

나노 임프린트 리소그래피에서 동심원 모아레를 이용한 정렬방법

김기홍*, 이재종*, 최기봉*, 박수연*, 조현택*, 이종현*

Aligning Method using Concentric Moiré in Nanoimprint Lithography

Geehong Kim[#], Jaejong Lee^{*}, Keebong Choi^{*}, Sooyeon Park^{*}, Hyuntaek Cho^{*}, Jonghyun Lee^{*}

ABSTRACT

Nanoimprint lithography is an emerging technology which has an ability to make patterns under 100nm width. Recently many researches have been focused to develop multilayer patterning function in nanoimprint lithography and aligning method is attracting attention as a key technology. Moiré has been used widely to measure dislocation or deformation of objects and considered one of the best solutions to detect aligning error in nanoimprint lithography. Concentric circular patterns are used to generate a moiré fringe in this paper and aligning offset and direction are extracted from it. Especially this paper shows the difference of fringe equation of moiré which can be obtained in nanoimprint process atmosphere from normal one.

Key Words : Nanoimprint(나노임프린트), Moiré(모아레), Aligning Method(정렬법), Lithography(리소그래피)

1. 서론

나노 임프린트 리소그래피 기술은 최근 차세대 리소그래피 기술로 주목을 받고 있다. Fig. 1 은 나노 임프린트 공정을 보여주는데, 전사할 패턴이 가공된 마스크를 광 또는 열 경화성 수지가 도포된 기판(substrate)에 접촉 시킨 후 수지를 경화시키고, 이후 마스크와 기판을 분리하는 공정을 통하여 패턴을 전사하는 새로운 공정이다. 1990 년대 중반에 Chou¹ 에 의하여 개발된 이 기술은 공정의 간단함과 함께 기존의 광학식 리소그래피로는 어려운 50nm 전후의 패턴을 비교적 용이하게 제작함으로써 나노 기술을 구현할 수 있는 공정 기술로 인식

되었다. 최근에는 분자 소자, 디스플레이, PCB 등 다양한 분야에 적용하려는 연구가 진행되고 있다.

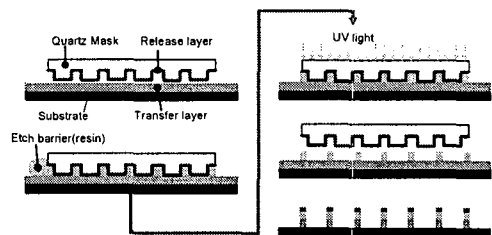


Fig. 1 Schematic diagram of Nanoimprint lithography based on UV curing process

* 접수일: 2006년 6월 7일; 게재승인일: 2006년 10월 4일

교신저자 : 한국기계연구원 나노공정장비연구센터

E-mail : geehong@kimm.re.kr Tel. 042-868-7076

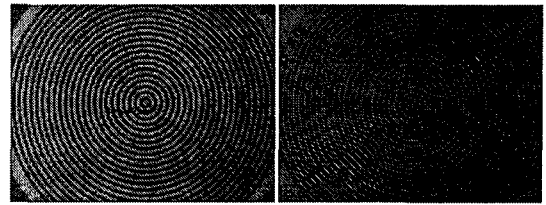
* 한국기계연구원

나노 임프린트 기술이 보다 다양한 분야에 성공적으로 적용되기 위해서는 다층 패터닝 (multilayer patterning) 기술이 필수적으로 개발되어야 한다. 다층 패터닝은 단층 패터닝과는 달리 여러 가지 기술이 필요한데 그 중 층간 패턴 사이의 위치를 결정하는 정렬 기술은 가장 중요한 기술중의 하나이다. 정렬 기술은 리소그라피에 따라 매우 다양한 방법이 개발되었는데, 나노 임프린트 공정에 적합한 방법으로 영상 처리법(vision), 모아레(moiré),^{2,3} 이중 격자 회절법(double grating diffraction)^{4,5} 등을 들 수 있다. 이 중 모아레 방법은 구현이 용이하고 비교적 높은 수준의 정렬을 수행할 수 있어 많은 연구가 진행되고 있다. 기존 모아레 방법은 주로 선형 격자(linear grating)를 이용한다. 이 방법은 직교 좌표계를 고려할 때 반드시 두 방향의 격자쌍을 이용하여야 하며, 특히 격자가 포함된 평면에 수직한 축에 대한 회전 오차는 검출하기 어려운 특성을 가진다. 이 논문에서는 전술한 두 축의 선형 오차뿐만 아니라 회전 오차까지 동시에 측정할 수 있는 원형 모아레를 이용한 정렬법에 대하여 기술한다. 원형 모아레는 스피ndl의 회전 오차 측정^{6,7} 등에 간간히 적용되었지만 정렬법으로 이용된 적은 드물며,⁵ 특히 나노임프린트와 같은 반도체 공정에서는 기판 또는 마스크에 제작되는 패턴의 특성으로 인하여 기존과는 다른 형태의 모아레 무늬가 발생한다. 이 논문에서는 이러한 모아레 무늬를 수학적으로 해석하며 실험을 통하여 그 성능을 검토한다.

2. 정렬용 모아레 패턴의 해석

2.1 동심원 격자 패턴

모아레 무늬는 규칙성을 가지는 두개의 격자가 서로 중첩될 때 발생하며, 무늬의 위치, 방향, 형태 등은 격자간의 상관 관계로부터 유도된다. 일반적으로 많이 이용되는 직선 형태의 선형 격자는 격자 패턴이 포함된 평면에서 격자의 수직 방향에 대하여는 매우 민감한 위치 결정 능력을 보여준다. 그러나 격자 방향과 격자 간의 회전 오차 성분은 비록 수학적으로 모델링은 되지만 현실적으로 모아레 무늬로부터 이 두 방향 오차 성분을 추출하기란 쉽지 않다. 그리고 측정 정도에 있어서도 격자 수직 방향에 비하여 현격한 차이가 있다. 이러한 점을 고려할 때 원형 모아레 무늬를 생성시키



(a) Mask Pattern (b) Wafer Pattern

Fig. 2 Concentric circle patterns to generate moiré fringe

는 동심원 격자는 평면상의 두 방향에 대하여 동일한 측정 정도를 구현할 수 있으며, 무늬의 형태로부터 두 동심원 격자 간의 이동 방향, 즉 격자가 놓인 평면에 수직한 축에 대한 회전 오차 성분도 동시에 추출할 수 있는 장점을 가진다.

Fig. 2 는 원형 모아레를 생성시키기 위한 동심원 패턴의 모습을 보여준다. Fig. 2 (a)는 마스크에 제작된 패턴으로서 quartz 모재 위에 크롬을 이용하여 패턴을 제작하였다. 그림에서 흰색 부분이 크롬 패턴에 해당한다. Fig. 2 (b)는 실리콘 웨이퍼 위에 제작된 패턴으로 밝은 색 부분이 에칭을 통하여 식각된 부분이다. 이 두 패턴은 모두 500 μ m의 반경을 가지며, 마스크 패턴의 경우에는 25개의 패턴을, 그리고 웨이퍼 패턴의 경우에는 24개의 패턴을 가진다. 그러므로 마스크 패턴의 경우에는 20 μ m의 주기를 가지도록 동심원 패턴이 제작되었고, 웨이퍼 패턴의 경우에는 대략 20.83 μ m의 주기를 가진다. 실제 제작된 패턴을 SEM을 이용하여 측정한 결과 대략 $\pm 0.1\mu$ m의 선폭 오차를 가졌다. 일반적인 경우에는 전술한 조건으로 패턴을 제작할 경우 격자 중심에서 반경 방향으로 중간 부분에 모아레 무늬의 어두운 띠가 형성되며, 반경 방향으로 한주기를 가지는 무늬가 형성되어야 한다. 그러나 웨이퍼에 제작된 격자의 경우 일반적인 Ronchi 격자처럼 반사율이 주기적으로 바뀌는 격자가 아니라 입사광의 위상(phase)을 바꾸는 위상 격자(phase grating)이기 때문에 조금 다른 형태의 모아레 무늬를 형성시킨다.

2.2 모아레 무늬 해석

모아레 무늬의 해석은 먼저 사용되는 격자의 수학적 모델에서 출발한다. 기존의 연구^{6,7}에서는 동심원 격자의 1차 조화함수만을 이용하여 유도하였다. 그러나 이런 수학적 모델로는 Fig. 3 과

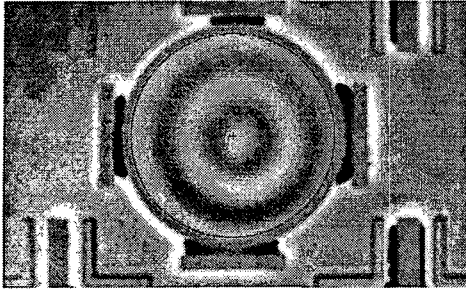


Fig. 3 Circular moiré fringe which has half-period in the radial direction compared to normal case

같은 모아레 무늬를 모델링할 수 없다.

Fig. 3 은 Fig. 2 의 두 격자를 중첩시켰을 때 얻어지는 모아레 무늬로서, 두 동심원 격자의 중심이 $1\mu\text{m}$ 이내로 일치되었을 때의 모습이다. 그리고 붉은색 원과 십자선은 각각 모아레 무늬 발생 영역과 중심점을 표기한다. 일반적인 모아레 해석에서는 Fig. 2 의 조건으로 격자가 제작되면 Fig. 3 에서 모아레 무늬의 중심에서 반경 방향으로 1 주기의 모아레 무늬가 발생하여야 하지만 그림에서는 2 주기의 무늬가 발생한다.

Fig. 2 의 두 격자가 중첩되었을 경우 단면을 도식화하면 Fig. 4 와 같다.

Fig. 4 는 그림에서와 같이 조명광이 입사되었을 때, 마스크의 격자와 웨이퍼의 격자가 서로 다른 특성을 가지고 있음을 보여준다. Fig. 2 에서 설명한 바와 같이 마스크 격자는 유리면에 크롬 패턴으로 제작되었기 때문에 조명광에 대한 투과도(transmittance)는 패턴의 형태와 일치한다. 즉 크롬이 도포된 부분에서는 투과도가 0 이 되고 유리면

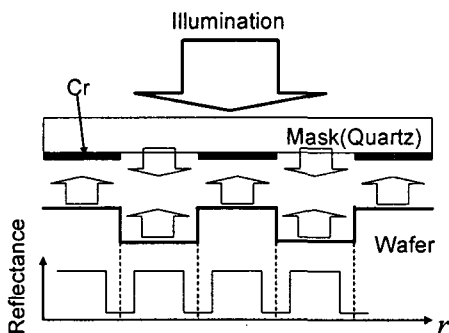


Fig. 4 Sectional-view of two gratings which are superimposed and reflectance graph of grating on wafer

이 노출된 부분에서는 1 이 된다. 그러나 웨이퍼에 제작된 격자는 에칭 공정을 통하여 제작되었기 때문에 Fig. 4 에서 보듯이 격자의 마루(peak)나 골(trough) 부분에 상관없이 동일한 반사도(reflectance)를 가진다. 기존의 모아레 분야에서의 격자는 격자의 형태와 투과도 또는 반사도의 분포가 일치한다. 그러나 나노임프린트와 같은 반도체 공정에서는 Fig. 4 와 같이 진폭 격자(amplitude grating)와 위상 격자(phase grating)가 서로 중첩되어 모아레 무늬를 형성하는 것이 보다 일반적이다. 위상 격자의 경우 조명광이 레이저와 같이 가간섭성(coherence)이 좋은 광원일 경우에는 격자에서 반사되는 광의 위상 지연(phase delay)이 모아레 무늬에 영향을 주겠지만 이 논문에서와 같이 일반적인 텅스텐-할로겐 램프를 사용할 경우에는 이러한 수학적 접근이 어렵다. 그리고 보다 실용적인 측면에서도 Fig. 4 의 경우를 해석할 필요가 있다. Fig. 4 에서 보면 웨이퍼에 제작된 격자의 경우 마루나 골의 평평한 부분에서는 반사도가 일정하게 유지되겠지만 모서리(edge) 부분은 평평한 부분에 비하여 반사도가 떨어진다. 이는 모서리 부분에서 빛이 산란되기 때문으로 이러한 점을 고려할 때 웨이퍼에 제작된 격자의 반사도는 Fig. 4 의 하단부에 표시한 바와 같이 마루나 골에서는 높고 모서리에서는 낮은 형태를 가진다. 나노임프린트의 공정 특성 상 마스크와 웨이퍼가 접촉하게 되므로 웨이퍼의 격자는 그림에서와 같은 반사도를 표면 형상으로 가지는 이진 격자로 고려할 수 있다. 그리고 반사도 곡선을 살펴보면 기존 웨이퍼 격자의 피치(pitch) 보다 반으로 줄어든 형태를 가짐을 볼 수 있다. 즉 웨이퍼 격자의 경우에는 Fig. 2 에서 제작된 패턴 수보다 2 배 많은 패턴이 있는 것으로 생각할 수 있다. 이는 Post⁸ 등이 제시한 것과 같이 기하학적으로 모아레 무늬를 증폭(geometric fringe multiplication)시키는 효과와 동일하다. 그리고 Fig. 3 에서와 같이 기존의 모아레 해석과는 달리 반경 방향으로 2 개 주기를 갖는 모아레 무늬가 생성되는 이유를 설명한다.

기존 연구^{9,10} 에서 이러한 모아레 무늬 증폭 현상을 수학적으로 모델링하고 있으며 이 논문에서는 이를 바탕으로 원형 모아레를 이용한 정렬 오차 측정법을 수학적으로 유도한다. Fig. 5 는 마스크 격자와 웨이퍼 격자 사이의 기하학적 관계를 도시한 그림이다.

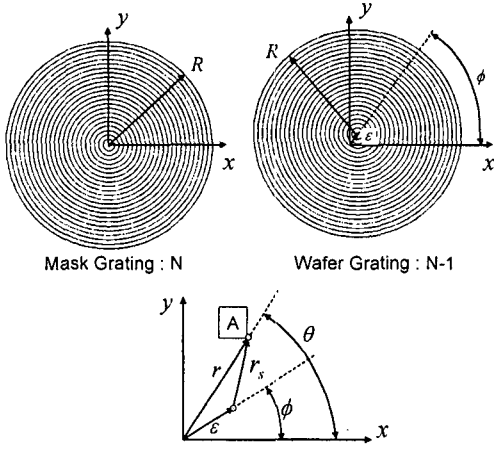


Fig. 5 Geometrical relations between gratings on mask and wafer

Fig. 5에서 두 격자는 동일한 반경 R 을 가지도록 설계되며 마스크 격자는 N 개의 동심원 패턴을, 웨이퍼 격자는 $N-1$ 개의 동심원 패턴을 가진다. 그림에서 보듯이 웨이퍼 격자가 마스크 격자에 대하여 상대 이동을 하였을 때 이동 거리를 ϵ , 방향을 ϕ 로 정의한다. Fig. 5의 아래 부분은 두 격자에서 반경 방향으로 임의의 지점 A에 대한 기하학적 관계를 표시한 것으로 거리는 r , 방향각은 θ 로 정의한다. r_s 는 웨이퍼 격자 중심에서 A 점까지의 관계를 표시한다.

이러한 관계를 이용하여 임의의 반경 방향 θ 에 대한 격자 단면은 푸리에 코사인 시리즈(Fourier cosine series)로 정의할 수 있다.

$$G_M = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} b_m \cos \frac{2\pi N m}{R} r \quad (1)$$

$$G_W = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} d_n \cos \frac{2\pi(N-1)n}{R} r_s \quad (2)$$

식(1), 식(2)는 각각 마스크 격자와 웨이퍼 격자의 단면 형상에 대한 방정식이다. 두 격자가 중첩되어 발생하는 모아레 무늬는 식(1), 식(2)의 곱으로 표현될 수 있다.

$$I = G_M \times G_W \quad (3)$$

식(3)에서 중첩된 격자에 조사되는 조명광은 균일하다고 가정하며 수식의 편의를 위하여 생각한다.

식(1), 식(2)를 식(3)에 대입하면 아래와 같은 수식이 얻어진다.

$$I = a_0 c_0 + a_0 \sum_{n=1}^{\infty} d_n \cos \frac{2\pi(N-1)n}{R} r_s + c_0 \sum_{m=1}^{\infty} b_m \cos \frac{2\pi N m}{R} r + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} b_m d_n \cos \frac{2\pi N m}{R} r \cos \frac{2\pi(N-1)n}{R} r_s \quad (4)$$

식(4)에서 첫번째 항은 배경광(DC background), 두번째 항은 웨이퍼 격자, 세번째 항은 마스크 격자를 의미하며, 마지막 항이 모아레 무늬를 포함한 모든 신호를 의미한다. 식(4)의 마지막 항에서 직접적으로 모아레 무늬를 발생시키는 성분은 앞에서 설명한 바와 같이 제작된 웨이퍼 격자 주기의 반주기(half-period)를 갖는 성분($n=2$)이며, 마스크 격자에서 이와 간섭을 일으키는 것 중 가장 저주파 무늬를 발생시키는 차수는 동일하게 반주기(half-period)를 갖는 성분($m=2$)이다. 이를 이용하여 식(4)를 모아레 무늬 패턴과 다른 패턴들로 분리하면 다음과 같다.

$$I_m = b_2 d_2 \cos \frac{4\pi N}{R} r \cos \frac{4\pi(N-1)}{R} r_s + \sum_{m=1, m \neq 2}^{\infty} \sum_{n=1, n \neq 2}^{\infty} b_m d_n \cos \frac{2\pi N m}{R} r \cos \frac{2\pi(N-1)n}{R} r_s = \frac{b_2 d_2}{2} \left\{ \cos \frac{4\pi N(r-r_s) + 4\pi r_s}{R} + \cos \frac{4\pi N(r+r_s) - 4\pi r_s}{R} \right\} + \sum_{m=1, m \neq 2}^{\infty} \sum_{n=1, n \neq 2}^{\infty} b_m d_n \cos \frac{2\pi N m}{R} r \cos \frac{2\pi(N-1)n}{R} r_s \quad (5)$$

식(5)에서 모아레 무늬에 해당하는 수식은 괄호 안의 첫번째 항이며, 나머지는 모두 노이즈 항으로 고려할 수 있다¹⁰. 식(5)에서 모아레 무늬를 표현하는 수식만을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$I_m \approx \alpha \cos \frac{4\pi N(r-r_s) + 4\pi r_s}{R} \quad (6)$$

식(6)에서 상수값들은 간단히 α 로 표기한다. 식(6)에서 r 과 r_s 의 관계는 Fig. 5에서 유도할 수 있으며 아래의 수식으로 간략히 표현된다.

$$r_s \cong r - \varepsilon \cos(\theta - \phi) \quad (7)$$

식(7)⁵ 을 식(6)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$I_m \cong \alpha \cos \frac{4\pi N(r - r_s) + 4\pi r_s}{R} = \alpha \cos \frac{2\pi(2r - 2(N-1)\varepsilon \cos(\theta - \phi))}{R} \quad (8)$$

식(8)은 최종적으로 Fig. 3 의 모아레 무늬를 표현하는 수식이다. 식(8)을 기존 원형 모아레 해석 결과⁶ 와 비교하면 위상 성분이 2 배 증가함을 볼 수 있다. 이는 모아레 무늬의 반경 방향 주파수를 2 배 증가시키고, 오차량 ε 도 2 배 증가시킨다.

식(8)을 살펴보면 정렬 오차 ε 과 ϕ 는 모아레 무늬의 반경 방향 위상 지연으로 나타나며, 원형 모아레 무늬의 중심점을 기준으로 360 도의 모든 반경 방향 위상 지연을 도시하면 2π 주기를 가지는 코사인(cosine) 함수로 나타남을 볼 수 있다. 그리고 이 위상 지연 코사인 곡선의 진폭(amplitude)와 초기 위상을 계산하면 정렬 오차량을 측정할 수 있다.

$$\psi(\theta) = \frac{4\pi(N-1)\varepsilon \cos(\theta - \phi)}{R} \quad (9)$$

식(9)는 모아레 무늬의 반경 방향 위상 곡선을 정의한다.

Fig. 6 은 Fig. 2 의 격자를 중첩시켜 얻은 모아레 무늬와 각각의 경우에 해당하는 정렬 오차량을 식(8)에 대입하여 생성한 시뮬레이션 결과를 비교한 그림이다. 그림에서 보듯이 각각의 경우에서 실제 모아레 무늬와 일치하는 결과를 볼 수 있다.

3. 모아레를 이용한 나노임프린트 정렬

3.1 실험 장치 구성

Fig. 7 은 모아레 정렬법을 실험하기 위한 나노임프린트 실험 장치를 보여준다. 웨이퍼는 진공척 위에 놓여지며 사진에서는 보이지 않지만 웨이퍼의 자세를 제어하기 위한 회전테이블, XY 스테이지, nm 의 구동 정밀도를 가지는 정밀 스테이지, Z 축 스테이지 등이 설치되어 있다.

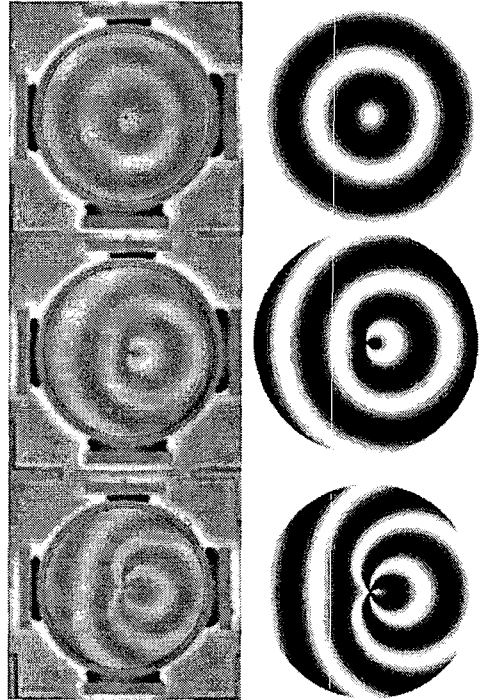


Fig. 6 Comparisons between moiré fringes. Left moiré fringes are generated by superimposing two concentric gratings which are showed in Fig. 2. Right ones are simulation results generated by using equation 8, and have similar aligning offset ε of adjacent photos.; Offset $\rightarrow 1\mu\text{m}, 5\mu\text{m}, 10\mu\text{m}$

그림에서 보이지 않지만 웨이퍼 위에 마스크가 있으며, 이 마스크는 그림에 표기된 flexure 구조물에 장착된다. 모아레를 관찰하기 위한 비전 시스템은 그림에서 보듯이 양쪽에 1 개씩 설치되었

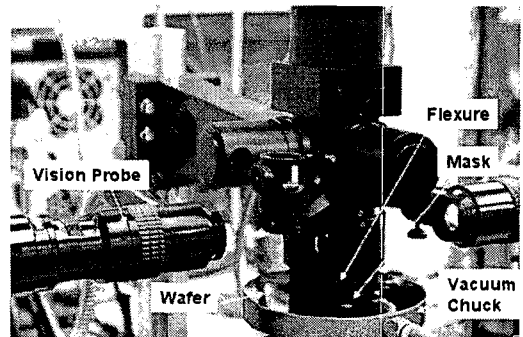


Fig. 7 Test system for aligning by using moiré technology in Nanoimprint lithography

는데 서로 대각선 방향에 위치한 모아레 무늬를 획득하도록 하여 마스크와 웨이퍼 사이의 회전 오차를 측정하도록 한다. Fig. 7의 나노임프린트 시스템은 모아레 정렬법 외에 다른 형태의 정렬 시스템도 구현하기 위하여 그림에서 보듯이 프로브 형태의 시스템이 제작되었다. 그러나 비전 시스템 윗부분의 광학 시스템은 모아레 정렬법과는 상관없다. 비전시스템은 대략 2 배의 배율을 가지면 화소 분해능은 X,Y 방향으로 $3.6\mu\text{m}/\text{pixel}$ 이다. 마스크의 크기는 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 이며 Fig. 2의 동심원 패턴의 각 모서리 부근에 제작되었다.

3.2 정렬 오차 실험

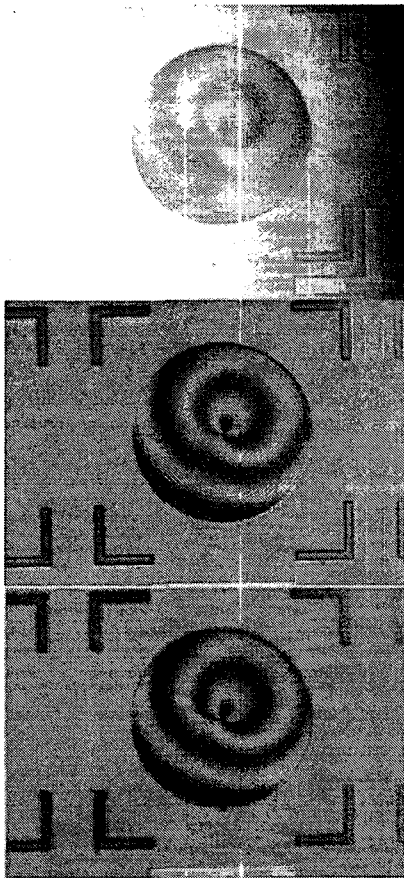


Fig. 8 Image processing procedure to extract moiré fringe. Top : raw image, Center : subtraction of background(reference) image, Bottom : Lowpass filtering to enhance contrast of moiré fringe.

Fig. 8은 Fig. 7의 실험 장치로부터 획득한 모아레 영상의 처리 과정을 보여준다. 이러한 영상처리에서 가장 중요한 부분은 모아레 무늬만을 배경 영상(background image)에서 분리하여 선명한 모아레 무늬를 획득하는 것이다. Fig. 8의 첫번째 사진은 Fig. 7에서 획득한 초기 영상(raw image)을 보여준다. 그림에서 보듯이 조명광의 불균일한 분포와 주위의 패턴, 광학계 내외부의 먼지 등으로 인하여 모아레 무늬가 선명하지 않다. 더욱이 앞에서 설명한바와 같이 Fig. 8의 모아레는 격자의 2차 조화 함수간의 간섭으로 발생하기 때문에 일반적인 모아레 무늬보다 약하게 발생한다. Fig. 8의 가운데 사진은 초기 영상에서 미리 저장된 기준 영상(reference image)를 제거한 영상이다. 그림에서 보듯이 모아레 무늬의 선명도(contrast) 및 전체 영상의 균일도가 향상되었음을 보여준다. 마지막 사진은 가운데 사진에서 저주파 필터링(lowpass filtering)을 수행한 것으로 붉은색 원형으로 표시된 모아레 영역 내부에 있는 마스크 및 웨이퍼의 격자 영상을 제거된 사진이다.

Fig. 9는 Fig. 8의 모아레 무늬에서 반경 방향 위상 지연을 표시한 그림이다. 이때 모아레 무늬의 중심은 화면에 획득된 격자의 최외곽 원형 패턴을 이용하여 결정하였으며, 카메라의 수평축을 기준으로 반시계 방향으로 일정 각도(5°)씩 회전하면서 반경 방향의 모아레 무늬를 획득하며 이를 이용하여 각 방향의 위상 지연을 계산하였다.

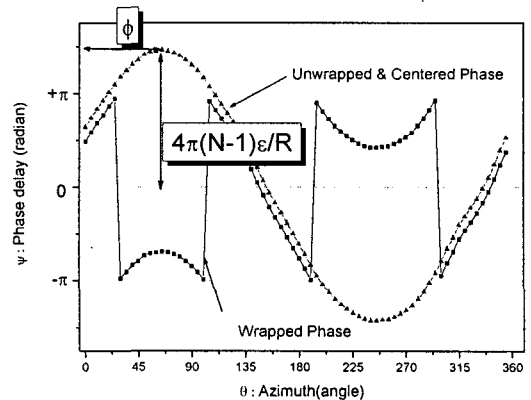


Fig. 9 Phase retardation graph along the radial direction. The azimuth is set in the counterclockwise direction from the horizontal axis of camera and its origin is located at the dead center of the circular moiré region in figure (8)

Fig. 9 에서 검은색 사각형 그래프는 반경 방향 위상 지연값을 계산할 때 수식에 포함된 arc tangent 함수로 인하여 발생하는 결결친(wrapped) 그래프이다. 붉은색 삼각형 그래프는 이 검은색 사각형 그래프에서 위상 결렬침(unwrapping)을 수행한 후 센터링(centering) 작업을 한 후의 결과이다. 식 (9)에서 설명한 바와 같이 반경 방향의 위상 지연은 코사인 함수로 표현됨을 알 수 있다. 따라서 이 그래프에서 진폭(amplitude)과 위상 지연(phase delay)을 측정하여 정렬 오차를 계산한다. 이 값들은 최소자승법¹¹⁾을 이용하면 쉽게 계산된다.

Fig. 10 은 Fig. 7 의 실험 장치를 이용하여 정렬 오차를 측정된 결과이다. 실험에 사용된 마스크와 웨이퍼는 Fig. 2 와 같은 사양으로 제작되었다. 모아레 무늬 획득에 사용된 현미경의 정확한 화소 분해능은 가로 방향 3.58 $\mu\text{m}/\text{pixel}$, 세로 방향 3.59 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ 이다. Fig. 10 에서 가로축은 정밀 피에조 스테이지(PI 사, P-517.RCD-1nm 분해능)를 이용하여 X 축 만을 1~10 μm 범위에서 선형적으로 구동한 값이고, 왼쪽 세로축은 모아레 무늬로부터 측정된 정렬 오차량(ϵ), 오른쪽 세로축은 정렬 오차 방향(ϕ)을 나타낸다. 정렬 오차 그래프에서 스테이지 구동량과의 오차는 측정 오차 외에도 스테이지의 구동 축과 모아레를 획득하는 카메라 축과의 불일치로 인하여 발생하는 부분도 있다. 이러한 축 불일치로 발생하는 오차는 그래프에서 DC 성분으로 나타난다고 가정할 수 있다. 그러므로 Fig. 10 의 정렬 오차량 그래프에서 DC 성분을 제거한 후 측정 오차를 분석하면 3 σ 는 0.48363 μm 로 계산되었다.

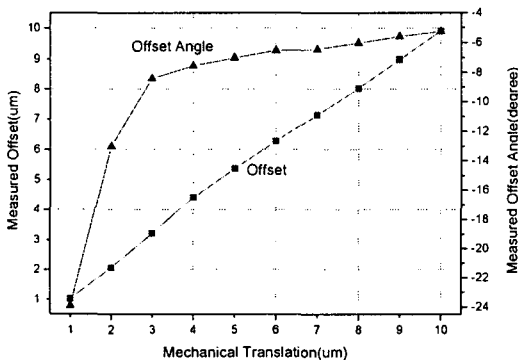


Fig. 10 Measuring result. Red square line : aligning offset, Blue triangle line : aligning direction

정렬 오차 방향 측정에 있어서 Fig. 10 에서 보듯이 정렬 오차량이 적을수록 정렬 방향 측정 오차는 급격히 커짐을 알 수 있다. 이는 정렬 오차량이 적을수록 생성되는 모아레 무늬의 형태가 동심원 격자의 중심을 기준으로 거의 원형에 가깝기 때문에 스테이지의 구동 오차, 진동, 영상 처리 오차 등이 직접적으로 오차 방향 측정에 영향을 주는 것으로 판단된다. 특히 모아레 무늬 영역의 중심을 설정할 때 화소(pixel) 단위로 설정하므로 모아레 무늬의 중심과 정확히 일치시키기 어렵다. 이러한 점 또한 정렬 방향 측정에 오차를 유발하는 주요 원인이다. Fig. 10 에서 보면 정렬 오차 방향은 -5 도로 수렴하는데, 이 각도가 스테이지 X 축과 카메라 축의 불일치 각도라 볼 수 있다.

4. 결론

이 논문에서는 최근 주목 받고 있는 나노임프린트 공정 기술에서 다층 패터닝을 위한 주요 요소 기술인 정렬 기법(aligning method)에 관하여 기술하였다. 이 논문에서는 여러 정렬 기법 중 모아레 기법을 적용하였으며, 이론적 해석을 통하여 일반적인 반도체 공정에서 제작되는 패턴으로 발생하는 모아레 무늬의 특성을 살펴보았다. 그리고 실험을 통하여 가능성을 검증하였다. 전술한 실험을 살펴보면 이 논문에서 제시된 정렬 방법을 사용할 경우 0.1 μm 이하의 초정밀 정렬을 수행하기는 어렵지만, 대략 최소 정렬 오차량 1 μm 이내, 정확도 0.5 μm 이내로 마스크와 웨이퍼의 정렬 오차를 검출하는데 효과적으로 적용될 수 있다. 특히 이중 격자 검출법(dual-grating aligning method)과 같은 고분해능의 정렬 방법과 접목하여 사용할 경우 최종 정밀 정렬(fine alignment)을 수행하기 전단계의 위치 결정(coarse alignment) 방법으로 적합하며, 일반적인 비전 시스템을 이용한 정렬법보다 정밀한 정렬을 수행할 수 있다. 특히 모아레 정렬법에서 신호 분해능을 높이기 위해서는 고배율의 광학계를 사용하고, 동심원 패턴도 보다 미세하게 가공하여야 하지만 나노 임프린팅 공정 메커니즘의 특성으로 인하여 배율을 높이는데 한계가 있으며, 범용적으로 사용되는 반도체 공정을 이용할 경우에는 패턴의 정확도를 $\pm 0.1\mu\text{m}$ 이하로 높이기 어려운 점이 있다. 향후 이러한 점을 보완할 경우 정렬 정확도를 높일 수 있으며, 나노 임프린팅 공정

효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 과학기술부가 주관하는 21 세기 프론티어연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스 기술개발사업단의 연구비 지원(06K1401-00710)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Chou, S. Y., Krauss, P. R. and Renstrom, P. J., "Nanoimprint lithography," J. Vac. Sci. Tech. B, Vol. 14, No. 6, pp. 4129, 1996.
2. Moon, E. E., Lee, J. W., Everett, P. N. and Smith, H. I., "Application of interferometric broadband imaging alignment on an experimental x-ray stepper," J. Vac. Sci. Tech. B, Vol. 16, No. 6, pp. 3631, 1998.
3. Mühlberger, M., Schwinger, W., Gmainer, M., Schöftner, R., Glinsner, T., Hasenfuß, Ch., Hingerl, K., Schmidt, H. and Kley, E. B., "High Precision Alignment in Multi-Layer NanoImprint Lithography," 6th Intl. Cof. of EUSPEN, Vol. I, pp. 309, 2006.
4. Flanders, D. C. and Smith, H. I., "A new interferometric alignment technique," Appl. Phys. Lett., Vol. 31, No. 7, pp. 426, 1977.
5. Une, A., Takeuchi, N. and Torii, Y., "A high-accuracy alignment technique using single-and double-pitch dual gratings," J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 8, No. 1, pp. 51, 1990.
6. Park, Y. C., "Measurement of Radial Motion of Spindle by Moire Phenomenon," Ph. D. Dissertation, KAIST, 1993.
7. Park, Y. C. and Kim, S. W., "Measurement of Radial Error Motions of a Rotating Spindle by Moire Topography," Journal of the KSME, Vol. 17, No. 11, pp. 2723, 1993.
8. Post, D., Han, B. and Ifju, P., "High Sensitivity Moiré : Experimental Analysis for Mechanics and Materials," Springer-Verlag, New York, pp.106, 1994.
9. Bryngdahl, O., "Moiré and higher grating harmonics," J. Opt. Soc. Am., Vol. 65, No. 6, pp. 685, 1975.
10. Yokozeki, S., Kusaka, Y. and Patoriski, K., "Geometric parameters of moiré fringes," Appl. Opt.,

Vol. 15, No. 9, pp. 2223, 1976.

11. Malacara, D., Servin, M. and Malacara, Z., "Interferogram analysis for optical testing," Marcel Dekker, New York, Ch. 5, 1998.