

**СТРУКТУРНЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНОЙ СИСТЕМЫ Fe-Co**

*Ю. А. Захаров, В. М. Пугачев, А. Н. Попова, Г. А. Ростовцев, А. С. Богомяков*

**Fe-Co NANOSCALE SYSTEMS: STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES**

*Yu. A. Zakharov, V. M. Pugachev, A. N. Popova, G. A. Rostotvsev, A. S. Bogomyakov*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» по государственному контракту № 14.В37.21.0081.*

В работе изложены полученные методами рентгеновской дифрактометрии результаты исследования фазового состава и структурных особенностей наноразмерных частиц системы Fe-Co, полученных жидкофазным восстановлением гидразингидратом и тетрагидроборатом смесей водных растворов солей. Магнитные характеристики наночастиц установлены методом СКВИД-магнитометрии. Изучены процессы формирования наноразмерных твердых растворов металлов в системе железо-кобальт, а также их магнитные свойства в зависимости от вида восстановителя, фазового и химического составов.

The features of synthesis and the properties of Fe-Co system nanosize powders obtained by reduction of Fe and Co water solutions of salt at 80-90 °C (i.e. at the conditions close to normal) are investigated by the methods of wide-angle X-ray diffraction, element analysis, electronic microscopy. The magnetic characteristics of the product are considered. Dependence of magnetic properties and chemical compound of products is determined.

**Ключевые слова:** наноразмерные порошки, система железо-кобальт, фазовый состав, магнитные наночастицы, морфология наночастиц.

**Keywords:** nanopowders, iron-cobalt system, phase structure, magnetic nanoparticles.

Влияние режимов получения химическими методами наноразмерных бикомпонентных систем (НБС) переходных металлов на их фазовые составы, морфологию частиц и свойства (в том числе магнитные) практически не изучено, несмотря на перспективность использования этих биметаллов в различных областях техники, ввиду ряда особенностей и уникальных свойств их по сравнению с «объемными» аналогами [1]. Так, частицы НБС Fe-Co обладают высокими магнитными характеристиками, что обуславливает их использование в системах записи и хранения информации, для диагностики сварных соединений, магнитного охлаждения, в качестве магнитных сенсоров, в медицине, биологии и для создания на их основе новых магнитных материалов [2].

Целью настоящей работы являлось изучение влияния вида восстановителя (гидразин-гидрат (ГГ) и тетрагидроборат натрия (ТГБ)) на структурные и магнитные характеристики НБС железо-кобальт, получаемой восстановлением смесей водных растворов солей.

Сочетанием методов электронной микроскопии (JEOL JSM 6390), рентгеновской дифрактометрии, измерениями плотности, пористости и величины удельной поверхности порошков (по БЭТ) показано, что для НБС, полученной восстановлением ГГ (НБС-1), характерна трехуровневая организация частиц: кристаллиты (5 – 20 нм) – составленные из них компактные агрегаты (около 40 нм) – пористые агломераты (более 100 нм). Частицы НБС, восстановленные ТГБ (НБС-2), наноразмерные (единицы нм) и согласно данным дериватомасс-спектрометрии (Netzsch SIA 409 LUX) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (спектрометр SPFCS) содержат в качестве примесей бор и борокисные соединения. Однако, в

результате достаточно сложных (обсуждаемых в работе) превращений при нагревании свыше 200°C образуются металлические фазы НБС (частицы размерами десятки нм), содержащие включения окислов и бора.

Установленный рентгенодифракционным методом (дифрактометры ДРОН-3 и Bruker D8 Advance) с расчетом параметров решетки нанокристаллических фаз и размеров кристаллитов, согласно методике [3, с. 148 – 155] фазовый портрет НБС-1 соответствует области  $T_{эфф}$ , характеризующей энергонасыщенность системы [2] (рис. 1).

В фазовой зоне ОЦК параметры решетки НБС-2 аналогичны (с тенденцией к небольшому занижению) установленным для НБС-1 и это позволяет считать, что бор не образует с НБС твердые растворы (внедрения).

Зависимость намагниченности насыщения ( $\sigma$ ) НБС-1 от соотношения компонент и фазового состава системы Fe-Co выражена заметно слабее по сравнению с аналогичной для массивных образцов. Однако, характер ее качественно подобен – наибольшие значения  $\sigma$  наблюдаются у монофазных ОЦК-составов с высоким соотношением компонент вблизи 1:1.

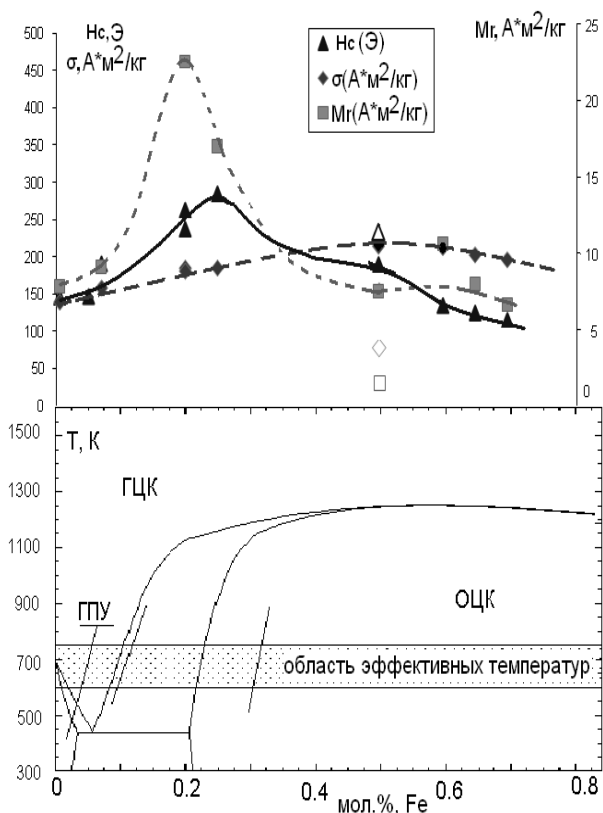


Рис. 1. Фазовый портрет наноразмерной системы FeCo в области  $T_{\text{эфф}}$  и значения намагниченности насыщения ( $\sigma$ ), коэрцитивной силы ( $H_c$ ), остаточной намагниченности ( $M_r$ ) при 5K  $\Delta, \blacksquare, \blacklozenge$  относятся к НБС-2

### Литература

1. Помогайло, А. Д. Наночастицы металлов в полимерах / А. Д. Помогайло, А. С. Розенберг, И. Е. Уфлянд. – М.: Химия, 2000. – 672 с.
2. Захаров Ю. А. // Синтез и свойства наноразмерных порошков металлов группы железа и их взаимных систем / Ю. А. Захаров, В. М. Пугачев, А. Н. Попова [и др.] // Перспективные материалы. – 2008. – № 6(1).
3. Ковба, Л. М. Рентгенофазовый анализ / Л. М. Ковба, В. К. Трунов. – М.: Изд-во МГУ, 1976.

### Информация об авторах:

**Захаров Юрий Александрович** – член-корреспондент РАН, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии твердого тела КемГУ, 8 (3842) 58-05-91, zaharov@kemsu.ru

**Yury A. Zakharov** – Corresponding Member of the RAS, Doctor of Chemistry, Professor, Head of the Department of Chemistry of Solids, Kemerovo State University.

**Пугачёв Валерий Михайлович** – кандидат химических наук, доцент кафедры химии твердого тела КемГУ, 8(3842) 58-05-91, vm1707@mail.ru

**Valery M. Pugachev** – Candidate of Chemistry, Assistant Professor at the Department of Chemistry of Solids, Kemerovo State University.

**Попова Анна Николаевна** – кандидат химических наук, ведущий инженер кафедры ХТТ КемГУ, старший научный сотрудник Кемеровского научного центра СО РАН, 8(3842) 580591, zaharov@kemsu.ru.

**Anna N. Popova** – Candidate of Chemistry, Chief Engineer at the Department of Chemistry of Solids, Kemerovo State University.

**Ростовцев Геннадий Александрович** – аспирант кафедры химии твердого тела КемГУ.

**Gennadi A. Rostovtsev** – postgraduate the Department of Chemistry of Solids, Kemerovo State University.

Так же как у макроразмерных систем в областях ОЦК- и ГЦК- твердых растворов НБС-1 величины коэрцитивной силы и остаточной намагниченности слабо зависят от химического состава; в целом монофазная система является умеренно магнитотвердой.

Влияние фазового состава на магнитные характеристики проявляются в существенном возрастании значений  $H_c$  и  $M_r$  в области двухфазности НБС Fe-Co. Эффект выражен сильнее, чем в массивных образцах, и связан, вероятно, с возрастанием в таких (нанодвухфазных) системах затруднений в ориентации магнитных доменов во внешнем поле. Как следствие этого состава становятся магнитотвердыми.

Ввиду различия размеров, морфология частиц и межфазовой организации НБС-1 и НБС-2 наблюдаются заметные отличия магнитных характеристик этих систем (рис. 1) – снижение у НБС-2 значений намагниченности насыщения и остаточной намагниченности. Первое естественно связать с наличием в ферромагнитном Fe-Co диамагнитных включений бора; второе – с существенным уменьшением размеров кристаллитов (эффект суперпарамагнетизма).

**Богомяков Антон Сергеевич** – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник института «Международный томографический центр» СО РАН (г. Новосибирск), (8383) 3331945, [itc@tomo.nsc.ru](mailto:itc@tomo.nsc.ru).

**Anton S. Bogomyakov** – Candidate of Chemistry, Leading Researcher at International Tomography Center of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk.