

Ферромагнетизм наночастиц и вторичная структура кристаллов

Ю.И. Веснин

yu_vesnin@ngs.ru

Известно, что магнетизм является универсальным свойством вещества [1]. В работе [2] показано, что наночастицы неорганических веществ различных классов (металлы, окислы, различные соли) обладают ферромагнитными свойствами. Вещества, в массивном состоянии диа- и парамагнитные, в ультрадисперсном (наночастицы, размер $\sim 10^{-6}$ см и менее) становятся ферромагнетиками. Появление ферромагнетизма у таких частиц связывают с различными причинами (поверхностные состояния атомов, вакансии и другие дефекты, магнитная анизотропия, правило Хунда и т.д.) [2].

В [3-5] развита теория вторичной структуры кристаллов (ВСК) и даны примеры приложений теории в химии и физике твёрдого тела. Согласно теории ВСК, кристалл состоит из элементарных единиц размером $d_m \sim 30$ нм. Эта единица (минимальный кристалл – мик) является аналогом молекулы – гигантской кристаллической молекулой. Частица меньшего размера ($d_{sc} \leq 30$ нм) является субкристаллом – аналогом молекулы-радикала, т.е. свободным радикалом кристаллического твёрдого тела. Известно, что у радикалов возрастает магнитная восприимчивость и практически все известные молекулы-радикалы являются парамагнитными частицами, т.е. обладают магнитным моментом [6]. Поэтому кристаллические частицы размером $d_{sc} < d_m \sim 30$ нм (субкристаллы), как и другие радикалы, также должны обладать магнитным моментом. Этот момент возникает за счёт дефицита массы (или количества атомов) относительно массы элементарной единицы кристалла (основной молекулы). При этом изменяются также и другие свойства кристаллической частицы [4].

Известно, что магнитная структура ферромагнетиков состоит из доменов – магнитоупорядоченных областей макроскопических размеров. Каждый домен имеет постоянный магнитный момент, не зависящий от внешнего поля [1]. Без внешнего магнитного поля эти моменты взаимно компенсируются, и намагничённость отсутствует. В ансамбле наночастиц доменом может быть каждая частица. Магнитный момент она приобрела за счёт перехода в состояние молекулы-радикала при размере частицы $d_{sc} < 30$ нм. Поэтому ферромагнетизм можно ожидать у наночастиц размером $d_{sc} \leq 30$ нм. Магнитоактивная форма вещества возникает здесь за счёт размерного эффекта [4].

В [2] показано, что ферромагнетизм наночастиц у различных веществ существует при температурах 300 К и выше. Можно предположить, что ферромагнитная точка Кюри θ_K будет зависеть от размера наночастиц с максимумом при некотором размере.

Ферромагнетизм наночастиц имеет принципиальное значение для теории ВСК. Ранее было показано [4], что субкристаллы (наночастицы размера $d_{sc} < 30$ нм) обладают внешним силовым полем протяжённостью десятки нм. Доказательством наличия этих полей служат электронномикроскопические наблюдения за движением кристаллических частиц при отжиге островковых плёнок [7]. Ферромагнетизм наночастиц позволяет предположить, что наблюдаемые силовые поля наночастиц имеют магнитную природу. Проверить это можно на опытах по отжигу островковых плёнок в магнитном поле (см. рис. 1). Характер движения частиц изменится в зависимости от направления поля. Определение магнитной природы силовых полей наночастиц (субкристаллов) может иметь принципиальное значение для теории химической связи.

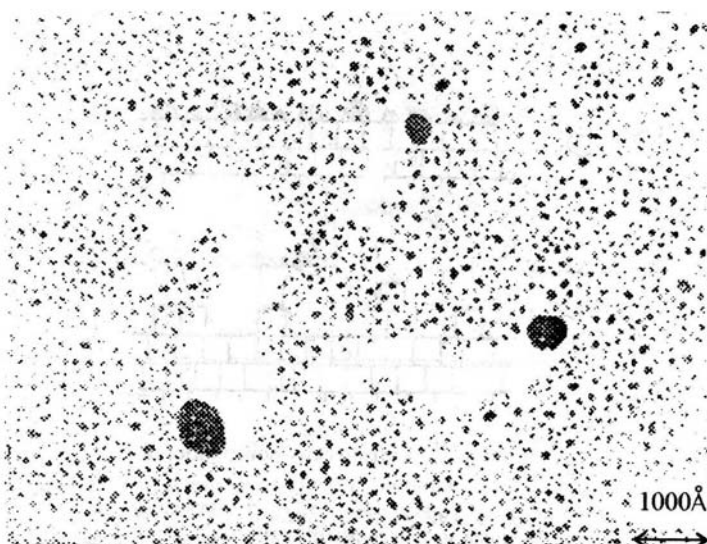


Рис. 1 Движение наночастиц золота на углеродной подложке при $t=264$ °С под действием силовых магнитных полей наночастиц [7]. Такой же опыт, проведённый в магнитном поле, позволит определить природу силовых полей наночастиц.

Список литературы

1. С.В. Вонсовский. Магнетизм. Наука, М.; 1971.
2. A.Sundaresan, C.N.R. Rao. Nano Today, (2009), v. 4, p. 96.
3. Ю.И. Веснин. Журн. структ. химии, (1995), т. 36, с. 724.
4. Ю.И. Веснин. Вторичная структура и свойства кристаллов. Изд. СО РАН, Новосибирск, 1997; www.nanometer.ru
5. Ю.И. Веснин. Химия в интересах устойчивого развития, (2000), т. 8, № 1-2, с. 61.
6. В.Н. Кондратьев. Свободные радикалы – активная форма вещества. Изд. АН СССР, М.; 1960.
7. W.B. Phillips, E.A. Desloge, J.G. Skofronik. J. Appl. Phys., (1968), v. 39, p. 3210.