

УДК 532.783

ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РІДКИХ КРИСТАЛІВ І СПЕКТРИ ЇХ ЛАЗЕРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

*Ільчишин І.П., **Липницький С.О.

Інститут фізики НАНУ
Національний авіаційний університет
lclac@iop.kiev.ua,

Досліджено вплив товщини активного шару і величини двопронезаломлення на положення спектра генерації лазера з розподілим зворотним зв'язком (РЗЗ) на основі холестеричних рідких кристалів (ХРК). Показано, що спектр генерації в стероїдних ХРК, на відміну від індукованих, розташований в межах смуги селективного відбивання (СВ), і практично мало залежить від товщини та оптичної якості шару. Для домішкових індукованих ХРК з великим двопронезаломленням спектр генерації завжди розташований на краю смуги СВ. Проведені дослідження показали, що генерацію в домішкових стероїдних ХРК на відміну від індукованих ХРК, можна описувати моделлю зв'язаних хвиль.

Influence of thickness of active layer and value of double refraction on position of lasing spectra of the distributed feed-back (DFB) laser based on cholesteric liquid crystals (CLC) was studied. It is explored, that its spectrum in steroidal CLC, unlike of induced CLC, is placed within the limits of selective reflection (SR) band and practically small depend on a thickness and optical quality of layer. For doped induced CLC with large double refraction the lasing spectra are always placed on edge of the SR band. The conducted researches showed that the lasing in doped steroidal CLC, unlike of induced CLC, to describe the model of coupled waves.

Вступ

Лазери з розподілим зворотним зв'язком (РЗЗ) на основі домішкових холестеричних рідких кристалів (ХРК) [1] на нинішній час становлять значний інтерес для створення новітніх систем відображення інформації з підвищеною яскравістю випромінювання. Оскільки РЗЗ-лазер на природній спіральній структурі ХРК, який являє собою профарбовану генерувальним барвником тонку плівку орієнтованого рідкого кристала, не потребує для своєї роботи дзеркального резонатора, його активне середовище можна зробити довільної площі і кривизни та створити на його основі лазерний екран. Зворотний зв'язок підсилюваних хвиль в лазерах такого типу реалізується при брегівському розсіюванні в періодичній структурі ХРК. Хоча вперше лазери на основі ХРК були створені досить давно [1—2], сьогодні в зв'язку з вищезазначеною перспективою їх застосування з'явилась нова хвиля досліджень лазерів такого типу. За останні роки були створені РЗЗ-лазери на ХРК з пікосекундним імпульсним збудженням [3], досягнута генерація на чистих ХРК і освоєні нові спектральні області генерації [4], створені РЗЗ-лазери на полімерних ХРК [5], активно досліджуються нові методи перенастроювання частоти в таких лазерах [6—7]. Однак досі у фізиці таких лазерів немає однозначного трактування в питанні розміщення спектра лазерної генерації домішкового ХРК щодо до смуги селективного відбивання (СВ). Залежно від типу ХРК спектр генерації розміщується *по центру* смуги СВ або на її правому краю. Існуючі інтерпретації цього явища допускають можливу генерацію тільки на краю смуги СВ. Генерація *по центру* смуги СВ розглядається як генерація на дефектній структурі, так званій *дефектній* моді [8].

Мета цієї праці — вивчити вплив товщини активного шару, його якості і величини двопронезаломлення ХРК на положення спектра

генерації РЗЗ-лазера на його основі з тим, аби визначити межі застосування існуючих моделей лазерної генерації для конкретних типів ХРК.

Методика експерименту. В експериментах використовувались два типи рідких кристалів — трикомпонентна суміш стероїдних ХРК і нематохонестерична суміш. Суміш стероїдних ХРК являла собою — 38 % (вміст ваговий) холестерилолеату (ХО), 35 % холестерилпеларгонату (ХП) і 27 % холестерил хлориду (ХХ). Ця суміш за температури 21°C мала ліве закручування площини поляризації і максимум СВ в області 600 нм.

Склад нематохонестеричної суміші — 37 % ХО + 63 % нематичного рідкого кристалу ЖК-654. Закручування площини поляризації було також лівим і максимум СВ в області 620 нм. Стероїдні ХРК були синтезовані в Інституті монокристалів НАНУ (Харків), а ЖК-654 — комерційний продукт з НІІОПіК (Росія). Обидва типи ХРК активувались одним і тим генерувальним барвником феноленового класу. Концентрація барвника становила 0,2—0,3 % за ваговим вмістом.

Зразок для дослідження оптичних властивостей і генерації являв собою комірку, що складається з двох скляних підкладок, на внутрішні сторони яких для поліпшення орієнтації рідкого кристала нанесено шар окису олова (S_nO_2) завтовшки < 1 мкм. Поверх S_nO_2 знаходиться натертий в одному напрямі (на обох підкладках) шар полімеру — поліамідного лаку (ПАК), також < 1 мкм товщиною. Для створення орієнтованого шару ХРК планарної текстури рідкий кристал, розігрітий до ізотропного стану, капілярними силами втягується в проміжок між підкладками. Внаслідок того, що рідкий кристал має велику в'язкість, після охолодження нижче температури фазового переходу в ізотропний стан, для створення планарної текстури

підкладки зсувалися на 2—3 мм одна відносно другої, тобто здійснювалася додаткова орієнтація зсувом. Після зсуву зразки герметизувалися по периметру. Спектри пропускання зразків домішкових ХРК записувалися на спектрофотометрі СФ-20 в неполяризованому світлі. Характеристики лазерної генерації домішкових ХРК вивчалися на лазерній установці, зображений на рис. 1.

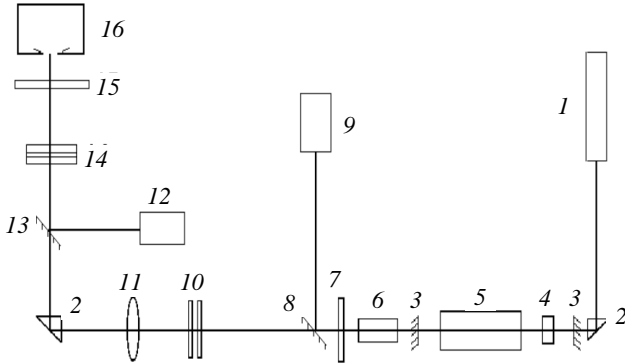


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

1 — He-Ne лазер; 2 — поворотні призми;
3 — діелектричні дзеркала резонатора; 4 — модулятор;
5 — активний стрижень; 6 — нелінійний кристал для подвоєння частоти; 7 — відрізний фільтр; 8 — напівпрозоре діелектричне дзеркало; 9 — калориметр ИМО-2; 10 — нейтральні фільтри; 11 — сферична лінза з фокусом 21 см; 12 — фотодіод; 13 — скляна пластинка; 14 — зразок домішкового ХРК; 15 — відрізний фільтр; 16 — спектрограф

Збудження проводилось імпульсним випромінюванням (тривалість імпульсу — 18 нс) другої гармоніки лазера на склі з Nd^{3+} (довжина хвилі — 530 нм), яка потрапляла в максимум смуги поглинання генерувального барвника. Твердотільний лазер працював у режимі одиночних імпульсів з частотою 1 імпульс/хв. Випромінювання другої гармоніки збуджуючого лазера фокусувалося на зразок домішкового ХРК, який був розташований перед щілиною спектрографа з оберненою дисперсією 0,6 нм/мм. Енергія збудження регулювалась нейтральними світлофільтрами і контролювалась калориметром ИМО-2. Спектри генерації домішкових ХРК реєструвалися безпосередньо із матового скла в касетній частині спектрографа з допомогою веб-камери з наступною їх комп'ютерною обробкою. На матове скло наклеювалась спеціально розрахована шкала довжин хвиль, яка була прив'язана до реперної лінії 633 нм — лінії генерації He-Ne лазера.

Результати і обговорення. На рис. 2. зображено спектр поглинання орієнтованого зразка стероїдних ХРК завтовшки 50 мкм. Максимум поглинання в області 520 нм зумовлений поглинанням активуючого рідкий кристал феноленового барвника, а максимум в області 600 нм — смугою селективного відбивання (СВ) ХРК планарної текстури. Судячи по спектра поглинання зразок доволі якісний. Про це свідчить низький рівень розсіяння за межами смуги СВ. Праворуч на вставці до цього рисунка зображено спектр його

генерації при перевищенні порогової інтенсивності збудження більш ніж в 10 разів.

Видно, що в спектрі, крім центральної брегівської, виникають ще дві поздовжні моди, які є розширеними внаслідок наявності локальних оптичних неоднорідностей зразка.

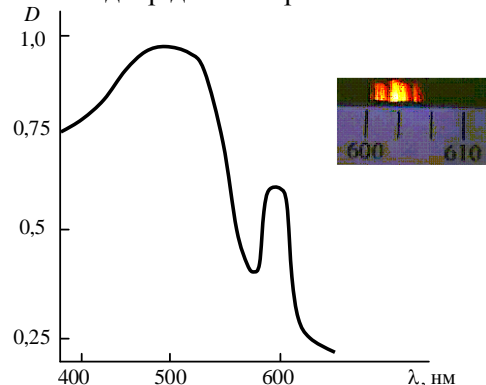


Рис. 2. Спектр поглинання домішкового стероїдного ХРК завтовшки 50 мкм

При збільшенні товщини шару в зразку того самого складу до 80 мкм росте рівень розсіяння світла планарною текстурою, про що свідчить зменшення приблизно на 2 % пропускання за межами смуги СВ (в довгохвильовій області).

Унаслідок збільшення розсіювання в спектрі генерації при перекачуваннях приблизно в 6 разів вищих від порогової інтенсивності збудження, вже не видно структури спектра, зумовленої генерацією поздовжніх мод, вона є суцільною. Можливою причиною такої структури спектра може бути неколінеарна генерація, яка направлена під невеликими кутами до осі спіральної структури ХРК. На рис. 3 подано спектр поглинання зразка стероїдних ХРК того ж складу при товщині шару 160 мкм.

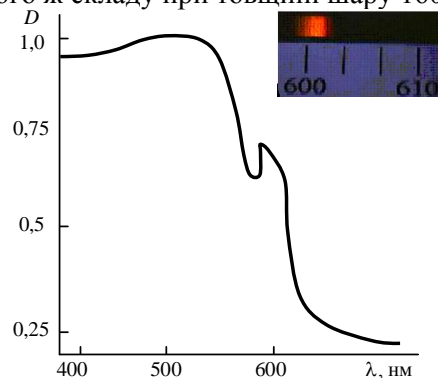


Рис. 3. Спектр поглинання домішкового стероїдного ХРК товщиною 160 мкм

Очевидно, розсіювання за межами смуги СВ зростає ще на кілька процентів унаслідок розвпорядкування спіралі ХРК у такому товстому шарі. В спектрі генерації цього зразка, поданому на вставці, проявляється суцільна смуга генерації без виділеної модової структури. Як видно із цього спектра, а також із спектра генерації при товщині шару 80 мкм, смуга генерації з ростом товщини шару звужується, що свідчить про незмінність числа збуджуваних поздовжніх мод. Із ростом товщини активного шару зменшується

відстань між позовжними модами і тим самим зменшується ширина спектра генерації. Як видно зі спектрів лазерної генерації наведених на рис. 2 і 3, а також при інших товщинах активних шарів ХРК в діапазоні від 50 до 160 мкм, спектри лазерної генерації всіх зразків знаходяться в межах смуги СВ ХРК, поблизу її центру справа, а не на правому краю, як в індукованих ХРК [3—4; 6].

Для найбільш якісних зразків домішкових стероїдних ХРК, які дістали при товщині шару близько 40 мкм, при здійсненні кількаретового циклу нагрівання і охолодження вище температури фазового переходу (T_f) з двостороннім зсувом орієнтувальних підкладок, на яких поліамідний лак (ПАК) було нанесено поверх шару S_nO_2 , лазерна генерація була отримана строго посередині смуги СВ. Існує також чітка тенденція — з ростом товщини зразка спектр генерації стероїдних ХРК зміщується ближче до правого краю смуги СВ. Також досліджувалися спектри поглинання і генерації орієнтованого зразка ХРК планарної текстури, який складався із нематохолестеричної суміші вищевказаного складу. У такій суміші двоприменезаломлення становить $\approx 0,12$ і тому ширина смуги СВ в ній перевищує смугу СВ в стероїдних ХРК більш ніж у два рази (рис. 4).

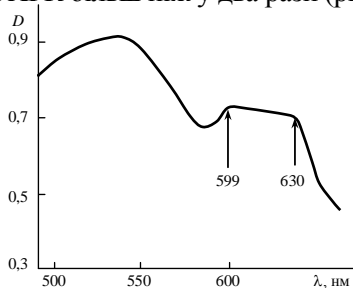


Рис. 4. Спектр поглинання нематохолестеричної суміші товщиною 32 мкм

Як показано на рис. 4, максимум поглинання в області 540 нм, зумовлений поглинанням того ж феноленового барвника, а широкий максимум в області 600—640 нм — селективним відбиванням рідкого кристалу. Генерація в такому зразку була отримана при значно меншій товщині активного шару — 32 мкм. Характерною особливістю генерації такого зразка є те, що спектр генерації складається з двох смуг з середніми довжинами хвиль 598 і 640 нм. На рис. 4 ці дві смуги в спектрі генерації показані стрілками.

Порогові інтенсивності збудження обох смуг генерації є різними, причому, незважаючи на більш сильну реабсорбцію, нижчий поріг генерації зафіксовано для короткохвильової смуги в спектрі генерації. Таким чином, чітка відповідність спектра лазерної генерації центру смуги СВ в високоякісних зразках домішкових стероїдних ХРК і зміщення спектра генерації від центру смуги СВ до її правого краю (не виходячи на край і за межу їх смуги СВ) при зростанні товщини активного шару дає змогу

стверджувати про відсутність генерації на дефектній моді в ХРК такого типу, яка може бути наслідком невпорядкованої спіральної структури. Генерація строго по центру смуги СВ йде на найбільш впорядкованій спіральній структурі, про яку свідчать характерні чіткі осциляції з обох сторін від смуги СВ у спектрі поглинання.

Ці дані не підтверджують так звану модель генерації на краю смуги непроникання фотонного кристала, яка розвивається американськими фізиками [3] стосовно генерації в домішкових ХРК. Згідно з цією моделлю генерація має розвиватися на самому краю смуги СВ, де максимальне підсилення, а для не впорядкованих зразків ХРК її спектр розташований по центру смуги СВ. В нашому випадку для ХРК з малим двоприменезаломленням ситуація протилежна.

Що стосується двочастотної генерації, тут ще немає ясності, оскільки відсутня теоретична модель, яка би пояснила цей факт. Аналогічної ситуації, тобто двох смуг у спектрі генерації, ніколи не спостерігалось в стероїдних ХРК з двоприменезаломленням, рівним 0,05, хоча умови для реалізації генерації двох смуг в таких матеріалах були б кращими внаслідок меншої ширини смуги СВ таких ХРК.

Висновки. Якісні зразки стероїдних ХРК для цілей лазерної генерації можна дістати при товщинах шарів, які не перевищують 50—60 мкм.

Кількість позовжних мод у спектрі лазерної генерації становить три і практично не залежить від рівня інтенсивності збудження. Проведене дослідження дає змогу дійти висновку, що в домішкових стероїдних ХРК ширина спектра лазерної генерації обернено пропорційна товщині активного шару. Характер розміщення спектра лазерної генерації ХРК з двоприменезаломленням $\Delta n \sim 0,05$ дає підстави стверджувати, що характеристики їх генерації можна описувати моделлю Х. Когельника і С. Шенка [9], яка широко використовується для описання роботи лазерів з розподіленим зворотним зв'язком на штучних періодичних структурах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ильчишин И.П. Письма в ЖЭТФ / И.П. Ильчишин, Е.А. Тихонов, В.Г. Тищенко и др. — 1980. — Т. 32. — С. 27—30.
2. Ильчишин И.П., Клеопов А.Г., Тихонов Е.А., Шнак М.Т. Изв. АН СССР / сер. физич., 1981. — Т. 45. — С. 1366—1372.
3. Kopp V. I. Opt. Lett / V. I. Kopp, B. Fan, H. K. Vthana, A. Z. Genack. — 1998 — V. 23. — P. 1707—1710.
4. Taheri B., Munoz A.F., Palffy-Muhoray P., Twieg R. Mol. Crys / Liq. Cryst, 2001. — V. 358. — P. 73—79.
5. Finkelmann H. Advanced Materials / H. Finkelmann, S.T. Kim, A. Munoz et al., 2001. — V. 17. — P. 1069—072.

6. *Chanishvili A.* Appl. Phys. Lett / A. Chanishvili, G. Chilaya, G. Petriashvili et. al. — 2003. — V. 83. — P. 5353—5355.

7. *Kasano M.* Appl. Phys. Lett / M. Kasano, M. Ozaki, K. Yoshino et al. — 2003. — V. 82. — P. 4026—4028.

8. *Kopp V.I.* Quant. Electron / V.I. Kopp, Z. Zhang, A.Z. Genack. — 2003. — V. 27. — P. 369—416.

9. *Kogelnik H.* Appl. Phys / H. Kogelnik, S.V. Shenk. — 1972. — V. 43. — P. 2327—2335.

Стаття надійшла до редакції 20.02.09