

## 6각살창형미세구조물에서 평행빛묶음의 전파와 고리무늬형성물림새에 대한 해석

리유성, 조천규

6각살창형미세구조물은 약한 빛을 증폭하기 위한 영상변환관의 증폭소자로 리용되고 있다. 이러한 구조물의 기하학적구조의 정교성과 결함을 식별하기 위한 공간려파문제에 대해서는 여러 측면에서 논의[1, 2]되었지만 미세통로방향으로 평행빛묶음이 입사할 때 일어나는 빛전파특성 특히는 고리무늬형성물림새에 대하여서는 제기된 것이 없다.

우리는 6각살창형미세구조물에서 평행빛묶음의 전파특성을 해석한데 기초하여 고리무늬형성물림새를 밝혔다.

### 1. 6각살창형미세구조물에 평행빛묶음이 입사할 때의 고리무늬형성

6각살창형미세구조물에 He-Ne레이자빛묶음을 수직근방에서 입사시킬 때 비침판에 나타나는 투과빛무늬를 관측하기 위한 광학계는 그림 1과 같다.

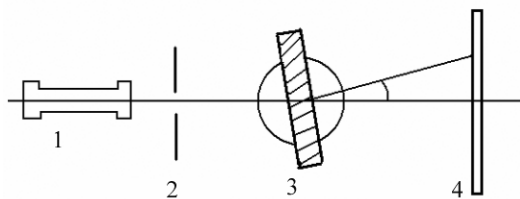


그림 1. 투과빛무늬를 관측하기 위한 광학계  
1-He-Ne레이자, 2-조임, 3-6각살창형  
미세구조물시편, 4-비침판

6각살창형미세구조물에 He-Ne레이자빛 묶음을 수직근방에서 입사시킬 때 비침판에는 시편의 변조방식과 빛묶음의 입사각도에 따라 여러가지 모양의 고리무늬들이 나타났 다.(그림 2)

그림 2에서 보는바와 같이 통로가 관통된 시편에 대해서는 레이자빛묶음의 입사방향 즉 광 축과 비침판의 사립점을 공통접점으로 하는 2개

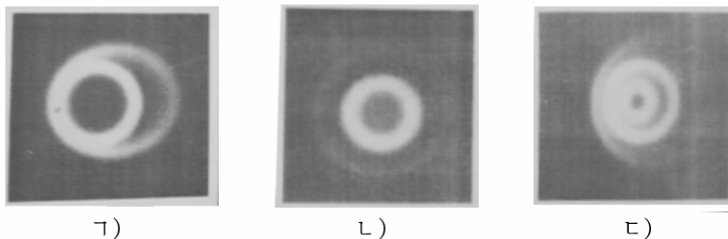


그림 2. 비침판에 나타나는 여러가지 모양의 고리무늬

㉠) 통로가 관통된 시편, ㉡) 통로가 관통되지 않은 시편,

㉢) 통로가 관통되지 않은 시편에서 빛묶음을

세게 경사지어 입사시킨 경우

의 고리무늬(공접점고리무늬)가 나타났다. 통로가 관통되지 않은 시편에 대해서는 공접점

고리무늬가운데서 안고리가 사라지고 바깥고리만이 존재하였다. 그리고 그 바깥고리의 안과 바깥에는 또 1개씩 제3의 고리들이 생기는데 그가운데서 바깥고리는 시편의 회전각에 무관계하게 언제나 존재하였지만 안고리는 입사빛묶음이 세계 경사지을 때에만 나타났다.

## 2. 6각살창형미세구조물에서 고리무늬형성물림새에 대한 이론적해석

6각살창형미세구조물에 빛묶음이 수직근방에서 입사하는 경우 빛전파행로는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 구조물에 입사한 빛묶음은 크게 두 부분 즉 통로부분( $n=1.5006$ )에 입사한 광선(광선 2)과 살부분( $n'=1.5936$ )에 입사한 광선(광선 1)으로 나누어볼수 있다.

살부분에 입사한 광선은 살내부에서 전반사를 일으키게 되는데 전반사임계각에 대한 식  $\sin i_{\text{넵}} = n/n'$  로부터 통로가 관통되지 않은 경우 ( $n=1.5006$ )에는  $i_{\text{넵}}=70.3^\circ$  이고 통로가 관통된 경우( $n=1$ )에는  $i_{\text{넵}}=38.9^\circ$ 이다. 즉 통로가 관통되지 않은 경우 살내부에서 내부경계면에 대한 입사각이  $i_1 \geq 70.3^\circ$ 의 각으로 입사하는 모든 광선에 대하여 전반사를 일으키게 된다.

구조물의 출구면에서 이 전반사광선의 출사방향은 구조물에 대한 평행빛묶음의 입사방향과 일치하는 경우와 각  $\alpha'$ 의 방향과 일치하는 경우로 갈라볼수 있다.

통로관통에는 관계없이 언제나 전반사조건이 만족되므로 그림 2의 공접점고리가운데서 바깥고리는 분명히 살부분에서의 빛묶음의 전반사와 관련된다고 볼수 있다.

다음으로 공접점안고리와 제3의 바깥고리에 대해서도 마찬가지로 방법으로 해석하여보면 통로부분에 입사한 빛묶음은 크게 두 갈래의 빛행로 즉 반사빛행로(그림 3에서 광선 2-1)와 투과빛행로(그림 3에서 광선 2-2)로 볼수 있다.

여기서 통로부분으로 나가는 광선은 광선의 입사방향과 정확히 일치되며(각  $i$ 방향) 살부분으로 나가는 광선은  $n < n'$ 에 따라 보다 더 기울어져 나가게 된다.(각  $\beta_2$ 방향)

한편 반사광선 2-2의 경우에는 통로부분으로 나가는 광선(각  $\alpha$ 방향)에 비하여 살부분으로 나가는 광선(각  $\beta_1$ 방향)이 보다 더 기울어져 나가게 된다.

결국 각  $i$ 방향 즉 원래광선의 입사방향으로 나가는 광선들은 비침판에서 공통접점을 형성하고 통로부분에 입사하여 각  $\alpha$ 방향으로 나가는 광선들은 공접점안고리를, 각  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 방향으로 나가는 광선들은 제3의 바깥고리를 이루게 되며 살부분에 입사하여 각  $\alpha'$ 의 방향으로 나가는 광선들은 공접점바깥고리를 형성한다.

이와 같이 구조물내부에서의 빛전파물림새에 기초하여 출사광선의 방향각들을 다음과 같이 공식화할수 있다. 즉 공접점안고리와 바깥고리(전반사고리)에 대하여

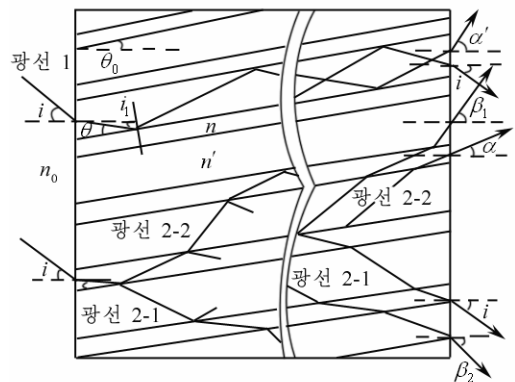


그림 3. 6각살창형미세구조물안에서 빛전파행로

$$\alpha = \sin^{-1}[n \sin(\theta_0 + \theta)], \quad (1)$$

$$\alpha' = \sin^{-1}[n' \sin(\theta_0 + \theta')] \quad (2)$$

이고 제3의 바깥고리에 대해서는

$$\beta = \beta_1 + \beta_2. \quad (3)$$

여기서  $\beta_1, \beta_2$  는

$$\beta_{1,2} = \sin^{-1} \left\{ n' \cos \left[ \theta_0 \mp \sin^{-1} \left( \frac{n}{n'} \cos \theta \right) \right] \right\} \quad (4)$$

이며  $n, n'$  는 각각 통로와 살부분의 굴절률,  $\theta_0$  은 통로의 경사각,  $\theta$  와  $\theta'$  는 각각 통로부분과 살부분에 입사한 빛뭉음이 그 내부에서 통로와 살의 경계면과 이루는 각들이며 구조물의 입구경계에서 빛뭉음의 입사각  $i$ 의 함수로서 다음과 같이 표시할수 있다.

$$\theta = \theta_0 + \sin^{-1} \left( \frac{1}{n} \sin i \right) \quad (5)$$

$$\theta' = \theta_0 + \sin^{-1} \left( \frac{1}{n'} \sin i \right) \quad (6)$$

빛뭉음이 수직근방에서 입사하는 경우  $\theta = \theta_0, \theta' = \theta_0$  이므로 식 (1)-(4)는

$$\alpha = \sin^{-1}[n \sin 2\theta_0], \quad (7)$$

$$\alpha' = \sin^{-1}[n' \sin 2\theta_0], \quad (8)$$

$$\beta_{1,2} = \sin^{-1} \left\{ n' \cos \left[ \theta_0 \mp \sin^{-1} \left( \frac{n}{n'} \cos \theta_0 \right) \right] \right\}. \quad (9)$$

특히 통로가 관통된 경우( $n=1$ )에 대하여 빛뭉음이 수직근방에서 입사하는 경우에는

$$\alpha = 2\theta_0, \quad (10)$$

$$\beta_{1,2} = \sin^{-1} \left\{ n' \cos \left[ \theta_0 \mp \sin^{-1} \left( \frac{1}{n'} \cos \theta_0 \right) \right] \right\} \quad (11)$$

으로 보다 간단히 쓸수 있다.

우의 식들에서 입사각  $i$ 에 대해서는 구조물내부경계면들에서의 입사보각  $\theta, \theta'$  와 결부하여 부호를 고려해주어야 한다. 즉 입구경계면의 면법선을 기준으로 하여  $\theta > \theta_0, \theta' > \theta_0$  의 조건이 만족되도록 입사하는 경우에는 정의 입사각(+ $i$ )으로,  $\theta < \theta_0, \theta' < \theta_0$  이 만족되는 경우에는 부의 입사각(- $i$ )으로 한다.(실지 부의 방향에 대해서는 굴절광선이 통로와 평행이 되어  $\theta = \theta' = 0$  이 되는 입사각까지로 그 한계를 정하면 충분하다.)

실천적으로는 구조물에서 평행빛뭉음의 전파에 대한 해석식들을 구조물경계의 면법선이 아니라 빛뭉음의 입사방향을 기준으로 하여 표시하는것이 편리하다. 그러자면 식 (1)-(4)에서 입사각  $i$ 를 그 부호를 고려하여 가산하여주면 된다. 즉

$$\bar{\alpha} = \sin^{-1}[n \sin(\theta_0 + \theta)] + i \quad (12)$$

$$\bar{\alpha}' = \sin^{-1}[n' \sin(\theta_0 + \theta')] + i \quad (13)$$

$$\beta_{1,2} = \sin^{-1} \left\{ n' \cos \left[ \theta_0 \mp \sin^{-1} \left( \frac{n}{n'} \cos \theta \right) \right] \right\} \pm i \quad (14)$$

이상의 이론적인 해석결과들은 액침법에 의하여 실험적으로 입증되었다.

## 맺 는 말

6각살창형미세구조물에서 평행빔뒹임의 전파특성을 해석한데 기초하여 고리무늬형성물립새를 밝혔다.

6각살창형미세구조물에서 통로의 관통여부와 통로의 경사각도를 정확히 측정할수 있는 이론적기초를 마련하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] L. Kai et al.; Optics and Lasers in Engineering, **51**, 1, 2013.
- [2] A. Migukin et al.; Optics and Lasers in Engineering, **52**, 260, 2013.

주체106(2017)년 4월 5일 원고접수

## **Analysis of Parallel Light Beam Propagation and Mechanism for Ring Pattern Formation in Hexagonal Microstructure**

*Ri Yu Song, Jo Chon Gyu*

We have analyzed the propagation characteristics of parallel light beam in hexagonal microstructure. On the basis of it, we have solved the mechanism for ring pattern formation and established a theoretical base for the determination of the geometrical characteristics of the structure.

Key words: hexagonal microstructure, parallel light beam, ring pattern