1. *P.J. Cote*, Solid State Commun. **18**, 1311 (1976).
2. *L.V. Meisel, P.J. Cote*, Phys. Rev. B **15**, 2970 (1977).
3. *K. Fukamihi, H.M. Kimura, T. Masumoto*, J. Appl. Phys. **52**, 2872 (1981).
4. Сб. "Обработка импульсным магнитным полем. Материалы IV научно-технического семинара с международным участием по нетрадиционным технологиям." София-Горький (1989), 134 с.
5. *M. Kopcewicz, U. Gonser, H.G. Wagner*, Appl. Phys. **23**, 6 (1980).

O.J. Datsko, T.T. Moroz

THE EFFECT OF PULSED MAGNETIC FIELD ON ELECTRICAL RESISTANCE AND THERMAL STABILITY OF AMORPHOUS $Ni_{60}Cr_{15}Fe_9Si_8B_8$ ALLOY

The effect of the pulsed magnetic field (PMF) on the properties of amorphous $Ni_{60}Cr_{15}Fe_9Si_8B_8$ is studied by the electrical resistance measurements technique. It is shown that annealing of samples in PMF (intensity 24 kA/m, frequency 5 Hz) vary the shape of the temperature dependence curve and enhance the thermal stability of the investigated alloy.

Fig. 1. Temperature dependences of relative resistance R/R_0 for the investigated alloy: *1* – the initial state; *2* – after PMF treatment (H = 24 kA/m, f = 5 Hz)

Fig. 2. Temperature dependences of relative resistance R/R_0 for the investigated alloy after annealing (T = 653 K, 16 min): *1* – without PMF; *2* – with PMF (H = 24 kA/m, f = 5 Hz)

УДК 538.1

С.Н. Барило[1], В.Н. Деркаченко[2], М.В. Малюк[3], А.Г. Милославский[3], В.А. Хохлов[2]

КОЭРЦИТИВНАЯ СИЛА И РЕЛАКСАЦИЯ НАМАГНИЧЕННОСТИ В ОРТОФЕРРИТЕ ТЕРБИЯ

[1]Институт физики твердого тела и полупроводников НАН Беларуси
220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 17

[2]Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
340114, г. Донецк, ул. Р. Люксембург, 72

[3]Донецкий государственный университет
340055, г. Донецк, ул. Университетская, 24

Статья поступила в редакцию 20 октября 1998 года

Проведены исследования коэрцитивной силы и магнитной релаксации в $TbFeO_3$. Монокристаллы $TbFeO_3$ были приготовлены различными методами. Обнаружен температурный интервал, где наблюдается сильный рост коэрцитивной силы. При 1,8 К коэрцитивная сила достигает 9,0 кЭ. Изменение намагниченности как функции приведенного времени для части исследованных образцов можно описать зависимостью гауссовского типа. Для другой части образцов такие кривые имеют приблизительно экспоненциальный характер.

Многие магнетики, имеющие в своем составе ион тербия, обладают при низких температурах очень большой коэрцитивной силой H_c. Аналогичная ситуация наблюдается в редкоземельных ортоферритах. В ортоферрите тербия H_c примерно на порядок больше, чем в

других ортоферритах, и при 2 К достигает 9 кЭ. При низких температурах релаксация спонтанной намагниченности имеет экспоненциальный характер, причем при $T = 0$ К скорость релаксации намагниченности не обращается в нуль и имеет конечную величину, что, возможно, указывает на ее квантовый характер при этих температурах. Не исключено, что в $TbFeO_3$ между механизмом формирования коэрцитивности и характером релаксации намагниченности есть связь. Эти физические характеристики зависят от способа приготовления монокристаллов, от влияния примесей и добавок. Исследованию указанных выше моментов в $TbFeO_3$ и посвящена настоящая работа.

Монокристаллы $TbFeO_3$ выращены методом спонтанной кристаллизации из раствора-расплава свинцовых соединений (1), методом спонтанной кристаллизации из раствора-расплава на основе бор-бариевого растворителя, не содержащего ионы свинца, (2) и методом зонной плавки с оптическим нагревом (3). (Цифры в скобках указывают на способ приготовления образцов и будут в дальнейшем использоваться для краткости). Методом спонтанной кристаллизации (1) получены замещенные ионами Al^{3+}, Ga^{3}+ и Sc^{3+} ортоферриты тербия. Измерения выполнены на вибромагнитометре в поле сверхпроводящего соленоида.

На рис. 1 приведены температурные зависимости коэрцитивной силы спонтанного магнитного момента $TbFeO_3$, приготовленного различными методами, а также $TbFe_{0,975}Al_{0,025}O_3$, приготовленного методом (1). В верхней части рисунка H_c меняется от 100 до 15 К, а в нижней – при более низких температурах.

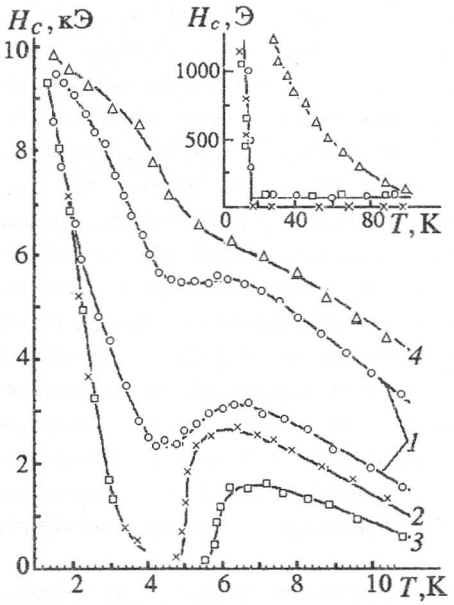

Рис. 1. Зависимость коэрцитивной силы от температуры. Кривые *1*, *2*, *3* соответствуют $TbFeO_3$, выращенному различными методами; кривая *4* – $TbFe_{0,975}Al_{0,025}O_3$

Наиболее интересные моменты следующие. В $TbFeO_3$ (2) начиная от комнатных температур и до 15 К практически не наблюдается H_c, образец перемагничивается как идеальный. Величину H_c даже в несколько эрстед удалось бы зафиксировать. Петля гистерезиса этого образца имеет вид ступеньки с наклоном к оси абсцисс, обусловленным размагничивающим фактором формы образца. В районе 15 К H_c резко возрастает. В $TbFeO_3$ (1, 3) значение H_c при комнатной температуре составляет десятки эрстед. С понижением температуры H_c меняется мало (~ 10% от значения при комнатной температуре), а в районе 15–18 К наблюдается ее сильный рост. Такое поведение H_c свидетельствует о том, что имеется механизм формирования коэрцитивности в $TbFeO_3$, определяемый свойствами кристаллообразующих ионов, в первую очередь Tb^{3+}. Если бы H_c зависела прежде всего от примесей, то температурная зависимость $H_c(T)$ имела бы «размытый» характер. Это не означает, что примеси, и в первую очередь свинец, не влияют на H_c в данном соединении. Они воздействуют прежде всего на спиновую переориентацию в *ac*-плоскости кристалла. На рис. 1 в районе T = 3–6 К наблюдается аномалия H_c. В образцах $TbFeO_3$ (2, 3) значение H_c обращается в нуль и спиновая переориентация реализуется; в $TbFeO_3$ и $TbFe_{0,975}Al_{0,025}O_3$ (1) из-за свинца и алюминия переориентация не происходит. В районе 1,8 К во всех исследованных соединениях величина H_c достигает 7–9 кЭ. В замещенных ионами алюми-

ния, галлия и скандия ортоферритах тербия H_c начинает повышаться в районе 100 К и плавно растет, достигая при 1,8 К примерно тех же величин, что и в $TbFeO_3$.

Релаксация спонтанного магнитного момента исследовалась следующим образом. Ортоферрит намагничивался до насыщения в магнитном поле до 10 кЭ. При выводе тока из соленоида образец размагничивался либо в остаточном (~ 40 Э) поле соленоида, либо в магнитном поле, направленном против направления намагничивания образца. Следовательно, процесс магнитной релаксации является фактически процессом перемагничивания ортоферрита, при котором в однодоменном образце начинают появляться зародыши новой фазы, потом происходит их рост, завершающийся перемагничиванием образца до насыщения, но уже с другим знаком. Релаксация намагниченности является фактически характеристикой динамики такого процесса. Для того чтобы анализировать характер релаксации намагниченности, объединим все кривые, используя соотношение для приведенной намагниченности [1]:

$$B(t_R) = (M(t) + M_s)/2M_s,$$

где $M(t)$ – изменение намагниченности образца со временем; $t_R = t/t_{50}(H)$ – приведенное время, t_{50} – время, необходимое для того, чтобы под влиянием магнитного поля H размагнитилась половина образца; M_s – намагниченность насыщения.

При одинаковом характере релаксации намагниченности все зависимости $B(t_R)$ ложатся на одну кривую независимо от значения H или температуры. На рис. 2 приведены зависимости $B(t_R)$ для $TbFeO_3$ (1, 2, 3), а также $TbFe_{0,975}Al_{0,025}O_3$ при 7 К. Для замещенных Ga^{3+} и Sc^{3+} ортоферритов тербия $B(t_R)$ имеет характер примерно такой же, как у $TbFe_{0,975}Al_{0,025}O_3$. Видно, что релаксационные зависимости исследованных образцов заметно отличаются друг от друга. Для $TbFeO_3$ (2,3) характерен экспоненциальный тип зависимости $B(t_R)$, $TbFe_{0,975}Al_{0,025}O_3$ проявляет иной характер зависимости – гауссовский. Образцы $TbFeO_3$ (1) с примесью свинца имеют зависимость $B(t_R)$, близкую к той, что наблюдается в $TbFe_{0,975}Al_{0,025}O_3$. Авторы [1] наблюдали аналогичную картину на пленках редкоземельных металлов. Как показали оптические исследования, в случае экспоненциальной кривой релаксации процесс перемагничивания состоит в том, что в начальный период появляется множество зародышей новой фазы и дальнейший процесс состоит в росте их числа. При гауссовском характере релаксации намагниченности возникшие в начальный период зародыши новой фазы в дальнейшем растут, а новых зародышей не появляется. Видимо, и у нас отличие кривых $B(t_R)$ вызвано подобными причинами. Интересно было бы привести оптические исследования зародышеобразования в данных соединениях.

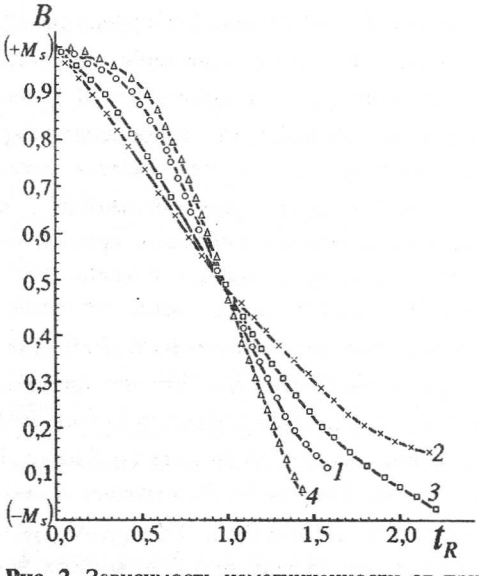

Рис. 2. Зависимость намагниченности от приведенного времени при температуре 7 К. Обозначения те же, что на рис. 1

Такое поведение $TbFeO_3$ при низких температурах обусловлено, по-ви-димому, магнитной структурой кристалла. В частности, тем процессом, который происходит в районе 15 К. В качестве гипотезы выскажем точку зрения, опирающуюся на эффект магнитных вакансий в $TbFeO_3$. При низких температурах ионы Tb^{3+} можно с большой степенью точности рассматривать как «изинговские». То есть существуют такие локальные оси, вдоль которых направлен магнитный момент Tb^{3+}. В $TbFeO_3$ ионы