

자체 결상된 위상형 늘인 원형 격자의 가시도 및 무아레

Visibility and moires of self-imaged phase type elongated circular gratings

김봉진, 육근철*

충남 공주시 신관동 182번지, 공주대학교 물리교육과

이상일, 장수

대전광역시 대덕구 오정동 133번지, 한남대학교 자연과학부

초록

자체 결상된 위상형 늘인 원형 격자(elongated circular; EC)의 가시도를 광학적 두께를 변화시키면서 조사하였다. 격자 사이의 광학적 두께 차이가 광파장의 1/4일 때, 자체 결상의 가시도가 1에 접근함을 확인하였다. 위상형 늘인 원형 격자의 자체 결상에서 직선과 반원이 만나는 경계의 직선 부분 쪽에 반원의 잔상이 흐리게 나타남을 볼 수 있었다. 그러나 이 반원의 잔상은 자체 결상된 위상형 늘인 원형 격자가 만드는 무아레 무늬에 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

위상형 늘인 원형 격자의 광학적 두께를 변화시키면서 자체 결상의 세기 분포와 가시도를 프레넬 적분 공식[1]에 근거하여 이론적으로 분석하고, 사진 필름 위에 기록된 위상형 늘인 원형 격자의 자체 결상에 대해서, 현상 시간에 따른 가시도 변화를 측정하였다.

그림 1은 격자 사이의 위상차 δ 의 함수로 계산한 자체 결상된 늘인 원형 격자의 가시도 변화를 보여준다. δ 가 30° 보다 작은 영역에서 상의 가시도는 δ 에 거의 비례한다. δ 가 30° 보다 클 경우 상의 가시도는 δ 와 더불어 비선형적으로 증가한다. δ 가 90° 가 될 때, 상의 가시도는 1에 접근함을 알 수 있다.

이론 결과를 확인하기 위해서 위상형 늘인 원형 격자의 제작과 자체 결상 그리고 무아레 발생 실험을 실시하였다. 먼저 CAD 프로그램을 사용하여 중심선이 밝은 늘인 원형 격자를 그린 후, $4\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 조도에서 사진 필름(Kodak LE500)에 기록하고, 현상액(D-76)과 정착액(F-6)으로 처리하여 중심선이 어두운 진폭형 늘인 원형 격자를 제작하였다. 사진 건판에 기록된 진폭 격자의 어두운 선은 은(Ag) 원자들로 덮힌 반면에, 밝은 선은 은이 존재하지 않는다. 이 사진 건판을 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7(4.5\text{wt}\%)$ 와 $\text{HCl}(3.2\text{wt}\%)$ 를 포함하는 표백액에 약 20초간 담가두면 격자의 어두운 선을 덮고 있는 은(Ag) 원자가 산화되어 투명하게 변한다. 산화된 은으로 덮힌 격자선은 은이 없는 격자선보다 광학적 두께가 더 크기 때문에 광이 지날 때 위상차가 발생하게 된다. 즉, 중심선의 광학적 두께가 주변보다 큰 위상형 늘인 원형 격자가 얻어진다. 광학적 두께는 격자선에 쌓인 은의 양에 의존하고, 은의 양은 다시 사진 건판의 현상 시간에 의존하기 때문에 우리는 사진 건판의 현상 시간을 달리함으로써 위상 격자의 광학적 두께를 변화시켰다. 제작된 위상 격자의 주기는 $p = 400 \mu\text{m}$ 이며, 자체 결상을

* 연락처: gdyuk@kongju.ac.kr

위해서 사용된 광은 파장 $\lambda = 633 \text{ nm}$ 인 HeNe 레이저광이다. 그림 2는 CCD(SBC341)사진기를 사용하여 $z' = p^2/2\lambda$ 에서 찍은 중심선의 광학적 두께가 주변보다 큰 위상형 늘인 원형 격자의 자체 결상 사진이다. 광학적 두께가 큰 격자선이 밝게 나타나며, 직선과 반원이 만나는 경계의 직선 부분 쪽에 반원의 잔상이 흐리게 나타남을 볼 수 있다. 그림 3은 자체 결상의 가시도를 현상 시간의 함수로 나타낸 곡선이다. 현상 시간이 8분 이하인 경우, 상의 가시도는 현상 시간에 비례하여 증가한다. 현상 시간이 8분을 초과하면, 상의 가시도는 현상 시간과 더불어 비선형적으로 증가함을 보여준다. 이러한 현상은 사진 건판에 쌓일 수 있는 은의 양이 유한하다는 사실과 상의 가시도는 위상차(또는 광학적 두께차)가 클 경우 비선형적으로 변화한다는 사실에 기인한다. 자체 결상된 위상 격자와 주기 $p_r = (14/13)p$ 인 진폭형 기준 격자가 p 만큼 변위되어 겹칠 때, 발생된 무아레 무늬 사진이 그림 4에 주어진다. 이것은 진폭 격자를 이용하여 만든 무아레 무늬[2]와 마찬가지로 직선과 반원이 만나는 경계의 직선 부분 쪽에 나타나는 반원의 잔상이 자체 결상된 위상형 늘인 원형 격자가 만드는 무아레 무늬에 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

Fig.5 B.J Kim, et al.

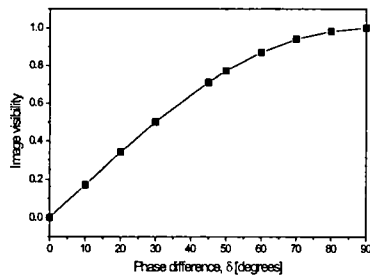


그림 1

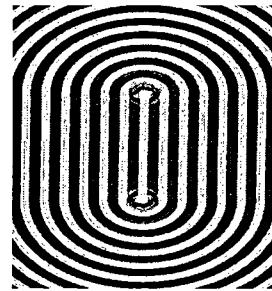


그림 2

Fig.9 B.J Kim, et al.

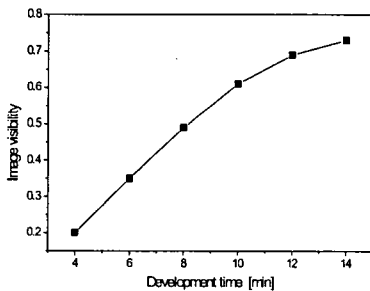


그림 3

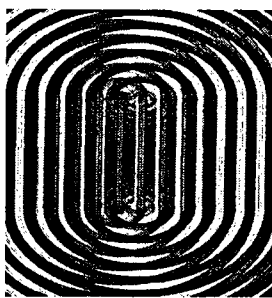


그림 4

참고문헌

[1] M. Born and E. Wolf, "Principles of Optics" (Pergamon, Oxford, 1980), p. 267, pp. 378-383.
 [2] J. S. Kang, M. S. Lee, S. Chang, B. J. Kim, K. C. Yuk, Optik 113, 285 (2002).