

26.10.03. Высокотемпературный ферромагнетизм в ZnO.

Американские ученые синтезировали ферромагнитные нанокристаллы на основе широкозонного полупроводника ZnO с добавкой никеля, для которых температура Кюри превышает 350 К.

Мы [уже писали](#) про интерес к поиску разбавленных магнитных полупроводников (полупроводников, легированных парамагнитными ионами переходных металлов) с высокой температурой перехода в магнитоупорядоченное состояние. Основная причина этого интереса состоит в стремлении к созданию нового поколения электронных и оптоэлектронных устройств, работа которых будет строиться на оперировании со спиновыми степенями свободы. Такая "спиновая электроника" получила название спинтроники. Одна из важных для создания оптоспинтронных устройств задач - научиться добиваться высокой температуры перехода в ферромагнитное состояние в широкозонных разбавленных магнитных полупроводниках (чтобы приборы могли работать при комнатной температуре). Благодаря большой ширине запрещенной зоны, большой энергии связи экситона, своим хорошим механическим характеристикам и еще по ряду причин перспективным материалом для создания магнитных полупроводников является ZnO. К настоящему времени в этом материале уже удалось получить ферромагнетизм при комнатной температуре при легировании его ванадием, кобальтом и железом (обычно доля магнитных ионов составляет несколько процентов). И вот недавно ученым из Сиэтла удалось синтезировать нанокристаллы ZnO, легированные никелем, температура Кюри для которых превышает 350 К [1].

Нанокристаллы ZnO с характерными размерами порядка 6 нм были синтезированы методами коллоидной химии; в процессе роста происходило их легирование никелем (получающийся материал содержал порядка одного процента никеля). Сами по себе эти нанокристаллы являлись парамагнетиками, однако скопления наночастиц (агрегаты с размерами в несколько сотен нанометров - рис. 1) в зависимости от скорости их формирования могли обладать существенно различными магнитными свойствами. В то время как быстро сформировавшихся агрегаты

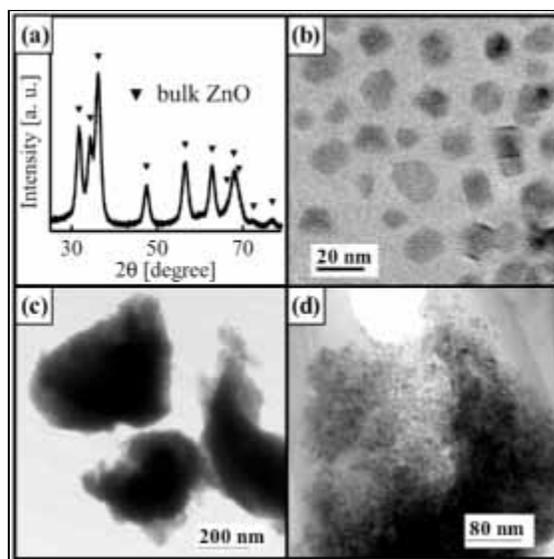


Рис.1. а - данные по дифракции рентгеновских лучей в структурах с нанокристаллами; б - изображение нанокристаллов, из которых формировались агрегаты, полученное с помощью просвечивающей электронной микроскопии; в - изображение агрегата наночастиц, полученное тем же методом; д - изображение части этого же агрегата.

демонстрировали парамагнетизм, формируемые в течении большого времени агрегаты были ферромагнетиками, причем температура перехода в ферромагнитное состояние (температура Кюри) для таких агрегатов превышает 350 К (рис. 2).

Влияние малости скорости формирования кластеров наночастиц на их магнитные свойства проявляется, по-видимому, двояко. При медленном формировании агрегатов наночастиц последние образуют более плотные и сильно связанные скопления за счет того, что, грубо говоря, "дольше ищут себе место". При такой длительной "толкотне и притирке", вероятно, образуется множество дефектов кристаллической структуры на поверхностях примыкающих друг к другу нанокристаллов; такие дефекты могут служить донорами. Поскольку взаимодействие магнитных ионов в разбавленных полупроводниках происходит через посредство электронной (дырочной) подсистемы (локализованный магнитный момент иона создает спиновую поляризацию электронного облака вокруг себя, которую, в свою очередь, чувствуют другие магнитные ионы), то при наличии достаточного количества электронов проводимости магнитные моменты ионов в нанокристалле выстраиваются в одном направлении. Объем нанокристаллов столь мал, что вследствие тепловых флуктуаций при комнатной температуре в принципе легко могла бы происходить переориентация магнитного момента нанокристалла. Однако сказывается большая плотность медленно формирующихся агрегатов - ближе расположенные наночастицы взаимодействуют сильнее и, за счет взаимодействия, магнитные моменты соседних наночастиц выстраиваются параллельно. Таким образом объем ферромагнитных доменов растет и система становится более устойчивой относительно тепловых флуктуаций.

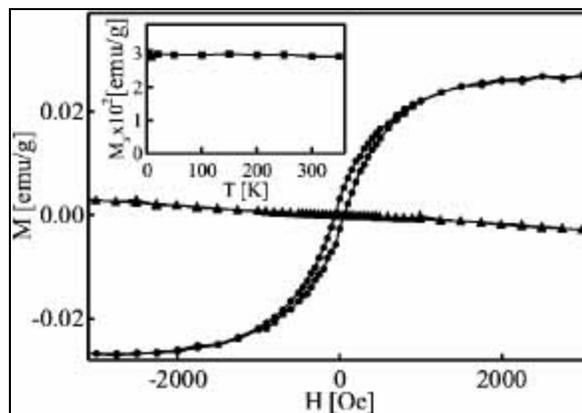


Рис.2. Зависимость намагниченности от напряженности магнитного поля для быстро (треугольники) и медленно (кружки) сформированных агрегатов при температуре 350 К. На вставке: температурная зависимость намагниченности для медленно сформированных агрегатов.

1. Pavle V.Radovanovic and Daniel R.Gamelin. Phys.Rev.Lett., v.91, 157202 (2003).

[Е.Онищенко](#)

[Обсудить на форуме](#)

[На главную страницу](#)