

07;12

Поляризационный преобразователь на жидких кристаллах

© О.А. Капустина, Н.А. Колесникова

ГНЦ РФ Акустический институт им. Н.Н. Андреева, Москва

Поступило в Редакцию 18 апреля 2000 г.

Обоснована новая концепция функционирования поляризационного преобразователя на нематическом жидком кристалле в системе акустической визуализации.

Неотъемлемой частью системы акустической визуализации является приемник изображения. Первый приемник с чувствительным элементом в виде тонкого слоя нематического жидкого кристалла (НЖК) был создан в 70-е годы [1]. Он осуществлял прямое преобразование акустического изображения в оптическое благодаря изменению поляризации прошедшего через НЖК света при переориентации ансамбля молекул, инициированной акустическим воздействием. Однако последующие исследования показали, что такой поляризационный преобразователь (ПП) имеет весьма низкую чувствительность [2]. Среди идей [3–6], предложенных в настоящее время для совершенствования ПП, наиболее привлекательная состоит в том, чтобы ввести в слой НЖК дополнительное когерентное возмущение и тем самым повысить эффективность генерации акустических потоков, которые определяют механизм ориентационного воздействия звука на НЖК.

В предлагаемой работе на примере визуализации поля излучателя продольных волн обоснована новая концепция функционирования ПП. Ее сущность состоит в одновременной "записи" в НЖК двух когерентных волн с интенсивностями \mathcal{I}_l (продольная волна) и \mathcal{I}_s (волна сдвига), у которых частоты одинаковые, а поляризации взаимно перпендикулярные. Схема ПП и упрощенной системы визуализации, на которой проводились его испытания, дана на рис. 1, *a, b*. В ПП пластина 1 и пластина-излучатель волн сдвига 2 составляют плоскую ячейку, заполняемую НЖК. Пластина 2 расположена так, что направление колебаний в волне сдвига совпадает с осью x . На краях слоя,

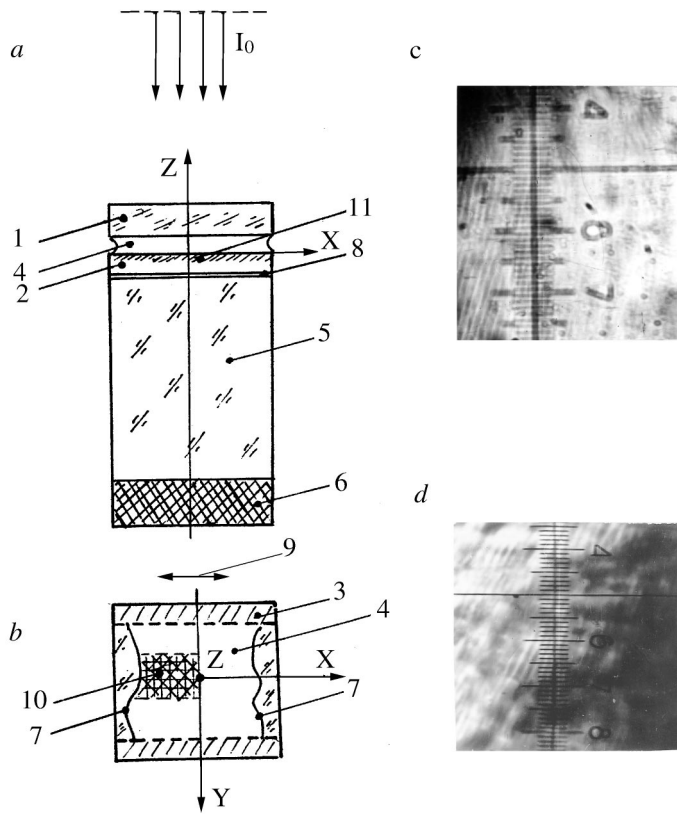


Рис. 1. Схема испытаний ПП и их результаты. Вид ПП в системе визуализации сбоку (a) и сверху (b): 1 — плоская стеклянная пластина, 2 — излучатель волн сдвига (кварц Y -среза, собственная частота 16.869 МГц), 3 — прокладки, 4 — слой НЖК (эвтектическая смесь МББА и ЭББА), 5 — стеклянный стержень-звукопровод, 6 — излучатель продольных волн (кварц 71° -среза, собственная частота 16.878 МГц), 7 — открытый край слоя НЖК в ячейке ПП, 8 — адгезионный слой (салол), 9 — направление колебаний в волне сдвига, 10 — наблюдаемый участок слоя НЖК, 11 — зеркальное покрытие. Фрагменты изображений звукового поля излучателя б, полученных при работе ПП в системе акустической визуализации в двухволновом (c) и одноволновом (d) режимах на участке 10 слоя НЖК, выделенном на рис. 1, b штриховкой; поляроиды скрещены; толщина слоя НЖК $100 \mu\text{m}$.

параллельных этой оси, лежат прокладки 3, определяющие его толщину d , а края слоя, параллельные оси y , — открытые. Ориентация молекул НЖК 4 в слое — гомеотропная. Через тонкий слой сапола ПП связан со звукопроводом 5. Пластина-излучатель продольных волн 6 расположена на торце звукопровода так, как это показано на схеме. Излучатели 2 и 6 возбуждали от одного генератора. Акустическую интенсивность контролировали по подводимому к излучателям напряжению. Наблюдения за изменениями ориентационного состояния НЖК и оптические измерения при испытаниях ПП проводили с помощью системы, собранной на поляризационном микроскопе, в отраженном свете. Пучок света с интенсивностью I_0 после входного поляризатора падал на слой НЖК в ПП и, отразившись от зеркального покрытия 11 на пластине 2, проходил через анализатор, а затем поступал на фотодиод, где преобразовывался в электрические сигналы, измеряемые вольтметром.

Фрагменты изображений поля излучателя 6, наблюдаемых в слое НЖК при работе ПП в двухволновом и одноволновом режимах визуализации, даны на рис. 1, *c, d*. Микрофотографии демонстрируют картины на участке слоя между его открытым краем 7 и центром слоя. Семейство графиков на рис. 2, *a* представляет зависимость относительной интенсивности света I/I_0 , прошедшего слой НЖК и анализатор, от интенсивности \mathcal{J}_l продольных волн при интенсивностях \mathcal{J}_s волн сдвига, равных 0, 0.1, 0.3, 0.7 и 1.3 W/cm² (обозначения 1–5); I_0 и I — значения интенсивностей потоков света, падающих на слой НЖК и фотодиод. Из этих данных следует, что независимо от режима визуализации $I/I_0 \sim \mathcal{J}_l^n$, но с переходом от одноволнового режима к двухволновому показатель степени n у такой закономерности снижается от 4 до 2. Оптический отклик ПП на изменение \mathcal{J}_l и \mathcal{J}_s в двухволновом режиме определяет соотношение вида $I/I_0 \sim \mathcal{J}_l^2 \cdot \mathcal{J}_s^2$ (рис. 2, *b*), а его чувствительность по интенсивности в продольной волне \mathcal{J}_{0l} зависит от интенсивности в волне сдвига, а именно: $\mathcal{J}_{0l} \sim 1/\mathcal{J}_s$. В качестве \mathcal{J}_{0l} принято значение \mathcal{J}_l , при котором уровень просветления слоя $I/I_0 = 0.01$. Существенно, что с повышением \mathcal{J}_s от 0 до 1.3 W/cm² значение \mathcal{J}_{0l} на частоте испытаний снижается более чем на порядок.

Установленные закономерности могут быть интерпретированы в рамках модели [6], описывающей оптический отклик НЖК в волновом поле, которое формируется в слое толщиной d при взаимодействии продольных и сдвиговых колебаний в области частот, где длины упругой λ_l и вязкой λ_v волн связаны соотношением $\lambda_l \ll \lambda_v$, а $\lambda_v \ll d$.

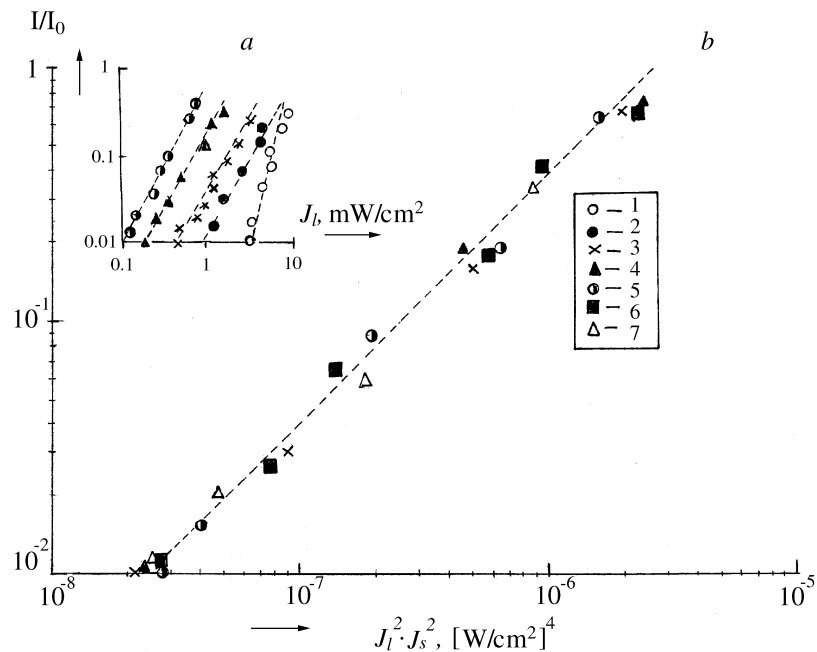


Рис. 2. Основные функциональные характеристики ПП со слоем НЖК толщиной $100 \mu\text{m}$: зависимость относительной интенсивности света, прошедшего через слой НЖК, от интенсивности продольных волн при значениях интенсивности волн сдвига, равных 0, 0.1, 0.3, 0.7 и $1.3 \text{ W}/\text{cm}^2$ (обозначения 1–5), поляроиды скрещены (a); оптический отклик ПП в двухволновом режиме визуализации на изменение интенсивностей продольной и сдвиговой волн на частоте испытаний $\sim 16 \text{ МГц}$; поляроиды скрещены; обозначения 2–7 отвечают интенсивностям волн сдвига, равным 0.1, 0.3, 0.7, 0.2 и $0.9 \text{ W}/\text{cm}^2$, интенсивность продольных волн варьируется в интервале $0.08 - 5 \text{ мВт}/\text{см}^2$ (b).

Адаптация этой модели на условия испытаний ПП дает закономерность вида: $I/I_0 = \text{const } \mathcal{J}_l^2 \cdot \mathcal{J}_s^2$, что согласуется с результатами испытаний. При $d = 100 \mu\text{m}$ и частоте 16 МГц расчет приводит к следующему соотношению для селективных чувствительностей ПП к продольным \mathcal{J}_{0l} и сдвиговым \mathcal{J}_{0s} колебаниям: $\mathcal{J}_{0l} \cdot \mathcal{J}_{0s} \cdot \sin^2(\pi/4 - \theta) = 2.84 [\text{mW}/\text{cm}^2]^2$. Здесь θ — разность фаз этих колебаний на границе НЖК-пластина 2

в ПП. В условиях испытаний ПП $\theta = 0.94 \text{ rad}$, что дает значение $\mathcal{J}_{0i} \cdot \mathcal{J}_{0s} = 1.15 [\text{mW}/\text{cm}^2]^2$, близкое к результатам испытаний. Таким образом, модель [6] описывает основные характеристики ПП в условиях двухволнового режима визуализации и может быть использована при анализе оптических изображений. Как уже отмечалось [7], при одноволновом воздействии на НЖК сжатие слоя в поле продольных волн приводит к периодическому движению его открытых краев и возбуждению вторичных продольных волн. Взаимодействие этих волн с исходной продольной волной вызывает образование акустических потоков с масштабом $\lambda_l/2$ и, как следствие, поворот молекул. Вторичные волны распространяются вдоль слоя от его открытых краев к центру и затухают на расстоянии $\sim 20\lambda_l$, так что потоки развиваются только в пределах зоны, прилегающей к открытому краю. Поэтому полосчатая структура с периодом, определяемым масштабом потока, возникает именно в этой зоне. В центральной части слоя, куда вторичные волны не доходят, начальное гомеотропное расположение молекул сохраняется (рис. 1, *d*). Поточковый механизм "работает" и при двухволновом режиме визуализации. Однако в этой ситуации когерентная вязкая волна, генерируемая в НЖК волной сдвига, благодаря сложению со вторичными продольными волнами не только усиливает краевой эффект, но и создает при взаимодействии с исходной продольной волной в центральной части слоя новое поле потоков, масштаб и конфигурация которых определяются структурой волнового поля в слое. Однородное просветление, наблюдаемое в этой части слоя, отображает то распределение амплитуд колебаний — синфазных и однородных по сечению звукового пучка, которое создает в плоскости слоя излучатель [6], колеблющийся, как жесткий поршень (рис. 1, *c*).

Изложенное показывает, что переход от традиционного одноволнового к двухволновому режиму функционирования ПП позволяет более чем на порядок повысить чувствительность, управлять ею в процессе работы прибора и получить пространственно-однородный оптический отклик ПП на акустическое воздействие, отражающий реальное распределение амплитуд поршневых колебаний исследуемого излучателя б. Результаты испытаний ПП являются несомненным подтверждением перспективности новой концепции его функционирования в системе визуализации.

Список литературы

- [1] *Greguss P.* // *Acustica*. 1973. V. 29. N 1. P. 52–58.
- [2] *Kapustina O.* // *Handbook of Liquid Crystals / Eds. D. Demus et al. Weinheim. WILEY-VCH, 1998. P. 549–568.*
- [3] *Perbet J., Hareng M.* // *Rev. Phys. Appl.* 1979. V. 14. N 4. P. 569–573.
- [4] *Strigazzi A., Barbero G.* // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1993. V. 103. N 4. P. 193–204.
- [5] *Акопян Р.С., Зельдович Б.Я.* // *Акуст. журн.* 1988. Т. 34. № 4. С. 583–587.
- [6] *Anikeev D., Vocharov Yu., Vuzva A.* // *Liquid Cryst.* 1989. V. 6. P. 593–596.
- [7] *Кожевников Е.Н.* // *Акуст. журн.* 1981. Т. 27. № 4. С. 533–538.