

LCD 공정을 위한 대면적 나노임프린트 기술 Nano Imprinting Technology for LCD Process

이성민, 이수훈, *이문구

Seong-Min Lee, Soo-Hun Lee, *Moon G. Lee(moongulee@ajou.ac.kr)

아주대학교 기계공학부

Key words : Nanoimprinting, LCD Process, Large area, Maskless process, LCD equipment

1. 서론

나노 임프린트 기술(nanoimprint technology)은 광디스크 제작에서 유용한 양각(陽刻: emboss) 기술을 발전시켜 해상도를 향상시킨 나노 제조 기술이다. 이 방식은 인주를 종이에 도장 찍듯이 찍어서 패턴을 성형하는 것과 비슷하다. 종이에 해당하는 것이 반도체나 디스플레이의 기판이고, 도장에 해당하는 것이 몰드, 인주에 해당하는 것이 고분자 물질이나 포토레지스트다. 1997년 미국의 Chou 에 의해서 최초로 발표된 이후, 10nm 수준의 미세구조를 저렴한 값과 좋은 재현성으로 대량 제작할 수 있는데 주목하고 미국을 중심으로 여러 나라에서 집중적인 연구개발이 진행되어, 실용화에 접근하고 있는 상황이다. [1]

수년 전부터 주요국의 반도체 장치 제작사가 나노 임프린트 장치 공급을 시작하고 있고, 2002년 말에는 미국의 Motorola 사가 200mm 웨이퍼 전면에 60nm 접촉 홀 패턴(contact hole pattern)을 형성하여 반도체 리소그래피(lithography)로서의 가능성을 제시하였다. 그림 1에 나타낸 국제 반도체 기술 로드맵 "ITRS 2003년"의 리소그래피 로드맵에서는 나노 임프린트 기술이 32nm 기술세대의 후보군으로서 처음으로 채택되어 장래 경제성을 갖는 대량 생산형 반도체 생산 기술로서 평가되고 있다. [2]

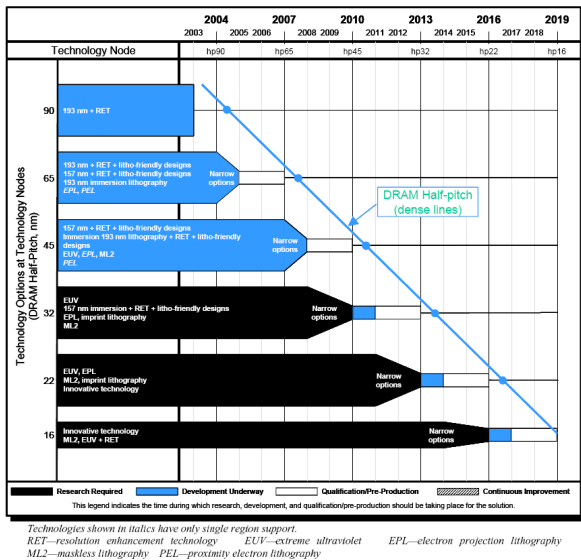


Fig. 1 Lithography Exposure Tool Potential Solutions

미국, 유럽과 일본에서는 이미 나노임프린트 기술 개발을 위한 산학연 컨소시엄이 형성되어 국가 연구개발 프로젝트로 활성화 되어 있다. 국내 연구진도 나노기술 연구를 위한 도구로서 나노 임프린트 리소그래피 장비를 도입해 있고, 중국, 대만, 싱가포르 등과 함께 후발 위치에서 나노 임프린트 기술의 응용연구에 참여 중이다.

32nm 노드 이후의 반도체, 광도파로(photo wave guide) 커플러 등 광학부품, 고밀도 자기기록체, 인공 생체 세포조직, 마이크로 연료전지 등을 실현할 수 있는 기술로서 나노 임프린트 기술의 중요성은 매우 높다. [1]

이 논문에서는 나노 임프린트 기술을 분류하고 각 방식의 장단점을 논하여 대면적 디스플레이로서의 LCD 공정에 적용 가능성에 대하여 이야기하려 한다. 대면적 디스플레이 산업의 고생산성과 고정밀화 요구에 대응하려면 대면적 일괄전사 방식이 요구되며 공정 중에서 몰드나 기판의 변형이 최소화 되어야 한다. 고분자 물질 혹은 포토레지스트도 나노 임프린트에 알맞게 합성되어야 한다. 또한, 후속 공정을 위한 정밀 정렬 기술이 필수적이며, 성형된 패턴은 대영역 기판의 전 영역에서 두께와 형상의 오차가 적어야 한다. 몰드와 기판 사이에서 공기가 포집되어 성형 후에 기포에 의한 결함도 없어야 한다.

2. 나노임프린트 기술의 분류

기존의 개발된 나노 임프린트 기술은 그림 2와 같이 분류 할 수 있다. [3]

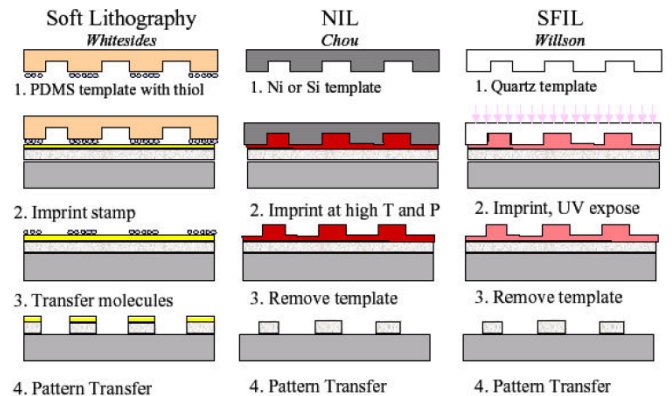


Fig. 2 Categorization of nanoimprint process by Lee

Whiteside 에 의하여 제안된 방식은 유연한 몰드의 양각 부분에 포토레지스트를 묻혀서 이를 기판에 눌러서 찍은 다음에 후속공정으로 이 패턴을 전사해 내는 것이다. 이 방식은 몰드와 기판의 표면 특성을 잘 조절하여 인주에 해당하는 고분자 물질이 잘 찍히게 만들지 못한다면 패턴의 오차가 생길 수 있는 단점이 있다. 고분자 물질로 만들어진 유연 몰드의 열변형이나 물리적 변형도 문제가 된다. 이러한 오차요인을 잘 제어하면 디스플레이용의 수백 나노미터 정밀도 패턴에 적용될 수 있다.

이 유연한 몰드를 롤러에 감아서 신문 운전기 방식으로 패턴을 전사하는 방식이 롤투롤(Roll-TO-Roll) 방식이다. 이를 이용하면 패턴을 고생산성으로 대면적으로 성형할 수 있다. 이를 이용하여 디스플레이용 패턴을 정밀하게 flexible display 나 기존 TFT LCD 기판에 성형한 선행연구가 있다. [4] 유연한 몰드의 물리적인 변형을 최소화 하기 위하여 유연한 몰드 뒤에 좀더 딱딱한 재료를 덧대어 성형한 예도 발표되었다. [5] 그러나, 아직도 정렬 기술의 한계로 정밀한 후속공정에 대응이 힘든 실정이다.

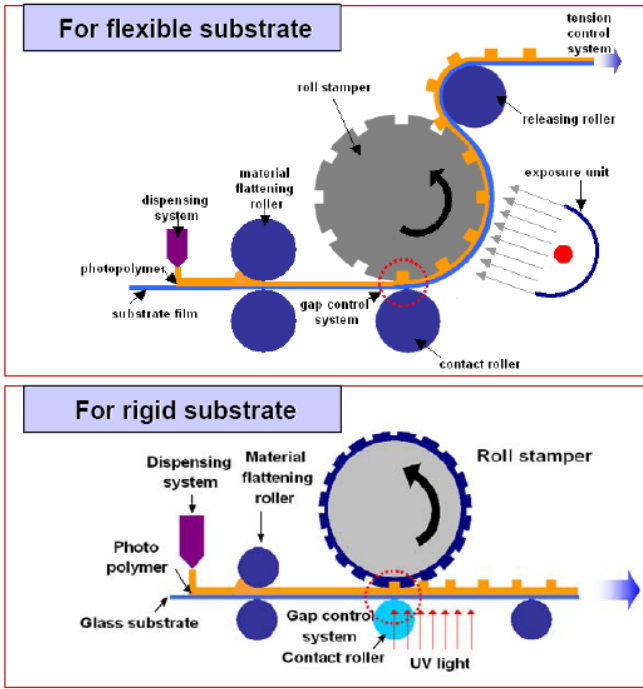


Fig. 3 Continuous UV Nano Imprinting System by Kang

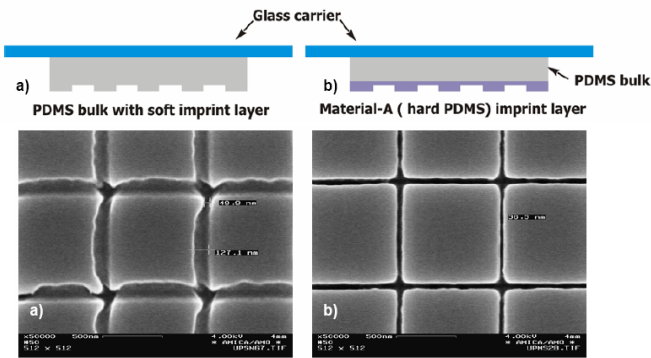


Fig. 4 Pattern transfer improvement using back support by Kurz

Chou 에 의해서 처음에 제안된 방식(NIL)은 미세패턴이 새겨진 니켈이나 실리콘 몰드로 반도체 기판인 웨이퍼 위에 도포된 포토레지스트를 누르면서 열과 압력을 가하여 패턴을 성형하고 후속 공정으로 이 패턴을 전사해 내는 것이었다. 이 방식은 간단하고 구현하기가 쉽지만, 가해야 하는 압력이 세거나 가열에 의한 온도가 높으면 몰드나 패턴이 변형될 수 있는 단점이 있다. 이 변형은 작은 영역에서는 크게 문제가 되지 않으므로 반도체의 chip 사이즈 정도의 성형에 사용될 수 있다.

Wilson 에 의해서 제안된 방식(SFIL)은 미세패턴이 새겨진 투명한 몰드로 반도체 기판인 웨이퍼 위에 도포된 포토레지스트를 누르면서 빛을 가하여 광경화성의 고분자 물질을 패턴으로 성형하고 후속 공정으로 이 패턴을 전사해 내는 것이었다. 이 그룹은 투명한 몰드로써 석영이나 유리를 사용하였고, 반도체 스펀퍼처럼 기판을 움직여서 몰드에 대하여 정렬을 하였다. 이를 적용하면 기판과 몰드에 가해지는 열이 적어서 변형에 의한 오차 발생이 적다. 또한, 광경화성 물질은 경화 전에는 거의 물처럼 흐르기 때문에 가압과 함께 정렬이 가능하고 패턴의 전사성도 뛰어나다.

대상 영역을 크게 넓히고 생산성을 높이기 위하여 그림 5 와 같이 여러 개의 몰드를 동시에 눌러서 전사하는 방식이 제안되었다. [6] 그러나 아직도 적용 기판의 영역이 작고, 투명몰드의 가공비가 고가인 단점이 있다.

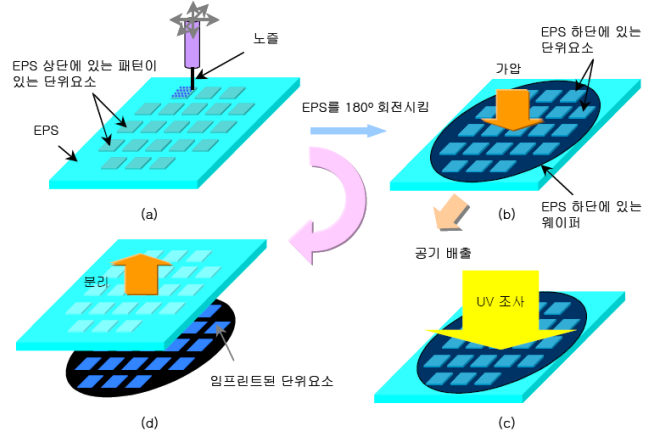


Fig. 5 UV-nanoimprint using an element-wise patterned stamp

3. 대영역 나노임프린트를 위한 제안

전술한 기술들의 장단점을 이용하여 대영역 나노임프린트 공정을 제안하려 한다. 몰드는 딱딱한 덧판이 있는 유연한 대영역 몰드를 사용한다. 이 덧판은 몰드의 열변형과 물리적 변형을 적게 한다. 포토레지스트나 고분자 물질은 점도가 매우 낮은 물질을 사용해야 몰드의 음각부분으로 잘 스며들어서 패턴의 전사성이 높아진다. 또한, 몰드를 누르고 경화시키기 전에 전에 몰드와 기판을 상대적으로 움직여서 정렬을 할 수 있다. 열에 의한 장치, 몰드, 기관의 변형을 최소화 하기가 위해서 광경화 방식을 사용한다. 이를 위해서 유연한 몰드와 덧판은 모두 투명해야 한다. 몰드를 기관에 붙일 때, 몰드나 기관을 어긋나게 순차적으로 접촉하여 공기의 포집을 막아야 한다.

따라서, 제안된 공정의 순서는 기관 준비, 레지스트 뿌리기, 몰드 순차접촉 및 정렬, 공압을 이용한 균일 가압, 광경화 및 이형의 순서가 된다. 이때 기관과 몰드가 크기는 디스플레이에 적용이 가능한 충분한 영역을 가진다.

이러한 공정은 몰드의 변형, 패턴의 찌그러짐, 부정확한 정렬, 공기의 포집, 패턴 두께의 불균일 등 기존의 공정의 문제를 해결할 수 있다.

참고문헌

1. 기쿠치 히로시, “디스플레이용 나노 임프린트 기술의 연구 동향 1”, 월간디스플레이 2006년 6월호
2. ITRS, “International Technology roadmap for semiconductors, 2003 ed., LITHOGRAPHY,” 15-16, 2003.
3. 이기동, “나노 임프린트 기술 동향 및 전망”, 제 294 회 학연산 연구 성과 발표회, 2006년 5월 2일.
4. 강신일, “Development of UV Nano Imprinting Process Using Roll Stamper”, 제 294 회 학연산 연구 성과 발표회, 2006년 5월 2일.
5. U. Plachetka et al, “Comparison of two PDMS stamp materials in Soft UV-NIL” Digest of papers of 4th International Conference on Nanoimporint and Nanoprint Technology, Nara, Oct. 19-21, 2005.
6. 정준호, 이응숙, “UV-나노임프린트 리소그래피”, 물리학과 첨단기술, 2-8, 2004년 10월호,