

ВИЗУАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 180-ГРАДУСНЫХ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ ДОМЕНОВ

Н.Ф.Харченко, В.В.Еременко, Л.И.Белый

Впервые визуально наблюдались 180-градусные антиферромагнитные домены. Наблюдение проводилось с помощью нового линейного магнитооптического эффекта, пропорционального первой степени напряженности магнитного поля и проекции антиферромагнитного вектора. Исследовался коллинеарный двухподрешеточный антиферромагнетик CoF_2

В магнитоупорядоченных кристаллах, в которых отсутствует в качестве операции симметрии операция антиинверсии, возможен линейный

магнитооптический эффект (ЛМОЭ), не имеющий своего аналога в магнитооптике немагнитных кристаллов [1 – 3]. Он заключается в появлении в магнитном поле двупреломления плоскополяризованного света, величина которого пропорциональна первой степени напряженности поля в отличие от квадратичных эффектов Коттона – Мутона и Фогта.

Появляющееся двулучепреломление связано с индуцированием магнитным полем неэквивалентности магнитных подрешеток относительно изменения направлений их магнитных моментов на противоположные. ЛМОЭ описывается компонентами симметричной части диэлектрического тензора, которые линейно зависят от напряженности поля $\Delta^s \epsilon_{ij} = E_{ijk} H_k$. Из соотношений Онсагера для зависящих от магнитного поля кинетических коэффициентов следует [4], что матрицы симметричных кинетических коэффициентов и соответствующих коэффициентов статических свойств имеют в магнитоупорядоченных средах одинаковые пространственную и временную симметрии. Следовательно, тензор E_{ijk} имеет ту же симметрию, что и тензор обратного пьезомагнитного эффекта – симметрию аксиального c -тензора. Интересуясь зависимостью $\Delta^s \epsilon_{ij}$ от внутренних характеристик двухподрешеточного антиферромагнетика и рассматривая магнитные вектора \mathbf{m} и \mathbf{l} в качестве внешних воздействий на кристалл, можно видеть, что знак $\Delta^s \epsilon_{ij}$ зависит от направления магнитного поля и направлений подрешеточных моментов. Изменение последних на противоположные приводит к изменению знака эффекта при неизменном направлении поля. Это обстоятельство дает возможность различить состояния антиферромагнитного кристалла с противоположно ориентированными антиферромагнитными векторами. В настоящей работе сообщается о первом визуальном наблюдении 180-градусных антиферромагнитных доменов.

Исследовался двухподрешеточный антиферромагнетик CoF_2 , характеризующийся кристаллографической симметрией $\bar{4}/m\bar{3}m$ и симметрией магнитного упорядочения $4_2^+ 2_2^-$ (точечная магнитная группа $\bar{4}/m\bar{3}m'$), с хорошо выраженными пьезомагнитными свойствами [5, 6]. Линейные по полю добавки к симметричной части диэлектрического тензора можно записать в виде:

$$\Delta^s \epsilon_{yz} = \text{sign} l_z E'_{yzk} H_x, \quad \Delta^s \epsilon_{xz} = \text{sign} l_z E'_{yzx} H_y,$$

$$\Delta^s \epsilon_{xy} = \text{sign} l_z E'_{xyz} H_z.$$

Наиболее просто ЛМОЭ реализуется в продольной геометрии опыта, когда \mathbf{H} и вектор распространения света \mathbf{k} параллельны тетрагональной оси C_4 . Двупреломление в этом случае появляется на нулевом фоне, так как естественное и спонтанное магнитное двупреломления в направлении оси C_4 отсутствуют. Оптические оси антиферромагнитного CoF_2 , находящегося в магнитном поле $\mathbf{H} \parallel C_4$, расположены симметрично относительно C_4 в плоскости (110) или ($\bar{1}\bar{1}0$) в зависимости от знака l_z при фиксированном направлении \mathbf{H} . Угол между осями, величина индуцированного двупреломления и связанная с ним разность

фаз между световыми модами соответственно равны [3]:

$$\frac{n_g - n_m}{H} = 9,4 \cdot 10^{-7} \text{кэ}^{-1}, \quad 2V/H^{-1/2} = 0,7 \text{град} \cdot \text{кэ}^{-1/2},$$

$$\delta/tH = 0,85 \text{град} \cdot \text{кэ}^{-1} \cdot \text{мм}^{-1}.$$

Приведенные значения соответствуют температуре 11 К и длине световой волны 4000 Å. Они показывают, что антиферромагнитные домены могут быть визуально различимы уже в поле порядка 1 кэ.

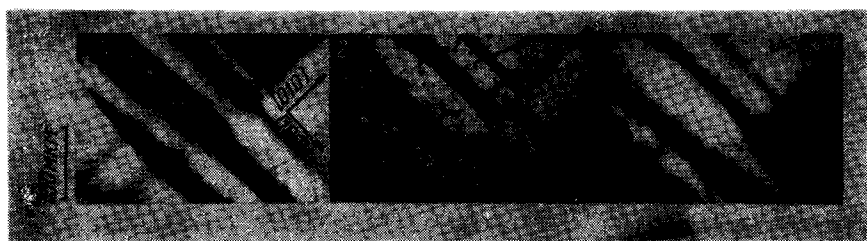


Рис.1. 180-градусные антиферромагнитные домены в CoF_2 . Напряженность поля равна 49 кэ

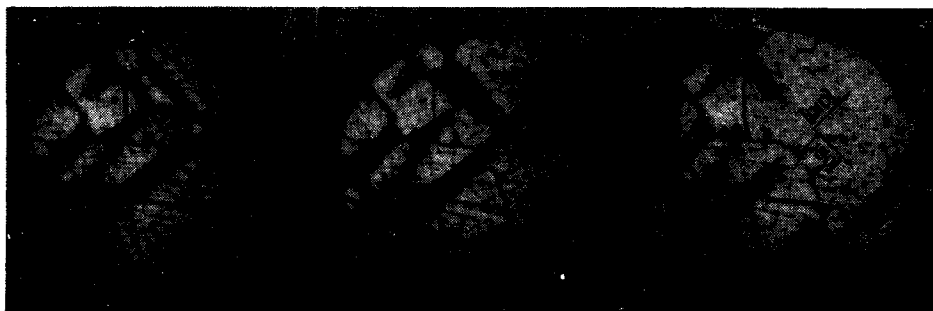


Рис.2. Влияние магнитного поля на антиферромагнитную доменную структуру. Фото 1, 2 и 3 получены через 20, 24 и 90 сек после изменения поля от 29 до 44 кэ

На рис.1 и рис.2 представлены фотографии антиферромагнитной доменной структуры образца CoF_2 , имеющего толщину 1,7 мм. Апертурный угол осветителя равен 2° . Образец находится в вакууме, крепление его максимально свободное — он прижат к хладопроводу полоской бумаги. Температура образца около 24 К. Фото 2 рис.1 и все фотогра-

фии рис.2 получены в отсутствие фазовых пластинок в оптической схеме. В этом случае антиферромагнитные домены l_z^+ и l_z^- визуально не различимы, так как поляризация прошедшего через них света различается только направлением обхода эллипса поляризации при одинаковых азимуте и отношении его осей. Однако их области перекрытия различимы, так как при наклонной междоменной границе поляризация прошедшего света изменяется плавно от левого к правому эллипсу, проходя через состояние линейной поляризации. Направление поляризации падающего света составляло с плоскостями расположения оптических осей в доменах углы $0, 90^\circ, E \parallel [110]$ (рис.1) и $\pm 45^\circ, E \parallel [100]$ (рис.2). Анализатор устанавливался на максимальное затемнение областей перекрытия. Фото 1 и 3 (рис.1) получены при использовании $\lambda/4$ – пластинки в качестве компенсатора. Она устанавливалась в такое положение, чтобы сквозные домены l_z^+ и l_z^- имели одинаковую оптическую плотность при ориентации анализатора параллельно пластинке. Затем поворотом анализатора влево или вправо добивались затемнения одного или второго антиферромагнитного домена. В случаях фото 2 и 3 (рис.1) углы поворота близки к $\pm 15^\circ$. Контраст между доменами при такой установке поляризационных элементов схемы был достаточен для наблюдения АФМ доменов в поле около $0,5 \text{ кэ}$.

Доменная структура исследованного образца подвижна. После нагрева и повторного охлаждения она принимала иной вид, хотя сохранились и некоторые общие черты (рис.1 и рис.2). Вид доменной структуры: преимущественная параллельность доменных стенок плоскостям типа (100), клинообразная, характерная для кристаллических двойников, форма краев доменов свидетельствует о существенной роли магнито-стрикционных деформаций и возникающих упругих напряжений на взаимное расположение АФМ доменов. АФМ доменная структура чувствительна к величине и направлению магнитного поля, что может быть связано не только с наличием неоднородного пьезомагнитного момента, обусловленного остаточными упругими напряжениями, но и с возникновением и перераспределением упругих напряжений многодоменного образца в магнитном поле в результате линейной магнито-стрикции. Рис. 2 иллюстрирует также скорость изменения доменной структуры при ступенчатом изменении поля.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
26 февраля 1979 г.

Литература

- [1] Н.Ф.Харченко, В.В.Еременко, О.П.Тутакина. Письма в ЖЭТФ, 27, 466, 1978.
- [2] В.С.Островский, В.М.Локтев. Письма в ЖЭТФ, 26, 139, 1977.
- [3] Н.Ф.Харченко, В.В.Еременко, Л.И.Белый. Письма в ЖЭТФ, 28, 351, 1978.
- [4] W.H.Kleiner. Phys. Rev., 142, 318, 1965; 182, 705, 1969.
- [5] А. С.Боровик-Романов. ЖЭТФ, 38, 1088, 1960.
- [6] А.С.Прохоров, Е.Г.Рудашевский. Письма в ЖЭТФ, 10, 175, 1969.