

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Півень Олександр Борисович



УДК 77.01.54

**ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ФОТОГРАФІЧНОГО ОБЕРНЕННЯ НА
КРИСТАЛІЗАЦІЮ СРІБЛА В ФОТОШАРІ**

Спеціальність: 01.04.07 – фізика твердого тіла

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Суми 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Черкаському державному технологічному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор
Лопаткін Юрій Михайлович

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук
Жуков Сергій Олександрович,
завідувач лабораторії проблем прикладної фізики та
комп'ютерних технологій Одеського національного
університету ім. І.І. Мечнікова

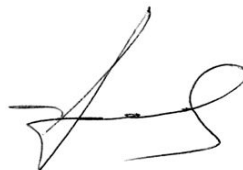
доктор фізико-математичних наук, професор
Пелещак Роман Михайлович,
професор кафедри інформаційних систем і мереж
Національного університету "Львівська політехніка"

Захист відбудеться «07» травня 2021 р. о 11:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.02 при Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корпус Ц, ауд. 219,
E-mail: d55.051.02@sumdu.edu.ua.

Із дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, а також на сайті інституційного репозитарію СумДУ. Режим доступу:
<https://www.sumdu.edu.ua/uk/science/science-info/scientific-infrastructure/specialized-council/permanent-specialized-council/111-55-051-02.html>

Автореферат розісланий « 05 » квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ю.О. Шкурдода

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Значна кількість сучасних досягнень матеріалознавства базується на досягненнях кристалографії та хімії кристалів, тому процес кристалізації є одним із найважливіших фізико-хімічних процесів. Розвиток нано- і лазерних технологій, потреба створення нових типів функціональних матеріалів (композитних, гібридних органічно-неорганічних, багаторівневих ієрархічних та ін.) для широкого спектру промислових застосувань в різних областях науки і техніки породжує необхідність більш глибокого вивчення процесу кристалізації нано- і мікрочастинок благородних металів та їх ансамблів. Наночастинки (НЧ) Ag широко застосовуються в електроніці, молекулярній діагностиці, стратегіях шифрування, каталізі, генній терапії, оптиці і т. д. Крім того, центри прихованого зображення (ЦПЗ) як кристалічні частинки Ag з властивістю проявлення є основними носіями інформації в фотографічних матеріалах на основі мікрочастинок (МК) галогенідів срібла (AgHal). Кристали AgHal з НЧ Ag і пристроями на їх основі перспективні для перетворення світла в постійний струм шляхом розділення електронів і дірок при генерації гарячих електронів в плазмонно-резонансних НЧ металів; для руйнування стійких токсичних органічних забруднювачів під дією видимого світла ($300 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$); для створення конверторів інфрачервоного (ІЧ) випромінювання в видиме. Отже, світлочутливі МК AgBr, що відносяться до МК AgHal, як іонні широкозонні напівпровідники є зручним природним середовищем вивчення закономірностей утворення і росту наночастинок Ag під дією теплових і лазерних джерел світла. Але до цього часу не існує єдиної теорії фотографічного процесу і єдиної точки зору на механізм утворення центрів прихованого зображення (ПЗ), на їх розміри і структуру. Фізичні процеси, які створюють приховане зображення і проходять із участю МК AgHal при переході аморфного срібла (АС) в кристалічне срібло (КС) досліджені недостатньо і потребують більш детального вивчення. Дослідження утворення пересичення по аморфному сріблу і перехід його в кристалічний стан на поверхні МК AgBr можливо при допомозі коагуляційних центрів (КЦ), які виникають при ефекті Гершеля і соляризації. Виявлення основних впливаючих факторів на механізм кристалізації згустків аморфного срібла на поверхні і всередині МК AgHal під дією інфрачервоного лазерного випромінювання є *актуальною задачею* як для розвитку нанотехнологій, так і для вирішення проблем фізики твердого тіла і наукової фотографії.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. В даній дисертаційній роботі представлено результати досліджень частково відповідно до тематичних планів Сумського державного університету в рамках держбюджетної НДР № 0119U101784 “Розробка фізичних основ елементів молетроніки” (2019 - 2021 роки).

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є встановлення умов переходу аморфного срібла фотоемульсій в кристалічне срібло при опроміненні актинічним світлом та при лазерному ефекті Гершеля (ЛЕГ), а також процесів, що відбуваються при лазерній соляризації (ЛС).

Для досягнення цієї мети необхідно було вирішити такі **основні завдання**:

1. Дослідити умови переходу аморфного срібла на поверхні мікрокристалу AgBr в кристалічний стан під дією лазерного інфрачервоного світла;

2. Дослідити вплив лазерного фотоефекту на нормальний лазерний ефект Гершеля (НЛЕГ) та позитивний лазерний ефект Гершеля (ПЛЕГ) в фотошарі;

3. Розробити вісесиметричну модель (ВСМ) утворення коагуляційних центрів і центрів прихованого зображення на їх території при нормальному лазерному ефекті Гершеля;

4. Дослідити при нормальному ефекті Гершеля під дією світла лазера $\lambda = 850$ нм і потужністю $P = 4$ Вт в імпульсі:

– можливість утворення срібних ниток без проявлення фотошару;

– кристалізацію аморфного срібла під дією постійного електричного поля;

– можливість утворення лазерної соляризації при тривалих експозиціях без проявлення фотошару;

5. Дослідити можливість переходу аморфних частинок срібла в кристалічні при температурі 77 К в умовах лазерного ефекту Гершеля при потужностях лазерного світла 2,5 мВт і 10 мВт з довжиною хвилі $\lambda = 633$ нм.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії електромагнітного випромінювання зі світлочутливими мікрокристалами галогенідів срібла і з утвореними під час випромінювання частинками срібла на поверхні і в об'ємі цих мікрокристалів.

Предмет дослідження – згустки Ag в МК AgHal фотоемульсій та кристалізація цих згустків під впливом світла від теплових джерел, пропущеного через світлофільтр та від інтенсивного лазерного монохроматичного світла різних довжин світлових хвиль і різних потужностей лазерів при ефекті Гершеля і соляризації.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Встановлено умови переходу аморфного срібла на поверхні мікрокристалу AgBr в кристалічний стан в рамках комп'ютерної моделі: зі збільшенням потужності P лазера і часу t опромінення зменшується час досягнення згустком критичного розміру; при одночасній дії двох лазерних пучків з різними довжинами хвиль λ при нормальному лазерному ефекті Гершеля енергія кристалізації згустків срібла $\sim 10^{-8}$ Дж.

2. Встановлено, що відбувається трифотонне поглинання частинками Ag в контакті з МК AgBr інфрачервоного лазерного випромінювання від лазерів з різними довжинами хвиль при позитивному і негативному лазерному ефекті Гершеля, зниження червоної границі зовнішнього лазерного фотоефекту для Ag ($\lambda \approx 800$ нм). При позитивному лазерному ефекті Гершеля існує зовнішній лазерний фотоефект і перехід аморфного срібла в кристалічне з утворенням ЦПЗ проявлюваних розмірів, а при негативному лазерному ефекті Гершеля лазерного фотоефекту немає, і аморфне срібло в коагуляційних центрах не кристалізується.

3. Вперше запропоновано теоретичну вісесиметричну модель утворення ЦПЗ на території КЦ, за якою термодинамічний бар'єр знижується до $\approx 8,7 \cdot 10^{-4}$ еВ. Встановлено, що перехід аморфного срібла в кристалічний стан на території КЦ на поверхні напівпровідникових мікрокристалів AgBr відбувається при одночасному виконанні таких умов: пересичення по аморфному сріблу; пересичення по

електронах, які утворилися при нагріванні напівпровідникового мікрокристалу AgBr лазерним інфрачервоним світлом між частинками срібла; пересичення по іонах срібла між частинками срібла в КЦ; наявність сильного електричного поля між частинками аморфного срібла напруженістю $\approx 4,4 \cdot 10^2$ В/см в КЦ; наявність контакту аморфних частинок срібла із напівпровідниковими мікрокристалами AgBr; наявність значного тиску ультразвукової хвилі між частинками аморфного срібла в КЦ; наявність поверхневої світлової густини енергії лазерного випромінювання рівної або більшої 312 Дж/см².

4. Вперше експериментально встановлено що:

- срібні кристалічні нитки значної довжини можуть рости з поверхні мікрокристалів AgBr без дії проявника під час лазерного ефекту Гершеля;
- при одночасній дії ПЧ лазерного світла і постійного електричного поля за умов лазерного ефекта Гершеля збільшується нормальний ефект Гершеля.
- без проявлення і без попереднього травлення мікрокристалів AgBr вся поверхня мікрокристалів AgBr покривається кристалічною срібною плівкою з отворами.

5. Вперше отримано, що при температурі 77 К при довжині хвилі лазерного світла 633 нм і потужності 2,5 мВт утворюються аморфні частинки срібла, а при потужності 10 мВт – кристалічні центри прихованого зображення.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень процесів кристалізації і взаємодії світла з речовиною можуть представляти інтерес для відповідних науково-дослідних лабораторій і навчальних закладів. Перехід фотоіндустрії на цифрову фотографію, друк фотозображень на лазерних принтерах не усунув багатьох процесів, що протікають з використанням срібла, яке міститься в світлочутливих матеріалах, таких, як рентгенівський неруйнуючий контроль (дефектоскопія) різноманітних матеріалів; кількісний і якісний спектральний аналіз розплавленого рідкого чавуну і сталей в мартенівських печах або конверторах; рентгенівський структурний аналіз металів, сплавів, мінералів; діагностику в медицині. Результати проведених досліджень можуть бути використані при виготовленні фотошарів для промислової та наукової рентгенографії; для економії срібла в фотопромисловості; для підвищення світлочутливості низькочутливих фотошарів; для створення нових більш оптимізованих систем реєстрації інформації.

Особистий внесок здобувача. Здобувач повноцінно брав участь на всіх етапах дослідження в усіх опублікованих працях: обговоренні постановлення завдання, проведенні аналітичних розрахунків, удосконаленні комп'ютерних моделей, інтерпретації одержаних результатів, підготовленні їх до опублікування. Усі наукові положення і висновки, винесені на захист, належать авторові дисертації та викладені в працях [1-2]. У працях [3, 4, 5, 9, 10] дисертантом разом із науковим керівником проф. Лопаткіним Ю.М. досліджено та розширено за допомогою комп'ютерної моделі знання кінетики утворення згустків срібла на МК AgBr при дії одного пучка лазерного світла, а також за допомогою іншої комп'ютерної моделі знання кінетики росту згустків срібла на МК AgBr при нормальному лазерному ефекті Гершеля для двох одночасно діючих лазерних пучків. В роботах [1, 2, 7, 8, 15, 16, 17, 18, 19, 20] досліджено, що впливає на кристалізацію

аморфного срібла: дія електричного поля напругою $U = 2\ 000\ \text{В}$ і випромінювання газового лазера з $\lambda = 850\ \text{нм}$, $P = 10\ \text{мВт}$; дія температури $77\ \text{К}$ в умовах лазерного ефекту Гершеля при довжині хвилі лазерного світла $\lambda = 633\ \text{нм}$ і потужності $2,5\ \text{мВт}$ та $10\ \text{мВт}$ за однаковий час дії лазерного випромінювання, а також при кімнатній температурі; вплив ультразвуку на кристалізацію аморфного срібла на поверхні МК AgBr; особливості поглинання інфрачервоного лазерного світла при нормальному та позитивному лазерному ефекті Гершеля; дія поглинутої енергії інфрачервоного лазерного світла; вплив фотоэффекту на нормальний та позитивний лазерний ефект Гершеля; збільшення пересичення по сріблу на поверхні мікрокристалів AgBr при нормальному лазерному ефекті Гершеля. Запропоновано умови переходу аморфного срібла в кристалічний стан на території коагуляційного центру. Створена вісесиметрична модель утворення ЦПЗ на території коагуляційного центру. У працях [6, 12, 13] дисертант разом із співавторами провів дослідження лазерної соляризації і лазерного ефекта Вейгерта і розширив знання про ці явища. У працях [11, 14, 21, 22, 23] дисертант разом із співавторами встановив вплив остовів симетрії на утворення максимальної кількості коагуляційних центрів і центрів прихованого зображення на поверхні МК AgBr; встановив умови утворення срібної нитки без проявлення під дією лазерного світла; особливості ефекта Гершеля від теплових та лазерних джерел світла; механізм роздроблення центрів прихованого зображення на початку лазерного ефекта Гершеля; перехід МК AgBr в п'єзоелектричний стан. Основну частину одержаних наукових результатів дисертант особисто доповів на міжнародних та всеукраїнських конференціях [5–11].

Апробація результатів дисертації. Основні наукові й практичні 7 результатів дисертаційної роботи оприлюднені та обговорені на таких семінарах і конференціях: Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 27-28 жовтня 2018 року); Матеріали та програма науково-технічної конференції секція 2 «Експериментальна фізика» (м. Суми 2011-2014 р.); Восьма Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток наукових досліджень 2012» (м. Полтава 19-21 листопада 2012 р.); Шоста Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток наукових досліджень 2010» (м. Полтава 22-24 листопада 2010). Обговорена на 4 семінарах: фахового семінару кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету (витяг з протоколу від 30 жовтня 2020 р.); науково-дослідного інституту фізики Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова (витяг з протоколу від 28 вересня 2016 р.); наукового семінару кафедри фізики Черкаського державного технологічного університету (витяг з протоколу №1 від 04 жовтня 2011 р.); відділу молекулярної фотоелектроніки Київського Інституту фізики НАН України (витяг з протоколу від 03.11.2010 р.); розширеного засідання кафедри фізичної оптики Харківського державного університету ім. Каразіна (виписка з протоколу №9 від 16 червня 2010 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 23 наукових працях, з яких 3 – індексуються наукометричною базою Scopus, 13 – у фахових журналах, 7 тез – у матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій.

Структура і зміст роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 5

основних розділів, висновків і списку використаних джерел, що налічує 219 найменувань. У цілому дисертаційна робота викладена на 208 друкованих аркушах, з яких 167 – основного тексту, і містить 77 рисунків, 9 таблиць та 1 додаток.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність, сформульовано мету і завдання досліджень, визначено предмет, об'єкт і методи дослідження, наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, визначений особистий внесок здобувача і наведено апробацію результатів роботи та публікації в наукових виданнях за темою дисертації.

У **першому розділі** «Сучасний стан досліджень властивостей нано- і мікрочастинок срібла в матриці МК AgBr низькочутливого фотошару в умовах фотографічного обернення» проаналізовано теорії утворення ЦПЗ, утворення КЦ, срібних частинок та ниток, дію електричного поля на фотошари, розглянуто утворення ефекта Гершеля (ЕГ) і соляризації.

У *першому підрозділі* наведені узагальнені дані про характеристики ЕГ та соляризації в науковій фотографії; квантовомеханічну теорію утворення ЦПЗ Р. Герні і Н. Мотта; оптичні властивості срібних НЧ; метод молекулярної динаміки для опису росту частинок срібла та структурні модифікації некристалічних кластерів срібла, динаміка їх росту і плавлення, структурні переходи кластерів з кубічною, октаедричною огранкою до стабільних кластерів з ікосаедричними огранками; структурні перетворення в МК AgBr при опроміненні.

У *другому підрозділі* розглянуто умови переходу аморфного срібла в кристалічний стан під дією лазерного світла; термодинамічну теорію фотографічної чутливості для утворення срібних ЦПЗ.

У *третьому підрозділі* розглянуто утворення срібних ниток в МК AgBr; вплив електричного поля на емульсійні фотошари; вплив низької температури на кристалізацію аморфного срібла при ЛЕГ; явища ЕГ і соляризації.

У **другому розділі** «Апаратні методики дослідження умов утворення коагуляційних центрів і центрів прихованого зображення при явищах фотографічного обернення та методика створення комп'ютерних моделей кінетики росту згустків Ag» вказано методи дослідження та матеріали для дослідження.

У *першому підрозділі* описано сенситометричний метод одержання нормального ЕГ від теплових і від лазерних джерел світла з побудовою характеристичних кривих (ХК) для визначення величини ефекта Гершеля.

У *другому підрозділі* описано методику виготовлення реплік із не проявлених чистих МК AgBr з фотоемульсії для дослідження в просвічуючому електронному мікроскопі аморфних і кристалічних частинок Ag, що утворилися на поверхні МК AgBr під дією світла, а також для спостереження утворення КЦ при НЛЕГ, а саме: вимоги до реплік зі світлочутливих МК AgBr для одержання емульсійних МК AgBr із фотошару і нанесення на предметні скельця моношару чистих емульсійних МК AgBr і експонування білим світлом мікрочастинок AgBr, нанесених на предметні скельця та відділення реплік від предметного скельця.

У *третьому підрозділі* описано методику травлення МК AgBr фотошару водним розчином $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ для полегшення одержання ЕГ і соляризації.

У четвертому підрозділі описано методику дослідження кінетики росту згустків срібла за допомогою комп'ютерної моделі.

У п'ятому підрозділі описано методику підрахунку сумарного часу дії імпульсного лазерного випромінювання на мікрокристали AgBr.

У третьому розділі «Дослідження особливостей утворення коагуляційних центрів і центрів прихованого зображення під дією інтенсивного лазерного світла в умовах нормального і позитивного лазерних ефектів Гершеля» приведені результати дослідження мікрокристалу AgBr фотошару під дією інфрачервоного лазерного випромінювання при ЛЕГ, та умови переходу аморфного срібла в кристалічний стан, а також результати комп'ютерного моделювання росту згустків срібла.

У першому підрозділі наведені результати дослідження МК AgBr фотошару під дією інфрачервоного лазерного випромінювання при лазерному ефекті Гершеля і описано математичні комп'ютерні моделі (КМ) №1 і КМ №2. Потужність P лазера обраховувалась по формулі:

$$P = N h \nu = N h c / \lambda, \quad (1)$$

де N – кількість фотонів лазерного випромінювання, яке за 1 с попадає на один мікрокристал AgBr ($1 \times 1 \times 0,1$ мкм³) площею 10^{-12} м²; h – стала Планка; c – швидкість світла; λ – довжина лазерної світлової хвилі. Для лазерів обчислювалися значення σ_v – кількість іонів, які утворилися під дією світла і кількість звільнених дірок і електронів в одиниці об'єму мікрокристалу AgBr за 1 с. Для знаходження значень σ_v спочатку обчислювали кількість квантів лазерного випромінювання за 1 с по формулі:

$$N = \eta P \lambda / h c, \quad (2)$$

де P – потужність лазера; λ – довжина лазерної світлової хвилі; h – стала Планка; c – швидкість світла; $\eta = 0,5$ – коефіцієнт корисної дії. Використовуючи значення площі пучка лазерного випромінювання діаметром $3 \cdot 10^{-3}$ м, значення площі умовного мікрокристалу (розміром $0,5 \times 0,5$ мкм²) і N через пропорцію визначали кількість квантів, які упали на площу одного умовного мікрокристалу, а потім визначали кількість квантів, які упали на об'єм умовного мікрокристалу розміром $0,5 \times 0,5 \times 0,1$ мкм³.

КМ №1 описує кінетику росту срібних згустків на поверхні мікрокристалу AgBr фотошару при дії пучка випромінювання одного лазера на мікрокристал AgBr. Показано, що для лазера з довжиною хвилі $\lambda = 633$ нм потужності $P = 0,98$ мВт за час 10^{-5} с на поверхні мікрокристалу AgBr утворюються згустки аморфного срібла, а для лазерів ($\lambda = 633$ нм, $P = 2,5$ мВт, $P = 10$ мВт; $\lambda = 850$ нм, $P = 10$ мВт; $\lambda = 325$ нм, $P = 3$ мВт; $\lambda = 490$ нм, $P = 10$ мВт) при малих (10^{-5} с) і великих (0,5 с) експозиціях утворюються кристалічні частинки срібла. На рис. 1 і 2 наведено результати обрахунків за КМ №1, які показують вплив довжин хвиль та потужностей лазерного випромінювання на об'єм згустків срібла в залежності від часу. Збільшення потужності лазера і часу опромінення зменшує час досягнення згустком критичного розміру.

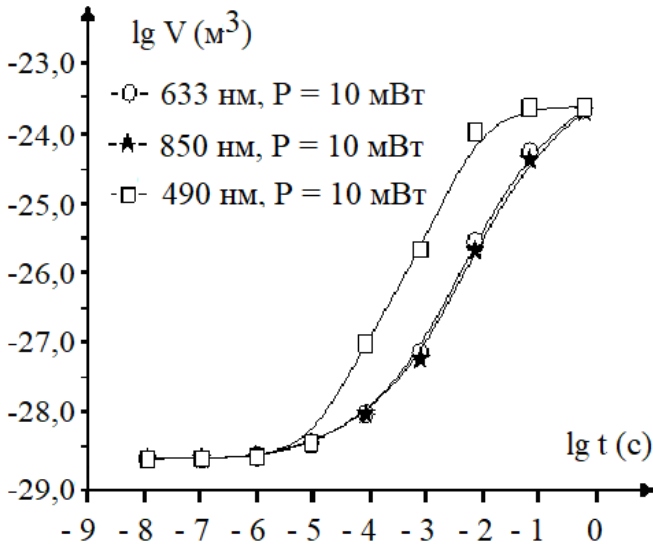


Рисунок 1 – Кінетика росту згустків Ag, створених лазерним світлом різних довжин хвиль на МК AgBr за КМ №1. Показано хід кривих об'єму в залежності від часу.

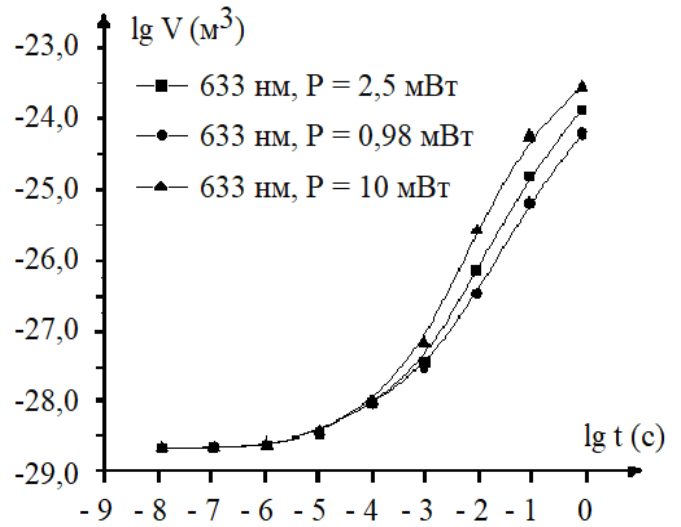


Рисунок 2 – Кінетика росту згустків Ag, створених лазерним світлом різної потужності на МК AgBr за КМ №1. Показано хід кривих об'єму в залежності від часу.

Таблиця 1 – Залежності діаметра d ($d_{кр} = 1$ нм) згустка срібла, об'єму згустка срібла V_{min} , V_{max} і стану згустку срібла S (A – аморфний, K – кристалічний) від різних довжин світлових хвиль λ , потужностей P , і експозицій t_{min} , t_{max} для одного лазерного пучка (за даними КМ №1)

№ п/п	λ , нм	P , мВт	t_{min} , с	V_{min} , M^3	d , нм	S	t_{max} , с	V_{max} , M^3	d , нм	S
1	490	10,0	10^{-5}	$1,8 \cdot 10^{-25}$	$7,0 > d_{кр}$	K	0,5	$4,0 \cdot 10^{-24}$	$19,68 > d_{кр}$	K
2	633	0,98		$1,0 \cdot 10^{-27}$	$0,58 < d_{кр}$	A		$6,7 \cdot 10^{-27}$	$2,34 > d_{кр}$	
3	633	2,5		$1,6 \cdot 10^{-26}$	$3,13 > d_{кр}$	K		$4,2 \cdot 10^{-25}$	$9,28 > d_{кр}$	
4	633	10,0		$6,2 \cdot 10^{-26}$	$4,91 > d_{кр}$			$2,8 \cdot 10^{-24}$	$17,48 > d_{кр}$	
5	850	10,0		$8,2 \cdot 10^{-26}$	$5,39 > d_{кр}$			$3,2 \cdot 10^{-24}$	$18,25 > d_{кр}$	
6	325	3,0		$3,8 \cdot 10^{-26}$	$4,17 > d_{кр}$			$2,0 \cdot 10^{-24}$	$15,64 > d_{кр}$	

У другому підрозділі встановлено фізичні умови, при яких аморфне срібло коагуляційних центрів переходить у кристалічний стан на поверхні МК AgBr під дією інфрачервоного лазерного світла. А саме: пересичення по аморфному сріблу; пересичення по електронам, які утворилися між частинками срібла при нагріванні напівпровідникового мікрокристалу AgBr лазерним інфрачервоним світлом; пересичення по іонам срібла між частинками срібла в КЦ; наявність сильного електричного поля між частинками аморфного срібла напруженістю $\approx 4,4 \cdot 10^2$ В/см в КЦ; наявність контакту аморфних частинок срібла із напівпровідниковими мікрокристалами AgBr; наявність значного тиску ультразвукової хвилі між частинками аморфного срібла в КЦ; наявність поверхневої густини світлової енергії лазерного випромінювання, більшої або рівної 312 Дж/см².

У третьому підрозділі розглянуто КМ №2 яка описує кінетику росту срібних згустків на поверхні мікрокристалу AgBr фотошару при дії одночасно пучків випромінювань 2-х лазерів з однаковими потужностями $P = 10$ мВт для довжин

хвиль: 1) $\lambda_1 = 440\text{ нм}$, $\lambda_2 = 850\text{ нм}$, 2) $\lambda_1 = 440\text{ нм}$, $\lambda_2 = 1060\text{ нм}$, 3) $\lambda_1 = 440\text{ нм}$, $\lambda_2 = 1150\text{ нм}$. Для лазера з $\lambda = 850\text{ нм}$, $P = 4\text{ Вт}$ в імпульсі обрахунок сумарного часу випромінювання проводили по формулі:

$$t = \tau f d / v, \quad (3)$$

де $\tau = 2 \cdot 10^{-7}\text{ с}$ – тривалість світлового імпульсу лазера; $f = 10\text{ кГц}$ – кількість імпульсів за 1 с (частота імпульсів); d/v – час, за який фотопластинка переміщувалась на довжину діаметра лазерного пучка; d – діаметр пучка лазерного випромінювання; v – швидкість фотопластинки приймала значення $10^{-2}/60\text{ м/с}$. Оскільки падіння квантів світла лазера №1 на умовний МК не залежало від падіння квантів світла лазера №2 при одночасному їх випромінюванні, сумарне значення $\sigma_{V_{\text{sum}}}$ знаходилося шляхом додавання σ_{V_1} лазера №1 і σ_{V_2} лазера №2. Експозиція $t = 0,5\text{ с}$ фотошару здійснювалась одночасно для двох лазерів. При малому часі опромінення (10^{-5} с) на поверхні МК AgBr згустки срібла аморфні, а при часі $0,5\text{ с}$ – частинки срібла кристалічні. Показано, що енергія кристалізації згустків срібла при НЛЕГ становить $\sim 10^{-8}\text{ Дж}$.

Таблиця 2 – Залежності діаметра d ($d_{\text{кр}} = 1\text{ нм}$) згустка срібла, об'єму згустка срібла V_{min} , V_{max} і стану згустку срібла S (A – аморфний, K – кристалічний) від різних довжин світлових хвиль λ , потужностей P , і експозицій t_{min} , t_{max} для двох одночасно діючих лазерних пучків (за даними КМ №2)

λ , нм	P , мВт	t , с	t_{min} , с	$V_{\text{min}} \cdot 10^{-24}$, м ³	d , нм	S	t_{max} , с	$V_{\text{max}} \cdot 10^{-22}$, м ³	d , нм	S	$n_i \cdot 10^{25}$, м ⁻³	$E \cdot 10^{-8}$, Дж
850	4000	0,036	10^{-5}	0,14	$0,06 < d_{\text{кр}}$	A	0,5	1,0	$62,0 > d_{\text{кр}}$	K	5,87	0,25
850	4000	0,072	10^{-5}	0,23	$0,19 < d_{\text{кр}}$	A	0,5	1,7	$84,4 > d_{\text{кр}}$	K	480	0,5
850	4000	0,144	10^{-5}	0,32	$0,22 < d_{\text{кр}}$	A	0,5	2,6	$106,5 > d_{\text{кр}}$	K	485	1,0
850	4000	0,216	10^{-5}	0,47	$0,20 < d_{\text{кр}}$	A	0,5	3,2	$114,9 > d_{\text{кр}}$	K	7,78	1,5
850	4000	0,288	10^{-5}	0,66	$0,23 < d_{\text{кр}}$	A	0,5	4,0	$121,4 > d_{\text{кр}}$	K	1,31	2,0
850	4000	0,500	10^{-5}	1,10	$0,24 < d_{\text{кр}}$	A	0,5	4,2	$134,0 > d_{\text{кр}}$	K	0,88	3,5
1060	10	0,500	10^{-5}	5,40	$0,13 < d_{\text{кр}}$	A	0,5	44,0	$26,7 > d_{\text{кр}}$	K	37800	0,3
1150	10	0,500	10^{-5}	2,30	$0,19 < d_{\text{кр}}$	A	0,5	1,0	$19,8 > d_{\text{кр}}$	K	14700	0,3

У четвертому підрозділі описано утворення коагуляційних центрів на поверхні мікрокристалів AgBr при лазерному нормальному ефекті Гершеля. Розглянуто виникнення акусто-ЕРС завдяки специфіці структури енергетичних зон МК AgBr і її вплив на утворення коагуляційних центрів.

У п'ятому підрозділі описано вплив властивостей остовів симетрії на утворення коагуляційних центрів на МК AgBr під дією лазерного випромінювання.

У шостому підрозділі запропонована вісесиметрична модель утворення ЦПЗ на території КЦ, яка враховує анізотропію властивостей МК AgBr та утворення колективів електронів в областях виходу вісей симетрії (ВС) на поверхні МК AgBr під дією акусто-ЕРС.

У сьомому підрозділі за даними експерименту зроблено розрахунки ступеня пересичення по АС в КЦ при НЛЕГ і показано, що це пересичення в $\approx 3,1 \cdot 10^3$ раз більше пересичення при другому хімічному визріванні фотоемульсії. Відповідно

також знижується термодинамічний бар'єр зародкоутворення $\approx 8,7 \cdot 10^{-4}$ еВ, що полегшує кристалізацію аморфного срібла.

У восьмому підрозділі проведено підрахунок енергії E_m для подолання термодинамічного бар'єру зародкоутворення Ag $E_{бар} = 5,5$ еВ для критичного числа $m = 3$ поглинутих квантів світла для різних довжин хвиль (Таблиця 3), необхідних для кристалізації частинки аморфного срібла. Показано, що для довжин хвиль №1-№4, на яких спостерігається нормальний лазерний ефект Гершеля, поглинання трьох квантів ($m = 3$) не долає термодинамічний бар'єр зародкоутворення в 5,5 еВ, а для довжин хвиль №5-№8, на яких спостерігається позитивний лазерний ефект Гершеля – долає.

Таблиця 3 – Експериментальні дані нормального і позитивного лазерного ефекта Гершеля

№ п/п	λ , нм	$E_1 = 1,24/\lambda$, еВ	E_m , еВ	Лазерний ефект Гершеля
1	1150,0	$\approx 1,0800$	$\approx 3,2400 < E_{бар}$	Нормальний
2	1060,0	$\approx 1,1698$	$\approx 3,5094 < E_{бар}$	
3	910,0	$\approx 1,3626$	$\approx 4,0878 < E_{бар}$	
4	850,0 (імп)	$\approx 1,4588$	$\approx 4,3764 < E_{бар}$	
5	850,0 (газ)	$\approx 1,4588$	$\approx 4,3764 \leq E_{бар}$	Позитивний
6	725,0	$\approx 1,7104$	$\approx 5,1312 \approx E_{бар}$	
7	694,3	$\approx 1,7859$	$\approx 5,4579 \approx E_{бар}$	
8	632,8	$\approx 1,9595$	$\approx 5,8785 > E_{бар}$	

У дев'ятому підрозділі зроблено розрахунки пониження червоної границі зовнішнього фотоэффекту для лазерного випромінювання (для трифотонного поглинання лазерного випромінювання при лазерному фотоэффекті червона границя знаходиться на довжині хвилі світла $\lambda \approx 800$ нм). Виявлено, що при нормальному лазерному ефекті Гершеля відсутній зовнішній фотоэффект, а при позитивному лазерному ефекті Гершеля існує зовнішній лазерний фотоэффект, який створює пересичення по електронам і іонам Ag^+ в коагуляційному центрі.

У десятому підрозділі запропоновано враховувати дію змінної по величині напруженості електричного поля при еліптичній поляризації світла, яка поширюється на межі розподілу повітря-срібло для пояснення роздроблення срібних центрів прихованого зображення на початку лазерного ефекта Гершеля.

В одинадцятому підрозділі досліджено вплив поглинутої енергії інфрачервоного світла на кристалізацію аморфного срібла при нормальному лазерному ефекті Гершеля.

В дванадцятому підрозділі досліджено перехід мікрокристалів AgBr в п'єзоелектричний стан при лазерному ефекті Гершеля вздовж вісей симетрії 3, 4, 6 порядків.

У четвертому розділі «Дослідження впливу остовів симетрії мікрокристалів AgBr на умови переходу аморфного срібла в кристалічний стан при нормальному

та позитивному лазерному ефекті Гершеля» наведені результати експериментальних досліджень.

У першому підрозділі описано деякі структурні властивості AgBr кристалів.

У другому підрозділі досліджено нормальний ефект Гершеля від теплового джерела інфрачервоного світла, показано, що коагуляційні центри мікрокристалів AgBr мають форму рівносторонніх трикутників, а від інфрачервоного лазерного випромінювання при лазерному ефекті Гершеля мають форму круга або еліпса і розташовані в обох випадках в місцях виходу вісей симетрії 3-го, 4-го порядків на поверхню мікрокристалу AgBr.

У третьому підрозділі описано результати впливу ультразвуку на кристалізацію аморфного срібла на мікрокристалах AgBr в оберненому фотошарі. Встановлено частоту гіперзвукової хвилі ($207 \cdot 10^{13}$ Гц) при одночасній дії двох лазерних випромінювань на території коагуляційного центру в мікрокристалах AgBr.

У четвертому підрозділі описано результати дослідження впливу напруженості електричного поля E лазерного світла на кристалізацію фрактального аморфного срібла.

У п'ятому підрозділі встановлено, що одночасна дія інфрачервоного лазерного випромінювання і постійного електричного поля при лазерному ефекті Гершеля і сумарній експозиції лазерним світлом 0,6 с і 1,8 с збільшує НЛЕГ. На рис. 3а кристалічних центрів прихованого зображення і коагуляційних центрів не спостерігалось. На рис. 3б є кристалічні центри прихованого зображення розмірами 14,3 нм, 17,2 нм, 28,6 нм більші проявлюваних. Картина дифракції електронів з дифракційними кільцями від новоствореного центра прихованого зображення (т. А) свідчить про кристалічну будову цих центрів.

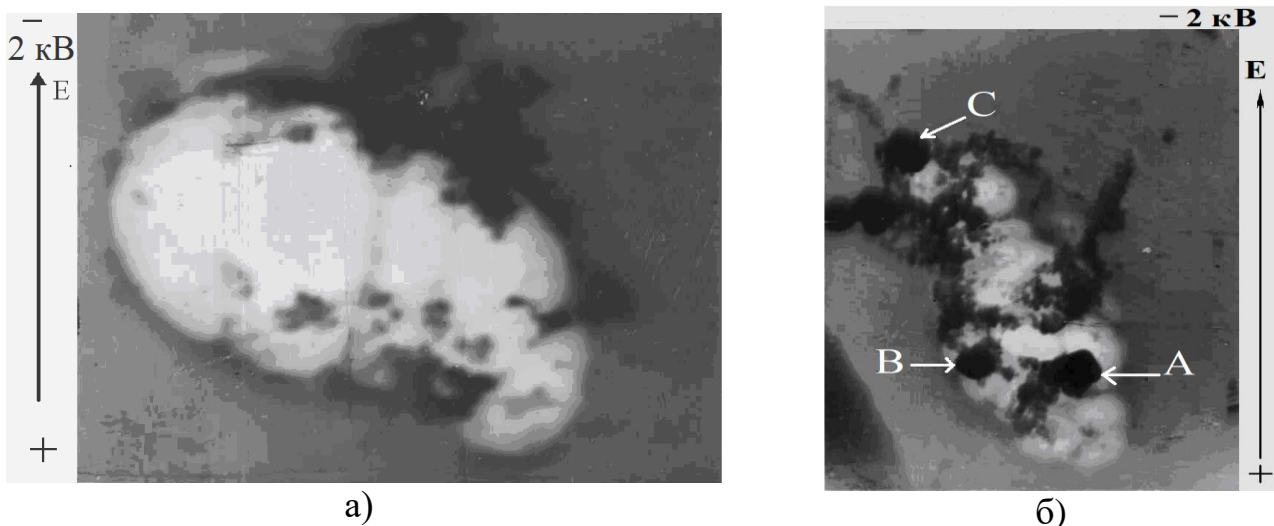


Рисунок 3 – Електронно-мікроскопічні фотографії не проявлених МК AgBr при одночасній дії на МК AgBr таких параметрів: перша експозиція білим світлом 0,5 с; напруженість електричного поля $2 \cdot 10^5$ В/м між двома пластинами повітряного конденсатора на відстані 10^{-2} м; довжина хвилі лазерного світла $\lambda = 850$ нм; потужність $P = 4$ Вт; тривалість імпульса $2 \cdot 10^{-7}$ с; частота слідування імпульсів 10 кГц; постійне електричне поле напругою $U = 2000$ В. а) при сумарній експозиції лазерного світла 0,6 с, б) при сумарній експозиції лазерного світла 1,8 с. Збільшення $\times 45000$

У шостому підрозділі вперше експериментально встановлено, що срібні кристалічні нитки (протуберанці) значної довжини можуть рости з поверхні МК AgBr без дії проявника під час лазерного ефекта Гершеля (рис. 4) ріст ниток пояснено Лапласовим тиском в 1000 атмосфер, розрахованим за формулою Галашина Е.А.

$$\Delta p_r = (e \Delta U_r) / V_0, \quad (4)$$

де e - заряд електрона; $V_0 = 17,06 \cdot 10^{-3} \text{ нм}^3$ – об'єм атома срібла; $\Delta U_r \sim 100 \text{ мВ}$ для звичайних умов проявлення.



Рисунок 4 – Електронно-мікроскопічна фотографія непроявлених чистих МК AgBr фотошару з утвореними срібними нитками, під дією інфрачервоного лазерного світла при нормальному лазерному ефекті Гершеля з такими параметрами: перша експозиція білим світлом 0,5 с; довжина хвилі лазерного світла 850 нм; потужність в імпульсі лазерного світла 4 Вт; тривалість імпульсу $2 \cdot 10^{-7}$ с; частота слідування імпульсів 16 кГц; та поверхнева густина енергії $\geq 546 \text{ Дж/см}^2$.

У сьомому підрозділі досліджено нормальний лазерний ефект Гершеля і позитивний лазерний ефект Гершеля при 77 К і вперше експериментально встановлено, що при температурі 77 К за умов з рядка №1 таблиці 4 частинки аморфного Ag не кристалізуються, а за умов з рядка №2 таблиці 4 – кристалізуються, про що свідчать картини мікродифракції електронів від частинок Ag в електронному мікроскопі. Електронно-мікроскопічні фотографії реплік з МК AgBr для лазерного ефекта Гершеля показують коагуляційні центри з частинками аморфного срібла при нормальному лазерному ефекті Гершеля (рис. 5) і кристалічні центри прихованого зображення при позитивному лазерному ефекті Гершеля (рис. 6).

Таблиця 4 – Дані для отримання нормального та позитивного лазерного ефекта Гершеля при 77К

№ п/п	$t_{\text{біл}}, \text{ с}$	$t_{\text{лазер}}, \text{ с}$	$\lambda, \text{ нм}$	$P, \text{ Вт}$	$E \cdot 10^4, \text{ В/м}$	$l \cdot 10^{-2}, \text{ м}$	ефект Гершеля
1	5	300	633	2,5	1,15	2,0	нормальний
2	5	300	633	10,0	2,30	2,0	позитивний

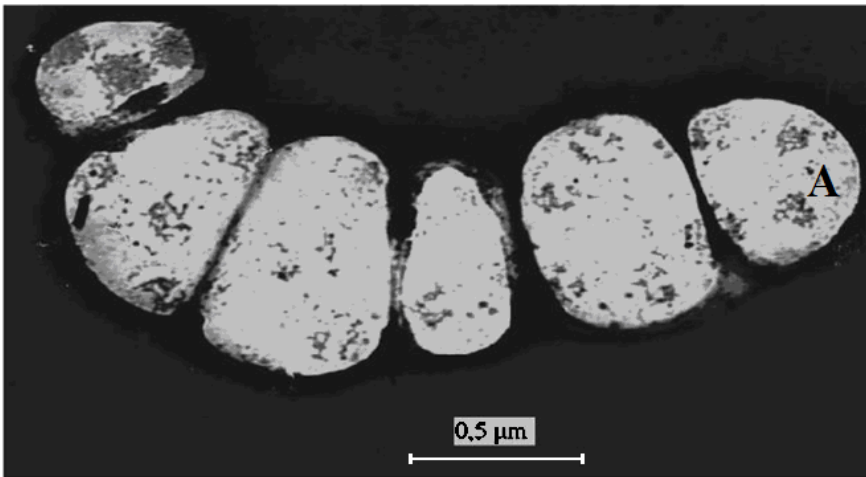


Рисунок 5 – Електронно-мікроскопічна фотографія колодієвої репліки з МК AgBr. Обидві експозиції проводилися при температурі $T = 77$ К через оптичний світлофільтр СО-13 та рідкий азот. При 77 К при ПЛЕГ ($\lambda = 633$ нм, $P = 2,5$ мВт) КЦ не компактні і мають ланцюжки із окремих аморфних частинок Ag.

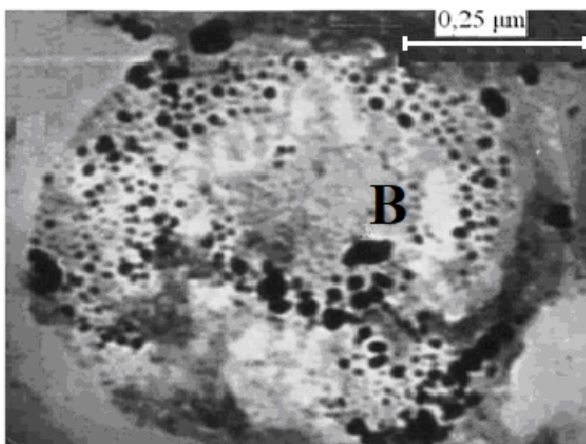


Рисунок 6 - Електронно-мікроскопічна фотографія колодієвої репліки з МК AgBr. Обидві експозиції проводилися при температурі $T = 77$ К через оптичний світлофільтр СО-13 та рідкий азот. При 77К при ПЛЕГ ($\lambda = 633$ нм, $P = 10$ мВт) за той же час утворилися кристалічні центри ПЗ.

У п'ятому розділі «Дослідження умов соляризації фотошару від лазерних джерел світла» описано результати отримання соляризації а також перехід при травленні МК AgBr 50 % водним розчином $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ від лазерного ефекта Вейгерта до лазерної соляризації.

У першому підрозділі вперше одержано соляризацію без проявлення і травлення МК AgBr під дією лазерного випромінювання (рис. 7).

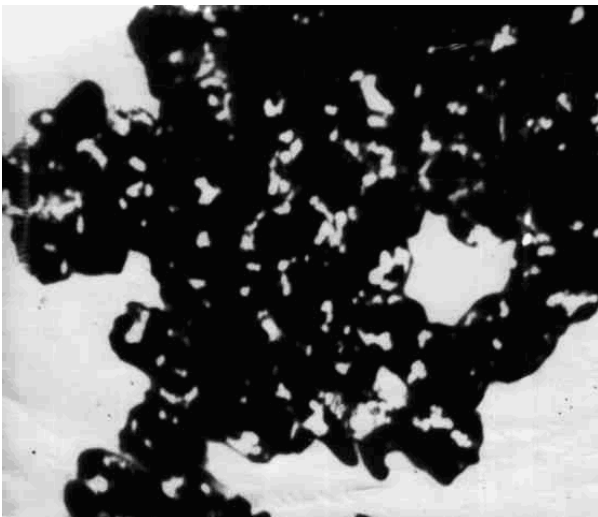


Рисунок 7 – Електронно-мікроскопічна фотографія колодієвої репліки із непроявлених МК AgBr лазерної соляризації в формі плівки Ag з отворами неправильної форми з такими параметрами: перша експозиція білим світлом 0,5 с; сумарний час експозиції світловими імпульсами фотошару (без темнових пауз) $\approx 7,3$ с; діаметр пучка лазерного світла $d = 3 \cdot 10^{-3}$ м, від інфрачервоного лазерного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 850$ нм, потужністю $P = 4$ Вт в імпульсі, тривалістю $2 \cdot 10^{-7}$ с; частотою слідування імпульсів $f = 13,5$ кГц. Збільшення $\times 18000$

У другому підрозділі проведено аналіз залежності напруженості електричного поля від об'єму ЦПЗ в ямках травлення при соляризації. Отримано графік залежності напруженості в отриманих ямках травлення МК AgBr від об'єму ЦПЗ, які утворилися в них при соляризації.

У третьому підрозділі досліджено лазерний ефект Вейгерта і лазерну соляризацію на низькочутливих травлених фотоемульсіях. За умов травлення і опромінення фотошару отримано лазерний ефект Вейгерта за 1 с і лазерну соляризацію за 5 с при кімнатній температурі.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження:

1. Встановлено, що при дії: а) одного лазера $\lambda = 633$ нм, $P = 0,98$ мВт для часу 10^{-5} с утворюються згустки срібла аморфні. Для лазерів ($\lambda = 633$ нм, $P = 2,5$ мВт, $P = 10$ мВт; $\lambda = 850$ нм, $P = 10$ мВт; $\lambda = 325$ нм, $P = 3$ мВт) при малих 10^{-5} с і великих 0,5 с експозиціях утворюються кристалічні частинки срібла. Найбільш швидко згусток росте для лазера $\lambda = 490$ нм, $P = 10$ мВт. Збільшення потужності лазера і часу опромінення зменшує час досягнення згустком критичного розміру; б) при одночасній дії випромінювань від двох лазерів 1) $\lambda_1 = 440$ нм, $P_1 = 10$ мВт; $\lambda_2 = 850$ нм, $P_2 = 10$ мВт; 2) $\lambda_1 = 440$ нм, $P_1 = 10$ мВт; $\lambda_2 = 1060$ нм, $P_2 = 10$ мВт; 3) $\lambda_1 = 440$ нм, $P_1 = 10$ мВт; $\lambda_2 = 1150$ нм, $P_2 = 10$ мВт при малому часі опромінення 10^{-5} с згустки срібла – аморфні, а при часі 0,5 с – кристалічні. Показано, що енергія кристалізації згустків срібла при нормальному лазерному ефекті Гершеля по порядку величини становить 10^{-8} Дж.

2. При лазерному трифотонному фотоефекті одночасно відбувається внутрішній і зовнішній фотоефект з частинок Ag, які знаходяться в контакті з МК AgBr. Для частинок Ag різко знижується червона границя лазерного фотоефекту і становить $\lambda \approx 800$ нм. При НЛЕГ для довжин хвиль лазерів $\lambda = 1150$ нм, $\lambda = 1060$ нм, $\lambda = 910$ нм, $\lambda = 850$ нм (напівпровідниковий GaAs лазер, який працює в імпульсному режимі) лазерного фотоефекту немає і пересичення по аморфному сріблу, електронам і іонам Ag^+ в КЦ немає. При ПЛЕГ для частинок Ag існує лазерний трифотонний фотоефект для таких довжин хвиль: $\lambda = 850$ нм (газовий лазер неперервної дії з великою густиною фотонів), $\lambda = 725$ нм, $\lambda = 694,3$ нм, $\lambda = 632,8$ нм. Дані розрахунки підтверджуються результатами експериментів інших авторів.

3. Вперше запропоновано вісесиметрична модель утворення ЦПЗ на території КЦ, яка враховує анізотропію властивостей МК AgBr та утворення колективу електронів в областях виходу ВС на поверхню МК AgBr під дією акусто-ЕРС. При утворенні КЦ колектив електронів своїм електричним полем притягує в КЦ не тільки атоми, а і частинки срібла на поверхні МК AgBr і міжвузлові іони срібла Ag^+ із середини МК. Це призводить до пересичення по АС в КЦ. Знижується термодинамічний бар'єр до $\approx 8,7 \cdot 10^{-4}$ еВ, що значно полегшує кристалізацію АС. Визначені фізичні умови переходу АС в КС за таких умов: пересичення по АС на території КЦ; пересичення по електронам, які утворилися при нагріванні напівпровідникового МК AgBr лазерним ІЧ світлом в просторі між частинками срібла на території КЦ; пересичення по іонам срібла в просторі між частинками АС

на території КЦ; наявність сильного електричного поля між частинками АС напруженістю $4,4 \cdot 10^4$ В/м в КЦ; наявність контакту АС з напівпровідниковим МК AgBr; наявність значного тиску ультразвукової хвилі в просторі між частинками АС на території КЦ; наявність поверхневої густини світлової енергії лазерного випромінювання, рівної або більшої 312 Дж/см².

4. Вперше експериментально встановлено, що срібні кристалічні нитки значної довжини можуть рости з поверхні МК AgBr без дії проявника під час лазерного ефекта Гершеля за таких умов: 1) перша експозиція білим світлом $0,5$ с; 2) параметри лазерного імпульсного випромінювання $\lambda = 850$ нм, потужність в імпульсі $P = 4$ Вт, тривалість імпульсу $2 \cdot 10^{-7}$ с; 3) частота слідування імпульсів 16 кГц; 4) поверхнева густина світлової енергії ≥ 546 Дж/см². Ріст ниток пояснено Лапласовим тиском в 1000 атмосфер розрахованим за формулою Галашина Є.О.

5. Вперше одержано, що одночасна дія інфрачервоного лазерного випромінювання і постійного електричного поля за умов лазерного ефекта Гершеля збільшує нормальний лазерний ефект Гершеля за таких умов: 1) перша експозиція білим світлом $0,5$ с; 2) напруженість електричного поля $2 \cdot 10^5$ В/м; 3) відстань між двома пластинками повітряного конденсатора 10^{-2} м; 4) напруга постійного електричного поля 2000 В; 5) параметри імпульсного лазерного випромінювання $\lambda = 850$ нм, потужність в імпульсі $P = 4$ Вт, тривалість імпульсу $2 \cdot 10^{-7}$ с; 6) частота слідування імпульсів 10 кГц. При сумарній експозиції лазерним світлом $0,6$ с видно значне очищення поверхні МК AgBr від дрібних частинок срібла і значне скупчення АС на поверхні МК AgBr з боку негативно зарядженої пластини конденсатора. Кристалічних ЦПЗ і КЦ не спостерігалось. При збільшенні експозиції лазерним світлом утворюються кристалічні ЦПЗ розмірами які більше проявлюваних і мають кристалічну будову.

6. Вперше одержано:

– соляризацію без проявлення і травлення МК AgBr під дією інфрачервоного лазерного випромінювання за таких умов: 1) перша експозиція білим світлом $0,5$ с; 2) друга експозиція інфрачервоного лазерного випромінювання при сумарному часі тільки імпульсів $\approx 7,3$ с; 3) параметри імпульсного лазерного випромінювання (ЛВ) $\lambda = 850$ нм, потужність в імпульсі $P = 4$ Вт, тривалість імпульсу $2 \cdot 10^{-7}$ с; 4) частота слідування імпульсів $13,5$ кГц; 5) діаметр пучка лазера $3 \cdot 10^{-3}$ м. Соляризацію отримано у формі тонкої несучільної кристалічної срібної плівки з отворами.

– значне зменшення часу отримання лазерного ефекта Вейгерта (за 1 с) і соляризації (за 5 с) при кімнатній температурі за таких умов: 1) травлення фотошару 50% водним розчином $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 120 с; 2) температура $T = 295$ К; 3) засвічування мікрокристалів AgBr білим світлом 3 с; 3) напруженість електричного поля $1,5 \cdot 10^4$ В/м; 4) параметри інфрачервоного лазерного випромінювання (ГЧВЛ) $\lambda = 10600$ нм, потужність в $P = 4,2$ Вт в неперервному режимі генерації; 5) діаметр пучка лазера $3 \cdot 10^{-3}$ м.

– що на утворення при соляризації великих кристалічних ЦПЗ на поверхні травлених 50% водним розчином $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ МК AgBr фотоемульсії впливає виникаюче в ямках травлення електричне поле напруженістю порядку 10^2 В/см.

7. Вперше отримано, що при температурі 77 К в умовах ЛЕГ при довжині хвилі лазерного світла $\lambda = 633$ нм і потужності 2,5 мВт утворюються аморфні частинки срібла, а при потужності 10 мВт за той же час - кристалічні ЦПЗ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати

1. **Oleksandr B. Piven**, Oleg B. Piven, Yuriy M. Lopatkin Peculiarities of Crystallization of Amorphous Silver at 77 K in Conditions of Laser Herschel Effect //Journal of nano- and electronic physics – 2019. – V.11, № 3. – 03023 (4 pp.), Q3, IF – 0,570 SNIP – 0,425, Scopus.

2. **Півень Ол-др Б.**, Півень О.Б., Лопаткін Ю.М. Дослідження лазерного ефекта Гершеля в постійному електричному полі. //Журнал фізика і хімія твердого тіла. – 2013. – т.14, №4. – С. 741-745.

3. **Ол-др Б. Півень**, Олег Б. Півень, Ю.М. Лопаткін. Дослідження кінетики росту згустків Ag, утворених лазерним світлом різних довжин хвиль на мікрокристалах AgBr //Журнал нано- та електронної фізики – 2013. – т.5, № 1. – С. 01028(5). Scopus.

4. **Ол-др Б. Півень**, Олег Б. Півень, Ю.М. Лопаткін. Кінетики утворення згустків Ag на мікрокристалах AgBr при нормальному лазерному ефекті Гершеля //Журнал нано- та електронної фізики – 2011. – т.3, № 4 – С. 88 – 94. Scopus.

2. Наукові праці апробаційного характеру

5. **Півень Ол-др Б.**, Півень О.Б., Лопаткін Ю.М. Комп'ютерна модель лазерної соляризації на поверхні мікрокристалів AgBr. / Ол-др Б. Півень, О. Б. Півень, Ю.М. Лопаткін //Матеріали науково-практичної конференції «Пріоритети сучасної науки» (м. Київ, 27-28 жовтня 2018 року). – Київ, – 2018. – с.68.

6. **Півень Ол-др Б.** Соляризація без проявлення фотоемульсії. /Ол-др Б. Півень, О. Б. Півень, Ю.М. Лопаткін // Матеріали та програма науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка» (ФЕЕ-2014) (Суми, 21-26 квітня 2014 року). – Суми, – 2014. – с. 58.

7. **Півень Ол-др Б.** Лазерний ефект Гершеля в постійному електричному полі. /Ол-др Б. Півень, О. Б. Півень, Ю.М. Лопаткін // Матеріали та програма науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка» (ФЕЕ-2013) (Суми, 22-27 квітня 2013 року) – Суми, – 2013. – с. 44.

8. **Півень Ол-др Б.** Збільшення пересичення по сріблу на поверхні мікрокристалів AgBr при нормальному лазерному ефекті Гершеля /Ол-др Б. Півень, О. Б. Півень, Ю.М. Лопаткін // Матеріали восьмої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукових досліджень 2012» (Полтава. 19-21 листопада 2012). – Полтава, 2012. т.8 – с. 35 - 37.

9. **Півень Ол-др Б.** Дослідження кінетики росту згустків Ag, утворених лазерним світлом різних довжин хвиль на мікрокристалах AgBr. /Ол-др Б. Півень, О. Б. Півень, Ю.М. Лопаткін // Матеріали та програма науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка» (ФЕЕ-2012). (Суми, 16-21 квітня 2012 року) – Суми, – 2012. – с. 42.

10. **Півень А.Б.** Компьютерное исследование кинетики образования сгустков Ag, созданных лазерным светом на поверхности микрокристаллов AgBr, при

нормальном лазерном эффекте Гершеля. /А. Б. Пивень, О. Б. Пивень, Ю.М. Лопаткин // Матеріали та програма науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка» (ФЕЕ-2011) (Суми, 18-22 квітня 2011 року) – Суми, – 2011. – с. 36.

11. **Пивень А.Б.**, Влияние остовов симметрии микрокристаллов AgBr на образование максимального количества коагуляционных центров и центров скрытого изображения на поверхности микрокристаллов AgBr кубической и октаэдрической формы при нормальном лазерном эффекте Гершеля /А. Б. Пивень // Матеріали шостої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукових досліджень 2010» (Полтава. 22-24 листопада 2010). – Полтава, 2010. т.6 – с. 35 - 37.

3. Праці, які додатково відображають наукові результати

12. **А.В. Piven**, О.В. Piven, Yu.M. Lopatkin. Research of the laser Weigert effect and laser solarization in short exposition region by laser light on the low-sensitive etched photoemulsion //Trade Science Inc. Physical Chemistry An Indian journal – 2015. – V.10 issue 6. – P.173-178.

13. **А.В. Piven**, О.В. Piven, Yu.M. Lopatkin. Solarization nature on the etched microcrystals of silver bromide //Trade Science Inc. Physical Chemistry An Indian Journal – 2014. – V.9 issue 9. – P.308-311

14. **Пивень А.Б.**, Пивень О.Б. Особенности восстановления микрокристаллов AgBr без проявления при лазерном нормальном эффекте Гершеля //Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 2. – С. 168 - 171

15. **Пивень А.Б.**, Пивень О.Б. Особенности влияния ультразвука на кристаллизацию аморфного серебра на микрокристаллах бромистого серебра в обращенном фотослое //Вісник ЧДТУ. – 2010. – №2. – С. 168 – 172.

16. **Пивень А.Б.**, Пивень О.Б. Условия кристаллизации аморфного серебра на поверхности микрокристаллов AgBr при нормальном лазерном эффекте Гершеля //Вісник ЧДТУ. – 2009. – №4. – С. 93 - 99.

17. **Пивень А.Б.**, Пивень О.Б., Пивень Б.Т. Исследование влияния лазерного фотоэффекта на нормальный и положительный лазерный эффект Гершеля //Вісник ЧДТУ. – 2008. – №1. – С. 155 – 158.

18. **Пивень А.Б.**, Пивень О.Б., Пивень Б.Т. Особенности поглощения инфракрасного излучения при лазерном эффекте Гершеля //Вісник ЧДТУ. – 2007. № 3-4. – С. 217 – 220.

19. **Пивень А.Б.**, Пивень О.Б., Пивень Б.Т. Осесимметричная модель образования центров скрытого изображения при нормальном лазерном эффекте Гершеля //Вісник ЧДТУ. 2006. №4 – С. 176 – 181

20. **Пивень А.Б.**, Пивень О.Б. Влияние поглощенной энергии инфракрасного лазерного света на кристаллизацию аморфного серебра при лазерном эффекте Гершеля //Вісник ЧДТУ. – 2009. – № 2. – С. 97 – 101.

21. **Пивень А.Б.** Особенности нормального эффекта Гершеля от тепловых и лазерных источников света. //Вісник ЧДТУ. – 2008. – №3. – С. 195-198.

22. Пивень Б.Т., Пивень О.Б., **Пивень А.Б.** О механизме раздробления центров скрытого изображения фотослоя в начале лазерного эффекта Гершеля //Вісник ЧДТУ. – 2006. – №2. – С. 91 – 95.

23. **Пивень А.Б.**, Пивень О.Б., Пивень Б.Т. О переходе микрокристаллов AgBr в пьезоэлектрическое состояние при лазерном эффекте Гершеля (вдоль осей симметрии 3-го, 4-го, 6-го порядков). //Вісник ЧДТУ. – 2005. – №1. – С. 126 – 128.

АНОТАЦІЯ

Пивень О.Б. Вплив лазерного фотографічного обернення на кристалізацію срібла в фотошарі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 «Фізика твердого тіла». – Сумський державний університет, Суми, 2021.

Дисертаційна робота присвячена комплексному дослідженню ефекта Гершеля (нормального і позитивного) і соляризації в МК AgBr від лазерних джерел світла та виявленню умов кристалізації аморфного срібла в цих МК.

В даній роботі вперше:

- створено КМ кінетик росту згустків срібла в емульсійних МК AgBr та встановлено умови переходу аморфного срібла в кристалічне під дією випромінювання від одного лазера та під дією випромінювання одночасно від двох лазерів для різних довжин хвиль, потужностей і експозицій лазерного світла.

- для умов ЛЕГ обчисленнями показана можливість трифотонного поглинання ІЧЛВ з різними довжинами хвиль при лазерному фотоефекті з частинок Ag, які знаходяться в контакт з МК AgBr. Виявлено зниження червоної границі зовнішнього лазерного фотоефекту при одночасному існуванні зовнішнього і внутрішнього фотоефекту. Результати обчислень підтверджено експериментально.

- запропоновано вісесиметричну модель утворення ЦПЗ на території КЦ, яка враховує анізотропію властивостей МК AgBr та утворення колективу електронів в областях виходу вісей симетрії на поверхню МК AgBr під дією акусто-ЕРС.

- експериментально показано, що під час ЛЕГ срібні кристалічні нитки значної довжини можуть рости з поверхні МК AgBr без дії проявника.

- одержано збільшення НЛЕГ при одночасній дії ІЧЛВ і постійного електричного поля.

- одержано соляризацію без проявлення і травлення МК AgBr під дією ІЧЛВ.

- отримано ЛЕВ і лазерну соляризацію за порівняно дуже малий час при кімнатній температурі.

- отримано, що при температурі 77 К в умовах ЛЕГ при довжині хвилі лазерного світла $\lambda = 633$ нм і потужності 2,5 мВт утворюються аморфні частинки срібла, а при потужності 10 мВт за той же час - кристалічні ЦПЗ.

Ключові слова: лазерний ефект Гершеля, центр прихованого зображення, коагуляційний центр, кристалізація, лазерна соляризація.

АННОТАЦІЯ

Пивень А.Б. Влияние лазерного фотографического обращения на кристаллизацию серебра в фотослоях. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата физико-математических наук за специальностью 01.04.07 «Физика твердого тела». – Сумской государственной университет, Сумы, 2021

Диссертация посвящена комплексному исследованию эффекта Гершеля (нормального и положительного) и соляризации в МК AgBr от лазерных источников света и выявлению условий кристаллизации аморфного серебра в этих МК.

В данной работе впервые:

– создано КМ кинетики роста сгустков серебра в эмульсионных МК AgBr и установлено условия перехода аморфного серебра в кристаллическое, которые под действием излучения от одного лазера та под действием излучения одновременно от двух лазеров для разных длин волн, мощностей и экспозиций лазерного света.

– для условий лазерного эффекта Гершеля (ЛЭГ) расчетами показана возможность трехфотонного поглощения ИК излучения от лазеров с различными длинами волн при лазерном фотоэффекте из частиц Ag, которые находятся в контакте с МК AgBr. Обнаружено понижение красной границы внешнего лазерного фотоэффекта при одновременном существовании внешнего и внутреннего фотоэффекта. Результаты расчетов подтверждаются экспериментально.

– предложено осесимметрическую модель образования ЦСИ на территории КЦ, которая учитывает анизотропию свойств МК AgBr та образование коллектива электронов в областях выхода осей симметрии на поверхность МК AgBr под действием акусто-ЭДС.

– установлено условия кристаллизации аморфного серебра на поверхности МК AgBr.

– экспериментально показано, что во время ЛЭГ серебряные кристаллические нити значительной длины могут расти с поверхности МК AgBr без действия проявителя.

– получено увеличение нормального ЛЭГ при одновременном действии лазерного ИК света и постоянного электрического поля.

– получено соляризацию без проявления и травления МК AgBr под действием лазерного ИК света.

– получено лазерный эффект Вейгера и лазерную соляризацию за сравнительно очень малое время при комнатной температуре.

– получено, что при температуре жидкого азота в условиях ЛЭГ при длине волны лазерного света $\lambda = 633$ нм и мощности 2,5 мВт образуются аморфные частицы серебра, а при мощности 10 мВт за то же время - кристаллические ЦСИ.

Ключевые слова: лазерный эффект Гершеля, центр скрытого изображения, коагуляционный центр, кристаллизация, лазерная соляризация.

SUMMARY

Piven A.B. The influence of the laser photographic reversal on the crystallization of the silver in a photolayer. – Manuscript.

The thesis for a fulfilment of the requirements of the Doctor of Philosophy degree in physics and mathematics, specialty 01.04.07 - solid state physics. - Sumy State

University, Sumy, 2021.

Computer models for the growth kinetics of silver clots in AgBr microcrystals were created for the first time and conditions for the transition of amorphous silver to crystalline under the action of radiation from one laser and under the simultaneous action of radiation from two lasers for different wavelengths, powers and exposures of laser light were established.

For the first time for the conditions of the Herschel laser effect, calculations have shown the possibility of three-photon absorption of infrared radiation from lasers with different wavelengths under a laser photoelectric effect from Ag particles that are in contact with AgBr microcrystals. A decrease in the red border of the external laser photoeffect is revealed with the simultaneous existence of an external and internal photoeffect. The results of the calculations are confirmed experimentally.

An axisymmetric model for the formation of latent image centers in the coagulation center is proposed for the first time, which takes into account the anisotropy of the properties of AgBr microcrystals and the formation of an electron collective in the regions of exit of the symmetry axes onto the surface of the AgBr microcrystal under the action of acoustic EMF.

The conditions of crystallization of amorphous silver on the surface of AgBr microcrystals have been established.

It was experimentally established for the first time that during the Herschel laser effect, silver crystalline threads of considerable length can grow from the surface of AgBr microcrystals without the action of the developer.

For the first time an increase in the laser normal Herschel effect is obtained with the simultaneous action of laser infrared light and a constant electric field.

Solarization without the development and etching of AgBr microcrystals under the influence of laser infrared light was obtained for the first time.

The laser Weigert effect and laser solarization were obtained for the first time in a comparatively very short time at room temperature.

It was first obtained that at 77 K under Herschel laser effect conditions, amorphous silver particles are formed at a laser wavelength of $\lambda = 633$ nm and a power of 2.5 mW, and crystalline latent image centers at a power of 10 mW at the same time.

Key words: laser Herschel effect, centers of latent image, coagulation centers, crystallization, laser solarization.

Підписано до друку 02.04.2021.
Формат 60x84/16. Папір офсет. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 1,2. Наклад 100 прим.

Видавець ФОП Гордієнко Є.І.

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовників і
розповсюджувачів видавничої продукції*

Серія ДК №4518 від 04.04.2013 р.

Україна, 18000, м. Черкаси, вул. Святотроїцька 73/3

тел./факс: (0472) 56-56-12, (067) 444-28-94

e-mail: book.druk@gmail.com