

# Высокорезистивные материалы

Раджабов Евгений Александрович

Лекция 8

# Решение задач - 2

1. Установить соответствие экспериментального пика диэлектрических потерь и пика рассчитанного по теории Дебая
2. Вычисление энергии активации по температурной зависимости пика диэлектрических потерь
2. Определение параметров пика термодеполяризации

# соответствие экспериментального пика диэлектрических потерь и пика по теории Дебая

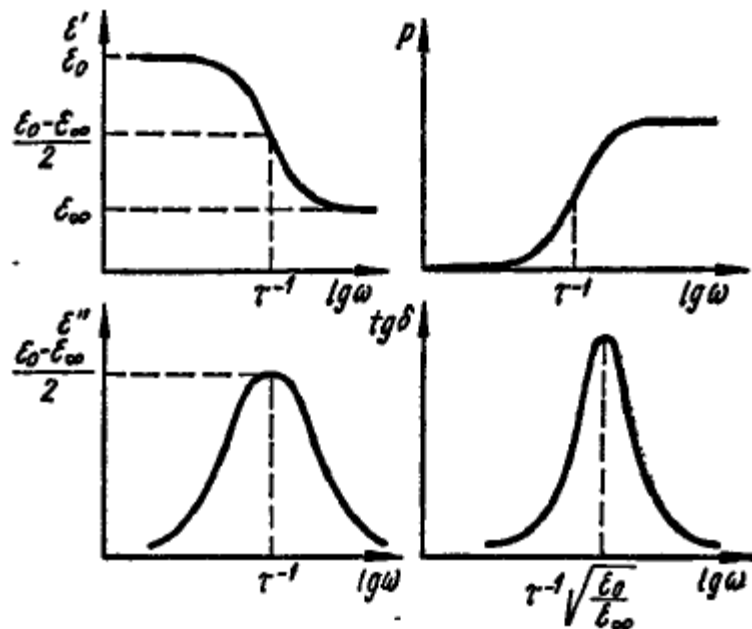


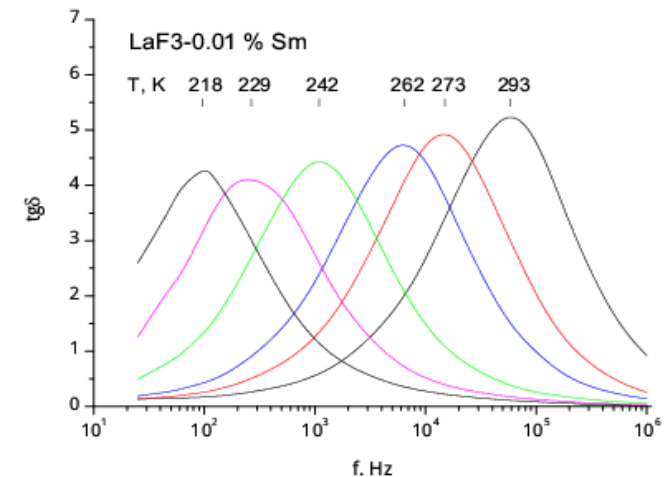
Рис. 8.6. Дисперсия диэлектрической проницаемости в диэлектриках с тепловыми механизмами поляризации.

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

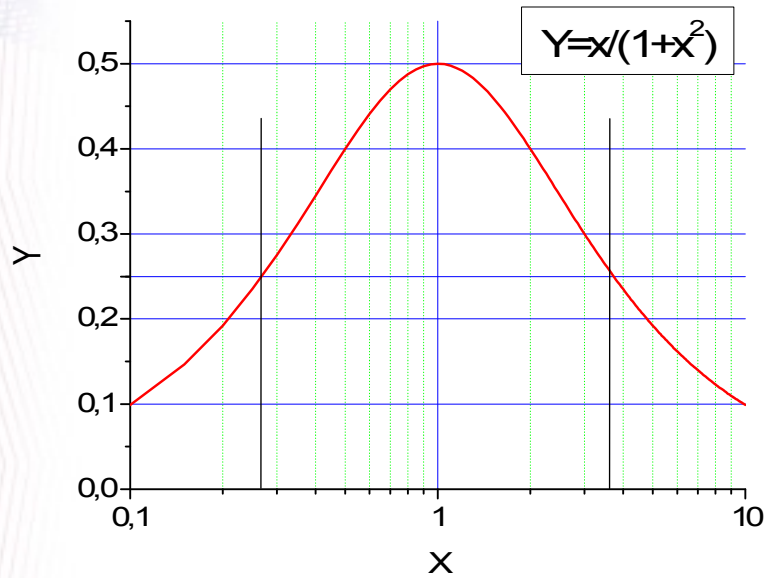
$$\varepsilon'' = \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{\infty}) \omega \tau}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{\infty}) \omega \tau}{\varepsilon_0 + \varepsilon_{\infty} \omega^2 \tau^2}; \quad \operatorname{tg} \delta_{\text{Debye}} = C \frac{\omega \tau}{1 + (\omega \tau)^2}$$

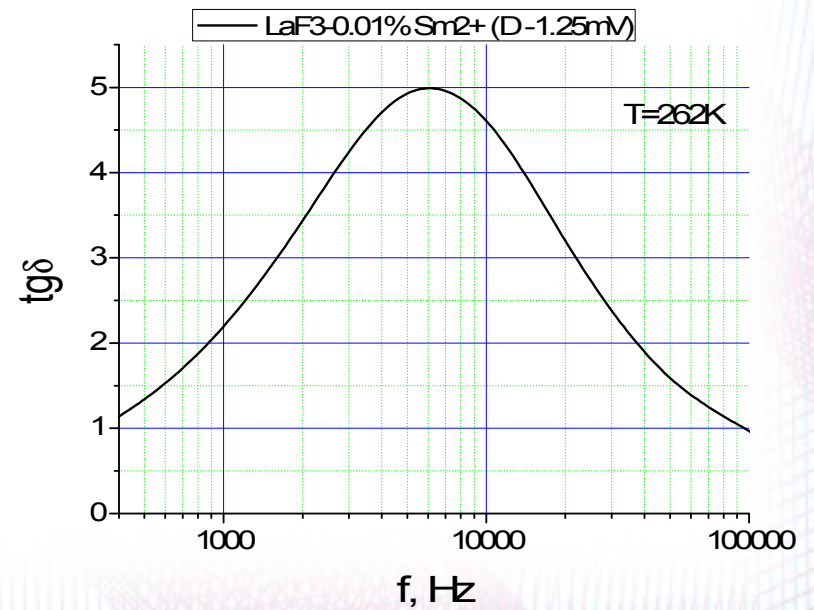
здесь  $\varepsilon_0$  — низкочастотная диэл. проницаемость а  $\varepsilon_{\infty}$  — высокочастотная (теория П. Дебая)



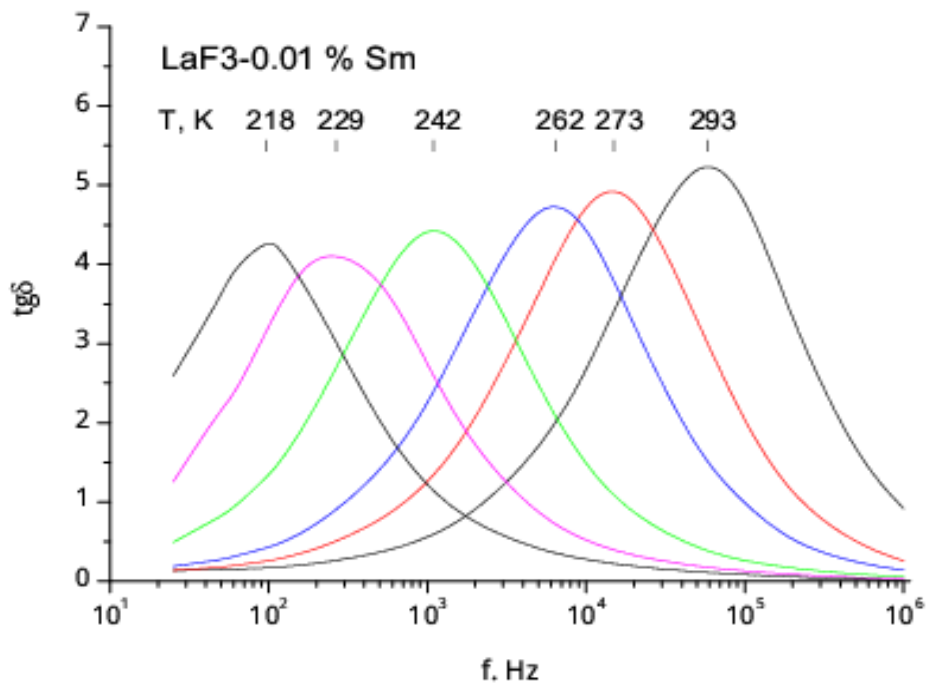
# Пик по теории Дебая



$$\operatorname{tg} \delta_{\text{Debye}} = C \frac{\omega \tau}{1 + (\omega \tau)^2}$$



## 2. Вычисление энергии активации по температурной зависимости пика диэлектрических потерь



$$\tau(T) = \tau_0 \exp(E/kT),$$

$$k = 8.62 \cdot 10^{-5} \text{ эВ/град}$$

$$E = (\ln \tau_1 - \ln \tau_2) / (1/kT_1 - 1/kT_2)$$

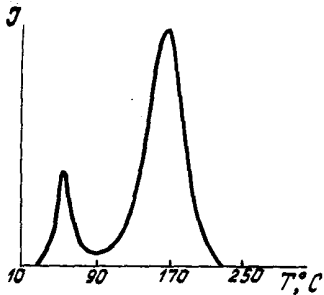


Рис. 5.5. Кривая термовысвечивания кристалла NaCl-Ni.

При теоретическом исследовании кривой термовысвечивания, обусловленной одним типом ловушек, обычно предполагается осуществление одного из двух основных типов кинетики люминесценции: кинетика первого порядка или кинетика второго порядка. Под кинетикой первого порядка (иногда такой тип кинетики называется мономолекулярным) подразумевается кинетика, описываемая уравнением вида (4.25) (при  $\beta n \gg \delta_2$ ):

$$\frac{dn}{dt} = -w_1 n. \quad (5.11)$$

Так как при термовысвечивании происходит нагревание фосфора, то в уравнении (5.11) перейдем от переменной  $t$  к переменной  $T$ , для чего воспользуемся соотношением (5.10), тогда, учитывая, что  $w_1 = w_{10} e^{-E_1/kT}$ , получим

$$\frac{dn}{dT} = -c^{-1} w_{10} e^{-E_1/kT} n. \quad (5.12)$$

Интегрируя (5.12) в пределах от  $T_0$  до  $T$  (полагаем  $n = n_0$  при  $T = T_0$ , переменную под знаком интеграла обозначаем  $T'$ ), находим, что

$$n = n_0 \exp\left[-\frac{w_{10}}{c} \int_{T_0}^T \exp(-E_1/kT') dT'\right]. \quad (5.13)$$

Выражение (5.13) показывает, как изменяется запасенная светосумма при нагревании фосфора от температуры  $T_0$  до  $T$ . Мы найдем, как изменяется при этом  $J$ , если учтем, что

$$J = w_1 n = w_{10} e^{-E_1/kT} n, \quad (5.14)$$

и подставим сюда вместо  $n$  выражение (5.13):

$$J = w_{10} n_0 \exp(-E_1/kT) \exp\left[-\frac{w_{10}}{c} \int_{T_0}^T \exp(-E_1/kT') dT'\right]. \quad (5.15)$$

Это и есть уравнение кривой термовысвечивания в случае кинетики первого порядка, если в кристалле имеется один сорт ловушек, глубина которых равна  $E_1$ .

Второй рассмотренный в § 4.3 случай при  $\delta_2 \gg \beta n$ , описываемый уравнением (4.29)

## Метод термовысвечивания, термодеполяризации

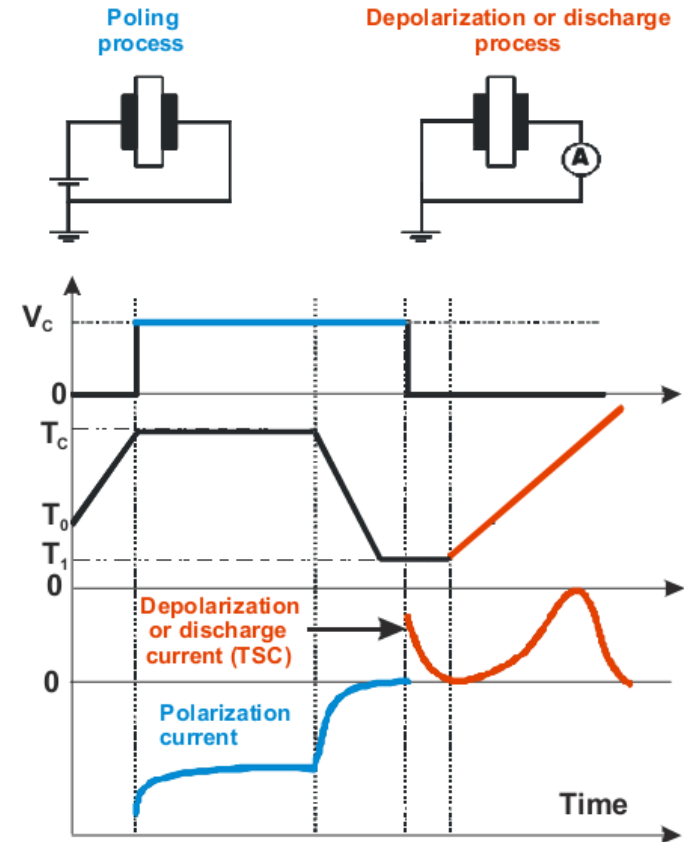
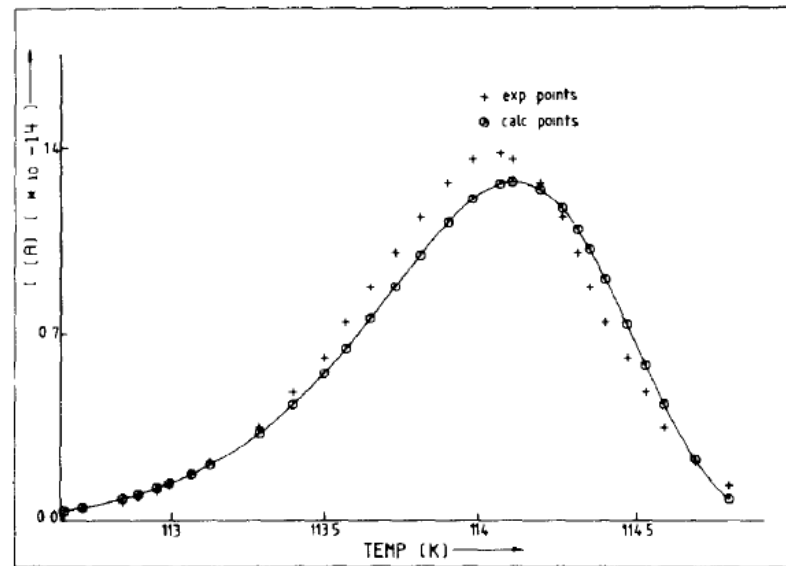
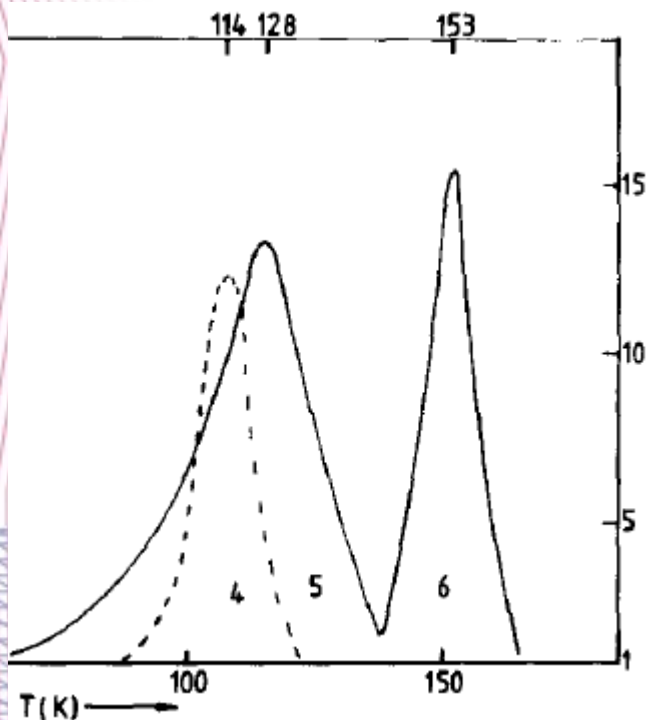


Figure 6.1. The thermally stimulated currents (TSC) method

### 3. Определение параметров пика термодеполяризации

$$I(T) = c_0/\tau_0 \exp(-E/kT) \exp[-1/b\tau_0 \times \int_0^T \exp(-E/kT') dT'],$$

Упрощенная формула  
 $E = kT_m^2/(T_m - T_1)$



Experimental points and the best fit to a three-parameter TSDC formula [eqn 2], without energy distribution  $E = 0.26$  eV,  $\tau_0 = 6 \times 10^{-11}$  s

along with literature data

sample no.	$T_m$ (K)	$\Delta H_R$ (eV)	$\sigma_E$ (eV)	$\tau_0$ (s)
(relax 4)	$114 \pm 2$	$0.30 \pm 0.02$	$(6 \pm 1) \times 10^{-3}$	$(4 \pm 2) \times 10^{-13}$
(relax.6)	$153 \pm 2$	$0.34 \pm 0.02$	$(5 \pm 1) \times 10^{-3}$	$(2 \pm 1) \times 10^{-10}$