

광자결정 구조를 갖는 X-선 도파로에서 X-선 도파현상

X-ray propagation in photonic crystal structured X-ray waveguides

윤형근*, 김진채**, 이병하**, 최재호*, 박영한*

*단국대학교 첨단과학부 전자물리전공, **광주과학기술원 정보통신공학과

choi@dku.edu

1. 서론

광자결정 광섬유(photonic crystal fiber)는 주기적으로 배열된 공기기둥이 광섬유의 길이 방향으로 정렬되어 일반광섬유의 클래딩의 역할을 하고 있고 코어는 이들 공기구멍의 중심부에 인위적인 결함을 만들어 광도파가 가능하게 된다. 이러한 광자결정 광섬유의 광학적 특성은 넓은 영역에 걸친 단일 모드 특성⁽¹⁾, 특이한 모드분산⁽²⁾ 강한 비선형⁽³⁾ 등의 기존의 광섬유와는 다른 광특성이 보고 되고 있으며 테라 헤르츠 펄스 도파가⁽⁴⁾ 보고되는 등 그 응용 영역을 넓히고 있다. 모세관 다발을 이용한 X-선 도파는 1986년 Kumahov에⁽⁵⁾ 의해 제안 되었다. X-선 모세관 광학계는 다층거울, zone plate 나 위상 격자와 같은 광학계와는 다르게 광대역 에너지와 wide angular band width를 가지고 있어 X-선 리소그래프, 의학용 영상, 결정학, 그리고 천문학 분야에 보다 쉽게 접근할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 모세관 다발 광학계를 이용한 영상 촬영은 산란을 상쇄시켜주는 모세관 다발의 성질로 인하여 X-선 영상의 분해능을 향상시키는 결과를 얻었다. 모세관 다발을 X-선 원에 정렬시키면 Compton 산란에 의해 큰 산란각을 갖는 X-선을 제외한 상대적으로 모세관다발과 평행한 중심 X-선만이 도파하게 된다. X-선 영상 형상에 중심 X-선만이 관여하게 되어 향상된 상을 얻게 된다. 이렇게 향상된 X-선 현미경은 나노미터의 분해능을 갖게 된다.⁽⁶⁾ X-선 현미경은 분해능이 20-30 nm로 고분해능이라는 장점뿐만 아니라 생체 시편도 고분해능으로 측정 가능하며 나노 소자 공정시 연속적인 측정이 가능하다는 점에서 X-선 현미경 국내 연구 개발이 필요하다. 본 연구는 X-선 광학계의 기초 연구로 광자결정 광섬유 구조를 이용하여 X-선 도파를 실현하였다.

2. 실험 및 고찰

본 연구에서 이용된 X-선은 30 kV의 입력전압의 전자를 Cu 타겟에 조사시켜 X-선을 발생시키고 특성 엑스선인 $K\alpha$ 를 얻기 위해 Ni 필터를 사용하여 필터링 하였다. 광자결정 광섬유 구조는 광자결정 광섬유 제조과정에서 모재를 1차 인출한 것을 사용하였다. 도파로의 구조는 그림 1과 같으며 직경은 약 500 μm 이고 공기 구멍과 구멍사이의 거리는 각각 28 μm 와 46 μm 이다. 중심부에 위치한 광섬유의 코어인 인위적 결함을 그대로 사용하였다. 길이 100 mm의 광자결정 광섬유 구조를 갖는 도파로를 엑스선 원과 연결된 collimator의 끝단에 삽입하고 고정하였다. 이곳으로부터 20 mm 위치에는 광섬유 홀더를 이용하여 고정하고 도파로 끝으로부터 10 mm 부분에 도파로의 길이에 수직한 방향으로 도파로를 이동할 수 있도록 하였다. 그리고 도파로의 끝단으로부터 15 mm 되는 위치에 사진 건판을 위치시켰다. X-선을 효과적으로 반사시키기 위해서는 임계각보다 적은 glancing각으로 입사되어야 한다. 광자결정구조의 도파로에서 X-선의 전파는 전반사에 의해 이루어지며 본 연구에서 사용된 X-선의 에너지는 8.0

keV 이므로 임계각 θ_c 는 3.7 mrad 이다. 도파로를 구부리는 경우 X-선 광자가 광자결정구조의 공기기둥을 따라 도파되기 위한 조건, $(R\theta_c^2)/d \geq 1$ 을 만족해야 한다. 여기서 R 은 곡률반경이고 d 는 공기기둥의 직경이다. 본 실험에 사용된 X-선의 에너지와 도파로 직경으로부터 약 2×10^3 mm보다 큰 X-선 도파로의 곡률반경을 가질 때 도파조건을 만족한다.

X-선 도파실험 결과를 그림 2 에서 보였다. 오른쪽 반점은 도파로의 굽힘이 없는 조건에서 도파되어 감광시킨 점이고 나머지 세 반점들은 이 조건으로부터 도파로의 한쪽 끝을 이동하며 감광시킨 점들이다. 세 번째 감광된 점은 1.5 mm 이동한 경우로 R 은 2.1×10^3 mm 로 도파조건을 만족하나 그림 2의 좌측반점은 R 은 1.6×10^3 mm으로 도파 조건을 완전히 만족하지 못하고 산란된 일부 X-선이 사진건반에 도달하고 있음을 보여주고 있다. 광자결정 구조를 갖는 도파로를 통해 도파된 X-선이 사진 건반에 감광된 크기와 도파로의 직경이 거의 같은 것으로 보아 X-선이 잘 collimate 되었음을 알 수 있었다. 즉 빔 퍼짐이 도파로를 사용하지 않은 경우보다 뚜렷이 감소되었으며 도파로의 굽힘에서도 도파조건을 만족하는 곡률반경에서 도파됨이 확인되었다.

본 연구의 기초 실험 결과를 통하여 광자결정 광섬유 구조를 갖는 X-선 도파로를 이용하여 엑스선의 굽힘, 집속 그리고 collimating의 가능성을 실험적으로 확인할 수 있었으며 광자결정 구조를 가진 도파로를 X-선 현미경 및 결정학 분야에 응용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

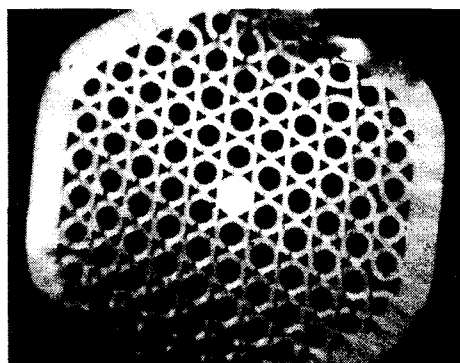


그림 1 광자결정 구조를 갖는 X-선 도파로 단면.

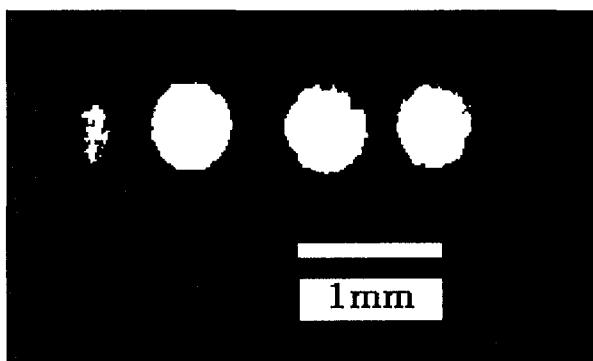


그림 2 광자결정 구조의 X-선 도파로로 도파된 X-선 빔.

3. 참고문헌

1. Joo Beom Eom, Dae Seung Moon, Un-Chul Paek, Byeong Ha Lee, Gil-Ho Yang, OFC 02, ThK (2002)
2. Joo Beom Eom, Kun Wook Park, Tae-Jung Eom, Youngjoo Chung, Won-Taek Han, Un-Chul Paek, Byeong Ha Lee, OECC/IOOC 01, PD, (2001)
3. Jinchae Kim, Un-Chul Paek, Dug Young Kim, and Youngjoo Chung, OFC00 WDD86 (2001)
4. H. Han, H. Park, M. Cho, and J. Kim, J. Appl. Phys. 80, 2634 (2002)
5. M.A. Kumakhov, "Radiation of channeling particles", Energoatomizdat, Moscow, (1986)
6. D.H. Bilderback, S.A. Hoffman and D.J. Thiel, Science, 263, 201 (1994)