной прослойке. . . . . | 95  |
| 7.5. Поведение спин-вентильной структуры в магнитном поле в области<br>применимости обменного приближения . . . . .                       | 100 |
| 7.6. Сравнение с экспериментом. Магнитная фазовая диаграмма спин-<br>вентильной структуры с антиферромагнитным оксидным слоем . . . . .   | 101 |
| Глава 8. <b>Поверхностный спин-флоп переход в антиферромагнетике</b> . . . . .  | 109 |
| 8.1. Объемный спин-флоп переход . . . . .   | 109 |
| 8.2. Случай атомно-гладкой поверхности . . . . .  | 111 |
| 8.3. Размерные эффекты в плоскопараллельном слое антиферромагнетика<br>с гладкими поверхностями . . . . .                                 | 117 |
| 8.4. Полубесконечный антиферромагнетик с нескомпенсированной ше-<br>роховатой поверхностью . . . . .                                      | 122 |
| 8.5. Слой антиферромагнетика с нескомпенсированными шероховатыми<br>поверхностями. . . . .  | 127 |
| 8.6. Возможности экспериментального наблюдения . . . . .  | 135 |
| Глава 9. <b>Заключение</b> . . . . .  | 137 |
| Список публикаций авторов. . . . .  | 138 |