

Для пленок Zr в основном наблюдались те же структурные зависимости, что и для пленок Hf, при этом влияние рабочего инертного газа было выражено в меньшей степени. В табл. 2 приведены значения  $\langle L \rangle$  и межплоскостных расстояний  $d_{004}$  для пленок Zr, нанесенных в Kг при различных анодных напряжениях  $U_a$ . С увеличением  $U_a$  скорость нанесения пленок возрастала и находилась в пределах (2,7–3,8) нм/мин. Величины  $\langle L \rangle$  и  $\langle e \rangle$  практически не зависели от  $U_a$ . Результаты расчетов  $\langle L \rangle$  по рентгенографическим данным для пленок Zr толщиной 51 нм представляют интерес для оценки правильности полученных данных. Как следует из дифрактограмм, в начальной стадии роста пленок на подложке образуются блоки, ориентированные плоскостями {001} параллельно подложке, затем образуются блоки, ориентированные плоскостями {010} параллельно подложке. Рентгенографически определяется средний размер блоков по нормали к подложке. В пределах ошибок измерений  $\langle L \rangle_{001} + \langle L \rangle_{010} = t$ , что может свидетельствовать о корректности измерений и расчетов.

Данные табл. 1 и 2 и работы [4] показывают, что основными факторами, определяющими средние размеры блоков, текстуру и величины межплоскостных расстояний, являются род рабочего инертного газа и толщина пленок. Полученные результаты находятся в согласии с данными работы [8].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Hoffman D. W., Thornton J. A. J. Vac. Sci. Technol., 1980, 17, N 1, p. 380. [2] Козловский Л. В., Рейхрудель Э. М., Смирницкая Г. В. В кн.: Взаимодействие атомных частиц с твердым телом. Ч. 2. Минск, 1981, с. 253. [3] Козловский Л. В., Рейхрудель Э. М., Смирницкая Г. В. ЖТФ, 1981, 51, с. 1717. [4] Козловский Л. В., Рейхрудель Э. М., Смирницкая Г. В. ЖТФ, 1982, 52, с. 1448. [5] Васильев Д. М. ЖТФ, 1955, 25, с. 1994. [6] Каган А. С., Шишляникова Л. М., Уникель А. П. Заводская лаборатория, 1980, 46, с. 903. [7] Ogilvie G. J., Sanders J. V., Thomson A. A. J. Phys. Chem. Solids, 1963, 24, p. 247. [8] Schmidt P. H. et al. J. Appl. Phys., 1973, 44, p. 1833.

Поступила в редакцию  
18.03.85

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 6

УДК 539.172.3:539.2

## МЭСБЭУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ СПИНОВОЙ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ В СОЕДИНЕНИИ $Tb_{0,3}Du_{0,5}Er_{0,2}Fe_2$

Г. И. Катаев, В. И. Николаев, В. С. Русаков, И. В. Федоренко, В. В. Шубин

(кафедра общей физики для физического факультета; кафедра общей физики для естественных факультетов)

При изучении явления спиновой переориентации весьма плодотворными оказываются методы мёсбэуэровской спектроскопии в сочетании с результатами измерений макроскопических характеристик вещества, поскольку они позволяют получать не только данные о кооперативных явлениях, но также и информацию локального характера. Важнейшими параметрами мёсбэуэровского спектра, содержащими в себе информацию об особенностях как магнитной, так и кристаллической структуры вещества, являются при этом эффективное магнитное поле в области расположения ядра  $H_n$  (оно содержит, в частности, дипольный вклад  $H_{dip}$ , изменяющийся при спиновой переориентации) и квадрупольное смещение компонент сверхтонкой магнитной структуры  $e$ .

Объектом наших исследований было выбрано ферримагнитное соединение  $Tb_{0,3}Du_{0,5}Er_{0,2}Fe_2$  ( $T_C \approx 570$  К), достаточно характерное по своим свойствам в ряду квазибинарных соединений  $RFe_2^*$ . В этом соединении скомпенсированы как первая, так и в значительной степени вторая константы магнитной кристаллографической анизотропии, вследствие чего несколько повышена чувствительность его магнитной

\* Образцы ориентированного поликристалла  $Tb_{0,3}Du_{0,5}Er_{0,2}Fe_2$  были получены методом Чохральского (в ГИРЕДМЕТе). По проведенным там же рентгеновским исследованиям образец является однофазным, причем около 70% кристаллитов расположено в нем под малым углом к оси роста, соответствующей при 300 К оси легкого, намагничивания с направлением [111].

структуры к изменению температуры. Бинарные соединения  $TbFe_2$ ,  $ErFe_2$  и  $DyFe_2$  на основе которых синтезировано исследованное соединение, имеют неодинаковые направления оси легкого намагничивания (ОЛН): для первых двух из них ОЛН направлена вдоль [111], тогда как для третьего — вдоль [100] (см., например, [1]). На магнитной фазовой диаграмме близкому по составу соединению  $Tb_{0,3}Dy_{0,7}Fe_2$  [2] при комнатной температуре соответствует состояние вблизи границы между фазами с направлениями ОЛН [111] и [100], что дает основание ожидать изменения ориентации ОЛН при понижении температуры. Мессбауэровские спектры исследовались при температурах 100–300 К; в том же интервале температур для сопоставления с результатами мессбауэровских исследований были проведены измерения модуля Юнга  $E$  и внутреннего трения  $Q^{-1}$  (методом изгибных колебаний при частоте  $\sim 1$  кГц [3]), а также продольной магнитострикции  $\lambda_{||}$  (тензометрическим методом, в полях до 15 кЭ).

Спектры ядер  $^{57}Fe$  в соединении  $Tb_{0,3}Dy_{0,5}Er_{0,2}Fe_2$ , полученные в обычной геометрии поглощения, были расшифрованы с помощью программы «SPECTR» (подробно описанной в [4]) в рамках модели трех железных подрешеток, что соответствует возможному повороту ОЛН от [111] к [100]. В результате расшифровки были получены температурные зависимости наиболее важных в данном случае величин — суммарных магнитных полей  $H_n$  и квадрупольных смещений  $\epsilon$  для спектров ядер  $^{57}Fe$  каждой из подрешеток I, II и III (заселенности которых удовлетворяют отношению 2:1:1).

Данные о зависимостях  $H_n(T)$  и  $\epsilon(T)$  для подрешеток (рис. 1) указывают на то, что по мере понижения температуры, начиная от  $\sim 200$  К, ОЛН постепенно изменяет свое направление. Существенное изменение полей  $H_n$ , особенно поля  $H_n^{II}$  в

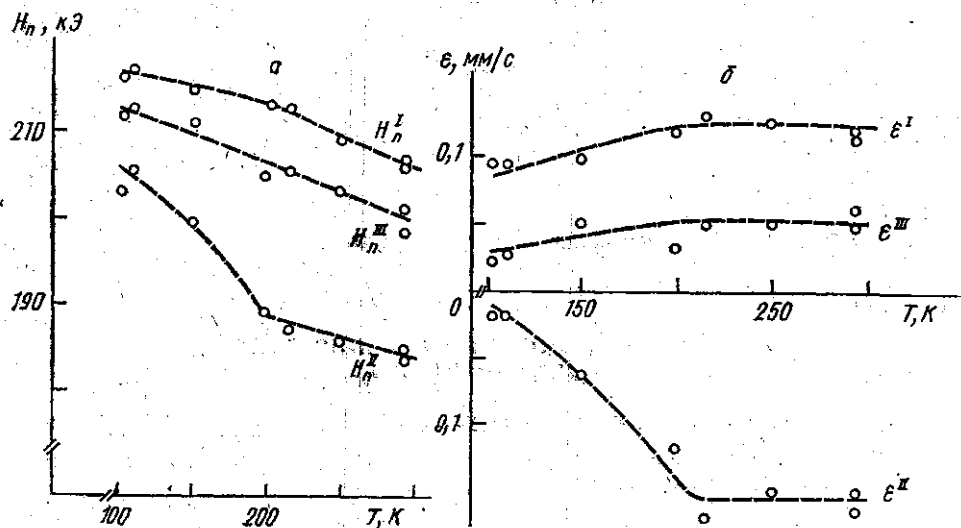


Рис. 1. Температурная зависимость эффективных магнитных полей  $H_n$  на ядрах  $^{57}Fe$  (а) и величины квадрупольного смещения  $\epsilon$  компонент сверхтонкой магнитной структуры мессбауэровского спектра ядер  $^{57}Fe$  (б) в трех железных подрешетках соединения  $Tb_{0,3}Dy_{0,5}Er_{0,2}Fe_2$ .

этой области температур, очевидно, обусловлено изменением вклада  $H_{dir}$  в  $H_n$  (поскольку изотропные вклады в  $H_n$  ввиду условия  $T \ll T_C$  слабо зависят от  $T$ ). Тот факт, что поля  $H_n^I$ ,  $H_n^{II}$  и  $H_n^{III}$  по мере понижения температуры становятся все менее отличимыми друг от друга, соответствует повороту ОЛН к направлению типа [100]. Показательно, что квадрупольные смещения  $\epsilon$  в спектрах подрешеток при этом убывают; случаю ОЛН || [100] отвечает, как известно, значение  $\epsilon=0$  для всех трех подрешеток, а сами подрешетки становятся неотличимыми в спектре друг от друга.

Сопоставление результатов мессбауэровских исследований с данными о температурной зависимости модуля упругости  $E$ , внутреннего трения  $Q^{-1}$  и магнитострикции  $\lambda_{||}$  (рис. 2) позволяет качественно установить корреляцию между ними. Так, для модуля  $E$  при переходе к температурам ниже  $\sim 200$  К наблюдается резкое уменьшение магнитной аномалии (проявляющееся в увеличении  $E$ ), что, очевидно, и

следует связывать со спи-переориентационным переходом — постепенным изменением направления ОЛН от  $[111]$  к  $[100]$ . Минимуму на кривой  $E(T)$  соответствует небольшой максимум внутреннего трения  $Q^{-1}$  (при температуре  $\sim 202$  К). Максимум для  $Q^{-1}$  при 116 К может соответствовать еще одному магнитному переходу, например в веерную структуру (как в случае ориентированного поликристалла

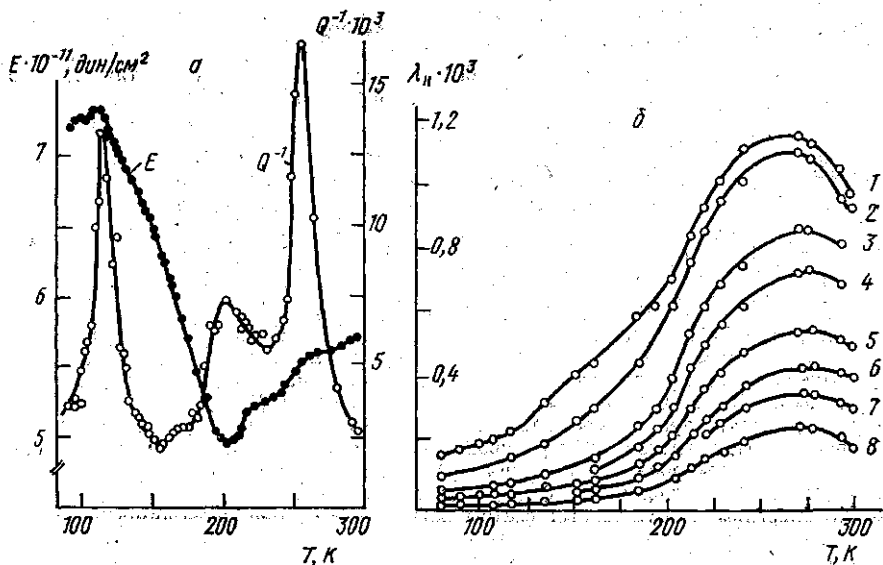


Рис. 2. Температурная зависимость модуля упругости  $E$ , внутреннего трения  $Q^{-1}$  для ориентированного поликристалла  $Tb_{0,3}Dy_{0,5}Er_{0,2}Fe_2$  (а) и продольной магнитострикции для того же образца в различных магнитных полях (б):  $H = 14,6$  (1); 8,0 (2); 3,5 (3); 2,5 (4); 1,7 (5); 1,2 (6); 1,0 (7) и 0,7 кЭ (8).

$Tb_{0,3}Dy_{0,7}Fe_2$  [2, 5]). Что касается высокого максимума при 256 К, его природа остается пока неясной. С упомянутым переходом  $[111] \rightarrow [100]$  следует, видимо, связывать также значительный спад  $\lambda_{||}$  при понижении температуры от  $\sim 200$  К (см. рис. 2, б).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Clark A. E. AIP Conf. Proc., 1974, 18, p. 1015. [2] Koon N. C., Williams S. M. J. de Physique, 1979, 40, p. C5-194. [3] Катаев Г. И., Шубин В. В. Акуст. журн., 1980, 26, с. 142. [4] Николаев В. И., Русаков В. С. Мёссбауэровские исследования ферритов. М.: Изд-во МГУ, 1985. [5] Катаев Г. И. и др. ФММ, 1984, 58, с. 613.

Поступила в редакцию  
28.03.85

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 6

УДК 621.315.592

### О ФОТОРАЗОГРЕВЕ ЭЛЕКТРОНОВ В КОМПЕНСИРОВАННОМ ГЕРМАНИИ

И. А. Курова, А. М. Идалбаев

(кафедра физики полупроводников)

В работе [1] наблюдались осцилляции в спектрах примесной фотопроводимости компенсированного германия  $n$ -типа, легированного золотом и сурьмой, в случае генерации электронов с нейтральной сурьмы при низких температурах. В компенсированных полупроводниках такие осцилляции возможны при фоторазогреве носителей, и обусловлены они осцилляциями либо подвижности, либо времени жизни носителей.