

МАГНИТНЫЕ ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ СВОЙСТВА ДВОЙНОГО ФТОРИДА LiDyF_4 ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Г. Ю. Андреев¹, И. В. Романова¹, С. Л. Кораблева¹, О. А. Морозов^{1,2}, А. С. Семакин¹,
М. А. Черосов¹, А. Г. Киямов¹, М. С. Тагиров^{1,3}
ujif28@mail.ru

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

²Казанский физико-технический институт им. Е. К. Завойского
ФИЦ Казанский научный центр РАН, г. Казань

³Институт прикладных исследований Академии наук Республики Татарстан, г. Казань

Редкоземельные двойные фториды LiREF_4 ($\text{RE} = \text{Y}, \text{Gd-Lu}$) представляют интерес для физики дипольного магнетизма, квантовых фазовых переходов [1, 2], а также как пример соединений, в которых наблюдается низкотемпературная гигантская магнитоstriction [3], и как материалы для лазерной техники и квантовой электроники [4]. LiDyF_4 является дипольным XY-антиферромагнетиком, $T_N = 610(15)$ мК, плоскость лёгкого намагничивания перпендикулярна оси c кристалла, кристаллическая структура шеелита CaWO_4 , симметрии $I4_1/a$. [5].

Образец микроразмерного порошка LiDyF_4 синтезирован следующим образом: порошки-прекурсоры – 0.121 г LiF (99.99 %) и 0.642 г DyF_3 (99.99 %), – держались в динамическом вакууме $4 \cdot 10^{-3}$ Па три часа при 150°C для удаления влаги, а затем спекались 18 часов при температуре 600°C в атмосфере Ar (99.98 %). Соотношение прекурсоров взято согласно фазовым диаграммам [6]. Характеризация порошкового образца проводилась методами порошковой рентгеновской дифракции и сканирующей электронной микроскопии. Монокристаллические образцы LiDyF_4 и $\text{LiYF}_4 : \text{Dy} 1\%$ были выращены методом Бриджмена – Стокбаргера. Контроль монокристалличности образцов и поиск кристаллографических осей осуществлялся на автоматическом рентгеновском дифрактометре *Bruker D8 Advance*. Намагниченность образцов измерялась на вибрационном магнитометре *VSM* установки *PPMS* в пределах температур 2–300 К и магнитных полей до 9 Тл. Теоретический анализ проведён методом диагонализации одноионного гамильтониана иона Dy^{3+} в полном базисе электронных состояний свободного иона [3, 7].

При $T < 7$ К, при протяжке магнитного поля в интервале $-9...+9$ Тл, у микроразмерного порошка LiDyF_4 обнаружен магнитный гистерезис-бабочка: две петли намагниченности сходящиеся в нуле. Этот эффект также наблюдался при измерениях намагниченности образца концентрированного монокристалла LiDyF_4 и не наблюдался у образца магниторазбавленного монокристалла $\text{LiYF}_4 : \text{Dy} 1\%$. Также, гистерезисный эффект отсутствует при $2 < T < 300$ К у образцов микроразмерных порошков LiREF_4 ($\text{RE} = \text{Tb}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Yb}$) синтезированных тем же методом спекания, и у образца наноразмерного порошка LiTbF_4 [8]. При времязрешённых измерениях получена температурная зависимость времён релаксации намагниченности для образца микроразмерного порошка LiDyF_4 , значения времён релаксации составляют порядка секунд и десятков секунд. Это первое наблюдение подобного гистерезисного магнитного эффекта для концентрированных парамагнитных систем [7].

Авторы выражают благодарность Б. З. Малкину за обсуждение результатов и Р. В. Юсупову за разрешение проводить расчёты на лабораторном компьютере.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-22-00257).

Литература

1. Aminov L. K., Malkin B. Z., Teplov M. A. Magnetic properties of nonmetallic lanthanide compounds // Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths. 1996. Vol. 22. P. 295.
2. Babkevich P., Finco A, Jeong M. et al. Neutron spectroscopic study of crystal-field excitations and the effect of the crystal field on dipolar magnetism in LiRF_4 ($R = \text{Gd, Ho, Er, Tm, and Yb}$) // Physical Review B. 2015. V. 92. Art. No 144422.
3. Romanova I.V., Tagirov M.S. Magnetic and magnetoelastic properties of non-conducting rare-earth single crystals LiLnF_4 ($\text{Ln} = \text{Tm, Tb, Ho, Dy}$) (Review) // Magnetic Resonance in Solids. 2019. V. 21, I. 4. Art. No 19412.
4. Семашко В. В., Кораблева С. Л., Фёдоров П. П. Двойные фториды лития и редкоземельных элементов – материалы фотоники. 2. Некоторые физические и спектрально-генерационные характеристики // Неорганические материалы. 2022. Т. 58., № 5. С. 467.
5. Mennenga G., de Jongh L. J., Huiskamp W. J., Laursen I. A comparative study of the magnetic ordering specific heats of four $S = 1/2$ dipolar magnets: LiRF_4 ($R = \text{Er, Dy, Ho, Tb}$) // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 1984. V. 44, I. 1–2. P. 48.
6. Фёдоров П. П., Семашко В. В., Кораблева С. Л. Двойные фториды лития и редкоземельных элементов – материалы фотоники. 1. Физико-химическая характеристика // Неорганические материалы. 2022. Т. 58, № 3. С. 235.
7. Andreev G. Yu., Romanova I. V., Korableva S. L. et al. The first observation of macroscopic hysteresis effect of LiDyF_4 crystal powders at $T > T_N$ // Materials Research Bulletin. 2022. V. 156. Art. No 112002.
8. Андреев Г. Ю., Романова И. В., Кораблева С. Л. и др. Магнитные свойства нано- и микроразмерного кристаллических порошков тетрафторида лития – тербия // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2023. Т. 87, № 4. С. 462.