

## **Исследование эпитаксиального роста и рентгеновского магнитоциркулярного дихроизма гетероструктур Co/MnF<sub>2</sub>**

*К. В. Кошмак, В. В. Федоров, Д. А. Баранов, Ю. А. Кибалин, А. Г. Банщиков, С. М. Сутурин, Л. Паскуали, П. Торелли, Дж. Фуджи, Г. Панационе, Н. С. Соколов*

*ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*

В современных магнитных системах хранения информации достигнут предел плотности записи, который обусловлен размерами магнитных доменов, ее элементарных носителей. Энергия тепловых колебаний магнитных частиц тем сильнее нарушает их заданную магнитным полем ориентацию, чем эти частицы меньше. Суперпарамагнитное поведение частиц 3-7 нанометрового размера, устанавливает фундаментальный предел миниатюризации частиц записывающего слоя. Устранение суперпарамагнитного предела подразумевает создание дополнительного магнитного поля, которое существенно повысит стабильность системы и не даст частицам потерять ориентацию. Одним из перспективных путей для преодоления суперпарамагнитного предела является использование в ячейках памяти эффекта обменного смещения, характерного для гетероструктуры ферромагнетик – антиферромагнетик [1]. Кроме того, в таких гетероструктурах наблюдаются эффекты гигантского магнетосопротивления, используемые в создании спиновых клапанов, на основе которых возможна разработка считывающих устройств для магнитных носителей.

Хотя эффект обменного смещения был обнаружен довольно давно [2], микроскопические механизмы его появления до сих пор остаются неясными [3]. Для уточнения этих механизмов, фториды переходных металлов с тетрагональной и орторомбической кристаллической структурой, весьма привлекательны из-за возможности перехода между структурами при изменении эпитаксиальных параметров роста. Исходя из вышеизложенного, исследование эпитаксиальной пары ферромагнетик (Co) – антиферромагнетик (MnF<sub>2</sub>) является весьма актуальным и имеется достаточно оснований утверждать, что результаты работы имеют высокую фундаментальную и практическую значимость.

В этой работе были изучены процессы эпитаксиального роста, морфология поверхности и магнитные свойства слоев Co/MnF<sub>2</sub>, выращенных на подложках CaF<sub>2</sub>/Si. Гетероструктуры Co/MnF<sub>2</sub> выращивались методом молекулярно-лучевой эпитаксии на химически инертных буферных слоях CaF<sub>2</sub> на подложках Si(001), об-

ладающих анизотропным гофрированным рельефом поверхности, а также на планарной поверхности  $\text{CaF}_2$  на  $\text{Si}(111)$  [4].

Анализ кристаллического качества поверхности во время роста производился при помощи дифракции быстрых электронов. Морфология поверхности выращенной структуры анализировалась при помощи атомно-силовой микроскопии. На планарной поверхности  $\text{MnF}_2/\text{CaF}_2(111)/\text{Si}(111)$  формируются однородные слои кобальта. На гофрированной поверхности  $\text{MnF}_2/\text{CaF}_2(110)/\text{Si}(001)$  были получены упорядоченные одномерные цепочки из островков  $\text{Co}$ , определяющие магнитную анизотропию ферромагнитного слоя.

Магнитные свойства эпитаксиальных слоев кобальта на фториде марганца изучались при помощи магнитооптического эффекта Керра и рентгеновского магнитоциркулярного дихроизма на синхротроне Элеттра в Италии. Методом рентгеновского магнитоциркулярного дихроизма (РМЦД) были выявлены интересные магнитные свойства рассматриваемых наноструктур. В гетероструктурах  $\text{Co}/\text{MnF}_2$ , у фторида марганца (при температуре 70-300К парамагнетик), была обнаружена остаточная намагниченность, как у соседнего с ним ферромагнитного слоя  $\text{Co}$  в диапазоне температур от 300 до 20К. При разделении эпитаксиальной пары тонким  $\sim 1$ -2нм немагнитным слоем  $\text{CaF}_2$ , остаточная намагниченность  $\text{MnF}_2$  исчезла, в связи с этим был сделан вывод об интерфейсной природе появления обменного смещения. В гетероструктурах с анизотропным буферным слоем  $\text{CaF}_2(110)/\text{Si}(001)$ , методом РМЦД была определена легкая ось намагничивания, которая совпадает с ориентацией одномерных цепочек островков  $\text{Co}$  сонаправленных с гофрами. Высота петель гистерезиса  $\text{Co}$  постоянна и не зависит от температуры, а для  $\text{MnF}_2$  линейно убывает с увеличением температуры от гелиевой до 300К. Также в ходе работы было установлено, что форма, ширина и обменное смещение петель гистерезиса  $\text{Co}$  и  $\text{MnF}_2$  совпадают.

#### Литература:

1. V. Skumryev et al. Nature 423 (2003).
2. W. H. Meiklejohn, C. P. Bean, Phys. Rev. 102 (1956).
3. J. Nogues, I. K. Schuller, J. Magnetism and Magn. Materials 192 (1999).
4. N. S. Sokolov et al. Appl. Surf. Sci. 234 (2004).