

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ И ПОГЛОЩЕНИЯ ВТОРОГО ЗВУКА В СМЕКТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

А.А. Табидзе, Г.П. Абрамкин, Н.И. Кошкин

Акустическим методом на частоте 3 МГц измерены ориентационная ($0 \div 90^\circ$) и температурная зависимости сдвигового импеданса смектических A -, C -, B -, F - и G -мезофаз пентилоксибензилиден-гексиланилина. Установлено различие в ориентационной зависимости поглощения ортогональных и наклонных смектических мезофаз.

В последнее время большой интерес проявляется к теоретическим и экспериментальным работам, посвященным динамике смектических жидких кристаллов (СЖК). Однако, акустические исследования скорости распространения и коэффициента поглощения сдвиговых волн в СЖК, необходимые для проверки гидродинамических теорий, изучения характера мезофазных переходов, оценки значений C_{44} в литературе отсутствуют. В данной работе приводятся экспериментальные результаты по анизотропному распространению второго звука в смектических A -, C -, B -, F - и G -мезофазах.

Объектом исследования был выбран монослоевой СЖК пентилоксибензилиден-гексиланилин (ПБГА или 50.6), обладающий набором смектических фаз со следующими температурами мезофазных переходов: $I - 346,2 \text{ К} - N - 334,6 \text{ К} - S_A - 326 \text{ К} - S_C - 323,8 \text{ К} - S_B - 315,2 \text{ К} - S_F - 312,6 \text{ К} - S_G - 308,2 \text{ К} - Cr$. В эксперименте был использован метод измерения сдвигового акустического импеданса $Z = R + jX$. Погрешность измерений компонент импеданса R и X не превышала $\pm 3\%$. Скорость распространения v_s , коэффициент поглощения α_s сдвиговых волн и динамический модуль сдвига $G^* = G' + j\omega\eta'$ рассчитывались из известных соотношений:

$$v_s = (R^2 + X^2)/\rho R, \quad \alpha_s = \rho\omega X/(R^2 + X^2), \quad G' = (R^2 - X^2)/\rho, \quad \eta' = 2RX/\omega\rho, \quad (1)$$

где ρ – плотность ЖК, $\omega = 2\pi f$, f – частота ультразвука.

Возбуждение сдвиговых колебаний осуществлялось на частоте 3 МГц с помощью кварцевого резонатора AT -среза. Ориентация молекул ЖК обеспечивалась магнитным полем индукцией 2,2 Т в нематической фазе. Измерения проводились после охлаждения ЖК-образца через $N - S_A$ -переход для каждого из углов θ от 0° до 90° через 5° ; θ – угол между волновым вектором \mathbf{k} и нормалью к смектическому слою \mathbf{n} , вектор смещения колебаний \mathbf{u} лежит в плоскости \mathbf{k}, \mathbf{n} . Для используемого магнитного поля магнитная длина когерентности $\xi(H)$, характеризующая ориентирующее влияние поверхности измерительного элемента, составляла $\sim 10^{-6}$ м, что для углов $0^\circ < \theta < 90^\circ$ значительно меньше глубины распространения сдвиговых волн $10^{-4} - 10^{-2}$ м, т. е. условие ориентации образцов в объеме соблюдалось полностью. Особое внимание при постановке эксперимента было уделено тщательности ориентаций, соответствующих углам $\theta = 0^\circ$ и 90° . Для этих ориентаций принимались дополнительные меры – обработка рабочей поверхности резонаторов различными поверхностно-связующими веществами (ПСВ) – силанами, создающими на поверхности резонаторов гомеотропную ($\theta = 0^\circ$) и планарную ($\theta = 90^\circ$) ориентацию молекул ЖК².

Ориентационные зависимости активной $R(\theta)$ и реактивной $X(\theta)$ составляющих сдвигового акустического импеданса в различных фазах ПБГА представлены в полярных координатах на рис. 1, 2. В смектических A -, C -, B -, F - и G -мезофазах R и X анизотропны. Для углов $\theta = 0$ и $\theta = 90^\circ$ в смектических A - и C -мезофазах компоненты импеданса проявляют ньютоновские свойства, $R \approx X$ в пределах 10%. В смектических B -, F - и G -фазах для углов $\theta = 0$ и $\theta = 90^\circ$ $R > X$. Это свидетельствует о том, что упомянутые B -, F - и G -фа-

зы не являются истинными смектиками, а являются сильнослоистыми кристаллами, обладающими модулем C_{44} .

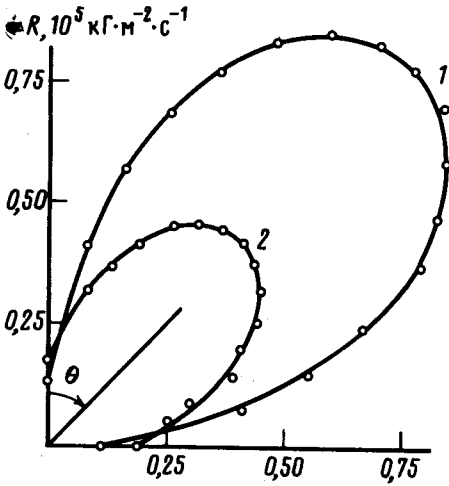


Рис. 1

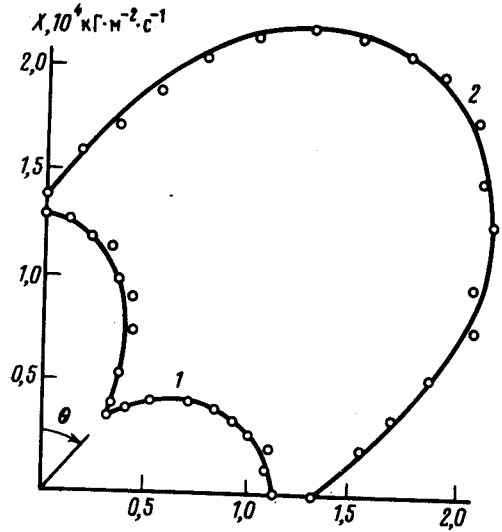


Рис. 2

Рис. 1. Угловые зависимости ($0^\circ \div 90^\circ$) активной составляющей импеданса $R(\theta)$ в S_A (329 К) – 1 и S_C (324 К) – 2 ПБГА на частоте 3 МГц. Сплошные линии – теоретические кривые согласно (5)

Рис. 2. Угловые зависимости ($0^\circ \div 90^\circ$) реактивной составляющей импеданса $X(\theta)$ в S_A (329 К) – 1 и S_C (324 К) – 2 ПБГА на частоте 3 МГц. Сплошные линии – теоретические кривые согласно (6)

Для углов $0^\circ < \theta < 90^\circ$ наблюдается резкое возрастание упругих свойств, $R \gg X$. Во всех мезофазах ориентационная зависимость $R(\theta)$ проходит вблизи 45° через максимум. Следует обратить внимание, что ориентационные зависимости $X(\theta)$ качественно различаются для мезофаз с различной симметрией. В ортогональных A - и B -фазах $X(\theta)$ проходит через минимум. В наклонных C -, F - и G -фазах зависимость $X(\theta)$ аналогична по форме зависимости $R(\theta)$, т. е. в области 45° $X(\theta)$ проходит через максимум.

Согласно классической гидродинамической теории резкое возрастание упругих свойств СЖК обусловлено вкладом моды второго звука. Ориентационные зависимости скорости $v_2(\theta)$ и поглощения $\alpha_2(\theta)$ второго звука имеют вид ^{3, 4}:

$$v_2(\theta) = 0,5(B_0/\rho)^{0,5} \sin 2\theta, \quad (2)$$

$$\alpha_2(\theta) = \frac{\omega^2}{2\rho v_2^3(\theta)} [\eta_3 \cos^2 2\theta + \eta_{(2)} \sin^2 2\theta], \quad (3)$$

где $\eta_{(2)} = 0,25(\eta_1 + \eta_2 + \eta_4 - 2\eta_5)$, $\eta_1 \div \eta_5$ – коэффициенты вязкости в обозначениях работы ³. B_0 – модуль поперечного сжатия смектических слоев.

Отсюда выражение для ориентационной зависимости комплексного модуля сдвига записывается в виде:

$$G^*(\theta) = 0,25B_0 \sin^2 2\theta + j\omega(\eta_3 \cos^2 2\theta + \eta_{(2)} \sin^2 2\theta). \quad (4)$$

Из (1), (4) получим соотношения для ориентационной зависимости $R(\theta)$ и $X(\theta)$:

$$R(\theta) = (R_g^2 \cos^2 2\theta + R_{(2)}^2 \sin^2 2\theta)^{0,5} \quad (5)$$

$$X(\theta) = (X_g^2 \cos^2 2\theta + X_{(2)}^2 \sin^2 2\theta)^{0,5}, \quad (6)$$

где

$$R_{(2)} = 0,5(B_0 \rho)^{0,5}, \quad X_g = (\pi \rho f \eta_3)^{0,5}, \quad X_{(2)} = (\pi \rho f \eta_{(2)})/R_{(2)}.$$

Хотя (2) и (3) справедливы в чистом виде для S_A , тем не менее они применимы в первом приближении и для остальных фаз. Исключение здесь составляет рассмотрение углов $\theta = 0^\circ$ и $\theta = 90^\circ$ для S_B, S_F и S_G .

Экспериментальные значения $R(\theta)$ и $X(\theta)$ в A, C, B, F -фазах описываются выражениями (5) и (6) с точностью до 5%, для смектика G совпадение составляет $\sim 10\%$.

Из (5) и (6) видно, как при изменении угла θ мода второго звука переходит в диффузионную моду.

Для угла $\theta = 0$ в S_A и S_C $R \approx X$ в пределах 10%. Тогда компоненты импеданса диффузионной моды записываются в виде:

$$R_g = X_g = (\pi \rho f \eta_3)^{0,5}. \quad (7)$$

Острый минимум в зависимости $X(\theta)$ для S_A и S_B свидетельствует о том, что в этих фазах $X_g > X_{(2)}$, тогда как для S_C, S_F и S_G (смектиков с наклонным расположением молекул в слое) наоборот: $X_{(2)} > X_g$.

Из экспериментальных значений $R(\theta)$ и $X(\theta)$ рассчитаны скорости второго звука v_2 и диссипативные коэффициенты η_3 и $\eta_{(2)}$. Так получено $v_2(S_A, 329 \text{ K}) = 110 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, $\eta_3 = 17 \text{ мПа} \cdot \text{с}$, $\eta_{(2)} = 97 \text{ мПа} \cdot \text{с}$; $v_2(S_C, 324 \text{ K}) = 71 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, $\eta_3 = 22 \text{ мПа} \cdot \text{с}$, $\eta_{(2)} = 170 \text{ мПа} \cdot \text{с}$; $v_2(S_B, 318 \text{ K}) = 370 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, $v_2(S_F, 314 \text{ K}) = 209 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, $v_2(S_G, 309 \text{ K}) = 225 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Значения коэффициента η_3 , извлеченные из обработки измерений звуковой и диффузионной мод согласуются с точностью до 5%. Влияние моды первого звука v_1 на результаты измерений, пропорциональное v_2^2 / v_1^2 , не превышает 4% и в работе не учитывается.

Расчет модуля межслоевого сдвига C_{44} для S_B приводит к значениям $(7 \pm 1) \cdot 10^5 \text{ Па}$ ($T = 318 \text{ K}$).

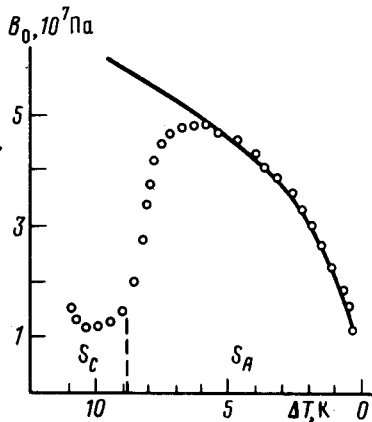


Рис. 3. Температурная зависимость модуля B_0 в смектических A - и C -фазах ПБГА. Сплошная линия – теоретическая кривая

Измерения температурной зависимости компонент импеданса позволяют исследовать критическое поведение модуля поперечного сжатия смектических слоев B_0 . На рис. 3 представлена температурная зависимость B_0 для смектика A . Зависимость $B_0(T)$ в S_A может быть

представлена функцией $B_0(T) = B_1(T_{NA} - T)^\phi$, где ϕ — критический индекс, B_1 — значение B_0 при $\Delta T = T_{NA} - T = 1$ К. В работе получены значения $B_1 = (2,3 \pm 0,1) \cdot 10^7$ Па, $\phi = 0,44 \pm 0,2$. Значения ϕ совпадают с результатами работы ⁵, полученными для некоторых монослоевых смектиков А.

Авторы благодарят Каца Е.И., Лебедева В.В. и Геворкяна Э.В. за обсуждение результатов работы и ценные замечания, Адоменаса П. за предоставление ПБГА.

Литература

1. Табидзе А.А., Казаков Р.Х. Измерительная техника, 1983, №1, с. 34.
2. Табидзе А.А., Кошкин Н.И. Журнал физической химии, 1986, 60, 1501.
3. Martin P.S., Parodi O., Pershan P.S. Phys. Rev. A., 1984, 6, 2401.
4. Miyano K., Ketterson J.B. Phys. Acoust. Principles and Methods. New York, 1979, 14, 93.
5. Fisch M.R., Pershan P.S., Sorensen L.B. Phys. Rev. A., 1984, 29, 2741.

Поступила в редакцию

15 июня 1987 г.

После переработки

2 марта 1988 г.

Московский областной педагогический институт
им. Н.К.Крупской