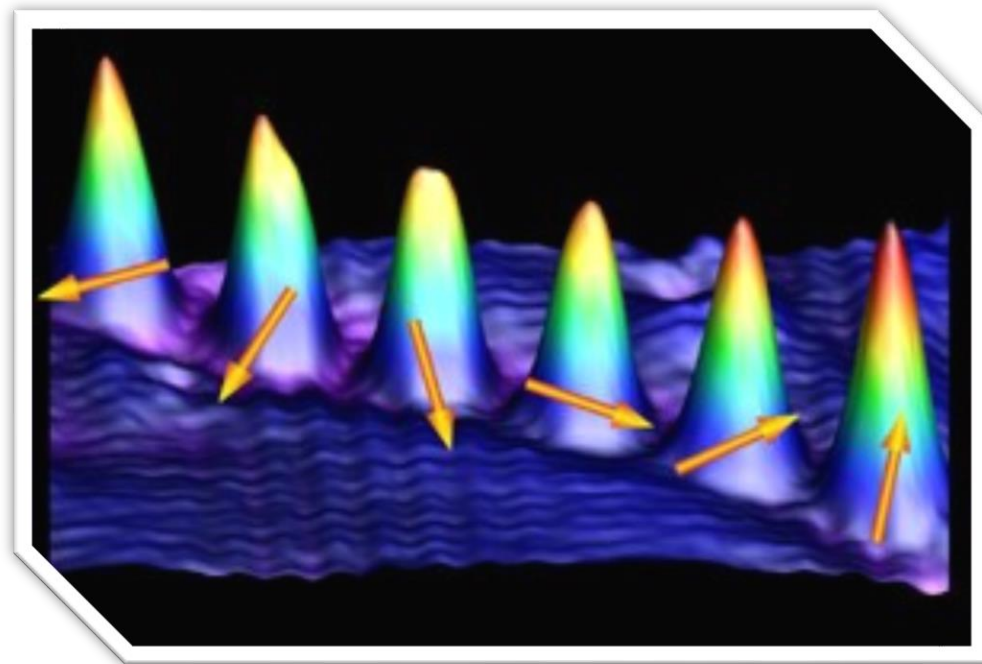


НАНОЭЛЕКТРОНИКА



4. Спинтроника



Основные понятия спинтроники

Спинтроника (спиновая электроника) – раздел квантовой электроники, занимающийся изучением эффектов переноса спинов в твёрдых телах, включая разработку устройств, работающих на эффектах спин-поляризованного транспорта.

Потенциальные преимущества устройств спинтроники:

- 1) высокое быстродействие (переориентация спина ~ пикосекунд)
- 2) возможность использования одноэлектронных устройств
- 3) не происходит выделения тепла, поскольку не изменяется энергия электрона

Базовая идея:

Спиновое состояние электрона можно менять с помощью магнитного поля. Т.е. направление спина может являться величиной единицы информации в функциональной электронике.

$\vec{M} = \vec{m}_S + \vec{m}_L$ – полный магнитный момент электрона

$\vec{m}_S = -\gamma_S \hbar \vec{S}$ – спиновый магнитный момент электрона

\vec{S} – спиновый «механический» момент (квантовая величина), $S_z = \pm \frac{1}{2}$

$\gamma_S = \frac{g_s e}{2m_e c}$ – магнитомеханическое отношение, фактор $g_s = 2.0023$

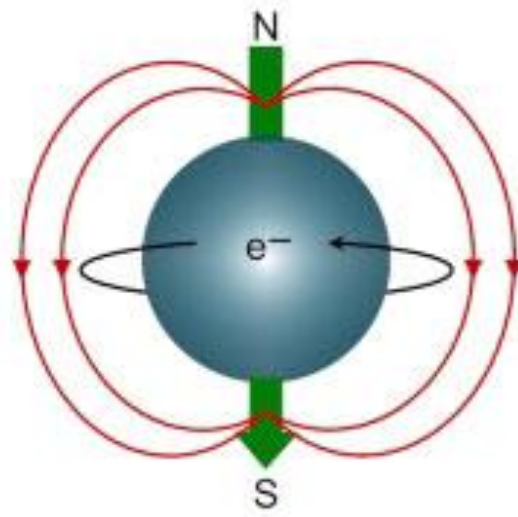
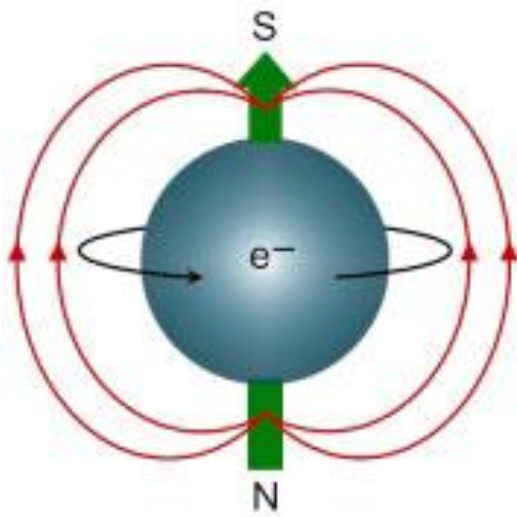
$\vec{m}_L = -\gamma_L \hbar \vec{L}$ – орбитальный магнитный момент электрона

$\gamma_L = \frac{g_L e}{2m_e c}$, причём $g_L = 1$.

\vec{L} – орбитальный механический момент электрона, $L, L-1, \dots - L$

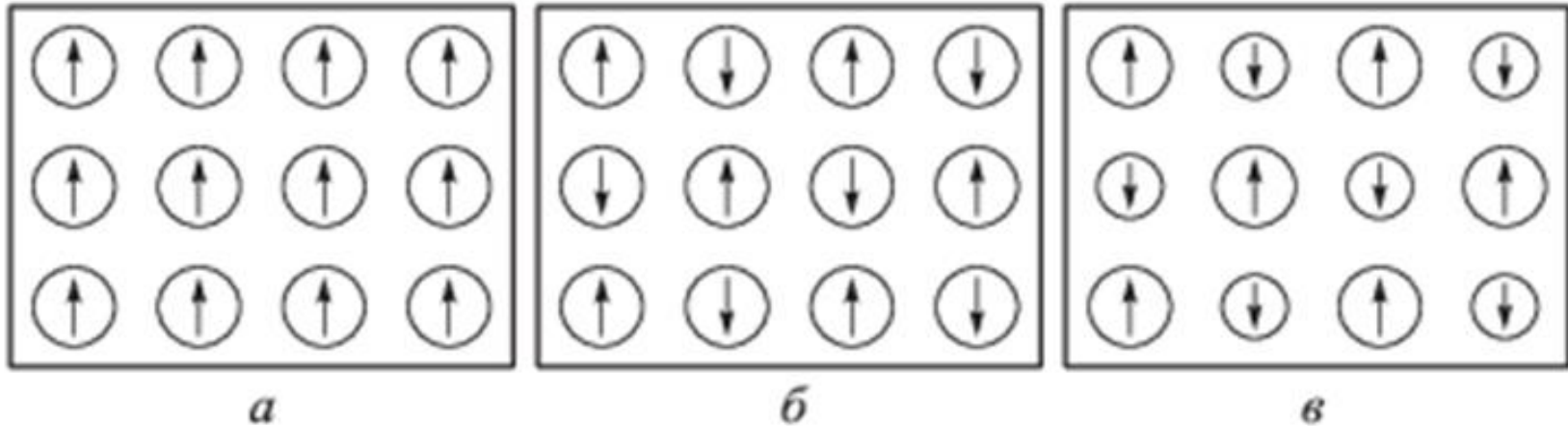
Магнитный момент атома складывается из орбитальных и спиновых моментов всех электронов, входящих в атом, и спинового магнитного момента ядра (влиянием которого можно пренебречь).

Прецессия спина



- а) – spin-up (мажорная) ориентация спина
- б) – spin-down (минорная) ориентация спина
- в) – прецессия орбиты электрона в магнитном поле

Виды взаимодействий



а) ферромагнетик

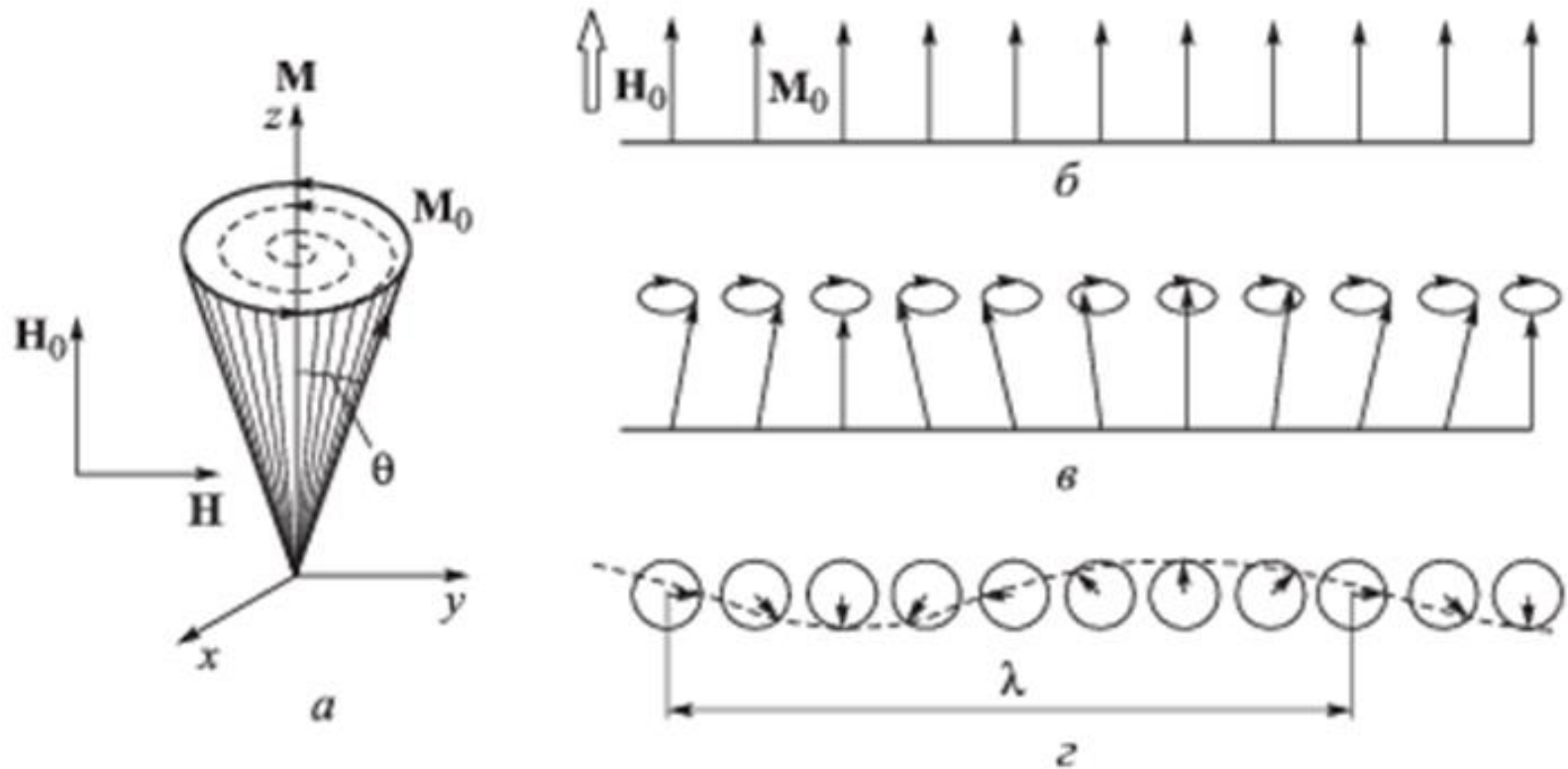
б) антиферромагнетик (слабый парамагнетик)

в) ферримагнетик (феррит)

В магнитоупорядоченных кристаллах проявляется либо магнитное диполь-дипольное взаимодействие (коллективное), либо обменное взаимодействие (короткодействующее).

Обменное взаимодействие есть исключительно квантово-механический способ описания взаимодействия тождественных частиц, являющийся следствием принципа неразличимости частиц в квантовой механике. На малых расстояниях порядка длины волны де Бройля между двумя электронами с сонаправленными спинами возникает отталкивание, в ином случае – притяжение.

Спиновые волны



а) прецессия магнитного момента под действием магнитного поля с частотой $\omega = \gamma H_0$

б-г) схема формирования спиновой волны. Фазовый сдвиг остаётся постоянным при переходе от одного вектора к другому.

Магنون

Магнитостатическая (медленная) волна возникает, если $\lambda \gg a$. Перенос энергии этой волной осуществляется посредством диполь-дипольного взаимодействия. Если же $\lambda \sim a$, то это будет спиновая волна, которая переносит энергию благодаря обменному взаимодействию.

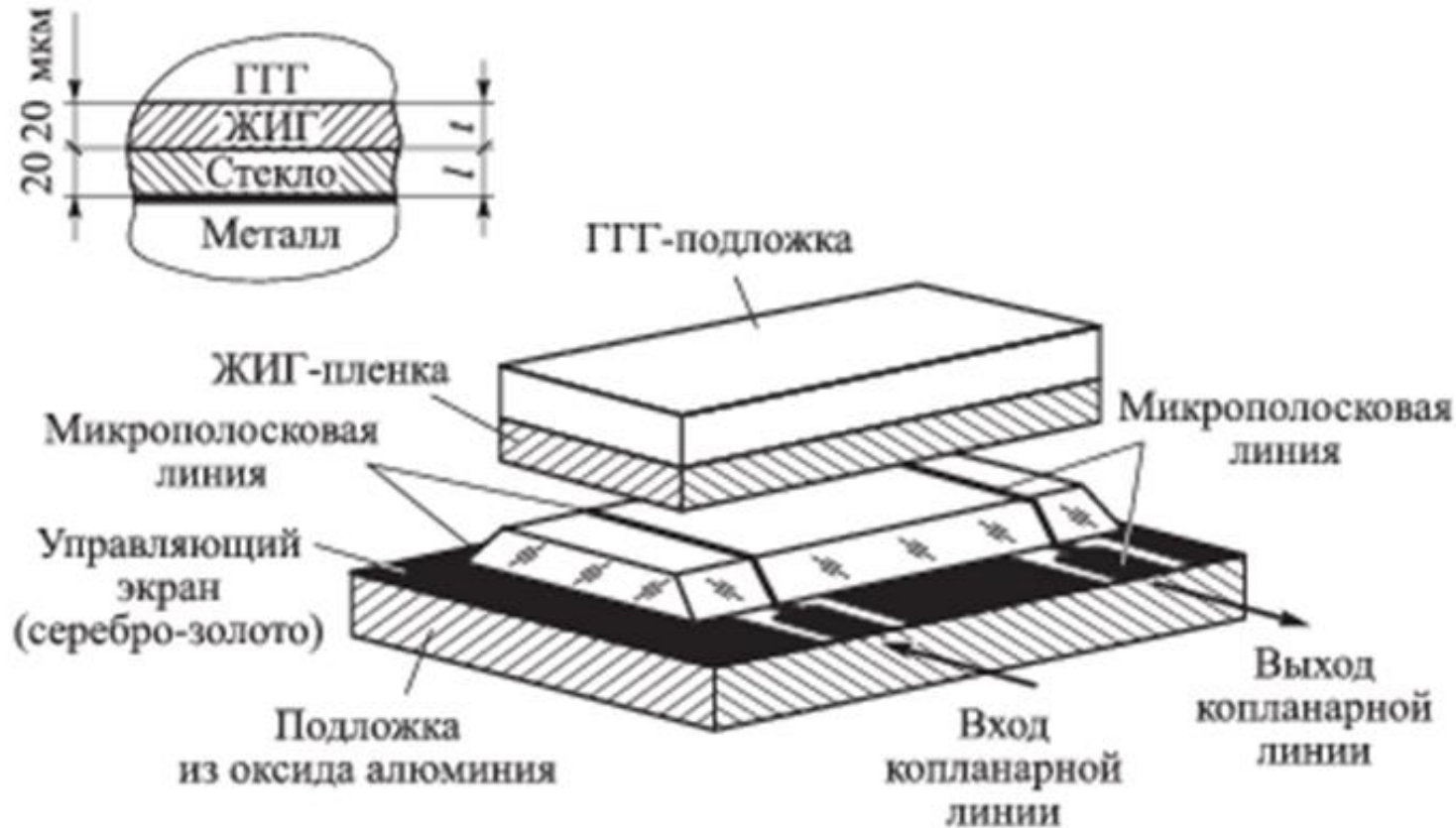
Спиновая волна представляет собой волну нарушения магнитной упорядоченности, иными словами, элементарное возбуждение. Соответствующую спиновой волне квазичастицу (квант спиновой волны) называют **магنون**.

Магنون обладает энергией $E = \hbar\omega$, квазиимпульсом $\vec{p} = \hbar\vec{k}$ и магнитным моментом $\mu_i = \frac{\partial E_i}{\partial H}$. Магنون является бозоном.

Непосредственное доказательство существования магнонов было найдено в 1957 Бертрамом Брокхаузом, который продемонстрировал неупругое рассеивание нейтронов на магнонах в ферритах. Существование магнонов было продемонстрировано также в ферромагнетиках и антиферромагнетиках.

Приборы на магнитостатических волнах

1. Линия задержки СВЧ-сигналов



ЖИГ – железо-иттриевый гранат: $Y_3Fe_5O_{12}$

ГТГ – галлий-гадолиниевый гранат: $Gd_3Ga_5O_{12}$



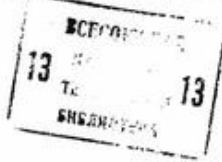
СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

СССР SU (SU) 1392604 A1

СССР 4 Н О I Р 1/218.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(21) 4065428/24-09

(22) 07.05.86

(46) 30.04.88. Бюл. № 16

(72) В. И. Александров, В. Б. Анфино-

генов, Ю. В. Гуляев, П. Е. Зильберман,

Г. Т. Казаков, В. Н. Козлов,

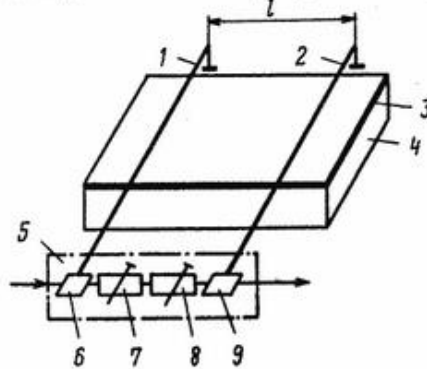
В. Д. Лошкарев и В. В. Тихонов

(53) 621.372(088.8)

(54) ЗАГРАЖДАЮЩИЙ СВЧ-ФИЛЬТР

(57) Изобретение относится к радиотехнике и обеспечивает уменьшение потерь полезного сигнала и увеличение затухания сигнала в полосе заграждения. Заграждающий СВЧ-фильтр содержит немагнитную подложку 4 с ферритовой пленкой (ФП) 3, на которой размещены входной и выходной преобразователи магнитостатической волны (ПМСВ) 1, 2, и опорный канал связи (ОКС) 5. Немагнитная подложка 4 и ФП 3 образуют акустический резонатор. Немагнитная

подложка 4 с входным и выходным ПМСВ 1, 2 помещается в магнитное поле, ориентированное по нормам к поверхности ФП 3. Входной сигнал разделяется делителем 6 на опорный сигнал и на сигнал магнитостатической волны, возбуждаемый в ФП 3 посредством входного ПМСВ 1. При определенном расстоянии между входным и выходным ПМСВ 1, 2 обеспечивается прием выходным ПМСВ 2 сигналов магнитостатической волны на резонансной частоте и близких к ней частотах. В ОКС 5 с помощью аттенюатора 7 и фазовращателя 8 сигнал на резонансной частоте изменяется так, чтобы его фаза была противоположной, а амплитуда - равной СВЧ-сигналу, преобразованному в выходном ПМСВ 2. При этом сигналы в сумматоре 9 комбинируются. На нерезонансных частотах сигналы складываются в фазе. 2 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1

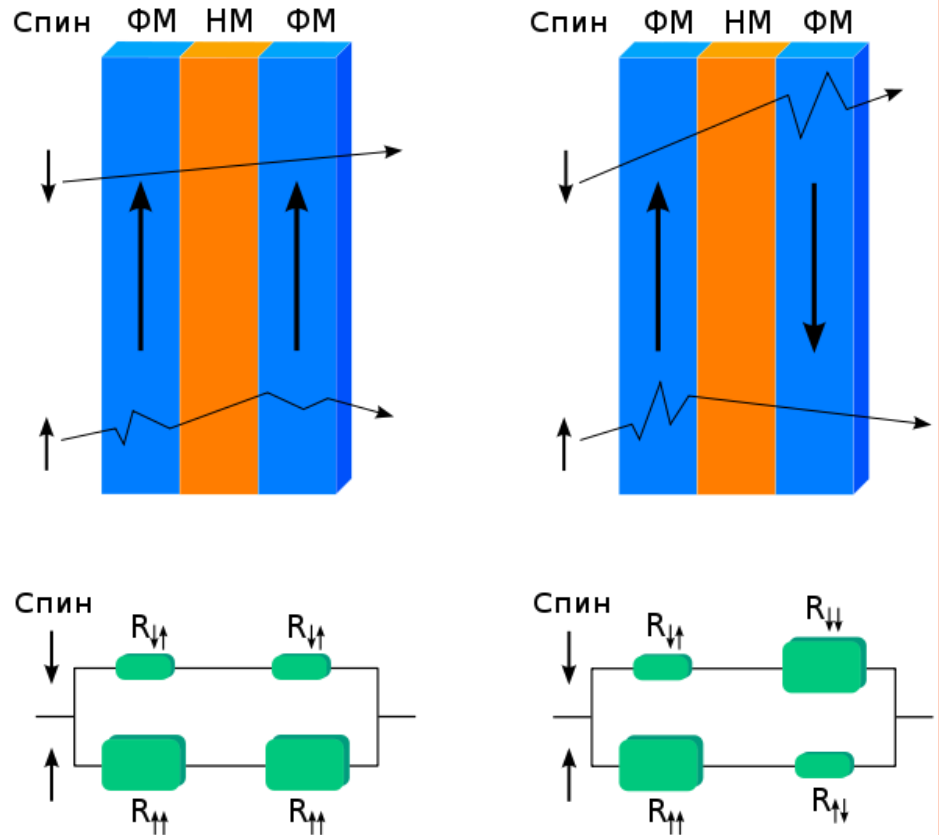
Фильтры на МСВ имеют верхнюю частотную границу в области выше 50-60 ГГц и способны легко перестраиваться по спектральному диапазону за счёт изменения внешнего магнитного поля.

СССР SU (SU) 1392604 A1

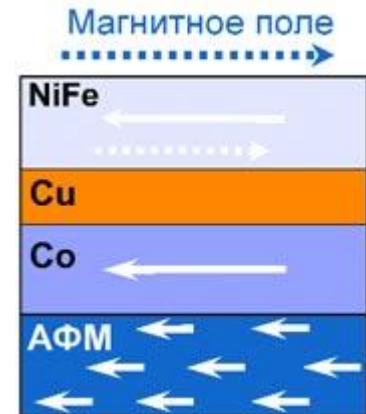
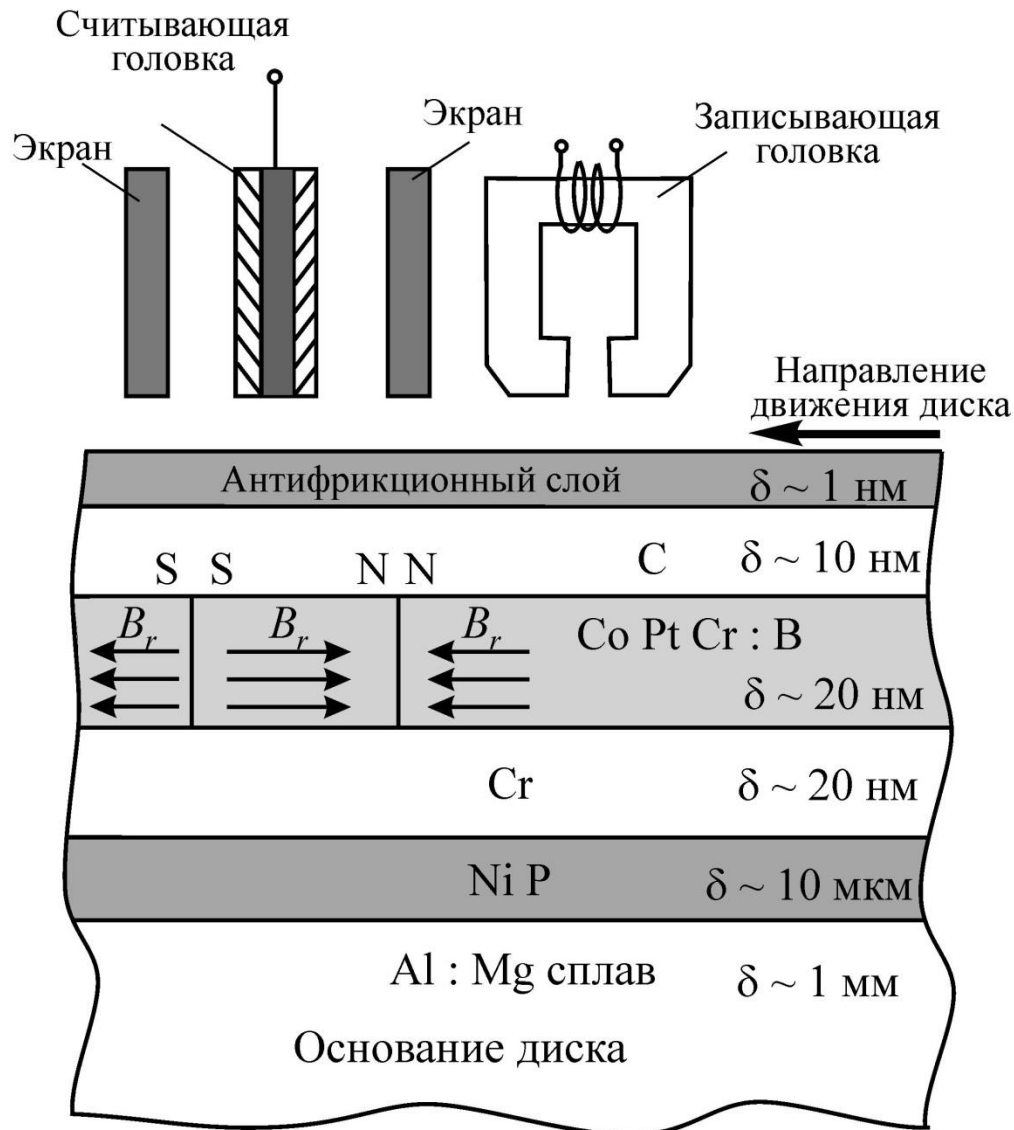
Спиновый клапан

$$\delta_H = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R_{\uparrow\downarrow} - R_{\uparrow\uparrow}}{R_{\uparrow\uparrow}}$$

Giant magnetoresistance, GMR – квантовомеханический эффект, наблюдаемый в тонких металлических плёнках, состоящих из чередующихся ферромагнитных и проводящих немагнитных слоёв ((Co/Cu)_n или (Fe/Cr)_n). Эффект состоит в существенном изменении электрического сопротивления такой структуры при изменении взаимного направления намагниченности соседних магнитных слоёв. Направлением намагниченности можно управлять, например, приложением внешнего магнитного поля.

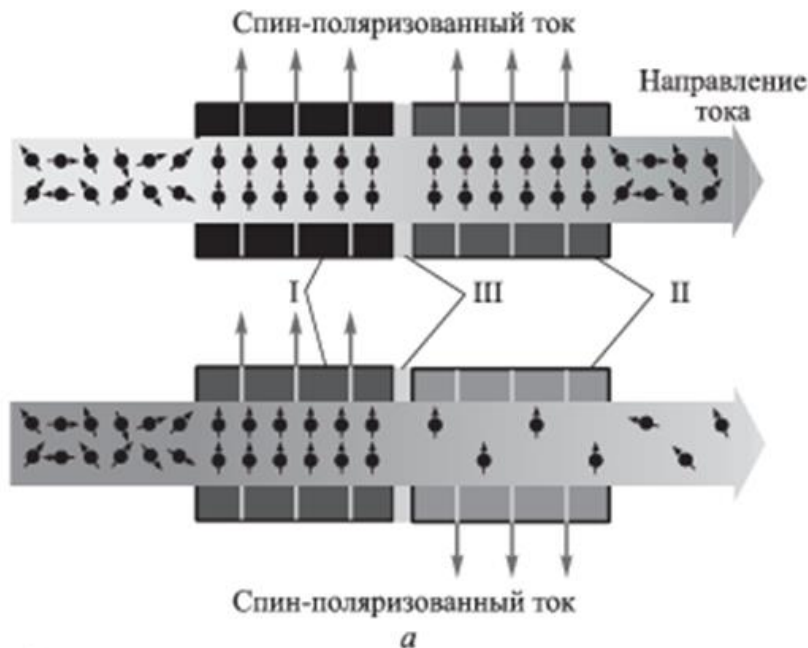


Практическая реализация эффектов ГМС и ТМС

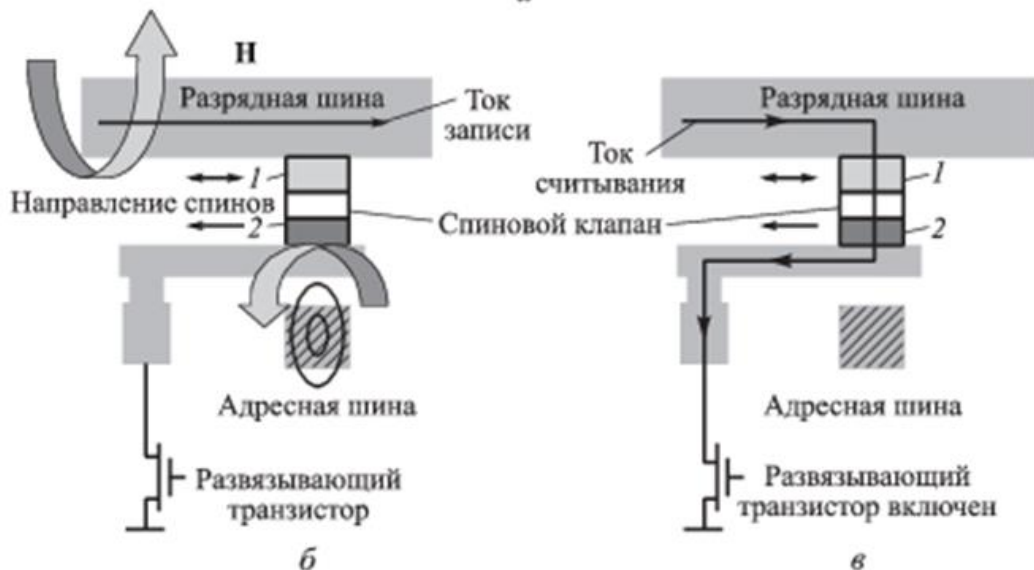


Способ фиксации магнитного момента

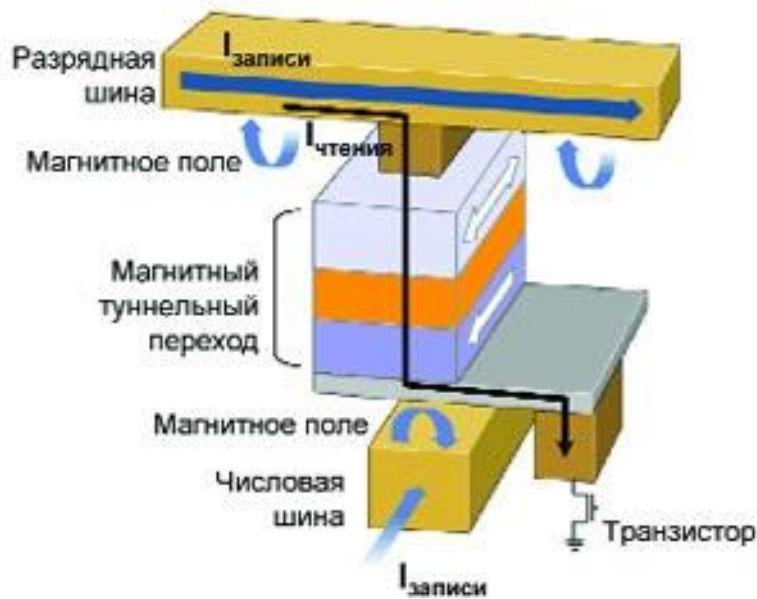
Магнитная резистивная память (MRAM)



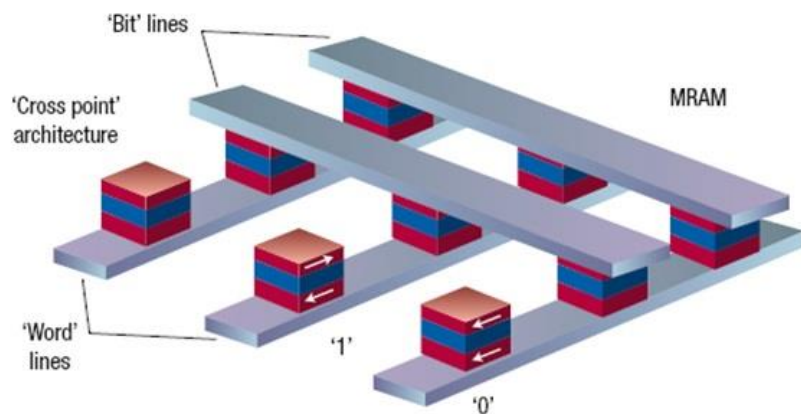
I – ферромагнетик с закреплённым магнитным полем (магнито-твёрдый материал),
II – ферромагнетик с изменяемым магнитным полем (магнито-мягкий материал),
III – немагнитный изолирующий барьер



Магнитная резистивная память (MRAM)



Ток, протекающий по разрядной и числовой шинам, наводит перекрёстное магнитное поле, которое изменяет магнитное состояние свободного слоя. При считывании измеряется ток, протекающий через ячейку. Его величина зависит от конфигурации намагниченности магнитных слоёв структуры: при параллельной ориентации сопротивление перехода минимально.



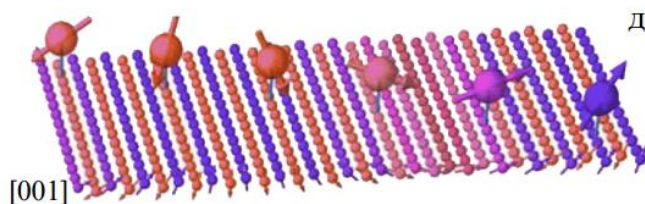
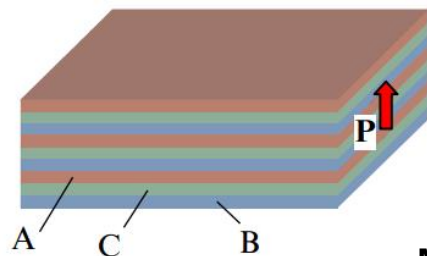
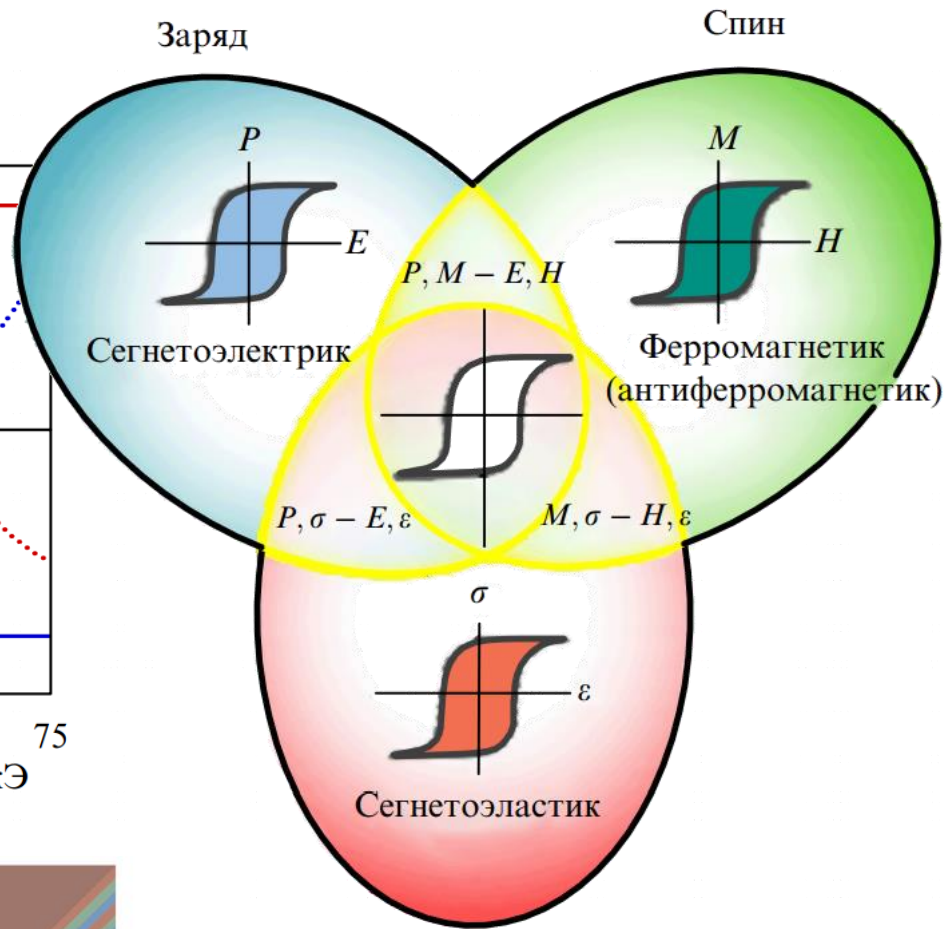
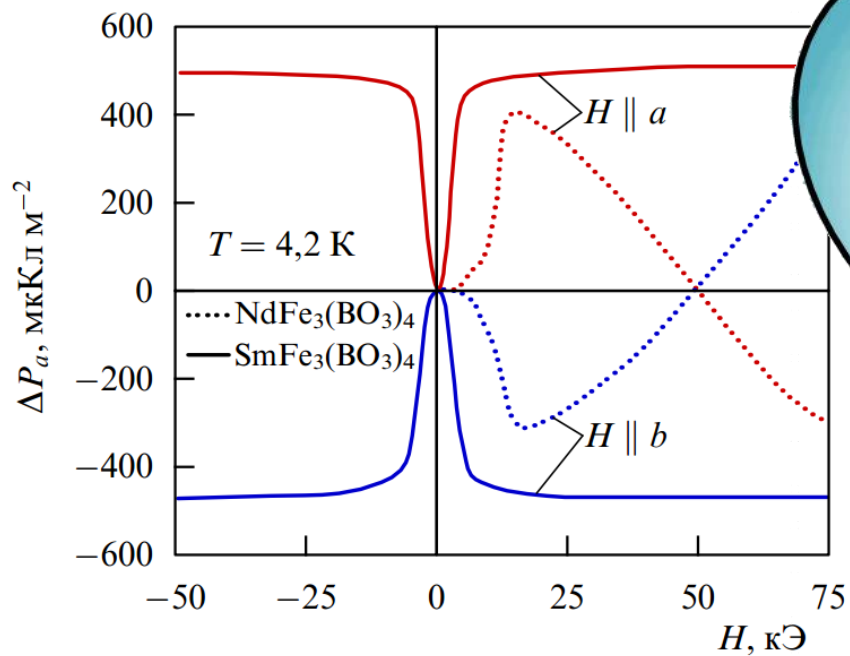
Multiferroics представляют собой наноматериалы, характеризующиеся двумя видами упорядоченности: магнитной и сегнетоэлектрической.

Свойства совокупные: спонтанная намагниченность, магнитострикция, спонтанная поляризация, пьезоэлектрический эффект.

Свойства новые: индуцированная магнитным полем электрическая поляризация, индуцированная электрическим полем намагниченность, эффекты переключения спонтанной электрической поляризации магнитным полем и спонтанной намагниченности – электрическим полем, изменение диэлектрической постоянной под действием магнитного поля.

Основная идея применения: магнитоэлектрический эффект. Преобразование магнитного поля в электрическое не требует протекания электрических токов, в т.ч. вихревых.

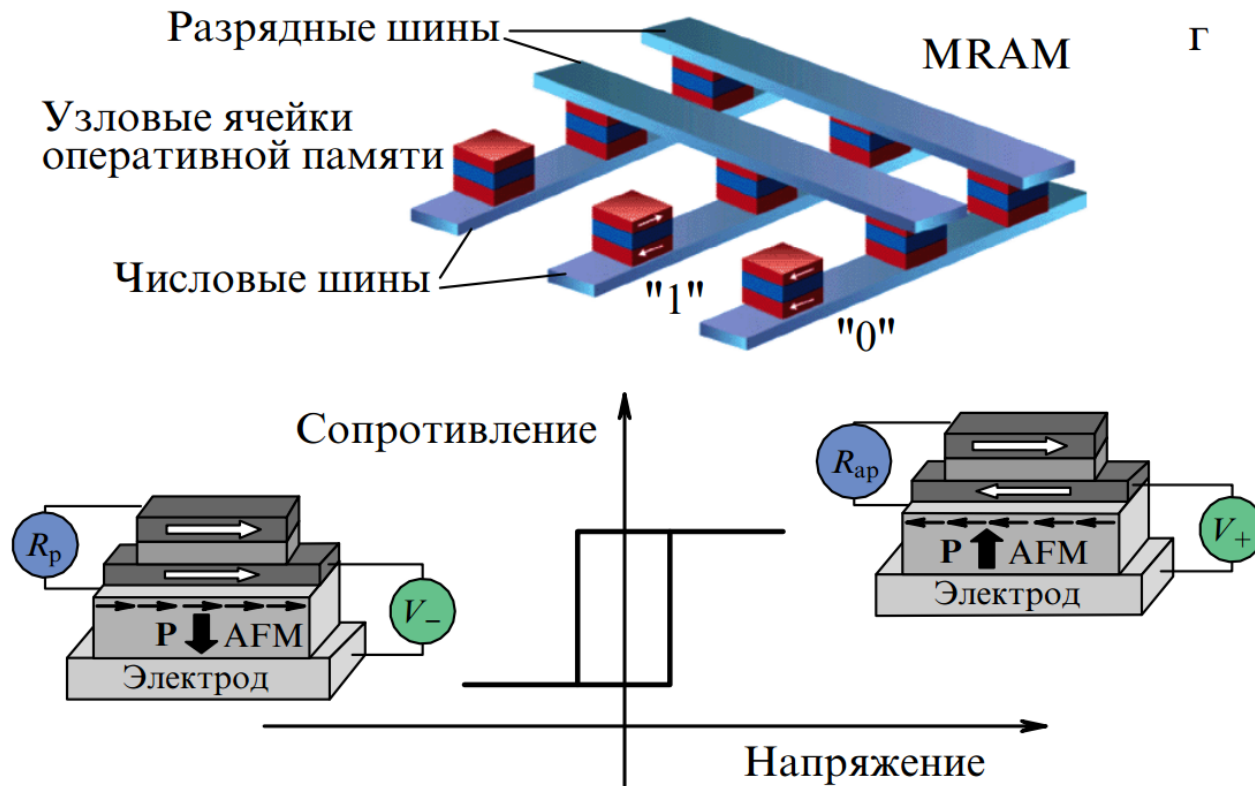
Мультиферроики



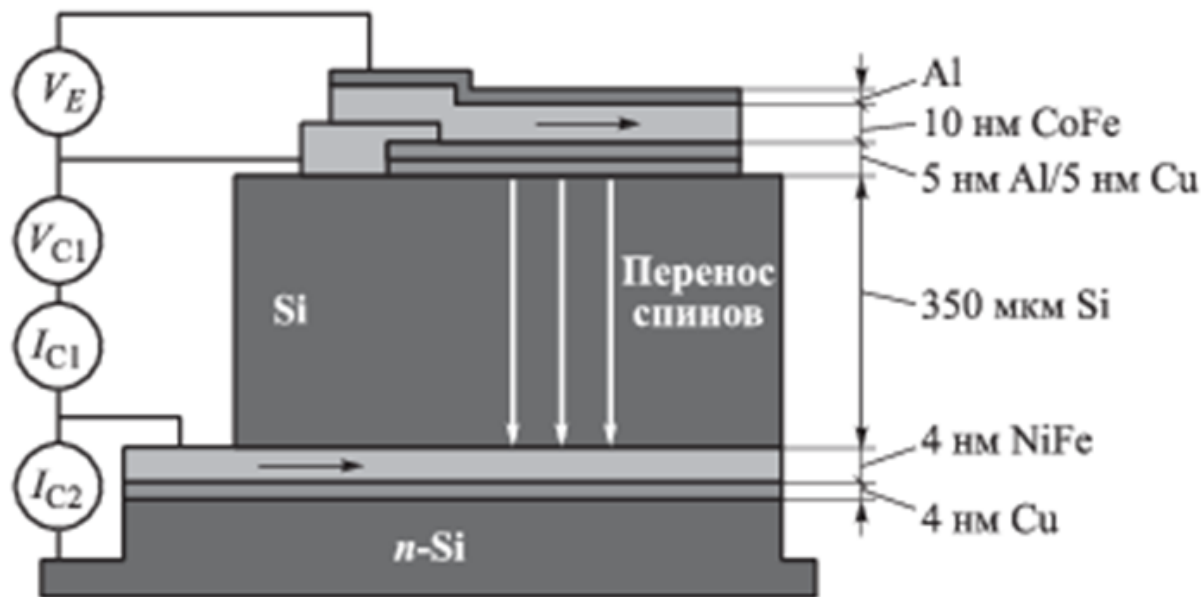
Многослойная структура из сегнетоэлектрика и ферромагнетика становится эффективным мультиферроиком.

Мультиферроики

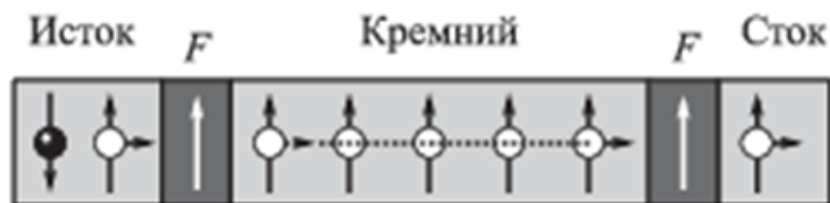
Вариант перспективного использования мультиферроиков – для создания ячейки магнитоэлектрической оперативной памяти.



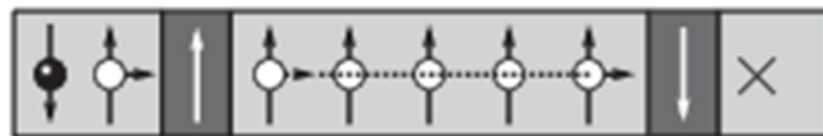
Модель спинового нанотранзистора



а

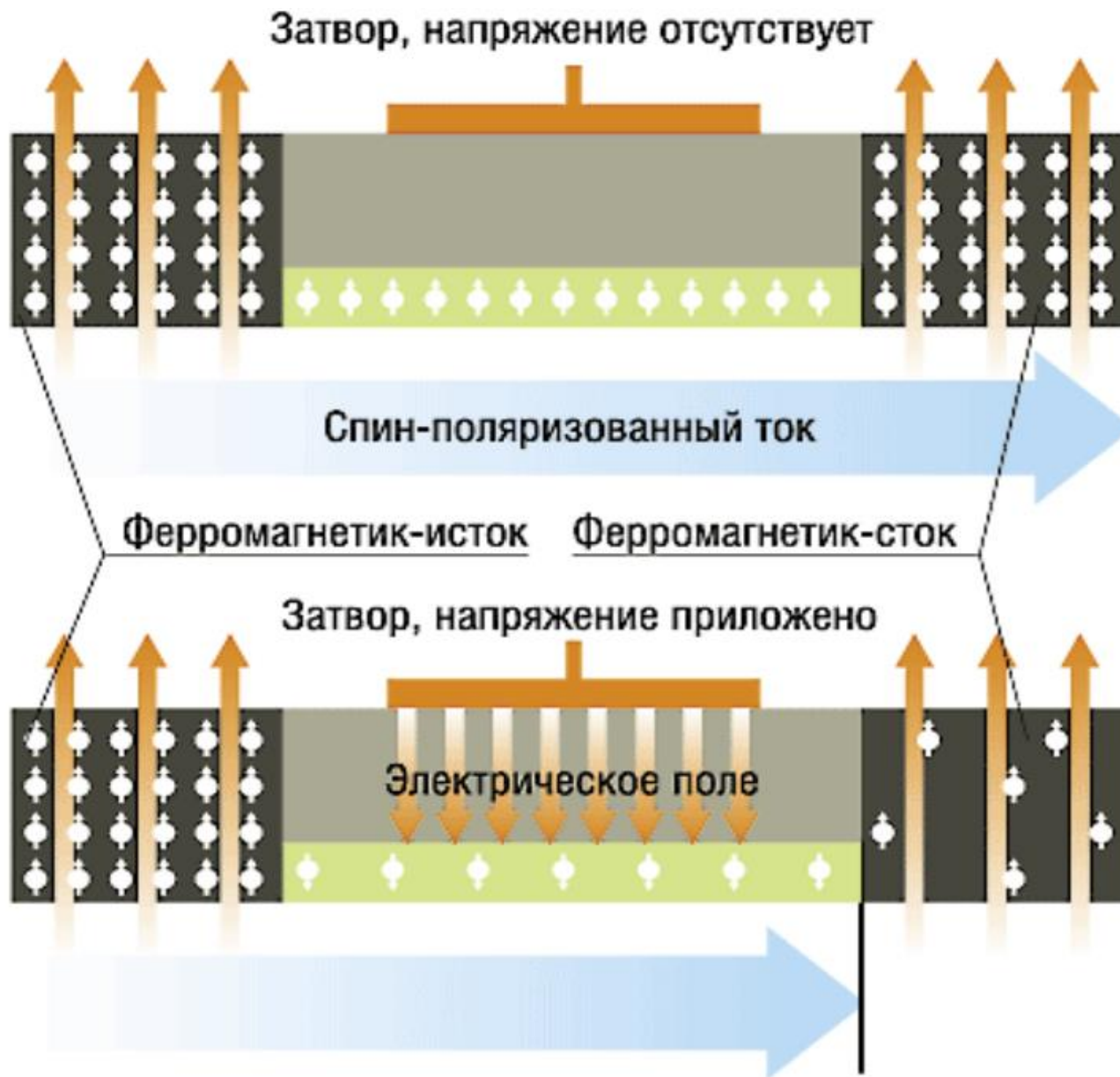


б



в

Модель транзистора Датта-Даса



Перспективы спинтроники

Близкие перспективы:

- 1) создание функциональных элементов СВЧ-электроники
- 2) разработка диодных, транзисторных (переключающих) структур и элементов памяти на спиновых клапанах
- 3) создание датчиков и преобразователей электрических и магнитных полей

Более фантастические перспективы:

- 1) создание полностью спиновых устройств обработки и хранения информации
- 2) разработка спиновых устройств на квантовых точках
- 3) использование одноэлектронных элементов для обработки спинового состояния электрона

aspire invent achieve

