

ГЕНЕРАЦИЯ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ПРИМЕСНЫМИ ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИМИ ЖИДКИМИ КРИСТАЛЛАМИ

И.П.Ильчишин, Е.А.Тихонов, В.Г.Тищенко¹⁾,
М.Т.Шпак

Впервые получена генерация света в ориентированных слоях холестерических жидких кристаллов (ХЖК), активированных красителями. Спиральная структура ХЖК обеспечивала распределенную обратную связь. Экспериментально реализована температурная перестройка узкой полосы генерации при температурном изменении шага холестерический спирали.

Спиральная закрученность молекул ХЖК в ориентированной планарной текстуре обуславливает фазовую решетку по толщине слоя с периодом равным половине шага спирали P . В такой среде при нормальном падении света полностью отражается в первом порядке [1] излучение циркулярной поляризации, совпадающей со знаком закрутки спирали, и условие Брегга имеет вид $P \bar{n} = \lambda$, где λ — длина волны селективного отражения, \bar{n} — средний показатель преломления ХЖК.

Селективные свойства ХЖК и возможность изменения шага спирали [2] представляют интерес для создания перестраиваемых по частоте лазеров. Существенно, что здесь возможно совмещение основных функциональных элементов лазера — активной среды, резонатора и перестраиваемого селектора — в толщине пленки. Идея создания лазера с распределенной обратной связью на основе ХЖК и некоторые теоретические оценки его работы высказывались ранее в [3, 4].

В настоящей работе сообщается о первой реализации такого лазера, при совмещении полосы селективного отражения матрицы ХЖК с областью максимального усиления растворенного в ней красителя.

В качестве ХЖК использовалась трехкомпонентная смесь: холестерил хлорид + холестерил олеат + холестерил пеларгонат, аналогичная исследованной нами ранее [5] и находящаяся при комнатной температуре в холестерической мезофазе. Шаг спирали в такой смеси изменяется линейно с температурой ($dP/dt > 0$).

Планарная текстура формировалась при заполнении смесью с растворенным в ней красителем ячейки, которая состояла из двух плоскопараллельных пластин из плавленого кварца разделенных прокладками толщиной 40 — 250 мкм. Внутренние стенки пластин были покрыты прозрачной пленкой SnO_2 и натерты в одном направлении для задания ориентации граничных слоев ХЖК. Для улучшения качества планарной текстуры при толщинах ячейки > 80 мкм она подвергалась многократной тренировке, состоящей в нагреве смеси выше температуры фазового перехода в изотропное состояние с последующим медленным охлаждением и сдвигом пластин в направлении натирания при температуре фазового перехода.

¹⁾ Всесоюзный научно-исследовательский институт монокристаллов.

Подходящие для выбранной цели красители были найдены среди производных бензантрона, которые обладают хорошей растворимостью и высоким квантовым выходом в ХЖК (40 + 50%).

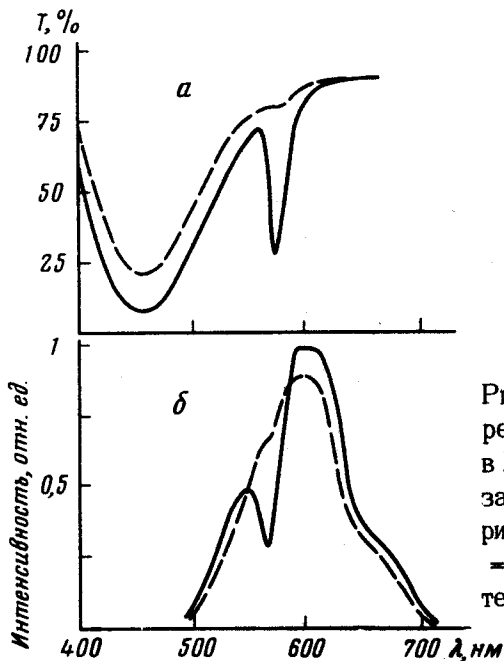


Рис. 1. Спектры пропускания (а) и флуоресценции (б) исследуемого красителя в ХЖК: — левая циркулярная поляризация, --- правая циркулярная поляризация (концентрация красителя $c = 3,2 \cdot 10^{-2}$ м/л, толщина слоя 40 мкм, температура 20° С

На рис. 1 приведены спектры пропускания (а) и флуоресценции (б) красителя, аналога бензантрона в используемой смеси ХЖК. Наблюдаемая величина циркулярного дихроизма поглощения красителя, проявляющаяся в спектрах пропускания для двух круговых поляризаций, обусловлена его низкой упорядоченностью в матрице, так как бензантроны и их производные не являются изоморфными примесями в жидком кристалле. Степень упорядоченности внедренного красителя, измеренная нами по линейному дихроизму поглощения в нематике МББА, составляет 0,22 (точное значение n_o и n_e для использованной смеси ХЖК нам не было известно).

Отражательная способность в максимуме (575 нм) для слоя ХЖК с красителем на 5 + 6% меньше таковой для чистой матрицы ХЖК в слое толщиной 40 мкм. Вместе с тем максимум отражения слоя чистого ХЖК той же толщины сдвинут в длинноволновую сторону на 8 нм. Учитывая, что поглощение красителя на рис. 1, а при концентрации $\approx 10^{-2}$ м/л становится заметным и в области селективного отражения, указанный сдвиг может объясняться эффектом Бормана в поглощающих ХЖК [6].

Селективные свойства матрицы проявляются и в спектрах флуоресценции используемого красителя (рис. 1, б). При этом для флуоресценции характерны некоторые особенности, которые, насколько нам известно, ранее никем не наблюдались. А именно, при наблюдении флуоресценции в направлении нормальном к ориентированному слою (вдоль оси спирали ХЖК) в спектре образовывается провал для излучения левой циркулярной поляризации, который совпадает по частоте с селективным

отражением матрицы (рис.1, а). Деформация спектра флуоресценции правой циркулярной поляризации коррелирует со спектром пропускания той же поляризации (рис.1, а). Наличие деформации в области селективного отражения, указывает на то, что излучение флуоресценции циркулярной поляризации происходит только в этой области, остальные области спектра флуоресценции поляризованы эллиптически.

При изучении генерации использовалась накачка импульсным лазером на красителе, возбуждаемым второй гармоникой рубинового лазера ($\tau_{\mu} = 30$ нсек). Активной средой лазера на красителе служил раствор ТОПОТ в диоксане, генерирующий в спектральном диапазоне 424. – 436нм. На ячейку с раствором красителя в ХЖК, размещенную в термостате (точность термостабилизации $0,1^{\circ}\text{C}$) направлялось излучение лазера на красителе с плотностью мощности 200 кВт/см^2 в пятне диаметром 1,5 мм без дополнительной фокусировки. Генерация происходила при оптических плотностях раствора красителя на частоте накачки $4 \div 6$, в направлении оптической оси ХЖК. Уменьшение толщины слоя ХЖК с красителем до толщин < 60 мкм при неизменной оптической плотности раствора приводило к повышению порога и прекращению генерации вследствие концентрационного тушения флуоресценции красителя. Пороговая плотность мощности в ячейках толщиной 200 – 250 мкм составляла 60 кВт/см^2 , ширина полосы генерации на пороге составляла 0,3 нм, при трехкратном превышении порога полоса уширялась до 0,7 нм.

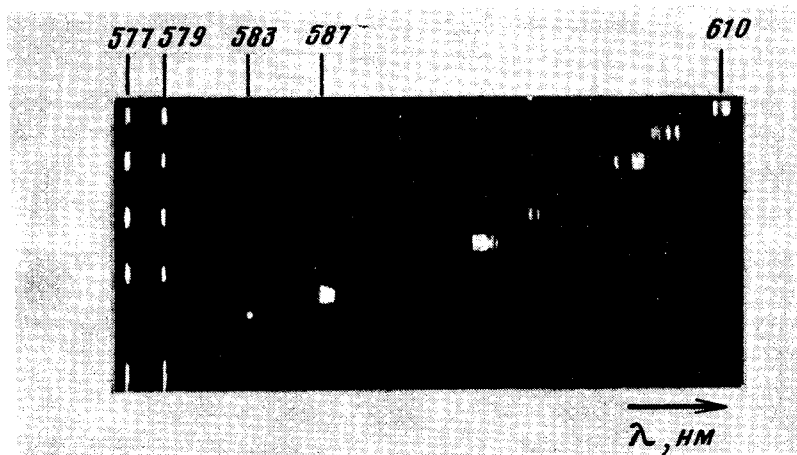


Рис.2. Спектры генерации и перестройка частоты генерации при изменении температуры от $22,5$ до $31,5^{\circ}\text{C}$ (толщина слоя 200 мкм , концентрация красителя $c = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ м/л}$)

На рис.2 приведены спектры и температурная перестройка частоты генерации. Излучение перестраивалось в диапазоне $583 \div 610 \text{ нм}$ при нагреве ячейки в интервале $22,5 \div 31,5^{\circ}\text{C}$. Скорость перестройки составляла 3 нм/град . Спектры генерации рис.2 соответствуют быстрому изменению температуры ячейки (1°C в $5 - 7$ мин). Высокая скорость изменения температуры ячейки приводит к возрастанию ширины линии генерации до $1 \div 1,5 \text{ нм}$. Уменьшение скорости нагрева ХЖК до 1° за

15 + 20 мин сопровождалось сужением ширины линии генерации до $0,3 \div 0,5$ нм. По-видимому, такое уширение связано с отличием шага спирали от равновесного по толщине ХЖК из-за его низкой теплопроводности.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает возможность создания малогабаритных пленочных перестраиваемых лазеров на основе ХЖК, что открывает перспективу создания принципиально новых устройств с их использованием. Скорость перестройки частоты таких лазеров можно существенно увеличить раскруткой спирали ХЖК электрическим полем.

Авторы благодарят А.В.Резниченко за предоставление красителя, использованного в эксперименте.

Институт физики
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
12 мая 1980 г.

Литература

- [1] H.De Vries Acta Crystallog., 4, 219, 1951.
- [2] Л.М.Блинов. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М., изд. Наука, 1978.
- [3] L.S.Goldberg, J.M.Shnur. USA Pat., №3771065, 1973.
- [4] Н.В.Кухтарев. Квантовая электроника, 5, 1360, 1978.
- [5] И.П.Ильчишин, Е.А.Тихонов, В.П.Тищенко, М.Т.Шпак. Квантовая электроника, 5, 2637, 1978.
- [6] В.А.Беляков, В.Е.Дмитриенко, В.П.Фрлов. УФН, 127, 221, 1979.