

03;08

Низкочастотные ультразвуковые исследования вязкоупругих свойств жидких кристаллов при фазовом переходе нематик—изотропная жидкость в образцах малого объема

© Г.И. Максимочкин, С.В. Пасечник, А.С. Кравчук, Н.В. Усольцева, В.В. Быкова, Г.А. Тимофеев

Московский государственный университет приборостроения и информатики

Ивановский государственный университет

E-mail: maksgi2@mail.ru

Поступило в Редакцию 24 октября 2006 г.

Представлены результаты экспериментальных исследований скорости распространения и коэффициента поглощения ультразвука в жидких кристаллах при фазовом переходе нематик—изотропная жидкость в образцах с объемом порядка 0.15 см^3 на частотах в диапазоне $0.68 \dots 1.63 \text{ МГц}$. На основе акустических данных анализируются характеристики фазового перехода и критические аномалии вязкоупругих свойств жидких кристаллов (ЖК) в области фазового перехода. Демонстрируется перспективность использования акустического метода для экспресс-анализа мезогенных соединений.

PACS: 64.70.Md

Известно, что ультразвуковой метод является удобным средством для получения информации о вязкоупругих свойствах жидких кристаллов при изменяемых термодинамических параметрах состояния [1,2]. В простейшем случае нематических жидких кристаллов, отличающихся от изотропной жидкости наличием дальнего порядка в ориентации отдельных асимметричных молекул, коэффициент поглощения α и скорость продольного ультразвука s являются анизотропными параметрами, зависящими от угла θ между волновым вектором q и директором n , задающим направление преимущественной ориентации.

В гидродинамическом приближении зависимость $\alpha(\theta)$ имеет вид [2]:

$$\frac{\alpha(\theta)}{f^2} = \frac{2\pi^2}{\rho c^3} [(\mu_1 + \alpha_4) + (\mu_2 + \mu_3 + \alpha_5 + \alpha_3 - \gamma_1 \lambda^2) \cos^2 \theta + (\alpha_1 + \gamma_1 \lambda^2) \cos^4 \theta], \quad (1)$$

где f — частота ультразвука, ρ — плотность, $\lambda = \gamma_2/\gamma_1$, $\gamma_2 = \alpha_3 + \alpha_2$, $\gamma_1 = \alpha_3 - \alpha_2$; μ_i — коэффициенты объемной вязкости, α_i — коэффициенты Лесли, имеющие размерность вязкости и входящие в гидродинамическое описание несжимаемой жидкокристаллической среды. Таким образом, методы акустической спектроскопии позволяют получить информацию как о коэффициентах объемной вязкости, так и о коэффициентах Лесли.

В частности, интересные результаты были получены при исследовании фазовых переходов, где наблюдаются существенные аномалии акустических параметров скорости распространения и коэффициента поглощения продольных ультразвуковых волн, связанные с критическим замедлением релаксационных процессов [3]. Данные аномалии наиболее четко выражены в области частот ниже 1 МГц [4,5]. Однако до настоящего времени такие измерения выполнялись в акустических резонаторах с объемом порядка 5 см^3 , что существенно затрудняет применение акустического метода для исследования дорогих и вновь синтезируемых мезогенных соединений. С другой стороны, проведение акустических исследований на сдвиговых волнах в тонких слоях ЖК не дает надежной информации о вязкоупругих свойствах, присущих объемной фазе, в связи с ориентирующим действием поверхностей, заметно проявляющимся на толщинах порядка 0.1 мкм [1,6].

В связи с этим в данной работе была поставлена задача о проведении низкочастотных акустических исследований вязкоупругих свойств ЖК в образцах с объемом порядка 0.15 см^3 при акустической базе около 2 мм . Выполненные в данной работе измерения показывают, что акустические свойства образцов такого размера соответствуют свойствам объемной фазы. Измерения проводились резонаторным методом [7,8] в диапазоне частот $0.68\text{--}1.63 \text{ МГц}$ при температурах вблизи фазового перехода нематик—изотропная жидкость. Измерительная ячейка (рис. 1) выполнена в виде полого акустического резонатора, составленного из двух плосковыпуклых преобразователей с собственной частотой 2.7 МГц и металлического распорного кольца; диаметр резонатора —

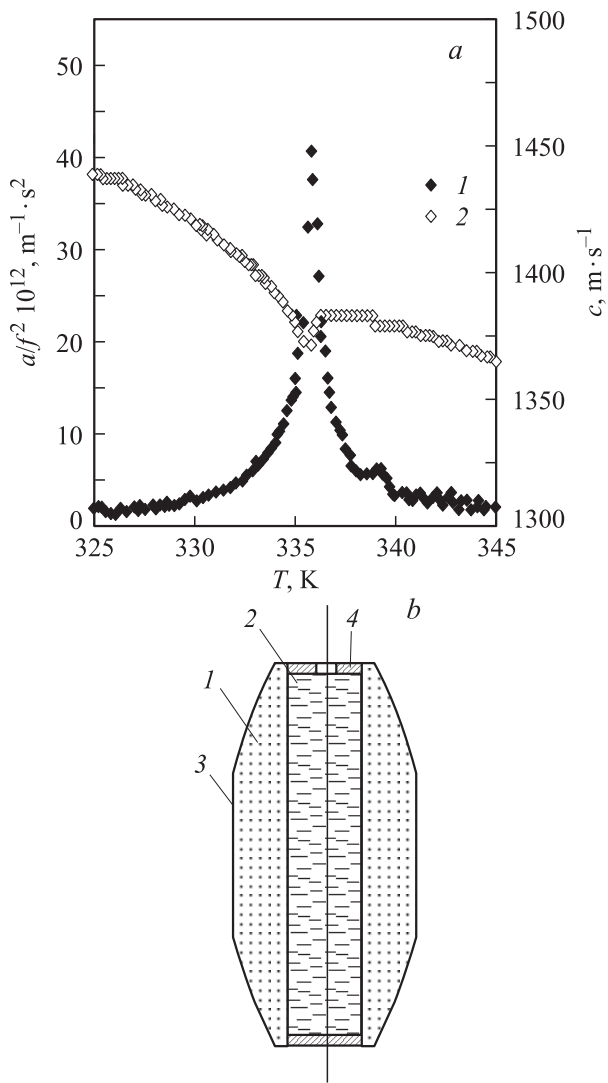


Рис. 1. Температурные зависимости (а) акустических параметров α/f^2 — 1 и c — 2 для исследованного образца ЖК, полученные в резонаторной измерительной ячейке (b) с внутренним объемом 0.15 cm^3 ; 1 — пьезопреобразователь, 2 и 3 — электроды, 4 — распорное кольцо.

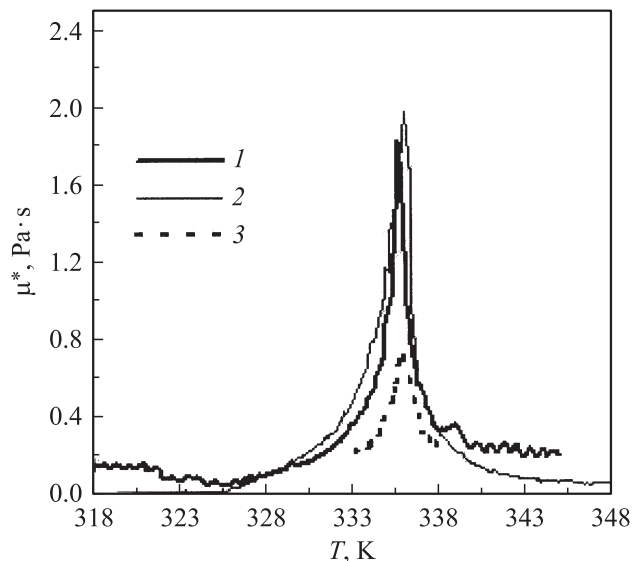


Рис. 2. Зависимость $\mu^*(T)$ для различных частот, МГц: 1 — 0.68; 2 — 1.37 и 3 — 1.63.

10 mm, акустическая база — 2 mm. Более детально экспериментальная техника изложена в [9]. В данной работе приведены характерные результаты, полученные для образцов жидкого кристалла 4-*n*-амилфенилового эфира, 4'-*n*-гексилокси-фенилциклогексан-2-карбоновой кислоты, синтезированного в Проблемной лаборатории жидких кристаллов Ивановского государственного университета [10]. На рис. 1, 2 приведены температурные зависимости акустических параметров c и α и рассчитанной на их основе эффективной вязкости μ^* , включающей в себя комбинацию коэффициентов объемной вязкости и коэффициентов Лесли [11]:

$$\frac{\alpha}{f^2} = \frac{2\pi^2}{\rho c^3} \mu^*. \quad (2)$$

Выражение (2) может быть получено из соотношения (1) путем усреднения по равновероятному распределению ориентаций, что справедливо для объемных образцов. Следует отметить, что в области фазового перехода на низких частотах основной вклад в величину μ^* вносят

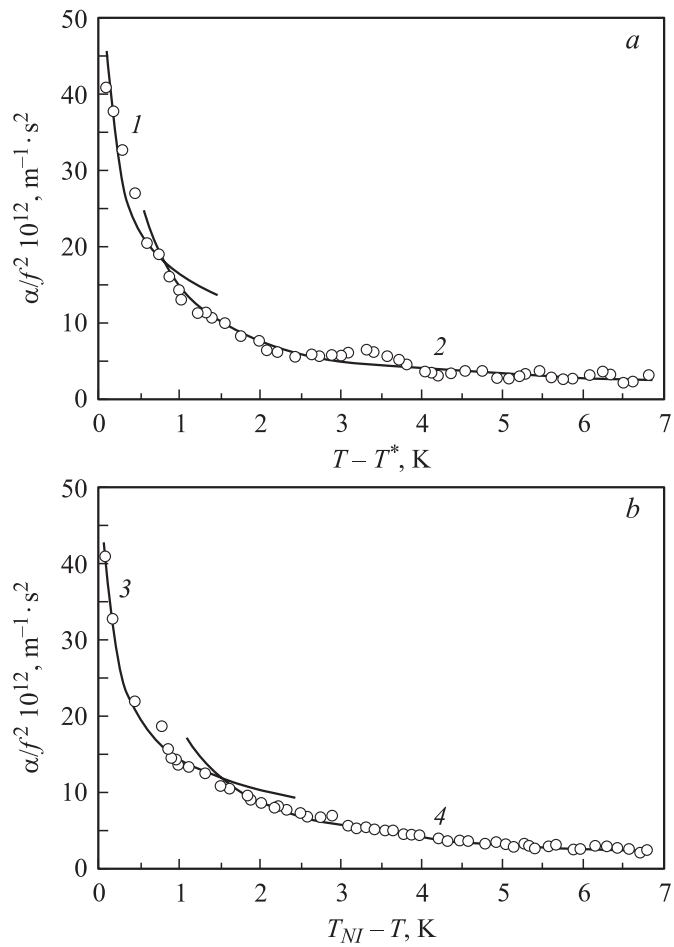


Рис. 3. Температурная зависимость коэффициента поглощения в исследованном образце: *a* — для изотропной фазы, *b* — для нематической фазы. Сплошные кривые 1–4 отвечают значениям критического индекса β : 1 — 0.44 ± 0.05 (при статистических характеристиках $R^2 = 0.902$, $\chi^2 = 12.6$); 2 — 0.93 ± 0.03 ($R^2 = 0.949$, $\chi^2 = 0.27$); 3 — 0.46 ± 0.02 ($R^2 = 0.978$, $\chi^2 = 1.8$); 4 — 1.08 ± 0.02 ($R^2 = 0.988$, $\chi^2 = 0.07$).

коэффициенты объемной вязкости, имеющие релаксационную природу (рис. 2). Можно ожидать, что низкочастотный предел, рассматриваемый в теории критических явлений в жидких кристаллах [12], справедлив при частотах ниже 1 МГц. Этот вывод соответствует результатам, полученным ранее в объемных образцах [4]. Более того, зависимость α/f^2 температуры хорошо описывается степенными зависимостями (рис. 3) вида

$$\alpha/f^2 = \alpha/(T - T^*)^\beta \quad (3)$$

для изотропной фазы и

$$\alpha/f^2 = \alpha/(T_{NI} - T)^\beta \quad (4)$$

для нематической фазы; T_{NI} — температура перехода из нематической фазы в изотропную фазу, $T^* = T_{IN} - \Delta T^*$ — температура перехода из изотропной в нематическую фазу, $\Delta T^* \approx 1$ — температура переохлаждения при переходе. Для обеих фаз получено $\beta \approx 1$ для температур, отстоящих более чем на 1.5 К от фазового перехода и $\beta \approx 0.45$ для температур вблизи фазового перехода, что также характерно для объемных образцов жидких кристаллов [4,12]. Эти данные показывают, что вдали от фазового перехода, при температурах, отстоящих от T_{NI} на величину более 1.5 К, β с высокой достоверностью соответствует значению 1, предсказываемому теорией [12], исходящей из приближения низкочастотного гидродинамического предела $\omega\tau \ll 1$. Значение критического индекса вблизи фазового перехода равно порядка 0.45, что также соответствует ранее установленному значению для объемных фаз [4].

На основании выполненных исследований можно сделать вывод о перспективности применения предложенного авторами акустического метода для экспресс-контроля вязкоупругих характеристик образцов жидких кристаллов в малых объемах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 04-03-32305-а и 05-01-08085-ОФИа).

Список литературы

- [1] Капустин А.П., Капустина О.А. Акустика жидких кристаллов. М., 1986.
- [2] Баландин В.А., Ларионов А.Н., Пасечник С.В. // ЖЭТФ. 1982. Т. 83. № 6. С. 2121–2127.

- [3] *Баландин В.А., Пасечник С.В., Прокопьев В.И., Шмелев О.Я.* // Акуст. журнал. 1987. Т. 33. В. 4. С. 583–587.
- [4] *Пасечник С.В., Баландин В.А., Прокопьев В.И.* и др. // ЖФХ. 1989. Т. 63. № 2. С. 471–475.
- [5] *Balandin V.A., Pasechnik S.V., Prokopjev V.I., Shmelyoff O.Ya.* // Liquid Crystals. 1988. V. 3. N 10. P. 1319–1325.
- [6] *Тимофеев Г.А., Савченко В.Е., Усольцев Н.В., Быкова В.В.* // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2004. В. 3–4 (9–10). С. 126–132.
- [7] *Eggers F., Funk T.* // Rev. Sci. Instr. 1973. V. 44. P. 969.
- [8] *Кононенко В.С.* // Акуст. журнал. 1987. Т. 23. В. 4. С. 688–694.
- [9] *Максимочкин Г.И., Максимочкин А.Г., Пасечник С.В.* // Труды XVI сессии РАО. М., 2005. С. 30–33.
- [10] *Быкова В.В., Жарова М.А., Жарникова Н.В., Усольцева Н.В.* // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2002. В. 2. С. 13–18.
- [11] *Пасечник С.В., Прокопьев В.И., Шмелев О.Я., Баландин В.А.* // ЖФХ. 1987. Т. 61. № 1. С. 1675–1677.
- [12] *Анисимов М.А., Воронов В.П., Гольдштейн А.С.* и др. // ЖЭТФ. 1984. Т. 87. С. 1969.