

Відгук офіційного опонента
на дисертаційну роботу Півня Олександра Борисовича
**«Вплив лазерного фотографічного обернення на кристалізацію срібла в
фотошарі»**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Актуальність обраної теми. Більшість 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 дослідження процесу кристалізації нано- і мікрочастинок благородних металів та їх ансамблів. Наночастинки Ag широко застосовуються в електроніці, молекулярній діагностиці, стратегіях шифрування, каталізі, генній терапії, оптиці та в медицині. Крім того, центри прихованого зображення у вигляді кристалічних наночастинок Ag з властивістю проявлення є основними носіями інформації в фотографічних матеріалах на основі мікрочастинок галогенідів срібла. Кристали AgHal з наночастинами Ag і пристрої на їх основі перспективні для перетворення світла в постійний струм шляхом розділення електронів і дірок при генерації гарячих електронів в плазмонно-резонансних наночастинках металів; для руйнування стійких токсичних органічних забруднювачів під дією видимого світла ($300 \text{ нм} < \lambda < 800 \text{ нм}$); для створення конверторів інфрачервоного випромінювання в видиме. Отже, світлочутливі мікрочастинки AgBr, що відносяться до мікрочастинок 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 (ЦПЗ), щодо їх розмірів і структури. Фізичні процеси, які проходять із участю мікрочастинок AgHal внаслідок переходу аморфного срібла в кристалічне срібло і створюють приховане зображення, досліджені недостатньо і потребують більш детального вивчення. Дослідження утворення пересичення атомами аморфного срібла і перехід його в кристалічний стан на поверхні мікрочастинок AgBr можливо за допомогою коагуляційних центрів (КЦ), які виникають внаслідок ефекту Гершеля і соляризації. Дослідження основних впливаючих факторів на механізм



кристалізації згустків аморфного срібла на поверхні і всередині мікрокристалів AgHal під дією інфрачервоного лазерного випромінювання, що проведено в дисертаційній роботі О. Б. Півня, є актуальною задачею для розвитку лазерних нанотехнологій формування наночастинок срібла у мікрокристалах AgHal і для розкриття фізичного механізму їх утворення та наукової фотографії.

Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Викладені в дисертації експериментальні результати одержано з використанням сенситометричного методу, електронно-мікроскопічного методу з роздільною здатністю електронного мікроскопа не менше 4,5 Å, методу травлення мікрокристалів AgBr 50% водним розчином тіосульфату натрію, достовірність яких не викликає сумніву. Теоретичні дослідження виконані з використанням методу комп'ютерного моделювання. Отримані числові дані можуть бути безпосередньо використані для керування процесом кристалізації нано- і мікрочастинок благородних металів під дією лазерного випромінювання і для створення нових наноматеріалів. Все це свідчить про те, що наукові положення дисертації, її висновки та рекомендації є обґрунтованими та достовірними.

Ступінь новизни отриманих результатів.

1. Встановлено умови переходу аморфного срібла на поверхні мікрокристалу AgBr в кристалічний стан. Зокрема, показано, що зі збільшенням потужності P лазера і часу t опромінення зменшується час досягнення згустком критичного розміру, а 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. Вперше встановлено, що відбувається трифотонне поглинання інфрачервоного лазерного випромінювання від лазерів з різними довжинами хвиль при позитивному і негативному лазерному ефекті Гершеля частинками Ag в контакт з мікрокристалами AgBr та 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 центрів прихованого зображення на території коагуляційних центрів (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 атомами аморфного срібла; пересичення електронами, які утворилися при нагріванні напівпровідникового мікрокристалу AgBr лазерним інфрачервоним світлом між частинками срібла; пересичення іонами 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 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 ІЧ лазерного світла і постійного електричного поля за умов лазерного ефекта Гершеля збільшується нормальний ефект Гершеля.
- без проявлення і без попереднього травлення мікрокристалів AgBr при лазерній соляризації вся поверхня мікрокристалів AgBr покривається кристалічною срібною плівкою з отворами.

5. Вперше отримано та встановлено, 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.

Значимість роботи для науки та практики.

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 з використанням фотошарів з частинками срібла; рентгенівський структурний аналіз металів, сплавів, мінералів; діагностику в медицині. Результати проведених досліджень можуть бути використані при виготовленні фотошарів для промислової, наукової та медичної рентгенографії; для економії срібла в фотопромисловості; для підвищення світлочутливості низькочутливих фотошарів; для створення нових більш оптимізованих систем реєстрації інформації.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях.

Основні результати дисертації опубліковані в 23 наукових працях, з яких 3 – індексуються наукометричною базою Scopus, 13 – у фахових журналах, 7 тез – у матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій. Ці праці задовольняють вимогам ДАК України до публікацій, на яких ґрунтується дисертаційна робота. Аналіз представлених публікацій дає підставу стверджувати, що всі основні положення дисертації в повній мірі опубліковано і апробовано на конференціях. Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертації.

Зауваження щодо змісту дисертації.

Робота не позбавлена деяких недоліків.

1. На рис. 3.2-3.15 вибрано логарифмічний масштаб подання залежностей об'єму згустків срібла, концентрацій атомів срібла і концентрацій дірок в мікрочастинках AgBr від часу, що не дає змоги побачити особливості змін даних величин в часі.

2. Не дано математичної моделі одночасної дії інфрачервоного лазерного випромінювання і постійного електричного поля при лазерному ефекті Гершеля в 5-му підрозділі 4-го розділу.

3. На частині електронно-мікроскопічних фотографій вказано масштаб, але не наведено збільшення. На інших вказано збільшення, але не приведено масштаб. Для можливості аналізу результатів краще приводити масштаб на самих електронно-мікроскопічних фотографіях.

4. В 3-му розділі дисертації наведено формулу (3.6) теплоємності малої металічної частинки з урахуванням квантових розмірних ефектів, проте ця формула не застосовувалася для обрахунків в дисертації.

Але ці зауваження не зменшують наукової цінності результатів досліджень дисертації.

Відповідність встановленим вимогам до кандидатських дисертацій.

Дисертаційна робота присвячена встановленню умов переходу аморфного срібла на поверхні і всередині мікрочастин AgHal фотоемульсій в кристалічне срібло при опроміненні актинічним світлом та при лазерному ефекті Гершеля, а також процесів, що відбуваються при лазерній соляризації.

Структура дисертації в повній мірі відповідає вимогам, які пред'являються до кандидатських дисертацій. Мова та стиль подання зрозумілий, речення логічно побудовані, зв'язні, завершені та цілісні. Зміст дисертації послідовно відображає постановку задач, методи їх вирішення та інтерпретацію отриманих результатів. Дисертація є цілісною та завершеною роботою.

На підставі викладеного вище можна стверджувати, що дисертаційна робота О.Б. Півня «Вплив лазерного фотографічного обернення на кристалізацію срібла в фотошарі» є завершеною кваліфікаційною працею. Отже, за актуальністю, ступенем новизни, значимістю для науки і практики, а також за структурою і об'ємом дисертація відповідає всім вимогам на здобуття ступеня кандидата наук, зокрема пунктам 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», та свідчить про високий науковий рівень автора, який заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент:


Доктор фізико-математичних наук, професор
кафедри інформаційних систем і мереж
Національного університету
«Львівська політехніка»


Р.М. Пелешак

Підпис засвідчую:

Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»,
Кандидат технічних наук, доцент




Р.Б. Брилинський