



УДК 538.245:538.21

М. И. ДАНИЛЬКЕВИЧ, Д. АЛЬ-ШАРР (Сирия)

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГИСТЕРЕЗИСА СОЕДИНЕНИЙ $Fe_{3-x}Cr_xO_4$

В хромозамещенных ферритах железа $Fe_{3-x}Cr_xO_4$ при $1 \leq x \leq 2$ обнаружены [1, 2] особенности температурной зависимости диэлектрической проницаемости ϵ' λ -типа, свойственные сегнетоэлектрикам. В образцах, спеченных на воздухе [2], в отличие от синтезированных в смеси $CO_2 + H_2$ [1], переход в параэлектрическую фазу более размытый и наблюдается сложный гистерезис $\epsilon'(T)$, характерный для структур с несоизмеримыми фазами. Наличие максимума на температурной зависимости ϵ' является, как известно, необходимым, но не достаточным признаком сегнетоэлектрического состояния. В то же время наблюдение этого явления в исследуемых объектах осложнено значительной проводимостью, а также изменением характера импеданса из емкостного на индуктивный при повышении температуры [2]. Поэтому представляет интерес получить дополнительные сведения, подтверждающие существование сегнетоэлектричества в исследуемых шпинелях методом осциллографирования диэлектрического гистерезиса.

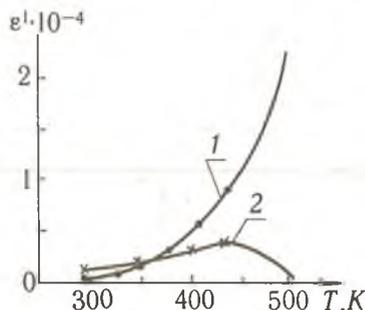
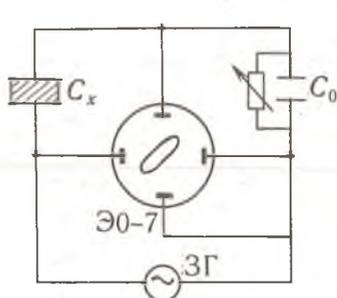


Рис. 1 Схема осциллографирования петли гистерезиса:
ЗГ—звуковой генератор; ЭО-7— осциллограф электронный; C_x —исследуемый конденсатор; C_0 —добавочный конденсатор в 1 мф.

Рис. 2 Температурная зависимость диэлектрической проницаемости шпинели $Fe_{1.6}Cr_{1.4}O_4$, измеренная осциллографическим (1) и мостовым (2) методами

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Экспериментальные данные — на рис. 2 и 3. На горизонтальные пластины осциллографа подается напряжение, пропорциональное действующему на исследуемом конденсаторе C_x . Снимаемое с дополнительного конденсатора C_0 напряжение U_0 подается на вертикальные пластины. Поскольку в каждый момент времени заряды на C_0 и C_x равны, то

$$U_0 = \frac{u_x C_x}{C_0} = \frac{Q_x}{C_0} = \frac{D_x S_x}{C_0} \quad (1)$$

Следовательно, отклонение луча по вертикальной оси осциллографа пропорционально величине электрического смещения D , а наблюдаемая петля гистерезиса с точностью до постоянного множителя описывает зависимость D от напряженности поляризирующего поля E . Получив петлю гистерезиса в координатах $U_0(u_x)$, пересчитывали ее в зависимость $D(E)$ и определяли мгновенное значение диэлектрической проницаемости

$$\epsilon'_{\text{мгн}} = \frac{D_{\text{мгн.м}}}{\epsilon_0 E_m} = \frac{D_0}{\epsilon_0 E_c} = \frac{U_0 C_0 d_x}{2\epsilon_0 U_x S_x}, \quad (2)$$

где d_x и $2S_x$ —толщина образца и площадь его поляризующих электродов. Величины напряжений U_0 и $U_{\text{св}}$, соответствующие остаточному смещению D_0 и коэрцитивному полю E_c , отсчитывали с экрана осциллографа, предварительно определив масштабные коэффициенты по вертикальной и горизонтальной оси.

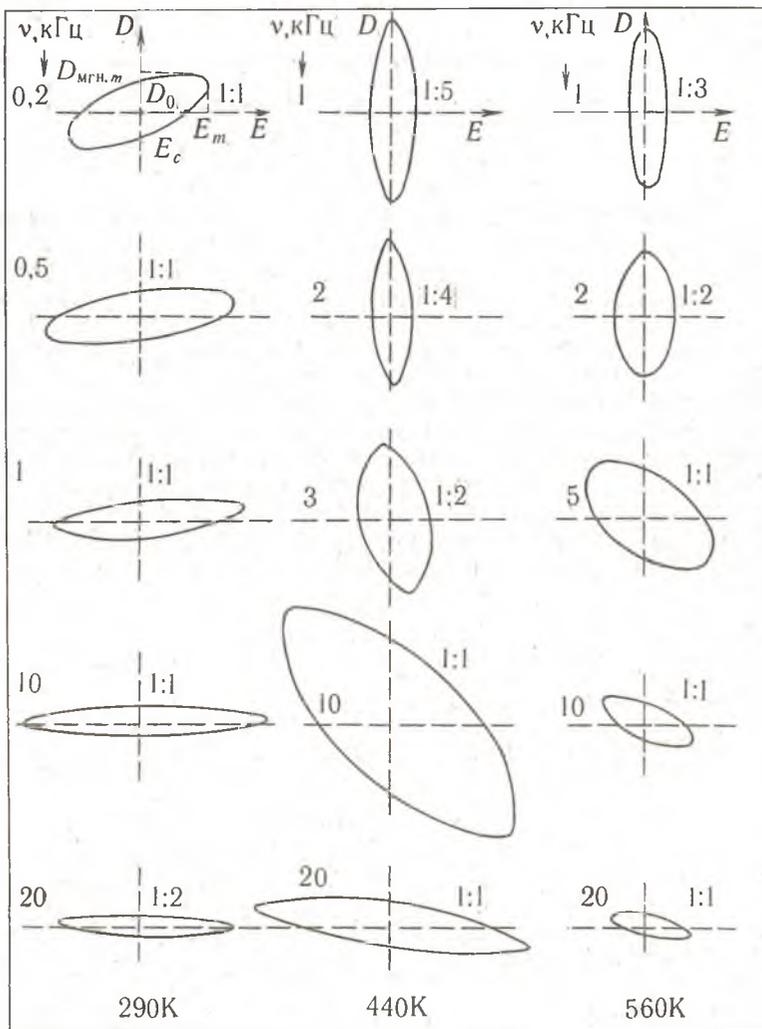


Рис. 3 Петля диэлектрического гистерезиса шпинели $\text{Fe}_{16}\text{Cr}_{14}\text{O}_3$, измеренная осциллографическим методом при постоянной величине максимального поляризирующего поля $E = 5 \text{ кВ/м}$ в зависимости от частоты ν (растет сверху вниз) и температуры T (растет слева направо).

Наблюдаемое поведение $\epsilon'_{\text{мгн}}(T)$ и петли $D(E)$ в зависимости от температуры, амплитуды и частоты поляризирующего поля E свидетельствуют скорее в пользу ее происхождения от нелинейности сегнетоэлектрической поляризации, нежели релаксационного характера, хотя последний, как показали измерения частотной зависимости ϵ' [3], также сильно выражен.

Явление вязкости усложняет температурные деформации петли и приводит к ее частотной зависимости. Известно, что в случае гистерезиса, обусловленного сегнетоэлектричеством, наклон эллипса поляризации слабо зависит от амплитуды и при сколь угодно малой частоте эллиптичность кривой поляризации не вырождается в прямую линию. Изменения напряженности поля в пределах от 0,2 до 5 кВ/м, приложенного к образцам $Fe_{3-x}Cr_xO_4$ с $x = 1,4$ и $1,6$ как при комнатной температуре, так и при 360 К, где ϵ' принимает максимальное значение, не влияют на наклон эллипса поляризации. Вторым признаком сегнетоэлектричества — сохранение эллиптичности кривой при низких частотах — также имеется в исследуемых образцах. Зависимость $\epsilon'_{\text{мпн}}(T)$, полученная из параметров петли гистерезиса (2), на начальном участке роста проницаемости с точностью до постоянного множителя примерно повторяет ход $\epsilon'(T)$, установленный из мостовых измерений, фиксирующих только емкостную составляющую импеданса. Отсутствие максимума на кривой $\epsilon'_{\text{мпн}}(T)$ связано с тем, что осциллографический метод реагирует и на индуктивную часть импеданса, которая особенно велика в области $T \geq 450$ К [2].

Описанные свойства поляризации феррохромовых шпинелей характерны для невысоких частот порядка 1 кГц и менее. При увеличении частоты выше этого предела в поведении эллипса поляризации в зависимости от частоты и температуры начинают сказываться индуктивные свойства образцов. Наклон эллипса приобретает обратный знак, т. е. максимальное значение D оказывается во втором квадранте. Поворот эллипса поляризации против часовой стрелки характерен для схемы с большой индуктивностью, подключенной вместо исследуемого образца. Обращение знака импеданса исследуемых образцов, полученное мостовыми методами на частоте измерения 1 кГц при нагревании выше 500 К, из емкостного на индуктивный [2] свидетельствует в пользу предположения о том, что деформации петли диэлектрического гистерезиса при нагревании вызваны сначала преимущественно зависимостью от температуры сегнетоэлектрической составляющей диэлектрической поляризации, а затем на фазовый угол и величину амплитуды начинает влиять индуктивность L исследуемых образцов. Наличие L порядка нескольких миллигенри в образцах, лишенных каких-либо обмоток, может быть или результатом резонансного поведения диэлектрической проницаемости с переходом ϵ' в область отрицательных значений, или же связано с особенностями движения носителей тока в спиралевидных магнитных структурах, образуемых за счет ионов хрома. Ответ на эти вопросы требует тщательных исследований магнитной и кристаллической структур изучаемых объектов.

Список литературы

1. Белов К. П., Горяга А. М., Шереметьев В. Н. // ФТТ. 1986. Т. 30. Вып. 1. С. 314.
2. Данилькевич М. И., Д. Аль-Шарр, П. Сана си // Весті АН БССР. Сер. фіз.-мат. наук. 1991. № 4. С. 65.
3. Данилькевич М. И., Д. Аль-Шарр // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 1: Физ. Мат. Мех. 1991. № 2. С. 28.

Поступила в редакцию 28.11.91.

УДК 535.42

А. М. БЕЛЬСКИЙ

НЕДИФРАГИРУЮЩИЕ ПУЧКИ И ЭФФЕКТ ТАЛЬБОТА

Работы [1—2] привлекли внимание к любопытным решениям уравнения Гельмгольца

$$\Delta U + k^2 U = 0, \quad (1)$$

недифрагирующим пучкам, т. е. волновым полям, удовлетворяющим условию:

$$|U(x, y, z)| = |U(x, y, 0)|. \quad (2)$$

Ось z называют осью пучка. Пучки, удовлетворяющие условию (2),