

УДК 621.38 : 537.533.3 : 532.783

В.І. КОЦУН, канд. техн. наук, зав. каф., Приватний вищий навчальний заклад "Європейський університет", Львів

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ СВІТЛА В ПЛАНАРНИХ РІДКОКРИСТАЛІЧНИХ СТРУКТУРАХ

Проведено комп'ютерне моделювання процесу поширення оптичного випромінювання в планарних рідкокристалічних структурах в залежності від кута введення із використанням програмного продукту Zemax. Встановлено закономірності між кутом введення світлового випромінювання в планарну структуру та однорідністю розподілу світлового випромінювання, яке потрапляє в рідкий кристал. Іл.: 6. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: планарні рідкокристалічні структури, рідкий кристал, програмний продукт Zemax, розподіл світлового випромінювання.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Одним із перспективних напрямків застосування рідкокристалічних (РК) матеріалів є створення на їх основі планарних світловодних структур. Це базується на їхній високій чутливості до зовнішнього електричного поля, яке дозволяє в широких межах змінювати показник заломлення РК шару. Існуючі приклади реалізації таких планарних структур [1 – 3], з одного боку, показують перспективність застосування рідкокристалічних матеріалів, а з іншого, висвітлюють основну проблему таких пристроїв. Труднощі реалізації РК-планарних структур полягають в необхідності узгодження оптичної густини шару РК з іншими елементами планарної світловодної структури, такими як керуючі електроди, шар оболонки тощо. В деяких випадках, зокрема під час застосування кремнієвих підкладок, створення планарного РК-світловода неможливе, внаслідок високого значення показника заломлення базового матеріалу мікроелектроніки кремнію. Саме на основі цього матеріалу на сьогодні реалізовано більшість багатоелектродних структур, таких як TFT-матриці РК-дисплеїв. Вирішити цю проблему можна шляхом створення повноцінної планарної світловодної структури, яка б включала в себе серцевину та оболонку, безпосередньо в шарі РК-матеріалу. Такий підхід виключає необхідність узгодження оптичних властивостей РК та оточуючих його шарів, та дозволяє застосувати уже існуючі багато електродні системи для створення принципово нових пристроїв обробки оптичного сигналу [4 – 9].

Проведення експериментальних досліджень процесу

розповсюдження світла в РК структурах з електрично-керованим розподілом показника заломлення ускладнюється декількома методологічними аспектами. Так на відтворюваність експериментальних досліджень має суттєвий вплив спосіб введення випромінювання в шар РК та труднощі стабілізації структури на межі розділу рідкий кристал – повітря. Тому, перед початком експериментальних досліджень нами було проведено комп'ютерне моделювання процесу розповсюдження світла в таких структурах.

Мета роботи – на основі комп'ютерного моделювання процесу поширення оптичного випромінювання в планарних структурах встановити параметри, які визначають характеристики оптичного елемента.

Моделювання. Комп'ютерне моделювання процесу розповсюдження світла в шарах РК з нелінійним характером розподілу показника заломлення проводилось за допомогою спеціалізованого програмного продукту Zemax [9].

Zemax – це програмне забезпечення, яке широко використовується для оптичного моделювання. Програма створена Zemax Development Corporation of Bellevue, Washington (перед тим Focus Software). Вона використовується для моделювання і аналізу оптичних елементів, трасування непрямих променів випадкового світла, поширення випромінювання в рамках фізичної оптики.

Однак стандартний набір оптичних середовищ цього програмного продукту не передбачає матеріалів з змінним показником заломлення. Для того щоб задати розподіл показника заломлення в рідкому кристалі, було створено динамічні бібліотеки (Dynamic Link Library), в яких описуються функції розподілу для змодельованих нижче випадків.

Вихідним параметром для проведення моделювання був розподіл напрямку директора (довгої осі молекул) в шарі РК, зображений на рис. 1, отриманий при комп'ютерній симуляції, що описана в роботі [10]. Комп'ютерні симуляції молекулярних моделей виконані за допомогою програми GBMOLDD [11].

Моделювання проводилось для таких параметрів системи: значення показника заломлення скла – 1,5; РК – 1,65; товщина шару РК – 20 мкм, що дорівнює модельному значенню 300 відносних одиниць (в.о.). Під час моделювання використовувалось монохроматичне джерело випромінювання з довжиною хвилі 0,63 мкм [12].

В ході моделювання нами не враховувались розсіювальні властивості РК матеріалів, що відповідає гомеотропному стану шару

немато-холестеричної суміші, а проводився лише просторовий розрахунок ходу променя планарною структурою.

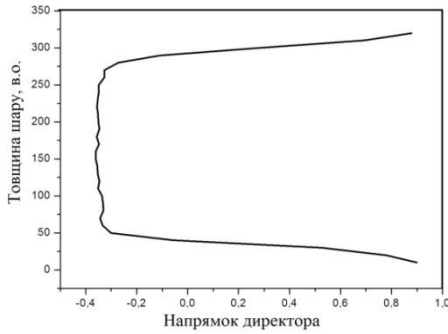


Рис. 1. Розподіл директора в шарі нематичного рідкого кристала, отриманий за результатами комп'ютерного моделювання при $T = 500$ К, стаціонарний стан при прикладенні зовнішнього електричного потенціалу

В результаті моделювання розглянута зміна характеру поширення світлового випромінювання джерела світла діаметром 0,1 мм і потужністю 1 Вт планарною структурою від кута введення.

Розподіл інтенсивності запропонованого джерела показано на рис. 2.

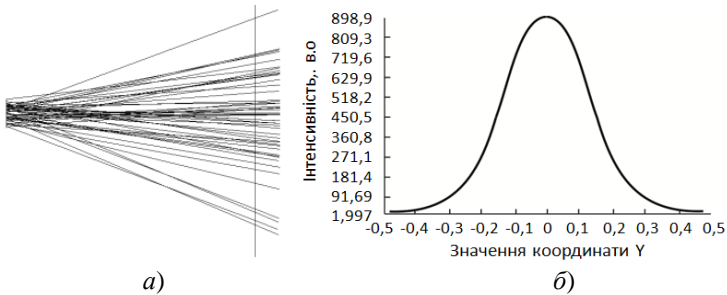


Рис. 2. Хід променів (а) та індикатриса випромінювання (б) джерела світла

Як видно з рис. 2 використовуване джерело випромінювання має гауссовий розподілом інтенсивності без жодних спотворень.

На рис. 3, *a – б, а* показано хід променів такого джерела планарною структурою та розподіл інтенсивності світла, що потрапляє у зразок (рис. 3, *б – б, б*).

Моделювання проводилось для кутів введення світлового випромінювання 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° із встановленням дзеркала на протилежному торці світловодної структури (рис. 3 – 6).

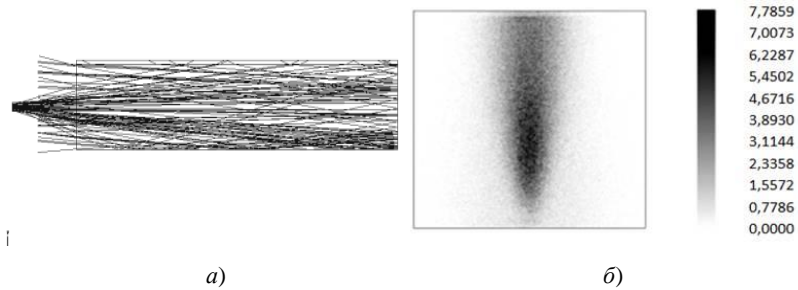


Рис. 3. Хід променів (*a*) планарною структурою та розподіл інтенсивності (*б*) на її виході, кут введення випромінювання 0°

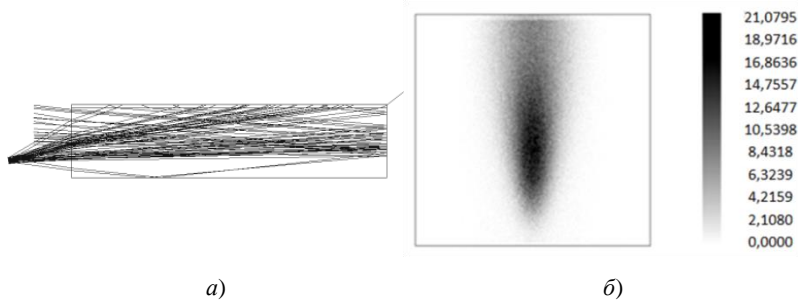


Рис. 4. Хід променів (*a*) планарною структурою та розподіл інтенсивності (*б*) на її виході, кут введення випромінювання 10°

Як видно з рис. 3, *б – б, б* ми отримали розподіл інтенсивності випромінювання на виході зразка, де чорний колір відповідає максимальній інтенсивності випромінювання, що потрапляє у зразок. Відповідно перехід кольору з чорного до білого означає зменшення інтенсивності випромінювання, згідно шкали яскравості.

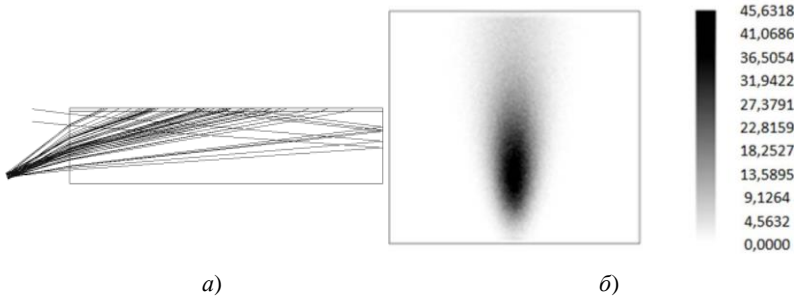


Рис. 5. Хід променів (а) планарною структурою та розподіл інтенсивності (б) на її виході, кут введення випромінювання 20°

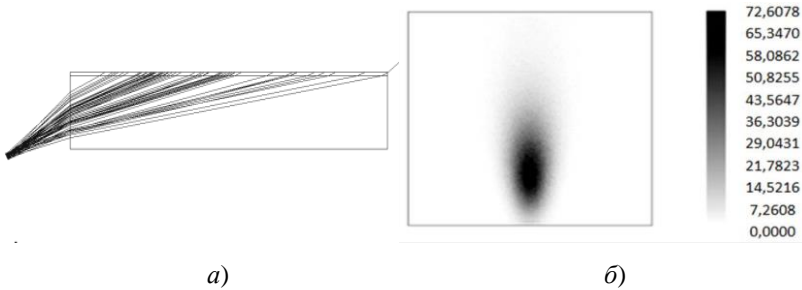


Рис. 6. Хід променів (а) планарною структурою та розподіл інтенсивності (б) на її виході, кут введення випромінювання 30°

Необхідно було добитися рівномірного розподілу інтенсивності світлового потоку, який потрапляє у зразок, тому результати моделювання показують, що на рис. 3, б і 4, б отримано рівномірний розподіл інтенсивності світлового потоку, який буде потрапляти у рідкий кристал, що підтверджує доцільність використання менших кутів введення.

Висновки. Встановлено закономірності між кутом введення світлового випромінювання в планарну структуру та однорідністю розподілу світлового випромінювання, яке потрапляє в рідкий кристал. Проведене моделювання показує, що доцільніше використовувати якомога менші кути введення (0° , 5° , 10°) випромінювання у планарну структуру, оскільки це призводить до рівномірнішого розподілу інтенсивності світлового потоку, який буде потрапляти у рідкий кристал.

Список літератури: **1.** Brzdakiewicz K.A. Nematic liquid crystal waveguide arrays / K.A. Brzdakiewicz, M.A. Karpierz, A. Fratolocchi // *Opto–Electronics Review*. – 2005. – Vol. 13. – № 2. – P. 107-112. **2.** Tyszkiewicz C. Differential interferometry in planar waveguide structures with ferromagnetic layer / C. Tyszkiewicz, T. Pustelny // *Optika Applicata*. – 2004. – № 4. – Vol. 34. – P. 507-514. **3.** Sukhorukov A.A. Spatial optical solitons in waveguide arrays / A.A. Sukhorukov, Y.S. Kivshar, H.S. Eisenberg, et al. // *IEEE J. Quantum Electron*. – 2003. – Vol. 39. – P. 31-50. **4.** Kalita W. The multifunctional sensor with an analog indicator / W. Kalita, O. Gotra, O. Sushynskiy, V. Ivanytskij // *The international conference on optoelectronic information technologies, Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE)*. – 2001. – Vol. 4425. – P. 465-471. **5.** Gotra Z. Fibre-optic sensors on the base of liquid crystals / Z. Gotra, O. Gotra, Z. Mikityuk, R. Zayats // *Stadnye Lightguides and their applications, Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE)*. – 2000. – Vol. 4239. – P. 76-81. **6.** Mikityuk Z.I. Liquid crystal using in optical sensors / Z. Mikityuk, I. Lopatynskiy, O. Gotra, B. Dalanbalar // *International conference on optoelectronic information technologies, Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE)*. – 2001. – Vol. 4425. – P. 472-477. **7.** Hotra Z. Sensor systems with optical channel of information transferring / Z. Hotra, Z. Mykytyuk, O. Sushynskyy, et al. // *Przegląd elektrotechniczny*. – 2010. – Vol. 86. – P. 21-23. **8.** Hotra O. New electro-optical effect in nematic liquid crystal for integrated optics element / O. Hotra, I. Lopatynskiy, B. Yavorskij // *Optoelectronic and electronic sensors, Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE)*. – 2002. – Vol. 4425. – P. 112-114. **9.** Hotra Z. Simulation of influence of limiting surfaces optical characteristics on liquid crystal waveguide properties / Z. Hotra, W. Wójcik, Z. Mykytyuk, A. Fechan, O. Sushynskyy, V. Kotsun, O. Chaban // *The International Conference CADSM 2013. – Polyana-Svalyava (Zakarpattia), Ukraine, 19-23 February 2013*. – P. 82. **10.** Коцун В.І. Моделювання процесу формування градієнтного світловоду в шарі нематичного рідкого кристала / В.І. Коцун // *Вісник НТУ "Харківський політехнічний інститут"*. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ", 2014. – № 35 (1078). – 121-126 с. **11.** Ihnytskiy J. A domain decomposition molecular dynamics program for the simulation of flexible molecules of spherically-symmetrical and nonspherical sites. II. Extension to NVT and NPT ensembles / J. Ihnytskiy, M. Wilson // *Computer Physics Communications*. – 2002. – Vol. 148. – P. 43-58. **12.** Фечан А. Моделювання процесу розсіювання світла в планарних світловодах з рідкокристалічною серцевиною / А. Фечан, М. Шумчишин, В. Левенець // *Технічні вісті, Орган Українського інженерного товариства у Львові*. – 2007. – 1 (25), 2 (26). – С. 130-132.

Bibliography (transliterated): **1.** Brzdakiewicz K.A. Nematic liquid crystal waveguide arrays / K.A. Brzdakiewicz, M.A. Karpierz, A. Fratolocchi // *Opto–Electronics Review*. – 2005. – Vol. 13. – № 2. – P. 107-112. **2.** Tyszkiewicz C. Differential interferometry in planar waveguide structures with ferromagnetic layer / C. Tyszkiewicz, T. Pustelny // *Optika Applicata*. – 2004. – № 4. – Vol. 34. – P. 507-514. **3.** Sukhorukov A.A. Spatial optical solitons in waveguide arrays / A.A. Sukhorukov, Y.S. Kivshar, H.S. Eisenberg, et al. // *IEEE J. Quantum Electron*. – 2003. – Vol. 39. – P. 31-50. **4.** Kalita W. The multifunctional sensor with an analog indicator / W. Kalita, O. Gotra, O. Sushynskiy, V. Ivanytskij // *The international conference on optoelectronic information technologies, Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE)*. – 2001. – Vol. 4425. – P. 465-471. **5.** Gotra Z. Fibre-optic sensors on the base of liquid crystals / Z. Gotra, O. Gotra, Z. Mikityuk, R. Zayats // *Stadnye Lightguides and their applications, Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE)*. – 2000. – Vol. 4239. – P. 76-81. **6.** Mikityuk Z.I. Liquid crystal using in optical sensors / Z. Mikityuk, I. Lopatynskiy, O. Gotra, B. Dalanbalar // *International conference on optoelectronic information technologies, Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE)*. – 2001. – Vol. 4425. – P. 472-477. **7.** Hotra Z. Sensor systems with optical channel of information transferring / Z. Hotra, Z. Mykytyuk, O. Sushynskyy, et al. // *Przegląd elektrotechniczny*. – 2010. – Vol. 86. –

P. 21-23. **8.** *Hotra O.* New electro-optical effect in nematic liquid crystal for integrated optics element / *O. Hotra, I. Lopatynskij, B. Yavorskyj* // Optoelectronic and electronic sensors, Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE). – 2002. – Vol. 4425. – P. 112-114. **9.** *Hotra Z.* Simulation of influence of limiting surfaces optical characteristics on liquid crystal waveguide properties / *Z. Hotra, W. Wójcik, Z. Mykytyuk, A. Fechan, O. Sushynskyy, V. Kotsun, O. Chaban* // The International Conference CADSM 2013. – Polyana-Svalyava (Zakarpattya), Ukraine, 19-23 February 2013. – P. 82. **10.** *Kocun V.I.* Modeljuvannja procesu formuvannja gradientnogo svitlovodu v shari nematichnogo ridkogo kristala / *V.I. Kocun* // Visnik NTU "Harkivs'kij politehniknij institut". Serija: Informatika ta modeljuvannja. – Harkiv: NTU "HPI", 2014. – № 35 (1078). – 121-126 s. **11.** *Ilnytskyi J.* A domain decomposition molecular dynamics program for the simulation of flexible molecules of spherically-symmetrical and nonspherical sites. II. Extension to NVT and NPT ensembles / *J. Ilnytskyi, M. Wilson* // Computer Physics Communications. – 2002. – Vol. 148. – P. 43-58. **12.** *Fechan A.* Modeljuvannja procesu rozsijuvannja svitla v planarnih svitlovodah z ridkokristalichnoju sercevinuju / *A. Fechan, M. Shimchishin, V. Levenec'* // Tehnichni visti, Organ Ukraïnskogo inzhenerного tovaristva u L'vovi. – 2007. – 1 (25), 2 (26). – S. 130-132.

Надійшла до редакції 12.03.2015

Повторно 10.05.2015

Статтю представив д.т.н., проф. НУ "ЛПІ" Фечаном А.В.

Kotsun Volodymyr, PhD Tech.
Lviv Affiliate of European University
Str. Kushevycha, 5, Lviv, Ukraine, 79019
Tel.: (032) 297-50-72, e-mail: v_kotsun@ukr.net
ORCID ID: 0000-0002-9198-4601