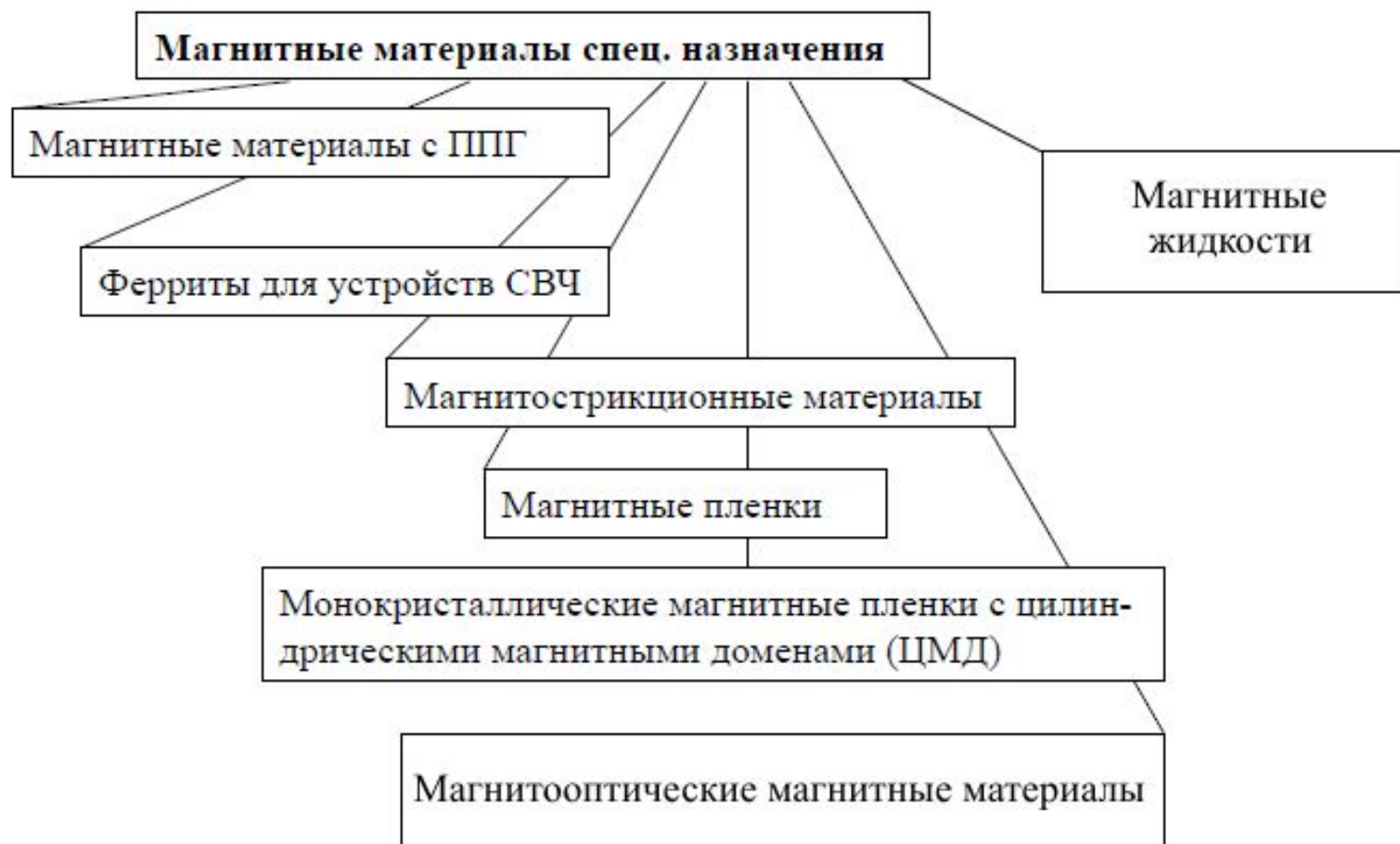


Магнитные материалы специального назначения

Классификация магнитных материалов специального назначения

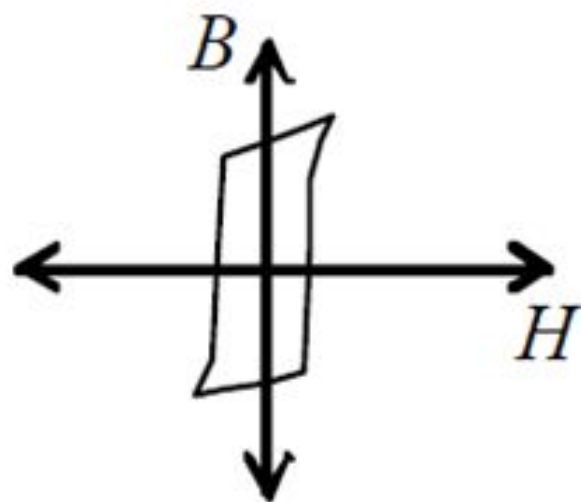


1. Материалы с прямоугольной петлей гистерезиса

Данная группа магнитомягких поликристаллических материалов используется в изделиях, принцип действия которых основан на скачкообразном изменении индукции магнитного поля при значениях напряженности внешнего магнитного поля, превышающих коэрцитивную силу магнитного материала.

К таким изделиям относятся магнитные сердечники для запоминающих, логических и переключающих устройств вычислительной техники, автоматики, связи, а также для магнитопроводов трансформаторов. Сердечники, как правило, имеют тороидальную (кольцеобразную) форму. В качестве материалов для изготовления сердечников с ППГ применяют специальные ферриты и ленты микронной толщины из пермаллоя. Ферриты с ППГ относятся к ферритам со структурой шпинели, которыми являются магний–марганцевые ферриты с химической формулой $(\text{Mg}, \text{Mn})\text{O} \times \text{Fe}_2\text{O}_3$. Используются также литиевые ферриты $\text{Li}_2\text{O} \times \text{Fe}_2\text{O}_3$.

1. Материалы с прямоугольной петлей гистерезиса



Предельная петля
гистерезиса
материала с ППГ

Обозначение феррита с ППГ складывается из букв ВТ, перед которыми указывается число, обозначающее коэрцитивную силу материала в эрстедах ($1\text{Э}=79,6\text{ А/м}$), например, 7ВТ, 0,12ВТ и так далее. Пермаллои с ППГ представляют собой ленты из железо–никелевых сплавов (50НП, 60НП, 79НП и др.) толщиной около 0,3 мкм. Эти материалы характеризуются высоким значением остаточной индукции, достигающей 0,6...1,4 Т.

2. Ферриты для устройств СВЧ

Применяются в диапазоне частот 300 МГц...300 ГГц (длины волн от 1 м до 1 мм).

1. Ферриты со структурой граната используются в метровом диапазоне. Имеют химическую формулу $R_3Fe_5O_{12}$, где R – иттрий (Y) или редкоземельный металл (Sm, Pr, Ce, La) с легирующими добавками. Ферриты химического состава $Y_3Fe_5O_{12}$ носят название железо–иттриевых гранатов.

Используются также ферриты составов $(Y, Al)_3Fe_5O_{12}$ и $(Y, Gd, Al, Mn)_3Fe_5O_{12}$. К поликристаллическим ферритам для устройств СВЧ относятся ферриты марок 90СЧ–Б, 10СЧ–20, 60СЧ–1. Эти ферриты характеризуются значением намагниченности насыщения J_s достигающей 1,3...3,5 кА/м. Выпускаются также монокристаллические ферриты–гранаты марок 140КГ–1 и 65КГ, где число перед буквенным кодом указывает на величину намагниченности насыщения феррита в кА/м, умноженную на 4л.

2. Ферриты для устройств СВЧ

2. Ферриты–шпинели используются в приборах СВЧ сантиметрового диапазона. К ним относятся магний–марганцевые ферриты состава $(\text{Mg}, \text{Mn})\text{O} \times \text{Fe}_2\text{O}_3$, а также литий–цинковые ферриты состава $(\text{Li}, \text{Zn})\text{O} \times \text{Fe}_2\text{O}_3$. Марки ферритов 10СЧ1, 8СЧ7, значения намагниченности насыщения 4...24 кА/м.

3. Гексаферриты применяют в миллиметровом диапазоне СВЧ. Их химическая формула $\text{MeFe}_{12}\text{O}_{19}$, где Me – это Ba или Sr.

Параметрический ряд гексаферритов включает 23 марки этих материалов (04СЧА8...03СЧА), характеризующихся значениями намагниченности насыщения от 8 до 18,3 кА/м.

2. Ферриты для устройств СВЧ

Ферриты для устройств СВЧ применяются в радиоэлектронике для изготовления волноводов, фазовращателей, преобразователей частоты, модуляторов, усилителей, экранов для защиты от СВЧ полей. Обладают высокой чувствительностью к управляющему магнитному полю, высоким удельным электрическим сопротивлением, малыми электромагнитными потерями, высокой температурой Кюри.

3. Магнитострикционные материалы

Магнитострикционные материалы изменяют размеры при намагничивании и размагничивании и используются в технике преобразования электрических колебаний в акустические и наоборот (энергию электромагнитного поля в механическую и обратно) при изготовлении излучателей и устройств приема звука и ультразвука.

Сердечник магнитострикционного преобразователя – это пакет тонких пластин, скрепленных специальными стяжками.

3. Магнитострикционные материалы

В настоящее время разработаны эффективные магнитострикционные материалы. К таким материалам относятся Fe–Co сплавы марок 49К2Ф, 65К, Ni–Co сплавы (ниокси), Fe–Al сплавы (алфер).

Для работы на повышенных частотах (до 600 кГц) наиболее пригодны магнитострикционные ферриты, обладающие высоким электрическим сопротивлением. К ним относится феррит никеля $\text{NiO} \times \text{Fe}_2\text{O}_3$ марки 21СПА, ферриты марок 601С, 602С, 607С, выпускаемые в виде трубок и стержней длиной 3...50 мм и диаметром 3...5 мм. Перспективные магнитострикционные материалы – интерметаллиды типа RFe_2 , где R – Y, Tb (тербий), Dy (диспрозий), например $\text{Tb}_{0,27}\text{Dy}_{0,73}\text{Fe}_2$.

4. Магнитные пленки

В качестве материала для тонких магнитных пленок толщиной 0,1...1 мкм применяется пермаллой марки 80Н, нанесенный методами катодного или ионно-плазменного распыления в постоянном магнитном поле на подложку, изготовленную из специального стекла или алюминия. В тонких пленках, изготовленных таким образом, магнитные домены укладываются в плоскости пленки вдоль направления легкого намагничивания пленки, совпадающего с направлением внешнего подмагничивающего поля.

4. Магнитные пленки

Таким образом, пленка приобретает одноосную магнитную анизотропию с осью легкого намагничивания L , параллельно которой устанавливаются векторы намагниченности J_s отдельных доменов в пленке (рисунок 1).

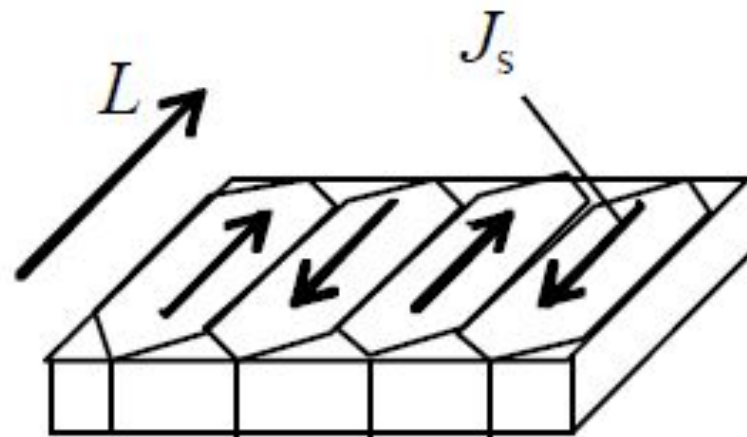


Рисунок 1. Расположение доменов в плоскости тонкой магнитной пленки

4. Магнитные пленки

Ось трудного намагничивания T пленки лежит в плоскости пленки и составляет угол 90° с направлением легкого намагничивания, как это показано на рисунке 2а. Форма петли гистерезиса, полученной при циклическом перемагничивании тонкой магнитной пленки, зависит от направления перемагничивающего магнитного поля. В направлении оси L пленка характеризуется прямоугольной петлей гистерезиса (рисунок 2б). Это обстоятельство позволяет использовать тонкие магнитные пленки в качестве запоминающих элементов.

4. Магнитные пленки

При перемагничивании в направлении оси T тонкая магнитная пленка характеризуется очень узкой петлей гистерезиса, что свидетельствует о практически полном размагничивании пленки после выключения внешнего магнитного поля (рисунок 2в).

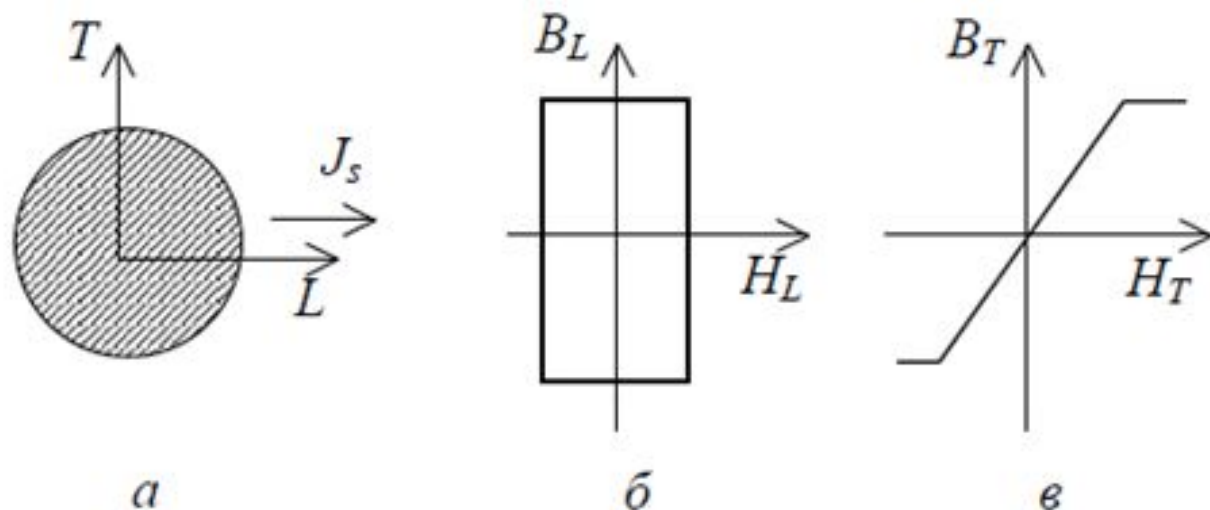


Рисунок 2. Направления легкого L и трудного T намагничивания в тонкой магнитной пленке - a ; вид петли гистерезиса: $б$ - в направлении легкого намагничивания; $в$ - в направлении трудного намагничивания

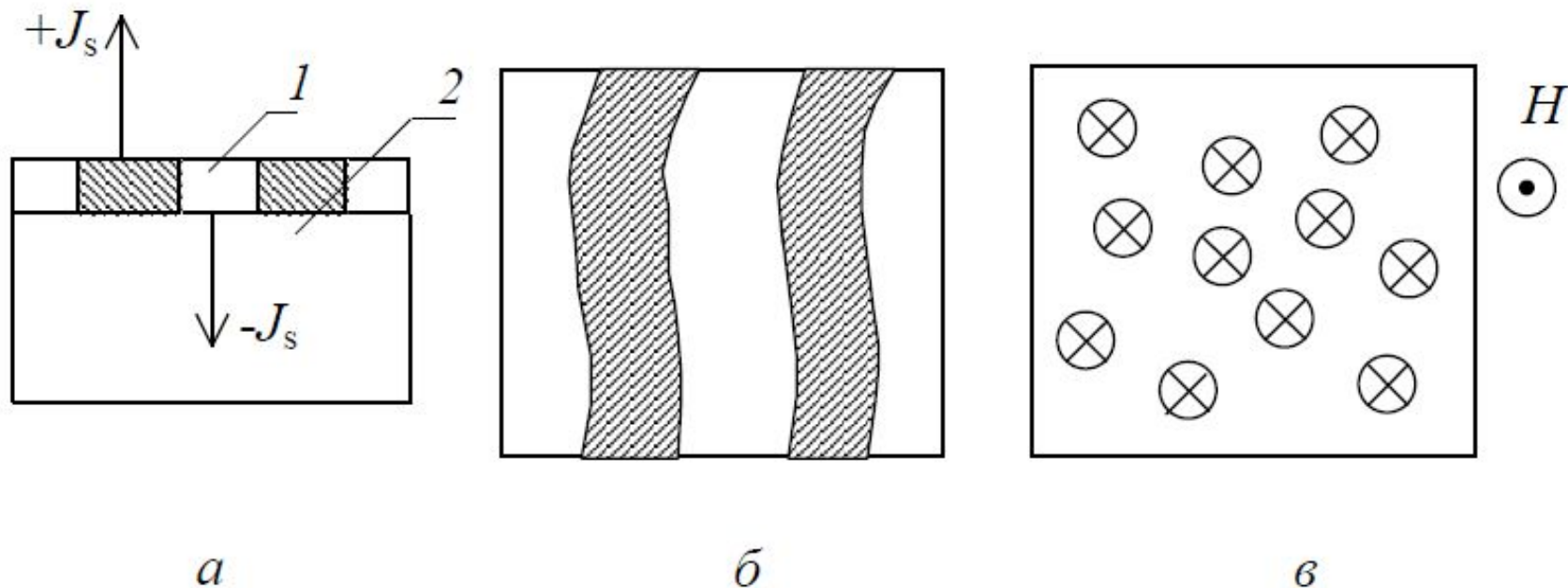
5. Магнитные пленки с цилиндрическими магнитными доменами (ЦМД)

1. Наиболее распространены одноосные ферриты–гранаты состава $R_3Fe_5O_{12}$, где символ R означает элемент Y или редкоземельные металлы Sm, Eu, Ho (гольмий), Er (эрбий). Коэрцитивная сила этих материалов составляет около 24 А/м. В эпитаксиальных пленках ферритов–гранатов удалось получить ЦМД с диаметром около 1 мкм.

2. Второй вид материалов – это ортоферриты с химической формулой $RFeO_3$, где R, как и в предыдущем случае, означает иттрий или редкоземельные металлы. Диаметр ЦМД, полученных в эпитаксиальных пленках на основе ортоферритов, составляет около 10 мкм. Поэтому из–за больших размеров доменов ортоферриты считаются менее перспективными материалами для изготовления устройств на ЦМД.

5. Магнитные пленки с цилиндрическими магнитными доменами (ЦМД)

3. Для изготовления монокристаллических пленок с ЦМД применяют также гексаферриты $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и феррошпинели $\text{Mg}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$. В качестве подложек используются пластинки, вырезанные из монокристаллов немагнитного галлий–гадолиниевого граната состава $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$. Этот материал характеризуется параметром кристаллической решетки, очень близким к параметру решетки феррита–граната. Эффект возникновения ЦМД удалось наблюдать также в аморфных пленках состава GdCo и GdFe , полученных напылением на стеклянные и кварцевые подложки. Это открывает новые возможности в развитии техники устройств на ЦМД из-за меньшей стоимости их изготовления.



Магнитные домены в монокристаллических пленках: *а* - структура монокристаллической пленки (поперечный разрез); *б* - полосовые магнитные домены (вид сверху); *в* - возникновение цилиндрических магнитных доменов под влиянием внешнего магнитного поля H

1 - магнитная пленка, *2* - монокристаллическая немагнитная подложка, J_s - направление намагниченности доменов

6. Магнитооптические магнитные материалы специального назначения

Магнитооптические магнитные материалы способны вращать плоскость поляризации света, прошедшего через образец или отраженного от него, используются для управления световыми потоками (в лазерной технике и оптоэлектронике). Ферриты–гранаты (например $(\text{YBi})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$), ферриты–шпинели, ортоферриты и другие применяют в устройствах, предназначенных для пространственно–временной модуляции света. Непрозрачные магнитные материалы на основе интерметаллических соединений, например, на основе MnBi , MnAs служат в качестве запоминающей среды в магнитооптических запоминающих устройствах.

7. Жидкие магнитные материалы специального назначения

Жидкие магнитные материалы (магнитные жидкости) – однородная взвесь мелких ($10^{-3} - 10^{-1}$ мкм) ферромагнитных частиц в воде, керосине, фторуглеводородах, сложных эфирах, жидких металлах. Применяются для визуализации структуры постоянных магнитных полей и доменной структуры ферромагнетиков, в качестве рабочей среды магнитоуправляемых поляризационных светофильтров, а также при создании гидромеханических преобразователей и излучателей звука; управляемое контрастирование полых органов, локальное повышение температуры.