

Лабораторна робота №3

“Використання перетворення Фур’є для обробки експериментальних даних”

Мета роботи: Ознайомитись з можливостями швидкого перетворення Фур’є для обробки зображень одержаних за допомогою просвічуючого електронного мікроскопа.

Вступ

Суттєвий прогрес, який спостерігався в електроніці протягом останніх десятиліть пов’язаний з мінітюаризацією. Якщо у 70-х роках минулого століття розмір окермого транзистора складав 10мкм, то сучасні пристрої використовують технологію, з розміром транзистора 14нм. Така мінітюаризація сприяла розвитку різних експериментальних методів, які здатні проводити дослідження нанометрових структур з надзвичайно високою роздільною здатністю.

Серед таких методів можна виділити, розроблені на початку 1980их років атомно-силову мікроскопію та скануючий тунельний мікроскоп, які дозволяють одержувати інформацію в залежності від координати. Іншим досить великим класом методів, що дозволяють досліджувати нанорозмірні об’єкти, є методи пов’язані з оберненим простором, такі як рентгенівська дифракція . У цьому випадку використовуючи формулу Брега $2d\sin\theta=k\lambda$, одержуємо інформацію за рахунок просторових частот (u,v), що пов’язані з кутом розсіяння. Після комп’ютерної обробки яких, можна одержувати інформацію про структуру досліджуваного зразку.

Серед цих методів слід окремо виділити електронну мікроскопію, яка дозволяє працювати як у координатному так і в оберненому просторі та одержувати інформацію про форму, кристалічну та мікроструктуру зразка.

Теоретичні відомості

Існує велика кількість видів електронних мікроскопів - скануючі, растрові електронні, просвічуючий і таке інше. Для спрощення розглянемо принцип роботи просвічуючого мікроскопу.

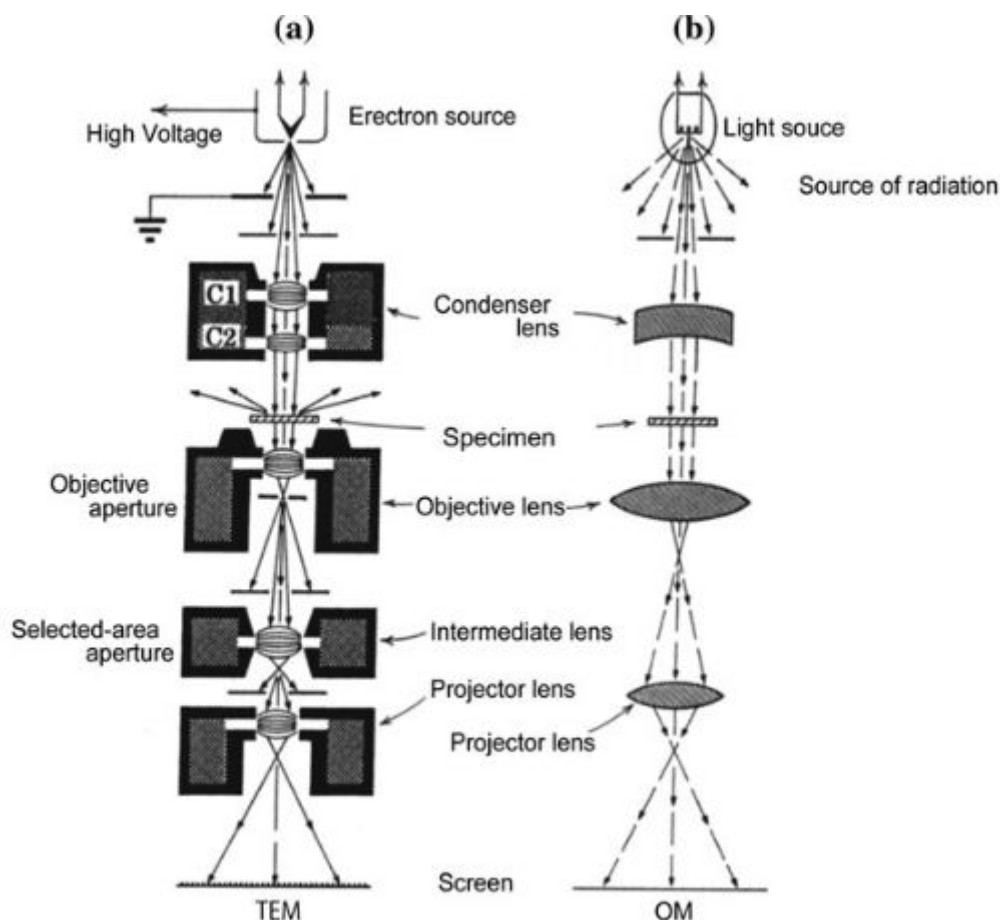


Рис.1. Порівняння схеми просвічуючого електронного мікроскопу (а) та оптичного (b)

Як можна бачити з Рис.1 принципова схема просвічуючого електронного мікроскопу схожа на оптичний мікроскоп. Використання електронів дозволяє суттєво підвищити роздільну здатність. Як відомо, роздільна здатність оптичного мікроскопу визначається довжиною хвилі випромінювання, та використовуючи критерій Релея $D = 0.61 \lambda/\alpha$, для оптичного мікроскопу роздільна здатність може досягати 100 нм. Для електронів з енергіями 100 кеВ, 200 кеВ, та 1 МеВ довжина хвилі де Бройля складатиме 0.00370, 0.00251, та 0.00087 нм, відповідно, теоретична роздільна здатність може досягати цих величин.

Просвічуючий електронний мікроскоп складається з джерела електронів -катода (вольфрамового, LaB_6 ...). Емітовані електрони прискорюються до певних енергій (найчастіше в діапазоні від 80 до 200 кеВ), фокусуються за допомогою магнітних або електростатичних лінз та потрапляє на зразок, який досліджується. Частина електронів взаємодія зі зразком та несе інформацію про зразок. Проходячи через систему збільшуючих лінз електрони потрапляють на детектор або екран, та дозволяють одержувати зображення мікроструктури.

Фур'є обробка цифрових зображень

Перетворення Фур'є зображення $f(x,y)$, дозволяє розкласти сигнал по просторовим гармоніках $F(u,v)$. Кожна компонента $F(u,v)$ містить всі значення $f(x,y)$ помножені на відповідні експоненти. Тому, за виключенням тривіальних випадків досить складно встановити однозначну відповідність між певними компонентами зображення та його Фур'є перетворенням. Проте, певні загальні співвідношення все ж таки існують. Зокрема компоненти, що змінюються найповільніше ($u=v=0$) пропорційні до середньої інтенсивності зображення. Низькі частоти відповідають повільнозмінним компонентам (слабкі варіації освітленості на цифрових зображеннях). Високі просторові частоти будуть відповідати краям об'єктів та різким змінам інтенсивності.

Техніка фільтрування у частотному просторі базується на модифікації (змінах) перетворення Фур'є для досягнення певних завдань (певної мети) та подальшого зворотнього Фур'є перетворення. Можливим є зміни фазових компонент та (або) просторового спектру. Проте, найбільших результатів можна досягти, проводячи маніпуляції саме зі спектром. Тому для цифрового зображення $f(x,y)$ розміром $M \times N$, рівняння фільтрації набуде вигляду

$$g(x,y) = F^{-1}[H(u,v)F(u,v)],$$

де F^{-1} - зворотне перетворення Фур'є, $F(u,v)$ - дискретне Фур'є перетворення зображення $f(x,y)$, $H(u,v)$ - фільтр, функція фільтрації (filter function), $g(x,y)$ - відфільтроване зображення. У цьому випадку F, H та g є масивами такої ж розміру як і вхідне зображення. $H(u,v)F(u,v)$ - за правилами множення масивів. Задання $H(u,v)$ значно спрощується у випадку задання функцій симетричних відносно центру, що потребує центрування і $F(u,v)$.

Найпростіший випадок фільтр низьких частот, який пропускає лише низькі частоти

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & \text{if } D(u, v) > D_0 \end{cases}$$

та фільтр високих частот, який пропускає все крім низьких частот

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 1 & \text{if } D(u, v) > D_0 \end{cases}$$

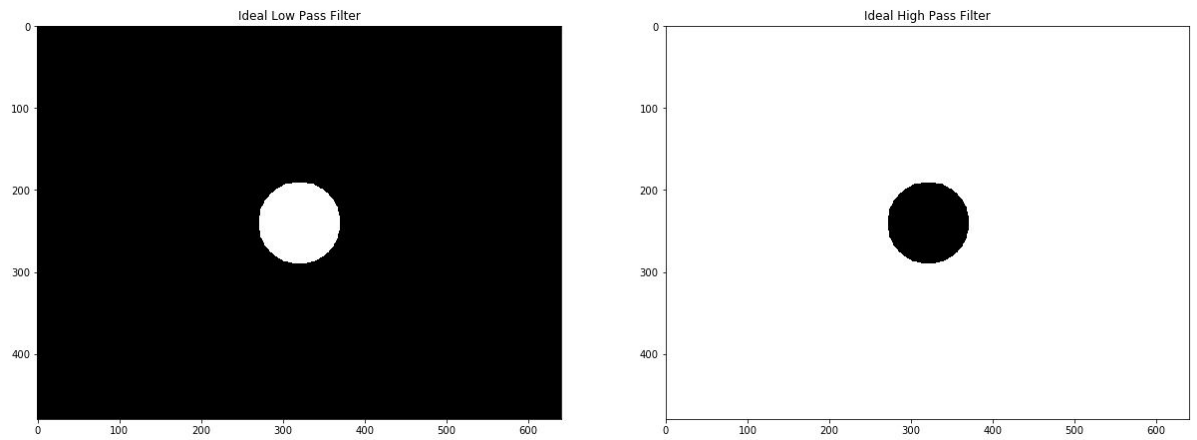


Рис.2. Ідеальні фільтри низьких(ліворуч) та високих (праворуч) частот

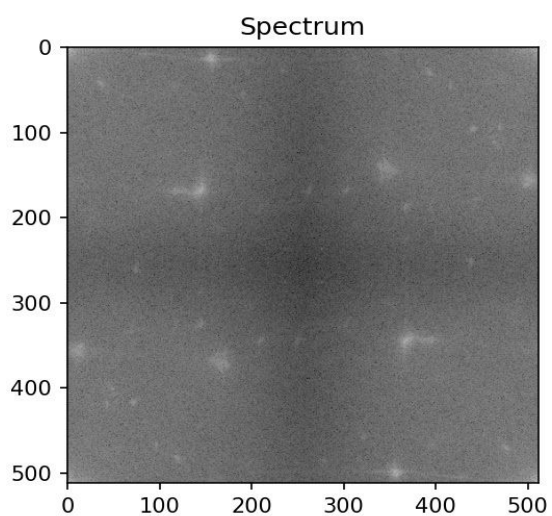
Хід виконання роботи

- 1) Завантажити одержані від викладача дані у середовище Google Colab та зчитати їх

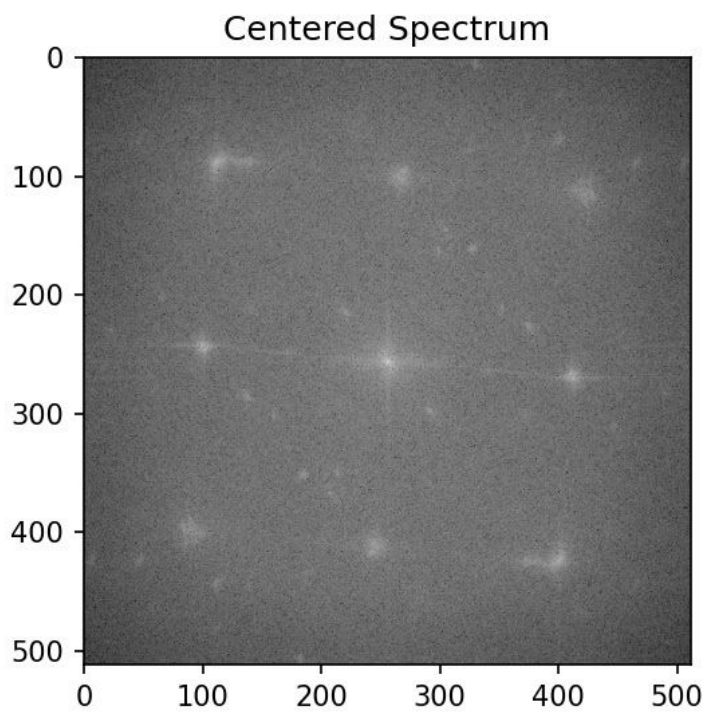


Приклад зображення одержаного за допомогою ТЕМ

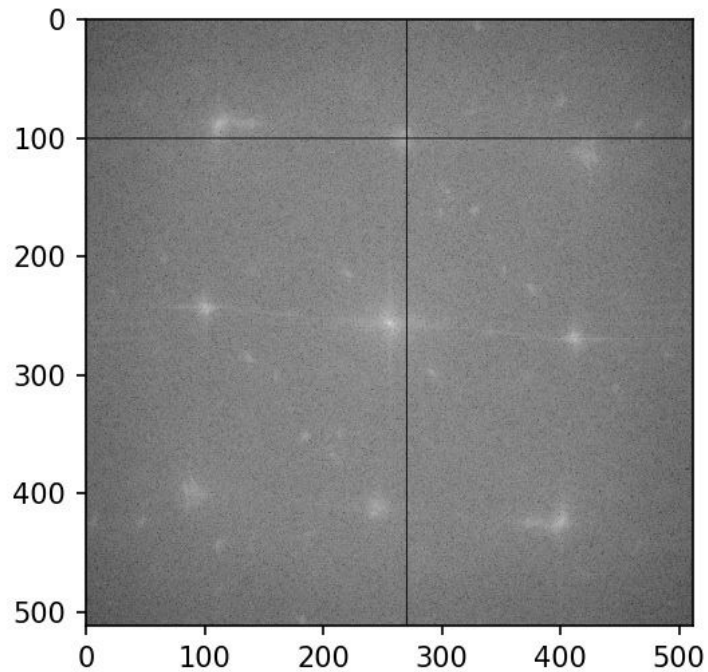
- 2) Використовуючи функцію бібліотеки `numpy` `numpy.fft.fft2` одержати 2вимірне фур'є перетворення



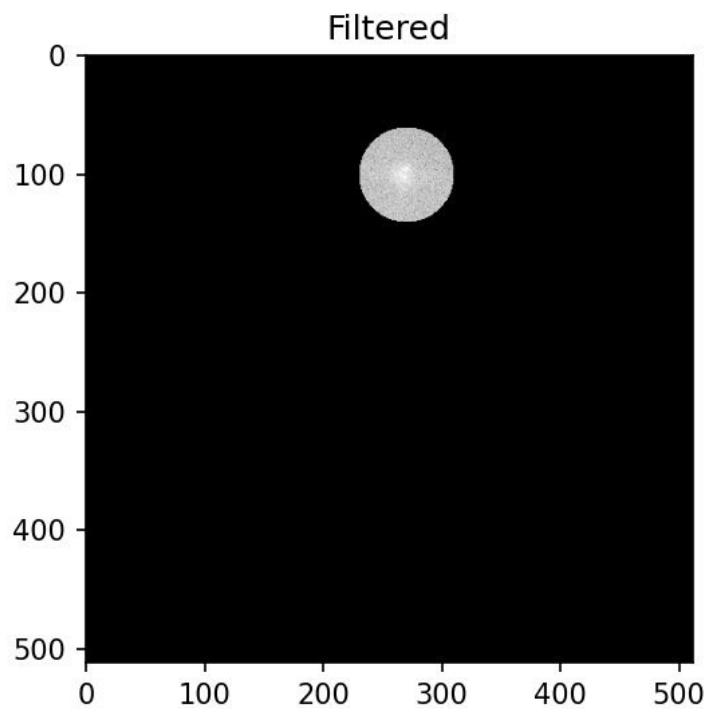
3) Використовуючи функцію `numpy.fft.fftshift()`, зсунути спектр, таким чином, щоб нульові частоти знаходились по центру



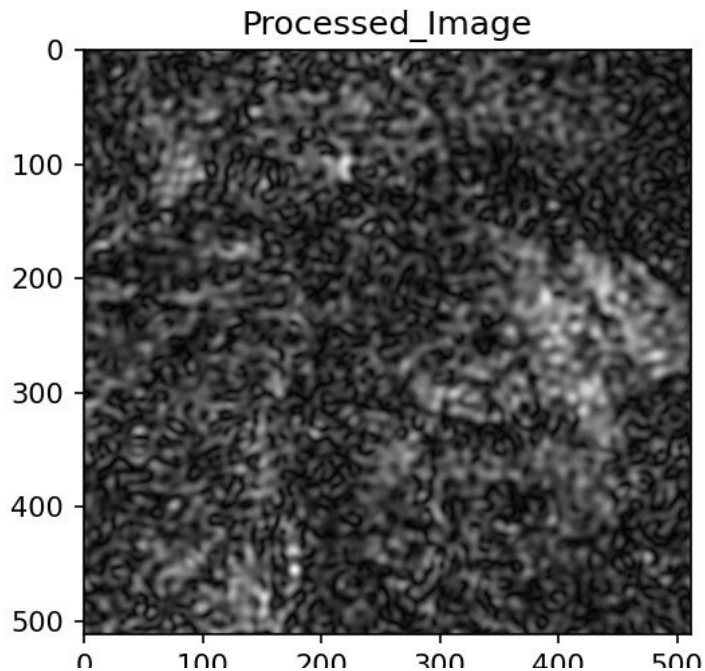
4) Обрати один з нецентральных дифракційних піків,



5) Використовуючи просторовий фільтр з заданими параметрами провести фільтрацію просторових гармонік у певному діапазоні частот



- 6) Провести зворотній зсув та зворотне перетворення частот, одержати зображення



- 7) Дослідити вплив на зображення фільтрування центрального піку за допомогою фільтра високих та низьких частот

Використана література

1) Nobuo Tanaka “Electron Nanoimaging Basics of Imaging and Diffraction for TEM and STEM” Springer Japan KK 2017

2) Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods , “Digital Image Processing”, 3rd Edition
Pearson, 2008

Додаток

приклад коду для реалізації фільтрів

```
import numpy as np
from math import sqrt
def distance(point1, point2):
    return sqrt((point1[0]-point2[0])**2 +
                (point1[1]-point2[1])**2)

def idealFilterLP(D0, imgShape): // фільтр низьких частот
    base = np.zeros(imgShape[:2])
    rows, cols = imgShape[:2]
```

```

center = (rows/2,cols/2)
for x in range(cols):
    for y in range(rows):
        if distance((y,x),center) < D0:
            base[y,x] = 1
return base

def idealFilterHP(D0,imgShape): // фільтр високих частот
base = np.ones(imgShape[:2])
rows, cols = imgShape[:2]
center = (rows/2,cols/2)
for x in range(cols):
    for y in range(rows):
        if distance((y,x),center) < D0:
            base[y,x] = 0
return base

```