

Національний Технічний Університет України

"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

На правах рукопису

УДК 535.241.13

538.245

ВИШНЕВСЬКИЙ Віктор Георгійович

МАГНІТООПТИЧНІ ПРОСТОРОВІ МОДУЛЯТОРИ СВІТЛА
НА ОСНОВІ ФЕРИТ-ГРАНАТІВ ДЛЯ ОБРОБКИ
СИГНАЛІВ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ МАГНІТНИХ ПОЛІВ

05.11.07 - Оптичні та оптичноелектронні прилади

Автореферат

дисертації на здобуття вченого ступеня

кандидата технічних наук

Київ 1996

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00759707 (Z)

Національний Технічний Університет України

"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

На правах рукопису

УДК 535.241.13

538.245

ВИШНЕВСЬКИЙ Віктор Георгійович

МАГНІТООПТИЧНІ ПРОСТОРОВІ МОДУЛЯТОРИ СВІТЛА

НА ОСНОВІ ФЕРИТ-ГРАНАТІВ ДЛЯ ОБРОБКИ

СИГНАЛІВ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ МАГНІТНИХ ПОЛІВ

05.11.07 - Оптичні та оптичноелектронні прилади

Автореферат

дисертації на здобуття вченого ступеня

кандидата технічних наук

Київ 1996

AB 34.229

Дисертацією є рукопис. Роботу виконано у КБ "Домен" при
Сімферопольському державному університеті та на кафедрі
оптичних приладів НТУУ "Київський політехнічний інститут" (2)

Наукові керівники доктор технічних наук, професор
А.С.Островський
канд. хім. наук, професор
М.О.Грошенко

Офіційні опоненти доктор технічних наук, професор
В.В.Молебний
канд. технічних наук, с.н.с.
Г.С.Тимчик

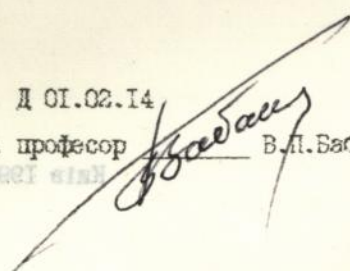
Провідна організація НВО "Завод Арсенал" (м. Київ)

Захист відбудеться "16" 04 1996 р. о 15 год.
на засіданні спеціалізованої ради Д 01.02.14 при
НТУУ "Київський політехнічний інститут" за адресою:
252056, Київ-56, пр. Перемоги 37, КПІ

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці НТУУ
"Київський політехнічний інститут"

Автореферат розіслано "11" 03 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради Д 01.02.14
доктор технічних наук, професор В.П.Бабак В.П.Бабак



AB-37229

Актуальність роботи. Швидкий розвиток розробок магнітооптичних (МО) принтерів, дефлекторів, керуємих транспарентів та ін. відбувається незважаючи на труднощі у розширенні ринку пам'яті на ПМД. Перш за все, це викликано успіхами в синтезі МО матеріалів з прогнозованими параметрами та з поглибленням розуміння фізики магнітних явищ. По-друге, з'явилася тенденція до використання оптичних засобів обробки інформації там, де потрібно обробляти значні обсяги даних. За такт роботи оптичного процесора можуть виконуватися такі складні інтегральні перетворення, як перетворення Фур'є, Френеля, Гільберта, а також згортка та кореляція. Оскільки ж традиційні пристрої запису-зберігання інформації базуються, як правило, на рухомих магнітних носіях (МН), виникає проблема синтезу реверсивного середовища для вводу інформації з МН в оптичний тракт. У цій справі альтернативи МО плівкам досі не знайдено. Крім того, використання кошірефекту у візуалізації магнітних полів складної топології дозволяє "бачити" магнітне поле і отримувати його кількісні характеристики за допомогою стандартної оптичної техніки. Але, як принципи магнітостатичної взаємодії, так і властивості дифракції у шарах з складним розподілом намагніченості вивчені недостатньо. Це перешкоджає широкому впровадженню МО перетворювачів у практику побудови конкретних систем. У зв'язку із вищенаведеним робота, в якій викладено досвід з розробки й дослідження МО матеріалів і запропоновано конструкції МО пристроїв для когерентного спектрального аналізу (КСА) та для візуалізації магнітних полів (ВМП) у мікромасштабах має значну актуальність.

Метою дисертаційної роботи є розробка й вивчення принципів дії просторових модуляторів світла (ПМС), які базуються на ефекті Фарадея у тонких епітаксіальних плівках ферит-гранатів (ЕПФГ). Ці модулятори розглядаються як перетворюючі елементи у системах когерентного оптичного аналізу сигналів, що фіксовані на магнітному носії, а також у приладах, призначених для візуалізації магнітних полів складної топології.

Для досягнення цієї мети в роботі вивчаються такі проблеми: а) принципи дії МОПМС в дво-й багат шарових системах, де висококоерцитивний шар індукує в МО шарі адекватний розподіл намагніченості; б) фізичні ефекти поширення світла в неоднорідно-намагніченому середовищі та дифракція світла на магнітних дифракційних ґратках (МДГ); в) конкретні системи з перетворювачами на основі ЕПФГ, що мають спеціальні типи магнітної анізотропії; г) параметри МОПМС та технологічні засоби їх оптимізації та корекції.

На захист виносяться такі наукові положення* а) рішення магнітостатичної задачі про взаємодію між низькокоерційним шаром ЕПФГ і висококоерційним шаром магнітного носія; б) розгляд задачі дифракції на МДГ у межах режиму Рамана -Ната при урахуванні поляризаційних ефектів на межах поділу середовищ; в) аналіз причин, що відрізняють реальні та теоретичні дифракційні спектри від МДГ; г) конструкції та технологічні особливості виготовлення МОПМС для когерентного аналізу спектра і для візуалізації магнітних полів; д) аналіз факторів, що впливають на магнітооптичний контраст, і засоби його підвищення; ж) загальні принципи побудови пристроїв візуалізації магнітних полів.

Особистий внесок дисертанта в розробку наукових результатів є * теоретичному та експериментальному дослідженні індукованого розподілу намагніченості у магнітооптичних шарах із різною анізотропією; експериментальному дослідженні та теоретичному аналізі спектрів дифракції на такому розподілі; оптимізації дзеркально-захисних покриттів та конструкцій МОПМС; теоретичному та експериментальному вивченню проблеми МО контрасту; розробці, макетуванні та апробації в умовах науки та виробництва пристроїв візуалізації неоднорідних магнітних полів; розробці нових МО матеріалів.

НАУКОВА НОВИЗНА

1. Проведено аналіз двошарової системи ЕПФГ-МН з точки зору магнітостатичної взаємодії з урахуванням типу анізотропії ЕПФГ.
2. Вивчено особливості дифракції світла на індукованих магнітних ґратках як у геометрії нормального падіння світла, так і в геометрії повного внутрішнього відбиття (ПВВ). Досліджено ефекти ПВВ, що змінюють просторово-частотні характеристики (ПЧХ) МО ПМС, запропоновано та апробовано засоби їх корекції.
3. Проаналізовано особливості отримання магнітооптичного зображення і шляхи досягнення його оптимального контрасту з урахуванням впливу конструкцій освітлювальної та зображувачої систем.
4. Запропоновано конструктивні рішення конкретних МОПМС для багатоканальних когерентних спектроаналізаторів та для пристроїв візуалізації, а також відповідні МО реверсивні середовища.
5. Розроблено оптико-механічні та оптико-електронні вузли пристроїв для візуалізації магнітних полів складної топології.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ РОБОТИ

1. Синтезовано реверсивні середовища для МО ПМС, що призначені для використання у системах КСА та у пристроях магнітооптичної візуалізації неоднорідних магнітних полів.

2. Розроблено МОПМС для вводу інформації з рухомого носія в аналогові оптичні процесори та виготовлено їх діючі варіанти.

3. Розроблено конструкції одно- та багатошарових дзеркально-захисних покриттів, що здатні коректувати ПЧХ ПМС та полішувати їх функціональні параметри.

4. Виготовлено пристрої для ВМП у мікромасштабах, які застосовуються в мікродефектоскопії, топографуванні магнітного запису інформації, криміналістичній фоноскопичній експертизі.

РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Найважливіші результати роботи були впроваджені при виконанні 16 госпрозрахункових та бюджетних НДР, а також двох проєктів, що перемогли у конкурсах ДКНТ України. Проєкти ДКНТ № 4/900 "Магнетон" (1992-1993) та № 6.8/127 "Топограф" (1993-1994).

НДР виконувалися в інтересах* НВО "Волна" (Москва), НДІ "Гідроприлад" (Київ), МІФІ (Москва), ЗЗМ "Весна" (Запоріжжя), НВО "Завод Арсенал" (Київ). Технологія "Синтез нових епітаксціальних ферит-гранатових структур для пристроїв оптичної обробки інформації" співавтором якої є дисертант, здобула I премію АТН України за 1993 рік.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботі використовуються методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії лінійних систем, математичного аналізу та аналітичної геометрії, математичної фізики та теорії оптичних і оптико-електронних систем. Вживаються методи експериментальних досліджень з фізики магнітних явищ, когерентної оптики та оптико-електронного приладобудування.

АПРОВАЦІЯ РОБОТИ Наукові результати дисертації доповідалися на всесоюзних та міжнародних конференціях. В тому числі* на VII Всесоюзній конференції "Проблеми магнітних вимірювань", Ленінград 1989; IX Семінарі по функціональній магнітоелектроніці", Красноярськ 1990; XI Всесоюзній конференції по оптичній обробці інформації, Фрунзе 1990; Всесоюзній конференції "Оптичне зображення та реєструючі середовища", Ленінград 1990; XIII Всесоюзному семінарі "Нові магнітні матеріали мікроелектроніки", Астрахань 1992; на VI та VII Міжнародних наукових семінарах "Фізика магнітних явищ", Донецьк 1993-1994; Міжнародній конференції "Physics in Ukraine", Київ 1993; XIV Міжнародній конференції ICM FS'94 "Magnetic Films and Surfaces", Дюссельдорф, Германія 1994.

ПУБЛІКАЦІЇ За тематикою дисертації опубліковано взагалі 38 робіт, і в тому числі - 6 авторських свідоцтв.

СТРУКТУРА ТА ОБСЯГ РОБОТИ Дисертація складається з вступу, чо-

тирьох глав, висновків, списку використаної літератури та додатків. Дисертація містить 138 сторінок основного тексту, а також 79 малюнків та фотографій і 40 таблиць. Список використаної літератури містить 142 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Добре відомо, що магнітні носії інформації найбільш широко використовуються серед інших у зв'язку з тим, що апаратура запису-зберігання інформації досить проста й надійна, носії стійкі до дії відносно високих температур та вологостій, інформація легко реверсується та досить довго зберігається, а щільність запису висока. Однак, магнітні доріжки не можна побачити, що ускладнює не тільки монтаж, але й оцінку якості запису і процедуру вступання апаратури. З іншого боку, оптичні засоби контролю та обробки інформації взагалі, а когерентні спектроаналізатори-особливо- характеризуються тим, що в них носій сигналу - світло - має велику кількість ступенів свободи (амплітуда, фаза, частота, поляризація). Крім того, двовірність фронту світлової хвилі дозволяє мати справу з двовірними операндами. Двовірне перетворення Фур'є досить просто виконується над масивом 10^4 - 10^6 елементів за час $\sim 10^{-8}$ с за допомогою звичайної сферичної лінзи. Таким чином, виникла проблема синтезу реверсивного середовища для здійснення просторової модуляції світла на розподілі намагніченості, індукованому полем МН. Оскільки переваги оптичних засобів обробки найбільш великі при аналоговій модуляції, також існує проблема створення аналогового МО перетворювача.

Складною проблемою магнітних вимірювань є проблема отримання топограм просторово-неоднорідного магнітного поля із розмірами у діапазоні 10^{-7} - 10^{-9} м. Існують такі способи отримання топограм, як електронно-оптичний спосіб, спосіб з використанням інтегральних датчиків типу датчиків Холла та метод ферофлюїдів - магнітних рідин. Однак, застосування електронно-оптичних систем потребує дуже складного апаратного забезпечення (як мінімум - це електронно-оптичний мікроскоп та спеціальні маски для муарових картин), а інтегральні датчики не забезпечують достатнього просторового розділення. Магнітні рідини дають тільки якісну картину розподілу поля, не дозволяючи отримати кількісні характеристики: крім того, вони є витратним матеріалом та руйнують (ко-роблять) шар МН. У той же час МО метод є досить інформативним методом при простій апаратній реалізації: він дозволяє безпосе-

редньо "бачити" і реконструювати розподіл магнітного поля.

В обох випадках, тобто в системах когерентних аналізаторів спектра та пристроях візуалізації полів складної топології, використовується модуляція намагніченості просторово-неоднорідним полем носія. З іншого боку, в обох випадках відбувається дифракція світла на індукованому розподілі намагніченості з тією різницею, що у пристроях візуалізації аналізується зображення, а в аналізаторах спектра - дифракційна картина. Можна розглядати МО реверсивне середовище разом з підкладкою та з покриттями як спеціальний просторовий модулятор світла.

Якщо шар ЕПФ розміщено в неоднорідному полі МН, то завдяки копірефекту можна візуалізувати розподіл залишкової намагніченості МН, але з похибками, пов'язаними з властивостями МО шару. Плівки з однією магнітною анізотропією мають бінарну доменну структуру (ДС) та відображують лише диференціал розподілу намагніченості, якщо поле МН n_n перевищує поле насичення ЕПФ n_s . Модуляція здійснюється шляхом зміщення доменних кордонів (ДК). Взагалі магнітостатичну задачу про взаємодію шарів ЕПФ та МН слід вважати лінійною при відсутності гістерезису ($n_s=0$) і при лінійності функції намагнічування ЕПФ. Ні та, ні інша умови не виконуються при використанні плівок з ДС. Це стимулювало пошук середовищ з аналоговим типом МО перетворення. Воно здійснюється у матеріалах з анізотропією "легка площина", якщо діюче поле орієнтовано уздовж вісі важкого намагнічування (ВВН), а спонтанний магнітний стан ЕПФ є монодоменим. При цьому шар може бути ізотропним та суттєво анізотропним в площині, а модуляція здійснюватися або ротацією вектора m_z в нормаль, або в площині - від вісі легкого намагнічування (ВЛН) до ВВН. Для цих матеріалів найважливішим магнітним параметром-фактором якості $Q = n_k / 4\pi M_s < 1$ (де n_k є поле анізотропії), тоді як для "звичайних" ЕПФ $Q \gg 1$. Вирішувалася задача про розподіл намагніченості, індукований в такому шарі неоднорідним полем МН, та результат порівнювався з рішенням аналогічної магнітостатичної задачі для плівок з $Q \gg 1$. Показано, що в плівці "легка площина" намагніченість m_z в цілому "слідкує" за діючим полем n : копірефект в цих умовах має значно меншу нелінійність, ніж для ЕПФ з $Q \gg 1$, і просторове МО перетворення можна було б вважати аналоговим, якби не існування поляризаційних ефектів дифракції на індукованих неоднорідним полем МН магнітних ґратках.

Загальні закономірності дифракції Фраунгофера на магнітних

ґратках відомі, але розподіл інтенсивностей в реальних спектрах суттєво не співпадає з теоретичним. Оскільки магнітний носій непрозорий і дифузно розсіє світло, конструктив МОПМС повинен передбачати або відбиття від шару, проміжного між носієм та МО середовищем, або ПБВ в умовах похилого падіння світла (рис.1).

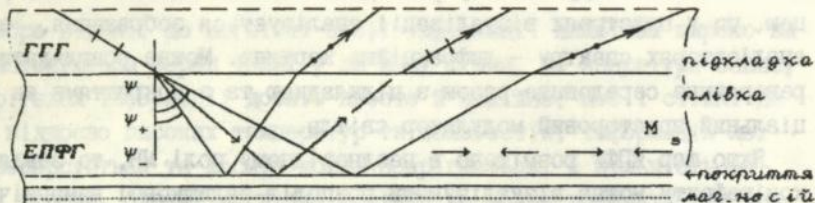


Рис.1. Розповсюдження світла в неоднорідно намагніченому шарі призмового МОПМС з анізотропією 'легка площина'

Було виявлено, що спектр дифракції в геометрії ПБВ має асиметрію відносно 0-го максимуму та ця асиметрія визначається станом поляризації світла та типом магнітної анізотропії МО шару. Зміна азимуту поляризації β веде до перерозподілу інтенсивностей $I_{\pm m}$, де m - номер порядку дифракції. При циркулярній поляризації ефективності порядків $+1$ та -1 приблизно рівні. Зміна стану поляризації з p на s змінює розподіл енергії в півплощинях спектру. Позначивши глибину модуляції порядків дифракції $\Gamma = \ln(I_p/I_s)$, можна побачити, що зразки з анізотропією "легка площина" та "легка вісь" мають різний знак параметра Γ (рис.2)

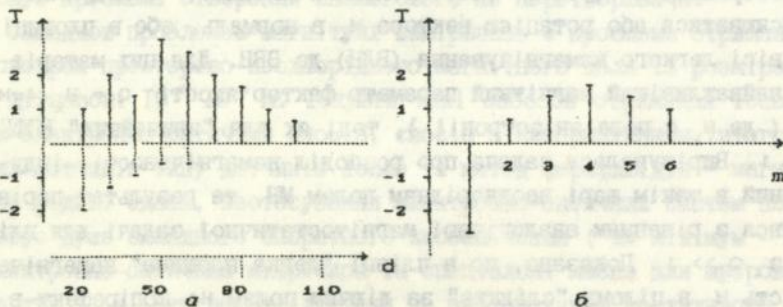


Рис.2 Коливання інтенсивностей порядків дифракції при модуляції поляризації як функція періоду ґратки (а) та як залежність від індексу порядку дифракції m (б) Порівняльні лінії - зразок 'легка вісь', суцільні - 'легка площина'

Функція глибини модуляції від m (див. рис.2) вказує на те, що в "площинних" зразках Γ для $m = 1$ та для $m > 1$ має різні знаки, а в "одновісних" - однакові. ПЧХ МОПМС з похилим падінням світла характеризується нелінійністю, яка залежить від обертаня Фарадея θ та товщини t МО шару, кута падіння світла ψ (або розповсюдження ψ), періоду ґратки d (або частоти $1/d$). Було показано, що асиметрія дифракційного спектру, що спостерігається, викликана переважно поляризаційними ефектами ПБВ на межах розділу середовищ. Якщо інтенсивність продифрагованих хвиль, що розповсюджуються в ЕПФГ під кутами ψ_+ та ψ_- , є I_{o_1} , то інтенсивності в спектральній площині*

$$I_{\pm} = I_{o_1} \sin^2 \left[\frac{\pi t \tan \psi}{d} \right] \cos^2 \frac{1}{2} \left[\delta_{\pm} - \delta(\psi) \pm \frac{2\pi t \tan \psi}{d} \right]$$

де δ_{\pm} -стрибок фази для хвиль, що розповсюджуються в ЕПФГ під кутами ψ_{\pm} , а $\delta(\psi)$ - для хвилі нульового порядку. Це співвідношення має місце для $q < 1$ та при розподілі намагніченості в МО шарі згідно з залежністю $M(x) = M_0 \sin(2\pi x/d)$. Знак (+) відноситься до порядку дифракції з номером +1. Стрибки фази при ПБВ для р-поляризації падаючого світла задовольняють співвідношенням*

$$\operatorname{tg} [\delta(\psi)/2] = [\sin^2 \psi - n_{21}^2]^{1/2} / n_{21}^2 \cos \psi$$

$$\operatorname{tg} [\delta_{\pm}/2] = [\sin^2 \psi_{\pm} - n_{21}^2]^{1/2} / \cos \psi$$

де $n_{21} = 1/n$ - показник заломлювання МО шару відносно повітря.

Для металічних або металоїдних покриттів стрибки фази взаємно-перпендикулярних поляризацій становлять*

$$\operatorname{tg} \delta_m(\psi) = \frac{2bc \cos \psi (a^2 + b^2 - \sin^2 \psi)}{a^2 + b^2 - n_m^4 (1 + \kappa^2)^2 \cos^2 \psi} \quad \operatorname{tg} \delta_{m\pm} = \frac{2bc \cos \psi_{\pm}}{\cos^2 \psi_{\pm} - (a^2 + b^2)}$$

де

$$a = [n_i^2 - \sin^2 \psi]^{1/2} \quad b = [n_i^2 - n_m^2 (1 - \kappa^2)]^{1/2}$$

та

$$n_i = 2^{-1/2} [n_m^2 (1 - \kappa^2) + \sin^2 \psi + \{ [n_m^2 (1 - \kappa^2) - \sin^2 \psi]^2 + 4n_m^4 \kappa^2 \}^{1/2}]^{1/2}$$

Тут n_m і κ - головні показники заломлювання та поглинання металу (металоїду), з якого виготовлене покриття на поверхні МОПМС.

Розрахунками на ЕОМ і дослідженням модуляційних характеристик МОПМС в однорідному полі було показано, що такі теоретичні уявлення добре задовольняють численням експериментальним даним. Експерименти показали, що металічні і металоїдні покриття МОПМС із похилим падінням світла практично вирівнюють ПЧХ, але малоефектив-

ні, оскільки знижують дифракційну ефективність η .

Кращим з точки зору експлуатаційних показників є варіант, що передбачає інтерференційне діелектричне дзеркало (ДД) та поглинаюче захисне покриття (ЗП). Необхідність останнього пов'язана з абразивною дією рухомого носія інформації* при відсутності ЗП у зразків МОПМС робочий шар частково руйнувався і з'являлася паразитна дифракція. ДД із структурною формулою НВНВ (низький та високий показники заломлення) та складом $\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2$ із сумарною товщиною біля 0,44 мкм може забезпечити подвійний прохід світла практично без фазових стрибків для ортогональних поляризацій.

ДД із складом $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ta}_2\text{O}_5$ та шаром діелектрика, що має поглинання (алмазоподібне), надає можливість отримати практично "однопрохідну" МО дифракцію. При двох парах шарів товщина ДД дорівнює 0,58 мкм, а коефіцієнти відбиття 76,4 % та 4,9 % для взаємно ортогональних поляризацій. Значне поглинання (до 10^3 на $\lambda=0,63$ мкм) в алмазоподібному шарі однієї з поляризацій обумовлює дифракцію в "один прохід". Потрібно також наголосити на поляризаційно-селективні властивості ДД, тому що пригнічування нульових просторових частот є характерною особливістю МОПМС. Максимум різниці інтенсивностей ортогональних поляризацій надає ДД із складом $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ * при 4-х чвертьхвильових діелектричних шарах співвідношення між коефіцієнтами відбиття p та s -поляризацій дорівнює ~ 130 . При цьому загальна товщина ДД є не більш 0,52 мкм, тому і втрати неконтакту (зниження поля сигналів МН та роздільної здатності з дистанцією) не перевищують 1,5 дБ. У випадку реалізації "однопрохідної" дифракції співвідношення сигнал/шум пристрою КСА має підвищуватись приблизно на порядок. Рис.3 демонструє залежність спектра сигналу від відсутності або наявності ДД в МОПМС.

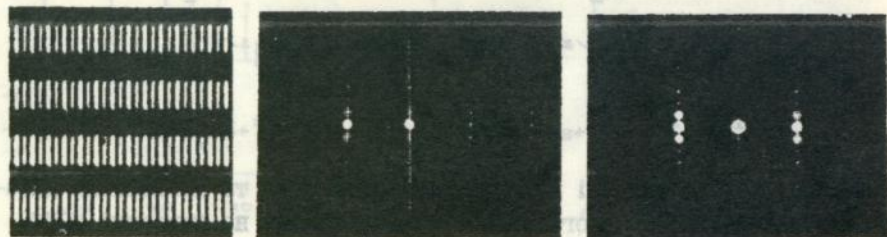


Рис.3. Візуалізована структура 64-канального магнітного запису (а) та його Фур'є-спектри, отримані МОПМС без ДД (б) та з ДД (в)

Вплив відбиваючого шару на ПЧ можна використати таким чином,

щоб завдяки інтерференції в ньому падаючого та відбитого світла уникнути стрибків фази* зсув фази в прозорому зносостійкому покритті на поверхні МО шару компенсує зміни ПЧХ, що викликані зсувом фаз ПВВ. З цієї метою було використано тонкі плівки Al_2O_3 .
 Виготовлені зразки МОПМС характеризувалися: динамічним діапазоном $D = 40-45$ дБ, нелінійністю МО перетворення $\leq 1\%$, дифракційною ефективністю $\eta = 0,1-0,5\%$ і рівнем фазових спотворень не більше $\lambda/2$ ($\lambda=0,63$ мкм) при лінійній апертурі 16×16 мм.

МОПМС, що призначені для візуалізації та топографування неоднорідних полів, не дивлячись на схожість принципів модуляції, для різних задач повинні відрізнятися деякими властивостями. Базовий конструктив пристрою ВМП містить* поляризаційний мікропроектор з опак-ілімінатором, саме МОПМС, пристрої підмагнічування і приймач зображення. Отримання якісного зображення в умовах поляризаційного контрастування обмежується кількома факторами* чутливість МОПМС до поля: побудовою поляризаційної системи мікропроектора та параметрами приймача зображення.

Перш за все, вивчалися можливості виготовлення ЕПФГ для забезпечення* максимальної чутливості до поля розсіяння магнітного носія: максимального просторового розділення: максимального контрасту. Згідно з цим для потреби візуалізації дуже слабких полів розсіяння було розроблено та синтезовано плівки з низькими температурами Кюри T_k ($60-80^\circ\text{C}$) та високою коерцитивністю H_c (до $100-200$ Е) при кімнатних температурах. Підвищені значення H_c досягнуті шляхом розузгодження кристалічних констант підкладки та плівки (b_a/a). При цьому має місце фасетування поверхні, а ДС має тип офсету. Загальний або локальний розігрів до T_k дає можливість інвертувати намагніченість згідно з розподілом магнітного поля, яке вивчається. Між ним та плівкою розміщено шар TiN , який виконує функції дзеркала та покриття, що забезпечує розігрів плівки до T_k при пропусканні електричного струму (провідність ~ 10 Ом/см). Зразки таких ЕПФГ відчували магнітні поля з амплітудов $< 0,1$ Е.

Підбір магнітних параметрів одновісних ($Q > 1$) плівок ускладнювався потребою отримання малих періодів ДС (d_0) для підвищення роздільної здатності при можливо найменших полях H_0 та H_c . Розділювальна здатність пов'язана з просторовою частотою ДС $\lambda_0 = 1/d_0$ пропорційною $4\pi M_0$, а спектр перебудови частот в полі носія H_0 дорівнює

$$\lambda_0 \pm \Delta\lambda = S_1 (M_0 / \tau)^{1/2} Q^{-1/4} \pm S_2 (H_0 / \tau)^{1/2} Q^{-1/4}$$

де S_1 та S_2 - константи: тому підвищення $\Delta\lambda$ при незмінній намагні-

ченості досягалося зменшенням товщини плівки t . В результаті були синтезовані плівки з $n_s < 25$ Е та $n_c \sim 0,5$ Е при $d_0 \sim 5$ мкм. Наматніченість ЕПФГ $4\pi M_s \sim 80-350$ Гс. Поширення діапазону перебудови частот $\Delta\lambda$ спостерігалось при зменшенні фактора якості Q . Тому синтезовані двошарові ЕПФГ, де внутрішній шар має $Q < 1$, а зовнішній $Q > 1$.

Головний критерій розробки зразка "легка площина" для аналогової візуалізації є лінійність перетворення $\partial\gamma/\partial n_n = \text{const}$ (де γ - кут "виходу" моменту з площини). Досвід синтезу таких ЕПФГ показав, що можна отримати конфігурацію "легка площина" на підкладках з кристалічною орієнтацією (III), якщо товщина плівок не перевищує деякої критичної. При $t > 4$ мкм плівки виявляли шарність, що відбивалося на формі петлі гістерезису.

МО контраст є найбільш критичним параметром в оптичній системі візуалізатора. Він залежить від e у плівці та Δ - коефіцієнта деполаризації (або екстинкції), що вноситься мікрооб'єктивом разом з системою освітлення, кінцевим ступенем якості поляризаторів та ефектом магнітного кругового дихроїзму (МКД) у плівці. Крім того, він змінюється в залежності від взаємної орієнтації осей поляроїдів - кута F , де F відраховується від фазового положення. Функція контрасту може бути задана по-різному. Розглядалися визначення $K_1 = I_+ / I_-$; $K_2 = P = (I_+ - I_-) / (I_+ + I_-)$, а також $K_3 = (I_+ - I_-) / I_+$ та $K_4 = (I_+ - I_-) / I_-$. Визначення K_2 та K_4 , як правило, використовуються при аналізі ФПК оптичних систем або їх розділювальної здатності. Оптимальним до потреб аналізу МО зображень є K_1 . При $\Delta \ll 1$ для випадку проходячого світла*

$$K_1 = 1 + (\sin 2\theta t \sin 2F) / (\Delta + \sin^2(F - \theta t))$$

З цього ясно, що $K_1 \rightarrow K_{\max}$ (для $\theta t = \text{const}$) при куті F , що відрізняється від θt тим більше, чим нижче ступінь поляризації P *

$$2F = \arccos[P \cos 2\theta t], \quad \text{тобто при } F \neq \theta t$$

У випадку відбитого світла азимут аналізатора F при $K_1 = K_{\max}$ повинен відповідати такій умові*

$$2F = \arccos \left[P \frac{a + a' + b \cos 4\theta t}{a + a' + b} \right]$$

де $a = R_{12} + (1 - R_{12})^2 R_{23}$; $b = (1 - R_{12})^2 (1 - R_{23})^2 R_{13} \exp(-2\alpha t)$; $a' = I_n / I_0$,

R_{12} , R_{23} , R_{13} - коефіцієнти відбиття від кордонів розділу середовищ МОЛМС (ГТТ-повітря, ГТТ-ЕПФГ та ЕПФГ-повітря), а I_n - паразитний світловий потік від мікрооб'єктива в напрямку приймача зо-

браження. За допомогою комп'ютерних засобів побудовано функції типу $K(\Delta, F)$ при $et = \text{const}$ у "тривимірному" вигляді і з'ясовано, як повинна істувати поляризаційна система мікроскопу при конкретних параметрах МОПМС. Проведені експериментальні виміри k_1 в геометрії проходячого та відбитого світла та отримано очікуваний результат - контраст у відбитому світлі завжди нижче, ніж у проходячому, і залежить від побудови рефлектора (системи Бека, Берка, Сміта). Показано також, що він зменшується з ростом λ світла та залежить від відношення e/α у плівці (ЕПФГ) МОПМС.

Збудований макет візуалізатора, що має опак за Келером та рефлектор Сміта, ефективність якого відносно рефлектора Бека 97%. Деполаризація в поляризаційному блоці $\Delta = 10^{-3}$ при монохроматичному освітленні та $\Delta = 10^{-2}$ у білому світлі. Якщо в МОПМС $e \gg 1,5^\circ/\text{мм}$, то контраст $k_1 \sim 1:2$, а роздільна здатність $\sim 10^3 \text{ мм}^{-1}$. За допомогою приймача зображення - ТВ камери на пристрої з зарядовим зв'язком (ПЗЗ) із чутливістю $\sim 0,5 \text{ лк}$ та інтерфейсного адаптера МО зображення вводилися в IBM PC атзев для обробки напівтонових зображень форматом 512x256 крапок з розділенням 8 біт/крапка. Використовувався проблемно-орієнтований пакет програм. В результаті показано, що візуалізатор може успішно застосовуватися у справах криміналістичних фотоскопічних експертиз, візуалізації частково втраченої інформації (при дії на носій високих температур) та в цілому ряді інших випадків. На *рис. 4* показано поле розсіяння до ріжок запису, візуалізоване за допомогою МОПМС, та вигляд панелі монітора пристрою ВМП з результатами обробки МО зображення.



Рис. 4. Візуалізовані боріжки запису диску пам'яті ЕОМ та вигляд панелі монітора пристрою ВМП з 'двомірною' реконструкцією поля

Похибки методу МО ВМП залежать від того, який МО матеріал та який засіб реєстрації даних використано. Особливість методик ВМП полягає в тому, що не існує еталонів неоднорідних магнітних полів, а також немає відповідних пристроїв метрологічної атестації. Тому за основу визначення похибок методу можуть бути взяті лише загаль-

ДПВ Ін. В. Стефаніка
 АН України

ні оцінки. Якщо ВМП виконується плівкою з $q \gg 1$, похибки визвано неоднозначністю відображення лінії однакової напруженості поля n , різноманітними конфігураціями ДС при умові однорідності n_c . Якщо існує неоднорідність n_c , то вона може бути найважливішою причиною похибок, хоча її вплив зменшується однорідним імпульсним полем. Вона визначає й локальний поріг чутливості методу. Геометрична ж похибка за рахунок коерцитивності залежить від співвідношення n_c/β , де β - градієнт вивчаемого поля. Показано, що систематична похибка методу може дорівнювати 5-7 %. Ї підстава вважати, що можна зменшити похибки до $\sim 3\%$ при умові застосування "площинних" ЕПФГ та ПЗЗ-камер з нелінійністю світлової характеристики $< 1\%$. Однак можуть виникнути деякі зміни зображення форми поля, наприклад - подвоєння частоти, що пов'язане з поляризаційним контрастуванням. Показано, як повинна вступатися поляризаційна система пристрою ВМП, щоб запобігти виникнення цієї геометричної похибки.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Досліджено особливості функціонування ПМС на основі ефекту Фарадея в когерентних спектроаналізаторах та пристроях візуалізації неоднорідних магнітних полів.

2. Проаналізовано магнітостатичну взаємодію у двохаровій системі магнітний носій-МО плівка при урахуванні її анізотропії і показано, що застосування плівок "легка плоскість" забезпечує аналогове МО перетворення найбільш ефективно.

3. Синтезовано та випробувано зразки плівок ферит-гранатів із вмістом vi , що призначені для ПМС систем когерентного спектрального аналізу та візуалізації магнітних полів. Експериментально досліджено їх інтегральні модуляційні характеристики.

4. Вивчено особливості дифракції світла на магнітокерованих магнітних ґратках з різноманітним розподілом намагніченості та при варіації кутів падіння світла. Досліджено ефекти дифракції в геометрії повного внутрішнього відбиття, їх вплив на ПЧХ МО ПМС та запропоновано спеціальні покриття, що здатні коректувати ПЧХ. Запропоновано конкретні конструкції МОПМС.

5. Досліджено фактори, що впливають на магнітооптичний контраст в пристроях ВМП: показано, як повинна вступатися оптична система візуалізатора для отримання максимального контрасту.

6. Розроблено оптико-механічні вузли візуалізаторів магнітних полів з плівковим МОПМС, що призначені для мікродефектоскопії, аналізу магнітного запису і криміналістичної експертизи.

Основні результати дисертації опубліковано в роботах:

1 . Поляризационные эффекты магнитооптической дифракции в геометрии полного внутреннего отражения/Ю.Ф.Вилесов,В.Г.Вишневский,Н.А.Грошенко//Письма в ЖТФ. 1989. Т.15. С. 14-17

2 . Особенности функционирования многослойного магнитооптического пространственного модулятора света призмной конструкции/В.Г.Вишневский,Ю.Ф.Вилесов,Н.А.Грошенко,Л.В.Ламекин,А.В.Ярыгин//Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 1993. Вып. 10. С. 45-50

3 . Magneto-optical spatial light modulators for optical processors and their features/V.Vishnevski,Yu.Vilesov,N.Groschenko,S.Dubinko,A.Procopov,A.Yariguin//International Conference "Physics in Ukraine", Proc.Contributed Papers,Kiev. 1993. Vol. "Radiophysics and Electronics. PP. 263-266

4 . Apparatus and programming tools for magnetopolariscopy and nonuniform magnetic field imaging/V.Vishnevski, N.Groschenko, S.Levy//14-th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces & MRS Symposium on Magnetic Films/Multilayers. ICMFS'94. Dusseldorf.Germany 1994. Colloquium Digest. p.D.125-126 (761-762).

5 . АС СССР N 1626183, МКИ G 01 R 23/17. Анализатор спектра электрических сигналов/Ю.П.Батыга,В.Г.Вишневский,Н.А.Грошенко,С.М.Гусев,В.В.Кордубан,А.Р.Прокопов//Зарегистрировано 8.10.1990. Приоритет 24.02.1989

6 . АС СССР N 1734068, МКИ G 02 F 1/09. Магнитооптический пространственно-временной модулятор света/Ю.Ф.Вилесов,В.Г.Вишневский,Н.А.Грошенко,С.В.Левый//Зарегистрировано 15.01.1992. Приоритет 28.02.1990

7 . АС СССР N 1698821, МКИ G 01 R 23/17 // G 11 B 13/04 Магнитооптическая головка для считывания сигналограммы с магнитной ленты/Ю.Ф.Вилесов,В.Г.Вишневский,Н.А.Грошенко//Зарегистрировано 15.08.1991. Приоритет 15.12.1988

8 . АС СССР N 1775682, МКИ G 01 R 23/18. Анализатор спектра электрических сигналов/Ю.Ф.Вилесов,В.Г.Вишневский,А.Р.Прокопов,А.В.Ярыгин//Зарегистрировано 15.07.1992. Приоритет 28.02.90 Патент Украины № 4661 от 15.09.94.

9 . АС СССР N 1788476 МКИ G 01 23/16. Анализатор спектра электрических сигналов/Ю.Ф.Вилесов,В.Г.Вишневский,А.Р.Прокопов,А.В.Ярыгин//Зарегистрировано 15.09.1992. Приоритет 28.02.1992

10 . АС СССР N 1789938 МКИ G 01 23/16. Анализатор спектра электрических сигналов/Ю.Ф.Вилесов,В.Г.Вишневский,Н.А.Грошенко,А.Р.Прокопов,А.В.Ярыгин//Зарегистрировано 22.09.1992. Приоритет

15.10.1990

11. Разработка полуавтоматического магнитооптического визуализатора неоднородных магнитных полей/В.Г.Вишневский, С.В.Левый А.С.Островский//Международная Конференция "Оптико-электронные устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации". Сб. материалов. Курск, 1993. С.111-112

12. Программно-аппаратные средства анализа магнитооптических изображений/Д.И.Турбин, С.В.Левый, В.Г.Вишневский//Тез. докл. VII Международного Семинара "Физика магнитных явлений", АН Украины, Донецк. 1994. С. 155

Вишневский В.Г. *Магнитооптические пространственные модуляторы на основе феррит-гранатов для обработки сигналов и визуализации магнитных полей.* (рукопись)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07 - оптические и оптоэлектронные приборы; НТУУ "Киевский политехнический институт", Киев 1995

Защищается 30 научных публикаций, в том числе - 6 авторских свидетельств, которые содержат теоретические и экспериментальные исследования магнитооптических пространственных модуляторов света, предназначенных для ввода информации в оптические процессоры и для визуализации магнитных полей. Установлено, что: нелинейность ПЧК призмных МО модуляторов для когерентного спектрального анализа обусловлена эффектами поляризационной природы; пространственное преобразование при помощи МО пленок "легкая плоскость" можно считать аналоговым; контраст магнитооптического изображения при визуализации всегда ниже в отраженных лучах в сравнении с проходящими. Vishnevski V.G. *Magneto-optic spatial light modulators based on garnet films for data processing and magnetic field imaging.*

Masters thesis for technical sciences degree (manuscript)
Specialization 05.11.07 - optical and optoelectronic devices
National Tech.University "Kiev polytechnical institute", Kiev 1995
30 scientific publications included 6 author certificates consist of theoretical and experimental study in magneto-optical spatial light modulators for optical processing and magnetic fields imaging are defend. It is shown that: APC nonlinearity of prism-type modulators for data processing has a polarizing effects nature; space conversion with "easy-plane" anisotropy films has an analog type; contrast ratio of magneto-optical images is lower in reflected light and higher in propagating light.

Ключові слова: магнитооптика, спектральний аналіз, візуалізація магнітного поля, дифракція, контраст доменів, епітаксійні плівки

Печать офсетная. Усл.печ.л. 1. Тираж 100. Заказ №183

444805

АВ 34.229

Отпечатано в издательском центре КМИ г.
Симферополь, бул. Ленина 5/7, тел. 291-420
тираж 100 экз.