

05:09;12

Исследование перехода от мультислойных пленок к гранулированным в системе кобальт–медь

© В.М. Федосюк, Х.П. Ривас, О.И. Касютин

Институт физики твердого тела и полупроводников АН Белоруссии,
220072 Минск, Белоруссия

(Поступило в Редакцию 24 января 1997 г.)

Исследуются пленки CoCu, полученные методом импульсного электролитического осаждения из одного электролита. На основе исследования рентгенографическими методами, а также ядерного магнитного резонанса и магниторезистивных измерений прослеживается непрерывный переход от пленок многослойных CoCu к пленкам неоднородных сплавов CuCo. Предложено объяснение наблюдаемым явлениям.

Последнее время так называемые пространственно-модулированные структуры [1], к которым, в частности, относятся мультислойные пленки и гранулированные сплавы, являются объектами интенсивных исследований, а также представляют интерес с точки зрения их практического применения. Многослойные пленки Co/Cu (по 50 слоев Co и Cu) были получены по методике импульсного электролитического осаждения, ранее предложенной в работе [2]. Для анализа ближайшего окружения атомов кобальта в системе Co/Cu использовался метод ядерного магнитного резонанса на ^{59}Co при температуре 2 К на когерентном спектрометре "спиновое эхо" фирмы "Philips" в диапазоне частот от 100 до 250 МГц. Магниторезистивные измерения ($\Delta R/R$) проводились по четырехзондовой схеме в области температур 5–300 К в поле до 5 Т [3].

В работе [4] с помощью оже-спектроскопии и просвечивающей электронной микроскопии мы показали, что при толщине слоев кобальта и меди $d_{\text{Co}} \sim d_{\text{Cu}} \sim 2\text{--}3\text{ нм}$ они становятся слоями "островкового" типа. Вероятно, при рассчитанной толщине слоев менее 1.5–1.0 нм структура становится еще более разупорядоченной. Об этом косвенно свидетельствуют результаты исследования перпендикулярной магнитной анизотропии в зависимости от толщины магнитного слоя: перпендикулярная магнитная анизотропия сначала уменьшается, а затем полностью исчезает при толщине магнитного слоя $\leq 1\text{ нм}$ [5]. Напомним, что в мультислойных пленках Co/Cu причиной появления и роста поверхностной магнитной анизотропии является поверхностная анизотропия границы раздела слоев Co и Cu в многослойной системе Co/Cu [5]. Таким образом, с уменьшением толщины слоев кобальта становится логичным развитие и изменение микроструктуры многослойных пленок Co/Cu по схеме, представленной на рис. 1.

Исследования с помощью ядерного магнитного резонанса подтверждают высказанную точку зрения (рис. 2). Положение основного максимума интенсивности спектра ядерного магнитного резонанса в области 21.6 Т говорит о том, что кобальт при толщине его слоя $< 5\text{ нм}$ формируется в виде метастабильной гранецентрированной кристаллической (ГЦК) фазы. Замена одного атома кобальта в его ближайшем окружении немагнитным

атомом (для ГЦК структуры кобальта координационное число равно 12) приводит к появлению на спектре поглощения дополнительного максимума интенсивности, смещенного относительно основного на $\sim 1.6\text{ Т}$ (17 МГц). Для многослойных пленок Co 3 нм/Cu 5 нм (1 на рис. 2, а) и Co 2 нм/Cu 5 нм (2 на рис. 2, а) четко видны пики, соответствующие атомам кобальта, у которых в ближайшем окружении имеются три немагнитных атома (Cu), т. е. атомам кобальта, находящимся на границах раздела чередующихся слоев кобальт/медь. Соответствующий пик интенсивности находится при 16.8 Т. При дальнейшем уменьшении толщины слоев кобальта ($d_{\text{Co}} \leq 0.8\text{--}0.5\text{ нм}$) возрастает интенсивность на спектре ядерного магнитного резонанса в области

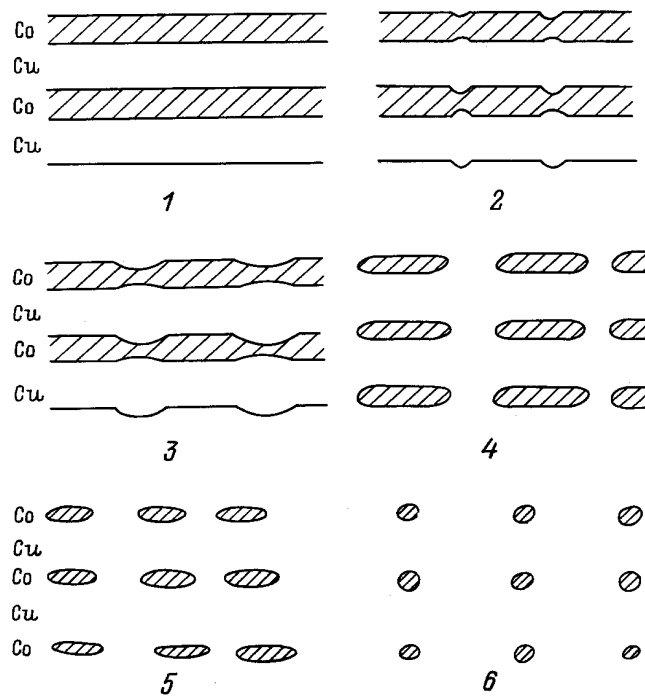


Рис. 1. Схема перехода от многослойной геометрии к гранулированной в системе Co–Cu по мере уменьшения толщины составляющих ее слоев. 1 — Co 3 нм/Cu 5 нм, 2 — Co 2 нм/Cu 5 нм, 3 — Co 1.5 нм/Cu 5 нм, 4 — Co 1 нм/Cu 5 нм, 5 — Co 0.8 нм/Cu 5 нм, 6 — Co 0.5 нм/Cu 5 нм.

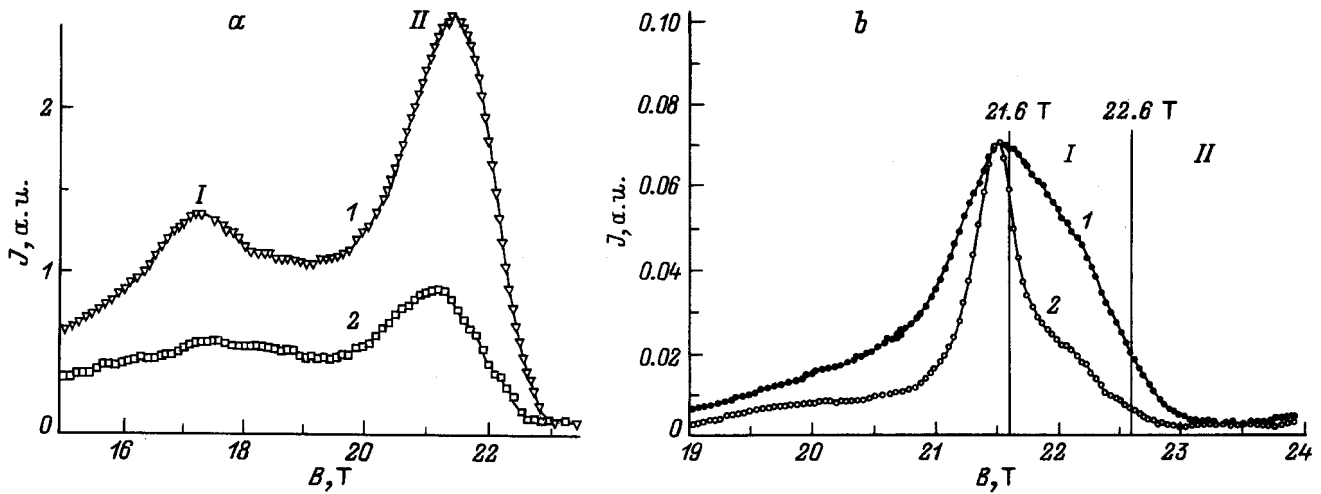


Рис. 2. Ядерный магнитный резонанс. Спектры пленок: *1a* — Co 3 nm/Cu 5 nm, *2a* — Co 2 nm/Cu 5 nm, *1b* — Co 1.5 nm/Cu 5 nm, *2b* — Co 0.5 nm/Cu 1.5 nm; *a*: *I* — гранецентрированный кубический Co + 3 at.Cu, *II* — гранецентрированный кубический Co (12 atm, Co); *b*: *I* — гранецентрированный кубический Co, *II* — гексагональный плотно упакованный Co.

16–20 Т (*I, 2* на рис. 2, *b*). Это свидетельствует об увеличении числа атомов кобальта, у которых в ближайшем окружении имеются три и более атомов меди. Таким образом, подтверждается предложенная нами последовательность перехода от пленок многослойных к гранулированным при ультрамалых (~ 0.8 – 0.5 nm) толщинах слоев кобальта (рис. 1).

Магниторезистивные измерения (рис. 3) показали, что для системы Co 0.2 nm/Cu 1.5 nm (рис. 3, *1*), которая является гранулированной, магниторезистивный эффект изотропен и отрицателен, т.е. сопротивление пленки уменьшается во внешнем магнитном поле независимо от направления поля, тока и ориентации образца. Таким образом, проявляется эффект гигантского магнитосопротивления, свойственный для пленок неоднородных сплавов [1,3,6,7]. Для пленок Co 2.5 nm/Cu 1.5 nm наблюдается положительный магниторезистивный эффект в конфигурации $I \parallel H$ (рис. 3, *2*) (сопротивление увеличивается при приложении внешнего магнитного поля), который является признаком обычного анизотропного магнитосопротивления, свойственного однородным ферромагнитным материалам. При такой толщине немагнитной прослойки чередующиеся магнитные слои кобальта ферромагнитно упорядочены и разрушается механизм эффекта гигантского магнитосопротивления [1].

Остается открытым вопрос об обнаруженном эффекте гигантского магнитосопротивления для пленок Co/Cu с относительно толстыми слоями кобальта и меди (~ 15 nm) (рис. 3, *3*). Известно, что для появления эффекта гигантского магнитосопротивления толщина слоя не должна превосходить длину свободного пробега электронов проводимости в металле, которая составляет ~ 10 nm. Полученный результат (рис. 3, *3*) заслуживает внимания еще потому, что достаточно высокое значение $\Delta R/R$, которое достигало $\sim 3\%$, наблюдается в относительно малых магнитных полях и при комнат-

ной температуре, что представляет интерес уже для практического применения обнаруженного эффекта на электролитически осажденных многослойных пленках.

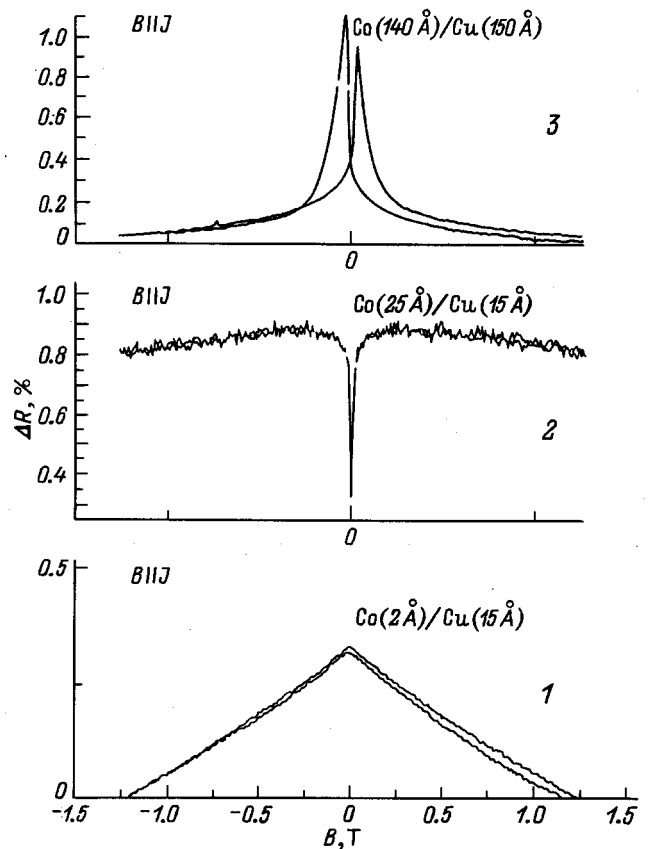


Рис. 3. Полевая зависимость магнитосопротивления пленок Co/Cu. *1* — Co 0.2 nm/Cu 1.5 nm, *2* — Co 2.5 nm/Cu 1.5 nm, *3* — Co 14 nm/Cu 15 nm.

Авторы признательны В. де Йонгу (Технологический университет, г. Эйнховен, Голландия) за предоставленную возможность измерений ядерного магнитного резонанса и гигантского магнитосопротивления и полезное обсуждение.

Список литературы

- [1] Федосюк В.М., Касютич О.И. // Заруб. электроника. 1997. № 11. С. 54–63.
- [2] Fedosyuk V.M., Kasyutich O.I. // J. Mater. Chem. 1991. Vol. 1. N 3. P. 795–797.
- [3] Федосюк В.М., Касютич О.И. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. Вып. 18. С. 52–55.
- [4] Касютич О.И., Федосюк В.М. // ФТТ. 1992. Т. 34. Вып. 9. С. 2861–2866.
- [5] Федосюк В.М., Касютич О.И. // ФММ. 1993. Т. 75. № 6. С. 58–61.
- [6] Fedosyuk V.M., Blythe H.J., Kasyutich O.I. // J. Func. Mater. 1996. Vol. 3. N 1. P. 115–116.
- [7] Fedosyuk V.M., Kasyutich O.I. // JMMM. 1993. Vol. 125. P. 330–334.