

나노 임프린팅 공정에서의 모아레 정렬 기술 Moiré Aligning Technology for UV NanoImprint

*#김기홍¹, 이재종, 최기봉, 임형준

*#G. H. Kim¹(geehong@kimm.re.kr), J.J. Lee, K.B. Choi, H.J. Lim

¹ 한국기계연구원 나노융합기계연구본부

Key words : Nanoimprint, Moire, Alignment, Lithography, Interferometric Spatial Phase Imaging

1. 서론

최근 차세대 리소그래피 기술로 주목을 받고 있는 나노 임프린팅 기술^[1]은 Fig.1 에서와 같이 패턴이 제작된 스탬프를 레지스트가 도포된 기판에 접촉시킨 후 열 또는 UV 광을 이용하여 패턴을 전사하는 방법이다. 1990년대 중반에 Chou¹에 의하여 개발된 이 기술은 비교적 간단한 공정으로 최근에는 10nm 선폭의 패턴까지 전사할 수 있는 공정 기술로 발전하였다.

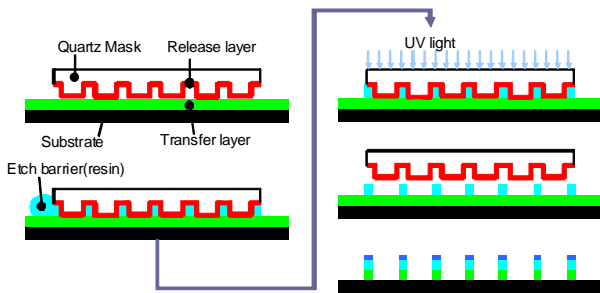


Fig. 1 Schematic Diagram for UV Nanoimprint Lithography

최근에는 이 공정을 이용하여 분자소자, 바이오 fluidic, metamaterial 등 인공적인 나노 구조체를 제작하는데 패턴링 공정으로 활용되고 있으며, 미국의 MII 사에서는 최근 하드디스크 생산 업체인 Segate 사와 공동으로 고속 나노임프린팅 장비를 선보이기도 하였다^[2]. 전술한 바와 같이 이러한 나노 임프린팅 기술에는 주로 열을 이용한 방식과 UV 광을 이용하는 방식으로 분류할 수 있는데, 열경화 방식은 간단한 시스템 구성으로 대면적 나노 패턴링이 가능한 장점을 가지지만, 다층 패턴링을 구현하는 데는 많은 제약을 가지고 있다. UV 경화 방식은 기존의 광학식 리소그래피 방식과 유사하며, 특히 다층 패턴링을 구현하는데 유리하다.

UV 경화 방식의 나노 임프린팅 기술은 개발 초기부터 다층 패턴링을 위한 공정 개발이 주요한 주제 중의 하나였으며, 관련 공정 및 시스템 개발과 함께 나노미터 이하의 분해능을 가지는 정렬 방법을 개발하는 것도 중요한 연구의 대상이었다. 일반적인 정렬 기술로는 패턴간의 위치 오차를 측정하는 광학식이 널리 활용되지만, 이 방법은 사용하는 프로브의 광학 배율에 의존하며 실제로 수백 nm 이하의 분해능을 가진 정렬 장치를 구성하기 어렵다. 이외에도 MIT 에서 개발된 이중 격자 방식을 이용한 회절 정렬법도 초기에 검토되었다. 그러나 이 방법은 10nm 이하의 높은 분해능에도 불구하고 스탬프와 기판간의 측정 간격을 수십 um 로 유지하여야만 하는 측정 원리상의 한계로 인하여 적용에 어려움이 있었다. 이외 모아레 현상^[3]을 이용한 방식이 있는데, MIT 에서 개발된 interferometric spatial phase imaging 방식^[4,5]은 모아레 측정 원리에 기본을 두면서 10nm 이하의 정렬 분해능을 얻을 수 있는 것으로 보고 되면서 최근 주목을 받고 있다. 이 방법은 역방향으로 진행되는 두 모아레 곡선의 위상차를 이용하여 스탬프와 기판을 정렬하는 기술로서, 구성의 간단함과 함께 UV 광이 진행되는 광경로를 방해하지 않고 정렬 신호를 획득할 수

있는 장점으로 인하여 UV 나노 임프린팅 장비의 가장 현실적인 정렬 방법으로 고려되고 있다. 이 논문에서는 ISPI 원리를 이용한 정렬 시스템과 신호 분해능에 대하여 고찰한다.

2. Interferometric Spatial Phase Imaging

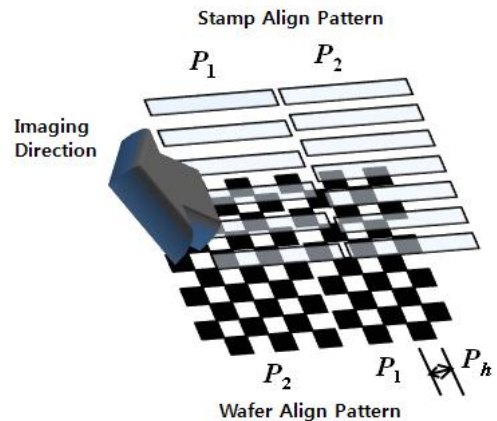


Fig. 2 Principles of ISPI Aligning Method

Fig.2 는 ISPI 정렬 방법의 기본 원리를 보여준다. ISPI 정렬법을 이용하기 위해서는 스탬프와 기판의 정렬 위치에 그림에서와 같은 모아레 패턴을 제작하여야 한다. 이때 스탬프에는 주기가 P₁, P₂ 인 선형 격자를 이웃하여 제작한다. 이에 대응하는 기판에는 P₁, P₂ 주기가 반대가 되도록 패턴을 제작하여 스탬프의 주기가 P₁ 인 패턴은 기판의 주기가 P₂ 인 패턴과 만나고, 스탬프의 주기가 P₂ 인 패턴은 기판의 주기가 P₁ 인 패턴과 만나도록 제작한다. 이러한 구성은 결과적으로 주기는 동일하지만 정렬 오차에 대하여 서로 반대 방향으로 움직이는 모아레 패턴을 생성하게 된다. ISPI 정렬법에서 특징적인 점은 Fig. 2 에서 보듯이 기판 패턴에 P₁, P₂ 주기의 패턴에 수직하게 P_h 주기를 가지는 또 하나의 패턴을 제작하는 것으로 이 패턴으로 인하여 Fig.2 에서 보듯이 기판 패턴은 바둑판 형태를 가진다. 이 패턴의 역할은 조명광이 패턴면에 수직하게 입사할 때 회절 방정식에 따라 Fig. 2 의 화살표 방향과 같은 회절광을 발생시키고, 모아레 패턴을 획득하는 카메라를 광축 방향이 아닌 경사진 방향에 설치할 수 있도록 하는 점이다. 이러한 점은 그동안 제시된 다른 정렬법이 센서를 광축에 설치하여 광축 방향으로 입사되는 UV 광 경로를 차단하는 기구적 제약을 크게 개선하였다. 그리고 ISPI 정렬법은 스탬프와 기판이 접촉한 상태에서도 동일한 품질의 모아레 패턴을 획득할 수 있으므로, UV 임프린팅 공정이 완료될 때까지 정렬 오차를 보상할 수 있는 장점도 가진다.

Fig. 2 의 패턴이 중첩될 때 두 영역에서 같은 주기의 정현파의 모아레 패턴이 생성되며, Fig. 2 의 패턴들이 정확하게 일치할 때, 즉 정렬 오차가 없을 때 두 영역의 정현파 모아레 패턴의 위상이 일치한다. 그러나 정렬 오차가 있을 때는 모아레 패턴의 위상차가 발생하며, 전술한바와 같이 두 영역의 모아레 패턴이 반대 방향으로 진행하므로, 정렬 오차 신호가 증폭된다. 이 모아레 패턴의 위상 차를 측정함으로써 정렬 오차를 산출할 수 있으며, 신호 분해능은

아래의 수식으로 표현된다.

$$\delta x = \frac{P_{avg}}{8\pi} \delta\phi \quad (1)$$

(1)식에서 $\delta x, \delta\phi$ 는 각각 정렬 오차 및 모아레 패턴 위상 측정 분해능을 의미하며, P_{avg} 는 Fig. 2 에서 P_1, P_2 주기의 조합으로 생성되는 모아레 패턴 주기를 의미한다. 고해상도 카메라와 적절한 현미경 배율을 사용할 경우 위상 측정 분해능은 일반적으로 1000~2000 배 정도이므로 (1)식에 의하면 10nm 이하의 정렬 오차 측정도 가능하다.

3. 실험결과

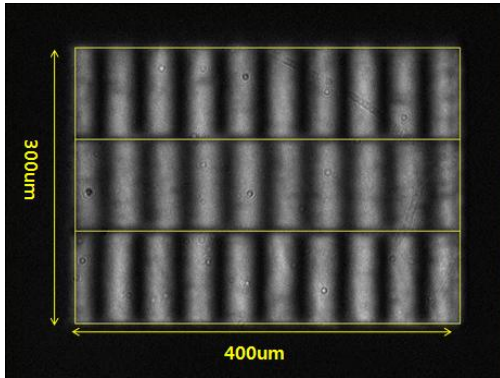


Fig. 3 Moire Pattern for ISPI Aligning Method

Fig. 3 은 제작된 ISPI 용 격자 패턴을 이용하여 획득한 모아레 패턴이다. 사용된 패턴의 주기는 각각 2.0µm, 2.1µm 이며 모아레 패턴의 주기는 대략 42µm 이다. Fig. 3 에서와 같이 이 논문에서는 세 영역에 모아레 패턴을 생성시켰으며, 위에서 첫번째와 세번째 영역은 동일한 모아레 패턴이며, 가운데 패턴은 이와는 반대의 격자 패턴 조합으로 생성된 모아레 패턴이다. Fig. 3 에서 수평 방향 한 줄의 광강도 신호를 얻은 후 최소 자승법을 이용하여 맞춤을 수행하고, 맞춤된 곡선에서부터 위상을 산출한다.

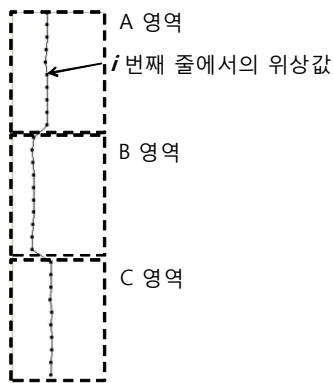


Fig. 4 Phase Graph of Each Region

Fig. 4 는 전술한 방법은 Fig.3 의 세 영역에서 각각 10 개의 위상값을 측정 한 후 도시한 그림이다. Fig. 4 의 위상 그래프가 ISPI 를 이용한 정렬 신호에 해당하며 A,B,C 영역에서의 위상 그래프가 일치할 때 정렬이 완료된다. 만일 회전 정렬 오차가 발생하면 Fig.4 의 그래프에서 세 영역에서의 위상 곡선의 기울기가 바뀌므로, 영역간 직선의 기울기 차이를 통하여 회전 정렬 오차를 측정하여 보정할 수 있다.

Fig. 5 는 전술한 방법을 이용하여 정렬 신호의 분해능을 실험한 결과이다. 실험은 나노 구동 피에조 스테이지를 이용하여 2µm 를 5 회 왕복 구동하면서 Fig. 4 의 위상 곡선에서 각 영역의 위상값의 평균의 차를 정렬 오차 신호로 정의한 후 이를 실시간으로 측정하면서 도시한 것이다. 그림에서 보면 정지 시 정렬 오차가 다소 크게 나타나지만, 구

동 구간에서는 선형적이며 노이즈도 적은 양질의 정렬 신호를 얻을 수 있음을 보여준다.

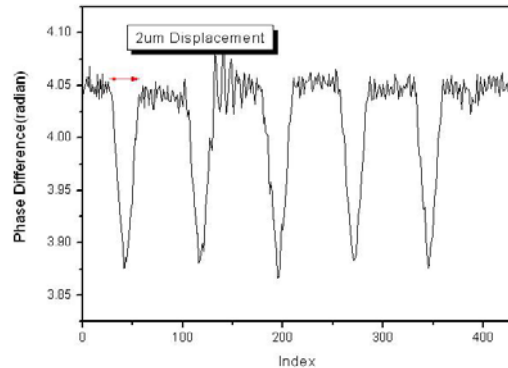


Fig. 5 ISPI Aligning Signal

Fig. 5 신호를 바탕으로 할 때 대략 20~30nm 의 정렬 분해능을 얻을 수 있으며, 향후 ISPI 현미경 배율의 확대, CCD 카메라의 분해능 향상등을 고려할 때 10nm 이하의 분해능도 구현 가능할 것으로 예측된다.

4. 결론

이 논문에서는 ISPI 방법을 이용한 나노 임프린팅 장비의 정렬 방법에 대하여 고찰하였고, 실제 실험을 통하여 나노 미터 오더의 분해능 구현이 가능함을 보였다. 이 방법은 측정 분해능, 구현의 용이성, 반복능 등을 고려할 때 다층 UV 나노 임프린팅 공정에 가장 적합한 정렬 기술로 평가할 수 있다.

후기

이 논문은 교육과학기술부의 21 세기 프론티어 사업인 나노 메카트로닉스 사업(2009K000151)의 지원으로 수행되었다.

참고문헌

1. Chou, S. Y., Krauss, P. R. and Renstrom, P. J., "Nanoimprint lithography," J. Vac. Sci. Tech. B, 14(6), pp.4129, 1996.
2. D.J.Resnick, M.Miller, G.Schmid, C.Brooks, N.Khusnatdinov, D.LaBrake, and S.V.Sreenivasan, "Patterned Media using Step and Flash Imprint Lithography," The 7th NNT Conf., 2008
3. 김기홍, 이재종, 최기봉, 박수연, 조현택, 이종현, "나노 임프린트 리소그래피에서 동심원 모아레를 이용한 정렬 방법," 한국정밀공학회지, 23(11), 2006, pp34-41
4. E.E. Moon and M.K.Mondol, "Dynamic alignment control for fluid-immersion lithographies using interferometric-spatial-phase-imaging," J. Vac. Sci. Technol (B), 23(6), Nov/Dec 2005, pp2607-2610
5. E.E.Moon, J. Lee, P.N.Everett, and H.I.Smith, "Application of interferometric broadband imaging alignment on an experimental x-ray stepper," J. Vac. Sci Technol. (B), 16(6), Nov/Dec 1998, pp3631-3636