

나노미터 크기의 임의 형상을 제작하기 위한 새로운 리소그래피 기술

홍진수*¹⁾ · 김창교²⁾

New lithography technology to fabricate arbitrary shapes of patterns in nanometer scale

Chinsoo Hong*¹⁾ and Chang Kyo Kim²⁾

요 약 나노미터 크기의 임의형상 패턴을 새기기 위하여 노광기술이 사용된다. 광노광에서 자외선과 엑스레이 같은 전자기파가 나노미터 크기로 형상을 새긴 마스크 위에 조사되면 회절현상은 필연적으로 발생하며 마스크의 상이 불명확하게 웨이퍼 위에 맺히도록 한다. 볼록렌즈만이 프리어변환기 역할을 한다고 알려져 있으며 마스크 위에 패턴의 크기가 전자기파의 파장에 비교하여 매우 클 때에도 볼록렌즈를 사용하면 프리어변환시키는 것이 가능하다. 본 논문에서 설명하는 방법으로 마스크를 준비하여 렌즈 앞에 놓고 레이저 빔으로 조사하면 프리어 평면이라 알려진 평면 위에서만 나노미터 크기의 패턴이 형성된다. 이 방법은 매우 단순한 장치로 구성되어 있고, 현재 혹은 차세대 노광인 자외선/극자외선 및 전자투사노광으로 제작한 최소선폭과 비교해 볼 때 손색이 없다. 여기서는 프리어광학을 이용하여 이론적인 연구결과를 보이고 있지만 가까운 장래에 실험결과로 이론적인 접근을 증명할 수 있을 것이다.

Abstract New lithography techniques are employed for the patterning of arbitrary shapes in nanometer scale. When, in the photolithography, the electromagnetic waves such as UV and X-ray are incident on the mask patterned in nanometer scale, the diffraction effect is unavoidable and degrades images of the mask imprinted on wafer. Only a convex lens is well-known Fourier transformer. It is possible to make the mask Fourier-transformed with the convex lens, even though the size of pattern on the mask is very large compared to the wavelength of electromagnetic wave. If the mask, modified according to new technique described in this paper, was placed at the front of the lens and was illuminated with laser beam, the nanometer-size patterns are only formed on the plane called Fourier transform plane. The new method presented here is quite simple setup and comparable with present and next generation lithographies such as UV/EUV photolithography and electron projection lithography when compared in attainable minimum linewidth. In this paper, we showed our theoretical research work in the field of Fourier optics. In the near future, we are going to verify this theoretical work by experiments.

Key Words : lithography, UV/EUV photolithography, Fourier optics, convex lens

1. 서 론

나노미터 크기 패턴닝은 집적회로를 제작하는 공정의 핵심기술이며 하나의 소자 위에 완벽한 측정 및 제어 장비를 탑재시킬 수 있는 방향으로 기술개발이 이뤄지고 있으며 현재까지 가능한 나노미터 크기 패턴의 최소 선폭은 120 nm 정도이다. 100 nm 이하의 선폭은 실험실 레벨에서 가능한 것으로 알려져 있다[1-3].

나노미터 크기 집적회로를 제작하기 위하여 생산라인에서 채택하고 있는 노광(lithography) 방법은 다음과 같이 네 가지가 있다.

- (1) extreme ultraviolet lithography(EUVL)
- (2) X-ray lithography
- (3) electron-beam lithography
- (4) ion-beam lithography

회절현상은 집적회로를 제작하기 위한 노광(lithography) 공정에서 선폭을 줄이는데 커다란 장애가 되고 있다. 본 논문에서는 이런 장애를 역이용하여 가시광선 영역의 광원으로 노광시킬 수 있는 새로운 방법

순천향대학교 정보물리전공
2) 순천향대학교 정보기술공학부

을 제시하고자 한다.

아직 이 방법은 실험에 의해 검증되지 않았고 단지 이론적으로 그 가능성을 논의한 것이다.

2. 본 론

2.1 프리어변환

프리어변환(Fourier Transform)은 sine 함수나 cosine 함수 같은 단순 조화진동자의 선형 결합으로 임의의 신호를 묘사한다. 일반적으로 영상을 다룰 때 이차원 프리어변환은 영상의 특징을 추출하거나 노이즈를 제거할 때 효율적으로 사용된다. 이차원 프리어 변환은 다음과 같이 수식으로 표현할 수 있다.

$$G(f_x, f_y) = \mathcal{F}g = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x, y) \quad (1a)$$

$$\exp[-i2\pi(f_x x + f_y y)] dx dy$$

$$g(x, y) = \mathcal{F}^{-1}G = \int_{-\infty}^{+\infty} G(f_x, f_y) \quad (1b)$$

$$\exp[i2\pi(f_x x + f_y y)] df_x df_y$$

식(1a)에서 를 프리어변환시킨 결과가 $G(f_x, f_y)$ 이며 $G(f_x, f_y)$ 를 역프리어 변환시킨 결과는 식(1b)이다. 그림 1 $g(x, y)$ 은 이 두 함수 사이의 관계를 나타낸다.

그림 1에서 구경을 매우 작은 면적으로 나뉘어서 이 면적을 통과한 광선은 관측평면의 좌표인 (f_x, f_y) 에 도달할 수 있다. 우리가 이런 현상을 인식하지 못하는 이유는 구경의 크기가 가시광선의 파장에 비하여 매우 크기 때문이다. 이런 회절현상은 물리적으로 설명할 수 없고, 단지 현상학적으로 설명할 뿐이다[4]. 그림 1에서 관측평면에서 측정된 값 $G(f_x, f_y)$ 로부터 구경 함수 $g(x, y)$ 를 찾는 과정을 역프리어변환(Inverse Fourier Transform)이라 한다.

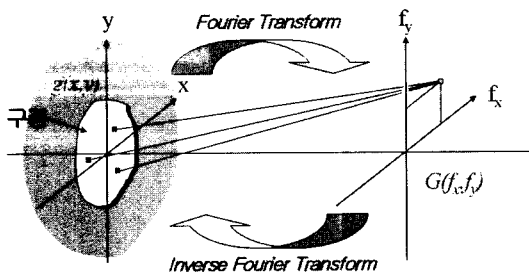


Fig. 1. The rays through any infinitesimal area of aperture can be reached to the spatial frequency coordinate (f_x, f_y) .

2.2 프리어변환기 : 볼록렌즈

그림 1과 같이 구경의 크기가 가시광선의 파장에 비하여 매우 큰 경우 프리어변환된 상을 관측하기 어렵다고 하였다. 구경이 큰 경우에 프리어변환이 눈에 띄게 잘 일어나게 하는 장치가 바로 볼록렌즈이다. 이에 대한 자세한 설명은 참고문헌5를 참조하기 바란다.

프리어변환기로 사용되는 렌즈는 볼록렌즈이다. 렌즈의 중심을 지나는 광축으로부터 떨어진 좌표에 따라 광선이 지나면서 위상차 $t_1(x, y)$ 가 발생한다. 이 위상차는 다음과 같이 표현된다.

$$t_1(x, y) = \exp\left[-i\frac{k}{2f}(x^2 + y^2)\right] \quad (2)$$

식(2)에서 Δ_0, f, n 는 각기 볼록렌즈의 중앙부의 두께, 초점거리와 렌즈 매질의 굴절율이다.

2.3 렌즈를 사용한 프리어변환

앞 절에서 논의한 렌즈는 구경의 크기가 가시광선의 파장에 비하여 매우 큰 경우 프리어변환 효과가 잘 나타나지 않지만 렌즈를 사용하면 프리어변환 효과가 크게 확대되어 나타난다. 간단히 논의를 전개하기 위하여 구경에 평행광이 입사한다고 가정하고, 바로 뒤에 볼록렌즈를 두고 렌즈로부터 거리에 따라 어떤 상이 나타나는지 살펴보기로 하자.

그림 1에서 좌표를 나타내는 변수를 바꿔 다시 그려 보자. 광선의 세기를 나타내기 위하여 전기장 혹은 자기장의 한 쪽 방향 성분을 스칼라 U 라 표시하고, 구경의 미소면적 dS 를 통과한 광선의 크기를 $U(P_1)$, 관측평면 위의 점 P_0 에 도달하는 광선의 크기를 $U(P_0)$ 라 하면 전달함수(transfer function)를 사용하여 이 두 광선의 크기 사이의 관계를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$U(P_0) = \frac{1}{i\lambda} \iint_{\Sigma} U(P_1) \frac{\exp(ikr_{01})}{r_{01}} d\xi d\eta \quad (3)$$

$$= \frac{z}{i\lambda} \iint_{\Sigma} U(P_1) \frac{\exp(ikr_{01})}{r_{01}^2} d\xi d\eta$$

식(3)의 두 번째 관계를 얻는데 $\cos\theta = z/r_{01}$ 를 사용하였다. 구경 내 한 점과 관측평면 위의 한 점을 사이의 떨어진 거리 r_{01} 은 근축근사(즉, $|x|, |y| \ll z$)시키면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$U(P_0) = \frac{1}{i\lambda} \iint_{\Sigma} U(P_1) \frac{\exp(ikr_{01})}{r_{01}} d\xi d\eta$$

$$= \frac{z}{i\lambda} \iint_{\Sigma} U(P_1) \frac{\exp(ikr_{01})}{r_{01}^2} d\xi d\eta \quad (4)$$

식(4)를 식(3)에 대입하고, 렌즈를 통과시키면 다음과

같은 결과식을 얻는다.

$$U(x, y) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} U(\xi, \eta) t_1(\xi, \eta) \times \exp\left[i\frac{k}{2z}\{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2\}\right] d\xi d\eta \quad (5)$$

식(5)를 정리하여 다시 써보자.

$$U(x, y, z \neq f) = \frac{e^{ik(n\Delta_0 + f)}}{i\lambda f} e^{i\frac{k}{2f}(x^2 + y^2)} \times \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} U(\xi, \eta) \exp i\frac{\pi}{\lambda} \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{z}\right) (\xi^2 + \eta^2) \times \exp -i2\pi \left(\frac{x}{\lambda f} \xi + \frac{y}{\lambda f} \eta\right) d\xi d\eta \quad (6)$$

한편 만약 식(6)에서 렌즈의 초점거리만큼 떨어진 위치에 관측평면을 놓으면(즉, $z=f$)

$$U(x, y, z = f) = \frac{e^{ik(n\Delta_0 + f)}}{i\lambda f} \times \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} U(\xi, \eta) \exp -i2\pi \left(\frac{x}{\lambda f} \xi + \frac{y}{\lambda f} \eta\right) d\xi d\eta \quad (7)$$

이 된다. 식(6)과 식(7)을 사용하여 z 에 따라 광선의 세기 $|U(x, y)|^2$ 을 그려보자.

그림 2에서 $z=f$ 인 위치에서는 프리어변환이 올바르게 나타나고, 다른 위치에서는 프리어변환이 되지 않는다.

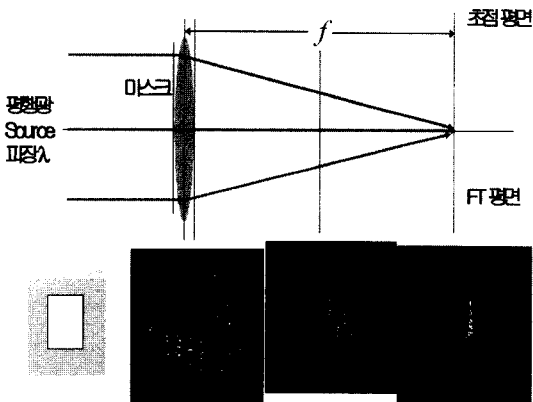


Fig. 2. When the plane waves are incident onto mask of rectangular shape, the images are observed at three different z positions after transmitting the lens : just behind the lens, $z=f/2$, and $z=f$.

2.4 세 개의 렌즈를 사용한 프리어변환 장치

구경을 프리어변환시키면 본래 구경의 모양을 알아 보지 못할 정도로 변환된 상을 얻는다. 그런데 이를 역 이용하여 프리어변환된 상을 마스크로 사용하여 렌즈를 통해 다시 프리어변환시키면 간단한 본래 구경의 모양을 얻을 수 있다. 물론 이때 재생된 상은 원점에 대하여 구경을 대칭이동한 형태가 된다. 식(1a)와 식(1b)를 결합하면 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$\mathfrak{I}G = g(-x, -y) \quad (8)$$

식(8)과 같은 결과는 광학 교과서에서 프리어변환을 시킬 때 많이 등장한다. 논의를 효율적으로 진전시키기 위해 네가지의 기본적인 연산을 이용하자[2].

① 이차 위상 변화 : $Q[c]$

$$Q[c]U(x) = \exp(i\frac{k}{2}cx^2)U(x)$$

② 확대 축소 : $V[b]$

$$V[b]U(x) = \sqrt{b}U(bx)$$

③ 프리어변화 및 역프리어변환 : $\mathfrak{I}, \mathfrak{I}^{-1}$

$$\begin{cases} \mathfrak{I}\{U(x)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} U(x)e^{-i2\pi fx} dx \\ \mathfrak{I}^{-1}\{U(x)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} \{U(x)\}e^{i2\pi fx} dx \end{cases}$$

④ 자유공간 전달 : $R[d]$

$$R[d]\{U(x_1)\} = \frac{1}{\sqrt{i\lambda d}} \int_{-\infty}^{+\infty} U(x_1)e^{i\frac{k}{2d}(x-x_1)^2} dx_1$$

이상 네 개의 기본 연산을 이용하여 렌즈를 한 개, 두 개, 세 개를 사용한 결과를 구했는데 이 중 세 개의 렌즈가 가장 적합하다는 결론에 도달했다. 그림 3은 세 개의 렌즈를 사용한 일반적인 경우를 나타낸다.

앞에서 말한 네 가지 기본적인 연산자를 사용하여 그림 3의 배열은 다음과 같다.

식(9)에서 입사 광선의 크기는 이며 프리어변환 평면에서 광선의 세기는 이다. 식(9)는 일차원 경우에 전개하였는데 2차원 경우는 변수만 두 개가 되고 나머지는 동일하다. 식(9)에서 사용된 변수는 다음과 같다.

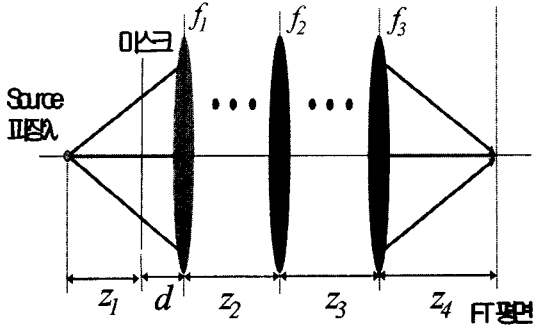


Fig. 3. The schematic diagram of the set-up for nano-scale patterning.

$$\begin{aligned}
 SU(x_1) &= R[z_4]Q - \frac{1}{f_3}R[z_3]Q - \frac{1}{f_2}R[z_2] \\
 &\times Q - \frac{1}{f_1}R[d]Q \frac{1}{z_1}U(x_1) \\
 &= \frac{\alpha_3 \pi}{2k} \frac{2i}{\sqrt{i\lambda z_4 a_3 a_4}} e^{i\frac{k}{2z_4}x^2} e^{-i\frac{kx^2}{4a_4 z_4^2}} \\
 &\int_{-\infty}^{+\infty} U(x_1) \exp -ik \frac{x_1 x}{4a_3 a_4 z_2 z_3 z_4} dx_1 \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{cases}
 \alpha_3 = \frac{i}{\lambda \sqrt{z_2 z_3}} \\
 2a_3 = \frac{1}{z_2} + \frac{1}{z_3} - \frac{1}{f_2} \\
 2a_4 = \frac{1}{z_3} + \frac{1}{z_4} - \frac{1}{f_3} - \frac{1}{2a_3 z_3^2}
 \end{cases} \quad (10)$$

또한 $d=0$ 인 경우 프리어 평면의 위치는

$$\begin{aligned}
 &\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} - \frac{1}{f_1} - \frac{1}{z_2^2 \left(\frac{1}{z_2} + \frac{1}{z_3} - \frac{1}{f_2} \right)} \\
 &\frac{1}{z_2^2 z_3^2 \left(\frac{1}{z_2} + \frac{1}{z_3} - \frac{1}{f_2} \right)} \\
 &\times \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{z_2} + \frac{1}{z_3} - \frac{1}{f_2} \right) \left(\frac{1}{z_3} + \frac{1}{z_4} - \frac{1}{f_3} \right) - \frac{1}{z_3^2} \right]} = 0 \quad (11)
 \end{aligned}$$

을 만족하는 x_4 이다.

2.5 프리어변환의 배율

식(8)과 같이 프리어변환된 마스크를 사용하여 프리어변환을 한 번 더 시키면 의도했던 구경이 얻어지는데

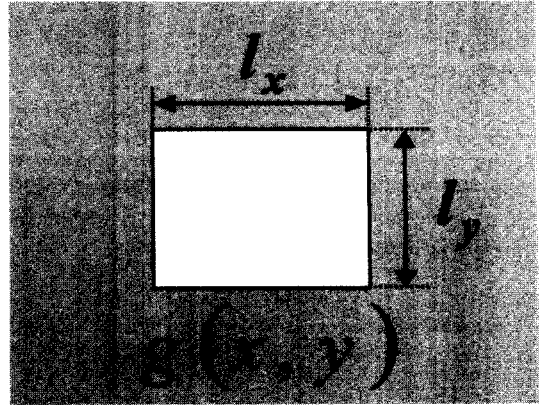


Fig. 4. The rectangular aperture.

이 구경과 마스크의 크기는 어떤 관계에 있는지표현해 보자. 그림 4와 같은 구경을 프리어변환시켜 보자.

그림 4에서 원점을 구경의 중앙에 잡고 이 구경 내에 있는 위치에서는 로 잡고, 그 외에서는 0으로 놓고 식(1a)를 계산하면 다음과 같은 결과가 된다.

$$\mathfrak{S}\{g\} = l_x l_y \text{sinc}(\pi f_x l_x) \text{sinc}(\pi f_y l_y) \quad (12)$$

그림 1에서 보듯이 프리어평면의 공간 주파수 f_x 와 f_y 를 다음과 같이 치환시키자.

$$\begin{cases}
 f_x = \frac{u}{\lambda_0 f_0} \\
 f_y = \frac{v}{\lambda_0 f_0}
 \end{cases} \quad (13)$$

식(13)에서 λ_0 와 f_0 는 마스크를 만들기 위해서 가상적으로 프리어변환을 시키기 위한 파장과 렌즈의 초점거리이다. 식(13)을 식(12)에 대입하여 다시 써보자.

$$\mathfrak{S}\{g\} = l_x l_y \text{sinc}\left(\pi \frac{l_x u}{\lambda_0 f_0}\right) \text{sinc}\left(\pi \frac{l_y v}{\lambda_0 f_0}\right) \quad (14)$$

그런데 마스크의 크기는 무한정 크게 할 수 없으므로 마스크의 크기는 부득불 제한해야 한다. 따라서 편의상 프리어변환 시킨 상의 x -축 방향으로 중앙에서 첫 번째 0이 되는 거리를 u_0 , y -축 방향의 v_0 거리를 라 놓자.

$$\begin{aligned}
 \pi \frac{l_x u_0}{\lambda_0 f_0} &= \pi \rightarrow u_0 = \frac{\lambda_0 f_0}{l_x} \approx 5mm \\
 \pi \frac{l_y v_0}{\lambda_0 f_0} &= \pi \rightarrow v_0 = \frac{\lambda_0 f_0}{l_y} = u_0 \frac{l_x}{l_y}
 \end{aligned} \quad (15)$$

식(15)에서 마스크의 크기는 지름 3를 옆두에 두고 적어도 중앙에서 첫 번째 0까지 거리는 5가 되면 프리어변환시키도 재생된 상은 본래 상하고 별 차이가 없기 때문에 그렇게 놓은 것이다. 이제 식(15)를 식(14)에 대입하여 정리한다.

$$\mathfrak{S}\{g\} = l_x l_y \text{sinc}\left(\pi \frac{u}{u_0}\right) \text{sinc}\left(\pi \frac{v}{v_0}\right) \quad (16)$$

식(16)을 식(1a)처럼 다시 한 번 프리어변환을 시키면 sinc 함수에 대한 적분을 구해야 한다.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \text{sinc}(au) \exp(-ibux) du = \frac{1}{2} \pi [\text{Sign}(a-bx) + \text{Sign}(a+bx)] \quad (17)$$

식(17)에서 나타난 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad (18)$$

식(18)을 옆두에 두고 식(17)의 오른쪽 함수를 에 대하여 그려보자. 식(16)으로 표현된 마스크를 사용하면 그림 5와 같은 패턴을 얻을 수 있다.

그림 5에서 패턴의 축 방향의 폭는 다음과 같다.

$$\Delta_x = 2 \frac{a}{b} \quad (19)$$

식(9)는 식(1a)와 비교하면 프리어변환 식이라는 사실을 알 수 있다. 따라서 식(16)을 식(9)의 $U(x_1)$ 이라 놓으면 식(19)를 쉽게 구할 수 있다.

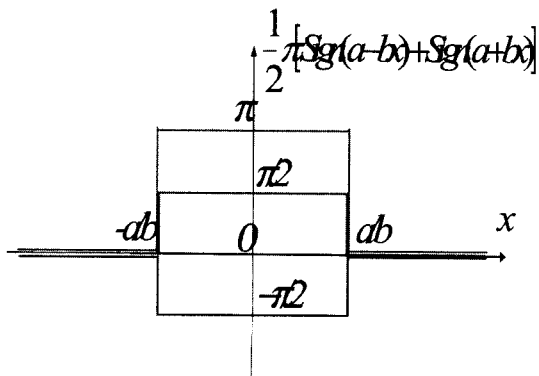


Fig. 5. The result that Fourier transformed sinc function.

$$\Delta_x = \frac{2\lambda}{u_0} 2a_3 a_4 z_2 z_3 z_4 \quad (20)$$

물론 식(20)은 $d=0$ 인 경우 성립한다. 식(20)에서 λ 는 렌즈 세 개로 실제 프리어변환을 시킬 때 광원의 파장이다.

2.6 나노미터 크기 패턴을 위한 장치

z_1, z_2, z_3 를 변화시켜서 식(20)에 대입하여 Δ_x 가 최소화되는 수치를 찾아 그림으로 나타낸 것이 그림 6이다. 그림 6은 두 부분으로 이루어져 있는데 초점거리 f_1 인 렌즈는 평행광을 프리어변환시키고, 뒤에 두 개의 렌즈 f_2 와 f_3 는 beam expander를 역으로 이용한 일종의 축소기 역할을 한다.

2.7 마스크

그림 6에서 첫 번째 렌즈에 부착시킨 마스크를 제작하는데 불가능한 부분이 있다. 예를 들어 설명하기로 하자. 나노미터 크기로 그림 4와 같은 직사각형 패턴을 만드는 경우 예를 들어보자. 식(16)으로 표현된 마스크를 제작하려면 식(16)을 보면 금방 알 수 있듯이 마스크에 +값뿐 아니라 -값을 표현해야 하는데 실제로는 불가능하다. 따라서 식(16)의 함수로 표현된 마스크를 변형시켜야 하는데 간과해서는 안될 점은 프리어변환시키도 본래의 직사각형 패턴을 변형시키지 말아야 한다는 조건이다. 이 조건을 충족시키는 방법은 식(16)이 어떤 경우에도 +가 되도록 상수 값을 더해줘야 한다. 식(16)으로 표현된 함수의 최소값을 더 해 주면 마스크는 항상 +값을 갖게 된다. 따라서

$$\mathfrak{S}\{g\} = l_x l_y \text{sinc}\left(\pi \frac{u}{u_0}\right) \text{sinc}\left(\pi \frac{v}{v_0}\right) + const \quad (21)$$

가 되게 마스크를 만들어야 한다. 식(21)은 직사각형 패턴을 만들 때 생각할 수 있는 예를 든 것이다.

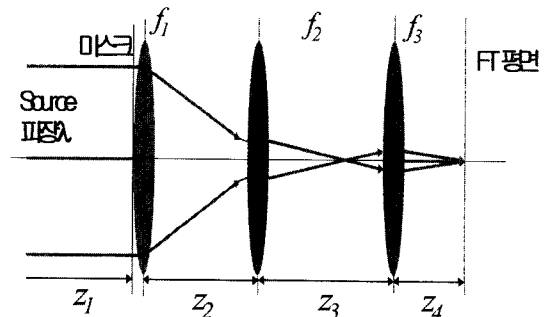


Fig. 6. The schematic diagram of the set-up that minimizes nano-scale pattern image.

2.8 임의 형상 나노패턴 마스크 제작

앞 절에서 든 예는 패턴닝하려는 구경이 x-축과 y-축에 대하여 대칭인 경우 생각해 보았는데 일반적으로 구경이 이와 같이 대칭이 되지 않으면 마스크는 허수가 나타난다. 만약 허수를 제거하고 실수만 가지고 프리어 변환시키면 많은 정보를 잃게 된다. 이는 결코 바람직한 방법이 아닐 것이다. 그렇다면 대칭이 되지 않는 임의 형상 나노미터 크기 패턴닝을 제작하는 방법은 없을까? 이를 살펴보기 위해서 다음과 같은 경우를 생각해 보자.

두 개의 동일한 구경이 단지 좌표만 달리하여 그림 7 처럼 놓여있다. 그 중심좌표는 점C이다. 만약 점C를 원점이 되게 한 후 식(1a)를 이용하여 프리어변환시키면 그 결과는 실수가 된다.

그림 6에서 구경은 충분히 작게 만들고 그 중심이 원점에 있게 하면 구경은 임의 형상을 이루는 기본 도트(dot)가 된다. 따라서 임의 형상은 이런 도트로 이루어진다고 볼 수 있다. 이제 임의 형상에 대하여 도트로 표현해 보자.

그림 8에서 보면 임의 형상이 원점에 대칭인 형태로 놓여있다($g(x, y)$ 와 $g(-x, -y)$). 그러므로 임의 형상을 갖는 두 구경의 도트는 그 좌표가 각기 (x_0, y_0) 와 $(-x_0, -y_0)$ 으로 원점에 대하여 대칭이다. 그림 8과 같은 모양을 프리어 변환시키면 항상 그 결과는 실수가 나온다.

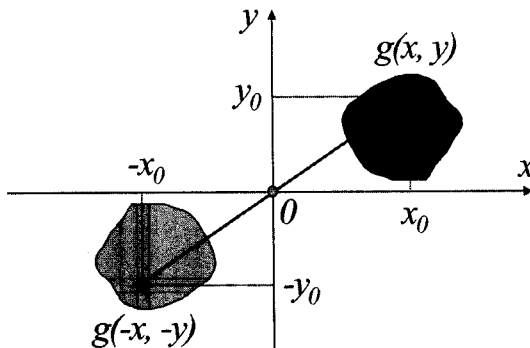


Fig. 8. Two same apertures. Their center coordinate is at point C.

하여 그린 bmp 파일이다. 이 파일을 가지고 앞에서 논의한 모두 과정을 거쳐 최종적으로 그림 10의 마스크를 만들 수 있다는 것을 보인 것이다.

그림 10을 레이저 프린터를 사용하여 OHP로 출력하거나 혹은 흑백용지에 출력한 다음 사진으로 찍어 마스크로 사용하면 된다.

2.10 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 나노패턴 확인

그림 10의 마스크를 그림 6의 장치로 프리어변환시키면 그림 11과 같은 최종 패턴이 얻어진다.

그림 11과 같은 나노미터 크기 패턴에서 최소 선폴은 그림 6의 장치에서 렌즈의 초점거리와 렌즈 사이의 떨어진 거리에 따라 표 1에 정리한 것이다.

2.9 컴퓨터 시뮬에 의한 가상 나노패턴 마스크 제작

지금까지 살펴본 회절현상을 이용한 나노패턴 마스크 제작은 컴퓨터 시뮬을 해보자. 나노미터 크기 패턴은 그림 9에 보이는 것처럼 순천향대학교이다.

그림 9는 흑백으로 가로, 세로 모두 100개의 pixel로

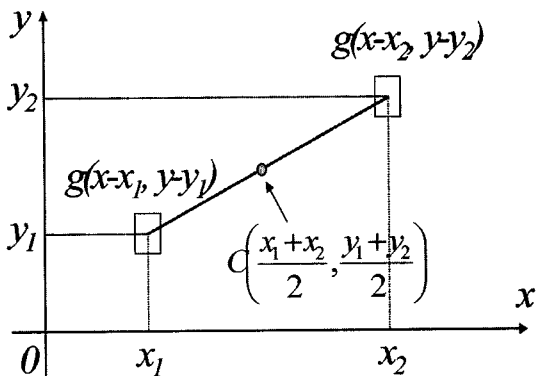


Fig. 7. Two same apertures. Their center coordinate is at point C.

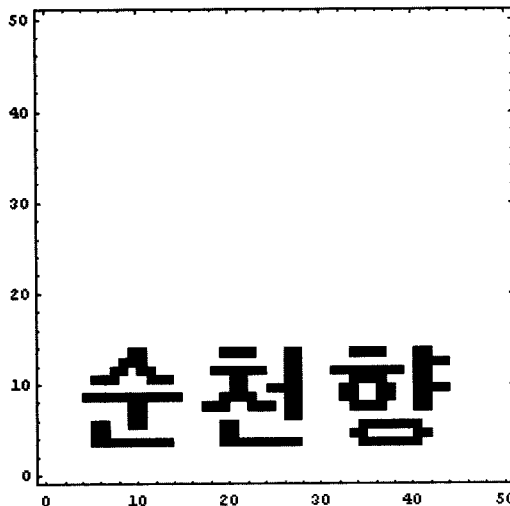


Fig. 9. Nano-scale pattern “순천향대학교” with 50X50 grey pixels.

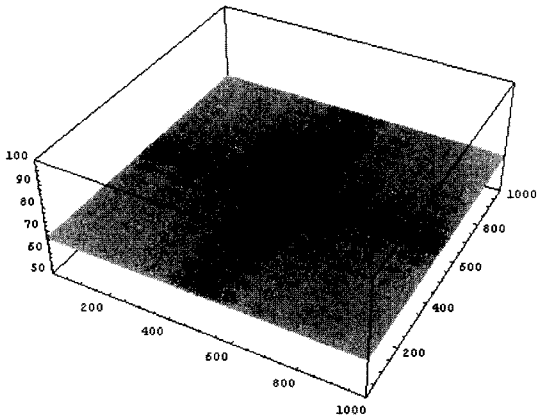


Fig. 10. The mask for nano-scale pattern “순천향대학교” with 1000X1000 grey.

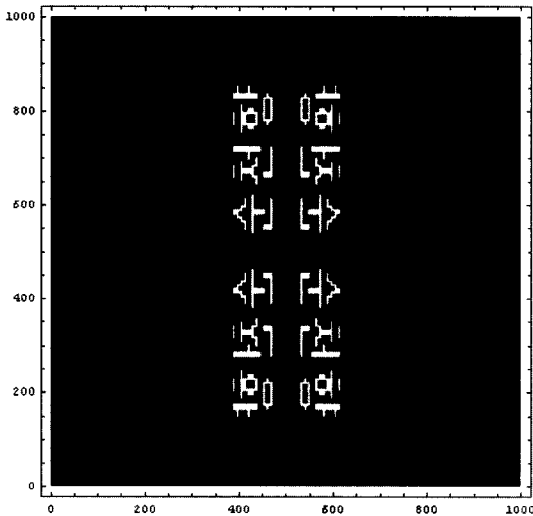


Fig. 11. Reconstructed Nano-scale pattern “순천향대학교” with 1000X1000 grey pix.

3. 결 론

광노광에서 나노미터 크기의 마스크 패턴에 광선이 입사하면 필연적으로 회절현상이 발생하며 이는 선폭을 줄이는데 커다란 장애요인이 된다. 만들고자하는 나노미터 크기의 임의의 형상을 컴퓨터를 이용하여 프리어변환시키고, 각 픽셀의 값이 적어도 0보다 크게 되도록 상수값을 모든 픽셀에 더해준다. 레이저프린터로 그 결

Table 1. The minimum size, Δ_x , of nano-scale pattern with respect to optical system. The value of f_2 is not important, but the ratio of f_2 to f_3 is responsible for Δ_x .

f_1	f_2	f_3	u_0	Δ_x
5cm	10 δ cm	δ cm	5mm	1 μ m
5cm	50 δ cm	δ cm	5mm	200 nm
2.5cm	50 δ cm	δ cm	5mm	100 nm

과를 출력하여 분해능이 좋은 슬라이드 필름으로 촬영한 다음 이를 마스크로 사용한다. 마스크를 그림6의 렌즈 시스템에서 첫 번째 렌즈의 전면에 놓으면 세 번째 렌즈로부터 일정한 거리에 있는 평면에서 나노미터 크기 패턴을 얻을 수 있다. 본 논문은 이런 장치에서 프리어광학의 이론적 고찰을 하여 간단한 구조로 저렴한 비용으로 노광을 시킬 수 있는 방법에 대하여 연구한 것이다. 이론적으로 이 방법은 가능하다는 것을 보였으며 향후 실험적으로 검증하는 일이 수반되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 지정 순천향대학교 차세대BIT 무선부품연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- [1] M.S.M. Saifullah, Dae-Joon Kang, K. R. V. Subramanian, M. E. Welland, K. Yamazaki, K. Kurihara, “Electron beam nanolithography of -Ketoester modified aluminum Tri-Sec-Butoxide,” Journal of Sol-Gel Science and Technology, Vol. 29, No. 1, pp. 5-10, Jan. 2004.
- [2] Soung Yoon Lee, Hyung Joon Kim, and Jinho Ahn, “Mo/Si multilayer for EUV lithography applications,” Journal of the Korean Physical Society, Vol. 41, No. 4, pp. 427-432, Oct. 2002.
- [3] Y.-Y. Shew, Y. Cheng, W.-P. Shih, et al., “High precision, low cost mask for deep x-ray lithography,” Microsystem Technologies, Vol. 4, No. 2, 2004.
- [4] Eugene Hecht, Optics, 3rd ed., Chapter 10, Addison-Wesley, New York, 1998.
- [5] Joseph W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, 2nd ed., Chapter 5, McGraw-Hill, New York, 1996.