

## ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

**Диэлектрический отклик триглицинселената на частотах  
0.07 Гц — 10 МГц в парафазе**А. В. Воробьев<sup>а</sup>, Н. Д. Гаврилова, А. М. Лотонов<sup>б</sup>*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра физики полимеров и кристаллов. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.**E-mail: <sup>а</sup>vorobyev@polly.phys.msu.ru, <sup>б</sup>lotonov@polly.phys.msu.ru*

Статья поступила 12.10.2014, подписана в печать 10.11.2014.

Методом диэлектрической спектроскопии экспериментально изучено поведение монокристалла триглицинселената в параэлектрической фазе (выше точки фазового перехода). Приводятся результаты исследования электрических свойств образца в диапазоне частот от 0.07 Гц до 10 МГц в интервале температур от 7 до 70 °С. Отмечено наличие недебаевского типа спектра и линейной дисперсии, которые присутствуют также в сегнетоэлектрической фазе. Сделано предположение, что линейная дисперсия связана с многопозиционной протонной прыжковой проводимостью.

*Ключевые слова:* диэлектрическая дисперсия, диэлектрическая проницаемость, время релаксации, проводимость, триглицинселенат.

УДК: 537.226.4. PACS: 77.22.-d, 77.84.Jd, 77.80.Bh.

**Введение**

Настоящая статья посвящается исследованию электрических свойств монокристалла триглицинселената (ТГСел)  $(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH})_3\text{H}_2\text{SeO}_4$  в диапазоне частот 0.07 Гц — 10 МГц. Монокристалл ТГСел принадлежит к группе триглицинсульфата (ТГС). Этот кристалл проявляет сегнетоэлектрические свойства и претерпевает фазовый переход второго рода [1, 2]. Температура фазового перехода  $T_c = 22.5$  °С [1]. Предыдущие работы по дисперсии  $\epsilon^*$  изоморфов ТГС и других сегнетоэлектриков проводились в широком диапазоне частот мГц-МГц в основном вблизи точки Кюри [3] или при комнатной температуре. Кристаллическая решетка ТГСел является моноклинной. Выше температуры Кюри кристалл принадлежит к пространственной группе  $P2_1/m$ , ниже — к пространственной группе  $P2_1$  [4]. ТГСел имеет сегнетоэлектрические свойства в направлении моноклинной оси  $b$ . Этот сегнетоэлектрический кристалл обладает водородными связями  $\text{OH}\cdots\text{O}$  и  $\text{NH}\cdots\text{O}$  длиной 2.6–2.9 Å. Наличие водородных связей дает соответствующие вклады в диэлектрическую проницаемость, проводимость, диэлектрический модуль. Важная роль водородной связи в кристаллах группы ТГС отмечается в ряде работ по сегнетоэлектричеству [5], где высказывается предположение о роли  $\text{OH}\cdots\text{O}$  связей в качестве «спусковых крючков» фазового перехода. С динамикой протонов на водородных связях в исследуемых образцах авторы статьи связывают наблюдаемые аномалии электрических свойств. Было также отмечено, что температуры аномальных свойств воды оказались близкими к точкам аномалий экспериментальных зависимостей: диэлектрической проницаемости, проводимости, времени релаксации, степенных параметров и т. д. от температуры для исследуемых образцов (формиатов иттрия, гольмия, эрбия), у которых длины водородных связей близки к длине водородной связи воды ( $\sim 2.76$  Å).

В предыдущей статье [6] изучались электрические свойства монокристалла ТГСел в сегнетоэлектрической фазе. В настоящей работе монокристалл ТГСел изучался методом диэлектрической спектроскопии в параэлектрической фазе, т. е. выше температуры Кюри. Этот метод используется для исследования релаксационных свойств веществ. Было проведено сравнение данных, полученных для монокристалла ТГСел (по результатам двух работ), с ранее полученными результатами для монокристалла триглицинсульфата (ТГС), формиатов эрбия, иттрия и гольмия [7–11], чтобы определить общую закономерность поведения веществ с водородными связями.

**Методика эксперимента**

Измерения характеристик монокристалла ТГСел проводились на широкополосном диэлектрическом спектрометре BDS (Concept 40) фирмы Novocontrol. Установка состоит из импедансного анализатора, измерительной ячейки, системы термостатирования, системы автоматического сбора данных и сосуда Дьюара с системой испарения и подачи газообразного азота. Установка позволяет измерять комплексный импеданс  $Z^*$ , комплексную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$ , где  $\epsilon'$  — действительная часть, а  $\epsilon''$  — мнимая часть, проводимость  $\sigma$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta = \epsilon''/\epsilon'$ , комплексный диэлектрический модуль  $M^* = 1/\epsilon^* = M' + iM''$ , где  $M'$  — действительная часть модуля, а  $M''$  — мнимая часть модуля, и т. д. в диапазоне частот от 0.07 Гц до 20 МГц в температурном интервале от  $-160$  до  $+400$  °С. С помощью системы термостатирования можно стабилизировать температуру с точностью 0.01 °С. Образец монокристалла ТГСел (плоскопараллельная пластинка полярного среза площадью 18 мм<sup>2</sup> и толщиной 0.8 мм) в процессе эксперимента находился в парах азота и контакта с атмосферой не имел. В качестве электродов использовалось сусальное серебро. Измерения прово-

дились на нагрев и охлаждение образца в интервале температур от +7 до +70 °С (нагревание) и от 70 до 6 °С (охлаждение) в диапазоне частот от 0.07 Гц до 10 МГц. На образец накладывалось переменное напряжение амплитудой 1 В.

**Экспериментальные результаты**

В настоящей работе приведены результаты исследования монокристалла ТГСел в параэлектрической фазе. На рис. 1 представлен график зависимостей  $\epsilon'$  от температуры при измерении на нагрев и охлаждении на частоте 0.07 Гц. Максимум на кривых наблюдается при температуре 22.5 °С. В параэлектрической фазе графики на нагрев и охлаждение показывают хорошее совпадение значений друг с другом, а в сегнетоэлектрической фазе наблюдается заметное расхождение в экспериментальных данных (температурный гистерезис). Это может быть связано с различием формирования и разрушения доменных образований при нагревании и охлаждении образца монокристалла ТГСел. Зависимости  $1/\epsilon'$  от температуры при частотах 0.07 Гц, 1.21 кГц и 1.01 МГц приведены на рис. 2, где наблюдаются линейные участки слева и справа от точки фазового перехода  $T = 22.5$  °С, которые описываются законом Кюри-Вейсса ( $\epsilon' = C/(T - T_c)$ ), где  $C$  зависит от амплитуды электрического поля  $E$  и его частоты  $f$  и других факторов. Для выше приведенных значений частот были вычислены значения  $C$  в сегнетоэлектрической и параэлектрической фазах: для  $f = 0.07$  Гц  $C_1 = 1395 \pm 53$  К (сегнетоэлектрическая фаза),  $C_2 = 4057 \pm 55$  К (параэлектрическая фаза), для  $f = 1.21$  кГц  $C_1 = 943 \pm 51$  К,  $C_2 = 3943 \pm 94$  К, для  $f = 1.01$  МГц  $C_1 = 457 \pm 31$  К,  $C_2 = 3784 \pm 166$  К. Из полученных данных следует, что с ростом частоты  $f$  уменьшаются значения  $C_1$  и  $C_2$  и растет отношение  $C_2/C_1$ .

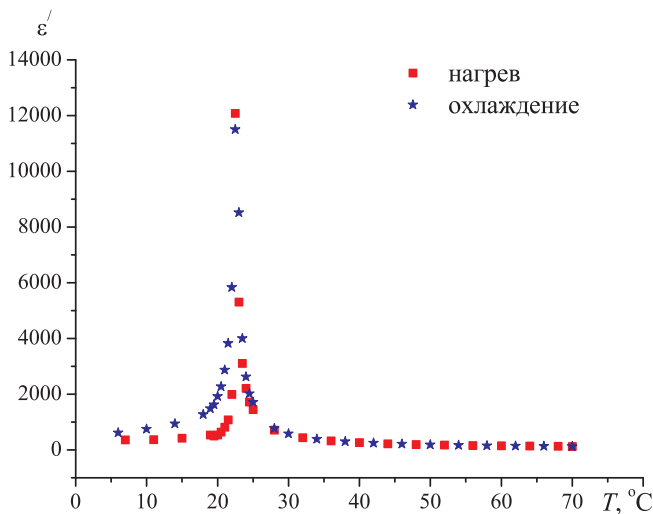


Рис. 1. Зависимость  $\epsilon'$  от температуры на частоте 0.07 Гц для монокристалла триглицинселената при различных температурах (режим нагрева и охлаждения)

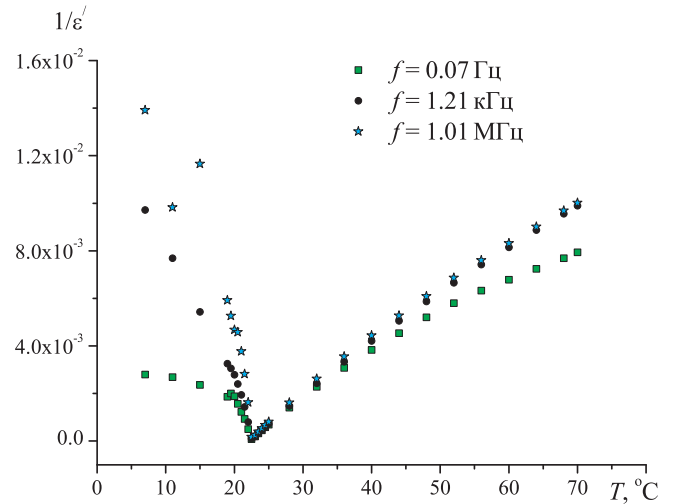


Рис. 2. Зависимости  $1/\epsilon'$  от температуры для монокристалла триглицинселената при различных частотах (режим нагрева)

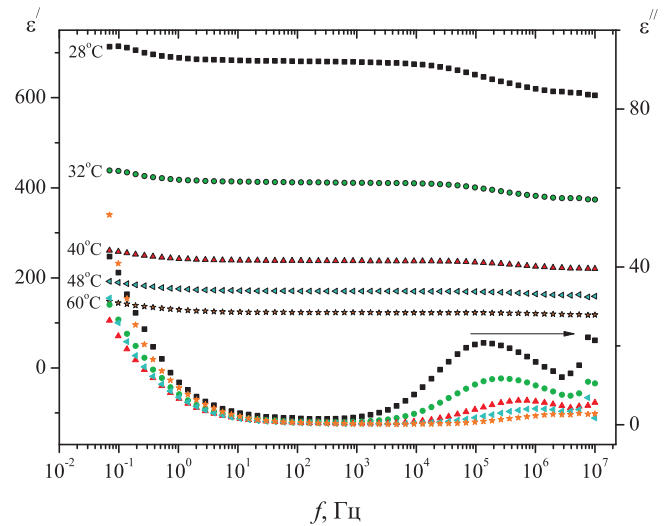


Рис. 3. Частотные зависимости  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  для монокристалла триглицинселената при различных температурах (режим нагрева)

На рис. 3 показаны графики зависимостей  $\epsilon''$  и  $\epsilon'$  от частоты при различных температурах. Светлые значки используются для обозначения зависимостей  $\epsilon'$  от частоты, а темные символы применяются для обозначения зависимостей  $\epsilon''$  от частоты при тех же самых температурах. С повышением температуры пик мнимой части диэлектрической проницаемости смещается в сторону высоких частот, при этом амплитуда пика уменьшается. Этот процесс связан с хорошо известным из литературы явлением критического замедления в кристаллах ТГС и ТГСел [12-14]. Действительная часть  $\epsilon^*$  с ростом температуры проявляет слабую зависимость от частоты во всем исследуемом интервале. На рис. 4 построен график зависимости логарифма времени релаксации  $\ln \tau$  от обратной температуры  $1/T$  при измерении на нагрев. Времена релаксации были получены с использованием функции Гавриляка-Негами [15]:

$$\epsilon_*(\omega) = \epsilon' - i\epsilon'' = -i \left( \frac{\sigma_0}{\epsilon_v \omega} \right)^N + \sum_{k=1}^3 \left[ \frac{\Delta \epsilon_k}{(1 + (i\omega\tau_k)^{\alpha_k})^{\beta_k}} + \epsilon_{\infty k} \right],$$

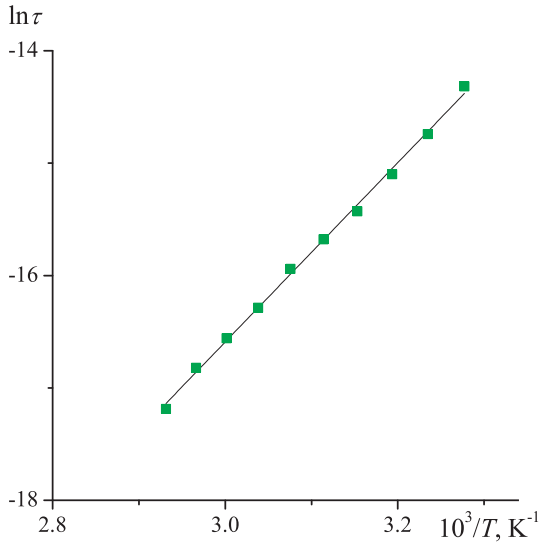


Рис. 4. Зависимость времени релаксации для монокристалла триглицинселената от обратной температуры (режим нагрева)

где  $\varepsilon_{\infty k}$  — диэлектрическая проницаемость при бесконечной частоте,  $\tau_k$  — время релаксации и  $\Delta\varepsilon_k$  — глубина дисперсии  $k$ -го процесса,  $\alpha_k$  и  $\beta_k$  — параметры  $k$ -го процесса, которые характеризуют отклонение процесса от дебаевского, для которого  $\alpha_k = \beta_k = 1$ . Параметр  $0 \leq \alpha_k \leq 1$  характеризует ширину распределения времен релаксации,  $\beta_k$  — асимметричность релаксационной кривой,  $\sigma_0$  — проводимость на нулевой частоте,  $\varepsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость вакуума,  $0 < N \leq 1$ . Параметры  $\alpha_k$ ,  $\beta_k$ ,  $\Delta\varepsilon_k$ ,  $\tau_k$ ,  $\sigma_0$  определялись с использованием программы WinFit. Ошибки в определении этих величин не превышали 5 %.

На графике зависимости  $\ln \tau$  от  $1/T$  можно выделить линейный участок, который был аппроксимирован законом Аррениуса  $\tau = \tau_0 \exp(\Delta U/kT)$ , где  $k$  — постоянная Больцмана,  $\Delta U$  — энергия активации и  $\tau_0$  — предэкспоненциальный множитель (подгоночные параметры). Из полученных данных определялись энергия активации и  $\tau_0$  для этих линейных участков в двух случаях (нагрев, охлаждение):  $\Delta U = (0.69 \pm 0.01)$  эВ и  $\tau_0 \approx 2.5 \cdot 10^{-18}$  с для интервала температур 32–68 °С (нагрев) и  $\Delta U = (0.75 \pm 0.03)$  эВ и  $\tau_0 \approx 2 \cdot 10^{-19}$  с

для интервала температур 56–28 °С (охлаждение). Такие значения энергии активации обычно встречаются в сегнетоэлектрических кристаллах с водородными связями. В сегнетоэлектрической фазе монокристалла ТГСел наблюдались три релаксационных процесса [6]. Для этих процессов были определены энергии активации  $\Delta U$  и предэкспоненциальные множители  $\tau_0$  также с использованием закона Аррениуса:  $\Delta U_1 = (0.56 \pm 0.02)$  эВ,  $\tau_0 \approx 5.7 \cdot 10^{-13}$  с (для интервала температур от –25 до +7 °С),  $\Delta U_2 = (0.98 \pm 0.05)$  эВ,  $\tau_0 \approx 5.3 \cdot 10^{-23}$  с (для интервала температур от 3 до 20 °С),  $\Delta U_3 = (0.21 \pm 0.01)$  эВ,  $\tau_0 \approx 1.5 \cdot 10^{-11}$  с (для интервала температур от –25 до +20 °С).

Графики зависимостей параметра  $\alpha$  от температуры для двух режимов (нагрев, охлаждение) изображены на рис. 5. На графике в режиме нагрева наблюдается излом для температур выше 44 °С и с ростом температуры значения параметра  $\alpha$  уменьшаются, а в режиме охлаждения наблюдается локальный минимум при 46 °С и  $\alpha_{\max} - \alpha_{\min} = \Delta\alpha$  больше для режима охлаждения по сравнению с режимом нагрева. Значения  $\alpha_{\max}$  и  $\alpha_{\min}$  взяты в параэлектрической фазе, в измеряемом температурном интервале. На рис. 6 приведены зависимости  $\beta$  от температуры в режиме нагрева и охлаж-

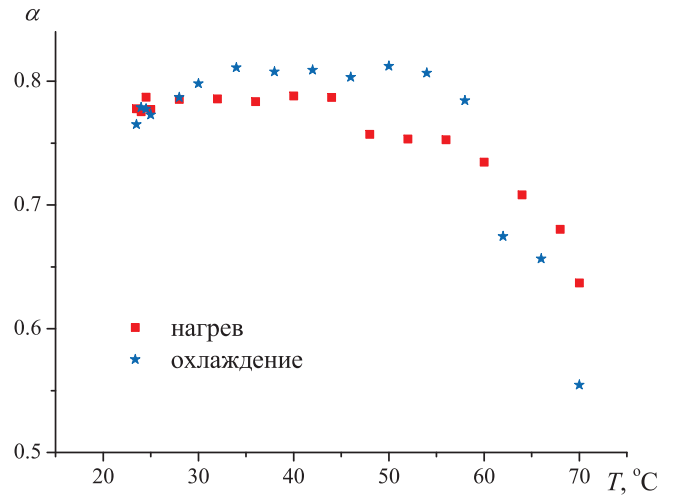


Рис. 5. Зависимость параметра  $\alpha$  от температуры для монокристалла триглицинселената (режим нагрева и охлаждения)

Таблица 1

**Данные особых точек воды и некоторых параметров диэлектрического отклика для триглицинселената и кристаллогидрата формиата гольмия**

Вещество	T, °C			
	~ 19	~ 36	~ 50	~ 76
вода H <sub>2</sub> O	аномалия сдвиговой вязкости	min. удельной теплоемкости	min. изотермической сжимаемости	тах. скорости звука
триглицинселенат	22.5 — сегнетоэлектрический фазовый переход, тах. на графике зависимости $\ln(\sigma' T)$ от $1/T$	«полочка» параметра $\alpha$ , локальный тах. параметра $\beta$ , min. $\Delta\varepsilon''$	«полочка» параметра $\alpha$	уменьшение параметра $\alpha$ , рост величины $\Delta\varepsilon''$
кристаллогидрат формиата гольмия	локальный тах. параметра $\alpha$	тах. $\Delta\varepsilon''$	тах. на графике зависимости $\ln(\sigma' T)$ от $1/T$ на частоте 0.1 Гц	локальный min. параметра $\alpha$

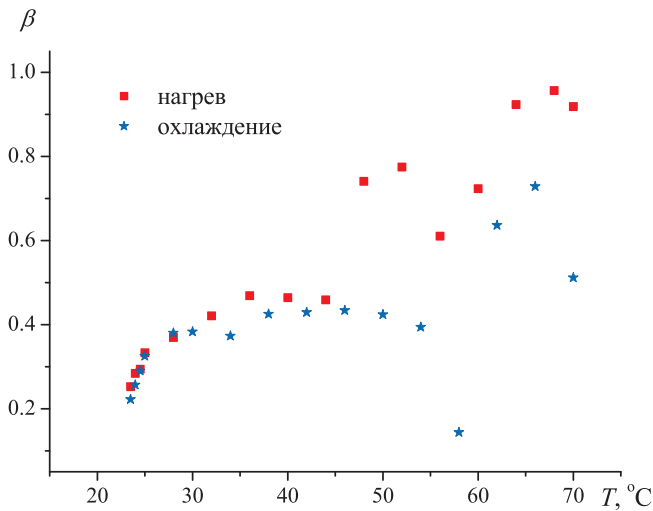


Рис. 6. Зависимость параметра  $\beta$  от температуры для монокристалла триглицинселената (режим нагрева и охлаждения)

дения. В режиме нагрева выше  $44^\circ\text{C}$   $\beta$  изменяется хаотически, а в режиме охлаждения поведение  $\beta$  более упорядоченное. Можно предположить, что наблюдаемое поведение параметров  $\alpha$  и  $\beta$  связано с температурными точками аномалий воды ( $\sim 36^\circ\text{C}$  — минимум удельной теплоемкости воды,  $\sim 50^\circ\text{C}$  — минимум коэффициента изотермической сжимаемости) [16]. Это, возможно, имеет связь с наличием в образце монокристалла ТГ-Сел водородных связей. В табл. 1 приведены температуры особых точек воды  $\text{H}_2\text{O}$  и некоторых параметров диэлектрического отклика двух исследованных образцов (кристаллогидрата формиата гольмия и монокристалла ТГСел), содержащих водородные связи  $\text{OH}\cdots\text{O}$  длиной  $2.6 \div 2.9 \text{ \AA}$  ( $\text{OH}\cdots\text{O}$  связь воды имеет длину  $\sim 2.76 \text{ \AA}$ ). В пределах точности наших измерений видно, что параметры  $\alpha$  (ширина спектра релаксации) и  $\beta$  (степень асимметрии) (параметры недебаевской релаксации) реагируют на изменения динамики носителей заряда так же, как  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  на низких частотах. Авторы статьи допускают, что вблизи температур  $\sim 20, 37, 50, 76^\circ\text{C}$  происходит перераспределение протонов по уровням в двухминимумном потенциале, и на это откликается сетка водородных связей и вслед за ней вся сложноорганизованная «решетка» кристалла или вещества.

На рис. 7 приведены зависимости  $M''$  от частоты при различных температурах, указанных на графике. С повышением температуры пик  $M''$  смещается в сторону высоких частот. Нормированные по частоте и амплитуде зависимости  $M''/M''_{\text{max}}$  от  $f/f_{\text{max}}$  для различных температур приведены на рис. 8. На этом же рисунке показана зависимость, описывающая дебаевскую релаксацию. Из полученных данных можно отметить, что пик на экспериментальных кривых более широкий при сравнении с дебаевским пиком (недебаевский тип релаксации). Это явление можно объяснить недебаевскими процессами релаксации и проводимости, которые активировались в исследуемом образце при изменении температуры и частоты.

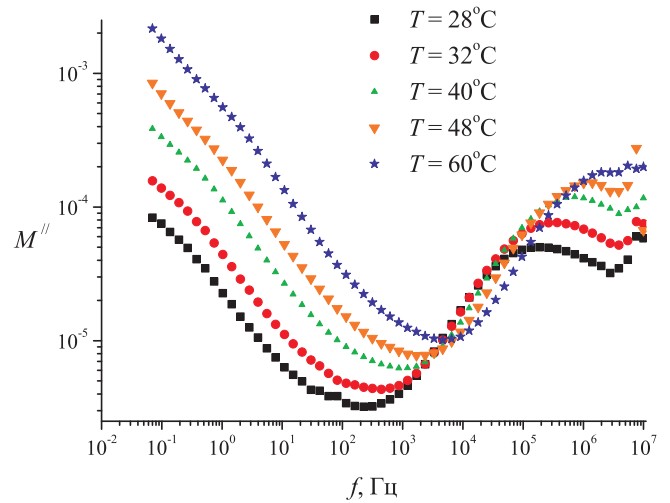


Рис. 7. Частотные зависимости  $M''$  для монокристалла триглицинселената при различных температурах (режим нагрева)

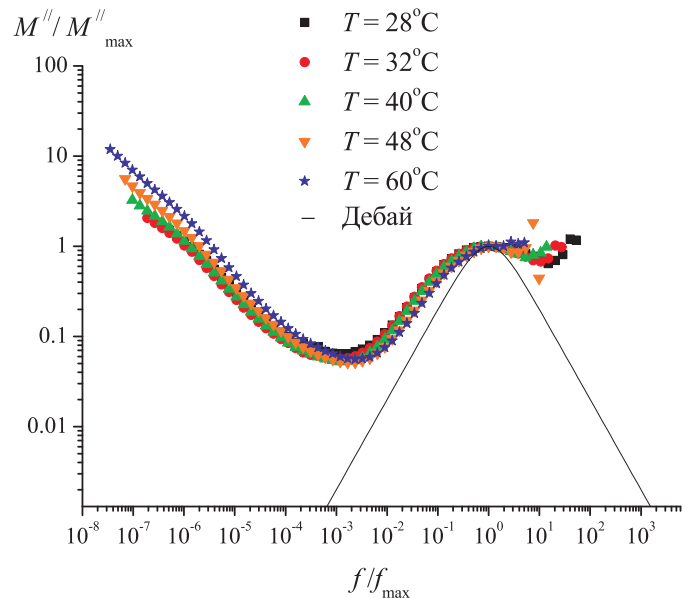


Рис. 8. Нормированные по частоте и амплитуде зависимости  $M''(f)$  для монокристалла триглицинселената при различных температурах (режим нагрева)

Диаграммы Коула–Коула при различных температурах показаны на рис. 9. На графике можно отметить наличие релаксационной области и участок линейной дисперсии. Стоит сказать, что линейная дисперсия также наблюдалась в сегнетоэлектрической фазе монокристалла ТГСел, а также в ранее изученных нами образцах: формиатов редкоземельных элементов (гольмия, иттрия, эрбия), монокристалла триглицинсульфата [6–11].

На основе экспериментальных данных был построен график зависимости  $\Delta\varepsilon'' = \varepsilon''(0.07 \text{ Гц}) - \varepsilon''(0.098 \text{ Гц})$  от температуры в режиме нагрева (от  $24$  до  $70^\circ\text{C}$ ), а также зависимость  $\Delta\varepsilon'' = \varepsilon''(0.07 \text{ Гц}) - \varepsilon''(0.105 \text{ Гц})$  от температуры в режиме охлаждения (от  $70$  до  $24^\circ\text{C}$ ) (рис. 10). На этом графике сначала  $\Delta\varepsilon''$  падает с ростом температуры (вблизи точки фазового перехода), достигая минимума при температуре  $T = 36^\circ\text{C}$  (при нагреве) и  $38^\circ\text{C}$  (при

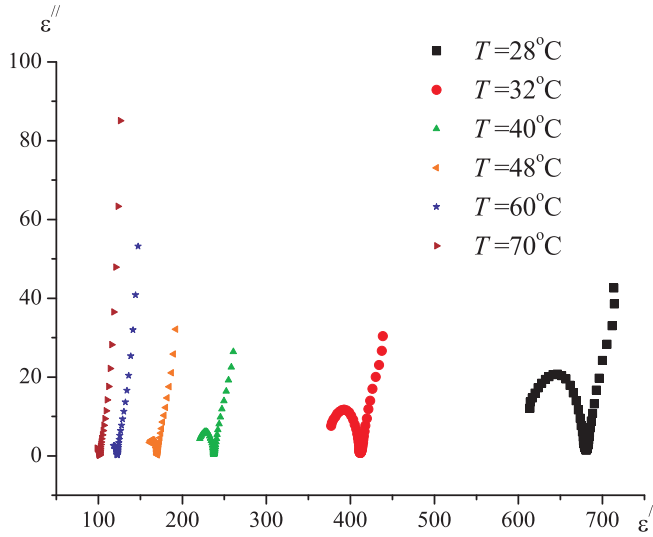


Рис. 9. Диаграммы Коула–Коула для монокристалла триглицинселената (зависимость  $\epsilon''(\epsilon')$ ) при различных температурах (режим нагрева)

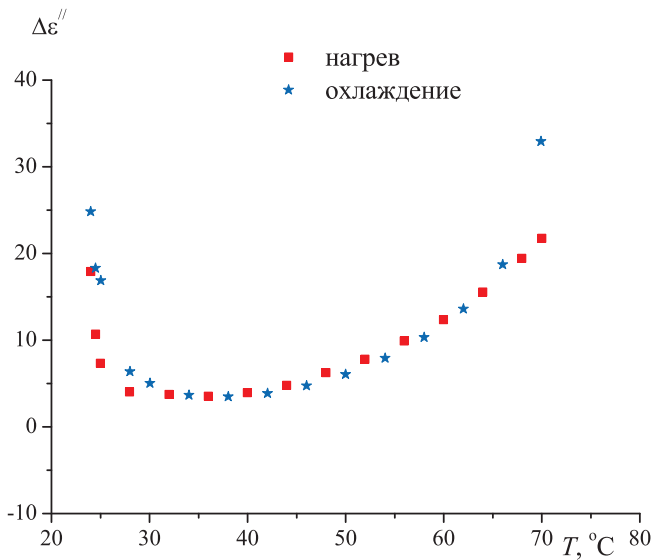


Рис. 10. Зависимость  $\Delta\epsilon''$  от температуры для монокристалла триглицинселената (режим нагрева и охлаждения)

охлаждении), а затем значение  $\Delta\epsilon''$  растет, но с меньшей по модулю скоростью, чем была при падении (в области  $T_c$ ). Высокие значения проводимости и  $\epsilon''$  в непосредственной близости от температуры фазового перехода в изоморфах ТГС обычно связывают с высокой подвижностью доменных границ [3], что предполагает

включение в процесс релаксации относительно тяжелых ионов amino- и глициновых групп [5].

На частотах  $\sim 0.1$  Гц в конденсированных средах может возникнуть немарковская релаксация за счет повышенной вязкости для транспорта ряда ионов ( $H^+$ ,  $OH^-$ , и др. кислородно-водородные группировки), а также из-за вовлечения в проводимость других носителей заряда, вклад которых суммируется (закон растянутой экспоненты Коула–Вильсона) [17–20]. Явление линейной дисперсии и поведение  $\Delta\epsilon''(T)$  в исследуемых образцах, возможно, связаны с процессами немарковской релаксации (эффект памяти), которые наиболее ярко проявляются на частотах ниже  $\sim 1$  кГц.

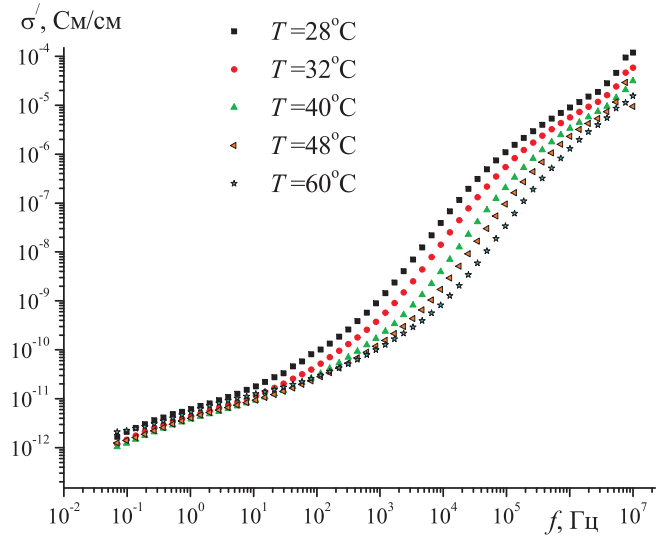


Рис. 11. Зависимость проводимости от частоты для монокристалла триглицинселената при различных температурах (режим нагрева)

Зависимости действительной части проводимости  $\sigma'$  от частоты при различных температурах приведены на рис. 11. Графики зависимости  $\ln \sigma'$  от частоты  $\ln f$  были аппроксимированы тремя линейными участками для различных температур. Тангенсы углов наклона этих участков ( $s_1, s_2, s_3$ ) представлены в табл. 2,  $s_1$  был определен в интервале частот от 0.07 до 42 Гц,  $s_2$  — в интервале частот от 82 Гц до 35 кГц,  $s_3$  — в интервале частот от 35 кГц до 5.44 МГц. Из приведенных выше данных видно, что с ростом температуры параметры  $s_1$  и  $s_2$  уменьшаются, а  $s_3$  растет. Ввиду того что зависимость проводимости от частоты имеет вид  $\sigma' = A\omega^s (\omega = 2\pi f)$ , можно сказать, что проводимость носит прыжковый характер, который определяется протонами, находящимися в локализованных состояни-

Таблица 2

Значения  $s_1, s_2, s_3$  при различных температурах

s	T, °C				
	~ 28	~ 32	~ 40	~ 48	~ 60
$s_1$	$0.47 \pm 0.01$	$0.45 \pm 0.01$	$0.42 \pm 0.01$	$0.399 \pm 0.005$	$0.364 \pm 0.005$
$s_2$	$1.42 \pm 0.04$	$1.37 \pm 0.04$	$1.21 \pm 0.05$	$1.06 \pm 0.05$	$0.86 \pm 0.04$
$s_3$	$0.92 \pm 0.02$	$0.98 \pm 0.03$	$1.12 \pm 0.04$	$1.27 \pm 0.04$	$1.45 \pm 0.04$

ях [21]. Согласно работе [21], такие значения параметров  $\Delta U \approx 0.5-0.9$  эВ и  $s \approx 0.8 \pm 0.2$  соответствуют протонной многопозиционной проводимости.

### Заключение

При исследовании электрических свойств монокристалла ТГСел в интервале температур от 28 до 70°С (в парафазе) в диапазоне частот от 0.07 Гц до 10 МГц было установлено наличие одного релаксационного пика. Также в этой фазе наблюдаются недебаевский тип спектра и линейная дисперсия, которая наблюдалась и в сегнетоэлектрической фазе. Можно предположить, что линейная дисперсия связана с многопозиционной протонной прыжковой проводимостью. Температурное поведение параметров  $\alpha$  и  $\beta$  предположительно связано с аномальными температурными точками воды.

### Список литературы

1. Matthias B., Miller G., Remeika I. // Phys. Rev. 1956. **104**. P. 849.
2. Hoshino S., Mitsui T., Iona F., Pepinsky R. // Phys. Rev. 1957. **107**. P. 1255.
3. Галиярова Н.М. // Изв РАН. Сер. физич. 1997. **61**, № 2. С. 386.
4. Wood B., Holden A. // Acta Cryst. 1957. **10**. P. 145.
5. Сонин А.С., Струков Б.А. Введение в сегнетоэлектричество. М., 1970.
6. Воробьев А.В., Гаврилова Н.Д., Лотонов А.М. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2014. № 2. С. 73 (Vorobyev A.V., Gavrilova N.D., Lotonov A.M. // Moscow University Phys. Bull. 2014. **69**, N 2. P. 175).
7. Гаврилова Н.Д., Лотонов А.М., Давыдова А.А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2013. № 1. С. 45 (Gavrilova N.D., Lotonov A.M., Davydova A.A. // Moscow University Phys. Bull. 2013. **68**, N 1. P. 45).
8. Гаврилова Н.Д., Давыдова А.А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2013. № 2. С. 50 (Gavrilova N.D., Davydova A.A. // Moscow University Phys. Bull. 2013. **68**, N 2. P. 143).
9. Лотонов А.М., Новик В.К., Гаврилова Н.Д. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2006. № 5. С. 27.
10. Новик В.К., Гаврилова Н.Д. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2011. № 3. С. 52 (Gavrilova N.D., Novik V.K. // Moscow University Phys. Bull. 2013. **66**, N 3. P. 260).
11. Новик В.К., Лотонов А.М., Гаврилова Н.Д. // Физ. тверд. тела. 2009. **51**. № 7. С. 1338.
12. Unruh H.-G., Wahl H.-J. // Phys. Status Solidi (a). 1972. **9**. P. 119.
13. Luther G. // Phys. Status Solidi (a). 1973. **20**. P. 227.
14. Luther G. // Phys. Status Solidi (a). 1973. **20**. P. K25.
15. Havriliak S., Negami S. // Polymer. 1967. **8**. P. 161.
16. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М., 1999.
17. Гриднев С.А. // Соросовский образовательный журн. 1998. № 8. С. 95.
18. Черноуцан Е.И. // Соросовский образовательный журн. 2001. **7**. № 3 С. 103.
19. Шильников А.В., Галиярова Н.М., Горин С.В. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 1992. **56**, № 10. С. 157.
20. Галиярова Н.М. // Изв РАН. Сер. физ. 2004. **68**. № 7. С. 985.
21. Брыксин В.В., Дьяконов М.Н., Муждаба В.М., Ханнин С.Д. // ФТТ. 1981. **23**. P. 1516.

## The dielectric response of triglycine selenate at frequencies of 0.07 Hz—10 MHz in paraphase

A. V. Vorobyev<sup>a</sup>, N. D. Gavrilova, A. M. Lotonov<sup>b</sup>

Department of Physics of Polymers and Crystals, Faculty of Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.

E-mail: <sup>a</sup>vorobyev@polly.phys.msu.ru, <sup>b</sup>lotonov@polly.phys.msu.ru.

The behavior of a triglycine selenate single crystal in the paraelectric phase, i.e., at temperatures above the phase-transition point, was studied using dielectric spectroscopy. The results of studying the electric properties of a specimen in a frequency range of 0.07 Hz—10 MHz and a temperature range of 7–70°С are presented. A non-Debye type of spectrum and linear dispersion were found, which are also present in the ferroelectric phase. It is assumed that the linear dispersion is related to multisite proton-hopping conductivity.

**Keywords:** dielectric dispersion, dielectric permittivity, relaxation time, conductivity, triglycine selenate.

PACS: 77.22.-d, 77.84.Jd, 77.80.Bh.

Received 12 October 2014.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 1(2015).

### Сведения об авторах

1. Воробьев Андрей Владимирович — аспирант; e-mail: vorobyev@polly.phys.msu.ru.
2. Гаврилова Надежда Дмитриевна — докт. физ.- мат. наук, профессор, вед. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-44-08, e-mail: novikmp@orc.ru.
3. Лотонов Александр Михайлович — канд. физ.- мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-44-08, e-mail: lotonov@polly.phys.msu.ru.