

12

© 1990

ВЯЗКИЕ „ПАЛЬЦЫ“ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ  
ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫМ ПИРОМЕТОДОМ

Л.М. Б л и н о в, Д.З. Р а д ж а б о в,  
А.А. С о н и н, С.С. Я к о в е н к о

В последнее время большой интерес представляют экспериментальные и теоретические исследования различных физических явлений, происходящих при вытеснении жидкости большей вязкости другой жидкостью с малой вязкостью или газом (см., например, статью [1] и цитированную в ней литературу). При таких процессах рандомизирующие факторы преобладают над стабилизирующими силами. В результате флуктуации на границе двух сред могут расти хаотически, что приводит к образованию областей менее вязкой жидкости (газа), по форме напоминающих пальцы перчатки. При определенных условиях эти так называемые вязкие „пальцы“ могут иметь весьма изрезанную границу, для которой размерность Хаусдорфа-Безиковича превышает топологическую, т.е. являться фрактальными объектами [1, 2].

Вязкие пальцы в изотропных жидкостях изучаются сравнительно давно (первые классические работы выполнены в 50-х годах Саффманом и Тейлоров [3]). В последнее время интерес исследователей все более перемещается в сторону изучения вязких пальцев в анизотропных средах, например в жидкокристаллических мезофазах [4-7]. В жидких кристаллах (в отличие от изотропных жидкостей) образуется большое разнообразие типов структур воздушных вязких пальцев: собственно вязкие пальцы (ВП), наблюдаемые и в изотропных средах, неразветвленные и разветвленные дендритоподобные образования (НД, РД), а также различные промежуточные структуры [7]. Для смектических жидких кристаллов из-за наличия у них слоевого упорядочения имеется существенная зависимость получаемой картины вязких пальцев от ориентации директора по отношению к подложкам и направления распространения воздушного потока.

Особый интерес представляют сегнетоэлектрические жидкие кристаллы, в которых величина макроскопической поляризации связана с характером их ориентации, обусловленной, в частности, их течением в ячейке Хеле-Шоу. В принципе пространственное распределение макроскопической поляризации может быть исследовано методом локального пирозффекта [8]. Целью данной работы и явилось установление корреляций между характером текстуры вязких пальцев и амплитудой локального пироотклика сегнетоэлектрического смектика  $C^*$ . Эти исследования имеют и практическое значение,

поскольку аналогичный характер течения смектика  $C^*$  имеет место при изготовлении дисплеев на сегнетоэлектрических мезофазах.

Для получения воздушных вязких пальцев использовался традиционный прибор-ячейка Хеле-Шоу, однако впервые была применена ячейка с прозрачными электродами. Ячейка Хеле-Шоу для радиального растекания жидкого кристалла состояла из двух плоскопараллельных стеклянных пластинок размером  $3 \times 3 \text{ см}^2$  с токопроводящим покрытием из  $\text{SnO}_2$  и припаянными к нему электродами для снятия электрического напряжения. Стеклянные подложки разделялись тефлоновыми прокладками толщиной от 5 до 20 мкм. В середине верхней пластинки проделано цилиндрическое отверстие диаметром около 1 мм, через которое с помощью шприца в ячейку подавался воздух. В качестве вязкой матрицы, заполняющей зазор между пластинками, использовалась жидкокристаллическая смесь, имеющая следующую последовательность фаз: твердый кристалл -  $8 \text{ C}^\circ$  - смектик  $C^*$  -  $50 \text{ C}^\circ$  - смектик  $A^*$  -  $62 \text{ C}^\circ$  - изотропная жидкость и находящаяся в смектической  $C^*$  фазе при комнатной температуре. В данное вещество добавлялось около 1% красителя, поглощающего свет на длине волны  $\lambda = 0.63 \text{ мкм}$ , для локального нагрева образца, необходимого при измерении пироэффекта.

Ячейка Хеле-Шоу заполнялась жидким кристаллом в изотропной фазе, который затягивался в зазор между пластинками капиллярными силами. В результате первоначально устанавливалась планарная ориентация в направлении потока. Воздух закачивался в жидкий кристалл, находящийся в смектической  $C^*$  фазе (комнатная температура). При этом возникала текстура, содержащая радиально расходящиеся воздушные вязкие пальцы (см. рис. 1), относящаяся к морфологическому типу ВП. Минимальная длина волны  $\lambda_c$  для полученной пальцевидной текстуры (минимальная ширина воздушного вязкого пальца) имела порядок 100 мкм. При уменьшении толщины ячейки до 5-7 мкм менялся морфологический тип текстуры (ВП  $\rightarrow$   $\rightarrow$  РД), и  $\lambda_c$  уменьшалась до нескольких десятков мкм. Общий рисунок (по периметру) вязких пальцев для хирального (с шагом спирали порядка 10 мкм при  $T = 20 \text{ C}^\circ$ ) смектика  $C^*$  аналогичен таковому для смектика  $A$ , исследованного в [5-7]. Однако характер жидкокристаллической текстуры (вне воздушных пальцев) имеет свои особенности.

Снимались координатные зависимости интенсивности поглощенного в жидком кристалле света  $J_{\text{полн}}$  и пиронапряжения  $U_\eta$ . Измерения проводились при сканировании лучем He-Ne лазера как вдоль, так и поперек жидкокристаллических областей, разделяющих воздушные вязкие пальцы (см. рис. 1). При этом точность по координате лимитировалась диаметром сфокусированного лазерного луча (около 10 мкм). Для получения величины пирокоэффициента  $\gamma$  (в относительных единицах) зависимости пиронапряжения ( $U_\eta(x)/x$  координата) нормировались на  $J_{\text{полн}}(x)$  (рис. 2), т.е. на количество тепла, поглощенного в слое жидкого кристалла.

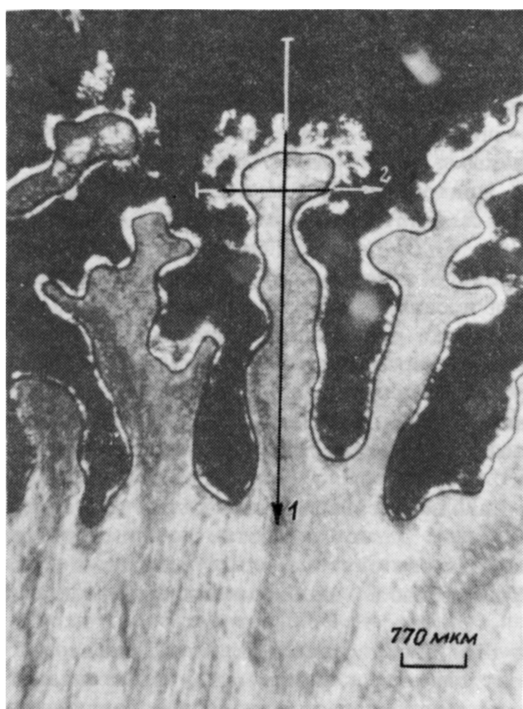


Рис. 1. Текстура воздушных вязких пальцев в сегнетоэлектрическом смектике (скрещенные поляриды) – траектории измерения показаны стрелками и цифрами.

Собранный нами экспериментальный материал показывает, что пиросигнал на границе жидкого кристалла с воздухом имеет особенности.

1. При сканировании вдоль жидкокристаллических участков, разделяющих воздушные вязкие пальцы (траектория № 1 на рис. 1), получаемая величина  $\gamma$  вблизи границы, как правило, в несколько раз больше, чем в глубине мезофазы, куда воздушные вязкие пальцы не распространились (см. рис. 2, а). Это связано с ориентацией жидкого кристалла сдвиговым потоком при формировании вязких пальцев.

2. Обычно как при продольном, так и при поперечном сканировании величина  $\gamma$  вблизи границы меняет свой знак (в отличие от  $\gamma$  в глубине жидкокристаллических участков (см. рис. 2)). Иногда смена знака может происходить несколько раз. Из рис. 2 также ясно, что пиросигнал в областях воздушных вязких пальцев не равен нулю. Здесь существует жидкокристаллическая текстура, которую дают остаточные приповерхностные слои смектика, прочно

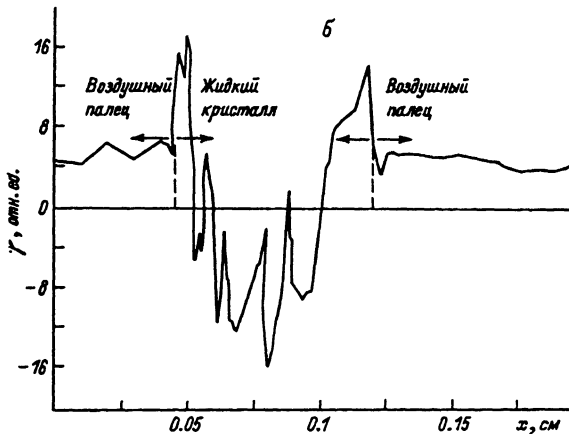
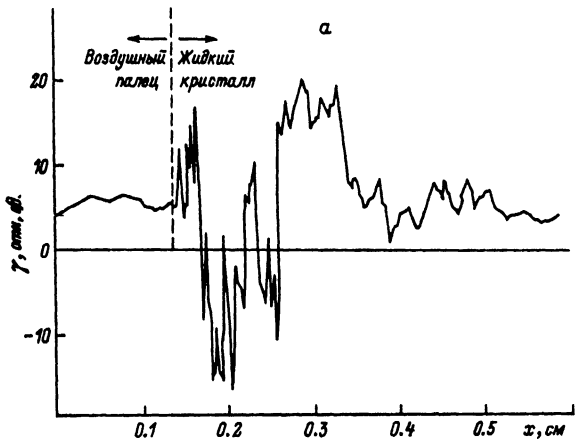


Рис. 2. Координатные зависимости пирокоэффициента в относительных единицах ( $\gamma^* = U_p / J_{\text{погл}}$ ): а - траектория № 1, б - № 2.

связанные со стеклянными подложками ячейки. Амплитуда пироотклика в этих областях хотя и заметно меньше, чем в глубине жидкокристаллических участков, все-таки остается значительной. Величина пиросигнала в воздушных вязких пальцах обусловлена, по-видимому, достаточно хорошей ориентацией директора в остаточных слоях смектика, смачивающего твердые подложки. По отношению интенсивностей поглощенного света  $J_{\text{погл}}$  в воздушных и жидкокристаллических областях нетрудно оценить толщину остаточного при-

поверхностного смектического слоя: для двадцатимикронной ячейки она составляет около 3 мкм.

Заметим также, что координатные зависимости пироотклика являются весьма изрезанными кривыми и, возможно, имеют фрактальную размерность.

Таким образом, с помощью локального зондирования пироотклика исследовано координатное распределение пирокоэффициента системы сегнетоэлектрический жидкий кристалл-воздушные вязкие пальцы. Обнаружены некоторые закономерности, связывающие величину пирокоэффициента с характером жидкокристаллической текстуры. В дальнейшем представляет интерес изучение пироотклика данной системы при подаче электрического напряжения, а также при изменении толщины ячейки, градиента давления воздуха, температуры и других параметров.

Благодарим Л.А. Береснева за предоставленную для исследования жидкокристаллическую смесь и А. Буку за обсуждение постановки эксперимента.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Нитман И., Даккор Ж., Стенли Х. В сб.: Фракталы в физике. Тр. У1 Межд. симпозиума по фракталам в физике / Пер. с англ. под ред. Я.Г. Синая и И.М. Халатникова. М.: Мир, 1988. С. 266-282.
- [2] Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. N.Y.: W.H. Freeman, 1982. 468 p.
- [3] Saffman P.G., Taylor G. // Proc. Roy. Soc., Ser. A. 1958. V. 245. N 1242. P. 312-329.
- [4] Buka A., Kertész J., Viesek T. // Nature, 1986. V. 323. N 6087. P. 424-425.
- [5] Buka A., Palfy - Muhoray P. Phys. Rev. A. 1987. V. 36. N 3. P. 1527-1529.
- [6] Buka A., Palfy - Muhoray P., Rácz Z. // Phys. Rev. A. 1987. V. 36. N 8. P. 3984-3989.
- [7] Buka A., Palfy - Muhoray P.-J. Phys. (France). 1988. V. 49. N 8. P. 1319-1323.
- [8] Blinov L.M., Radjabov D.Z., Yakovenko S.S. 8th Liquid Crystal Conference of Socialist Countries, abstracts, Poland, Kraków, 1989. V. 1. P. B-33.