

6각위상살창형미세구조물에 대한 에돌이구조의 2차원적모형화

조천규, 최철규, 리유성

6각위상살창형미세구조물은 영상변환관의 기본증폭소자로 되고있다.[2] 현재 광학적정보처리, 광학적공간러파법으로 주기적미세구조물의 결함을 식별하기 위한 연구[1, 4]는 여러 측면에서 진행되고있다. 6각위상살창형미세구조물에 대하여 그것의 푸리에스펙트르특성을 조사한데 기초하여 에돌이구조를 밝힌 연구자료는 제기된것이 없다.

론문에서는 6각위상살창형미세구조물의 푸리에스펙트르특성을 밝힌데 기초하여 구조물에 대한 2차원적모형화를 진행하고 그 에돌이구조를 밝혔다.

1. 6각위상살창형미세구조물의 푸리에스펙트르

6각위상살창형미세구조물의 기하학적구조는 그림 1과 같다.

구조물은 직경이 3cm 이고 두께가 약 0.5mm인 원판모양으로 되어있으며 여기에 $10^6 \sim 10^7$ 개의 경사진 통로들이 6각형모양으로 밀집배렬된 구조로 되어있다.

대상물의 결모양과 그것의 현미경사진을 그림 2에 보여주었다.

이러한 대상물의 푸리에스펙트르 다시말하여 공간주파수스펙트르를 얻기 위한 기본광학계는 4f체계(그림 3)로 구성하고 여기에 CCD촬영기와 컴퓨터를 결합하였다.

광원으로는 출력이 $P=2mW$ 인 He-Ne레이자를 리용하였다. 4f광학체계의 물체면에 구조물을 설치하면 푸리에영상면(그림 3의 9)에 구조물의 푸리에스펙트르가 나타난다. 이 스펙트르를 CCD촬영기를 리용하여 컴퓨터에 입력하였다.

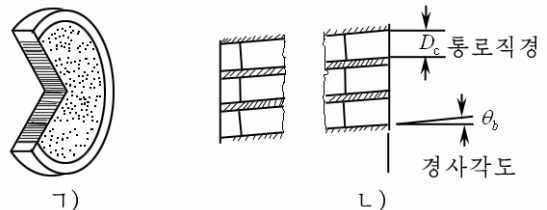


그림 1. 6각위상살창형미세구조물의 기하학적구조[2]

γ) 구조물의 가로자름면, L) 구조물의 세로자름면

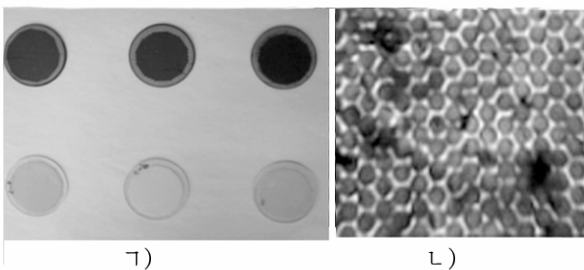


그림 2. 6각위상살창형미세구조물의 결모양

γ) 결모양사진, L) 현미경사진(×135)

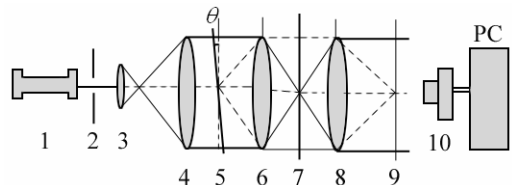


그림 3. 4f광학체계[3]

1-He-Ne레이자, 2-원형구멍의 공간러파기, 3, 4-시준광학계, 5-구조물시면(xy면), 6-푸리에 변환렌즈, 7-푸리에스펙트르면($\xi\eta$ 면), 8-거울 푸리에 변환렌즈, 9-영상면($x'y'$ 면), 10-CCD촬영기와 컴퓨터의 결합

2. 6각위상살창형미세구조물의 2차원적모형화

6각위상살창형미세구조물의 예돌이구조를 밝히자면 구조물의 공간주기와 공간주파수를 알아야 한다. 그러기 위하여 우리는 그림 4와 같이 도식화한 6각위상살창형미세구조물의 푸리에스펙트르를 일으키는 대상물의 단위에돌이요소를 그림 5와 같이 모형화하였다.

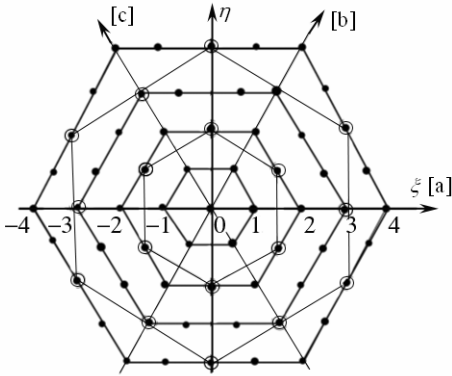


그림 4. 6각위상살창형미세구조물의 푸리에스펙트르도식화

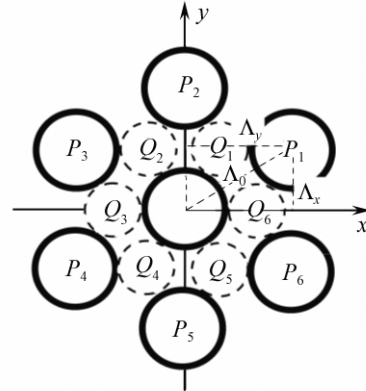


그림 5. 6각위상살창형미세구조물의 단위에돌이요소모형화

그림 5에서 통로 P_1 의 x 축 및 y 축방향의 사영성분은 각각

$$\Lambda_x = \sqrt{3}\Lambda_0/2 \quad (1)$$

$$\Lambda_y = \Lambda_0/2 \quad (2)$$

으로 쓸수 있다. 여기서 Λ_0 은 구조물에서 린접한 두 예돌이요소들사이의 거리이다.

식 (1)과 (2)로부터 두 사영성분은 서로

$$\Lambda_x = \sqrt{3}\Lambda_y \quad (3)$$

의 관계에 있다.

실험결과를 리론적으로 해석해보면 그림 4와 같은 푸리에스펙트르를 일으키는 구조물의 기본공간주기는 예돌이요소들사이의 거리 Λ_0 이 아니라 예돌이요소들의 렬간거리 Λ_x 로서

$$\Lambda = \Lambda_x = \sqrt{3}\Lambda_0/2 \quad (4)$$

으로 된다는것을 알수 있다. 즉 잘 알려진 프라운호페르예돌이리론에 의하면 기본공간주기가 Λ_x 인 예돌이살창의 경우에 식

$$\Lambda_x \sin \varphi_k = k\lambda \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (5)$$

를 만족시키는 방향에서 예돌이극대가 생긴다. 여기서 k 와 φ_k 는 각각 예돌이차수와 k 번째 예돌이차수에 대한 예돌이각이다. 따라서 푸리에스펙트르면에서 중심극대에돌이반점으로부터 k 차예돌이반점까지의 선형거리는 φ_k 가 작은 범위에서

$$\xi_k = \varphi_k \cdot f = k \frac{\lambda}{\Lambda_x} f = \frac{2k\lambda f}{\sqrt{3}\Lambda_0} \quad (6)$$

로 쓸수 있다. 여기서 f 는 푸리에변환렌즈의 초점거리이다.

식 (6)에서 주어진 실험조건 즉 1차에돌이무늬에 대하여 $k=1$ 이고 4f광학체제에서의 푸리에변환렌즈의 초점거리가 $f=100\text{mm}$ 그리고 미세구조물의 원형에돌이요소들사이의 거리가 $\Lambda_0=15\mu\text{m}$ 이며 He-Ne레이자빛의 파장이 $\lambda=632.8\text{nm}$ 이라는것을 고려하면 $\xi_1=4.9\text{mm}$ 가 얻어지는데 이 값은 그림 4와 같은 구조물의 푸리에스펙트르에서 1차에돌이반점 즉 ξ 축상에서 반점 1과 -1 에 대하여 직접 측정한 값과 잘 일치되었다.

이상의 논의로부터 6각위상살창형미세구조물에서 기본공간주기는 Λ_x 이고 그에 해당하는 구조물의 공간주파수는

$$\gamma=1/\Lambda=1/\Lambda_x=2/(\sqrt{3}\Lambda_0) \quad (7)$$

로 된다는것을 확증하였다.

다음으로 6각위상살창형미세구조물에는 기본공간주기 $\Lambda=\Lambda_x$ 외에

$$\Lambda'=\Lambda_y=\Lambda_0/2 \quad (8)$$

으로 표시되는 또 하나의 보조적인 공간주기가 존재한다는데 대하여 논의하였다.

6각위상살창형미세구조물의 푸리에스펙트르를 자세히 보면 여기에는 기본공간주기 Λ_x 에 의한 에돌이무늬외에 또 다른 부류의 에돌이반점무늬가 나타난다는것을 알수 있다. (그림 4에서 가는 선으로 표시)

이 에돌이반점은 기본에돌이반점과 세기는 약간 차이하지만 그 위치에 있어서는 k 번째 에돌이무늬가 기본에돌이무늬의 $2k$ 번째 차수에 대응된다.

이러한 에돌이무늬를 일으키는 에돌이요소와 그 공간주기를 밝히기 위하여 6각살창형미세구조물에서 기본에돌이요소들사이에 존재하는 굴절률이 $n'=1.5936$ 인 공간부분들에 주의를 돌리고 그것에 의한 에돌이를 주목하였다.(그림 5)

이 공간부분들을 새로운 에돌이요소 Q_1, Q_2, Q_3, \dots 등으로 모형화하고 이 에돌이요소들과 푸리에스펙트르에서의 에돌이반점무늬를 식 (5)에 기초하여 비교분석해보면 기본에돌이무늬의 $2k$ 번째 차수에 해당하는 에돌이반점은 분명히 새롭게 모형화한 에돌이요소 Q_i 부분에 의한 에돌이무늬이며 그 공간주기는 $\Lambda'=\Lambda_y=\Lambda_0/2$ 임을 밝힐수 있다.

Q_i 계열의 에돌이요소들에 의한 k 차에돌이무늬가 P_i 계열의 에돌이요소들에 의한 $2k$ 차에돌이무늬에 대응한다는 실험적사실을 고려하면 식 (5)와 식 (6)으로부터

$$\Lambda' \sin \phi'_k = k\lambda \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (9)$$

$$\eta_k = \sqrt{3}\xi_k = \frac{2k\lambda}{\Lambda_0} f \quad (10)$$

이므로 옷식으로부터

$$\Lambda'=\Lambda_0/2 \quad (11)$$

임을 알수 있다.

이것을 통하여 6각살창형미세구조물에서 Q_i 배열로 모형화한 에돌이요소들의 렬간거리 $\Lambda'=\Lambda_0/2$ 을 또 하나의 보조적인 공간주기로 보아야 하며 여기에 대응하는 또 하나의 보조적인 공간주파수 $\nu'=1/\Lambda'=2/\Lambda_0$ 가 존재한다고 결론할수 있다.

이 관계는 실험적으로 잘 검증된다.

실제상 보조공간주기 Λ' 에 의한 에돌이무늬는 기본공간주기 Λ_x 에 의한 에돌이반점 무늬에 비하여 배경잡음준위가 높은 산란반점무늬형태로 나타났으며 두 에돌이요소부분의 굴절률차로 인하여 그 위치에 있어서 ξ 축방향으로의 병진적인 미소변위를 나타냈다.

6각위상살창형미세구조물에 대한 이상의 논의는 6각진폭살창형미세구조물의 경우를 특수경우로 포함하고있다. 다시말하여 6각진폭살창형미세구조물에 대해서는 그 에돌이구조에 의한 푸리에스펙트르를 단순히 기본공간주기 $\Lambda = \Lambda_x$ 만에 의한것으로 논의하면 충분하다.

맺 는 말

6각위상살창형미세구조물에는 두 종류의 공간주기가 존재한다.

1) 6각위상살창형미세구조물의 기본공간주기는 $\Lambda = \Lambda_x = \sqrt{3}\Lambda_0/2$ 과 같다.

2) 6각위상살창형미세구조물에는 기본공간주기외에 $\Lambda' = \Lambda_y = \Lambda_0/2$ 으로 표시되는 또 하나의 보조공간주기가 존재한다.

참 고 문 헌

[1] 김일성종합대학학보(자연과학), 61, 11, 51, 주체104(2015).

[2] C. B. Johnson; Handbook of Optics 1, McGraw Hill, 794~803, 2000.

[3] Artem Migukin et al.; Applied Optics, 52, 1, 269, 2013.

[4] K. Fumisawa et al.; Jpn. J. Appl. Phys., 35, 1768, 1996.

주체105(2016)년 4월 5일 원고접수

Two-Dimensional Simulation of the Diffraction Structure of a Hexagonal Phase Grating Microstructure

Jo Chon Gyu, Choe Chol Gyu and Ri Yu Song

We analyzed the Fourier specter of a hexagonal phase grating microstructure by means of its Fourier image and elucidated its diffraction structure. And, we proved that the primary spatial cycle of the hexagonal phase grating microstructure was $\Lambda = \Lambda_x = \sqrt{3}\Lambda_0/2$ and that there existed an auxiliary spatial cycle $\Lambda' = \Lambda_y = \Lambda_0/2$.

Key words: grating, diffraction