

мерных атомных решётках, выявлять поверхностный магнетизм, поверхностную магн. анизотропию. Прямое и косвенное обменное взаимодействие электронов изучается на специально приготовленных плёнках с «модулированной» атомной структурой (система чередующихся магн. и немагн. слоёв толщиной в один или неск. нанометров).

Эксперименты показали, что заметное уменьшение M_s наступает лишь в М. п. толщиной менее десятка атомных слоёв (< 3 нм) и у этих же плёнок обнаруживается некое сплюснение темп-ры Кюри. В области низких темп-р T наблюдается переход от известного *Блоха закона* $\Delta M_s \sim T^{3/2}$, выполняющегося для толстых ферромагн. плёнок, к почти линейному спаду намагниченности с темп-рой в сверхтонких М. п. Правда, такие «олитгатомные» плёнки чаще всего уже не являются однородными, а имеют островковую структуру.

Спонтанная намагниченность M_s М. п. определяется не только хим. составом, но и фазовым состоянием конденсата, зависящим от условий осаждения.

Фундам. свойством М. п. является *магнитная анизотропия*, характеризующая типом симметрии, ориентацией осей лёгкого намагничивания, энергетич. константами или напряжённостью H_d эффективного поля анизотропии. Наряду с магнитоэпит. анизотропией формы и естеств. кристаллографич. магн. анизотропией в монокристаллич. М. п., в текстурированных поликристаллич. плёнках (Co, MnBi и др.) может существовать значит. наведённая анизотропия разл. природы: магнитоупругая (магнитоэпитакционная) анизотропия; анизотропия направленного упорядочения атомов, осуществляющегося в процессе роста и термообработки М. п.; анизотропия направленного роста зёрен; *ориентация* вытянутых пор; анизотропия распределения магн. и немагн. примесей по границам зёрен и др. При осаждении плёнок после термич. испарения в вакууме в М. п. возникает анизотропия, вызванная наклонным падением атомов на подложку с образованием цепочек кристаллитов (механизм самозатенения), с наклонной столбчатой структурой. При эпитаксиальном росте М. п. из жидкой фазы со сложным ионным составом, напр. плёнок редкоземельных ферритов-гранатов, возникает ростовая анизотропия, обусловленная избират. осаждением разл. ионов в «открытые» додекаэдрич. позиции определённой плоскости роста.

Результирующая анизотропия определяет тип *магнитной доменной структуры* и характер процессов намагничивания М. п. В плёнках с преобладающей анизотропией формы (фактор качества $Q < 1$) спонтанная намагниченность лежит в плоскости образца, и в этом случае образуются вытянутые т. н. плоские магн. домены (ПМД). Осн. процессом *перемагничивания* таких М. п. вдоль оси лёгкого намагничивания является движение *доменных стенок*, наблюдается прямоугольная петля гистерезиса с коэрцитивной силой H_c , равной полю старта необратимого смещения стенок (границ).

В плёнках с преобладающей перпендикулярной анизотропией (фактор качества $Q > 1$) ось лёгкого намагничивания (ОЛМ) ориентирована по нормали к поверхности. В таких М. п. образуются круглые *цилиндрические магнитные домены* (ЦМД), илтиная полосовая или лабиринтная доменная структура. В чистых, практически бездефектных плёнках петля гистерезиса очень узкая ($H_c \ll 1$ А/см) и наклонённая. В определённом интервале значений внеш. поля H , приложенного вдоль ОЛМ, наблюдаются равновесные ЦМД, к-рые легко передвигаются по плёнке под действием неоднородного магн. поля. Эти подвижные ЦМД в феррит-гранатовых М. п. используются в качестве носителей информации в магн. запоминающих устройствах (ЗУ).

К концу 1980-х годов достигнут значит. прогресс в эксперим. и теоретич. исследованиях М. п. — их магн. микроструктуры, статич. и динамич. доменной структуры и структуры междоменных стенок. Обнаружено

сильное влияние тонкой структуры стенок («скрученности», наличия в них т. н. *Блоха линий* и *Блоха точек*) на их поведение в импульсном и высокочастотном магн. поле. Присутствие линий Блоха, разделяющих разнополярные участки стенки, во-первых, заметно снижает подвижность стенки из-за дополнит. рассеяния эл.-магн. энергии, а во-вторых, вызывает рост эффективной массы «жёсткой» стенки вследствие накопления кинетич. энергии в линиях Блоха, перемещающихся вдоль движущейся стенки (см. *Доменной стенки динамика*). Разрабатываются запоминающие устройства со сверхвысокой плотностью записанной информации, в к-рых *битом* является пара вертикальных линий Блоха, продвигающаяся вдоль замкнутой стенки полосового домена в феррит-гранатовых плёнках.

Тонкие М. п. нашли широкое применение в вычислит. технике и автоматике, в оптоэлектронике и интегр. оптике. На базе М. п. возникла новая отрасль науки и техники — магн. микроэлектроника. Плёночная (интегральная) технология позволяет решать актуальные задачи микроминиатюризации элементной базы и схемотехники ЭВМ.

М. п. пришли на смену таких дискретных магн. элементов логич. и запоминающих устройств, как ферритовые сердечники, трансфлюкторы и пластины с отверстиями. Вместо них было предложено использовать матрицы из пермалловых нитей толщиной ~ 100 нм или цилиндрич. М. п. (бронзовые проволоки, покрытые слоем пермаллоя толщиной ок. 1 мкм) с кольцевыми замкнутыми по окружности магн. доменами.

Созданы т. н. доменные ЗУ, в к-рых элементом памяти является магн. домен с определённой поляризацией спонтанной намагниченности. К ним относятся: устройства на *плоских магн. доменах, продвигающихся в низкокоэрцитивных каналах*; ЗУ на подвижных ЦМД диаметром ок. 1 мкм, на решётках ЦМД. Помимо записи, продвижения, хранения и считывания цифровой информации доменные устройства на М. п. обеспечивают производство осн. логич. операций (т. е. обработку информации). Твердотельные ЗУ на ЦМД обладают высокой надёжностью, компактностью, энергонезависимостью и малой чувствительностью к неблагоприятным внеш. воздействиям. Огромная информац. плотность и ёмкость ЦМД-микросхем делает их конкурентоспособными с ЗУ на магн. дисках и барабанах.

Др. перспективное направление развития информационно-вычислит. систем состоит в разработке магнитооптич. памяти на М. п. (магнитооптич. диски). Это направление предполагает использование лазеров, записи информации термомагн. способом, а считывание — с помощью магнитооптич. эффектов Керра или Фарадея. В качестве реверсивной среды — носителя информации служат М. п. из соединений типа TR (T — переходный металл, R — редкоземельный элемент), обеспечивающие высокую плотность записи ($\sim 10^7$ бит/см²) и высокое магнитооптич. считывание. Плёнки с высокой магнитооптич. добротностью (напр., Bi-содержащие феррит-гранатовые плёнки) используются в оптич. дефлекторах и модуляторах, вентилях и переключат. устройствах волоконно-оптич. линий связи.

Магнитно-мягкие (пермаллоевые) плёнки используются при создании магнитопроводов, полусных накопителей с узким зором в многоканальных интегр. магн. головках для записи и пидукц. считывания информации, для магниторезистивного считывания.

В СВЧ-технике М. п. применяются в виде фильтров поглощения и пропускания, фазовращателей и вентилях в интегр. исполнении. В этих устройствах используются такие явления, как ферромагн. резонанс, спиновые эффекты и магнитоакустич. колебания.

Лит.: Тонкие ферромагнитные плёнки, пер. с нем., М., 1984; Физика тонких плёнок, пер. с англ., т. 1—8, М., 1967—78; Суху Р., Магнитные тонкие плёнки, пер. с англ., М., 1987; Колотов О. С., Погожев В. А., Телеснин Р. В., Методы и аппаратура для исследования импульсных свойств тонких магнитных плёнок, М., 1970; И л ь ю ш е н