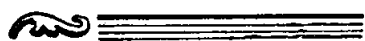


Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



№ 6 — 1969



УДК 539.293:538.652

Т. А. ЕЛКИНА, К. М. БОЛЬШОВА

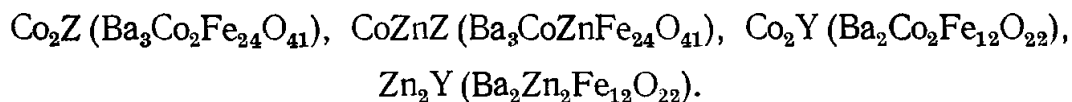
МАГНИТОСТРИКЦИЯ ГЕКСАГОНАЛЬНЫХ ФЕРРИТОВ СО СТРУКТУРАМИ Y и Z

Измерена магнитострикция нескольких составов гексаферритов со структурами Y и Z при различных температурах.

Известно, что гексагональные ферриты сильно анизотропны. На этом свойстве основано их применение в качестве материала для постоянных магнитов.

Свойства гексагональных ферритов в статических магнитных полях изучены сравнительно мало. Так, магнитострикция измерялась только на ферритах со структурой W и только при комнатной температуре [1, 2]. Данные этих измерений показали, что величина магнитострикции мала (от 10^{-5} до 10^{-6} в различных составах и при различных углах между гексагональной осью кристалла, направлением магнитного поля и направлением измерения). Данные о магнитострикции гексагональных ферритов со структурами Y и Z в литературе отсутствуют.

Нами измерялась зависимость магнитострикции нескольких составов со структурами Y и Z от приложенного магнитного поля при комнатной температуре и температуре жидкого азота. Измерения проводились на ориентированных поликристаллах следующих составов:



Магнитострикция измерялась методом проволочных тензодатчиков в полях до 12 кэрст. Образцы представляли собой кубики со стороной ≈ 6 мм в случае составов Co_2Z и Zn_2Y . Образцы Co_2Y и CoZnZ представляли собой параллелепипеды с размерами сторон $7 \times 5 \times 3$ мм и $6,3 \times 5 \times 4$ мм. Тензодатчики были изготовлены из константовой проволоки и имели заметный гальваномагнитный эффект в низких температурах (при комнатной температуре гальваномагнитный эффект был очень мал и на измерения не влиял). Для компенсации влияния гальваномагнитного эффекта в цепь измерительного моста включались два датчика — один на образце, другой на кварце, причем сопротивления датчиков подбирались отличающимися не более чем на 0,1 ома (сопротивление самого датчика составляло ≈ 82 ома). Кроме того, с целью

учета погрешности, измерения гальваномагнитного эффекта при различных полях проводились на системе из двух датчиков на кварцах и были введены соответствующие поправки в измерения с образцами. Ввиду того что величина этих поправок сильно нарастала с ростом магнитного поля, оказалось целесообразным ограничить измерения магни-

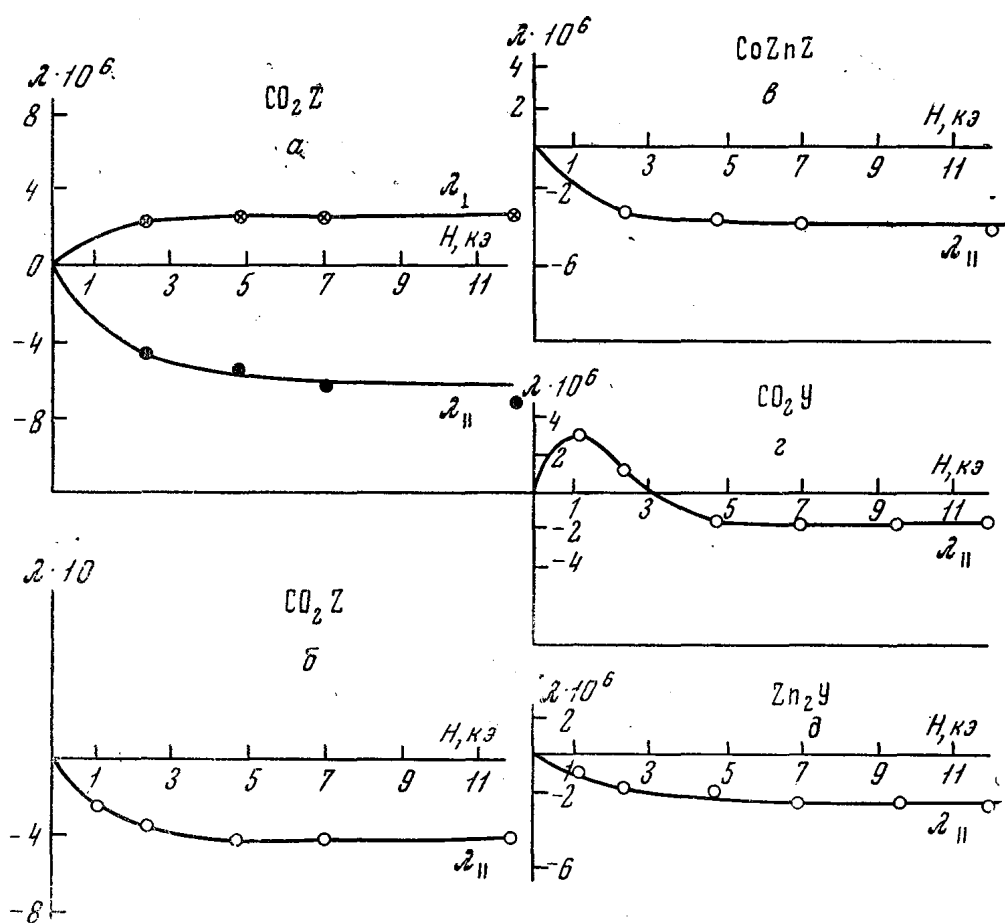


Рис. 1. Зависимость магнитострикции от намагничивающего поля при комнатной температуре. а — продольная ($\lambda_{||}$) и поперечная (λ_{\perp}) магнитострикция в базисной плоскости; б и д — продольная магнитострикция вдоль гексагональной оси; в — г — продольная магнитострикция в базисной плоскости

тострикции в низких температурах полями в 7000 эрст (при комнатной температуре измерения проводились в полях до 12000 эрст).

В целях получения надежных результатов магнитострикция каждого образца измерялась несколько раз, причем каждый раз наклеивался новый датчик. Приведенные результаты представляют средние значения, выведенные из таких измерений. Для проверки работы установки измерения магнитострикции при комнатной температуре и температуре жидкого азота были проведены также на образце поликристаллического никеля.

На рис. 1 показаны результаты измерений магнитострикции в зависимости от намагничивающего поля при комнатной температуре на образцах Co_2Z , CoZnZ , Co_2Y и Zn_2Y . (Размер датчика составлял 5×5 мм; поэтому провести измерения магнитострикции вдоль гексагональной оси на образцах CoZnZ и Co_2Y не удалось.) Как видно из рис. 1, магнитострикция во всех случаях мала и имеет порядок 10^{-6} . В соединении Co_2Y наблюдается аномальная зависимость магнитострикции от намаг-

ничающего поля, а именно перемена знака магнитострикции при увеличении намагничивающего поля.

В соединениях CoZnZ и Co_2Y поперечная магнитострикция в базисной плоскости оказалась настолько малой, что ее невозможно было с уверенностью измерить с помощью примененной методики. Данные зависимости магнитострикции от поля при температуре жидкого азота приведены на рис. 2. Как видно из рисунка, во всех составах наблю-

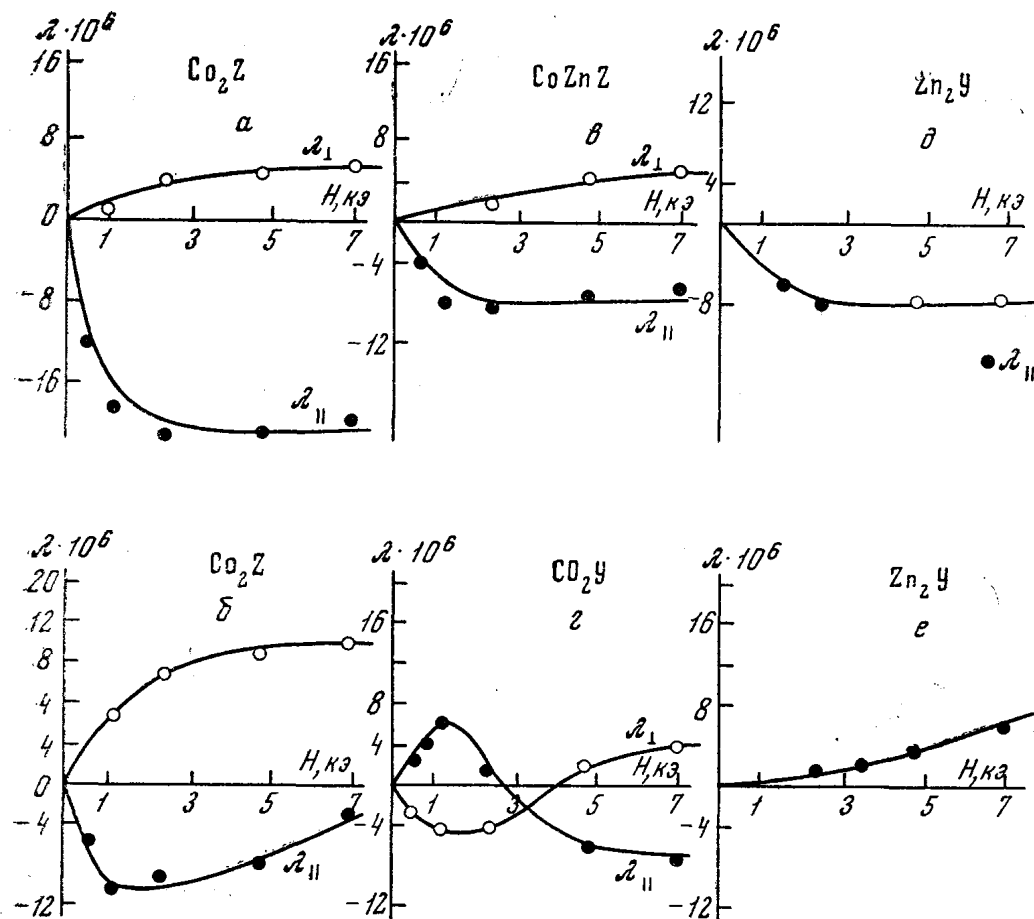


Рис. 2. Зависимость магнитострикции от намагничивающего поля при температуре жидкого азота. а—продольная λ_{\parallel} и поперечная (λ_{\perp}) магнитострикция в базисной плоскости; б—продольная (λ_{\parallel}) магнитострикция вдоль гексагональной оси и магнитострикция вдоль гексагональной оси при намагничивании в базисной плоскости (λ'_{\perp}); в—г и д—продольная (λ_{\parallel}) и поперечная (λ_{\perp}) магнитострикция в базисной плоскости. е—продольная магнитострикция вдоль гексагональной оси

дается некоторое увеличение магнитострикции по сравнению с комнатной температурой. В соединении Co_2Y наблюдается, как и при комнатной температуре, изменение знака магнитострикции при увеличении намагничивающего поля. Магнитострикция не обнаруживает сколько-нибудь заметной анизотропии—значения ее в плоскости и вдоль гексагональной оси имеют один и тот же порядок величины (в одном и том же поле). Следует также отметить незначительное влияние кобальта на величину магнитострикции. В этом отношении исследованные в данной работе гексагональные ферриты сильно отличаются от ферритов—шпинелей, в которых малые присадки кобальта чрезвычайно сильно

сказываются на магнитоотрицательности. Так, согласно литературным данным [3] ферриты Fe_3O_4 и $\text{Co}_{0,04}\text{Fe}_{2,96}\text{O}_4$ имеют следующие значения λ_{100} при температуре жидкого азота:

$$\begin{aligned}\text{Fe}_3\text{O}_4 \quad \lambda_{100} &\simeq -12 \cdot 10^{-6}, \\ \text{Co}_{0,04}\text{Fe}_{2,96}\text{O}_4 \quad \lambda_{100} &\simeq -50 \cdot 10^{-6}.\end{aligned}$$

Согласно современным теориям [4 и 5] сильное влияние кобальта на магнитоотрицательность ферритов-шпинелей связано с тем, что орбитальный момент иона кобальта не полностью компенсируется кристаллическим полем (как это имеет место для других элементов группы железа). Кроме того, этот орбитальный момент сильно связан с тригональной составляющей кристаллического поля [3]. Поэтому спиновой магнитный момент иона Co^{2+} , вследствие спин-орбитального взаимодействия, ориентируется в решетке шпинели вполне определенным образом. В ферритах-шпинелях и в гексагональных ферритах симметрия кристаллического поля, очевидно, различна, это по-видимому и является причиной различия влияния иона кобальта на магнитоотрицательность шпинелей и гексагональных ферритов.

Влияние иона Co^{2+} на магнитную анизотропию гексагональных ферритов также сравнительно мало. Так в книге Смита и Вейна [6] указывается, что энергия одноосной анизотропии, приходящаяся на ион кобальта в ферритах-шпинелях, составляет $\approx 50 \text{ см}^{-1}$, в то время как вклад ионов кобальта в энергию кристаллографической анизотропии гексаферрита со структурой Y составляет $\approx 3 \text{ см}^{-1}$ на ион. Таким образом, данные о влиянии ионов кобальта на анизотропию и магнитоотрицательность гексагональных ферритов со структурой Y согласуются.

Наиболее интересной особенностью изученных материалов является то, что в них не наблюдается корреляция между величиной магнитоотрицательности и константой магнитной анизотропии. Как известно, магнитные материалы, отличающиеся высокой анизотропией, имеют также большую магнитоотрицательность. Малая величина магнитоотрицательности в сильно анизотропных гексаферритах со структурами Y и Z указывает на различный физический механизм, ответственный за анизотропию и отрицательность этих материалов. Как известно, величина магнитоотрицательности определяется главным образом связью спинового магнитного момента с решеткой кристалла через посредство спин-орбитального взаимодействия. Такая связь возникает из-за того, что спиновый магнитный момент связан с орбитальным моментом (спин-орбитальное взаимодействие), а распределение орбитальных моментов d -электронов из-за влияния кристаллических полей является анизотропным и соответствует кристаллографической симметрии решетки.

Малая величина магнитоотрицательности исследованных гексаферритов указывает на то, что такой механизм (спин-орбитальное взаимодействие) не может привести к большой магнитной анизотропии в этих материалах.

На основании исследования магнитных свойств гексаферритов со структурами Y и Z в районе температуры Кюри [8] проф. К. П. Беловым выдвинуто предположение, что источником высокой магнитной анизотропии этих материалов является анизотропия обменного взаимодействия.

Полученные авторами статьи результаты измерений магнитоотрицательности гексаферритов являются косвенным подтверждением такого предположения. Однако, поскольку в настоящее время в литературе отсутствуют теоретические расчеты анизотропии и магнитоотрицательности гексаго-

нальных ферритов, этот вопрос нельзя считать до конца выясненным.

Аномальная зависимость магнитострикции от поля, которая наблюдалась в соединениях Co_2Y (в базисной плоскости) и Co_2Z (вдоль гексагональной оси), вероятно, связана с особенностями технического намагничивания в этих материалах.

Известно [9], что магнитострикция гексагонального кристалла изображается формулой, содержащей четыре константы, которые могут иметь различную величину и знак. Поэтому в ходе процесса намагничивания при изменении угла между приложенным полем и осями кристалла может наблюдаться нарушение монотонной зависимости магнитострикции от поля. Бозорт провел измерения магнитострикции на монокристалле гексагонального кобальта и наблюдал (для некоторых направлений в кристалле) уменьшение абсолютной величины магнитострикции по мере роста намагничивающего поля. Он объяснил это явление особенностями хода процесса технического намагничивания в данном материале. Аналогичный эффект снижения стрикции по мере роста поля наблюдался в гексагональных ферритах со структурой W [1].

В измерениях магнитострикции исследованных материалов принимала участие студентка-дипломница И. П. Радченко.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фонтон С. С., Залесский А. В. ЖЭТФ, 47, 5, 1964.
2. Боровик Е. С., Дикий А. Л., Мамалуй Ю. А. «Укр. физ. журнал», 9, 12, 1966.
3. John C., Slonzewski J. Phys. Chem. Solids, 15, 3, 1960.
4. Philips T. G., White R. L. Phys. Rev., 153, 2, 1967.
5. Tsuya N. J. Appl. Phys., 29, 3, 1958.
6. Смит Я., Вейн Х. Ферриты. М, ИЛ, 1962.
7. Callen E. J. Appl. Phys., 39, 519, 1968.
8. Королева Л. И. Автореферат канд. диссертации. МГУ, 1968.
9. Buzorth R. M. Phys. Rev., 96, No. 2, 1954.

Поступила в редакцию
19.2 1969 г.

Кафедра
общей физики для биологов