

This complex approach allows us to reveal the influence of particle shape anisotropy and external magnetic field on the microstructure and macroscopic properties.

Thus, one can tune and design new smart materials with controllable microstructure and as a result various macroproperties via changing external and internal parameters. Microstructure and macroscopic properties of magnetic soft materials significantly change with modifying particle parameters, such as shape and orientation of the magnetic moment and system characteristics. These results can be the basis for the development of theoretical models and the design of new systems with a magnetic response.

1. S. Sacanna, L. Rossi, B. W. M. Kuipers, and A. P. Philipse. Fluorescent Monodisperse Silica Ellipsoids for Optical Rotational Diffusion Studies – *Langmuir* 22, 2006. – 1822-1827 p.
2. Pyanzina, E.S., Kantorovich, S.S. and De Michele. Nematic phase characterisation of the self-assembling sphere-cylinders based on the theoretically calculated RDFs – *C. Eur. Phys. J. E* 38, 2015. – 81 p.

### НЕСТАБИЛЬНОСТЬ МАГНИТНЫХ МОМЕНТОВ АТОМОВ 3D-МЕТАЛЛОВ В $(\text{Fe},\text{Co})_7\text{Se}_8$

Акромов Д.Ф.<sup>1</sup>, Мозговых С.Н.<sup>1</sup>, Селезнева Н.В.<sup>1</sup>, Баранов Н.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, ИЕНиМ, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
E-mail: [Dmaster96@mail.ru](mailto:Dmaster96@mail.ru)

### INSTABILITY OF MAGNETIC MOMENTS OF 3D-METAL ATOMS IN $(\text{Fe},\text{Co})_7\text{Se}_8$

Akramov D.F.<sup>1</sup>, Mozgovykh S.N.<sup>1</sup>, Selezneva N.V.<sup>1</sup>, Baranov N.V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>) Ural Federal University, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>) Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

In this work,  $(\text{Fe},\text{Co})_7\text{Se}_8$  single crystals were synthesized and studied to reveal the effect of the Co for Fe substitution. It has been found a decrease in magnetocrystalline anisotropy energy and an increase in the temperature of the spin reorientation transition with increasing cobalt content.

В работе [1] было показано, что в системе  $\text{Fe}_{7-x}\text{Co}_x\text{Se}_8$  замещение железа кобальтом приводит к уменьшению магнитного момента на 3d атом и при достижении концентрации кобальта  $x \geq 4$  происходит исчезновение дальнего магнитного порядка. В соединении  $\text{Fe}_7\text{Se}_8$  наблюдается также наличие спиновой

переориентации; происходит изменение направления магнитного момента от оси  $c$  к направлению перпендикулярному оси  $c$  при увеличении температуры выше  $T = 130$  К [2]. В системе  $\text{Co}_7(\text{Se}_{1-y}\text{S}_y)_8$  все соединения вне зависимости от концентраций серы являются парамагнетиками Паули [3]. Отсутствие магнитного момента на атомах кобальта в халькогенидных соединениях со стехиометрией 7:8 объясняют либо делокализацией 3d электронов вследствие сильного перекрытия электронных орбиталей, либо нахождением атома кобальта в низкоспиновом состоянии из-за наличия относительно сильного кристаллического поля.

В настоящей работе выполнен синтез монокристаллов  $(\text{Fe},\text{Co})_7\text{Se}_8$  и проведено их исследование с целью установления магнитного состояния атомов 3d металлов и влияния замещения на физические свойства. Монокристаллы  $\text{Fe}_{7-x}\text{Co}_x\text{Se}_8$  с концентрацией кобальта  $x \leq 3$  были получены с помощью модифицированного метода Бриджимена путем охлаждения расплава в вакуумированных кварцевых ампулах при наличии температурного градиента. Измерения магнитной восприимчивости и намагниченности образцов осуществлялись с помощью СКВИД-магнитометра (Quantum Design, USA) в диапазоне температур от 2 К до 350 К. Измерения теплоемкости проводились в температурном интервале 2 К – 300 К на PPMS DynaCool T9 (Quantum Design, USA).

Установлено, что все полученные монокристаллы  $\text{Fe}_{7-x}\text{Co}_x\text{Se}_8$  кристаллизуются в гексагональной сингонии со слоистой структурой типа NiAs и увеличение концентрации кобальта сопровождается уменьшением только параметра  $c$ . Наряду с уменьшением межплоскостного расстояния, замещение железа кобальтом приводит к увеличению температуры спиновой переориентации, в соединении с концентрацией кобальта  $x = 3$  эффект спиновой переориентации исчезает. Возрастание температуры спиновой переориентации, по-видимому, связано с увеличением кристаллического поля из-за сжатия элементарной ячейки. Аномалия на температурной зависимости удельной теплоемкости для  $\text{Fe}_7\text{Se}_8$  в области спиновой переориентации говорит о резком изменении ориентации магнитных моментов путем фазового перехода 1-го рода, а отсутствие такой аномалии на зависимости  $C_p(T)$  для соединений с концентрацией кобальта  $x \geq 0.5$  свидетельствует о постепенном изменении ориентации магнитных моментов. Использование расчетной модели для констант магнитокристаллической анизотропии из работы [4] позволило определить энергию анизотропии и выявить уменьшение энергии магнитной анизотропии при увеличении концентрации кобальта. Можно предположить, что снижение энергии анизотропии вызвано уменьшением орбитального момента на атомах железа вследствие частичной коллективизации 3d электронов атомов железа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № FEUZ-2020-0054)*

1. Baranov N.V., Ibrahim P.N.G., Selezneva N.V., Gubkin A.F., Volegov A.S., Shishkin D.A., Keller L., Sheptyakov D. and Sherstobitova E.A., Journal of Physics: Condensed Matter, V. 27, P. 286003, (2015)

2. Kamimura T., Journal of the physical Society of Japan, V. 43, P. 1594-1599, (1977)
3. Miller V.L., Lee W.L., Lawes G., Ong N.P., Cava R.J., Journal of Solid State Chemistry, V. 178, P. 1508-1512, (2005)
4. Kamimura T., Kamigaki K., Hirone T., Journal of the physical Society of Japan, V. 22, P. 1235-1240, (1967)

## COERCIVITY ENHANCEMENT OF Nd-Fe-B MAGNETS BY THE GRAIN BOUNDARY DIFFUSION OF Nd(FeCo)Cu EUTECTIC ALLOYS

Alekseev I.V.<sup>1,2</sup>, Andreev S.V.<sup>2</sup>, Volegov A.S.<sup>1,2</sup>,  
Gerasimov E.G.<sup>1,2</sup>, Terentev P.B.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

E-mail: [igor.alekseev@urfu.ru](mailto:igor.alekseev@urfu.ru)

In this work we are going to investigate an influence of the diffusion of Nd(Fe-Co)Cu eutectic alloys on magnetic properties of Nd-Fe-B based permanent magnets.

Nowadays Nd-Fe-B based permanent magnets have an important value. They are used in many applications where the high value of maximum energy product  $(BH)_{\max}$  is needed, e.g. motors for hybrid and electric vehicles. An operating temperature can reach 200 °C that requires a coercivity of the order of 30 kOe. This is possible by replacing Nd with Dy at the expense of  $(BH)_{\max}$ . In addition, localized natural resources and the high cost of Dy have stimulated current efforts at the development of Dy-free high coercive Nd-Fe-B magnets. One of the best approach to enhance coercivity is the grain boundary diffusion of eutectic alloys. The coercivity enhancement from 16.6 to 19.5 kOe for HDDR powders [1], from 14.0 to 29.5 kOe for thin films [2], and from 5.3 to 23.8 kOe for melt-spun ribbons [3] using this procedure was reported.

In this work we are going to investigate an influence of the diffusion of Nd(Fe-Co)Cu eutectic alloys on magnetic properties of Nd-Fe-B based permanent magnets. A mixture of a commercially available MQP-B alloy (70 wt. %) and Nd<sub>75</sub>(Cu<sub>0.25</sub>(FeCo)<sub>0.75</sub>)<sub>25</sub> powders (30 wt. %) was chosen as an object of the study. The components were milled and mixed in a vibrating mill for 20 minutes, then pressed into parallelepipeds 5 × 5 × 10 mm in size and placed in quartz ampoules for a further heat treatment. Measurements were carried out by a pulse magnetometer with magnetic fields H of up to 100 kOe and the PPMS DynaCool with magnetic fields H of up to 90 kOe. The results of the investigation will be presented on the conference.

*The study was supported by Minobrnauki of Russia (theme "Alloys" № AAAA-A19-119070890020-3).*

1. H. Sepehri-Amin et. al, Scripta Mater., 63, 1124 – 1127, (2010)