

## Micro-Lithography를 위한 4 구면경계의 설계 및 수차해석

### Optical CAD and Analyses of Four Spherical Mirror System for Micro-Lithography

조영민, 박성찬, 이상수  
한국과학기술원 물리학과

For the micro-lithography using a KrF excimer laser beam( $\lambda=0.248\mu\text{m}$ ) a mirror system consisting of four spherical surfaces with reduction magnification  $5\times$  is designed. Initially the aplanat condition of the mirror system is considered. And for the further improved performance of the system the distortion free condition and flat field condition within Seidel 3rd order aberrations are added to the above condition. During the process of designing the computer-aided optimization technique is extensively employed. The spherical aberration, coma, field curvature and distortion of the optimized four-spherical mirror system are removed to the diffraction limit, and residual astigmatism and off-axial vignetting are not corrected enough.

Lithography에 사용되는 광학계는 전체 망원경계, 민수용 카메라, 적외선 탐지용 카메라 등과는 달리 고집적도의 DRAM을 위해 광학계의 높은 분해능(최소 분해능 선폭), 긴 초점심도(DOF), 넓은 시계(field), 여러가지 overlay accuracy, 모든 수차 보정 등 엄격한 조건을 요구하고있다. 특히 DRAM의 해상력 한계를 극복하기 위해 lithography 광원의 단파장화예의한 광학계의 분해능과 초점심도의 향상에 관심이 모아지고 있고 축소 배율 광학계가 선호되고 있다.

본 논문에서는 KrF excimer 레이저 빔( $\lambda=248\text{nm}$ )을 광원으로 사용하고 렌즈계의 단점인 광원의 단파장화예때문 광학매질의 제한을 근본적으로 피하기 위해 lithography 광학계 형태를 반사광학계로 정하였다. Lithography에서는 mask pattern을 wafer에 높은 분해능을 갖고 정확한 닳음폴토 결상시키는 것이 목적이므로 최소 분해 선폭을 결정하는 구면수차와 코마가 제거되고 (aplanat 조건), mask pattern의 완벽한 전달에 오차를 주는 상면만곡과 왜곡수차가 제거된 (flat field, distortion free 조건) 가장 간단한 형태의 반사 광학계를 찾고자하는 목적으로 축대칭을 갖고 4 개의 구면거울로만 구성된 축소배율( $5\times$ ) 반사경계의 aplanat 조건과 distortion free, flat field 조건에 대해 연구하였다.

4 구면 반사경계를 설계하기 앞서 Gauss 꺾호를 이용하여 광학계의 근축 광선 추적을 행하였고 이를 바탕으로 Seidel 수차 이론에 입각하여 Seidel 3차 수차 내에서 구면수차, 코마, 상면만곡수차, 왜곡수차들이 제거된 규격화된 (normalized) 축소배율의 distortion free, flat field, aplanat 4 구면 반사경계를 해석적으로 다루고 computer를 이용하여 수치적인 방법으로 그 해를 구하였다. 이렇게 얻은 해들은 단순히 수학적인 해에 불과하므로 물리적으로 타당한 조건을 고려하였고 그 중 가장 뛰어난 성능을 갖는 광학계를 선정하여 유한광선 추적을 통한 최적화 기법을 이용하여 수차들을 최절 한계내로 제거하였다.

초점거리  $f' = -1\text{cm}$ 로 규격화된 4 구면경계는 N.A. 0.25를 갖고 구면수차, 코마, 상면만곡, 왜곡수차가 최절한계 내로 제거되었다. 그러나 잔류 비점수차와 비축 vignetting 때문에 이 광학계는 시계각  $1.5^\circ$ 를 갖고 시계의 크기가  $0.495\text{mm}$ 로 아주 작았다.

시계의 크기(field size)을 키우기 위해 위 규격화된 광학계를 초점거리  $f' = -10\text{cm}$ 로 scale-up하였다. 그러나 이 과정에서 모든 광선수차들도 같은 비율로 증가하여 N.A.와 시계각을 각각 0.15,  $1^\circ$ 로 줄였다. 이 scale-up된 광학계는 잔류 비점수차와 비축 vignetting이 여전히 남아있으나 이전의 광학계보다는 좋은 광학적 성능을 보였으며 field diameter는 실용적인 값  $3.3\text{mm}$ 로 증가하였다. N.A. 0.15를 갖는 이 광학계의 분해능은 KrF excimer 레이저에 대해( $\lambda = 248\text{nm}$ )  $1.3\mu\text{m}$  이고 초점심도(DOF)는  $4\mu\text{m}$  이다.

그러므로 본 4 구면 반사광학계는 scanning lithography에 사용되어 1 MDRAM 의 칩을 만들수 있는 가능성을 갖고 있다. 앞으로 반사광학계의 분해능, DOF, field size등 전반적 성능을 향상시키기 위해선 반사면의 비구면화 및 catadioptric 광학계로의 전환이 요구된다.