

# Micro-Lithography의 광학적 원리 (Optical principle of microlithography system)

이 성 목 , 임 동 규

서울사대 물리교육과

## 초 록

중은(sub-micron) 분해능을 갖는 Photoresist film의 방법에 의한 Micro-Lithography의 발달은 반도체, Electro-Optic 등의 첨단산업에 큰 기여를 하였다.

본 내용은 이러한 PR을 이용한 Lithography System의 광학적인 원리에 대해 소개하고자 한다.

## 1. 서 론

감광막(Photoresist, 이하 PR로 씀)은 빛(자외선~ 푸른색)이 투사되면 그 분자구조가 변하는 물질이라고 간단히 정의할 수 있다.

이러한 감광막의 성질을 이용한 Mask 제작은 광학의 각종소자(예:회절 격자), 반도체 소자 및 eletro-optic 소자를 만들기 위한 사진의 원판으로 중요성을 갖는다.

짧은 파장은 분해능을 좋게하기에 푸른 색이나 자외선을 대신하여 X-선, 전자빔, 또는 양이온 등을 이용한 방법이 연구되고 있으나 많은 경비와 값비싼 장비를 필요로 하기 때문에 아직까지 빛을 이용한

광학적인 사진방법이 주류를 이루고 있다.

빛을 이용한 방법에도 Contact, Proximity, Projection-Printing의 세가지 방법이 있다.

Contact는 가장 일반적인 방법으로 회절을 막기 위해 원판과 감광물질이 발라져 있는 마스크 사이를 밀착시킨 다음 빛을 조사시키는 방법이다. 이 방법은 원판과 감광 물질이 코팅된 판 사이에 완전히 밀착되어야 하므로 압력에 의한 원판과 PR의 손상으로 인하여 마스크의 수명 뿐아니라 코팅면도 손상되기 쉽다는 약점이 있다.

1973년 이후부터 Contact의 단점을 보완하기 위해 Proximity 방법이 이용되고 있다.

이 방법은 밀착하지 않음으로 인하여 열의 발생과 굽힘이 적기 때문에 마스크의 수명이 길어지나, 회절때문에 해상도가 떨어지고, 전체적으로 면이 고르지 않아 상이 불균일하게

되므로 접촉 방법에 비해 마스크의 수명이 길다는 장점 보다는 단점이 더 많다.

그러므로 이 방법은 작은 면적의 노출에만 적합하다.

최근 Projection 방법이 많이 연구 및 실용화 되고 있다.

Projection 방법으로 상을 사영시키기 위해서 Reflection Optical System이나 Lens System 을 사용한다.

이 방법은 앞의 두가지 방법보다 분해능과 마스크 수명면에서 매우 유리하다.

넓은 면에 조사의 필요가 점점 증대됨에 따라 거기에 따른 Uniform Illumination System의 연구가 진행되고, 이때 분해능도 좋게 하기 위해 높은 NA(Numerical Aperture)를 유지하는 Lens System이 이용되고 있다.

또한 작은 면적을 조사시킴과 동시에 넓은 면적을 움직이면서 Pattern을 그리는 Step and repeat Photo-lithography system도 실용화 되고 있다.

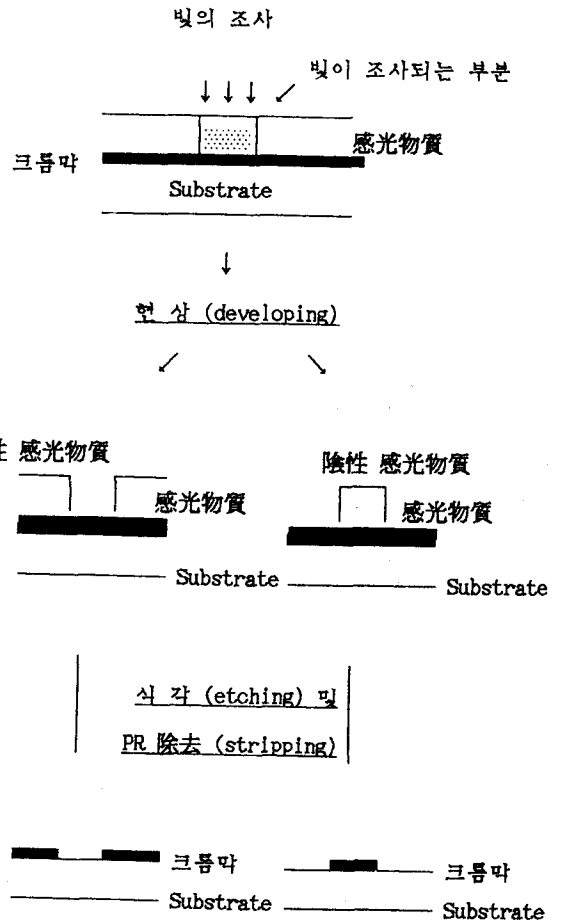


그림 1 . Lithography를 이용한 패턴 製作 과정

이러한 Optical Lithography는 일반적인 사진 찍는 것과 거의 같다.

얇은막(보통 ;0.3 ~ 2 μm)으로 입혀진 감광물질에 빛을 입사시켜 입사부위를 화학적으로 변화시킨후 현상과정을 거쳐 상을 만들게 된다.

PR의 가장 큰 장점은 좋은 분해능을 갖는 film이라 생각하면 쉽겠으며 다음에 그림으로 그 과정을 설명한다.

## 2. 분해능 및 Depth of Focus

### 가. 분해능

이론적으로 Diffraction-Limited Optical System에서 그을수 있는 최소 선폭 한계는 다음과 같다.

$$lp = k(\lambda / 2NA)$$

- lp : 최소 선 폭 ( $\mu\text{m}$ 단위)
- k : proportional constant
- $\lambda$  : wavelength
- NA : numerical aperture

k값은 Rayleigh에 따르면 이론적인 한계값이  $k = 0.61$ 인데 Lithography System에서 k값이 0.61이 되려면 다중감광막 system을 써서 정상파를 방지해야 하고, 감광물질의 두께가 전 wafer에 걸쳐 극도로 균일한 경우에만 0.61에 근접해 갈 수 있다.

본 실험과 같은 보통의 single layer system에선 최적 상태에서 k값이 0.8까지 접근시킨 연구 논문이 최근 발표되었다.

최근에 이웃하는 line과의 위상 변위 technic 과 PR process technic을 이용하여 분해능이 더욱 좋게 되어, 위에 나온 한계를 넘어가는 연구가 계속 진행되고 있다.

예로서  $NA = 0.28$ ,  $\lambda = 436\text{nm}$ 에서  $k = 0.8$ 로 할때 이론적인 선폭 한계는  $lp = 0.654\mu\text{m}$  (line/space)이다.

### 나. 촛점 심도(Depth of Focus)

촛점심도는 Defocus로 인하여 blurred image 형성에 커다란 영향을 미치지 않는 범위의 range maximum값을 말한다.

Rayleigh에 따르면

$$DOF = \pm C * lp^2 / \lambda$$

이다.

DOF: 촛점 심도

C : 상 수 (range : 0.3 ~ 1)

lp : line pairs in  $\mu\text{m}$

$\lambda$  : wavelength

원하는 lp가 정해진 경우  $\lambda$ 가 짧아지면 촛점심도가 길어지게 되어 매우 유리하다. 또  $\lambda$ 가 짧아지면 분해능도 더욱 좋아지게 된다. 이러한 잇점 때문에  $\lambda$ 가 짧아지는 광원을 찾는 연구가 계속 되고 있다.

### 3. 광원의 스펙트럼

Hg-short arc lamp가 흔히 사용되며  
그 spectrum은 아래 그림 2와 같다.

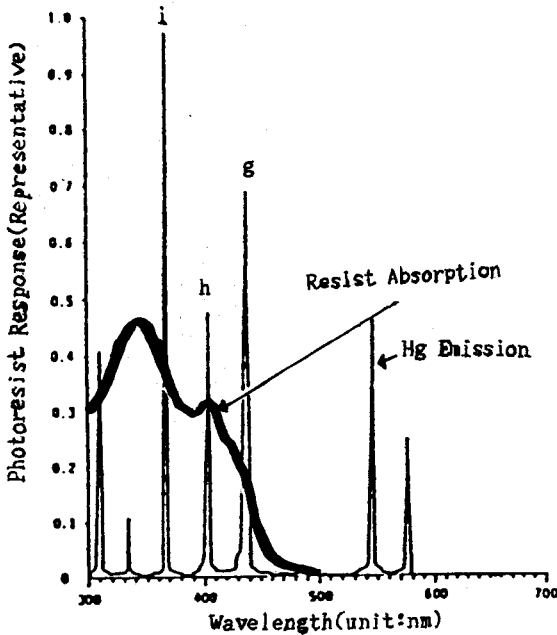


그림 2: Hg short-arc lamp spectrum과  
양성 감광물질의 흡수 스펙트럼

그림에서 굵은 선은 감광물질 AZ-계열의  
흡수 스펙트럼 곡선이다.

흡수(absorption)가 크면 substrate로 부터의  
backscattering과 coating 판 내부에서 생기는  
정상파(standing wave)로 인한 blurred image  
effects를 줄일 수 있다.

### 4. Degree of Coherence

통상 Köhler 조명법이 사용되며  
그림 3 에서 보듯이 degree of coherence  
 $\sigma = d_s'/d_o = \alpha_s \cdot M_o/\alpha_o$ 로 주어지는데,  
연구예선  $d_s'$ 가 꼭  $d_o$  내에 있어야 하므로  
 $\sigma \leq 1$  이 된다. 즉 partially coherent한  
조명이 된다.

한 예로서 projection lens의 entrance  
pupil ;  $d_o = 27.2\text{mm}$  ,  $d_s' \sim 12\text{mm}$  이면  
 $\sigma$  는  $\sim 0.44$  정도 되는 system이 있을수  
있다.

$g(=436\text{nm})$  line-lithography에선 fine  
line을 그을때 적어도 MTF(modulation  
transfer function) 값이 60 %가 넘어야  
하는데, 예를들 degree of coherence:  
 $\sigma = 0.44$  정도의 illumination condition이  
사용되면  $1\ \mu\text{m}$  근처의 geometry를 쉽게  
만들어 낼수가 있다.

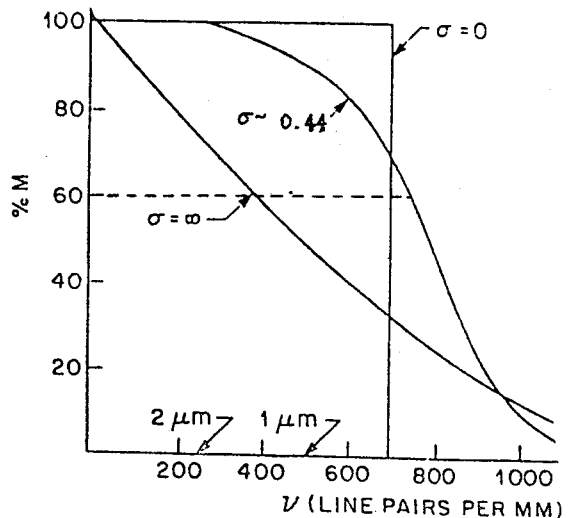


그림 4: spatial frequency 에 대비한 MTF

## 5. 조명의 균일도

원판위치에서 조도의 불균일은 상의 형성에 큰 defects를 가져다 준다.

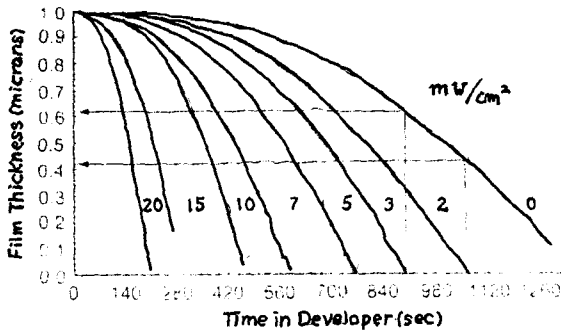


그림 5: 현상시간에 따른 감광막의 두께변화

보통의 경우 중심에서 가장자리로 갈수록 조도가 떨어지는데 이를 고려해주질 않는 경우에 똑같은 line/space에 대한 상에 대해 edge 와 center의 선폭이 달라지게 된다. 조도가 불균할 경우에 얻고자 하는 선폭이 좁아 질수록 더욱더 큰 손상을 입는다.

## 6. 렌즈의 사양

resolution이 좋아야 하는 submicron -lithography system 에서는 파장이 좀더 짧은 i-line(~365nm)쪽이 분해능, 그리고 초점심도 면에서 유리 하겠지만 다음 예에서는 g-line(~436nm)쪽의 10:1 projection Lens가 소개된다.

ZEISS 렌즈의 사양은 표 1과 같다.

## 7. process

전 process는 표 2와 같은 block-diagram으로 설명된다.

## 8. 결 론

Micro-Lithography에서 중요한 광학적및 화학적 변수를 정리하면 아래와 같다.

1. 광원의 stability 문제가 해결되어야 한다.
2. 적고자하는 전 영역에서 intensity가 고르게 나와야 한다.
3. 적고자하는 원판의 contrast가 커야한다.
4. 렌즈의 imperfections 문제가 해결 되어야 한다.
5. 그 후 전 processing: developing, baking, etching, PR-thickness, film uniformity등을 optimization 해야한다.

参考 文献

1. L.F.Thomson,C.G.Willson,M.J.Bowden (1983), "INTRODUCTION TO MICROLITHOGRAPHY : Theory, Materials, and Processing", pp 37-39, 163, 89,
2. David J. Elliott (1982), "Integrated Circuit Fabrication Technology", pp 196-197, 260
3. Chris Spence, William G. Oldham, William N. Partlo, John H.Brunlg, David A. Markle & Richard Hsu(1989), "Deep-UV Photolithograph With a Small-Field 0.6 NA 'Microstepper'", SPIE(1989) pp 471-482. VOL. 1088
4. F. J. Van Hout, M. A. Van den Brink, S. Wittekoek and J. F. Coolsen, "Registration Accuracy And Critical Dimension Control For a 5X Reduction Stepper with Magnification Control", SPIE (1987) pp 118-129. VOL. 811
5. Chris A. Mack and Patricia M. Kaufman, "Understanding Focus Effects in Submicron Optical Lithography, Part 2 : Photoresist Effects", SPIE(1989) pp 304-323. VOL. 1088

10:1 projection lens (ZEISS NO.107782)

wavelength	436 ± 5 nm
object to image distance	602 ± 4 mm
N.A.	0.28
distorsion	max ± 0.2um
effective focal length	49.1 mm
square image format	10.2 × 10.2 mm
entrance pupil diameter	27.2 mm
exit pupil diameter	287 mm
diffraction limit of resolution	1285 Per/mm
free working disatnce	min.10 mm
Rayleigh depth in image space	± 2.8 μm

표 2. processing block-diagram

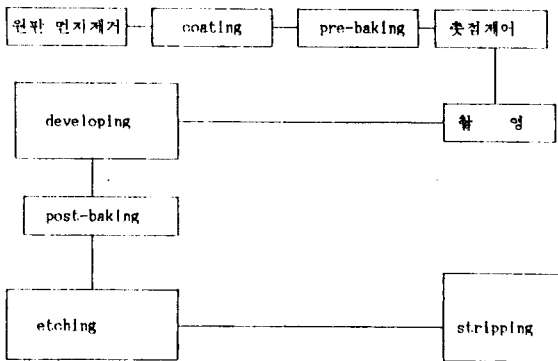


표 1. ZEISS 렌즈의 사양

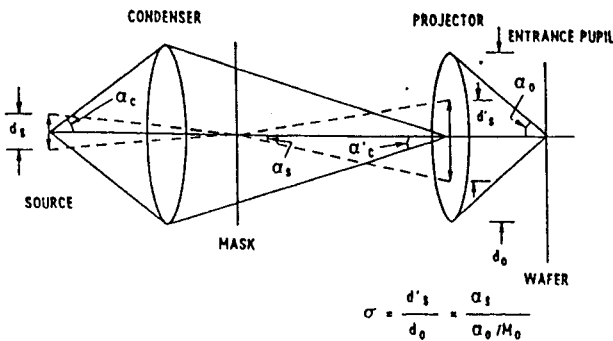


그림 3: Köhler illumination system  
에서의 degree of coherence