

ДК 004.085

№ держреєстрації: 0110U002271

Інв. №

Національна академія наук України
Інститут проблем реєстрації інформації
(ІПРІ НАН України)
03113, м.Київ-113, вул. Шпака, 2
тел. (044) 456-83-89, факс (044) 456-33-18
e-mail: ipri@ipri.kiev.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заст. директора ІПРІ НАН України
д-р техн. наук, проф.

_____ О.Г. Додонов

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

«Дослідження і розробка технології лазерного запису нанорозмірних елементів
в системах реєстрації інформації»

(шифр «РОЗМІР»)

Керівник НДР
академік НАН України

В.В. Петров

Відповідальний виконавець
член-кор. НАН України

А.А. Крючин

Рукопис закінчено грудня 2016
Результати цієї роботи розглянуті Вченою Радою ІПРІ НАН України,
протокол № від

2016

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР директор ІПРІ НАН України академік НАН України	В.В.Петров (вступ, розділ 1)
Відповідальний виконавець зав. відділу член-кореспондент НАН України	А.А.Крючин (розділ 4, 5)
Провідний науковий співробітник доктор технічних наук	А.С. Лапчук (розділ 1)
Старший науковий співробітник кандидат технічних наук	Є.В. Беляк (розділ 2, 3)
Старший науковий співробітник кандидат технічних наук	І.В. Горбов (розділ 5)
Старший науковий співробітник кандидат фізико-математичних наук	Д.Ю. Манько (розділ 5)
Науковий співробітник	А.В. Панкратова (розділ 5)
Молодший науковий співробітник	О.В. Шиховець (розділ 5)

Дослідження із запису інформації на оптичні диски виконував Олійник Д.Е., Яковець А.С., Коваль Л.І., Кравченко Л.Л., Василенко С.Б., Клименко С.С., Мельник О.Г., Леснов В.О., Шевченко Л.Т., Березін Б.О.

РЕФЕРАТ

звіт по НДР: 224 с., 111 рис., 16 табл., 230 джерел.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ:

Методи побудови високоємних оптичних носіїв інформації.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ:

Розробка фізико-технічних основ лазерного запису нанорозмірних елементів в системах реєстрації інформації, За рахунок використання нелінійних експозиційних характеристик реєструвальних матеріалів реалізувати запис елементів розміри, яких в 3-5 разів менші дифракційнообмеженого оптичного зображення.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ:

1. Для побудови систем надщільного оптичного запису були запропоновані композитні термочутливі матеріали. Даний клас матеріалів характеризується тим, що під впливом сфокусованого лазерного випромінювання в них відбувається локальний нагрів у зоні фокусування та переміщення матеріалу з області, в якій відбулося плавлення композитного матеріалу. Характерно, що процес плавлення має пороговий характер і зона, з якої здійснено перенос матеріалу, має розміри у 3-5 разів менші розмірів опроміненої зони. Для здійснення лазерного запису композитний термочутливий матеріал повинен мати високе поглинання на довжині хвилі лазера запису і низьку теплопровідність. Показано, що найбільш перспективним вважається використання композитних матеріалів, що складаються з фоторезистів високої роздільної здатності і органічних барвників, які на довжині хвилі запису підвищують поглинання світла у 2-3 рази. Головною перевагою композитних термочутливих матеріалів є те, що рельєфне зображення з'являється безпосередньо у процесі опромінення зразка лазерним випромінюванням.

2. Показано, що для отримання при термолітографічному записі елементів, розмір яких менше діаметра сфокусованого променя, теплопровідність шару, на який наноситься нанокompозитна плівка має бути значно меншою за теплопровідність самої плівки. При сильному поглинанні світла для отримання відбитків мінімально можливого розміру теплопровідність поглинаючого шару повинна забезпечити передачу тепла на відстань, яка дорівнює товщині реєструвального середовища, за час менший ніж різниця у часі розігріву до температури фазового переходу у центрі зони опромінення і точки, що знаходиться на відстані від центру опромінення рівній товщині плівки.
3. Проведений порівняльний аналіз відбитків отриманих на плівках з сублімацією органічного барвника і переносом матеріалу реєструвального шару показав, що відбитки з мінімальними розмірами були отримані на плівках з сублімацією матеріалу органічного барвника. Цей результат може бути пояснений тим, що сублімація починається при досягненні граничної температури в зоні опромінення. Такі реєструвальні матеріали більш придатні для реалізації термолітографічного запису, при якому необхідно порогова експозиційна характеристика. Вважається, що наявність порогової температури декомпозиції органічного барвника є необхідною умовою для здійснення надщільного оптичного запису.
4. Розроблена технологія виготовлення методом центрифугування нанокompозитних фоточутливих плівок органічний барвник – полімер та досліджено вплив технологічних параметрів на їх характеристики. Проведено аналіз режимів багат шарового нанесення фоторезисту для формування рельєфних зображень заданої глибини. Для підвищення точності нанесення фоторезисту розроблений модифікований блок керування процесом поливу у автоматичному режимі на базі програмованого логічного контролера останнього покоління. Показано, що основні теплофізичні характеристики отриманих нанокompозитних плівок визначаються у першу чергу полімерною матрицею, а оптичні

характеристики – домішками барвника. Встановлено, що на форму та розмір пітів головним чином впливають теплофізичні властивості композитної плівки, які визначаються характеристиками полімерної матриці.

5. Визначено, що для використання фоточутливих нанокompозитних плівок у системах лазерного запису необхідно проводити термічний відпал плівок, який має значний вплив на мікроструктуру і оптичні властивості нанокompозитних плівок. Показано, що термообробка фоточутливих нанокompозитних плівок призводить до зменшення кількості органічного розчинника та структурного упорядкування барвника. Це призводить до збільшення показника заломлення і зменшення товщини нанокompозитних плівок. Встановлено, що полімерна матриця запобігає кристалізації барвника, яка не дозволяє формувати під дією сфокусованого випромінювання наноотвори мінімальних розмірів у нанокompозитних плівках. Головна технологічна проблема при синтезі таких реєструвальних середовищ полягає у виборі температур плавлення матеріалу полімерної матриці і поглинаючого світло органічного барвника. Кращі результати (відсутність крапель, гладкі краї пітів) можуть бути отримані у випадку, коли температура плавлення матеріалу полімерної матриці на 25-30% нижче температури плавлення поглинаючого матеріалу.
6. Було досліджено технологію лазерного надщільного запису на розроблених нанокompозитних тонких плівках і показано, що нанокompозитні тонкі плівки можуть бути ефективно застосовані в термолітографічних методах надщільного оптичного запису інформації. Запис здійснювався лазерним променем з довжиною хвилі 405 нм, що був сфокусований об'єктивом з числовою апертурою $NA=0,85$ (діаметр сфокусованого променя становив близько 800 нм). Імпульсне опромінення нанокompозитних тонких плівок призводило до утворення в зоні опромінення конічних отворів (пітів). Ширина пітів на поверхні

плівки становила 250-300нм, а біля поверхні скляної підкладки нанootвори мали діаметр 20-50 нм. Розмір утворених пітів був у 5-6 разів менше діаметра сфокусованого променя. Нанокompозитні плівки з отриманими пітами використовувались в якості маски для подальшого плазмо-хімічного травлення матеріалу підкладки оптичних носіїв довгострокового зберігання даних. В результаті на поверхні скляної підкладки були отримані піти з шириною до 50 – 200 нм.

7. Показано, що у неорганічних фоторезистах на основі халькогенідних напівпровідників для запису мікрорельєфних субмікронних структур можуть застосовуватися як фотоструктурні перетворення, так і фазові переходи «скло-кристал». Більш дослідженими є неорганічні фоторезисти на базі фотоструктурних перетворень. Неорганічні фоторезисти з фазовими перетвореннями привертають увагу до себе тим, що дозволяють реєструвати елементи з розмірами до 1/10 діаметру експонуючого променя.
8. Було досліджено та проаналізовано ряд неорганічних фоторезистів, які забезпечують запис інформації на диски-оригінали з високою швидкістю, мають високу селективність травлення та технологічні в отриманні і застосуванні. Запропоновано та досліджено ряд неорганічних фоторезистів, які забезпечують запис інформації на диски-оригінали з високою швидкістю, мають високу селективність травлення і технологічні з точки зору отримання та застосування. На відміну від органічних фоторезистів для неорганічних фоторезистів на основі халькогенідного склоподібного напівпровідника спостерігається збільшення фоточутливості при експонуванні короткими імпульсами лазерного випромінювання.
9. Було показано, що однією з причин підвищення чутливості при імпульсному експонуванні є локальний нагрів фоторезиста, який призводить до підвищення швидкості фотоструктурних перетворень. Локальний нагрів фоторезиста в зоні опромінення випромінюванням з

неоднорідним розподілом інтенсивності дозволяє вибором режимів запису зменшити розмір відбитків на необхідну величину. Використання таких фоторезистів дозволило здійснювати запис рельєфних зображень з шириною елементів 0,3-0,4 мкм.

10. Проведений аналіз показав, що на основі відпалених шарів халькогенідних напівпровідників системи Ge-Se можуть бути отримані неорганічні фоторезисти позитивного типу, придатні для лазерної літографії, в тому числі для формування рельєфно-фазової структури оптичних дисків-оригіналів. Плівки складу GeSe_3 є оптимальними за своїми оптичними і хімічними властивостями для формування оригіналів оптичних сигналів формату DVD та BD.
11. Показано, що проведення термолітографічного запису вимагає розробки спеціальних систем фокусування лазерного випромінювання. Для запису оптичних дисків у форматі DVD точність фокусування повинна бути не гірше 30 нм. Необхідна точність роботи системи автоматичного фокусування досягнута за рахунок розробки спеціальних алгоритмів управління і використання швидкодіючого п'єзоелектричного механізму переміщення фокусувального об'єктива.
12. Побудовано математичну модель зчитування даних з багатошарового оптичного диску, запис даних на який здійснено термолітографічним методом. Показано, що задача пошуку оптимальних параметрів даного носія може бути зведена до математичної задачі пошуку максимумів цільових функцій інформаційної ємності та надійності відтворення даних. Проведений аналіз ефективності застосування у багатошаровому ФЛ записі маркерних шарів показав, що даний метод є ефективним тільки при використанні люмінофорів з малими показником поглинання.
13. Запропоновано та проаналізовано метод поєднання багатошарового та багаторівневого запису для збільшення ємності оптичних носіїв. Показано, що багаторівневий запис дозволяє зменшити загальну кількість шарів диска і збільшити надійність зберігання даних. Визначено вплив

похибок, що виникають при формуванні інформаційного шару та інформаційних елементів на параметри відтворення сигналу при зчитуванні даних з багат шарового фотолюмінесцентного носія. Показано, що при створенні багат шарових фотолюмінесцентних носіїв значною мірою (у 20-30 разів) зростають вимоги до якості поверхні інформаційного шару.

14. Проаналізовано можливість використання методів SMART-мікроскопії з метою підвищення поверхневої щільності ФЛ запису. Показана принципова можливість зменшення інформаційного елементу (піту) у 4 рази. Запропоновано та досліджено використання у багат шаровому фотолюмінесцентному записі нового класу композитних піразолінових барвників, які мають такі переваги, як яскраве фотолюмінесцентне світіння, широкий діапазон спектрів фотолюмінесценції і поглинання, висока фоточутливість при локальному знебарвленні та стабільність оптичних характеристик, а також характеризуються механізмом двофотонного поглинання і фотолюмінесценції.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: термолітографічний запис, математична модель, наноструктуровані елементи, реактивне іонно-променеве травлення, багат шаровий оптичний носій інформації, інформаційний об'єкт.

Умови отримання звіту за адресою:

03113, Київ, вул. М.Шпака, 2, ІПРІ НАН України.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	12
Вступ.....	13
Розділ 1. Розробка методів лазерної термолітографії.....	17
1.1. Методи збільшення щільності оптичного запису інформації.....	17
1.2. Принципи лазерної термолітографії.....	21
1.3. Модель фототермічного запису у нанокompозитній плівці.....	23
1.4. Моделювання процесу фототермічного запису на основі методу кінцевих різниць.....	25
1.5. Висновки.....	45
Розділ 2. Багатошаровий оптичний запис інформації у середовищах з однофотонним фотолюмінесцентним поглинанням.....	46
2.1 Виділення паразитного сигналу при зчитуванні даних з багатошарового носія інформації.....	46
2.2 Математичне моделювання процесу зчитування даних з багатошарового носія інформації.....	47
2.3. Застосування маркерних шарів при побудові PMD-ROM та односесійних PMD-R носіїв.....	58
2.4 Застосування методів багаторівневого оптичного запису при побудові PMD-ROM та односесійних PMD-R носіїв.....	59
2.5 Побудова мультисесійних PMD-R та PMD-RW носіїв.....	62
2.6. Застосування маркерних шарів при побудові PMD-RW та мультисесійних PMD-R носіїв.....	65

2.7. Застосування методів багаторівневого оптичного запису при побудові PMD-RW та мультисесійних PMD-R носіїв.....	68
2.8. Вплив точності формування інформаційних структур на надійність відтворення даних з PMD-носія.....	68
2.9. Висновки.....	73
Розділ 3. Методи багатофотонного фотолюмінесцентного запису інформації.....	75
3.1. Метод багатофотонного фотлюмінесцентного запису інформації у багатошарових хвилеводних структурах.....	76
3.2. Збільшення роздільної здатності фотолюмінесцентного запису шляхом фотоіндукованої деактивації.....	79
3.3. Двофотонний ФЛ запис локальним знебарвленням у реєструвальних середовищах на основі піразолінових люмінофорів.....	82
3.4. Висновки.....	92
Розділ 4. Реєструвальні матеріали лазерної термолітографії.....	93
4.1. Реєстрація нанорозмірних структур на нелінійних фоторезистах.....	94
4.2. Аналіз можливостей термолітографічного запису.....	95
4.3. Фоточутливі матеріали термолітографічного запису нанорозмірних структур.....	100
4.4. Неорганічні фоторезисти на основі халькогенідних склоподібних напівпровідників для реєстрації нанорозмірних структур.....	107
4.5. Технології створення перспективних нелінійних фоторезистів.....	126
4.6. Аналіз механізмів запису на тонких плівках органічних барвинків....	133

4.7. Формування нанорозмірних рельєфних структур методами зондової мікроскопії.....	141
4.8. Висновки.....	151
Розділ 5. Результати експериментальних досліджень процесу термолітографічного запису.....	152
5.1. Синтез реєструвальних середовищ термолітографічного запису.....	152
5.2. Налаштування лазерної станції для запису даних на нанокompозитні тонкі плівки.....	158
5.3. Експериментальне дослідження процесу термічного лазерного запису на нанокompозитних тонких плівках.....	162
5.4. Дослідження основних характеристик нанокompозитних плівок.....	163
5.5. Взаємодія сфокусованого лазерного випромінювання з нанокompозитними тонкими плівками.....	174
5.6. Прогнозування строків зберігання даних на оптичних дисках.....	181
5.7. Висновки.....	193
Основні результати.....	195
Список літератури.....	199