

연 X-선 결상현미경 시스템의 광학계 및 광량설계

남기용*, 김경우, 김규겸, 권영만, 윤권하, 천권수, 나승유**

원광대학교, X-선 현미경연구센터*

포항가속기연구소**

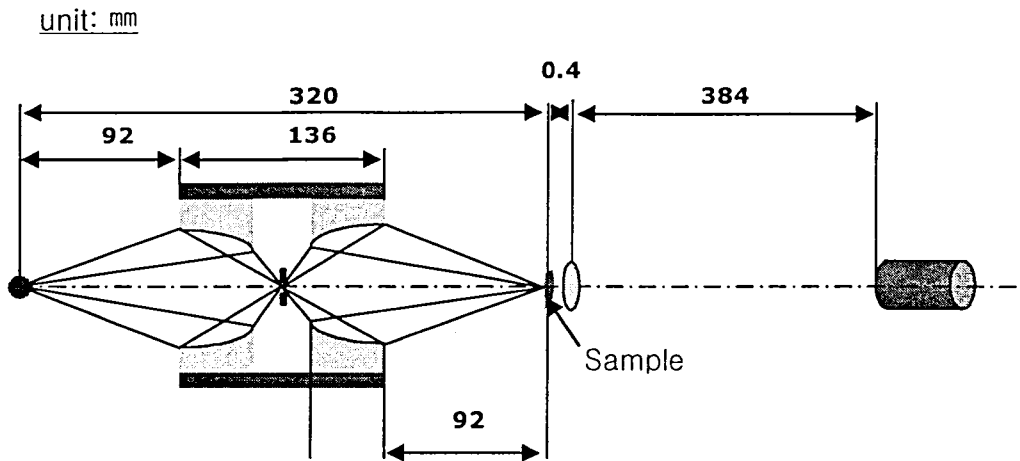
namky@wonkwang.ac.kr*, khy1646@wonkwang.ac.kr**

40nm의 해상도를 갖는 연 X-선 결상현미경 시스템의 광학계를 결정하였다. 연 X-선 장치에서의 대물렌즈로써 대상시료내에 빔 초점(focusing)을 위한 광학계로 두개의 Ellipsoid형 광학계로 설계하였다. 또한 접안렌즈로는 Fresnel zone plate로 하여 설계 및 제작하였다. 또한 연 X-선이 지나가는 빔 경로 상에 놓여진 다양한 물질들에 대한 각각의 X-선 광자의 조사선량을 계산하였다. 살아있는 세포를 관찰하고자하는 본 장치의 목적에 부합되기 위한 세포가 피폭되는 임계 방사선 조사선량의 관점에서 연 X-선의 선원의 세기와 검출기의 증폭효율을 고찰하였다.

40nm 해상도의 연 X-선 결상 현미경 시스템의 핵심인 광학계를 결정하고 설계하였다. X-선을 대상시료 내에 condensing 하기 위해서 두개의 타원형 거울의 조합을 그림 1과 같이 하여 condenser 광학계를 설계하였다. X-선 결상광학계에서 condenser 광학계의 조명에 대한 임계조건은 배율이 1:1에서 1:1.3의 범위를 갖고 NA(numerical aperture)는 0.05 이하를 만족할 수 있도록 하고, 또한 빔의 사 입사각이 크도록 광학계를 설계하였다. 위 요건을 충족하도록 Condenser 광학계를 그림 1과 같이 디자인 하였다.

CCD 상에 결상을 위한 광학계로는 Fresnel zone plate 광학계로 설계 및 제작하였다. Zone plate의 기관 두께는 120nm로 재료는 Si_3N_4 이며 Zone은 Au이다. Zone plate는 1000배의 배율을 만족하도록 zone의 수는 1000개로 패터닝 하였으며, 전체 직경은 $160\mu\text{m}$, 그리고 최외각 Zone의 선폭은 40nm이다. 그림 2는 이러한 사양을 만족하도록 제작된 Zone plate의 연 X-선 에너지 영역에서의 광학적 효율특성을 나타낸다. 그림 2에서 알 수 있듯이 3.7nm 파장의 연 X-선의 에너지 영역에서 focusing 의 최대효율은 21% 정도이다.

CCD 상에 좋은 영상을 얻기 위한 x-선 광자의 조사선량을 기준으로 시료의 방사선 피폭선량을 계산하였다. 또한 X-선 빔의 경로에 대한 다양한 물질과 두께에 대한 연 X-선 광자의 감쇠율을 고려하여 X-선 선원의 세기를 계산하였다. CCD상에 좋은 영상을 얻기 위한 조건으로 CCD pixel 당 약 6400 e개의 전자수가 필요한데, 이 조건을 만족하면서 시료의 방사선 피폭손상을 최소화하기 위해서 영상 검출기의 신호증폭기를 CCD와 커플링하도록 검출기부분을 설계하였다. 시료의 방사선 피폭조사를 최소화하기 위해서 신호의 gain을 $10^6 \sim 10^7$ 로 증폭할 수 있도록 2-stages Chevron 형의 MCP를 고려하였다. Chevron MCP를 사용했을 경우, 시료의 방사선 조사선량(dose)은 $\sim 10^{10}$ photons/cm², 약 0.7 Gy에 해당하는 것으로 반치사량에 해당하는 수 Gy 미만이므로 살아있는 세포의 영상을 얻을 수 있음을 계산을 통해서 확인할 수 있었다. 이런 조건의 경우 연 X-선의 선원세기는 $\sim 10^{15}$ photons/cm² · Sr를 알 수 있었다.



Source Ellipsoidal Condenser mirror Objective Zone plate Mirror CCD coupled with MCP

그림 1. Soft X-ray optical mirror system design

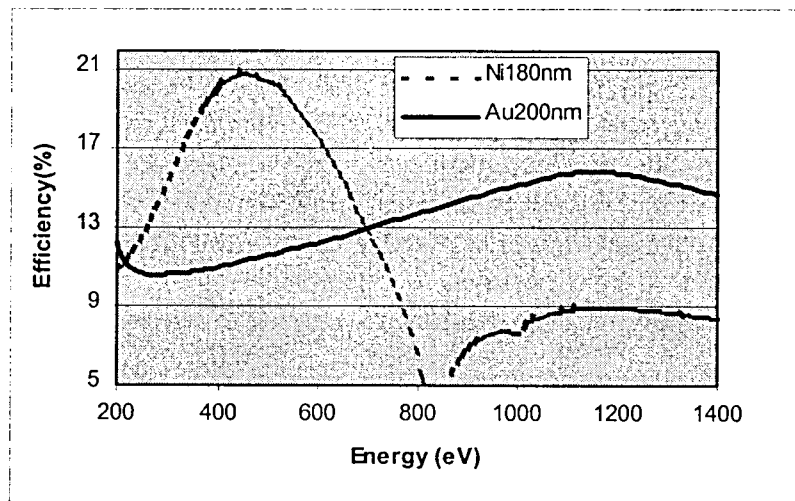


그림 2. Calculated focusing efficiency for a 180-nm Ni zone plate and a 200-nm Au zone plate, respectively. While the Ni zone plate has higher focusing efficiency between 250-700 eV, the Au zone plate has a more flat focusing efficiency over the whole energy range.