

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПЛЕНОК Pd_{0.99}Fe_{0.01} С УМЕНЬШЕНИЕМ ТОЛЩИНЫ ПРИ 3D-2D ПЕРКОЛЯЦИОННОМ ПЕРЕХОДЕ

В.В. Больгинов¹, О.А. Тихомиров¹, Л.С. Успенская^{1*}, И.Н. Хлюстикова²

¹Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, 142432, Россия;

²Институт физических проблем им. П.Л.Капицы РАН, Косыгина, 2, Москва, 119334, Россия

* uspenska@issp.ac.ru

THE CHANGE IN MAGNETIC PROPERTIES OF Pd_{0.99}Fe_{0.01} NANOFILMS WITH THICKNESS REDUCTION AT 3D-2D PERCOLATION TRANSITION

V.V. Bol'ginov¹, O.A. Tikhomirov¹, L.S. Uspenskaya^{1*}, I.N. Khlyustikova²

¹Institute of Solid State Physics RAS, Chernogolovka, 142432, Russia;

²Institute for Physical Problems n.a. P.L. Kapitza, RAS,
2 Kosygina str., Moscow, 119334, Russia

* uspenska@issp.ac.ru

Показано, что пленки Pd_{0.99}Fe_{0.01} при толщинах $h \sim 10 - 90$ нм являются ферромагнитными. Однако при толщине $h = h_k = 30$ нм их свойства изменяются критическим образом. Типичная для ферромагнитных материалов куполообразная зависимость $M(T)$, наблюдающаяся при $h > h_k$, сменяется вогнутой кривой гиперболического вида при $h < h_k$. На зависимости $M(T)$ появляются дополнительные перегибы при $T = T_1, T_2$, и изменяет вид петель гистерезиса. Широкие "прямоугольные" петли с коэрцитивностью 1 - 10 Э при уменьшении толщины до $h = h_k$ превращаются в узкие петли с коэрцитивностью 0.1 - 0.2 Э, характерные для суперпарамагнетиков. При этом резко усиливаются эффекты магнитного последействия.

It is shown that Pd_{0.99}Fe_{0.01} films with the thickness h about 10 - 90 nm are ferromagnet. However there is the thickness $h = h_k = 30$ nm at which the properties of the films are changed drastically. The temperature dependence of magnetization $M(T)$ is typical for ferromagnet material convex curve at $h > h_k$. The $M(T)$ follows the concave hyperbolic dependence at $h < h_k$. The $M(T)$ in zero field have one kink at T near T_c and two kinks at $T = T_1, T_2$ at $h > h_k$ and $h < h_k$ correspondingly. The hysteresis loops are changed at h_k from wide near squared loops with coercivity about 1 - 10 Oe depending on T by the loops which resembles the superparamagnetic loops with coercivity about 0.1 - 0.2 Oe. Magnetic aftereffects become pronounced seen.

Изучены ферромагнитные свойства сильно разбавленных сплавов Fe состава Pd_{0.99}Fe_{0.01}, перспективные для применений в устройствах криоэлектроники в структурах сверхпроводник-магнетик-сверхпроводник [1], где магнитный нанослой используется в качестве слоя, контролирующего фазу протекающего по структуре тока или сопротивление структуры. Такой слой должен удовлетворять ряду требований - быть магнитомягким при низких температурах, чтобы его возможно было перемагничивать достаточно слабыми магнитными полями, иметь небольшую спонтанную намагниченность для возможно меньшего подавления сверхпроводимости вследствие эффектов близости и иметь достаточно большую по сравнению с параметром решетки длину когерентности, что облегчает воспроизводимое изготовление структур стандартным методом магнетронного распыления.

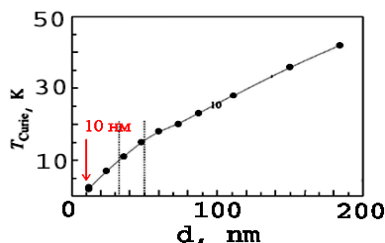


Рис.1 - Изменение температуры Кюри пленок в зависимости от их толщины. При $h = h_k = 30$ нм на зависимости явно виден излом. При $h = 10$ нм температура Кюри зануляется

Показано, что магнитно-однородный объемный материал по мере уменьшения одного из размеров претерпевает ряд качественных изменений свойств. Магнетронно-напыленные пленки толщиной менее 200 нм оказываются наноструктурированными ферромагнетиками с температурой перехода и намагниченностью, определяемыми толщиной пленки, рис.1, 2.

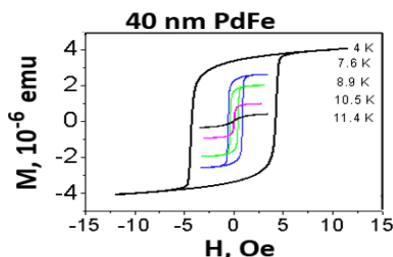


Рис.2 - Петли гистерезиса пленок $\text{Pd}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}$ при $h = 40$ нм при различных температурах, $T = 4, 7.6, 8.9, 10.5, 11.4$ К

Однако при толщине $h = h_k = 30$ нм их свойства изменяются критическим образом. Типичная для ферромагнитных материалов куполообразная зависимость $M(T)$, наблюдающаяся при $h > h_k$, сменяется вогнутой кривой гиперболического вида при $h < h_k$, рис.3. На зависимости $M(T)$ появляются дополнительные перегибы при $T = T_1, T_2$, и изменяет вид петель гистерезиса.

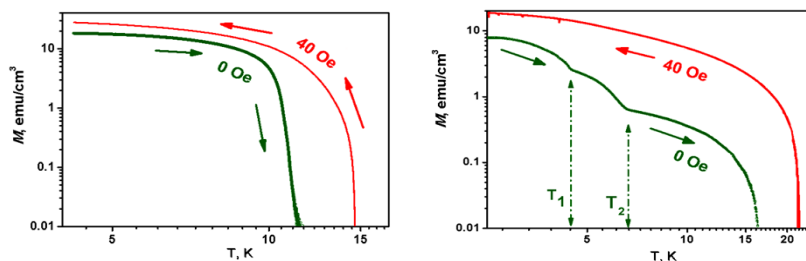


Рис.3 - Температурные зависимости намагниченности и остаточной намагниченности для пленок толщиной $h = 40$ и 25 нм

Широкие "прямоугольные" петли с коэрцитивностью 1 - 10 Э при уменьшении толщины до $h = h_k$ превращаются в узкие петли с коэрцитивностью 0.1 - 0.2 Э, характерные для суперпарамагнетиков. При этом резко усиливаются эффекты магнитного последствия, которые характеризуются двумя временами релаксации.

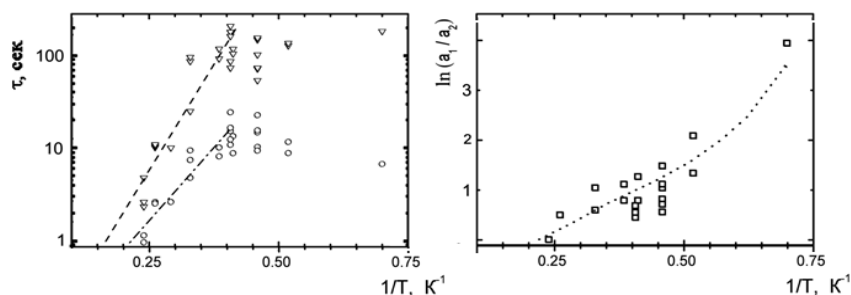


Рис.4 - Температурные зависимости времен релаксации для пленки толщиной $h = 25$ нм и изменение соотношения амплитуд релаксации

Мы связываем наблюдаемые эффекты с двухкомпонентной намагниченностью материала, одна из которых обусловлена образованием магнитных нанокластеров вокруг комплексов атомов железа, а вторая - с существованием дальнедействующего взаимодействия между этими кластерами. Известно, что в сплавах переход от ферромагнитного к суперпарамагнитному отклику на магнитное поле обычно наблюдается при понижении концентрации магнитных ионов, когда нарушается перколяция между ферромагнитными кластерами, образующимися вокруг магнитных ионов [2]. Для сплава PdFe это концентрация ~ 0.1%. Однако в нашем случае нарушение перколяции происходит при уменьшении толщины пленок, когда их толщина становится сравнима с размером кластеров, и при этом резко изменяются свойства пленок [3,4].

Работа выполнена в ИФТТ РАН и ИФП РАН при частичной поддержке проектом РФФИ 17-02-01270.

Список использованных источников:

1. *Kurpryanov M.Y., Golubov A.A., Sigel M.* // Proc. SPIE, 2006. - V. 6260. - P. 62600S.
2. *Коренблит И.Я., Шендер Е.Ф.* // УФН, 1978. - Т. 126. - С. 233.
3. *Большин В.В., Тихомиров О.А., Успенская Л.С.* // Письма ЖЭТФ, 2017. -Т. 105. - С. 153.
4. *Успенская Л. С., Хлюстиков И. Н.* // ЖЭТФ, 2017. - Т. 152. - С. 1029.