

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



Он предложил модель твёрдого тела, на основе которой объяснил поведение удельной теплоёмкости при низких температурах; характерная температура, ниже которой существенное значение приобретают квантовые эффекты, получила название температуры Дебая.

Он теоретически описал влияние тепловых колебаний кристаллической решётки на дифракцию рентгеновских лучей (фактор Дебая — Валлера), совместно с Паулем Шеррером разработал порошковый метод рентгеноструктурного анализа и использовал методы рентгеновского рассеяния для исследования структуры жидкостей и отдельных молекул.

Дебай впервые наблюдал дифракцию света на ультразвуке и использовал метод рассеяния света для исследования структуры молекул (в том числе полимеров) и критических явлений.

Он развил дипольную теорию диэлектриков, на основе которой объяснил их дисперсионные свойства и некоторые аспекты межмолекулярных взаимодействий. **Подход Дебая стал базовым для анализа процессов релаксации в различных типах сред**

Совместно с Эрихом Хюккелем он разработал теорию слабых растворов сильных электролитов, на основе которой объяснил зависимость коэффициентов активности и проводимости от концентрации.

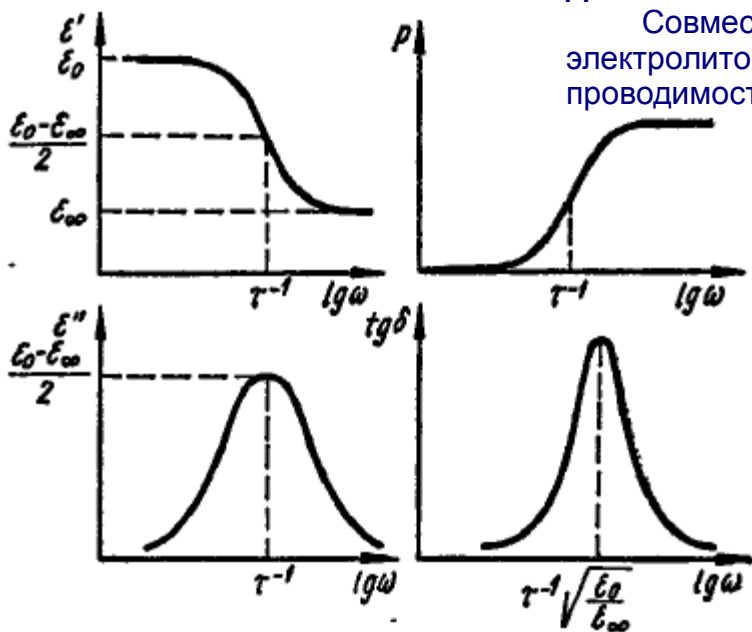


Рис. 8.6. Дисперсия диэлектрической проницаемости в диэлектриках с тепловыми механизмами поляризации.

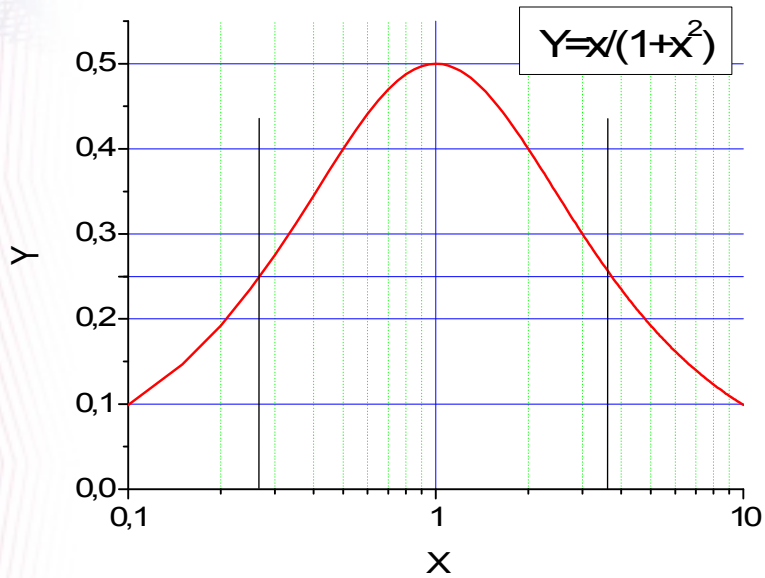
$$\epsilon'(\omega) = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad \epsilon'' = \frac{(\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}) \omega \tau}{1 + \omega^2 \tau^2}.$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{(\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}) \omega \tau}{\epsilon_0 + \epsilon_{\infty} \omega^2 \tau^2}, \quad \operatorname{tg} \delta_{\text{Debye}} = C \frac{\omega \tau}{1 + (\omega \tau)^2}$$

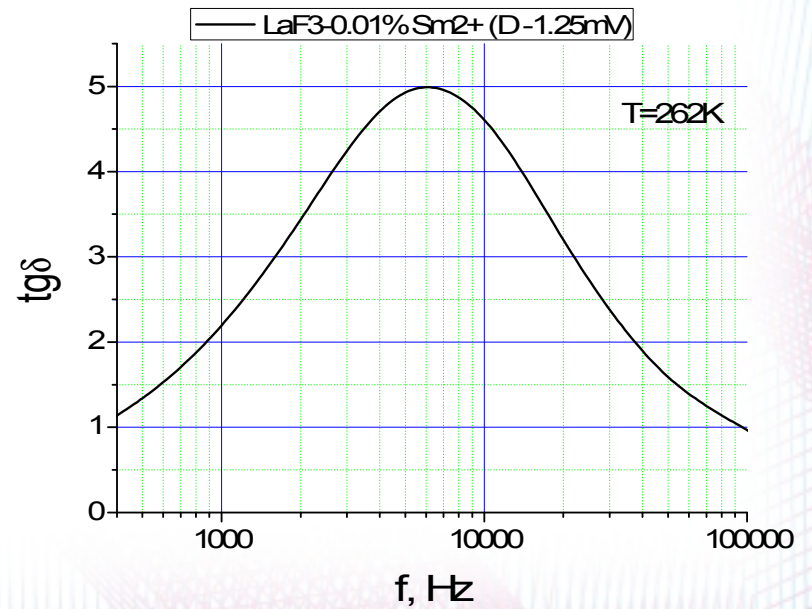
здесь ϵ_0 — низкочастотная диэл.

проницаемость а ϵ_{∞} — высокочастотная (теория П. Дебая)

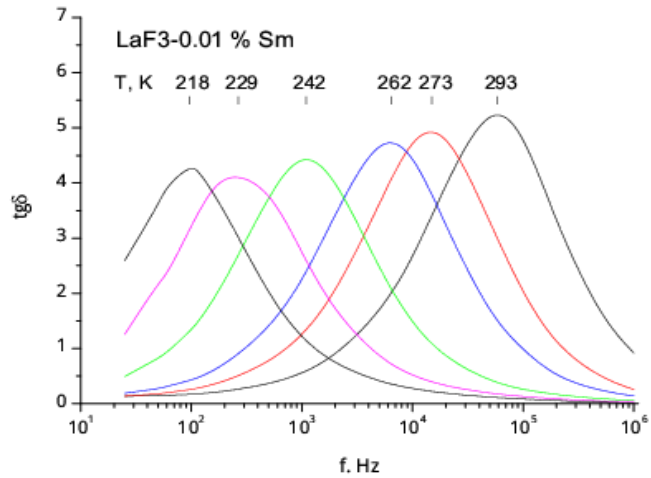
Пик по теории Дебая



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



2. Вычисление энергии активации по температурной зависимости пика диэлектрических потерь



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

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

$$\ln(f_{\max}) = A - E/kT$$

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

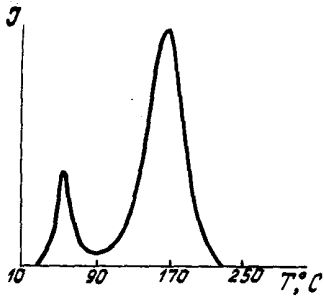


Рис. 5.5. Кривая термовысвечивания кристалла NaCl-Ni.

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

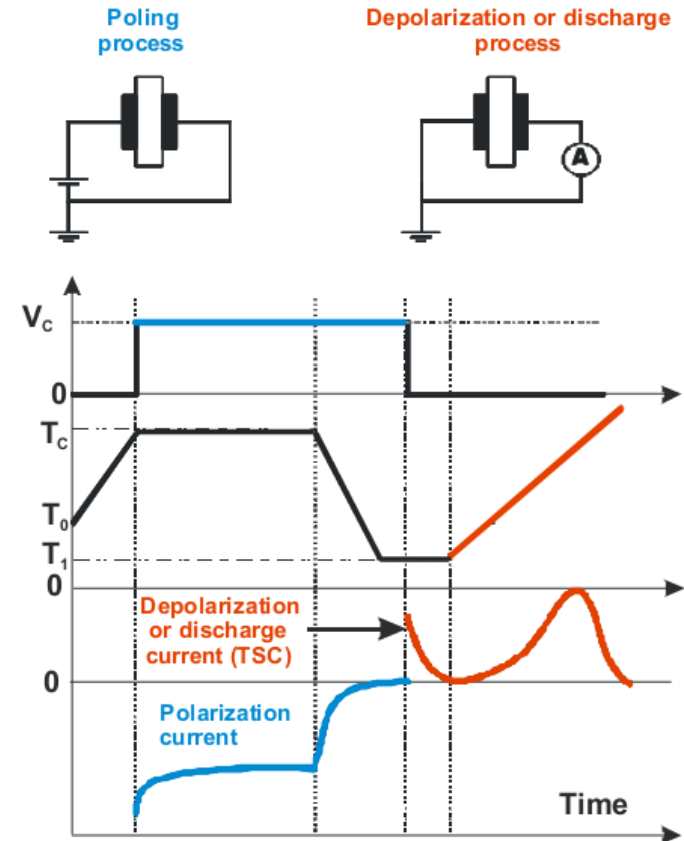
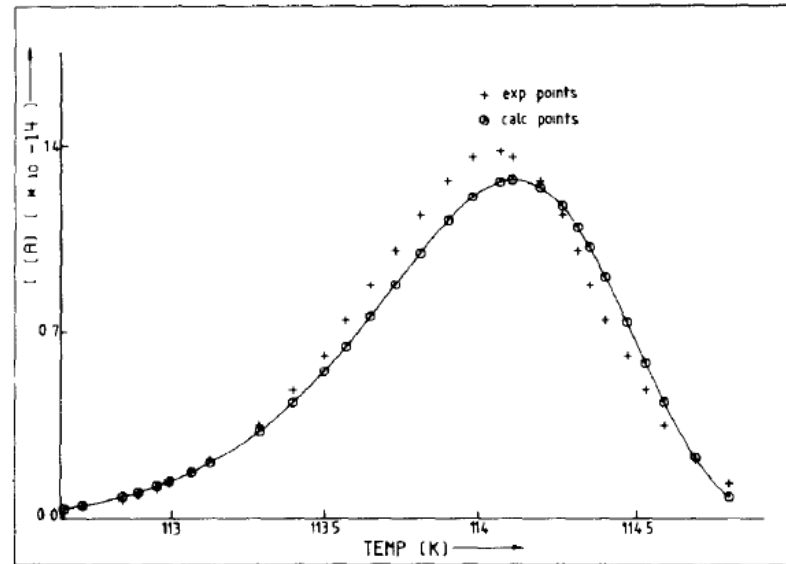
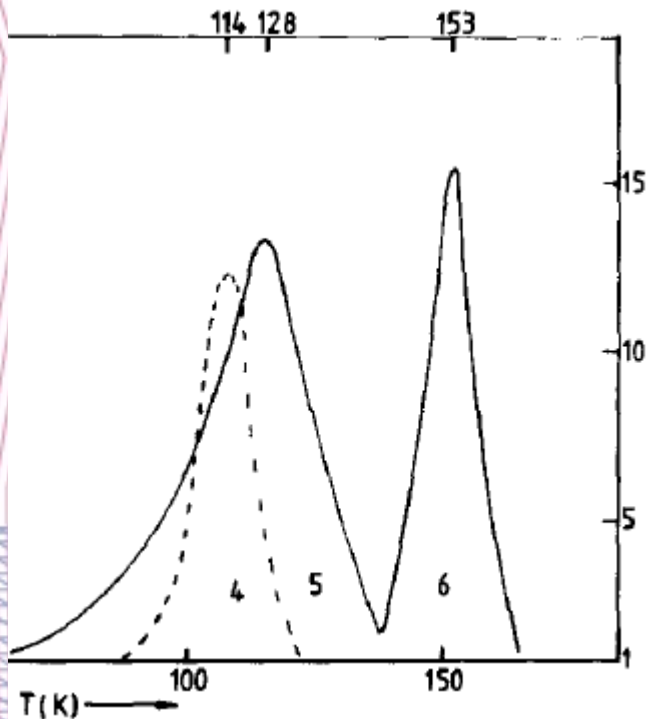


Figure 6.1. The thermally stimulated currents (TSC) method

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)	ΔH_R (eV)	σ_E (eV)	τ_0 (s)
(relax 4)	114 ± 2	0.30 ± 0.02	$(6 \pm 1) \times 10^{-3}$	$(4 \pm 2) \times 10^{-13}$
(relax.6)	153 ± 2	0.34 ± 0.02	$(5 \pm 1) \times 10^{-3}$	$(2 \pm 1) \times 10^{-10}$