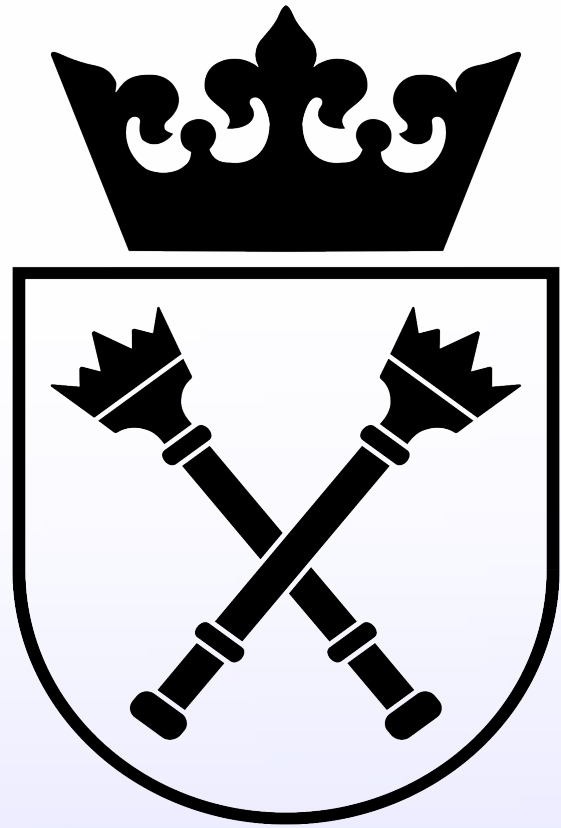


Badanie modeli powierzchni krystalicznych metodami dyfrakcyjnymi



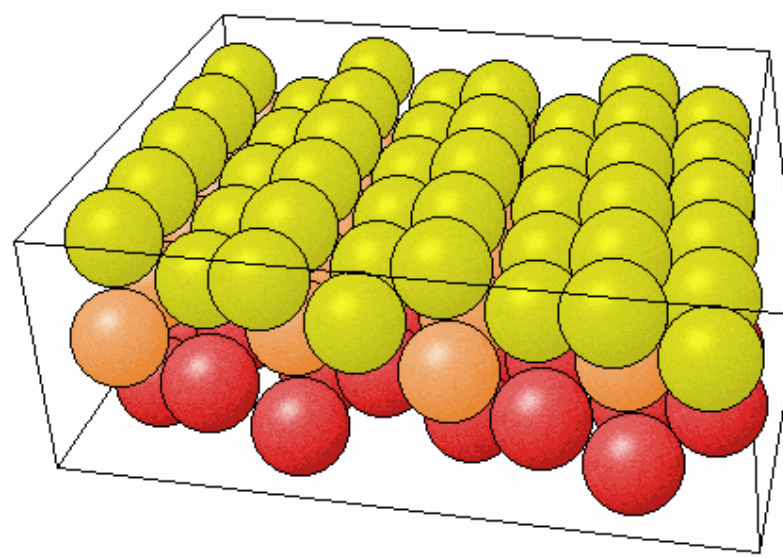
Maria Kawula pod opieką prof. dra hab. Jacka Kołodzieja
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ

Streszczenie

W doświadczeniu zbadano zestaw masek, których periodyczne wzory odpowiadały powierzchniom kryształów. Oświetlając maski wiązką światła zarejestrowano obrazy dyfrakcyjne powierzchni masek. Wykonano również zdjęcia wzorów periodycznych i obliczono numeryczne transformaty Fouriera otrzymanych zdjęć. Porównano z sobą otrzymane obrazy. Uzyskano bardzo dobrą zgodność teorii z wynikami eksperymentu. Sprawdzone również poprawność warunku Lauego na interferencję konstruktywną promieniowania odbitego od powierzchni kryształu.

Powierzchnie krystaliczne

Powierzchnię krystaliczną definiujemy jako kilka wierzchnich warstw atomowych budujących kryształ. Przykładową powierzchnię fcc(311)-(1x1) prezentuje rysunek poniżej:



Źródło: NIST Surface Structure Database

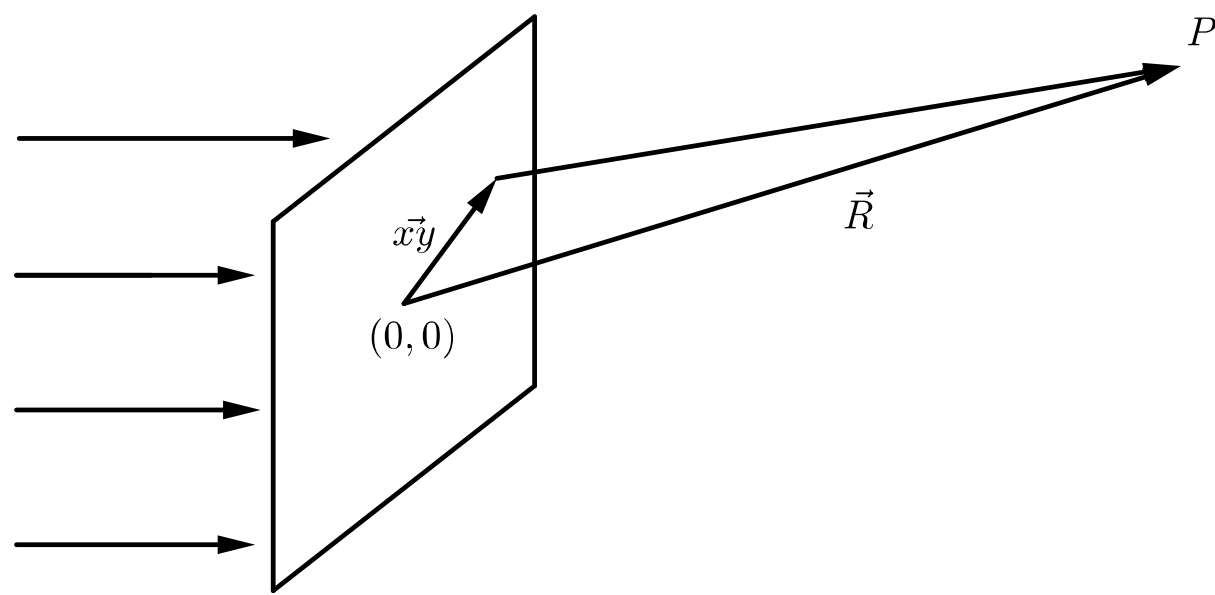
Położenie atomów możemy opisać posługując się siecią Bravais'go. Każda dwuwymiarowa sieć jest opisywana wektorami bazowymi a_1 , a_2 oraz posiada swoją sieć odwrotną definiowaną przez wektory b_1 , b_2 . Zależność między wektorami sieci rzeczywistej i odwrotnej jest opisywana równaniem:

$$b_i \cdot a_j = 2\pi\delta_{ij}$$

Relację tę nazywa się *warunkiem Lauego*.

Dyfrakcja na sieci 2D

Rozważmy dwuwymiarową maskę z pewnym wzorem oraz amplitudową funkcją transmisji $f(x, y)$. Po oświetleniu jej falą płaską, prostopadłą do powierzchni, z zasady Huygensa mamy, że każdy jej punkt jest źródłem nowej fali kulistej.



Wypadkową amplitudę fali A w punkcie P , położonym w $\vec{R}$, otrzymujemy przez zsumowanie przyczynków od każdej takiej fali.

$$A(P) = \frac{A_0}{R} e^{-i\vec{k} \cdot \vec{R}} \iint_S dx dy f(x, y) e^{-i(k_x x + k_y y)}$$

Otrzymujemy transformatę Fouriera funkcji opisującej wzór periodyczny maski.

Podziękowania

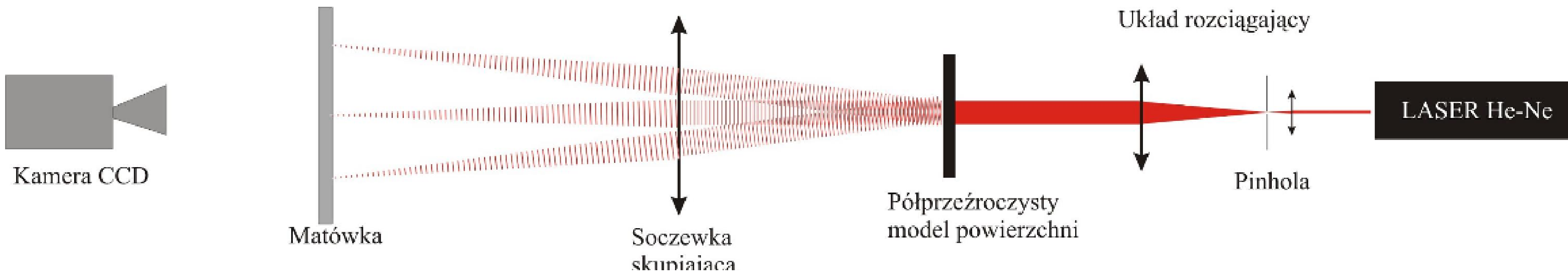
Chciałabym podziękować prof. Jackowi Kołodziejowi za pomoc przy wykonaniu doświadczenia oraz sporządzeniu tego plakatu.

Obrazy dyfrakcyjne i fizyczne masek

Celem doświadczenia było zapoznanie się z dyfrakcyjnymi metodami badania struktury krystalicznej powierzchni. Dokonano tego w oparciu o zarejestrowanie obrazów dyfrakcyjnych wzorów periodycznych odpowiadających powierzchniom o prostych symetriach oraz tzw. powierzchniom zrekonstruowanym.

CZĘŚĆ I

Zbudowano układ eksperymentalny według schematu przedstawionego na poniższym rysunku.

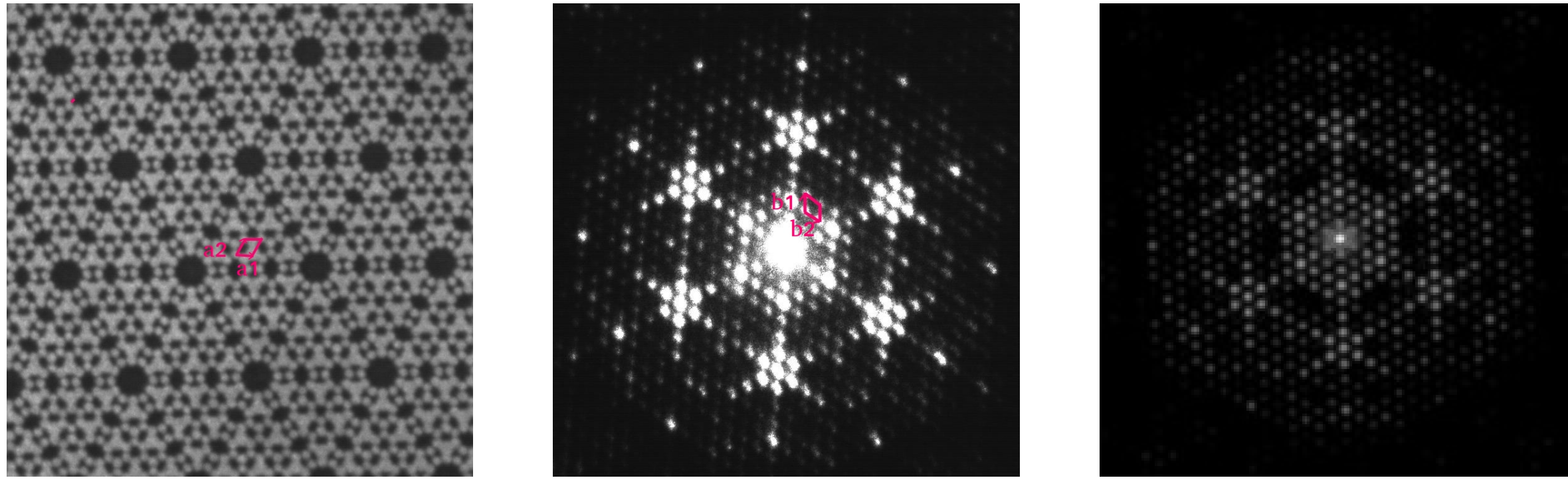


Pinholę oraz matówkę ustawiono w ogniskach odpowiednio pierwszej i drugiej soczewki (licząc od prawej). Obraz dyfrakcyjny rejestrowano kamerą CCD. Wykonano zdjęcia 9 różnych masek. Otrzymano w ten sposób obraz dyfrakcyjny dla każdej maski.

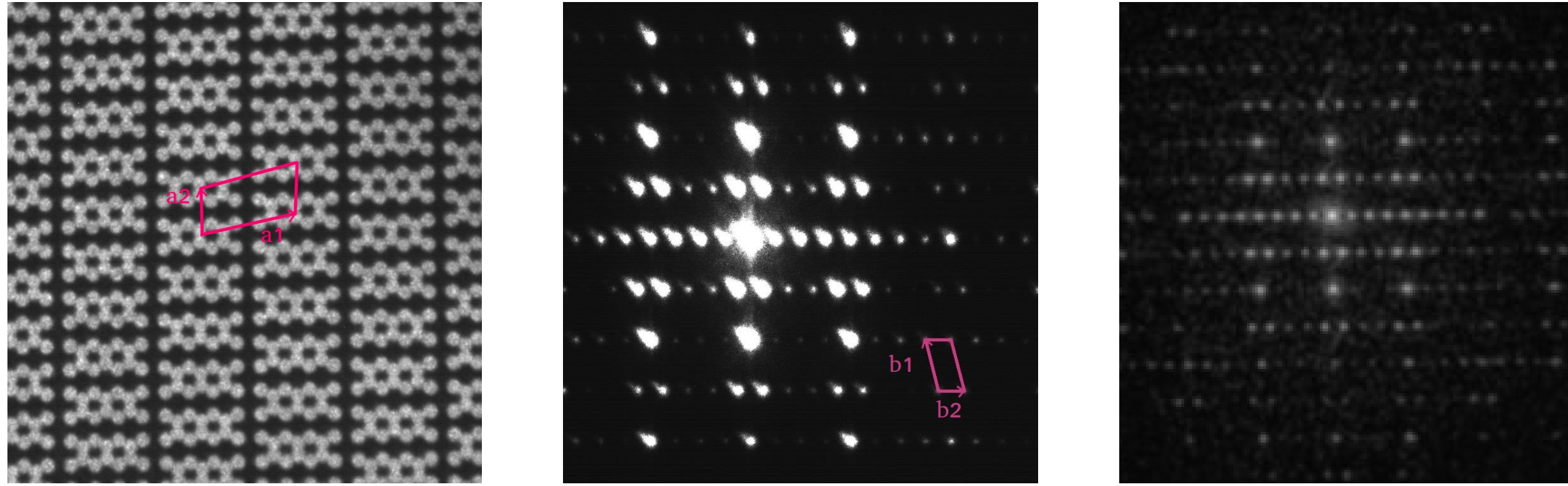
CZĘŚĆ II

Za pomocą rzutnika slajdów, wyrzutowano obrazy masek na ścianę i wykonano zdjęcia każdego obrazu. W programach *Gimp* oraz *Scion Image* wykonano numeryczną transformatę Fouriera otrzymanych zdjęć.

Poniżej przedstawione są dwie z dziewięciu serii zdjęć uzyskanych w doświadczeniu wraz z zaznaczonymi komórkami elementarnymi i wektorami bazowymi. Na zdjęciach od lewej: obraz fizyczny maski, obraz dyfrakcyjny, transformata numeryczna obrazu fizycznego.



Siatka o wzorze heksagonalnym $Si(111)7 \times 7$



Siatka o wzorze kwadratowym (8×2)

Długość wektorów sieci odwrotnej

Zmierzone długości wektorów sieci rzeczywistej oraz odwrotnej (linie różowe na zdjęciach). W tabeli zamieszczono wyniki obliczeń sprawdzających warunek Lauego. Kolejne kolumny zawierają: nazwę maski, długości wektorów sieci rzeczywistej $a_1 \times a_2$ oraz odwrotnej $b_1 \times b_2$ (wyrażone w pikselach). W dwóch ostatnich kolumnach znajduje się iloczyn $a_1 \cdot b_1$ lub odpowiednio $a_2 \cdot b_2$ wraz z niepewnościami obliczonymi metodą różniczki zupełnej.

Maska	$a_1 \times a_2$	$b_1 \times b_2$	$a_1 \cdot b_1 [10^3]$	$a_2 \cdot b_2 [10^3]$
heks. przecięcie	37x37	185x185	6.8(11)	6.8(11)
heksagonalna	37x37	179x179	6.6(11)	6.6(11)
kw. (8x2) "B"	158x75	38x83	6.00(98)	6.23(81)
kw. (8x2) "J"	157x78	40x82	6.28(99)	6.5(10)
kw. dimery	77x39	79x164	6.08(78)	6.4(10)
kw. prosta	38x38	160x160	6.08(99)	6.08(99)
kw. brak. rzędy	76x39	80x161	6.08(78)	6.3(10)

Podsumowanie

W doświadczeniu zaobserwowano zgodność obrazów dyfrakcyjnych otrzymanych w wyniku transformaty Fouriera fizycznej oraz numerycznej. Zgodne są zarówno położenia jasnych punktów jak i ich intensywność.

Sprawdzono również poprawność warunku Lauego (ze względu na przeskalowanie wielkości obrazu nie otrzymujemy, że iloczyn wynosi 2π , lecz jest on pewną inną stałą).

Bibliografia

1. *Instrukcja do ćwiczenia Z17.*
2. *NIST Surface Structure Database.*