

СУПЕРПАРАМАГНЕТИЗМ (*Superparamagnetism*)

«Аквечеру ветерок закрепчал, начался настоящий шторм – баллов десять. Море бушует. Как поднимет нашу «Беду», как швырнет вниз!.. Снасти стонут, мачта скрипит. Белки в трюме укачались с непривычки, а я радуюсь: «Беда» моя держится молодцом, на пять с плюсом сдает штормовой экзамен».

А.С. Некрасов.

«Приключения капитана Врунгеля»



«Шторм в ночи», Иван Айвазовский

Несмотря на всеобщее стремление к миниатюризации электронных устройств, когда речь заходит о создании постоянных магнитов или устройств магнитной записи, то обычно рассматривают магнитные частицы размерами не меньше нескольких десятков, а то и сотен нанометров – согласитесь, по сравнению с общим масштабом наномира такие частицы сложно назвать маленькими.

Что же будет происходить с магнитными свойствами, если частицу уменьшить до нанометровых размеров? Вначале ничего особенного, некоторые характеристики материала даже улучшаются. Однако при преодолении определенного

барьера происходит, казалось бы, нечто странное – состоящий из таких частиц изначально магнитный материал перестает быть таковым, как если бы стрелка компаса перестала показывать направление на север. Почему? Чтобы понять это, давайте рассмотрим так называемую магнитную структуру, которую можно представить состоящей из множества стрелок компасов, каждая из которых прикреплена к одному из атомов. Если вещество ферромагнитное, все стрелочки указывают в одном направлении, независимо от размеров частицы, а чтобы повернуть их в другое направление, не меняя ориентацию частицы, нужно затратить определенную энергию (энергию перемагничивания). Так вот, оказалось, что эта энергия сильно зависит от размера частиц – чем меньше размер, тем меньшую силу (в данном случае, имеется в виду коэрцитивная сила H_c , характеризующая напряженность магнитного поля) нужно приложить, чтобы повернуть все магнитные моменты атомов частицы (рис. 1). При этом максимум коэрцитивной силы $H_{c, \max}$ наблюдается, когда частица достигает некоторого критического размера D_{crit} , соответствующего однодоменному состоянию (домен – это область с одинаковой ориентацией магнитных моментов атомов). А что произойдет, если в результате уменьшения размеров энергия перемагничивания станет настолько малой, что не будет превышать тепловую энергию? В данном случае можно привести пример кораблика на волнах: чем меньше кораблик, тем ощутимее его качает на

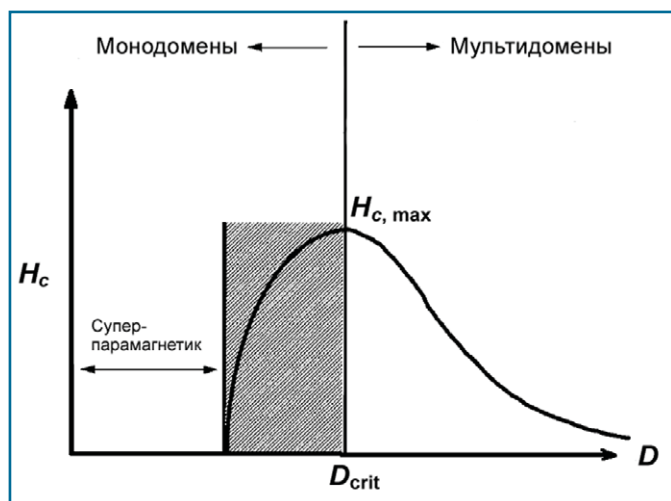


Рис. 1. Зависимость коэрцитивной силы от размера частиц

волнах, в то время как большой корабль может оставаться на воде практически неподвижным. Так же и большая частица способна сохранять направление магнитного момента, в то время как в маленькой частице «стрелки» направления магнитного момента синхронно колеблются. Чем меньше частица, тем выше амплитуда этих колебаний – возможно даже изменение направления намагниченности на обратное, как если бы кораблик был бы настолько мал, что его постоянно переворачивало волнами. Именно такое состояние, когда направление магнитного момента частиц непрерывно меняется и не может быть зафиксировано, называется суперпарамагнитным. Тем не менее, магнитные моменты всех атомов еще направлены в одну сторону – кораблик еще цел, а не плавает в виде досок и щепок, но у него уже нет постоянного курса. Например, для сфе-

рических частиц Fe, Co и Ni величина D_{crit} составляет 14 нм, 70 нм и 50 нм соответственно, а для Fe_3O_4 и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – 128 и 166 нм.

Как видите, суперпарамагнитные частицы, несмотря на их малый размер и ферромагнитное упорядочение в структуре, могут оказаться абсолютно бесполезными и даже вредными. Если частицы в устройстве записи станут суперпарамагнитными, то вся сохраненная информация будет утеряна в результате постоянного хаотического изменения бита информации. Каким же образом можно, уменьшая частицу, избежать перехода в суперпарамагнитное состояние? Самый очевидный способ – это уменьшать размеры только до определенного предела, не пересекая ту границу, после которой ферромагнетизм сменяется суперпарамагнетизмом (строить корабли размером не ниже зафиксированного ГОСТом). Второй способ – охлаждать материал, уменьшая тепловую энергию, и, как следствие, отодвигая границу перехода в суперпарамагнитное состояние (не использовать кораблики при высоких волнах). При температуре абсолютного нуля магнитный момент частицы будет неподвижен при любых ее размерах, как постоянно направление кораблика, замороженного в лед или севшего на мель. Третий и наиболее перспективный метод – изменять состав, микроструктуру и геометрическую форму частиц, добиваясь дополнительной фиксации магнитного момента (разработка конструкций кораблей, способных выдерживать волнения на море и даже шторм).

Литература:

1. Sun L., Hao Y., Chien C.-L., Searson P.C. IBM J. Res. & Dev. 2005. Vol. 49, N 1. P. 79–102.