4. ТЕСТУВАННЯ ПРИСТРОЮ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1. Тестування пристрою

Тестування цифрового оптичного спектрометра здійснювалося у вигляді лабораторного досліду, результатом якого є визначення досліджуваного матеріалу за допомогою отриманих математично оброблених даних, які були отримані з Arduino Mega платформи оптичного спектрометра при різних кутах падіння поляризованого світла.

Загальна схема послідовності експерименту та обчислень, зображена на рисунку 4.1.1. Відповідно до схеми ми змінюємо кут падіння світла з метою знаходження кутів, при яких червона, зелена або синя складові світла зникнуть (будуть рівні або максимально близькі до нуля). Отримавши значення трьох кутів, при яких червона, зелена або синя складові світла зникли, ми визначаємо коефіцієнти заломлення (n), використовуючи методику Брюстера. Обчисливши значення коефіцієнтів заломлення (n), використовуючи формули Зельмеєра, обчислюємо значення шести коефіцієнтів Зельмеєра (B1, B2, B3, C1, C2, C3). Попередньо, в програму Qt терміналу, занесені значення коефіцієнтів Зельмеєра для багатьох матеріалів (напівпровідників) і як результат ми отримаємо ім’я досліджуваного матеріалу, як основний результат досліду.

|  |
| --- |
| Рисунок 4.1.1 — Загальна схема послідовності експерименту та обчислень |

Блок-схема, яка включає в себе послідовність виконання команд Qt терміналу для виконання експерименту і тестування роботи цифрового оптичного спектрометра зображена на рисунку 4.1.2. Перед тим як розпочати експеримент, надсилається команда CONFIG від Qt терміналу до Arduino Mega через UART для того, щоб конфігурувати два APDS сенсори, які приєднані. Після відправки команди ми очікуємо на відповідь від Arduino Mega, якщо приходе помилка конфігурації (Failure) — знову пробуємо надіслати команду CONFIG, якщо приходе позитивна відповідь (Success) — переходимо до основної частини експерименту, в якій міняємо кут падіння світла починаючи з 10 градусів і до 80 градусів з кроком +10. Кожного разу коли виставляється кут падіння (10, 20, …, 80), відправляється команда MEASURE до Qt терміналу із параметром ‘i’, який містить кут падіння, що був виставлений (приклад команди — “MEASURE 10”). Результатом команди є надсилання команд CAPTURE\_DATA до Arduino Mega для того, щоб зняти значення з APDS сенсорів. Після того як дані були зняті Arduino Mega відправляє пакети запакованих даних назад до Qt терміналу, які ми розпакувавши заносимо в таблицю. Після того, як було заповнено таблицю для всіх можливих кутів, надсилається команда CALCULATE до Qt терміналу, після якої рахуються коефіцієнти заломлення (n) (refractive index), коефіцієнти Зельмеєра та визначається тип матеріалу і виводяться результати у вікні терміналу. Отримані результати з терміналу порівнюються з реальними.

|  |
| --- |
| Рисунок 4.1.2 — Блок-схема тестування роботи цифрового оптичного спектрометра |

Результати роботи оптичного спектрометра показано на рисунку 4.1.3 і рисунку 4.1.4. Сенсори були успішно сконфігуровані, значення червоної, зеленої та синьої складових світла були виміряні та передані на обробку до Qt терміналу.

|  |
| --- |
| Рисунок 4.1.3 — Результати роботи оптичного спектрометра 1 |

За допомогою математичних перетворень (метод Брюстера, формули Зельмеєра) було обчислено коефіцієнти Зельмеєра: B1 = 28.145, B2 = 0.040, B3 = 0.000, C1 = 0.489, C2 = 0.874, C3 = 37.211. Програмно співставивши отримані коефіцієнти з табличними значеннями, які були занесені, ми отримали ім’я напівпровідника, який найбільше підходить для обчислених коефіцієнтів — Арсенід галію.

|  |
| --- |
| Рисунок 4.1.4 — Результати роботи оптичного спектрометра 2 |

Назва напівпровідника була визначена абсолютно вірно — досліджувався напівпровідник Арсенід галію, який дуже широко використовується в електронних приладах і тому важливий в промисловому виробництві.

4.2. Аналіз результатів

Для тестування, налаштування, калібрування та проведення випробування пристрою були задіяні наступні прилади: Specord 210, ДМР-4, Спектрометричний Гоніометр. Двопроменевий спектрофотометр Specord 210 використовувався в конфігурації вимірювання спектрів відбивання (дифузне відбивання з інтегральною сферою). Однопроменевий монохроматор ДМР-4 використовувався для точного визначення спектральних складових джерел освітлення та спектральних чутливостей модулів APDS. Гоніометр використовувався як високоточний координатний поворотний столик для встановлення модулів APDS при певних кутах (для вимірювання кутів Брюстера).

Математична обробка отриманих сигналів та відпрацювання алгоритмів здійснювалося в програмному середовищі Mathcad 11-15. Символьне обчислення здійснювалося в версії 11 так як в ньому вбудоване символьне ядро програмного продукту Maple. Версія програми 15 дозволяє здійснювати автоматичне обчислення результатів вимірювань та підтримує можливість звернення до скриптових інструкцій. Блоки алгоритмів обчислень були спеціально реалізовані у вигляді чисельних методів (максимально не використовувалися вбудовані функції). Для обчислень систем рівнянь в середовищі Mathcad є набір вбудованих функцій, а саме: Find, Minner, lsolve. В нашій роботі були задіяні функції Find та Minner. Внутрішня механіка даних функцій базується на використанні чисельних градієнтних методів обчислення. Обидві функції однакові та Minner при розбіжності ітераційного процесу виводить наближене значення, а інша функція – помилку обчислення. Даний підхід дав змогу перенести алгоритми на мову програмування с++ і створити власний фреймворк. Розроблені методи були згруповані у вигляді класів для підключення як сторонні бібліотеки на боці Arduino Mega так і в Qt терміналі.

Для тестування запропонованої установки були задіяні зразки у вигляді плоских пластин розміром 1см х 1см з нанесеними плівками Cu2ZnSnS4. Дані зразки були надані авторами роботи [17] і попередньо були ретельно досліджені.

Дослідження проводилося у відповідності до методики представлений на рисунку 4.1.1. Отримані результати передавалися терміналу і вводилися вручну в розрахункову площину програми Mathcad 15. Кроки обчислень наведені на рисунках нижче.

|  |
| --- |
|  |

|  |
| --- |
|  |

|  |
| --- |
|  |

|  |
| --- |
|  |

4.3. Висновки до розділу

1. У даному розділі, було повністю протестовано розроблений пристрій, а саме програмна та апаратна частини. Результатом дослідження було стало правильне визначення досліджуваного напівпровідника — пристрій абсолютно точно визначив тип матеріалу, яким був Арсенід галію.
2. До плюсів розробленого пристрою, за результатами дослідження можна віднести відносно простоту пристрою у порівнянні з попередниками. Це стало можливим завдяки оптичному сенсору APDS-9960, який одночасно може вимірювати інтенсивність для довжин хвиль зеленого, червоного та синього складових білого світла.
3. До мінусів розробленого пристрою можна віднести відсутність автоматичної системи зміни кута падаючого світла (все дослідження кути змінювалися вручну і заносилися у Qt термінал за допомогою команд). В майбутньому буде додана модифікація даного пристрою із використанням механічних моторчиків, які будуть змінювати кут падіння. Одним із мінусів також є залежність від комп’ютера, що робить його не компактним.