

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПРОВОДИМОСТИ
НА ОБМЕННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В МОНОКРИСТАЛЛАХ СИСТЕМЫ $Mn_xFe_{3-x}O_4$

Е.В.Бабкин, Э.С.Мушатов

С использованием метода контактной разности потенциалов исследовано влияние электронов проводимости на обменные взаимодействия в пленочных монокристаллах феррита марганца. Экспериментально установлен эффект влияния электронов проводимости на намагниченность насыщения и температуру Нееля. Приведена интерпретация наблюдаемого явления.

Теоретически показано [1], что косвенное обменное взаимодействие катионов переходных элементов через электроны проводимости мо-

кет быть существенно при концентрации последних порядка $10^{25} - 10^{26} \text{ м}^{-3}$. Экспериментально явление косвенного обмена изучается на материалах с высокой концентрацией носителей — редкоземельных окислах и халькогенидах [2].

Настоящая работа поставлена с целью экспериментальной проверки возможности влияния электронов проводимости на обменные взаимодействия в монокристаллах феррита марганца, для которого характерна проводимость n -типа.

Для изменения концентрации электронов проводимости в объеме магнитного полупроводника в настоящей работе применен метод контактной разности потенциалов. В физике и технике обычных полупроводников названный метод широко используется для создания областей пространственного заряда (ОПЗ) в зоне контакта материалов с различной работой выхода. Методически удобно сочетать данный метод с пленочной геометрией образцов (ОПЗ распространяется на весь объем).

В качестве объекта исследований были использованы пленочные монокристаллы $\text{Mn}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ с $x = 0,7$ и $1,5$ толщиной 1 мкм, выращенные эпитаксиально на поверхности кристалла окиси магния методом химических транспортных реакций. Пленки платины толщиной $0,05 - 0,1$ мкм наносились на поверхность (001) монокристаллов $\text{Mn}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ термическим напылением в вакууме. Выбор металла продиктован рекордно высоким значением работы выхода (~ 6 эВ).

Химический состав и толщина пленок контролировались методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. Магнитные измерения проводились методом механических моментов в постоянном магнитном поле $8 - 16$ кЭ.

Измерения M_S и T_N были проведены на серии образцов, полученных как в одной партии изготовления, так и в различных. С качественной стороны получены однозначные результаты для всех случаев: M_S и T_N для двухслойных систем $\text{Mn}_{1,5}\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4 - \text{Pt}$ всегда меньше, чем для отдельных пленок. С количественной стороны результаты несколько отличаются для ряда образцов из различных партий изготовления, что можно объяснить различной чистотой контактирующих поверхностей (не контролируемой в эксперименте). Эффект влияния контактного поля на обменные характеристики монокристаллов состава $\text{Mn}_{0,7}\text{Fe}_{2,3}\text{O}_4$ не наблюдался.

Согласно существующим представлениям [3], в октаэдрических позициях шпинели $\text{Mn}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ одновременно расположены разновалентные ионы Fe^{2+} и Fe^{3+} . Очевидно, что источником электронов проводимости являются донорные ионы Fe^{2+} . Их плотность можно оценить по формуле.

$$n \approx N \exp(-E/kT),$$

где N — концентрация ионов Fe^{2+} , E — энергия активации примесной проводимости.

Используя экспериментальные данные по энергиям активации для марганцевого феррита [4], получим $n \approx 0,5 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ для $\text{Mn}_{1,5}\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ и $n \approx 0,2 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}$ для $\text{Mn}_{0,7}\text{Fe}_{2,3}\text{O}_4$. Среднюю глубину ОПЗ можно

оценить согласно [5]:

$$d \approx (2V_K \epsilon_0 \epsilon / en)^{1/2},$$

где V_K — контактная разность потенциалов, $\epsilon_0 \epsilon$ — абсолютная диэлектрическая проницаемость, e — заряд электрона.

Для $Mn_{1,5}Fe_{1,5}O_4$ глубина ОПЗ $d \approx 7 \cdot 10^{-7}$ м; для $Mn_{0,7}Fe_{2,3}O_4$ $d \approx 7 \cdot 10^{-10}$ м. Большая концентрация электронов проводимости в феррите марганца с $x = 0,7$ не приводит к заметному изменению магнитных характеристик, так как в этом случае ионизации подвергаются донорные ионы в одно- двухатомных слоях. Для $Mn_{1,5}Fe_{1,5}O_4$ ситуация оказывается более оптимальной: ионизации подвергаются порядка 10^3 атомных слоев полупроводника.

Таким образом, электроны проводимости в феррите марганца при концентрациях порядка 10^{22} м^{-3} оказывают существенное влияние на обменное взаимодействие. Есть основание считать, что косвенный обмен через электроны проводимости при данных концентрациях последних имеет место не во всем объеме кристалла, а в некоторых его микрообластях. Известно, что при составах $1 < x < 1,8$ феррит марганца имеет тенденцию распадаться на микрообласти (кластеры), обогащенные ионами Mn^{3+} с локальной тетрагональной симметрией при сохранении общей кубической симметрии кристалла [6, 7]. В работе [6] на основании измерений температурной зависимости коэффициентов Зеебека и удельного электросопротивления делается вывод, что электроны проводимости должны быть сосредоточены лишь внутри этих микрообластей. Следовательно, в них образуется повышенная концентрация электронов, достаточная для возникновения косвенного обмена. Наличие указанных микрообластей и взаимодействие между ними вносят вклад в магнитные свойства всего кристалла.

Образец	M_S , Гс	T_N , К
$Mn_{1,5}Fe_{1,5}O_4$	172 ± 6	480 ± 5
$Mn_{1,5}Fe_{1,5}O_4 - Pt$	62 ± 2	423 ± 5
$Mn_{0,7}Fe_{2,3}O_4$	280 ± 9	690 ± 5
$Mn_{0,7}Fe_{2,3}O_4 - Pt$	280 ± 9	690 ± 5

Институт физики им. Л.В.Киренского
Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
22 октября 1979 г.

Литература

[1] Э.Л.Нагаев. ЖЭТФ, 56, 1013, 1969.

- [2] З.Метфессель, Д.Маттис. Магнитные полупроводники, М., изд. Мир, 1972.
- [3] С.Крупичка. Физика ферритов и родственных им магнитных окислов, М., изд. Мир, 2, 1976.
- [4] F.K.Lotgering. J.Phys. Chem. Solids, 25, 95, 1964.
- [5] А.К.Джоншер, Р.М.Хилл. Кн. Физика тонких пленок, под ред. Г.Хаса, М., изд. Мир, 1978, 8, стр. 180.
- [6] S.Krupička, Z.Šimša, Z.Smetana. Czech. Journ. Phys., B18, 1968.
- [7] J.Van Landuyt, R.De Ridder, V.A.M.Brabers, S.Amelinkx. Mat. Res. Bull., 7, 327, 1972.
-