

**ВИЗУАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ СОСУЩЕСТВУЮЩИХ ФАЗ
ПРИ МАГНИТНОМ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ
В НЕКОЛЛИНЕАРНОМ GdIG**

Н.Ф.Харченко, В.В.Еременко, С.Л.Гнатченко

В магнитном поле $H \parallel [100]$ магнитооптическим методом исследовался процесс излома магнитных подрешеток GdIG вблизи T_K . Наблюдался фазовый переход первого рода между индуцированными полем неколлинеарными состояниями феррита. С помощью визуальных наблюдений на фазовой диаграмме в плоскости $H - T$ построена область сосуществования неколлинеарных фаз GdIG. Определено критическое поле $H_c^* = 21,5 \text{ кэ}$, выше которого переход между низкотемпературной и высокотемпературной фазами происходит плавно, подобно переходу жидкость – пар выше критической точки.

Под действием внешнего магнитного поля, напряженность которого больше критической, коллинеарный феррит переходит в неколлинеарное состояние [1], в котором углы между направлениями магнитных момен-

тов подрешеток отличны от 0 и 180°. В случае изотропного феррита начало процесса излома подрешеток можно рассматривать как магнитный ориентационный фазовый переход второго рода [2]. В реальных ферритах магнитная анизотропия усложняет процесс излома, изменяя при определенных ориентациях магнитного поля относительно кристаллографических осей род перехода из коллинеарного в скошенное состояние и разрешая новые фазовые переходы между различными неколлинеарными состояниями [3]. Ниже приведены результаты экспериментального исследования процесса излома подрешеток гадолиниевого феррита-граната вблизи его температуры магнитной компенсации T_K при $H \parallel [100]$. В рассматриваемом случае линии, разделяющие коллинеарные и скошенные состояния, остаются линиями фазового перехода второго рода, но в непосредственной близости к T_K магнитная анизотропия обуславливает появление линии магнитных фазовых переходов первого рода между различными неколлинеарными структурами, заканчивающейся критической точкой (T_c^* , H_c^*). В настоящей работе наблюдался фазовый переход первого рода между индуцированными полем неколлинеарными состояниями GdIG. С помощью визуальных наблюдений построена в плоскости $H - T$ область сосуществования неколлинеарных фаз. Определена величина критического поля H_c^* .

В качестве экспериментального метода использовался магнитооптический эффект вращения плоскости поляризации при $H \parallel k$, который, благодаря существенно различным парциальным вкладам отдельных подрешеток, давал возможность определить угол разворота магнитооптически активной подрешетки и визуально различать скошенные состояния. Состояния, отличающиеся друг от друга только азимутальным углом расположения моментов подрешеток, в данной геометрии опыта неразличимы. Обычная оптическая схема для наблюдения магнитных доменов в прозрачных кристаллах была дополнена регистрирующей схемой с модуляцией светового луча по плоскости поляризации. Во время эксперимента температура образца поддерживалась постоянной в пределах $\pm 0,01$ К или плавно изменялась со скоростью около $2 \cdot 10^{-3}$ К/сек, градиент температуры не превышал 0,01 К/мм.

Визуальные наблюдения при почти скрещенных поляризаторах показали, что кроме температурной области, где происходит непрерывный и однородный по образцу разворот подрешеток, существует узкий температурный интервал, внутри которого происходит разбиение образца на домены, различающиеся углом разворота подрешеток. Вид доменной картины зависит от термообработки и состояния поверхности образца. На рис. 1 показаны фотографии, полученные при скрещенных поляризаторах, характерных доменных образований в механически полированной и отожженной пластинке GdIG толщиной около 70 мкм. Фотографии иллюстрируют рост новой (высокотемпературной) неколлинеарной фазы, который происходит в результате скачкообразного движения границ и появления новых зародышей.

За образование наблюдаемой доменной структуры не могут быть ответственны поля размагничивания, так как разность намагниченностей образца в низко- и высокотемпературных неколлинеарных фазах

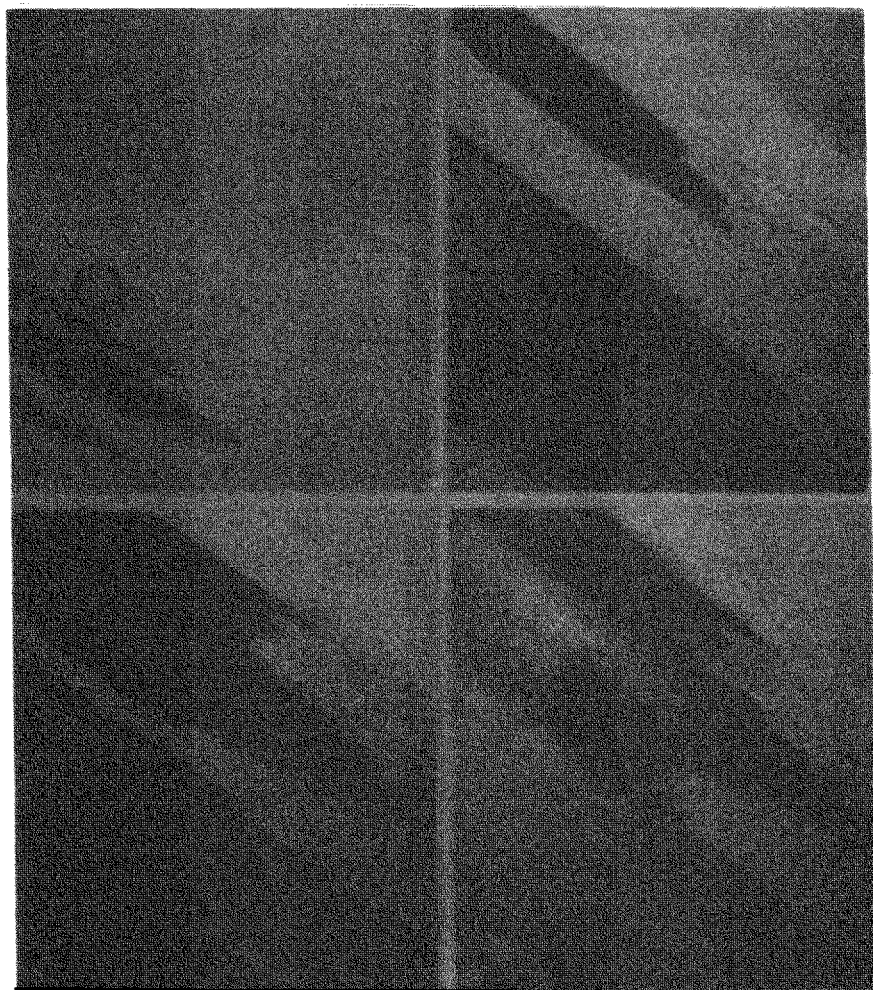


Рис. 1. Доменная структура, возникающая при спиновой переориентации в неколлинеарном GdIG. Анализатор и поляризатор скрещены, $H = 7 \text{ кэ}$, $T, ^\circ\text{К}$: *a* – 284,8; *b* – 285,1; *c* – 285,2; *d* – 285,3. На фото *a* показаны размеры участка образца диаметром 75 мкм, в котором измерялось фарадеевское вращение

не превышает нескольких гаусс, и период доменной структуры, обусловленной действием полей размагничивания, должен превышать размеры образца. Кроме того, температурный интервал существования доменной структуры при таком механизме ее возникновения не должен превышать величину $(T_K - T_c^*) \sim 0,01\text{К}$. Причины магнитного расслоения неколлинеарного феррита при фазовом переходе в районе T_K должны быть аналогичны тем, которые приводят к появлению доменной структуры в антиферромагнетиках [4]. В частности, доменная структура может стать энергетически выгодной в реальном образце с решеточными дефектами, благодаря понижению упругой энергии кристалла в доменных стенках в результате магнитоупругого взаимодействия.

Вид наблюдаемых доменных структур – преимущественное направление межфазных границ, проникновение одной фазы в другую в виде тонких игл и клиньев свидетельствуют об упругой природе возникающей доменной структуры.

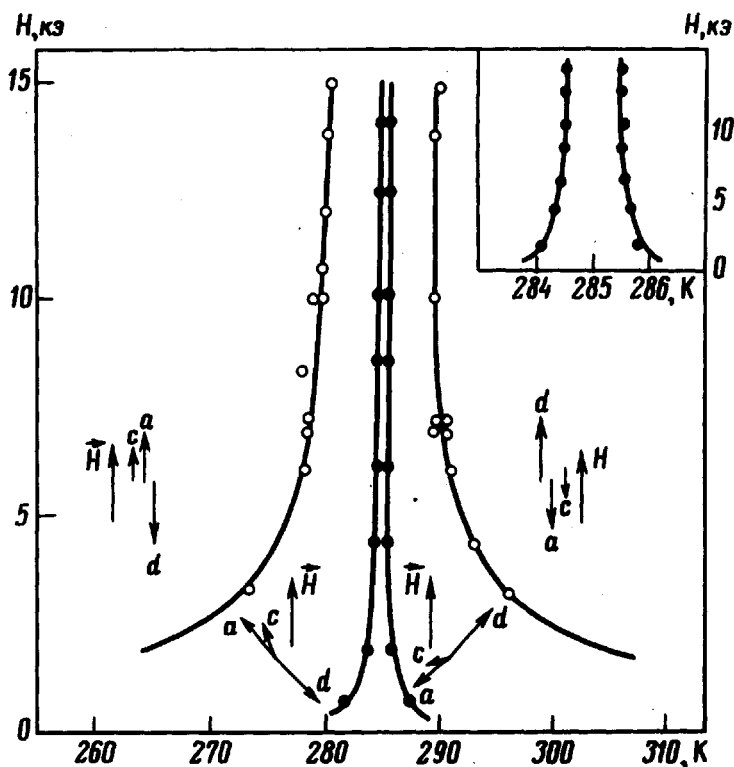


Рис. 2. Фазовая диаграмма GdIG вблизи T_C при $H \parallel [100]$. Внутренняя область (она же на вставке) – область сосуществования неколлинеарных фаз

Фиксируя температуры, при которых появляется и исчезает доменная структура, мы определили границы области сосуществования неколлинеарных фаз на плоскости $H - T$ (рис. 2). Однако, определить таким способом значение критического поля H_c^* затруднительно, так как с увеличением поля углы разворота подрешеток в соседних фазах приближаются друг к другу, и контраст доменной картины существенно уменьшается. Используя регистрационную схему и помещая в плоскость изображения диафрагму, можно было измерить разность фарадеевского вращения в соседних доменах. Скачок вращения, наблюдаемый при прохождении межфазной границы через участок образца диаметром около 75 мкм, иллюстрируется рис. 3, а. Величина скачка определяется углами разворота моментов железных подрешеток в сосуществующих фазах. Если пренебречь вкладом гадолиниевой подрешетки и малым углом излома между моментами октаэдрической M_a и тетраэдрической M_d подрешеток, то он равен $\Delta\Phi = \Phi_0 (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)$. Здесь Φ_0 – спонтанное вращение, θ_1 и θ_2 – меньшие углы между векторами

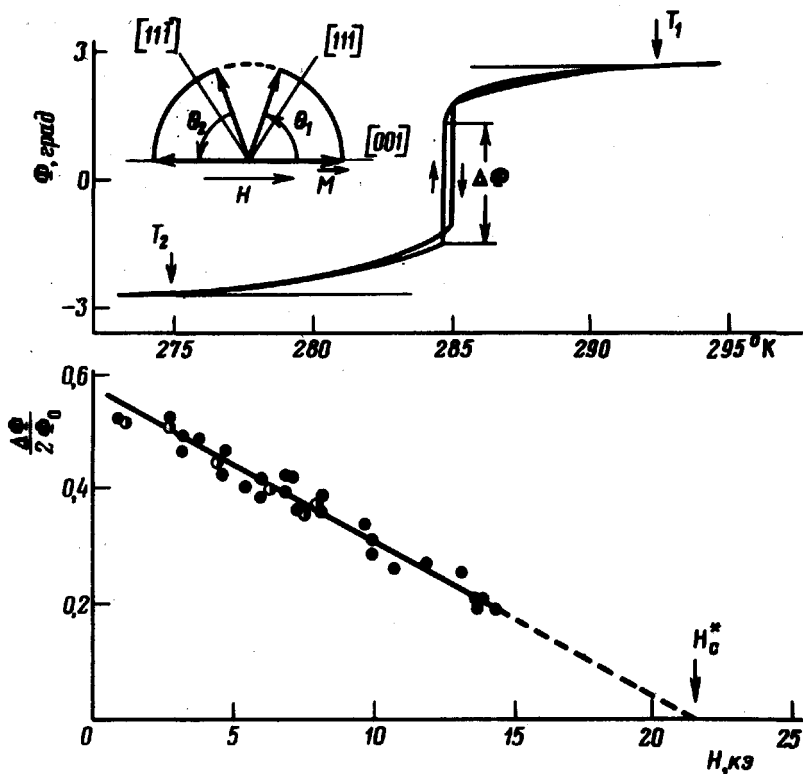


Рис. 3. Различие фарадеевского вращения в сосуществующих магнитных фазах: *a* – скачок вращения при прохождении межфазной границы через исследуемый участок образца, *б* – зависимость разности фарадеевского вращения в соседних фазах от напряженности магнитного поля

$M = M_d + M_a$ и H в соседних доменах. На вставке рис. 3, *a* схематически показано движение вектора M в магнитном поле при охлаждении образца от температур выше T_K до $T < T_K$. Откладывая величину $\Delta\phi/2\phi_0$ в зависимости от напряженности магнитного поля и экстраполируя полученную линейную зависимость к $\Delta\phi/2\phi_0 = 0$, получим для величины критического поля H_G^* значение 21,5 кэ, выше которого переход между высокотемпературной и низкотемпературной фазами происходит плавно, подобно переходу жидкость – пар выше критической точки. Расчетное значение критического поля, полученное при учете излома всех трех подрешеток GdIG, составляет 10,5 кэ. Лучшего согласия с экспериментом, по-видимому можно достичь, если учесть энергию магнитоупругого взаимодействия, которая может расширить область метастабильных состояний.

Литература

- [1] С.В.Тябликов. ФММ, 3, 3, 1956.
 - [2] Б.П.Горанский, А.К.Звездин. Письма в ЖЭТФ, 10, 196, 1969.
 - [3] А.К.Звездин, В.М.Матвеев. ЖЭТФ, 62, 260, 1972.
 - [4] М.М.Фарзтдинов. УФН, 84, 611, 1964.
-