

## Электрический спектр $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$

© Э.А. Эйвазов, В.И. Гусейнов, С.Ш. Курбанов, Н.Н. Нифтиев, И.М. Алимарданова

Азербайджанский государственный педагогический университет,  
Баку, Азербайджан

E-mail: namiq7@bk.ru

(Поступила в Редакцию 14 мая 2015 г.)

Показано, что в температурной области 140–300 К в интервале частот 0.065–6 Нз диэлектрические проницаемости  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$   $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  с увеличением температуры растут по закону  $\epsilon_i = a_1^i + a_2^i \exp(-\Delta x_i/kT)$ . С увеличением частоты наблюдается убывание диэлектрической проницаемости. Анализ показывает, что основным механизмом поляризации является ориентационная поляризация.

В настоящей работе приводятся экспериментальные результаты исследования электрического спектра ферримагнитного поликристаллического материала  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  в интервале температур 140–300 К и частот 0.065–6 Нз. Режим синтеза и результаты исследования электропроводности  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  ранее были описаны нами в [1]. Исследования были проведены резонансным методом [2]. Выявлено, что в исследованной частотной области с увеличением частоты действительная  $\epsilon'$  и мнимая  $\epsilon''$  части проницаемости уменьшаются, при этом при сравнительно низких частотах ( $\omega \leq 1.5$  МНз) темп убывания  $d\epsilon_i/d\omega$  значительно больше, чем при высоких частотах. Температурные зависимости  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  идентичны. Характерным является то, что до определенной температуры  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  остаются практически постоянными, а при дальнейшем увеличении температуры обе проницаемости резко растут. С увеличением частоты температура, соответствующая резкому росту  $\epsilon'$ , смещается в сторону высоких температур. Характер температурной и частотной зависимостей  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  свидетельствует о релаксационной природе диэлектрических потерь в  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$ .

Анализ полученных данных показывает, что экспериментальные кривые  $\epsilon'_\omega = f(T)$  и  $\epsilon''_\omega = f(T)$  могут быть описаны следующими выражениями:

$$\epsilon'_\omega(T) = a'_1 + a'_2 \exp\left(-\frac{\Delta E'}{kT}\right), \quad (1)$$

$$\epsilon''_\omega(T) = a''_1 + a''_2 \exp\left(-\frac{\Delta E''}{kT}\right), \quad (2)$$

где  $a'_1$  и  $a''_2$  — постоянные значения  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  вплоть до  $T_H'$  и  $T_H''$  соответственно.

В (1) и (2)  $\Delta E'$  и  $\Delta E''$  — энергетические характеристики поляризации в постоянном и переменном электрических полях, так как по физическому смыслу  $\epsilon'$  — обычная электрическая проницаемость, а  $\epsilon''$  — диэлектрическая проницаемость, связанная с диэлектрической потерей ( $\epsilon'' \sim \text{tg } \delta$ ).

Согласно (1) и (2), экспериментальные данные по  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  в координатах  $\ln(\epsilon'_\omega - a'_1) = f\left(\frac{1}{T}\right)$  и  $\ln(\epsilon''_\omega - a''_1) = f\left(\frac{1}{T}\right)$  должны ложиться на прямые, тангенсы угла которых

будут характеризовать  $\Delta E'$  и  $\Delta E''$  соответственно. Предэкспоненциальные коэффициенты в (1) и (2) были определены как отрезки, отсекаемые от оси ординат  $\ln(\epsilon_\omega^i - a_1^i)$  при  $\frac{1}{T} \rightarrow 0$ . Найденные описанным методом величины приведены в таблице.

Как следует из таблицы, энергетические характеристики  $\Delta E'$  и  $\Delta E''$  по порядку величины равны и практически не зависят от частоты. Коэффициенты  $a_1^i$  и  $a_2^i$  ( $i = ' \text{ и } ''$ ), входящие в (1) и (2), с увеличением частоты уменьшаются. С учетом отмеченного выражения (1) и (2) могут быть записаны в общем виде следующим образом:

$$\epsilon^i(\omega; T) = a_1^i(\omega) + a_2^i(\omega) \exp\left(-\frac{\Delta E^i}{kT}\right). \quad (3)$$

Можно показать, что  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  в общем случае определяются следующими выражениями (3)

$$\epsilon' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_c - \epsilon_\infty}{1 + (\omega\tau)^2}, \quad (4)$$

$$\epsilon'' = \frac{\sigma}{\epsilon_0\omega} + \frac{(\epsilon_c - \epsilon_\infty)\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2}. \quad (5)$$

Согласно (4) и (5), температурные зависимости диэлектрических проницаемостей  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  будут определяться соответствующими зависимостями времени релаксации  $\tau$  и электропроводностью  $\sigma$  материала. Их частотная зависимость при прочих одинаковых условиях будет зависеть и от механизма проводимости, так как в случае зонного механизма  $\sigma \neq \sigma(\omega)$ , а при перескоковом механизме проводимости  $\sigma = \sigma(\omega)$ .

Величины, характеризующие температурные зависимости мнимой и действительной частей диэлектрической проницаемости

f, MHz	$\epsilon'$				$\epsilon''$			
	$a'_1$	$a'_2 \cdot 10^{-6}$	$\text{tg } \delta$	$\Delta E', \text{ eV}$	$a''_1$	$a''_2 \cdot 10^{-7}$	$\text{tg } \delta$	$\Delta E'', \text{ eV}$
0.065	30	46.77	2.79	0.240	22	11	3.2	0.276
0.20	24	12.70	2.83	0.244	12	5.6	2.89	0.249
0.50	20	9.24	2.89	0.249	6	1	2.78	0.239
1.00	12	8.23	3.01	0.254	3	0	2.81	0.242

После простых преобразований исходя из (4) и (5) можно установить следующую связь между  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$ :

$$\varepsilon' = \varepsilon'_\infty + \frac{1}{\tau} \frac{\varepsilon''}{\omega}. \quad (6)$$

В координатах  $\varepsilon' = f\left(\frac{\varepsilon''}{\omega}\right)$  в случае пригодности (6) имеем прямую, тангенс угла наклона которой равен  $\frac{1}{\tau}$ , отсекающую от оси ординат отрезок, равный  $\varepsilon_\infty$ . Такая прямолинейная зависимость имеет место, и оказалось, что  $\varepsilon_\infty = 20.4$ , а  $\tau \approx 15 \cdot 10^{-10}$  с. Как видно, в нашем случае время релаксации по порядку величины соответствует ориентационной поляризации.

Таким образом, наши данные позволяют заключить, что доминирующей в поляризации  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  является ориентационная поляризация и действительные и мнимые диэлектрические проницаемости с увеличением температуры, а также с убыванием частоты увеличиваются.

## Список литературы

- [1] Э.А. Эйвазов, В.И. Гусейнов, Я.Н. Шафиров, А.Ф. Сафаров, С.Ш. Курбанов. ФТТ **37**, 7, 2210 (1995).
- [2] Г.А. Воробьев, Н.П. Похолков, Н.Д. Королев, В.И. Меркулов. Физика диэлектриков. Изд-во ТПУ, Томск (2003). 328 с.
- [3] Ю.М. Поплавко, Л.П. Переверзева, И.П. Раевский. Физика активных диэлектриков. Изд-во ЮФУ, Ростов н/Д (2009). 298 с.