

АНОТАЦІЯ

Голуб П.В. Керування топологічними пастками в рідинних кристалах.-
Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» – Інститут фізики Національної Академії Наук України. – Київ, 2020.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» – Інститут фізики Національної Академії Наук України. – Київ, 2023

Дисертаційна робота присвячена дослідженню механізмів керування топологічними пастками в рідинних кристалах. У роботі вивсчалися методи що можуть бути застосовані для керування положенням топологічних дефектів в рідинних кристалах

Керування орієнтацією, макроструктурою та оптичними властивостями рідинних кристалів є актуальним питанням сучасних як з фундаментальної так і з прикладної точки зору оскільки рідинні кристали активно використовуються в різних областях науки та технологій, починаючи від сучасної електроніки до медицини. рідиннокристалічні дисплеї, тепловізори та термографи, керовані лінзи та оптичні затвори, рідиннокристалічні лазери та декоративна косметика – ось далеко неповний лист застосувань рідинних кристалів. Навіть кевлар, який зараз найчастіше застосовується для бронежилетів, виготовлено з рідиннокристалічного полімеру.

В ході проведення досліджень приведених в даній роботі, вперше спостерігалось формування світлоіндукованих візерунків, що мають вигляд концентричних кілець, видимих лише між поляризаторами, у планарній рідиннокристалічній (РК) комірці з фоточутливою плівкою халькогеніду $As_{20}Se_{80}$. При опроміненні поверхні халькогеніду гауссівським лазерним променем через шар РК спостерігали виникнення незвичайного розподілу переорієнтації молекул рідинного кристалу, що з'являється при опроміненні поверхні халькогеніду. Експериментальні результати пояснено з точки зору передачі тепла від халькогенідної плівки до РК після поглинання світла в халькогенідному шарі. Світлоіндукований нагрів спричиняє зміну двозаломлення РК і, як наслідок, просторово модульованого поляризаційного стану в площині халькогенідного шару. Оскільки халькогенідна плівка є фотоорієнтуючим матеріалом, просторова модуляція поляризації світла призводить до формування просторово модульованої осі легкої орієнтації та кільцевої структури директора в комірці.

Формування світлоіндукованої орієнтаційної модуляції на світлочутливій поверхні в у поєднанні з чвертьхвильовою пластиною може

сформувати затримку фази, величина якої відповідає куту переорієнтації директора. Запропоновано також модель рідкокристалічної гауссової призми. Ми вважаємо, що цей ефект може бути застосований для розробки різних оптичних та електрооптичних елементів, таких як формувачі пучка, мікролінзи, зонні пластини тощо.

Для дослідження структури рідинного кристалу використовуються комбіновані комірки що складаються з прозорих підкладинок з попередньо заданою орієнтацією рідинного кристалу на поверхні. Такий метод дозволяє отримати задану орієнтацію молекул рідинного кристалу в усьому об'ємі комірки. Однією з цікавих особливостей рідинних кристалів є здатність генерувати різноманітні візерунки у поляризованому світлі, які вони утворюють завдяки двопроменезаломленню рідинних кристалів. Ці закономірності майже повністю обумовлені структурою, яка виникає в далекому молекулярному порядку рідини. При цьому у впорядкуванні структури рідинних кристалів можуть виникати топологічні дефекти. Топологічний дефект у площині поворотної комірки, заповненої рідинних кристалів, з'являється, коли кут скручування директора стає невизначеним.

Положення дефекту в рідинному кристалі, повністю задається орієнтацією рідинного кристалу на орієнтуючих поверхнях підкладинок та структурою рідинного кристалу. Це дозволяє, керуючи орієнтацією на поверхні, змінювати орієнтацію в об'ємі і керувати положенням дефекту.

Візуалізація положення топологічного дефекту є важливою складовою для побудови різноманітних приладів, заснованих на вимірюванні положення топологічного дефекту, саме тому, в роботі було досліджено можливість захоплення різноманітних частинок, для того, щоб зробити видимим., не озброєним оком, топологічний дефект.

Останнім часом активно розвиваються методи фотоорієнтації молекул рідинного кристалу використовуючи фото ізомеризацію шару молекул нанесеного на поверхню підкладинок поляризованим випромінюванням. Використання фоточутливих підкладинок є актуальним як з фундаментальної точки зору так і для практичного застосування (для побудови новітніх типів рідинно-кристалічних дисплеїв, дозиметрів випромінювання, приладів для контрольованого захоплення та переміщення частинок, оптичних приладів з контрольованими характеристиками на основі рідинних кристалів, тощо).

У даній роботі, наведено ряд досліджень спрямованих на керування положенням топологічного дефекту в рідинному кристалі, а також візуалізацію його положення шляхом розміщення в ньому частинок мікроскопічного розміру.

Ключові слова: Рідинний кристал, фотоорієнтація, халькогенідні плівки, топологічні дефекти, дисклинації, нематик, холестерик.

SUMMARY

Golub P.V. Topological traps control in liquid crystals - Manuscript

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, specialty 104 "Physics and Astronomy" - Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine. -Kyiv, 2020

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 104 "Physics and Astronomy" - Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine - Kyiv, 2023

This thesis is devoted to the study of mechanisms for controlling topological traps in liquid crystals. The methods that can be used to control the position of topological defects in liquid crystals were studied.

Controlling the orientation, macrostructure, and optical properties of liquid crystals is a hot topic today, both from a fundamental and applied point of view, as liquid crystals are actively used in various fields of science and technology, ranging from modern electronics to medicine. liquid crystal displays, thermal imagers and thermographs, guided lenses and optical shutters, liquid crystal lasers, and decorative cosmetics are just a few of the applications of liquid crystals. Even Kevlar, which is now most commonly used for body armor, is made of a liquid crystal polymer.

In the course of the studies presented in this paper, the formation of light-induced patterns in the form of concentric rings visible only between polarizers in a planar liquid crystal (LC) cell with a photosensitive film of chalcogenide As₂₀Se₈₀ was observed for the first time. An unusual distribution of reorientation of the liquid crystal molecules, which appears when the chalcogenide surface is irradiated with a Gaussian laser beam through the LC layer, was observed. The experimental results are explained in terms of heat transfer from the chalcogenide film to the LC after light absorption in the chalcogenide layer. Light-induced heating causes a change in the birefringence of the LC and, as a result, a spatially modulated polarization state in the plane of the chalcogenide layer. Since the chalcogenide film is a photo-aligning material, the spatial modulation of light polarization leads to the formation of a spatially modulated axis of easy orientation and an ring director structure in the cell.

The formation of a light-induced orientation modulation on a light-sensitive surface in combination with a quarter-wave plate can form a phase delay whose value corresponds to the director reorientation angle. We also propose a model of a

liquid crystal Gaussian prism. We believe that this effect can be applied to the development of various optical and electro-optical elements, such as beamformers, microlenses, zone plates, etc.

To study the structure of a liquid crystal, we use combined cells consisting of transparent substrates with a predefined orientation of the liquid crystal on the surface. This method allows us to obtain a predetermined orientation of the liquid crystal molecules in the entire volume of the cell. One of the interesting features of liquid crystals is the ability to generate various patterns in polarized light, which they form due to the birefringence of liquid crystals. These patterns are almost entirely due to the structure that arises in the distant molecular order of the liquid. At the same time, topological defects can occur in the ordering of the structure of liquid crystals. A topological defect in the plane of a rotary cell filled with liquid crystals appears when the torsion angle of the director becomes uncertain.

The position of the defect in the liquid crystal is completely determined by the orientation of the liquid crystal on the orienting surfaces of the substrates and the structure of the liquid crystal. This allows, by controlling the orientation on the surface, to change the orientation in the volume and control the position of the defect.

Visualization of the position of a topological defect is an important component for the construction of various devices based on measuring the position of a topological defect, which is why the possibility of capturing various particles to make the topological defect visible to the naked eye was investigated in this work.

Recently, methods of photo-alignment of liquid crystal molecules using photo-isomerization of a layer of molecules deposited on the surface of substrates by polarized radiation have been actively developed. The use of photosensitive substrates is relevant both from the fundamental point of view and for practical applications (for the construction of the latest types of liquid crystal displays, radiation dosimeters, devices for controlled capture and movement of particles, optical devices with controlled characteristics based on liquid crystals, etc.)

In this paper, we present a number of studies aimed at controlling the position of a topological defect in a liquid crystal, as well as visualizing its position by placing microscopic particles in it.

Keywords: Liquid crystal, photo-alignment, chalcogenide films, topological defects, disclinations, nematic, cholesterol.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації: *Статті у періодичних фахових виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports:*

Основні наукові результати дисертації висвітлені у 7 наукових публікаціях, серед яких 3 статті у періодичних фахових виданнях та 4 тези доповідей на міжнародних наукових конференціях:

Статті у періодичних фахових виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports:

N. Sheremet, P. Golub, Y. Kurioz, M. Trunov and Y. Reznikov, Light-induced LC director freezing on a chalcogenide surface. *Liquid Crystals*, 43(2), 249–255 (2015). doi:10.1080/02678292.2015.1100336 *Особистий внесок – отримання експериментальних даних (частково), їх аналіз, дослідження, обрахунок розповсюдження тепла, зміни двопротенезаломлення та модуляції директора рідинного кристалу, огляд і редагування статті, публічна презентація.*

Golub, P., Kurioz, Y., Sheremet, N., Trunov, M., & Reznikov, Y. (2018). Director modulation of nematic liquid crystal on photosensitive chalcogenide surface. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 661(1), 25–37. doi:10.1080/15421406.2018.1460235 *Особистий внесок – отримання експериментальних даних (частково), їх аналіз, дослідження, побудова експериментальної установки, огляд і редагування статті, публічна презентація*

Стаття у науковому фаховому виданні України (категорія «А»), проіндексованого у базах WoS та/або Scopus:

Golub, P. V., & Vasnetsov, M. V. (2021)1. Photo-alignment control of topological defects in nematic liquid-crystal cells2. *Ukrainian Journal of Physical Optics*, 22(2), 87-91. <https://doi.org/10.3116/16091833/22/2/87/20213> *Особистий внесок – отримання експериментальних даних (частково), їх аналіз, дослідження, огляд і редагування статті, публічна презентація*

Апробація результатів дисертації

Golub P., Kurioz Yu., Sheremet N., Trunov M., Reznikov Yu. «Light-induced LC director freezing on a chalcogenide surface» Book of abstracts 4-th INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL NANOTECHNOLOGY: FROM FUNDAMENTAL RESEARCH TO INNOVATIONS - Migove-Chernivtsi region Ukraine – 2017 – p.50

Golub P. Vasnetsov M. “Visualization of the topological defect in liquid crystal cells” Book of abstracts XXIVth Galyna Puchkovska International School Seminar "Spectroscopy of Molecules and Crystals" Odessa, Ukraine – 2019 – p.93

Golub P. Vasnetsov M. “Visualization of the topological defect in liquid crystal cells” Book of abstracts “International research and practice conference (NANO-2019)”Lviv Ukraine – 2019 – p.

Golub P. Vasnetsov M. Book of abstracts “International research and practice conference (NANO-2020)”Lviv Ukraine – 2020 – p.