

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
Інститут фізики НАН України

# ТЕЗИ

*ПІДСУМКОВОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
ПНК-2021*

КИЇВ-2022

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | <b>Бондар М.В.</b> , Бродин М.С., Пирятинський Ю.П.: “Тверді щільно-упаковані плівки розмірно-дисперсійних квантових точок ZnSe як штучна антена для передачі енергії екситонного збудження”                                                                             | 4  |
| 2  | Файдюк Ю.В., Сківка Л.М., Зелена Л.Б., Терещенко О.Г., Булуй О.Г., <b>Пергаменщик В.М.</b> , Назаренко В.Г.: “Немонотонна залежність швидкості самохідних бактерій від температури в ліотропному рідинному кристалі”.                                                    | 5  |
| 3  | <b>Яковкін І.М.</b> , Петрова Н.В.: “Металічність поверхні бінарних напівпровідників”.                                                                                                                                                                                   | 6  |
| 4  | <b>Бугайчук С.</b> , Єжов П., Гнатовський О., Негрійко А.: “ Ефективний голографічний підсилювач когерентних хвиль на системі фазових ґраток ”.                                                                                                                          | 7  |
| 5  | Хагігі Ф. (Haghighi F), <b>Єсилевський С.</b> , Давані С. (Davani S), Рамзеєр К. (Ramseyer C.): “Роль мембранного оточення у зв’язування лікарських препаратів з рецептором P2Y12”.                                                                                      | 8  |
| 6  | <b>Стриженко С.С.</b> , Яценко Л.П.: “Теорія раманівського надвипромінювання атомами рубідію-87 в порожнистому оптичному волокні”                                                                                                                                        | 9  |
| 7  | <b>Лимаренко Р.А.</b> , Тараненко В.Б.: “Селективні властивості осесиметричного фотонно-кристалічного дзеркала для лазерів з мікрорезонатором”.                                                                                                                          | 10 |
| 8  | Баженов В.Ю., Гончаров О.А., <b>Добровольський А.М.</b> , Літовко І.В., Проценко І.М.: “Формування потоків прискорених іонів хмарою динамічного просторового заряду”.                                                                                                    | 11 |
| 9  | <b>А.В. Боднарук</b> , В.М. Калита, Ю.І. Джежеря, С.М. Рябченко: “ Магнітореологічний ефект та критичні явища в магнітоактивних еластомерах з магнітними мікрота наночастинками ”.                                                                                       | 12 |
| 10 | <b>Дуванський А.В.</b> , Соснін М.Г., Хируненко Л.І., Abrosimov N., Riemann H.: “Взаємодія бору з киснем в кремнії при підвищених температурах”                                                                                                                          | 13 |
| 11 | <b>Фесенко О.</b> , Яремкевич А., Цебриєнко Т., Будник О.: “ Вплив катіонного заміщення Nb на мікроструктуру та Раман спектри тонких плівок $\text{SrBi}_2(\text{Ta},\text{Nb})_2\text{O}_9$ ”                                                                           | 14 |
| 12 | <b>Неймаш В.Б.</b> , Поварчук В.Ю., Серов В.А., Гостєва Є.В., Ліфшиц Ю.З., Фурманов Ю.О.: “Вакуумно-компресійний пристрій для лікування проникаючих поранень живота і внутрішньо-черевних запалень”                                                                      | 15 |
| 13 | Жарков І.П., <b>Паламарчук І.П.</b> , Сафронов В.В., Селіванов О.В., Солонецький А.Г., Ходунов В.О.: “Смнісна система вимірювання рівня кріогенної рідини ”.                                                                                                             | 16 |
| 14 | <b>Більовський П.А.</b> , Винославський М.М., Вайнберг В.В., Пилипчук О.С., Порошин В.М.: “Ефект переключення електропровідності в $\text{InGaAs}/\text{GaAs}$ гетероструктурах з квантовими ямами”                                                                      | 17 |
| 15 | <b>Буківський А.П.</b> , Гнатенко Ю.П., Буківський П.М., Опанасюк А.С., Курбатов Д.І., Колесник М.М.: “Структурні та оптичні властивості тонких плівок $\text{CdTe}$ легованих ітербієм – ефективних поглинаючих шарів для сонячних елементів $\text{CdS}/\text{CdTe}$ ” | 18 |
| 16 | <b>Кузьменко О.В.</b> : “ Обернена задача дифракції для комплексних об’єктів. Оптимізація алгоритмів альтернативних проекцій”                                                                                                                                            | 19 |
| 17 | <i>Кацук А.</i> , <b>Передерій О.</b> , Негрійко А, Caldini C, Gardini L, Pavone S.F. and Capitanio M.: “Локалізація частинок методом локальних градієнтів та його застосування у нанометровій стабілізації мікроскопа”                                                  | 20 |
| 18 | Блонський І.В., <b>Кадан В.М.</b> , Павлов І.А., Дмитрук А.М., Коренюк П.І.: “Часороздільна мікроскопія фемтосекундних лазерних філаментів у плавленому кварці ”                                                                                                         | 21 |
| 19 | <b>Сологуб С.В.</b> , Борденюк І.В.: “Незвичні зміни магнітоопору тонкої пластини $\text{W}(100)$ , спричинені високотемпературним відпалом ”                                                                                                                            | 22 |

- 20 Клюшніченко О.В., Ганджа І.С., Лук'янець С.П.: “Колапс соціоекономічної системи з обмеженим ресурсом, зумовлений епідемічним шоком”. 23
- 21 Станкевіч А., Вахнін О., Bässler H., Köhler A., Кадащук А.: “Стрибкова енергетична релаксація носіїв заряду в аморфних органічних напівпровідниках: експеримент та Монте-Карло моделювання” 24
- 22 Габович О. М., Войтенко О. І.: “Орієнтація адсорбованих полярних молекул (диполів) у зовнішньому електростатичному полі”. 25
- 23 Плутенко Д. О., Васнецов М. В.: “Розсіяння радіально поляризованого пучка на металевих мікрокульках: формування фотонного наноструменя” 26
- 24 Малиновський М.Б., Пірятинський Ю.П., Севрюкова М.М.: “Одно- та двофотонно-збуджена фотолюмінесценція (ФЛ) комплексів з внутрішньомолекулярним переносом заряду (ВПЗ) на основі триціанобутадієнкарбазолу (ТЦБК)” 27
- 25 Комаренко Д.О., Овденко В.М., Мультян В.В., Гайворонський В.Я.: “Ефект замісника у плівках азо-азометинових полімерних композитів на прояв явищ самовпливу та пружного розсіяння світла на довжині хвилі 532 нм” 28
- 26 Морозовський М. В., Морозовська Г. М., Єлісєєв Є. А.: “Керовані поверхневим іонним екрануванням реверсування поляризації і фазові діаграми тонких плівок антисегнетоелектриків: можливість запасання енергії та зберігання інформації”. 29

**Тверді щільно-упаковані плівки розмірно-дисперсійних квантових точок ZnSe як штучна антена для передачі енергії екситонного збудження**

**М.В. Бондар, М.С. Бродин, Ю.П. Пирятинський**

**1. Актуальність роботи** обумовлена широким застосуванням напівпровідникових квантових точок (КТ) на основі халькогенідів цинку у приладах та структурах оптоелектроніки та медицини, зокрема, біомітках для аналізу стану амінокислот та тканин людини, фотодетекторах, польових транзисторах та сонячних комірках 3-го покоління, які мають перевагу над барвниками через високу стійкість до опромінення та широкий спектр поглинання.

**2. Основні результати роботи:**

**1.** Підбираючи довжину хвилі збудження, був реалізований квазі-когерентний режим передачі енергії екситонного збудження в плівках КТ ZnSe з малим середнім радіусом  $R_0 \sim 1.5$  нм за рахунок утворення колективного ефекту екситонів на кількох КТ через делокалізацію їх хвильової функції, що привело до збільшення швидкості передачі енергії і майже 10-кратному збільшенню інтенсивності фотолюмінесценції плівок КТ. Розрахована ефективність передачі енергії екситонного збудження становила  $\sim 0.45 \pm 0.02$ .

**2.** Провівши комплексне дослідження та порівнявши оптичні спектри колоїдних розчинів та твердих плівок КТ ми встановили, що квантова взаємодія між останніми є причиною того, що домінуючим каналом релаксації екситонів є квантовий (корисний сигнал), на відміну від перших, де релаксація проходить через поверхневі та дефектні стани носіїв заряду.

**3. Новизна результатів.** 95% відсотків схожих досліджень проведені на КТ халькогенідів Cd та Pb, а інші на перовскітах. Наскільки відомо, це перше комплексне дослідження, проведене на КТ з великою шириною забороненої щілини та вільних від токсичних елементів.

**4.** Частина робота виконана в Інституті фізики в 2021 році і послана в **Journal Luminescence** (IF=3.6) в кінці грудня 2021 року. Частина роботи опублікована в **Superlattice and Microstructures** (IF = 2.8, **138**, P. 106382) в 2020 році.

**5.** Всі автори внесли відповідні внески в роботу.

## Немонотонна залежність швидкості самохідних бактерій від температури в ліотропному рідинному кристалі

Yu. Faidiuk, L. Skivka, P. Zelena, O. Tereshchenko, O. Buluy,  
V.M. Pergamenschchik, and V. Nazarenko

*Anchoring-induced nonmonotonic velocity versus temperature dependence of motile bacteria in a lyotropic nematic liquid crystal*  
Phys. Rev. E **104**, 054603 (2021).

### В.М. Пергаменщик

В роботі теоретично пояснено аномальну залежність швидкості самохідних бактерій від температури в так званому ліотропному нематіку (ЛН). ЛН є результатом розчинення молекул барвників у ізотропній рідині: молекули барвника агрегують і утворюють довгі колонки, взаємодія яких приводить до їхньої орієнтації і нематичного порядку. На відміну від звичайних нематиків, де бактерії не можуть жити, в ЛН на основі води самохідні бактерії плавають вздовж директора. Щоб плисти в рідині, бактерія обертає свій жгутик-хвіст, приєднаний до її циліндричного тіла: що більше частота обертання і менше



в'язка дисіпація, то більше швидкість  $v$ .

Але в експериментальній частині роботи знайдено дивну поведінку швидкості. З підвищенням температури  $T$ , в'язкість ЛН експоненційно спадає, а частота обертання хвоста продовжує рости. Зрозуміло, що тоді бактерії мали б плисти швидше за більшої  $T$ , але залежність швидкості  $v(T)$  є немонотонною: спочатку швидкість росте, але потім, після  $T = T_c = 15^\circ\text{C}$ , починає зменшуватись. Запропонована теорія показує, що це відбувається тому, що за цієї  $T_c$  бактерія починає збуджувати пружні деформації директора, частина енергії, яку вона витрачає, йде на це, і швидкість падає.

В основі цього ефекту лежить різке зменшення екстраполяційної довжини зчеплення, що вказує на різке збільшення ефективності поверхні (в даному випадку - поверхні хвоста бактерії) у створюванні деформації директора. Особливістю ЛН є експоненційно сильна залежність від температури поверхневого зчеплення, пружних констант, в'язкозті тощо. Показано, що саме ця особливість уможливорює немонотонну залежність швидкості самохідних бактерій від температури. Щоб знайти деформації директора, хвіст бактерії представлено як набір пружних монополів, індукованих поверхневим зчепленням, а швидкість бактерії знайдено з балансу енергії, що бактерія втрачає на рух, і в'язкої та нематодинамічної дисіпації.

Металічність поверхні бінарних напівпровідників

І.М. Яковкін, Н.В. Петрова

За результатами релятивістських розрахунків електронної структури тонких шарів бінарних напівпровідників SnS, SnSe, PbS, PbSe, CdTe, HgTe, SnTe і PbTe знайдено, що спин-орбітальна взаємодія суттєво впливає на форму валентної зони та зони провідності, але не є причиною інверсії зон в певних  $A_2B_6$  та  $A_4B_6$  сполуках. В той же час, прямі оцінки поверхневої ваги розрахованих зон тонких шарів напівпровідників  $A_4B_6$  в околі рівня Фермі показали відсутність поверхневих станів, які могли б забезпечити металічність поверхні. Відсутність формування Діраківських конусів і відповідних поверхневих зон свідчить про те, що шаруваті структури бінарних напівпровідників не є кристалічними топологічними ізоляторами.

**Актуальність:** - Актуальна.

**Основний науковий результат:** Показана відсутність формування Діраківських конусів і відповідних поверхневих станів, які могли б забезпечити металічність поверхні тонких шарів напівпровідників  $A_4B_6$ .

**Новизна результатів:** Нові.

**Роботу виконано в Інституті фізики в 2021 році.**

**Наукове значення та перспективи практичного застосування:** Отримані результати мають важливе значення для подальшого пошуку шаруватих напівпровідникових структур корисних для застосування в спинтроніці.

**Результати опубліковані в статтях:**

1. I. N. Yakovkin and N.V. Petrova, Band inversion and absence of surface states in IV – VI semiconductors. Physics Letters A 403 (2021) 127398.
2. I. N. Yakovkin, Band ordering and surface states of SnTe and PbTe. Physica B: Condensed Matter 616 (2021) 413120.
3. I. N. Yakovkin, Surface and interface bands of the CdTe – HgTe – CdTe heterostructure: Evidence for metallicity. Ukr. J. Phys. 66 (7) (2021) 630-634.

## **Ефективний голографічний підсилювач когерентних хвиль на системі фазових ґраток**

**С. Бугайчук, П. Єжов, О. Гнатовський, А. Негрійко**

### **1. Актуальність роботи**

Підсилення слабких оптичних сигналів застосовується в багатьох сучасних технологіях, наприклад, в лідарних системах, які зараз знаходять широке використання для створення безпілотних автомобілів та інших безпілотних приладів. Загальноприйнятим підходом є використання оптичних волокон для когерентного підсилення лазерних пучків при їх змішуванні у волокні вздовж великих відстаней. Альтернативний метод ефективного підсилення може бути реалізований на ефекті перекачки енергії між когерентними лазерними пучками в голографічних системах, який ми досліджуємо в даній роботі.

### **2. Основний науковий результат**

Вперше теоретично і експериментально отримано новий режим перекачки енергії між двома когерентними хвилями при їх дифракції на системі узгоджених ґраток (СУГ). Режим характеризується однонаправленою перекачкою енергії, при якій завжди підсилюється пучок, який має меншу вхідну інтенсивність: типу сильна накачка  $\rightarrow$  слабкий сигнал; і немає зворотної пререкачки енергії, типу (слабкий) сигнал  $\rightarrow$  (сильна) накачки. За умови зменшення інтенсивності слабого сигнального пучка теорія передбачає повну перекачку енергії з ефективністю дифракції  $\sim 100\%$  від більш сильного пучка накачки. При цьому вхідні інтенсивності накачки можуть складати 4 і більше порядків порівнянно з інтенсивністю сигнального пучка. Цей режим реалізується в системі тонких узгоджених голографічних ґраток, що мають високу глибину модуляції.

### **3. Новизна результатів**

Вперше експериментально отримано перекачку енергії на системі двох узгоджених фазових ґраток для бреггівських порядків дифракції; розроблено теоретичну модель, що описує ефект; проведені комп'ютерні моделювання на базі скалярної теорії дифракції і теорії для самодифракції хвиль в нелінійних об'ємних середовищах.

### **4. Яка частина роботи виконана в Інституті фізики**

Робота виконана повністю в Інституті фізики співробітниками інституту.

### **5. Наукове значення або перспективи практичного застосування результатів роботи.**

Наші дослідження відкривають перспективи створення нового типу когерентних підсилювачів світла на базі голографічних пристроїв, що містять систему узгоджених ґраток. В таких пристроях можуть використовуватися чисто оптичні методи – зміна співвідношення інтенсивностей вхідних пучків, та/або модуляція фази одного з пучків, – для здійснення керування величиною вихідного сигнального пучка. Запропонований голографічний підсилювач дозволяє простим і природним способом адаптувати його до схеми чотирипучкової взаємодії для створення обернення хвильового фронту (ОХФ-дзеркала). Перевагами цієї схеми є високий коефіцієнт підсилення для слабких лазерних сигналів у поєднанні з можливістю підсилення зображення при використанні нелінійного середовища замість однієї з ґраток, а також простота виготовлення СУГ методом лазерного гравіювання в одному моноблоці.

## Роль мембранного оточення у зв'язування лікарських препаратів з рецептором P2Y<sub>12</sub>

Хагірі Ф. (Haghighi F), Єсилевський С., Давані С. (Davani S), Рамзеєр К. (Ramseyer C.)

**Актуальність роботи.** Для профілактики та лікування тромбозів та інфарктів в усьому світі широко використовують лікарські препарати, які блокують специфічний протеїн P2Y<sub>12</sub> на мембрані тромбоцитів. Однак, детальні молекулярні механізми взаємодії ліків з рецептором та вплив мембранного оточення на цей процес досі не були зрозумілі. В даній роботі це питання було вивчено методами повноатомної молекулярної динаміки та докінгу по репрезентативному ансамблю конформацій рецептора.

**Результатом роботи** є встановлення сильного впливу впорядкованості мембранного оточення рецептора P2Y<sub>12</sub> на зв'язування з ним лікарських препаратів, їх метаболітів та інших низькомолекулярних лігандів.

**Новизна результатів.** Вперше показано, що зміна впорядкованості мембранного оточення рецептора P2Y<sub>12</sub> призводить до модуляції його внутрішньої конформаційної динаміки, яка, в свою чергу, сильно впливає на зв'язування лігандів з активним центром рецептора. Чим більш впорядковане мембранне оточення, тим сильніше зв'язування лігандів.

**В Інституті фізики у 2021 р.** виконано аналіз траєкторій молекулярної динаміки та написання роботи.

**Наукове значення та перспективи практичного застосування результатів** полягають у можливості раціонального дизайну нових лікарських препаратів, що впливають на тромбоцитарний рецептор P2Y<sub>12</sub> з урахуванням даних щодо ролі мембранного оточення у його функціонуванні. Також продемонстровано, що використання кристалографічних структур рецептора без моделювання його внутрішньої конформаційної динаміки у мембрані призводить до хибних результатів молекулярного докінгу та неправильних висновків щодо зв'язування з ним ліків та інших лігандів.

**Публікації:** Haghighi F, Yesylevskyy S, Davani S, Ramseyer C. Membrane Environment Modulates Ligand-Binding Propensity of P2Y<sub>12</sub> Receptor. *Pharmaceutics*. 2021 Apr;13(4):524.

**Внески авторів:** Хагірі Ф. (Haghighi F) — 10%, Єсилевський С. - 70%, Давані С. (Davani S) — 5%, Рамзеєр К. (Ramseyer C.) - 15%.



**Теорія раманівського надвипромінювання атомами рубідію-87 в порожнистому оптичному волокні**

**С.С. Стриженко, Л.П. Яценко**

Явище надвипромінювання (superradiance), вперше передбачене в 1954 році (Dicke effect), базується на ефекті колективної взаємодії атомів зі світлом і на сьогодні спостерігалось в найрізноманітніших середовищах та умовах і лежить в основі багатьох сучасних лазерних технологій (від підвищення точності атомних стандартів частоти до методів лазерного охолодження молекул). Раманівське надвипромінювання привертає увагу дослідників завдяки можливості порівняно простої реалізації умов його спостереження (повна інверсія населеностей в ефективній дворівневій схемі). Проте для його спостереження необхідною умовою є реалізація оптично щільного резонансного атомного середовища, що стало можливим в останні роки, наприклад, шляхом контрольованого заповнення порожнистих оптичних волокон атомами лужних металів. Тому **актуальними** є дослідження (як експериментальні, так і теоретичні) раманівського надвипромінювання в таких середовищах.

**Результатом роботи** є теорія раманівського надвипромінювання в оптично щільних середовищах, яка точно враховує всі магнітні підрівні атомів рубідію-87, що дало змогу передбачити поляризаційні властивості надвипроміненого світла, його амплітудні та часові характеристики, які якісно співпадають з відповідними експериментальними результатами.

**Новизна** результатів: теорію раманівського надвипромінювання з точним урахуванням магнітного виродження розроблено вперше.

Теоретичні дослідження виконані **співробітниками Інституту** протягом **2021 року**.

Результати роботи **важливі** для розвитку сучасної фізики когерентної взаємодії лазерного випромінювання з середовищем і можуть бути **корисними** для створення нових лазерних технологій.

Результати **доповідались** на конференції LIMQUET [1] та **направлені** до друку [2].

Внесок кожного із співавторів у роботу (50% С.С.С., 50% Л.П.Я.).

1. FWM with Rubidium-87 in a hollow-core fiber. Sergiy Stryzhenko. Light-Matter Interfaces for Quantum Enhanced Nechnologies (LIMQUET) Conference, [www.limquet.eu](http://www.limquet.eu)
2. T.Peters, S. Stryzhenko, L. Yatsenko and T. Halfmann. Experimental and theoretical study of Raman superradiance by Rubidium-87 in a hollow-core fiber. J.Phys.B (Special issue in memory of Bruce W. Shore), 2022 (submitted).

## **Селективні властивості осесиметричного фотонно-кристалічного дзеркала для лазерів з мікрорезонатором**

**Лимаренко Р.А.,** Тараненко В.Б.

**Актуальність роботи.** Розроблений осесиметричний дифракційний кутовий селектор забезпечить високу якість пучка компактних широкоапертурних лазерів з напівпровідниковим модулятором з довжиною резонатора до 0.5 мм, призначеного для генерації імпульсів тривалістю до 100 пс. Такі лазери знаходять застосування, наприклад, у лазерній локації космічних об'єктів, тощо.

**Результатом роботи** є теоретичне передбачення та експериментальне підтвердження ефекту супер-колімації світлових променів осесиметричним дифракційним мета-дзеркалом – осесиметричною концентричною діелектричною кільцевою структурою, розташованою перед дзеркалом на відстані кількох мікрон. Під суперколімацією ми розуміємо утворення добре колімованого променя, що характеризується істотним посиленням його осьової складової в дальній області поля. У проведених експериментах осьова інтенсивність поля була збільшена приблизно в 6 разів. Такі осе-симетричні супер-коліматори можуть бути особливо корисними для покращення просторової якості випромінювання мікролазерів, використовуючи їх як дзеркала резонатора.

**Новизна.** Просторова фільтрація традиційними методами неможлива в мікролазерах через обмеженість простору їх компактного (а іноді і монолітного) резонатора. Існує потреба в альтернативних ідеях і техніках для забезпечення просторової фільтрації з метою збільшення яскравості мікролазерів. Запропонована ідея є подальшим розвитком запропонованих тривимірних структур для просторової фільтрації, і пов'язана з більшою технологічністю виготовлення двовимірних структур з необхідним градієнтом показника заломлення.

**В Інституті** розроблена математична модель, що описує ефект супер-колімації на двовимірному осе-симетричному фотонному кристалі, виконано теоретичні розрахунки, розраховані оптимальні параметри дифракційної структури для виготовлення експериментального зразка. Експериментальні дослідження проведено спільно з лазерним дослідницьким центром Вільнюського університету (Литва).

**Внесок співавторів** у роботу Лимаренко Р.А. (50%), Тараненко В.Б. (50%).

**Опубліковано:**

R. A. Lymarenko, D. Gailevicius, I. Meskelaite, L. Grineviciute, M. Peckus, K. Staliunas, and V. B. Taranenko, "Super-collimation by axisymmetric diffractive metamirror," Opt. Lett. 46, 3845-3848 (2021). <https://doi.org/10.1364/OL.424033>

**Формування потоків прискорених іонів хмарою динамічного просторового заряду**

В.Ю. Баженов, О.А. Гончаров, **А.М. Добровольський**, І.В. Літовко, І.М. Проценко

Останнім часом значно збільшився інтерес до освоєння навколоземного простору та сонячної системи в цілому. З'явилося одразу декілька приватних кампаній, що активно готуються до міжпланетних експедицій. В Європі, Північній Америці та Китаї збільшилося фінансування космічних програм.

В цих умовах збільшився попит на розробку нових та покращення існуючих засобів керування космічними апаратами (КП). На сьогодні, основним варіантом створення потрібної тяги в вакуумі вважають електро-реактивний принцип. Прискорення іонізованої речовини забезпечує найбільшу ефективність на поточному етапі.

Не зважаючи на існування перевірених часом електро-реактивних двигунів (ЕРД) КП, розробка нових варіантів ЕРД КП залишається важливим і актуальним питанням.

**В результаті виконання представлених досліджень**, показано можливість формування прискорених іонних потоків динамічною хмарою просторового заряду в широкому діапазоні енергій.

**Новизна результатів** полягає в практичній демонстрації можливості формування динамічної хмари просторового заряду з керованими параметрами та отриманні з цієї хмари вторинного прискореного іонного потоку з керованою енергією та високою монохроматичністю пучка.

**Всю роботу** виконано в Інституті фізики НАН України у відділі газової електроніки.

**Отримані результати** дозволяють запропонувати та створити макет космічного ЕРД КП з унікальними характеристиками. Вони також мають фундаментальний характер та розширюють наші знання в галузі плазмодинаміки та плазмооптики середніх енергій.

**Результати опубліковано** в Iryna Litovko, Alexey Goncharov, Andrew Dobrovolsky and Iryna Naiko The Emerging Field Trends Erosion-Free Electric Hall Thrusters Systems DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.99096> ; I.V. Litovko, V.Yu. Bazhenov, A.A. Goncharov, A.N. Dobrovolsky, I.V. Naiko EMERGING TRENDS IN WALL-FREE HALL THRUSTERS DEVELOPMENT Вопросы атомной науки и техники, №6 (2021) та доповідалися на конференціях I.V. Litovko, V.Yu. Bazhenov, A.A. Goncharov, A.N. Dobrovolsky, I.V. Naiko EMERGING TRENDS IN WALL-FREE HALL THRUSTERS DEVELOPMENT, XXVII International Conference on charged particle accelerators, September 21-24, 2021, Ukraine, Kharkov; Найко І.В., Гончаров О.А., Добровольський А.М., Баженов В.Ю. Енергетична характеристика плазмового потоку у прискорювачі з відкритими стінками МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ УЧЕНИХ ТА АСПІРАНТІВ "ІЕФ-2021", м. Ужгород, 26-28 травня 2021 р.

Внесок всіх авторів однаковий.

**Магнітореологічний ефект та критичні явища в магнітоактивних еластомерах з магнітними мікро- та наночастинками**

**А.В. Боднарук**, В.М. Калита, Ю.І. Джежеря, С.М. Рябченко

Наведено результати дослідження двох типів магнітоактивних еластомерів (МАЕ) з матрицею з силікону та з наповнювачами феромагнітними мікрочастинками нікеля чи феромагнітними наночастинками манганіту  $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.2}\text{Mn}_{1.2}\text{O}_3$ . **Актуальність:** МАЕ відносять до так званих «розумних» матеріалів, еластичні властивості яких здатні значно (у десятки разів) змінюватися під дією зовнішнього магнітного поля. **Вперше отримані нові результати:** Індукований магнітним полем згин балки МАЕ з мікрочастинками нікелю критично залежить від величини напруженості магнітного поля - у критичній точці відбуваються втрата механічної стійкості та пониження симетрії магнітного стану, які взаємопов'язані між собою. Для МАЕ отримано ефект «магнітної» пам'яті форми з діаграмою: деформація – поле – температура. Досліджено вплив критичної температури склування матриці, а також температури її плавлення/затвердіння на ефект магнітної пам'яті форми. Для МАЕ з наночастинками, які більш рухливі в матриці еластомеру, встановлено, що температурна залежність величини деформації згину пропорційна температурній залежності квадрату намагніченості зразка, а похідна по температурі від величини вигину має особливість поблизу точки Кюрі. Отримано, що при температурі вищій температури Кюрі магніто-пружні властивості МАЕ зникають, а при пониженні температури вони відновлюються. **Перспективи практичного застосування:** МАЕ з температурою Кюрі поблизу кімнатної температури можуть бути використані як «розумні» матеріали з самоконтрольованими магніто-пружними властивостями.

**Внесок у доповідь:** однакові частки по 25%.

**Публікації:** Kalita, V. M., et al. "Critical bending and shape memory effect in magnetoactive elastomers." *Smart Materials and Structures* 30, 025020 (2021). Q1, IF= 3.585.

Dzhezherya, Yu I., et al. "Magnetoactive elastomer based on superparamagnetic nanoparticles with Curie point close to room temperature." *Materials & Design* 197, 109281 (2021). Q1, IF=7.991.

## Взаємодія бору з киснем в кремнії при підвищених температурах

**А.В. Дуванський**, М.Г. Соснін, Л.І. Хируненко (ІФ НАН України),  
N. Abrosimov, H. Riemann (Leibniz-Institut für Kristallzüchtung, FRG)

Легування бором широко використовується в сучасній мікро- та наноелектроніці, що базується на моно- і мультикремнії, в створенні субмікронних Si пристроїв. Кремній легований бором є основним матеріалом сучасної сонячної енергетики. Тому отримання нової інформації стосовно процесів дефектоутворення за участю бору в Si є актуальним.

В роботі проводилось дослідження взаємодії бору з киснем, який є основною технологічною домішкою в Si, за допомогою вивчення спектрів внутрішньоцентрових переходів для бору.

В кремнії підданому термообробці при температурі дифузії кисню (400 °C) виявлено нові лінії поглинання при 229.4 і 261.3  $\text{cm}^{-1}$  зсунуті в низькочастотний бік відносно переходів з основного  $1\Gamma_8^+$  в збуджені  $1\Gamma_8^-$  (244.95  $\text{cm}^{-1}$ ) та  $2\Gamma_8^-$  (278.29  $\text{cm}^{-1}$ ) стани бору, відповідно. Показано, що до складу дефекту, пов'язаного з виявленими лініями, входять атоми бору і кисню. Деформації, які виникають внаслідок локалізації електрично пасивної домішки кисню поблизу атомів бору, призводять до зсуву основних частот переходів бору. Проведена ідентифікація переходів для виявленого дефекту. Виявлено, що утворення дефекту відбувається і в процесі вирощування вихідного матеріалу. Оцінена концентрація дефектів в зразках відразу після вирощування ( $7.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ) і підданих термообробці ( $1.7 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ). Визначені енергія іонізації (43,93 eV) та термічна стабільність виявленого дефекту (550 °C). Дефекту в забороненій зоні відповідає більш мілкий рівень, ніж рівень бору, що може впливати на рекомбінаційні властивості кремнію.

Отримані в роботі дані можуть бути використані при розробці технологій виготовлення приладових структур, які супроводжуються високотемпературними обробками. Утворення дефекту треба враховувати в технологічних режимах проведення відпалів після іонної імплантації, в процесах отримання окисних шарів на кремнії. Збудження електронної підсистеми під дією сонячного випромінювання в фотоперетворювачах може призводити до прискореної дифузії кисню і, як наслідок, до утворення виявлених дефектів.

Публікація по результатам роботи:

L. Khirunenko, M. Sosnin, A. Duvanskii, N. Abrosimov, H. Riemann. The Features of Infrared Absorption of Boron-Doped Silicon. Phys. Status Solidi A 2021, 218, 2100181(1-6).

Тези доповідей

1. A.V. Duvanskyi, M.G. Sosnin, L.I. Khirunenko. Boron - Oxygen Interaction in Heat Treated Silicon. Book of Abstracts of XXV Galyna Puchkovska International School-Seminar "Spectroscopy of molecules and crystals". (2021, Kyiv, Ukraine), p.57.
2. Khirunenko, L.I., Sosnin, M.G., Duvanskii A.V., Abrosimov, N.V., Riemann, H. IR investigations of boron-related defects in silicon. European Materials Research Society (EMRS'2021 – C.P. 38).

## **Вплив катіонного заміщення Nb на мікроструктуру та Раман спектри тонких плівок $\text{SrBi}_2(\text{Ta,Nb})_2\text{O}_9$**

**Фесенко О., Яремкевич А., Цебрієнко Т., Будник О.**

**Актуальність роботи:** Тонкі плівки шаруватих сегнетоелектричних перовськітів, такі як танталат вісмуту стронцію  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  (SBT) і ніобат  $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$  (SBN), визнані перспективними кандидатами для застосування в сегнетоелектричній пам'яті. Добре відомо, що для їх приготування потрібна висока температура відпалу, висока залишкова поляризація та низьке коерцитивне поле, що є основними бар'єрами, які перешкоджають їх комерціалізації. У цій роботі ми досліджуємо вплив заміщення атомів танталу ніобієм з метою визначення ефективного методу приготування композиту SBTN, що допоможе усунути недоліки SBN та SBT плівок.

**Основний науковий результат:** Показано, що плівки SBTN з вмістом Nb 10 і 20 мас. % та температурою відпалу  $700^\circ\text{C}$  має структуру максимально наближену до структури перовськіту. Збільшення концентрації Nb понад 20 мас. % призводить до зменшення вмісту фази перовськіту, про що свідчить розширення XRD лінії (115) та зменшення її інтенсивності під кутом  $2\theta \sim 29$  град. Раманівська спектроскопія була використана для дослідження коливальних мод ґратки та структурного переходу тонких плівок SBTN з різною концентрацією іонів Nb у Ta-позиціях. Виявлено, що вплив концентрації Nb на Раман спектр, а саме на зсув та уширення піку в області від  $810$  до  $830\text{ см}^{-1}$ , повністю корелює з відсотком перовськітної фази та залишковою електричною поляризацією у зразку. Зміни у вмісті перовськітної фази при введенні іонів Nb в матрицю  $\text{Sr}_y\text{Bi}_{2+x}\text{Ta}_2\text{O}_9$  можна пояснити зміною параметрів кристалічної решітки, її міцності та жорсткості зв'язку, поверхневої енергії матеріалу. Раман спектри показують, що плівки мають полікристалічну структуру.

**Новизна результатів:** Показано, що Раманівська спектроскопія може ефективно використовувалася для аналізу перовськітних фаз SBTN плівок. Встановлено, що заміщення атомами Nb у структурах SBTN відбувається на В-вузлі, що виражено у суттєвому зміщенні піку при  $810\text{ см}^{-1}$ . Заміщення Nb на Ta- приводить до значного уширення моди октаедричного розтягування О-Ta-О. Синій зсув Раманівської смуги від  $810$  до  $830\text{ см}^{-1}$  пов'язаний з концентрацією Nb і дефектів, присутніх у плівці, що пов'язано зі ступенем кристалізації матеріалу SBTN. Низькочастотні коливання біля  $100\text{ см}^{-1}$  збільшуються зі збільшенням концентрації Nb, тоді як мода октаедричного розтягування біля  $575\text{ см}^{-1}$  зменшується при частковому заміщенні Nb до 30% і знову збільшується з більшим вмістом Nb. Така поведінка пояснюється меншим іонним радіусом Nb, ніж Ta в В-сайті. Вперше знайдено кореляцію між зсувом та уширенням піку в Раман спектрі в області  $810$  до  $830\text{ см}^{-1}$  з відсотком перовськітної фази та залишковою поляризацією у зразку.

**Практичне використання:** Використання заміщуючих атомів Nb з концентрацією 10-20% дало можливість підвищити у 3 рази показник залишкової поляризації та збільшити формування перовськітної фази від 66 до 87%. Отримані нами результати можна використати для виготовлення плівок конденсаторів з високим значенням залишкової поляризації, ефективних у сфері застосування сегнетоелектричної пам'яті, при нижчих температурах відпалу.

**У 2021 р. в Інституті** проведені експерименти по Раманівській та ІЧ характеристиках плівок SBTN з різною концентрацією домішки Nb. Проведено аналіз XRD та Раман спектрів з метою визначення якості та сформованості перовськітної фази у плівках, виготовлених при різних температурах відпалу.

**Результати представлені у вигляді 1 статті в міжнародному журналі, 1 тез та представлені у науковому АрХів**

**Внесок кожного із співавторів у роботу:** співробітники Інституту фізики НАН України, Фесенко О. - 30% ; Яремкевич А.-30%; ; Будник О. -20%; Цебрієнко Т. -20%.

ВАКУУМНО-КОМПРЕСІЙНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ПРОНИКАЮЧИХ  
ПОРАНЕНЬ ЖИВОТА І ВНУТРІШНЬО-ЧЕРЕВНИХ ЗАПАЛЕНЬ.

Неймаш В.Б.<sup>1</sup>, Поварчук В.Ю.<sup>1</sup>, Серов В.А.<sup>1</sup>, Гостєва Є.В.<sup>2</sup>, Ліфшиц Ю.З.<sup>3</sup>, Фурманов Ю.О.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Лабораторія радіаційних технологій ІФ НАН України

<sup>2</sup> ТОВ РАДІТЕХ

<sup>3</sup> Клініка ОКСФОРД МЕДИКАЛ

<sup>4</sup> Центр інноваційних медичних технологій НАН України

Високоенергетичне електронне опромінення застосовано для радіаційної зшивки полімерів, для формування наночастинок радіаційним відновленням іонів срібла та для радіаційної стерилізації в технології виготовлення оригінального пристрою для вакуумної терапії і динамічної санації органів черевної порожнини. **Актуальність** роботи, зумовлена потребою засобів зниження летальності при застосуванні вакуумної терапії для лікування органів черевної порожнини людини.

**Результатом роботи** є: розробка конструкції і технології виготовлення та впровадження у виробництво оригінального пристрою, який не тільки забезпечує зменшення механічних пошкоджень чутливих тканин при застосуванні традиційної вакуумної терапії, але й надає нові раніше не доступні можливості прямої динамічної санації органів черевної порожнини.

**Новизна** результатів роботи полягає у розробці, виготовленні і практичній апробації з позитивним результатом пристрою, що не має аналогів у сучасній медичній практиці.

Приблизно 70% роботи **виконано в Інституті фізики НАН України в 2021 р.**

За думкою медичного директора клініки ОКСФОРД МЕДИКАЛ доктора медичних наук Ю.З.Ліфшица та керівника науково-організаційного відділу Центру інноваційних медичних технологій НАН України доктора медичних наук, професора, заслуженого діяча науки і техніки України, одного із авторів технології електрозварювання живих тканин Ю.О.Фурманова розроблений і апробований пристрій має значні **перспективи практичного застосування** в тактичній медицині лікування проникаючих поранень, в хірургії перитонітів та інших галузях. За даною розробкою подана заявка на винахід і представлено доповідь на міжнародній конференції з хірургії в Берліні у вересні 2021.

**Ємнісна система вимірювання рівня кріогенної рідини**

Жарков І.П., Паламарчук І.П., Сафронов В.В., Селіванов О.В., Солонецький А.Г., Ходунов В.О.

**Анотація доповіді на XLVII ПНК-2021**

З метою створення ємнісної системи вимірювання рівня кількох типів рідкого кріоагента без зміни конструкції чутливого датчика рівнеміра вперше в Україні, СНД і в світі розроблена на принципі частотного детектування резонансного метода вимірювання і виготовлена вказана система, захищена патентом України №14993. Розробка впроваджена у відділі електроніки твердого тіла Інститута фізики, в Інституті металофізики ім. Г.В.Курдюмова та Інституті фізики напівпровідників ім.В.Є. Лашкарьова НАН України.

По результатам розробки отриманий 1 патент України та опублікована стаття в УФЖ. – 2021. - №4.с.88-98.



**Ефект переключення електропровідності в InGaAs/GaAs гетероструктурах з квантовими ямами**

**П.А. Більовський, М.М. Винославський, В.В. Вайнберг, О.С. Пилипчук, В.М. Порошин**

**Актуальність роботи**

Явище резистивного переключення спостерігається в різних напівпровідникових та діелектричних матеріалах, та структурах на їх основі. Такі дослідження є одними з найбільш актуальних в фізиці твердого тіла. Вони представляють великий інтерес як для прикладних застосувань, так і для розвитку фундаментальних знань. Напівпровідникові гетероструктури з тунельно-зв'язаними квантовими ямами (КЯ) і неоднорідним профілем легування дельта-шарами домішки та ефекти гарячих електронів в них, в свою чергу, показали перспективність для розробки нових приладів оптоелектроніки. Проте на даний час практично не досліджені можливості досягнення довготривалої зміни провідності таких систем після впливу коротких (~100 нс) імпульсів гріючого носії електричного поля. Метою роботи є дослідження ефекту резистивного переключення в КЯ різної конфігурації з неоднорідним профілем легування.

**Результатом роботи є:**

Встановлено, що в структурах з тунельно-зв'язаними парами КЯ різної ширини та з  $\delta$ -шаром домішки у вузькій КЯ при низьких температурах (~4 К) після впливу імпульсів гріючого електроні електричного поля спостерігається явище резистивного переключення низькопольової латеральної електропровідності. Збільшення величини провідності досягає одного порядку і залишається стабільним на протязі тривалого часу. В інших конфігураціях КЯ ефект відсутній. Прослідковано залежність характеристик переключення від концентрації дельта-домішки та параметрів КЯ. Для пояснення запропонована модель, яка враховує формування дельта-шаром домішки енергетичної зони у вузькій КЯ та її можливість обміну електронами з квантово-розмірною підзоною у широкій КЯ.

**Новизна результатів:** результати отримані вперше.

**Дана робота повністю виконана в Інституті фізики саме у 2021 році.**

**Наукове значення або перспективи практичного застосування результатів роботи.**

Результати досліджень є корисними для розуміння процесів зумовлених гарячими носіями у гетероструктурах з квантовими ямами та можуть знайти застосування при розробці оптоелектронних та електронних приладів призначених для перемикання, логічного управління, тощо.

**Публікації**

Resistive switching effect in the n-InGaAs/GaAs heterostructures with double tunnel-coupled quantum wells. P. A. Belevskii, M. N. Vinoslavskii, V. V. Vainberg, O. S. Pylypchuk, and V. N. Poroshin// Low Temperature Physics/Fizika Nizkikh Temperatur, 2022, Vol. 48, No. 2, pp. 176–180.

**Внесок кожного із співавторів у роботу (у відсотках):(100/5=20%).**

## Структурні та оптичні властивості тонких плівок CdTe легованих ітербієм – ефективних поглинаючих шарів для сонячних елементів CdS/CdTe.

А.П. Буківський, Ю.П. Гнатенко, П.М. Буківський (Інститут фізики НАНУ), А.С. Опанасюк, Д.І. Курбатов, М.М. Колесник (Сумський державний університет)

1. **Актуальність** роботи визначається тим, що кристали CdTe є дуже важливим напівпровідниковим матеріалом для розробки та виготовлення ефективних сонячних елементів, детекторів ближнього інфрачервоного випромінювання, детекторів рентгенівських і  $\gamma$ -променів та інших пристроїв сучасної оптоелектроніки. На даний час ефективність тонкоплівкових сонячних елементів на основі поглинаючого шару CdTe досягла 22,1 %, що близько до значення для кристалічного кремнію (26.7%). Однак, теоретично можливе значення для перших складає 33 %, в той час як для Si лише 29.4 %. Таким чином, сонячні елементи на основі CdTe мають ще значний потенціал, реалізація якого в значній мірі залежить від його кристалічної та оптичної якості, оскільки вони в свою чергу визначають електронні властивості напівпровідникових матеріалів.

2. **В цій роботі представлено результати** досліджень впливу рідкісноземельних елементів (РЕ) ітербію на енергетичну та кристалічну структуру тонких плівок CdTe як адсорбуючих шарів для сонячних елементів CdS/CdTe. Це дозволило:

- встановити механізми росту тонких плівок та гетерування РЕ неконтрольованих домішкових атомів;
- визначити природу власних і домішкових дефектів в таких матеріалах;
- виявити конверсію провідності плівок CdTe:Yb від р- до n-типу, формування комплексних акцепторних центрів та значне покращення їх кристалічної структури, а також оптичної якості;
- встановити кореляції між структурними та оптичними властивостями таких плівок, що дозволило оптимізувати технологічні умови їх отримання.

Ці результати відкривають шлях отримання тонких плівок CdTe:Yb із контрольованими кристалічною структурою та електронними властивостями як ефективних адсорбуючих шарів для перспективних сонячних елементів на основі CdS/CdTe.

3. **Новизна** результатів : *вперше* досліджено вплив рідкісноземельної домішки ітербію на структурні та оптичні властивості тонких плівок CdTe.

4. **Наукове значення або перспективи практичного застосування** результатів роботи. Виявлено та встановлено механізм гетерування неконтрольованих домішок. Результати проведених досліджень кристалів важливі для покращення структурної та оптичної якостей поглинаючих шарів для сонячних елементів CdS/CdTe з метою підвищення їх ефективності.

5. В Інституті фізики НАНУ проведено оптичні дослідження напівпровідникових матеріалів, аналіз отриманих в роботі результатів та оформлення статей до друку, в Сумському держуніверситеті – виготовлення тонких плівок та їх структурні дослідження.

### **Результати роботи опубліковані в наступних журналах :**

1. Yu.P. Gnatenko, P.M. Bukivskij, R.V. Gamernyk, A.P. Bukivskii, M.S. Furyer, M.M. Kolesnyk, D.I. Kurbatov, A.S. Opanasyuk, Study of structural and optical properties of CdTe:Yb thin films, *Physica B: Condensed Matter*, 627 (2022) 413529. Q2.

2. Yu.P. Gnatenko, P.M. Bukivskij, R.V. Gamernyk, A.P. Bukivskii, M.S. Furyer, M.M. Kolesnyk, D.I. Kurbatov, A.S. Opanasyuk, Photoluminescence of CdTe thin films doped with Yb, *Journal of Luminescence*, 237 (2021) 118208. Q2.

3. Yu.P. Gnatenko, P.M. Bukivskij, R.V. Gamernyk, A.P. Bukivskii, M.S. Furyer, M.M. Kolesnyk, D.I. Kurbatov, A.S. Opanasyuk, Effect of Yb-doping on structural and optical properties of CdTe thin films, their defect structure and type of conductivity, Book of Abstracts of II International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Temperature Physics 2021, Kharkiv, Ukraine, p. 183.

**Обернена задача дифракції для комплексних об'єктів.  
Оптимізація алгоритмів альтернативних проєкцій.  
О.В. Кузьменко**

Однією з найбільш складних обернених задач дифракції є задача знаходження комплексного поля об'єкта  $f, f = f(r), r = (x, y)$  по картині розподілу амплітуди  $|g|, g = g(w), w = (u, v)$  в зоні дифракції Френеля або Фраунгофера. В когерентній оптиці, X-ray кристалографії, електронній мікроскопії, біофізиці та інших областях досліджень ця задача відома як фазова проблема [1]:

потрібно знайти комплексний вектор  $f \in \mathbb{C} \subset \mathbb{C}^N$  з відомого розподілу амплітуд поля в зоні дифракції

$$g_m = |\langle F_m f \rangle|, m = 0, 1, 2, \dots, M-1, (M > N)$$

де  $g_m \in \mathbb{R}_+$ , лінійне відображення  $F_m: \mathbb{C}^N \rightarrow \mathbb{C}^M$ ,  $F_m$  – вектори-стовбці вимірювальної матриці  $F^{M \times N}$ , яка представляє перетворення Френеля або Фур'є,  $N$  – база об'єкта,  $M$  – кількість необхідних вимірювань. Множина  $\mathbb{C}$  представляє собою обмеження на об'єкт  $f$  – відомості про його координати, розрідженість і таке інше, які, при їх правильному виборі, забезпечують існування та єдиність рішення, в загальному випадку з точністю до фазового і просторового зсувів та спряженої інверсії. Некоректність (ill-posedness) проблеми (поскільки  $\{g_m\}$  є невиконана множина) і в той же час її важливість для практики спричинили появу величезної кількості робіт присвячених її вирішенню як в non-convex так и convex постановках.

Нами запропонований [2], простий в математичному відношенні, новий метод ініціалізації класичних алгоритмів ER і НІО, який забезпечує ефективну реконструкцію довільного комплексного об'єкта  $f$  з точністю до фазового зсуву при використанні: 1) двох амплітудних розподілів  $\{g_m^{1,2}\}$ , тобто двох картин дифракції, які отримують в оптичному експерименті з використанням двох (прямої та оберненої до неї) ймовірнісних бінарних амплітудних масок  $BM^{1,2}(r)$ , що накладаються на об'єкт; 2) використанням, на стадії розрахунків, всіх трьох (на відміну від традиційного одного) ступенів свободи ймовірнісного розподілу фаз  $\varphi(r)$  комп'ютерно структурованого освітлення  $\mu(r) = e^{i\varphi(r)}$ . Наведено результати модельних експериментів по вирішенню фазової проблеми у випадках дифракції Френеля та Фраунгофера для ряду двовимірних комплексних об'єктів різного типу, з яких слідує, що: 1 - при використанні ймовірнісних фазових функцій для формування початкової оцінки шуканої комплексної функції об'єкта в ітераційних GS, ER та НІО алгоритмах вирішення фазової проблеми в оптиці необхідна їх оптимізація по типу, виборці та величині інтервалу фаз; 2 - при значній зашумленості вихідних даних дифракції ( $\geq 5\%$  по енергії), залежність точності рішення від типу, виборки та інтервалу початкового розподілу фаз практично відсутня.

[1] Yoav Shechtman, Yonina C. Eldar, Oren Cohen, Henry N. Chapman, Jianwei Miao, and Mordechai Segev. Phase Retrieval with Application to Optical Imaging. IEEE Signal Processing Magazine, May 2015, pp. 87-109.

[2] A.V. Kuzmenko. Phase retrieval of arbitrary complex-valued objects on using computational structured illumination (work is being prepared for publication).

**Локалізація частинок методом локальних градієнтів та його застосування у нанометровій стабілізації мікроскопа.**

*Анатолій Кащук, Олександр Передерій, Анатолій Негрійко, Chiara Caldini, Lucia Gardini, Francesco S. Pavone and Marco Capitanio*

1. **Актуальність роботи:** відповідно до зростаючої ролі яку відіграє локалізація мікро та нанорозмірних частинок у низці біологічних методів, робота є актуальною. На обов'язкове питання "broad interest?" наукового видання у якому робота планується бути опублікована, рецензенти відповіли як Moderate/High/High.
2. **Основний науковий результат:** результатом роботи є розробка методу локальних градієнтів. Метод буде корисним при локалізації частинок захоплених оптичним пінцетом, трекінгу частинок та у системах активної механічної стабілізації.
3. **Новизна результатів:** новий метод локалізації, який визначає координати частинок з радіальною симетрією. Робить це швидше та точніше за вже існуючі методи.
4. **Виконана в Інституті Фізики:** реалізація методу на Python та порівняння результатів з результатами інших методів здійснена на ПК у 2021 р.
5. **Перспективи практичного застосування:** метод може бути корисним при вирішенні задач, що потребують швидкої та точної методики локалізації, в системах де критичною є нано чи субмікронна стабільність і ця стабільність може з часом порушуватися: у мікроскопії надвисокої роздільної здатності, при вимірюванні біомолекулярних сил взаємодії при маніпулюванні частинками у оптичному пінцеті, для трекінгу окремих молекул у мікрогідродинамічних пристроях, у системах активної механічної стабілізації оптичного мікроскопа, флуоресцентній мікроскопії надвисокої роздільної здатності. Слабка залежність методу від фонові інтенсивності робить його придатним для локалізації частинок в умовах нерівномірного освітлення та високого шуму зображення. Можливість змінювати один з параметрів методу – розмір скануючого вікна – дозволяє селективно обирати об'єкти потрібного розміру. Створений працювати з усіма радіально симетричними частинками незалежно від виду мікроскопії (флуоресцентна, світопольна, голографічна). Здатен визначати координати частинок, що лише частково знаходяться у полі зору камери.
6. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2021.11.11.468294v1>
7. Анатолій Кащук – 57%; Олександр Передерій, Анатолій Негрійко – 15%; Chiara Caldini, Lucia Gardini, Francesco S. Pavone and Marco Capitanio – 28%.

## Часороздільна мікроскопія фемтосекундних лазерних філаментів у плавленому кварці

І.В. Блонський, **В.М. Кадан**, І.А. Павлов, А.М. Дмитрук, П.І. Коренюк

**Актуальність роботи.** Розповсюдження ультракоротких надпотужних світлових імпульсів фемтосекундної тривалості супроводжується їх філаментацією, тобто розбиттям суцільного променя на дискретні треки з надвисокою ( $>10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>) питомою потужністю та напруженістю Е/М поля, порівняльною з внутрішньоатомною напруженістю. Це сприяє більш виразному прояву або виявленню нових нелінійнооптичних явищ, які представляють значний науковий та практичний інтерес. Зокрема, нелінійне перетворення лазерного імпульсу в філаментах проявляється у вигляді їх часового самотиснення, розщеплення та надсвітлового поширення. Просторове розділення і самотиснення фемтосекундних імпульсів очікуються теоретично, але реєструються експериментально різними непрямими методами (автокореляція, спектральна модуляція) шляхом аналізу вихідних імпульсів вже після того, як відбулося часове розділення. Розвиток же цього процесу безпосередньо в прозорому діелектрику експериментально досі не спостерігався.

**Основний науковий результат.** З використанням нової створеної нами оригінальної методики часороздільної поляризаційної мікроскопії **вперше** спостережено основні часові етапи процесу фемтосекундної філаментації в базовому оптичному конструкційному матеріалі — плавленому кварці. При цьому використання власноруч укороченого (із 140 до 60 фс) зондувального імпульсу дозволило розкрити такі важливі етапи його трансформації, як часове самотиснення, просторове і часове розділення, утворення конічної хвилі, суб- і надсвітлового поширення розщеплених імпульсів з часовою роздільною здатністю  $\sim 70$  фс. Ці та ряд інших результатів вдалось вперше отримати завдяки тому, що миттєва форма імпульсу реєструвалась не після того, як імпульс повністю пройшов досліджуване середовище, а безпосередньо всередині нього. Окрім цього встановлено, що максимальне часове самотиснення імпульсу відбувається у провідному субімпульсі після події розщеплення, а зона Бесселя утворення конічної хвилі є зміщеною назад від фронту імпульсу. Виміряно суб- та надсвітлові швидкості поширення максимумів субімпульсів,

**Основні результати отримано в 2021 році.** Розроблено схему часороздільної мікроскопії, створено її діючий макет з використанням додатково стиснутого зондувального імпульсу, досліджено всі етапи процесу фемтосекундної філаментації в модельному об'єкті — плавленому кварці.

Внесок авторів:

І.В. Блонський (15%), В.М. Кадан (45%), І.А. Павлов (15%), А.М. Дмитрук (15%), П.І. Коренюк (10%)

### Публікації

V. Kadan, I. Blonskyi, S. Pavlov. Time-resolved microscopy of femtosecond laser filaments in fused quartz. Optics Communications 505 (2022) 127497

Незвичні зміни магнітоопору тонкої пластини W(100), спричинені високотемпературним відпалом

**С.В. Сологуб**, І.В. Борденюк

Монокристалічні пластини вольфраму (W) різної кристалографічної орієнтації широко використовуються як підкладки для експериментального дослідження процесів, що відбуваються на поверхні металів. Вивчення взаємодії водню (дейтерію) з поверхнею W, для якого зручно використовувати пластини вольфраму, є **актуальним** з огляду на важливість цього процесу для функціональних характеристик першої стінки термоядерних реакторів.

Нами в умовах надвисокого вакууму та гальваномагнітних розмірних ефектів - статичного скін-ефекту і поперечного магнітоопору ( $T \approx 5$  K), вимірювався магнітоопір тонкої ( $\approx 100$   $\mu$ m) пластини W(100). Ці вимірювання проводилися між ізохронними відпалами пластини (з атомно чистою чи попередньо вкритою дейтерієм поверхнею) з послідовним збільшенням чи зменшенням температури в межах  $5 \text{ K} \leq T \leq 2670 \text{ K}$ . **Основним результатом роботи** є виміряна *незвична* (немонотонна чи спадаюча) зміна магнітоопору пластини в процесі відпалу в інтервалі температур  $1500 \text{ K} \leq T \leq 2670 \text{ K}$  (поверхні пластини при таких температурах є атомно чистими), яка є *зворотною* в інтервалі  $2000 \text{ K} \leq T \leq 2670 \text{ K}$  і яка має *об'ємну* (не поверхневу) природу. Такий ефект спостерігався лише для пластин, на яких багаторазово адсорбували (десорбували) дейтерій, але не фіксується для “нових” пластин, які не використовувалися в адсорбційно-десорбційних експериментах.

**Новизна** результатів полягає в тому, що про таку незвичну поведінку магнітоопору (чи електричного опору) вольфраму раніше не повідомлялося (наскільки це відомо авторам).

Аналіз результатів представлених досліджень проведений **в 2001р. в інституті фізики НАНУ**

**Наукове і практичне значення досліджень** полягає в поглибленні розуміння процесів, які відбуваються в вольфрамі при тривалій взаємодії з дейтерієм (воднем) в широкому діапазоні температур та впливу цих процесів на об'ємні (приповерхневі) властивості вольфраму.

**Представлені результати опубліковані:** у збірнику тез конференції [1], деякі деталі досліджень висвітлені в огляді [2]:

1. I.V. Bordeniuk, S.V. Sologub, R.H. Amirov, Unusual magnetoresistance changes of thin deuterium-covered W(100) plate induced by high-temperature annealing, *Book of Abstracts of Ukrainian Conference with International Participation “Chemistry, physics and technology of surface”*, Kyiv, Ukraine, 26–27 May 2021, p. 37.
2. S.V. Sologub, I.V. Bordeniuk, R.H. Amirov, N.V. Petrova, I. N. Yakovkin, Adsorption-induced increasing specularly of conduction electrons' surface scattering, *Surface Review & Letters*, **28** (2021) 2130001 (11).

**Внесок у виконання роботи** кожного з авторів рівнозначний і складає 50%.

## КОЛАПС СОЦІОЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ З ОБМЕЖЕНИМ РЕСУРСОМ, ЗУМОВЛЕНИЙ ЕПІДЕМІЧНИМ ШОКОМ

**О.В. Ключніченко, І.С. Ганджа, С.П. Лук'янець**  
*Інститут фізики НАН України, м. Київ*

**Актуальність.** Розглянуто відгук соціоекономічної системи на системний шок, викликаний поширенням епідемії (інформації, суспільних настроїв тощо) в групі економічних агентів з обмеженим фінансовим ресурсом. Досліджено механізми, що визначають характерні швидкості й перерізи реакцій (напр., частоту інфікування) та механізми зворотного зв'язку між соціальною (демографічною) та економічною (зокрема, фінансовою) підсистемами. Проаналізовано динамічні фазові переходи, що обумовлюють розвиток системної кризи та виникнення колапсу як нового фазового стану системи.

**Основні результати роботи.** Базуючись на агент-орієнтованій моделі, де економічного агента розглядають як багаторівневий атом, що описується набором внутрішніх дискретних станів (напр., активний/пасивний або здоровий/хворий/інфікований тощо) та набором зовнішніх динамічних змінних, в тому числі його доходом, (1) запропоновано і обґрунтовано, принаймні для груп з низьким та середнім рівнем доходів, активаційний (надбар'єрний) механізм зв'язку між популяційною і фінансовою підсистемами, (2) показано наявність трикритичної точки і можливість виникнення колапсу як нового фазового стану в соціоекономічній системі з обмеженим економічним ресурсом (дворівневе наближення), що відповідає охолодженню фінансового ринку за рахунок переходів між двома дискретними станами агентів (пасивний/активний), викликаних зовнішнім полем контагіона, (3) враховуючи залежність швидкостей реакцій від локальної густини агентів (флуктуацій), було показано неоднозначність обмежувальних заходів, а також розглянуто різні стратегії пом'якшення, як соціальні (напр., карантин, дистанціювання), так і фінансові (субсидії, стратегія позик, зміна податкової політики), (4) запропоновано узагальнену багаторівневу модель агентів у наближенні повільних часів із врахуванням залежності швидкостей від локальної густини та наявності додаткового поля забруднення (fomites).

**Новизна отриманих результатів.** Запропоновано нову узагальнену соціоекономічну модель, яка поєднує динаміку розвитку спредінгового процесу (зокрема, епідемії) та динаміку фінансового ринку для групи агентів з обмеженим фінансово-економічним ресурсом. Вперше показано від'ємний зворотний зв'язок між демографічною і фінансово-економічною підсистемами, що реалізується через активаційний (надбар'єрний) механізм, який було послідовно обґрунтовано, виходячи з Больцман-Гібсового характеру статистики рівноважного розподілу доходів. Розвинений у роботі підхід узагальнює стандартні моделі SIR, SIQR і SIRD та враховує залежності кінетичних коефіцієнтів (перерізів реакцій, частоти зіткнень, часів релаксації) від локальної густини агентів, характерних часових масштабів, а також враховує непрямий механізм зараження (fomites). Наближення повільних часів відповідає формальному усередненню мережевої моделі. Розвинений підхід дозволяє описати: ефекти колапсу, викликані епідемічним шоком, охолодження фінансового ринку, наявність трикритичних точок для фазових діаграм системи, можливі фінансові та соціальні заходи пом'якшення.

**Роботу виконано в Інституті фізики НАНУ впродовж 2020-2021 рр.**

**Наукове значення або перспективи практичного застосування результатів роботи.** Розвинені в роботі підходи та запропонована динамічна модель (базова та розширена) враховують соціально доступні керуючі параметри та зворотній економічний зв'язок для спредінгових процесів (зокрема, епідемічних). Їх можна використати для ефективного моделювання процесів поширення, прогнозування кризових нестійкостей, визначення критеріїв виникнення колапсу систем, оцінки ризиків у соціоекономічних системах з обмеженим фінансово-економічним ресурсом та можливих фінансово-соціальних заходів пом'якшення системного (епідемоподібного) шоку.

**Результати роботи опубліковано в:**

- [1] I.S. Gandzha, O.V. Kliushnichenko, S.P. Lukyanets, *A toy model for the epidemic-driven collapse in a system with limited economic resource*, **Eur. Phys. J. B** **94**, 90 (2021). [doi: 10.1140/epjb/s10051-021-00099-7](https://doi.org/10.1140/epjb/s10051-021-00099-7)
- [2] I.S. Gandzha, O.V. Kliushnichenko, S.P. Lukyanets, *Modeling and controlling the spread of epidemic with various social and economic scenarios*, **Chaos, Solitons & Fractals** **148**, 111046 (2021). [doi: 10.1016/j.chaos.2021.111046](https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111046)  
та в тезах трьох міжнародних конференцій у 2021 році.

**Внесок кожного зі співавторів:** порівню.

## Стрибова енергетична релаксація носіїв заряду в аморфних органічних напівпровідниках: експеримент та Монте-Карло моделювання

Станкевич А.<sup>1</sup>, Вахнін О.<sup>1</sup>, Bäessler H.<sup>2</sup>, Köhler A.<sup>2</sup>, Кадащук А.<sup>1</sup>:

<sup>1</sup>Інститут фізики НАН України,

<sup>2</sup>University of Bayreuth, Germany

### 1. Актуальність роботи:

Енергетична релаксація електронних збуджень в системі локалізованих рівнів в межах функції розподілу густини станів (Density-of-States (DOS)) в аморфних органічних напівпровідниках (АОН) відбувається за рахунок стрибкових переходів в напрямку хвостових станів DOS. Це явище добре досліджене для екситонів і відоме як ефект «спектральної дифузії», що зазвичай спостерігається як плавний зсув спектрів люмінесценції із збільшенням часу затримки після імпульсу збудження. Нажаль, для носіїв заряду такі експериментальні дослідження є неможливими, хоча якраз розподіл релаксованих носіїв в хвостовій частині DOS визначає величину їх стрибкової рухливості. Тому розробка методик дослідження енергетичної релаксації зарядів залишається актуальною проблемою.

**2. Результатом роботи [1]** є наступне: (i) показано, що термо-стимульована люмінесценція (ТСЛ) безпосередньо відображає низько-температурний розподіл зайнятих станів DOS; (ii) ТСЛ дослідження великого числа органічних систем виявили важливу закономірність - напівширина профілю кривої ТСЛ та напівширина DOS відрізняється на постійний фактор  $\approx 2/3$ ; (iii) Даний ефект був підтверджений за допомогою Монте-Карло (МК) моделювання відповідних процесів, виконаного як для енергетично рандомної системи, так і для системи з просторовими енергетичними кореляціями поміж локалізованих станів.

**3. Новизна** результатів полягає в тому, що (i) ми вперше експериментально встановили та підтвердили за допомогою Монте-Карло моделювання значне звуження спектру зайнятих локалізованих станів при пониженні температури; (ii) встановили існування універсального співвідношення між шириною такого спектру та шириною DOS; (iii) вперше виконали МК-моделювання енергетичної релаксації в системі із просторовими енергетичними кореляціями і встановили, що врахування таких кореляцій є необхідною умовою для кількісного узгодження із експериментальними результатами.

**4.** В Інституті фізики був виконаний експеримент, написана Python-програма для Монте-Карло моделювання та виконано комп'ютерне МК-моделювання у співпраці із німецькими колегами під час стажування А. Станкевича в Університеті м. Байройт у 2021 р. Органічні матеріали отримані із Університету Байройта та компанії Мерк (Дармштадт).

**5. Наукове значення** роботи полягає в тому, що було встановлено універсальне співвідношення між ширинами ФГС та розподілом локалізованих носіїв при низьких температурах; пояснений ефект звуження спектру зайнятих локалізованих станів при пониженні температури; отримані свідчення про наявність енергетичних кореляцій в АОН.

**5. Практичне значення** роботи полягає в тому, що запропоновано новий та зручний метод отримання параметру напівширини ФГС за допомогою аналізу напівширини кривої ТСЛ.

Публікація по результатам роботи:

[1] *"Impact of energy correlations on narrowing of occupied density of state distribution for charge carriers at low temperatures in disordered organic semiconductors"*

A. Stankevych, R. Saxena, A. Vakhnin, J. Genoe, H. Bäessler, A. Köhler, A. Kadashchuk

Submitted to *Physical Review B*. (2022).



**Орієнтація адсорбованих полярних молекул (диполів) у зовнішньому  
електростатичному полі**

О. М. Габович, **О. І. Войтенко**

**Актуальність роботи** полягає в тому, що вона пропонує новий варіант молекулярної системи як елементу мережі пам'яті з перемиканням.

**Результатом роботи** є точний загальний аналітичний розв'язок для поведінки полярної молекули (точкового диполя) поблизу пласкої поверхні розділу між двома класичними діелектриками під дією зовнішнього електричного поля та докладний аналіз цієї поведінки, наприклад, при застосуванні молекули в якості елементарного перемикача в мережі молекулярної пам'яті або при керуванні нахилом адсорбованих на поверхні молекул.

**Новизна результатів.** Представлені результати були отримані вперше в світовій літературі.

**Яка частина роботи виконана в Інституті:** 100%.

**Наукове значення або перспективи практичного застосування результатів роботи.** Результати роботи мають бути та будуть застосовані в якості контрольних при подальшій розробці теорії на випадок більш складних багато-шарових систем.

**Публікація:** A M Gabovich and A I Voitenko. Orientation of adsorbed polar molecules  
(dipoles) in

external electrostatic field. *J. Phys.: Condens. Matter* 33 (2021) 035004.

<https://doi.org/10.1088/1361-648X/abb997>

**Внесок кожного із співавторів у роботу:** О. М. Габович – 50%, О. І. Войтенко – 50%.

**Розсіювання радіально поляризованого пучка на металевих мікрокульках: формування фотонного наноструменя.**

**Плутенко Д. О.**, Васнецов М. В.

Фотонні нанострумені (ФНС) викликають інтерес як інструмент подолання дифракційної межі фокусування світлових пучків. Більшість досліджень у цій галузі спрямовані на утворення ФНС шляхом дифракції світла на діелектричних мікросферах та інших діелектричних мікрочастинках. Наскільки нам відомо, утворення наноструменя шляхом розсіювання світла на повністю металевих мікрочастинках до нас ще не розглядалося.

Ми показали можливість формування локалізованої високоінтенсивної структури поля в тіньовій області розсіювача при дифракції радіально поляризованого пучка на металевій мікро та наносфері. У випадку мікрокульок може утворюватися фотонний нанострумінь, у випадку релеївської частинки утворюється структура локалізована по всім трьом осям (hot spot). В наших розрахунках підсилення сягало до 25 разів по відношенню до сильно сфокусованого пучка.

Значний коефіцієнт підсилення, малий поперечний розмір, нульова магнітна складова на осі та поздовжня поляризація електричного поля є характерними рисами таких структур.

Публікація:

D. O. Plutenko, M. V. Vasnetsov “Scattering of the radial polarized beams on the metal spherical particle: plasmonic nanojet formation” - *Frontiers in Physics* - October 2021 — 9:727525

ОДНО- ТА ДВОФОТОННО-ЗБУДЖЕНА ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ (ФЛ) КОМПЛЕКСІВ З  
ВНУТРІШНЬОМОЛЕКУЛЯРНИМ ПЕРЕНОСОМ ЗАРЯДУ (ВПЗ) НА ОСНОВІ  
ТРИЦІАНОБУТАДІЄНКАРБАЗОЛУ (ТЦБК)

М.Б.Малиновський, Ю.П.Пирятинський, М.М. Севрюкова

**Актуальність роботи.** Методами стаціонарної та з пікосекундним розділенням в часі спектроскопій досліджено фотолюмінесцентні властивості гетероциклічних похідних карбазолу ТЦБК в розчинах та конденсованому стані. За допомогою спектроскопій поглинання та відбивання встановлено, що в агрегованому стані досліджувана речовина характеризується одновимірними властивостями, характерними для J-агрегатів. При переході в агрегований стан для комплексів ТЦБК спостерігалось різке зростання нелінійних оптичних властивостей в порівнянні із розчинами та аморфними плівками. Ці властивості, зокрема, виявляються у спостереженні інтенсивної двофотоннозбудженої фотолюмінесценції ФЛ при інфрачервоному ІЧ-лазерному збудженні досліджуваної речовини в області прозорості.

**Перспективи практичного застосування.** Низькі інтенсивності збуджувачого ІЧ випромінювання і висока ефективність його перетворення у видиму ФЛ досліджуваних кристалів та кристалічних плівок дають передумови для використання досліджуваних та подібних до них органічних сполук в опто- та молекулярній електроніці.

**Основний науковий результат.** Однофотонне поглинання в кристалах і плівках ТЦБК зумовлено переходами як із внутрішньомолекулярним, так і з міжмолекулярним перенесенням заряду. При поглинанні світла в кристалах і плівках спостерігається збудження екситонів малого радіусу ЕФ (екситонів Френкеля) і екситонів з перенесенням заряду (ПЗ-екситонів). В зв'язку з цим кінетика затухання ФЛ описується двоекспоненціальною залежністю. При цьому ЕФ мають більші значення швидкості випромінювального переходу, ніж ПЗ-екситони.

**Новизна результатів** полягає у запропонованому нижче поясненні. Енергетичні рівні ПЗ-екситонів і ЕФ розташовані близько, що призводить до їх змішування. ПЗ-екситони набувають домішкових станів ЕФ і стають дозволеними при однофотонному збудженні. Для J-агрегатів, природа електронного збудження пов'язана з ЕФ. ФЛ J-агрегатів поляризована вздовж агрегату, але у ній з'являється ортогональна компонента, що пов'язана з домішкою перенесення заряду. Такий агрегат можна розглядати як J-H-агрегат. Було отримано, що висока ефективність двоквантових процесів у досліджуваних зразках пов'язана з проявом у них електронних властивостей, характерних для низькорозмірних молекулярних структур типу J-агрегатів і кристалів з перенесенням заряду. В таких структурах проявляються колективні властивості екситонів Френкеля ЕФ та екситонів із переносом заряду ПЗ-екситонів. Дослідження з пікосекундним розділенням в часі спектрів ФЛ кристалів ТЦБК при кімнатній і низьких температурах проводились у Інституті фізики НАН України у 2021 році і показали, що в даних кристалах проявляються як вільні, так і локалізовані ПЗ стани.

**Наведені в роботі результати раніше не були опубліковані.**

**Внесок співавторів у роботу є однаковим.**

**Ефект замісника у плівках азо-азометинових полімерних композитів на прояв явищ самовпливу та пружного розсіювання світла на довжині хвилі 532 нм**

**Комаренко Д.О., Овденко В.М., Мультян В.В., Гайворонський В.Я.**

**Актуальність роботи.** У нових барвниках, які містять дві фотоактивні групи різної природи азо- ( $-N=N-$ ) та азометинову ( $-N=CH-$ ), досліджено ефективності: (1) фотоіндукованих змін оптичних параметрів при УФ опроміненні; (2) нелінійно-оптичного відгуку; (3) пружного розсіювання світла на довжині хвилі 532 нм у тонких плівках полімерних композитів. На відміну від традиційних азосполук з одним  $\pi$ -містком  $-N=N-$ , таких як Disperse Red 1 чи Disperse Orange 3, ізомеризація у азо-азометинових молекулах відбувається відразу у двох структурних елементах, що обумовлює зростання при збудженні зміни дипольного моменту молекули, а також збільшенню фотоіндукованих змін показників заломлення та оптичного поглинання при переході від *E*- до *Z*-ізомера. **Новизна** роботи базується на дослідженні ефекту введення додаткової азометинової фрагменти у структуру азо-барвника, а також вплив донорно-акцепторних властивостей замісника у пара-положенні до азометинового фрагменту у тонких плівках ПММА з 1% (мас) фотоактивної речовини, на прояв явищ самовпливу лазерного випромінювання та індикатрис світлорозсіювання на довжині хвилі 532 нм.

**Результати роботи.** Під впливом УФ опромінення швидкість фотоіндукованої ізомеризації азо-азометинів з донорними замісниками у пара-положенні до  $-N=CH-$  групи ( $-CH_3$ ,  $-OCH_3$ ), а також для незаміщеного азометану ( $-H$ ), значно перевищує швидкість ізомеризації азо-азометинів з акцепторними замісниками ( $-NO_2$ ,  $-COCH_3$ ). Останні демонструють значно вищу швидкість зворотнього  $Z \rightarrow E$  процесу. Слід відзначити, що зростання **донорності** в композитах з електроно-донорними замісниками підсилює прояв ефекту **самофокусування** лазерного випромінювання ( $\Delta n > 0$ ), у той час як для барвників з електрон-акцепторними групами спостерігався ефект **самодефокусування** ( $\Delta n < 0$ ). Це спостереження корелює зі зростанням екстинції внаслідок пружного розсіювання світла при переході від донорних замісників до акцепторних. Було показано, що при опроміненні полімерних композитних плівок повним спектром ртутної лампи призводить до зростання ефективності самофокусування неперервного лазерного випромінювання на довжині хвилі 532 нм.

Суттєве **практичне значення** має результат, що внаслідок УФ опромінення барвника з акцепторною  $-NO_2$  групою відбувається переключення знаку фотоіндукованих змін показника заломлення (самодефокусування  $\rightarrow$  само-фокусування) при самовпливі неперервного лазерного випромінювання, що обумовлює перспективу використання даної сполуки як оптичного перемикача.

Дослідження явищ самовпливу лазерного випромінювання та індикатрис світлорозсіювання тонких плівок азо-азометинових полімерних композитів виконана в ЛНОДНМ ІФ НАНУ у 2021 році. Автори мають рівні внески (25%) у виконану роботу.

Результати роботи були представлено у доповіді на конференції:

S.O. Lisniak, V.M. Ovdenko, D.O. Komarenko, V.V. Multian, V.Ya. Gayvoronsky - 4-Substituted 2-(((Phenyl)Imino)Methyl)-4-(p-Tolyldiazenyl) Phenols Based PMMA Thin Films: Synthesis and Linear/Nonlinear Optical Characterization- XXV<sup>th</sup> Galyna Puchkovska Int. School-Seminar "Spectroscopy of Molecules and Crystals", Ukraine, Kyiv, September 21-24, 2021, p. 99.

Готується публікація статті.

Керовані поверхневим іонним екрануванням реверсування поляризації і фазові діаграми тонких плівок антисегнетоелектриків: можливість запасання енергії та зберігання інформації

**М. В. Морозовський**, Г. М. Морозовська, Є. А. Єлісєєв,

#### **Актуальність роботи**

Полярні властивості структур на основі тонких сегнетоелектричних і антисегнетоелектричних плівок, що є складовими сучасних перетворювальних пристроїв, визначаються властивостями не тільки матеріалу, але й безпосереднього оточення. Відсутність аналітичного опису, що враховує вплив умов поверхневого екранування, не дозволяє застосувати відомі результати до розрахунків параметрів реальних «відкритих» систем в складі тонких антисегнетоелектричних плівок і поверхневого шару іонів, адсорбованих з оточення.

#### **Основний науковий результат**

**Результатом роботи** є встановлення істотного впливу поверхневого іонного заряду екранування в широкому околі концентрацій на особливості взаємодії антиполярного і полярного параметрів порядку і електропольових характеристик реверсування поляризації.

#### **Новизна результатів**

Вперше показано, що для структур типу «шар іонів - тонка антисегнетоелектрична плівка» електричний зв'язок між іонним зарядом екранування на поверхні і поляризацією в плівці зумовлює керований перехід між сукупністю мішаних антисегнето - сегнетоелектричних і сегнето - антисегнето-іонних станів, яким відповідають гістерезисні петлі поляризація – електричне поле різного типу.

**В Інституті фізики НАН України саме в 2021 році виконана** частина роботи стосовно чисельного моделювання впливу іонного заряду екранування на параметри полярного стану, аналізу результатів та підготовці до публікації статті і матеріалів доповіді на міжнародну фахову конференцію.

#### **Наукове і практичне значення результатів роботи**

Наукове значення полягає в загальності проведеного розгляду для різної природи антисегнетоелектричних наноплівки покритих контрольованим поверхневим іонним зарядом.

Практичне значення полягає у виявленій можливості керування робочими характеристиками тонких антисегнетоелектричних плівок як активних середовищ сучасних накопичувачів енергії – суперконденсаторів, комірок багаторозрядної динамічної і енергонезалежної пам'яті та атмосферних («відкритих») сенсорів.

#### **Результати роботи були частково опубліковані в статті:**

A. N. Morozovska, E. A. Eliseev, A. Biswas, N. V. Morozovsky, and S. V. Kalinin.

“Effect of surface ionic screening on polarization reversal and phase diagrams in thin antiferroelectric films for information and energy storage”. Phys. Rev. Appl., **16**(4), 044053-1-18 (2021).

Внесок співавторів до роботи (у відсотках):

Г. М. Морозовська – 30; М. В. Морозовський – 30; Є. А. Єлісєєв – 30; інші – 10.