

## Лабораторна робота №4-2

# ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТООПТИЧНОГО ВІЗУАЛІЗАТОРА

**Мета роботи:** вивчити принцип побудови та конструкцію магнітооптичного візуалізатора, виконати дослідження магнітних сигналів документів.

### Теоретичні відомості

Цінні папери, банкноти мають елементи захисту документа. Захист документа — це сукупність особливостей, що реалізуються при використанні візуальних характеристик та спеціальних технологій і дозволяють однозначно встановити справжність документа. Розрізняють такі методи захисту документів: 1) технологічні (водяні знаки, захисні волокна та ін.); 2) фізико-хімічні (люмінесцентний, інфрачервоний, магнітний); 3) поліграфічні (різні види друку, суміщені та скриті зображення).

Магнітний захист передбачає наявність магнітних властивостей елементів документа. Найчастіше це спеціальні типографські фарби, можуть бути також захисні волокна, металева стрічка.

Розрізняють два типи магнітного захисту на основі типографських фарб. При першому типі магнітні властивості має окремий реквізит документа, наприклад, серійний номер. Таким захистом захищено більшість банкнот, що перебувають в обігу, деякі із цінних паперів та інші різновиди документів. Захист другого типу виконується локальним розподілом магнітних властивостей у межах зображення. При цьому зовнішні (візуальні) відмінності відсутні.

Магнітооптичні методи візуалізації засновані на явищі повороту площини поляризації світла при відбитті від намагніченого середовища (ефект Керра) або проходженні крізь намагнічене середовище (ефект Фарадея).

У досліджуваному пристрої використовується ефект Фарадея (рис. 4.1).

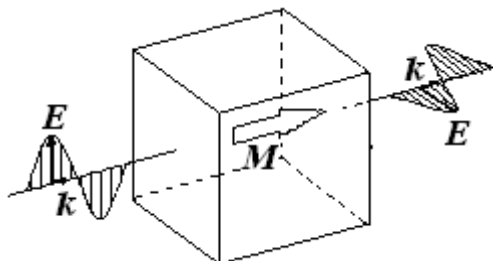


Рисунок 4.1 — Ефект Фарадея:  $k$  — хвильовий вектор,  $E$  — вектор напруженості електричного поля,  $M$  — вектор намагніченості

Площиною поляризації називається площина, яка проходить через напрямок вектора  $E$  лінійно поляризованої хвилі та напрямком поширення цієї хвилі (площина  $Ek$ ). У лінійно поляризованій хвилі проекція траєкторії кінця вектора  $E$  на площину, перпендикулярну променю — відрізок прямої лінії.

Таку хвилю можна подати сумою двох хвиль, які мають однакові амплітуди та фазові швидкості, з поляризацією по колу у протилежних напрямках обертання векторів  $E$ . У поляризованій по колу хвилі проекція траєкторії кінця вектора  $E$  — коло. Ці хвилі називають право- та лівополяризованою, якщо для спостерігача напрямок обертання вектора  $E$  співпадає з напрямком відповідно за та проти годинникової стрілки. Оскільки намагнічений кристал являє собою оптично анізотропне середовище, право- та лівополяризована хвилі поширюються з різними швидкостями. Внаслідок цього з'являється різниця фаз хвиль, яка і приводить до повороту площини поляризації.

Кут повороту площини поляризації визначається співвідношенням:

$$\psi = \frac{\varphi_{\text{п}} - \varphi_{\text{л}}}{2} = \frac{\pi l}{\lambda} (n_{\text{п}} - n_{\text{л}}), \quad (4.1)$$

де  $\varphi_{\text{п,л}}$  та  $n_{\text{п,л}}$  — фази та показники заломлення право- та лівополяризованої хвилі;  $l$  — довжина шляху хвилі;  $\lambda$  — довжина хвилі у вакуумі.

Ефективність магнітооптичного матеріалу характеризує магнітооптична добротність, яка визначається співвідношенням  $Q = 2\psi/\alpha l$ , де  $\alpha$  — коефіцієнт оптичного поглинання. У магнітооптичних пристроях використовують високодобротний ферит-гранат (має кристалічні грати мінералу гранату) з вмістом вісмуту.

На рис. 4.2 показано конструкцію магнітооптичного перетворювача. Плівку ферит-гранату вирощують на підкладці з галій-гадолінієвого гранату. Верхню грань підкладки виконано просвітленою для збільшення контрасту спостережуваної картини. Знизу на перетворювач нанесено дзеркально-захисний шар для збільшення коефіцієнта відбиття та зносостійкості перетворювача.

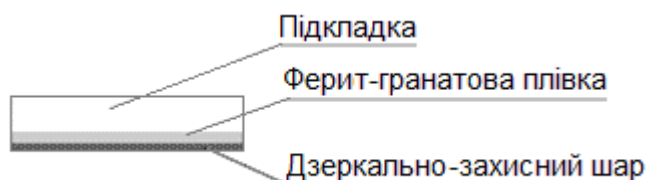


Рисунок 4.2

За відсутності зовнішнього магнітного поля магнітооптична плівка має просторову лабіринтову доменну структуру, причому напрямки векторів намагніченості в сусідніх доменах протилежні і перпендикулярні поверхні плівки. При локальному намагніченні ферит-гранатової плівки в зовнішньому полі доменна структура перебудовується відповідно до просторових та амплітудних характеристик поля, а після зняття поля повертається в незбурений (початковий) стан.

На рис. 4.3 приведено структурну схему магнітооптичної візуалізації на основі ефекту Фарадея. Світло від джерела 1 збирається конденсорною лінзою 2, проходить крізь поляризатор 3, попадає на магнітооптичний перетворювач 4, притиснутий до поверхні документа 5, що досліджується. Поле розсіяння від документа перебудовує лабіринтову доменну структуру ферит-гранатової плів-

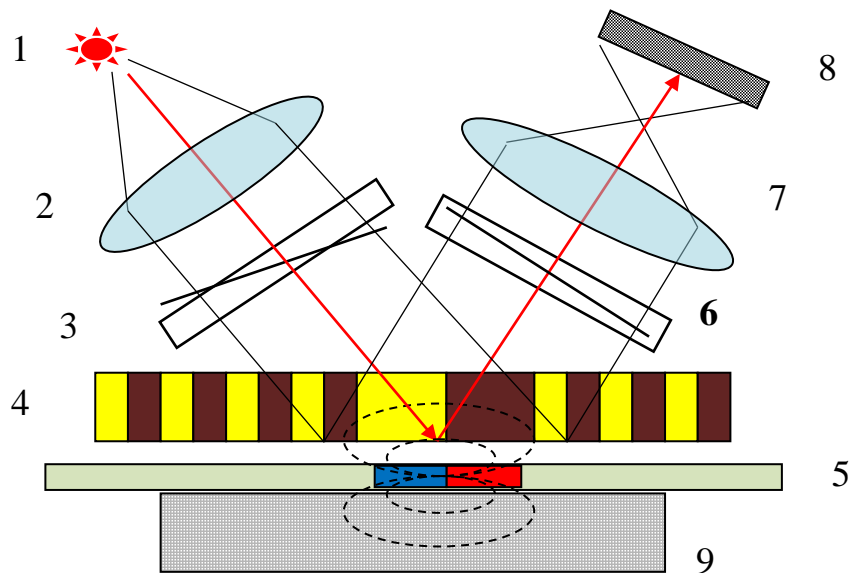


Рисунок 4.3 — Структурна схема магнітооптичної візуалізації:  
 1 — джерело світла; 2 — конденсорна лінза; 3 — поляризатор;  
 4 — магнітооптичний перетворювач; 5 — документ; 6 — аналізатор;  
 7 — оптичний об'єктив; 8 — фотоприймач; 9 — притискач

ки відповідно до структури поля документа. При проходженні світла крізь магнітооптичну плівку внаслідок ефекту Фарадея повертається площина поляризації світла залежно від того, через який домен воно проходить (жовтим і коричневим кольорами умовно показано доменну структуру плівки). Відбите дзеркально-захисним шаром світло знову проходить крізь плівку, і площина його поляризації знову повертається на той же кут і у ту ж сторону, що і при першому проходженні. Подвійне проходження світла крізь плівку подвоює кут повороту площини поляризації світла, збільшуючи тим самим чутливість до магнітного поля. Далі світло проходить крізь аналізатор 6, що перетворює модуляцію світла по площині поляризації в модуляцію світла по інтенсивності. Після оптичного об'єктива 7 цей сигнал реєструється фотоприймачем 8.

Поляризатор і аналізатор пропускають хвилю лише з визначеним напрямком вектора  $E$ , що співпадає з їх віссю. Поляризатор призначений для виділення лінійно поляризованого світла із неполяризованого. Аналізатор встановлюють так, щоб світло при проходженні крізь домени, що відповідають темним фрагментам елемента захисту документа, не проходило, а крізь домени, що відповідають світлим фрагментам, проходило. По відношенню до напрямку поширення світла осі поляризатора і аналізатора схрещені під кутом  $90^{\circ} - \psi$ . Світло від темних фрагментів падає на аналізатор під кутом  $90^{\circ}$  до його осі і не проходить, а від світлих — під кутом  $90^{\circ} - 2\psi$ . Для ферит-гранатових плівок значення  $\psi$  обмежене товщиною плівки, оскільки, по-перше, ферит-гранат — дорогий матеріал, а по друге, при збільшенні товщини зростають втрати в матеріалі. Типове значення  $\psi \approx 20^{\circ}$ . Незважаючи на те, що світло, яке відповідає світлим фрагментам, проходить крізь аналізатор не повністю, такого значення  $\psi$  достатньо для їх реєстрації фотоприймачем.

На рис. 4.4 зображено конструкцію магнітооптичного візуалізатора. Візуалізатор розроблено в лабораторії методів та засобів криміналістичних досліджень радіотехнічного факультету НТУУ «КПІ». Одна з друкованих робіт авторів розробки [1].

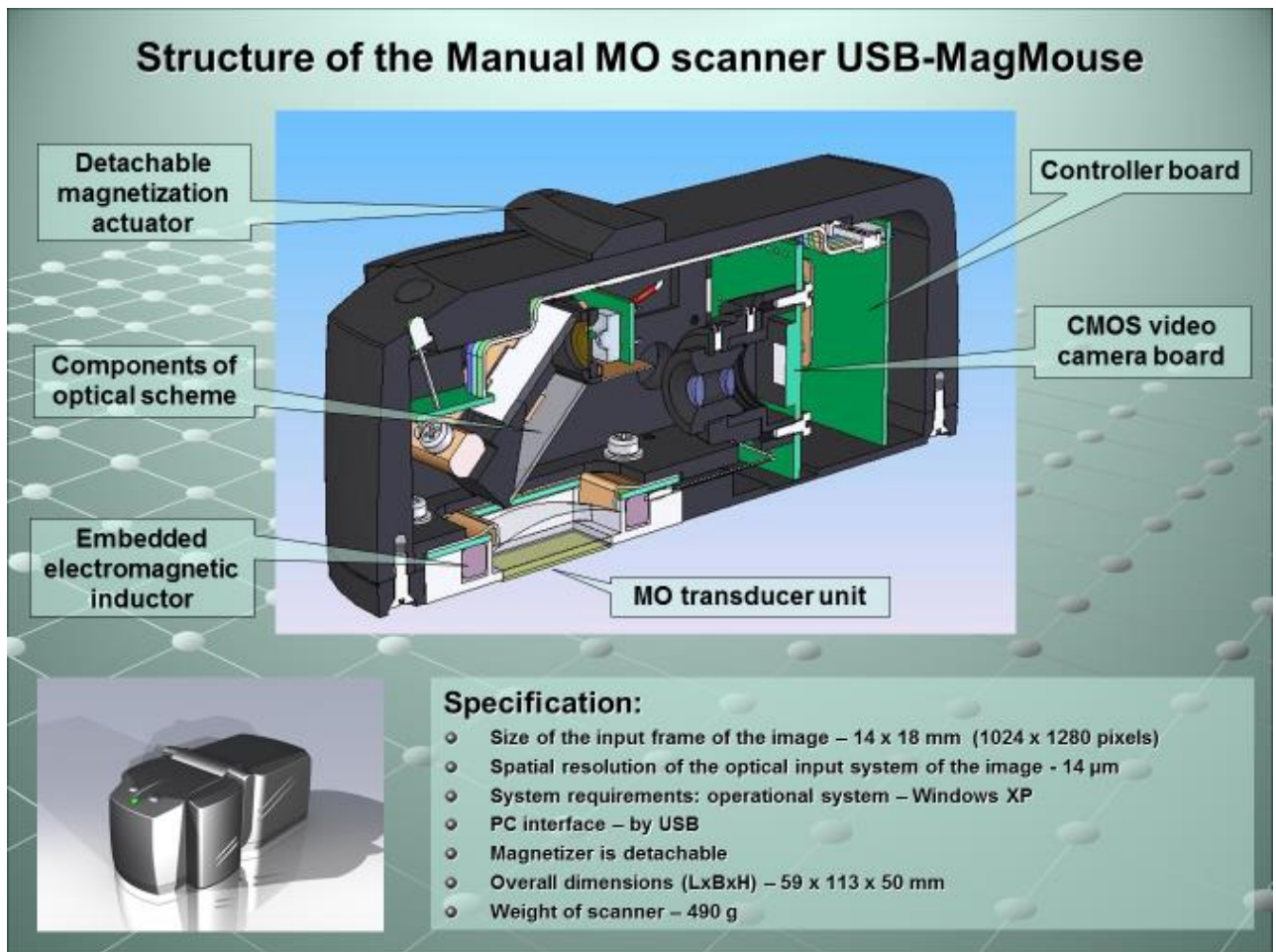


Рисунок 4.4 — Конструкція магнітооптичного візуалізатора:  
 Detachable magnetization actuator — знімна система підмагнічування;  
 Components of optical scheme — компоненти оптичної системи;  
 Embedded electromagnetic inductor — вбудований електромагнітний індуктор;  
 MO transducer unit — магнітооптичний перетворювач;  
 CMOS video camera board — плата КМОП-відеокамери;  
 Controller board — плата контролера

Живлення, керування, вивід та обробка результатів роботи візуалізатора здійснюється за допомогою комп'ютера, до USB-порту якого він підключений. Магнітооптичний перетворювач сприймає магнітне поле магнітного елемента захисту досліджуваного документа, яке за допомогою оптичної системи й цифрової камери перетворюється в цифрове зображення. Після обробки зображення виводиться у вікно програми CADR.

У безпосередній близькості від перетворювача розміщений індуктор, що при певних режимах роботи формує імпульси магнітного поля, які впливають на перетворювач. Індуктор призначений для підвищення чутливості та якості

зображення, а також для формування магнітних полів зсуву, необхідних для оцінки магнітних параметрів елементів захисту документів.

Система підмагнічування є джерелом зовнішнього магнітного поля для магнітних елементів захисту документів. Магнітні елементи вносять викривлення у поле, які виявляються перетворювачем.

Система підмагнічування дозволяє розрізнити елементи захисту з магнітожорсткими і магнітом'якими магнітними матеріалами. Зображення на основі магнітом'яких матеріалів видимі тільки при встановленій системі підмагнічування, а на основі магнітожорстких матеріалів після однократного намагнічування системою видні і без неї протягом деякого проміжку часу.

### **Контрольні запитання**

1. Як класифікують методи захисту документів?
2. Як виконується магнітний захист документів?
3. У чому полягає ефект Фарадея?
4. Доведіть, що лінійно поляризовану хвилю можна подати двома хвилями з круговою поляризацією.
5. Отримайте формулу (4.1).
6. Що таке магнітооптична добротність і як вона визначається?
7. Поясніть роботу магнітооптичного візуалізатора за схемою на рис. 4.3.
8. Якому куту  $\psi$  відповідає максимальна контрастність магнітооптичної візуалізації?
9. Чому по відношенню до напрямку поширення світла осі аналізатора та поляризатора повинні бути схрещені під кутом  $90^0 - \psi$ , де  $\psi \approx 20^0$ ?
10. Поясніть особливості конструкції магнітооптичного візуалізатора за рис. 4.4.
11. Як розрізнити магнітожорсткі та магнітом'які елементи захисту документів?

### **Завдання на лабораторну роботу**

#### **1. Магнітні дослідження тест-зображення.**

1.1 Увести початкове зображення. Зробити ескіз фрагмента доменної структури магнітної плівки.

1.2 Отримати у викладача аркуші з тест-зображеннями. Для кожного аркуша виконати магнітні вимірювання (3 рази), графіки вимірювань зберегти у форматі \*.jpg. Визначити, які аркуші надруковано на одному і тому-ж принтері?

1.3 Для кожного принтера розрахувати діапазон значень, середнє значення та відносну похибку (як відношення діапазона до середнього значення) модуля потоку магнітної індукції  $\Phi_n$ .

1.4 Отримати у викладача аркуші з оригінальним та зменшеним тест-зображеннями. Для кожного аркуша виконати магнітні вимірювання (3 рази), графіки вимірювань зберегти у форматі \*.jpg. Пояснити, чим обумовлена різниця в значеннях  $\Phi_n$  для оригінального та зменшеного тест-зображення?

#### **2. Магнітні дослідження банкнот номіналом в 1\$.**

2.1 На банкноті номіналом в 1\$ (далі зразок) обрати зону для дослідження та

узгодити з викладачем. Виконати магнітні вимірювання обраної зони (3 рази). Виконати обробку зони дослідження операцією «Окраска по радуге». Отримані графіки та зображення зберегти у форматі \*.jpg.

2.2 Виконати дослідження для копії банкноти номіналом в 1\$ (далі копія), для дослідження обирається та ж зона, як у п. 2.1. Виконати обробку зони дослідження операцією «Окраска по радуге». Отримані графіки та зображення зберегти у форматі \*.jpg.

2.3 Для отриманих в пп. 2.1 та 2.2 результатів розрахувати діапазон значень, середнє значення та відносну похибку  $\Phi_n$  для зразка і копії. Проаналізувати та пояснити отримані результати.

2.4 Проаналізувати відмінності отриманих зображень зразка та копії і пояснити їх причини.

2.5 Зняти систему підмагнічування, виконати дослідження обраної зони зразка, проаналізувати, як змінилося зображення елемента документа?

2.6 Зі знятою системою підмагнічування виконати дослідження обраної зони копії, проаналізувати, як змінилося зображення?

2.7 Виходячи з пп. 2.5 та 2.6 зробити висновок щодо магнітного матеріалу, який використовується в зразку та копії.

### **3. Визначення прихованого зображення.**

3.1 Отримати у викладача картку з прихованим зображенням. Просканувати картку та знайти приховане зображення, кадр з зображенням зберегти у форматі \*.jpg.

3.2 Написати, що саме зображено на картці, якщо формула — вказати її назву або для чого вона використовується?

### **Зміст звіту**

Мета роботи.

Результати досліджень та розрахунків.

Висновки у формі аналізу отриманих результатів.

### **Список літератури**

1. Агалиди Ю. С. Исследование индуцированных магнитных полей рассеяния тонкопленочных дисперсных ферромагнетиков / Ю. С. Агалиди, П. В. Кожухарь, С. В. Левый, А. М. Мачнев, С. Л. Пономарев // // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2012. — Т. 55, № 5. — С. 17–20.
2. Sugano S. Magneto-Optics / S. Sugano, N. Kojima, eds., 2nd edition. — Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2013. — 336 p.
3. Рандошкин В. В. Прикладная магнитооптика / В. В. Рандошкин, Л. Я. Червоненкис. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 320 с.