

새로운 나노미터급 프리어 변환 리소그래피법 개발

김창교*, 홍진수**, 이의식*, 박성훈*
*순천향대학교 정보기술공학부
**순천향대학교 정보물리학과
e-mail:ckkim1@sch.ac.kr

Development of A New Fourier Transform Lithography Method in Nano Meter Scale

Chang Kyo Kim*, Chinsoo Hong**, Eui Sik Lee*, Sung Hoon Park**

*School of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University

**Department of Information and Physics, Soonchunhyang University

요 약

나노미터 크기의 임의형상 패턴을 형성하기 위해서 새로운 프리어 변환 리소그래피법을 개발하였다. 나노미터급 리소그래피에서 자외선과 엑스레이 같은 전자기파가 나노미터 크기로 형상을 새긴 마스크 위에 조사되면 회절현상이 발생하여 불명확한 패턴을 얻게 된다. 극자외선을 사용하지 않고도 상대적으로 긴 파장의 레이저빔을 특수하게 제작된 마스크를 통해 볼록렌즈에 조사할 경우에 프리어 평면이라 알려진 평면위에 나노미터 크기의 패턴을 형성할 수 있다는 것을 증명하였다. 이 방법은 매우 단순한 장치로 구성할 수 있다는 장점을 가질 수 있다.

1. 서론

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[1-5].

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 장애

가 되고 있다. 본 논문에서는 이런 장애를 역이용하여 가시광선 영역의 광원으로 노광시킬 수 있는 새로운 방법을 시뮬레이션을 통해 제시하였다.

2. 본론

2.1. 프리어 변환

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.

$$G(f_x, f_y) = \mathcal{F}g$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} g(x, y) \exp[-i2\pi(f_x x + f_y y)] dx dy \quad (1a)$$

$$g(x, y) = \mathfrak{F}^{-1}G$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} G(f_x, f_y) \exp[i2\pi(f_x x + f_y y)] df_x df_y \quad (1b)$$

식(1a)에서 $g(x, y)$ 를 푸리에변환시킨 결과가 $G(f_x, f_y)$ 이며 $G(f_x, f_y)$ 를 역푸리에변환시킨 결과는 식(1b)이다. 그림1은 이 두 함수 사이의 관계를 나타낸다.

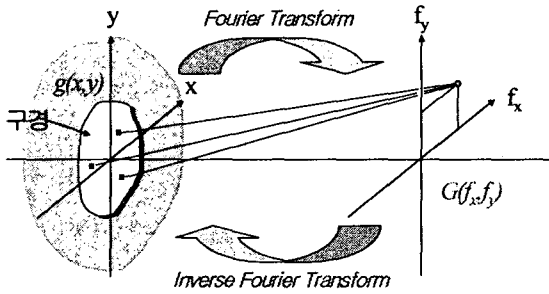


그림 1. 구경의 미소면적을 통하여 진행한 광선이 푸리에변환에 의해 주파수공간 좌표 (f_x, f_y) 도달한 것

그림1에서 구경을 매우 작은 면적으로 나뉘서 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[6]. 그림1에서 관측평면에서 측정된 값 $G(f_x, f_y)$ 로부터 구경 함수 $g(x, y)$ 를 찾는 과정을 역푸리에변환(Inverse Fourier Transform)이라 한다.

2.2. 푸리에 변환기로서 볼록렌즈

그림1과 같이 구경의 크기가 가시광선의 파장에 비하여 매우 큰 경우 푸리에변환된 상을 관측하기 어렵다고 하였다. 구경이 큰 경우에 푸리에변환이 눈에 띄게 잘 일어나게 하는 장치가 바로 볼록렌즈이다. 이에 대한 자세한 설명은 참고문헌7을 참조하기 바란다[7]. 푸리에변환기로 사용되는 렌즈는 볼록렌즈이다. 렌즈의 중심을 지나서 광축으로부터 떨어진 좌표 (x, y) 에 따라 광선이 지나면서 위상차 $t_l(x, y)$ 가 발생한다. 이 위상차는 다음과 같이 표현된다.

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

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

2.3. 렌즈를 사용한 푸리에 변환

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

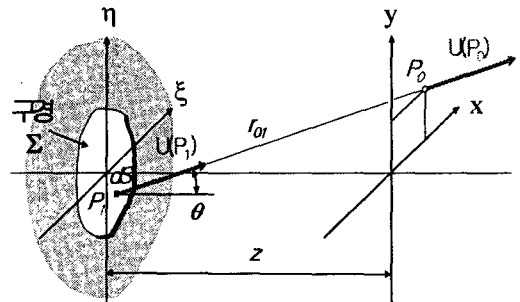


그림 2. 그림 1의 구경좌표, Σ ,와 관측 평면이 (ξ, η) and (x, y) 로 변환된 것을 나타내고 있다. 미소면적을 통한 광선은 P_0 에 도달하기 위해 편향된 것을 나타낸다.

그림 2는 좌표를 나타내는 변수를 바꾸어서 다시 그런 그림을 나타내고 있다. 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 점 사이의 떨어진 거리 r_{01} 은 근축근사(즉, $|x|, |y| \ll z$)시키면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$r_{01} = \sqrt{z^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}$$

$$\approx z \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x-\xi}{z} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{y-\eta}{z} \right)^2 \right] \quad (4)$$

식(4)를 식(3)에 대입하고, 렌즈를 통과시키면 다음과 같은 결과식을 얻는다.

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

식(5)를 정리하여 다시 써보자.

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

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

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

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

그림3에서 $z = f$ 인 위치에서는 푸리에변환이 올바르게 나타나고, 다른 위치에서는 푸리에변환이 되지 않는다.

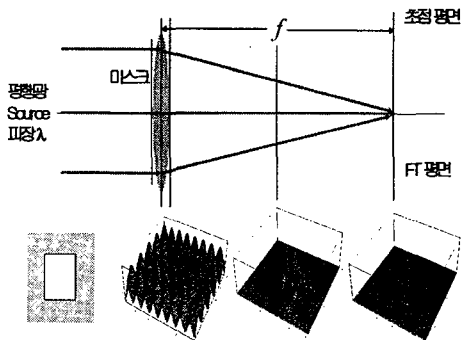


그림 3. 평면파가 직사각형 모양의 마스크에 입사되었을 때 푸리에 변환 평면에 맺히는 상은 렌즈 바로 뒤의 위치 $z=f/2$, and $z=f$ 인 위치에서 관측된다.

4. 결론

광노광에서 나노미터 크기의 마스크 패턴에 광선이 입사하면 필연적으로 회절현상이 발생하며 이는 선폭을 줄이는데 커다란 장애요인이 된다. 만들고자 하는 나노미터 크기의 임의 형상을 컴퓨터를 이용하여 푸리에변환시키고, 각 픽셀의 값이 적어도 0보다 크게 되도록 상수값을 모든 픽셀에 더해준다. 레이저프린터로 그 결과를 출력하여 분해능이 좋은 슬라이드 필름으로 촬영한 다음 이를 마스크로 사용한다. 마스크를 그림7의 렌즈 시스템에서 첫 번째 렌즈의 전면에 놓으면 세 번째 렌즈로부터 일정한 거리에 있는 평면에서 나노미터 크기 패턴을 얻을 수 있다. 본 논문은 이런 장치에서 푸리에광학의 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 산업자원부 지역혁신인력양성사업의 지원에 의해 수행되었음을 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Peter Gwozdz, "Semiconductor processing Technology", SEMICON West 2000.
- [2] Peter Gise and Richard Blanchard, "Modern semiconductor fabrication technology", San Jose State University, 1999.
- [3] Harry J. Levinson, "Principles of lithography", PM97, SPIE Press, 2001.
- [4] Alfred Kwok-Kit Wong, "Resolution enhancement techniques in optical lithograph", Vol. TT47, SPIE Press, 2001.
- [5] Daniel A. Tichenor, et al., "EUV Engineering test stand", Proceedings of SPIE, Emerging lithographic technologies IV, Vol. 3997, pp. 48-69, 2000.
- [6] Eugene Hecht, *Optics*, 3rd ed., Chapter 10, Addison-Wesley, New York, 1998.
- [7] Joseph W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, 2nd ed., Chapter 5, McGraw-Hill, New York, 1996.