

## 나노임프린트 공정기술 및 동향

권재홍, 서정훈, 신상일  
고려대학교 공과대학 전자전기공학과  
jhkwon@korea.ac.kr  
주병권  
전기전자전파공학부 교수  
bkju@korea.ac.kr

1. 개요
2. 기술개발 동향
3. 응용분야 및 전망
4. 결론

### 1. 개요

나노임프린팅 공정기술(NanoImprint Lithography: NIL)은 100nm 급 이하의 나노 구조물을 저가로 대량생산 할 수 있는 기술로 1995 년 프린스턴 대학 Chou 교수에 의해 제안되었다. 현재 반도체 공정 및 마이크로급 소자제작에 널리 사용되고 있는 광학 프로젝션 리소그래피 기술이 광회절 한계로 인해 100nm 벽에 부딪혀 있는 실정으로 인하여 차세대 리소그래피(Next Generation Lithography: NGL)에 대한 필요성이 요구되고 있으나 광학소스와 렌즈의 물리적 한계로 인해 패턴밀도의 증대는 필연적으로 광학 리소그래피 장비의 고가화를 가져오고 있다. 또한 전통적인 광학 프로젝션 리소그래피의 대체 기술로 EUV(Extreme-UV), 전자 빔(E-beam), 이온빔(Ion-beam) 등을 이용한 공정개발이 추진되고 있으나, 고가의 장비가 요구되어 저가의 기술 실용화를 위한 바람직한 접근은 아니라고 하겠다.

본 고에서 다룰 나노임프린터 기술은 고비용 저생산을 고려해 보았을 때 매우 혁신적인 기술이라고 할 수 있으며, 최근에는 미국뿐만 아니라 유럽, 일본 등 기술 선진국에서 경쟁적으로 나노임프린팅 공정 및 장비기술을 연구하고 있으며, 전기전자 및 광소자 제작에 적용함으로써 실험실 수준에서나마 기술 실용화 가능성을 확인하고 있다. 본 고에서는 NIL의 기술개발 동향, 응용분야 및 전망, 결론 순으로 논의하여 기술개발 필요성에 대한 인식을 공유하고자 한다.

\* 본 컬럼은 고려대학교 전기전자전파공학부 주병권 교수가 작성한 내용입니다. 본 내용과 관련된 사항은 ☎ 02-3290-3671)으로 문의하시기 바랍니다.

\*\*본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITA의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

## 2. 기술개발 동향

나노임프린팅 기술은 1995 년 프린스턴 대학의 Chou 교수의 의해 처음으로 제안되었다. 초기의 기술은 가열식 방법으로 기판 위에 Thermoplastic polymer 레지스터 박막을 입히고 그 위에 나노구조물이 새겨진 스탬프(또는 마스터)를 눌러 나노구조물 패턴을 기계적으로 복제하였다. 1997 년 Chou 교수는 나노임프린팅 기술에 의해 PMMA 위에 제작된 6nm 선포의 패터닝 결과가 진공 과학 기술 학술지(J. Vac. Sci. Technol. B) 15 권 2,897 페이지에 발표되었으며 1999 년에는 Wang 및 Yu 등에 의해 나노임프린터의 광학소자와 Metal-semiconductor-metal photodetector 제작에 적용에 관한 연구결과가 미국물리학회지(Apl. Phys. Lett.) 75 권 2,767 페이지, 17 권 2,381 페이지에 각각 소개되었다.

또한 Wang 은 190nm grating 간격을 가진 금속 폴로라이저 제작을 통해 다시 한번 나노임프린터 기술의 광학소자에 적용 가능성을 진공 과학 기술 학술지 17 권 2,957 페이지에 1997 년 발표하였다. 같은 해에 텍사스 오스틴 대학의 Wilson & Sreenivasan 연구진은 UV 를 Curing agent 로 이용하는 방식의 SFIL(Step-and-Flash Imprint Lithography)을 개발하여 25 회 SPIE's Microlithography 관련 국제 심포지엄에서 발표하였다.

2000 년에 Haatainen 등은 국제광학회에서 SFIL 를 이용하여 sub-100nm 구조물을 패터닝한 연구결과를 발표하였다. 2001 년에는 Studer 등이 나노임프린터에 의해 제작된 첫 번째 마이크로 플루이드 소자를 미국물리학회지 80 권 19 호 3,614 페이지에 발표하였으며, 2002 년 Seekamp 등은 나노임프린터를 적용하여 2D 포토닉 크리스탈 제작에 관한 내용을 나노테크놀러지 학술지(Nanotechnology) 13 권 518 페이지에 게재하였다. 공정관련 요소 기술 역시 발전을 계속하여 100nm 이하의 패턴전사시 부타방지를 위한 표면처리기술 연구결과가 2002 년 Beck 등에 의해 마이크로 전자소자 공학 학술지(Microelectronics Eng.) 61-62 권 441 페이지에 게재되었다.

나노임프린팅 기술은 2003 년에 이르러 스탬프(또는 마스터), 공정, 측정, 응용 및 적용기술 등의 주요 세부기술 분야에서 다양하고도 획기적인 연구결과를 도출하고 있다. 무엇보다 연구개발을 위한 인프라가 구축되고 있으며 전세계적인 관심이 집중되고 있어 향후 기술개발을 위한 인프라가 구축되고 있으며 전세계적인 관심이 집중되고 있어 향후 기술개발 및 실용화에 긍정적인 결과가 기대된다. 또한, 2003 년 ITRS(International Technology Roadmap for Semiconductor)에 나노임프린팅 기술이 포함되어 차세대 리소그래피 기술 후보군 중 하나로서 향후에는 좀더 집중적인 연구개발 및 투자가 이루어 질 것으로 예상된다.

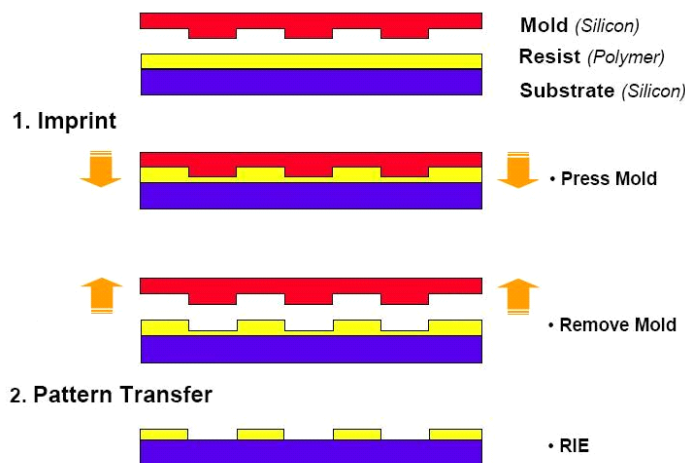
## 가. 기술 분류

임프린팅 방식의 공정은 크게 실리콘이나 석영을 스텐프 재료로 사용하는 Hard lithography 와 부드러운 PDMS elastomer 스텐프를 사용하는 Soft lithography 로 구분될 수 있다. 또한, Hard lithography 는 불투명한 실리콘 스텐프를 사용하는 가열식 임프린팅(thermal imprint 또한 Hot embossing)과 투명한 Quartz 스텐프(혹은 실리콘 스텐프 사용시 투명한 Quartz 기판)를 통해 자외선을 투과시켜 레진을 경화시키는 방식을 채택하는 UV 임프린팅 기술로 구분된다.

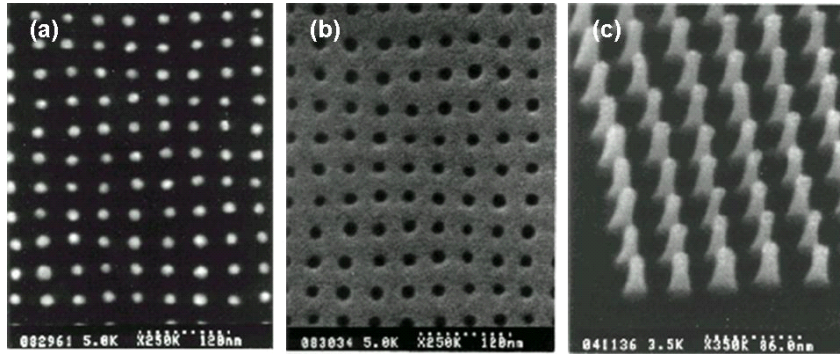
### (1) 가열식 임프린팅

가열식 임프린팅(Thermal imprinting) 공정은 고온에서 물리적 접촉에 의해 마스터 패턴을 기판 위에 전사하는 것으로 1995 년 프린스턴 Chou 교수에 의해 제안되었다. 공정과정을 구체적으로 기술하면, 나노 크기의 패턴이 요철형태로 형성된 마스터를 먼저 제작하고, 이를 Thermoplastic 레진 레지스트가 코팅되어 있는 기판 표면을 고온조건(유리전도 온도 이상의 온도)에서 누른 후 냉각과정을 거쳐 분리하게 된다. 이때 폴리머 레지스트는 유동상태에서 마스터 패턴을 복제하게 된다. 이에 따라 마스터의 나노패턴이 정반대 형태로 전사되고, 이방성 에칭 작업을 거쳐 레지스트 표면에서 눌러진 부분에 남아 있는 레지스트 재료를 완전히 제거함으로써 공정은 완료된다(그림 1) 참조).

(그림 2 (a))는 10nm 지름, 60nm 높이의 기둥이 규칙적으로 배열되어 있는 SiO<sub>2</sub> 스텐프를 보여주고 있으며, (그림 2 (b))는 실리콘 기판 위에 80nm 두께로 코팅된 PMMA 위에 고온 상태에서 스텐프를 각인하여 원형 홈을 성형한 모습이다. (그림 2 (c))는 반응이온에칭(Reactive Ion



(그림 1) 1995 년 프린스턴 대학 Chou 교수에 의해 제안된 나노임프린터 프로세스

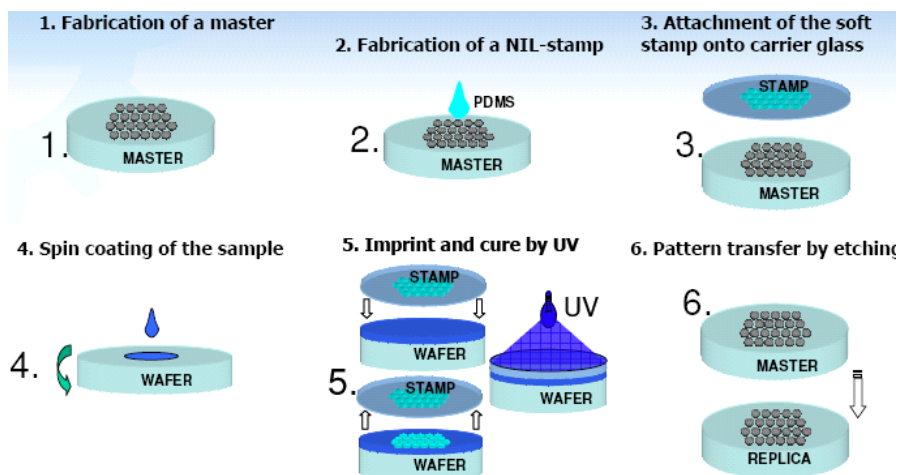


(그림 2) (a) 나노임프린터 프로세스로 제작된 10nm 지름, 60nm 높이의 기둥의 스템프  
(b) 스템프에 의하여 각인된 형상의 사진  
(c) RIE 과정 후 lift-off 공정을 통한 10nm 지름의 원형 금속 점들의 배열들의 형상

Etching: RIE) 과정과 Metal deposition(Ti/Au 를 PMMA 위에 고르게 증착) 과정을 거친 후 Lift-off 공정을 통해 PMMA 와 Ti/Au 를 제거하여 만든 10nm 지름의 원형 금속 점들의 배열을 (그림 2)에서 각각 나타내고 있다.

## (2) UV 나노임프린팅

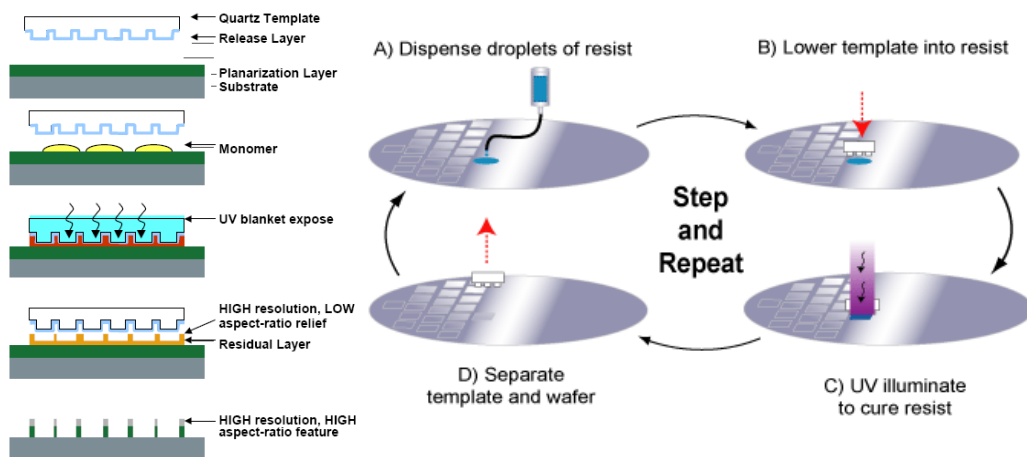
1999 년 텍사스 오스틴 대학의 Willson 과 Sreenivasan 교수 연구진에 의해 처음으로 제안된 기술로 상온저압 공정을 지향하고 있어 가열식 임프린팅에 비해 열변화에 의한 변형을 줄일 수 있으며 고정밀도 패턴전사, 고속공정 및 다층형상 구현시 overlay accuracy 를 높일 수 있는 장점을 가진 방식으로 임프린팅 공정 순서는 (그림 3)과 같다. 먼저 E-beam 등의 나노리소그래



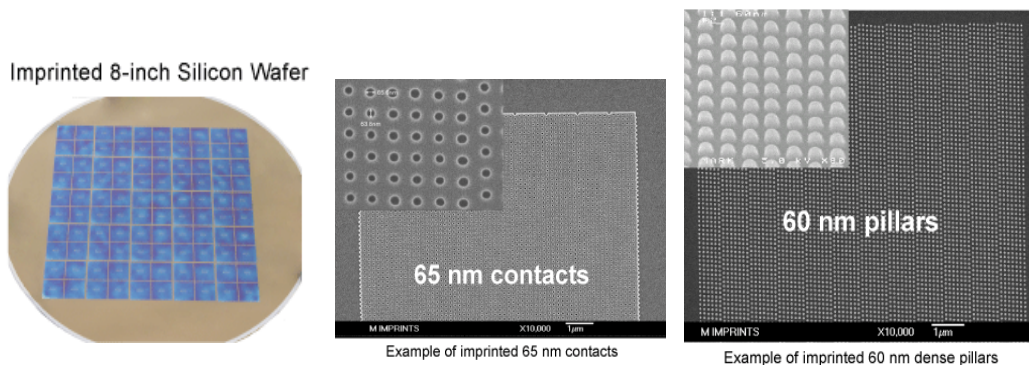
(그림 3) UV 나노임프린터 공정진행도

피 장비를 통해 투명한 몰드기판 위에 마스터 패턴을 제작한다. 그리고 자외선에 의해 경화되는 (UV curable) Prepolymer 레진을 기판 위에 스핀코팅(또는 디스텐싱 방식을 이용하기도 함) 한 후, 기 제작된 마스터를 레진 위에 접촉(<0.5psi) 시킨다. 이때 Capillary force 에 의해 레진은 패턴 안으로 충전됨으로써 패턴전사가 이루어지게 된다. 충진이 완료된 후, 투명한 기판을 통과한 자외선은 폴리머 경화를 유발하고 다음 단계에서 마스터 몰드는 제거된다. 임프린팅 시 원활한 충전 및 균일한 패턴 사이즈 구현을 위해 마스터 몰드는 기판과의 직접 접촉을 피하게 되는데, 이때 발생하는 잔류 두께는 물리적 식각에 의해 제거된다. 필요에 따라 후가공을 통해 기판 에칭 또는 Metal lift-off 를 수행할 수 있다.

UV 임프린팅은 One-shot 방식의 대면적 공정 이외에 반복적 스텝핑(step and repeat) 방



(그림 4) Willson 과 Sreenivasan 에 의해 제안된 SFIL 의 step and repeat 공정

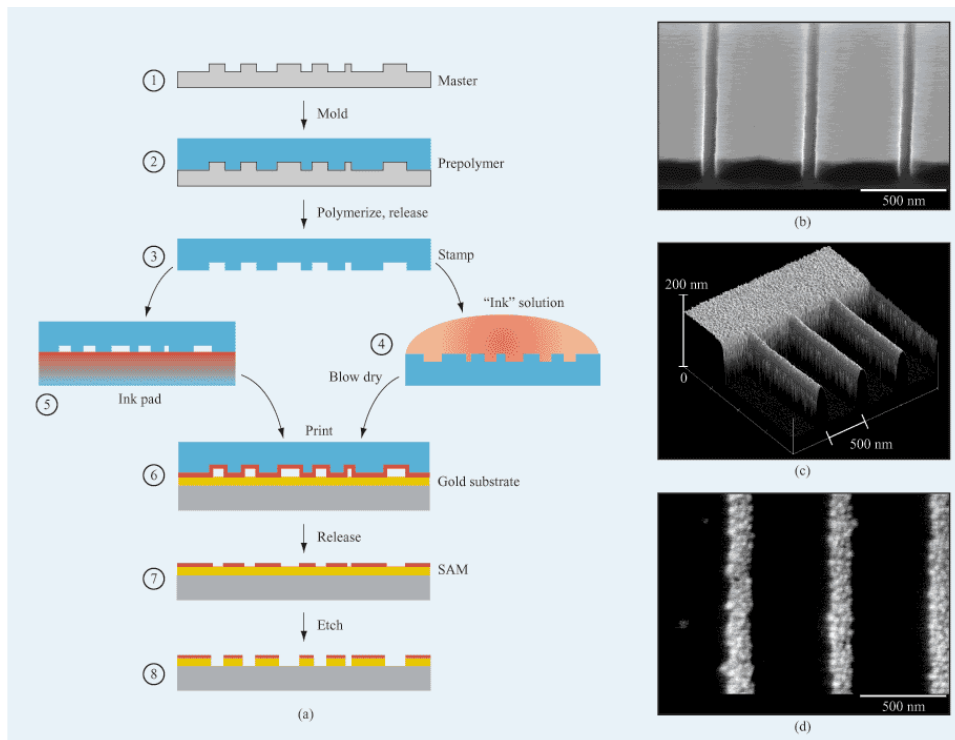


(그림 5) SFIL 의 step and repeat 공정 후 전사된 패턴 형상과 구현된 패턴과 다층화된 구조물 모습

식으로 웨이퍼 스케일 공정이 가능하다. 반복적 스탬핑 UV 임프린팅 기술은 텍사스 오스틴 대학의 연구진이 개발한 SFIL(Step and Flash Imprint Lithography)로 알려져 있다. SFIL에서는 레진을 스핀코팅하지 않고, Stamping 되는 구역에 레진을 국소 dispensing 하여 스탬핑 공정을 완료한 후, 다음 구역으로 이동하는 Multiple dispensing 방식이 적용된다. 공정 결과 실리콘 기판위에 전사된 패턴 형상은 (그림 4)에 나타나 있다. UV 임프린팅에서는 낮은 점성의 UV curable organosilicone monomer 레지스터로 사용하고 UV 투과를 위해 투명한 몰드를 사용하기 때문에, 패턴 정밀도를 높이고(~up to 20nm) 광학적 정렬오차 조절이 가능하다(~100nm). 단 패턴 잉 소재 선택에 있어 제한이 있으며, 대면적 공정시 균일한 패턴 두께를 얻는 것이 어려운 단점이 있다. (그림 5)는 SFIL 에 의해 구현된 패턴과 다층화된 구조물의 모습을 보여주고 있다.

### (3) Contact 임프린팅

프린팅 방식의 인쇄술은 기존 광학 리소그래피의 대체기술 중 하나로 1990 년 중반 IBM 의 연구진에 의해 연구되기 시작되었다. 비슷한 시기인 1993 년 하버드 대학의 Kumar 와 Whitesides



(그림 6)  $\mu$ -contact 임프린팅 공정 순서도 (a), 마스터 (b), 스탬프(c) 및 프린팅 후 etching 공정후의 전자 주사현미경의 각각의 사진 (d)

은 Alkanethiol 잉크가 묻은 폴리모가 금도금된 표면과 접촉시 Thiol 단분자막이 형성되는 현상을 발견하여 잉크의 단분자막만을 표면에 전사하는데, 이러한 현상을 이용한  $\mu$ -contact printing이라는 새로운 공정을 개발하게 되는 계기가 되었다. Hard stamp(Si or Quartz)를 사용하는 UV/thermal imprint 와는 달리 PDMS soft elastomeric stamp 를 사용하여 레지스트 위에 잉크를 마이크로 및 나노스케일로 패터닝하고 형성된 단분자막을 이용하여 나노구조물을 제작하는 방식이다. 이는 Soft lithography 의 한 지류 기술이라고 할 수 있다. 접촉식 프린트를 구성하는 주요 기술로는 마스터, elastomer, 스탬프, 잉크, 프린팅 장비 등이 있다. 공정순서를 살펴보면, (그림 6 (a))에서와 같이, Si wafer 위에 E-beam 이나 기타 나노패턴 구현이 가능한 리소그래피로 마스터 패턴을 제작한 후, Prepolymer 를 Casting(또는 Spin-coating) 한다. 화학적인 방법으로(curing agent 사용) elastomer 를 응고시킨 후 이를 마스터로부터 떼어냄으로써 스탬프 제작은 완료된다. 다음 단계에서 (그림 6 (a)-④)나 (그림 6 (a)-⑤)의 방법으로 잉크를 시키고 이를 금도금 박막 위에 접촉시킨다. 이때 금박막 위에 잉크의 단분자막이 전사되고, 이를 Etch barrier 로 이용하여 기판 안으로 물리적 식각 (Si 기판인 경우 주로  $\text{SF}_6$  gas 가 포함된 plasma etching 적용) 공정이 수행된다. (그림 6 (b), (c), (d))는 Contact printing 공정의 각 단계에서 구현된 패턴형상을 보여주고 있다. 본 공정 기술은 공정최적화(non diffusive ink 사용, 잉크 시간, 스탬프의 기계적 변형 최소화 등)을 통해 100nm 급 패턴 제작이 가능한 것으로 보고 되고 있다. Soft stamp 의 장점인 우수한 Conformal contact 거동을 이용하여, 곡면 프린팅이 가능하기도 하다. 최근에는 스탬프의 soft 한 성질과 hard 한 성질의 장점을 모두 이용하기 위해 hard backbone 을 부착시키는 방법이 고려되고 있다. Ink diffusion 으로 인해 100nm 이하의 극미세 패터닝에 있어 기술적 어려움이 뒤따르는데, 이는 단분자막 위에 구리입자를 전해가공(direct electroless deposition)하는 Bottom-up approach 로 극복될 수 있는 것으로 예상된다.

## 나. 나노임프린팅 공정 세부 기술 이슈

### (1) 마스터/스탬프 제작 기술

나노임프린팅 공정을 수행하기 위해서는 먼저, 마스터 또는 스탬프라고 불리우는 마스터 패턴이 새겨진 스탬프가 필요하다. 일반적으로 UV 임프린팅 공정을 위해서는 자외선이 투과할 수 있는 투명한 기판인 Quartz 가 스탬프 재질로 주로 사용되며(임프린팅 기판을 Quartz 로 사용할 시 기타 재질의 스탬프 사용 가능), 가열식 임프린팅 경우 고온에서도 변형되지 않는 실리콘 재질이 주로 사용된다. 하지만, 최근 들어서는  $\text{Si}_x\text{N}_y$  재료라든가 soft imprinting 공정을 위해 PDMS 를 사용하는 등 다양한 방식이 소개되고 있어 적용소자에 따라 적절한 스탬프 재료가 유

연하게 선택될 수 있다. 마스터 나노패턴 제작을 위해 나노리소그래피 공정이 도입되어야 하는데 일반적으로 Serial type 의 전자빔 리소그래피나, Scanning 방식의 레이저 간섭차를 이용한 홀로그래픽 리소그래피가 많이 사용되고 있다. 그 외에 X-ray 리소그래피, Near-field lithography, Size reduction lithography, Shadow evaporation 공정 후 Metal lift-off, 실리콘(또는 Quartz) RIE 의 일련의 복잡한 과정을 거쳐 최종 마스터 나노패턴이 구현된다. 스탬프 제작과정에는 다음의 중요한 이슈들이 있다. 나노급 패턴을 정교하게 구현할 수 있는 나노리소그래피 기술, 레지스트 상 패턴과 마스터 기판에 식각 후 얻어지는 패턴 사이의 차이, 즉, CD 오차 최소화, 다층화 구조물 구현 기술, 3 차원 구조물 구현 등이 있으며, 형상 측정을 위해 전도성 박막을 레지스트와 같이 사용하는 연구도 수행되고 있다.

### (2) 공정 요소 기술

임프린팅 공정 기술 관련하여서는 기술적 어려움 극복, 공정효율 개선, 적용소자에 따른 공정매커니즘 개발, 레지스트 개발 등 Capability 와 Flexibility 를 높이는 방향에서 연구개발이 수행되고 있다.

### (3) 장비 기술

나노임프린팅 공정을 구현할 수 있는 장비개발은 공정 매커니즘 연구와 병행하여 추진되고 있다. 또한, 나노임프린터 공정장비는 나노패턴의 신뢰성이 있는 구현을 위해 다수의 중요 요소 개발을 전제로 하고 있는데, 구체적으로 정렬기술, 스테이지, 균일한 프레싱 기술, 진동절연장치, 몰드 로딩 장치, Demolding, UV 임프린팅 공정의 경우 UV 조사장치와 Dispensing 또는 폴리머 증착장치, 가열식 임프린팅 공정의 경우 온도조절장치 등의 세부요소 장치 및 기술 개발이 요구 되고 있다.

### (4) 측정 기술

나노임프린팅 기술이 실용화라는 최종 목표에 도달하기 위해서는 우선 공정기술과 함께 상업적으로 사용 가능한 장비개발이 우선시 되어야 하며, 아울러 기존 반도체 공정을 실질적으로 대체하기 위해서는 낮은 생산단가와 함께 기존 기술의 한계를 뛰어넘을 수 있는 기술적 장점을 보여줘야 할 것이다. 이를 위해선 생산능력(Process capability)을 정량적으로 비교할 수 있는 측정기술(Metrology) 개발이 요구되며, 이러한 기술은 다양한 NIL 기술간 비교 분석을 위한 연구에도 필요하다. 아직은 산업화를 뒷받침해 줄 수 있는 기술표준화도 확립되어 있지 않아 이러한 분야에서 개발이 필요하며, 적용소자의 공정을 위한 공정변수(process parameter)와 요구되는 Specifications 설정을 위한 노력도 요구된다.

### (5) 응용 및 적용기술

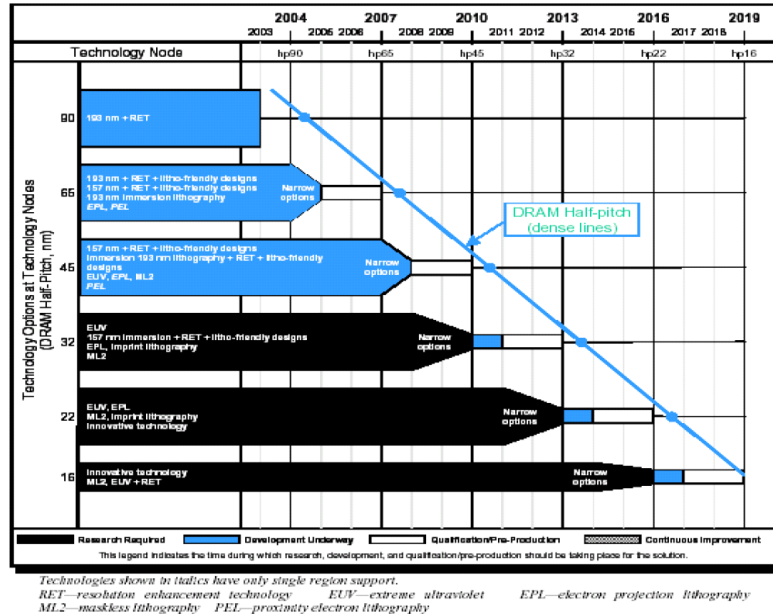
공정기술 향상을 위한 연구와 발맞추어 나노임프린팅 공정에 의한 적용소자 개발 역시 집중적으로 추진되고 있다. 크게 트랜지스터 등의 전자소자, 플루이딕 칩 등의 바이오소자, 세포 엔지니어링, Grating 제작 등의 광학소자, 화학촉매를 위한 분자 패터닝 기술 등의 화학소자, 질량 센서 등의 센서분야, NEMS 분야 등 최근 들어 폭넓은 분야에서 소자제작에 나노임프린팅 공정이 도움되고 있다.

## 3. 응용분야 및 전망

나노기술은 1~100nm 크기의 물질(원자나, 분자수준)이나 현상을 측정, 분석, 제어, 조작 할 수 있는 기술로 반도체 미세공정과 같은 탑다운(Top-down) 방식과 분자, 원자의 빌딩업(Build-up) 기술과 같은 바텀업(bottom-up) 방식이 동시에 발전하고 있으며 두 방식이 교차 되는 영역인 1~100nm 에서 신기술 분야가 창조되고 있다. 나노 기술을 실제 우리 생활에서 이용하기 위해서는 다양한 종류의 센서와 필터, 정보를 저장할 수 있는 기억소자, 연료전지 등의 부품부터 만들어야 하며 이때 필요한 것이 바로 나노장비이다. 나노장비는 나노기술을 이용해 개발한 새로운 제품을 값싸고 신속하게 대량으로 제작하기 위한 장비로 지금까지 개발된 나노 장비로는 NIL, 나노프로빙 장비, 전자빔 리소그래피 등이 있다.

NIL 장비는 나노현상의 제품을 제작하는데 종이 위에 도장을 찍는 것과 유사한 방법을 사용하며 단단한 금형(몰드) 표면에 나노 구조물(Nano structure pattern)을 새기고 상대적으로 강도가 약한 물질의 표면에 눌러 나노 구조물을 반복적으로 복사하는 공정을 수행하는 것이다. NIL 장비는 또한 열가소성, 열경화성, 자외선 광경화 재료(레지스트)에 적용해 경제적이고도 효과적으로 나노구조물을 만들 수 있게 하며 NIL 장비가 수행하는 공정은 기존의 고분자 압축성형공정과 기본 원리가 비슷하다. 그러나 나노 크기의 구조물을 성형하기 위해서는 전자기력, 분자, 원자간 인력 등 미세 물리현상을 철저히 고려해야 한다는 점에서 차이가 있다.

NIL 기술은 1990년대 중반에 미국에서 개발된 나노 제조방법으로 낮은 생산성을 갖는 전자빔 리소그래피 보완 기술로 주목 받고 있다. (그림 7)은 국제 반도체 기술 로드맵(ITRS 2003)을 나타낸다. 2009년까지의 기술 노드의 목표를 하프피치 65nm 양산 및 하프피치 45nm 제품의 개발로 결정하였으며 50nm 이하의 미세 가공은 탑다운 방식으로 한계가 있어 나노임프린트 기술이 지속적으로 연구개발되어야 한다는 것을 알 수 있다. 2003년 초 미국 MIT가 선정한 세계를 바꿀 10가지 신생 기술에 포함된 나노임프린트 기술은 32nm 이하의 반도체 소자 제작에 사용될 차세대 리소그래피 기술로 포함되기도 하였다.



(그림 7) 국제 반도체 기술 로드맵(International Technology Roadmap for Semiconductors 2003)

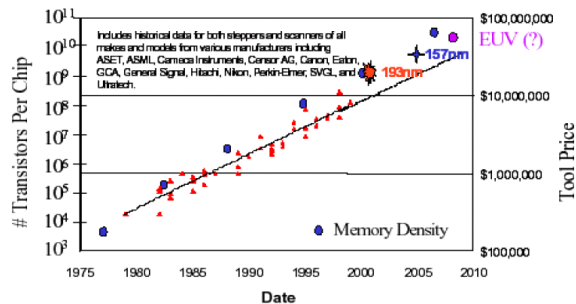
또한, 반도체 양산 코스트 중에 제조 공정이 점하는 비율은 공정 미세화와 함께 증가하는 경향이 있다. 리소그래피는 반도체 생산에서 비용이 가장 많이 드는 부분으로 Information network에서 개발한 Thumb 법칙에 의하면 노광장비는 전체 fab 비용 중 20 %를 차지하고 있

**E-beam Lithography (Lab. Level) : Serial Process & Low Throughput**  
**Optical Projection Lithography : Extremely High Tool Cost For Sub-100 nm**



**Low-cost, High-throughput Nanofabrication**

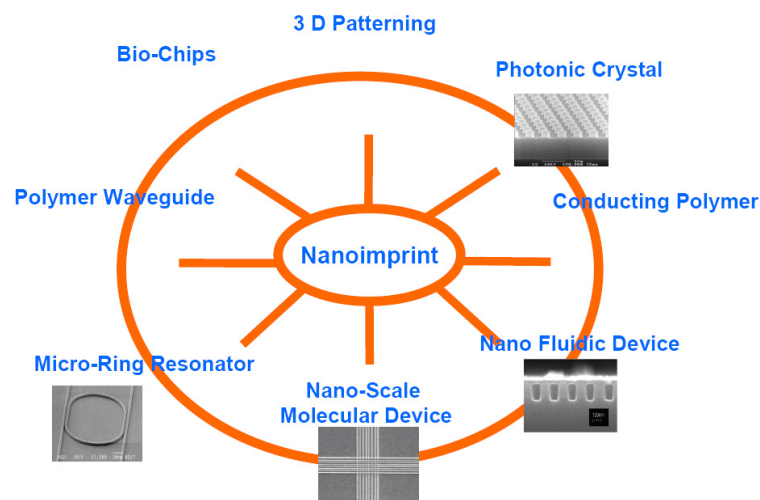
**Nanoimprint Lithography ?**



(그림 8) 광학 프로젝션 리소그래피 기술의 광회절 한계에 따른 NIL 공정 필요성

다고 한다. 리소그래피 비용은 전체 비용에 비해 훨씬 빠른 속도로 증가하고 있으며, 과거에는 1Mbyte 칩 제조에 10 회 정도의 노광이 필요했지만 이제는 64Mbyte 유닛 제조에 23 개 마스크층이 필요하고 256Mbyte 유닛의 경우에는 27 개의 마스크층이 필요한 한편 임계 해상도도 계속 작아지고 있는 추세이다. 나노임프린터 장비는 다품종 소량 반도체 제조라인 및 광통신 부품, 디스플레이 부품 등 비반도체 분야에 도입될 가능성이 있으며 2010 년까지는 반도체 및 디스플레이 주력 양산 공정에 적용될 가능성이 있다. (그림 8)은 기존 반도체 공정을 실질적으로 대체하기 위해서는 낮은 생산 단가와 함께 기존 기술의 한계를 뛰어 넘어야 하는 기술적인 장점과 광학 프로젝션 리소그래피 기술의 광회절 한계에 따른 나노임프린터 공정 필요성을 나타낸다.

(그림 9)는 NIL 공정의 응용분야를 도식화하였다. 반도체 분야 외에 광통신 부품, 디스플레이 부품, 초고속 고밀도 저장 매체 등의 유기전자 소재에 응용이 가능할 것으로 전망되고 있다. 또한, 산업자원부는 나노기술을 기반으로 한 신기술 산업이 향후 10 년간 연평균 7.7% 성장할 것으로 예상되며 21 세기 유망산업 분야를 예측한 결과 반도체, 정보통신, 바이오, 신소재, 환경 에너지 분야에서 시장이 2010 년에 7 조 6,470 억 달러로 급성장 할 것으로 예상하였다.



(그림 9) NIL 공정의 응용분야

<표 1>은 나노기술 응용분야의 시장성을 나타낸다. 이와 같은 나노분야에 NIL 공정 도입은 반도체, 전기전자, 정보통신기기, 광산업, 바이오산업, 환경/에너지 및 기간산업 등 광범위하게 적용될 수 있을 것으로 예상이 된다. 현재 한국의 나노관련 지원규모는 유럽연합과 비슷한 수준이나 미국이나 일본에 비하면 10 분에 1 수준에 머무르고 있으며, 기술수준, 연구기반, 연구인력

<표 1> 나노기술 응용분야의 시장성

구분	적용분야	시장규모(단위: 10 억 달러)		
		2000	2010	2020
반도체, 전기전자	반도체, 디스플레이, 정보저장기기, 전자기기, 반도체제조장비	413	1,537	2,281
정보통신기기	통신기기, 시스템, 소프트웨어, 정보서비스	1,172	3,442	5,457
광산업	광통신기기, 광응용기기, 광정밀기기, 광소재	89	278	499
바이오산업	신약, 신식품, 농업/해양, 화학, 신소재	302	766	1,009
환경/에너지	오염방지, 신에너지, 신소재	138	722	1,275
기타산업	자동차, 로봇, 자동화기기	285	902	1,402

<자료> 미쓰비시(연), 21 세기 기술과 산업, 1999.

<표 2> 주요국가 나노기술 연구현황

구분	미국	일본	유럽연합	한국
정부예산 (2000 년)	2 억 7,000 만 달러	3 억 2,800 만 달러	2,900 만 달러	2,600 만 달러
기술수준	상	상	중상	하
연구기반	상	상	중상	하
연구인력	상	상	중상	하
비교우위 분야	기초부터 응용까지 모든 분야	전자, 소재	에너지, 환경, 생명공학	전자 (반도체)

<자료> 나노기술(Nano-Tech) 산업화 전략 보고서, 2001 년 6 월

면에서 모두 선진국에 비해 뒤떨어져 있다. <표 2>는 주요 국가 나노기술 연구 현황을 나타낸다.

초미세 공정 및 장비 기술은 21 세기에 요구되는 유기적, 종합적 복합기능의 미래 첨단기술이며, 전통기계산업 및 6T 산업분야에 적용할 수 있는 고부가가치 산업을 육성할 수 있는 혁신 기술이라 할 수 있다. 미국, 일본, 독일 등 선진국들은 나노기술을 기반으로 다양한 나노산업에 진출하고 있으며, 2010 년 IT 전자 및 재료분야에서 273 조원, 나노장비 관련하여 46 조 원의 시장을 예측하는 등, 나노기술이 반도체 전자소재, 가전 등 세계 산업 판도를 향후 10 년 내에 완전히 뒤바뀌 놓을 만한 폭발력이 있다고 예상하고 치열한 기술 경쟁을 하고 있는 실정이다.

#### 4. 결론

나노기술 공정에 대한 필요성이 대두되면서, 현재 기술선진국의 NIL 기술개발에 대한 의지는 점차 증대되고 있는 실정이다. NIL 관련 연구기관들이 증가하고 있을 뿐만 아니라 획기적인 기술 발전도 이어지고 있어, 향후 기술 실용화와 차세대 나노리소그래피 기술로서 그 자리가 확고해 지고 있다. 이러한 기술개발 흐름이 반영되어, 2003 년 ITRS 에 NIL 기술이 포함되어 NIL 기술의 미래 잠재성과 성공 가능성에 대해 긍정적으로 평가되고 있다. 하지만, 해결해야 할 당면

한 기술적 과제들 역시 존재하고 있다. 본 고를 통해 해외 NIL 기술개발 동향과 아울러 기술적 어려움 등을 체계적으로 조사 및 분석하여 향후 NIL 연구개발 방향 설정을 위해 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하는 바이다.

### <참 고 문 헌>

- [1] 고려대학교 디스플레이 및 나노시스템 연구실(<http://diana.korea.ac.kr>)
- [2] 나노메카트로닉스 기술 개발 사업단, “나노임프린트 리소그래피 최신정보 수집,” 해외 첨단 기술 정보 사업 최종보고서, 2004. 1.
- [3] <http://www.princeton.edu/~chouweb/newproject/page3.html>
- [4] <http://www.molecularimprints.com/index.html>
- [5] <http://www.research.ibm.com/journal/rd/455/michel.html>
- [6] 조용호, “나노임프린팅 장비동향,” 전자정보센터, 2006. 12.
- [7] 이기동, “나노임프린트 기술 동향 및 전망,” 제 294 회 학연산 연구 성과 발표회, 2005. 10.
- [8] 강신일, “Nanoimprint Lithography 기술의 이해,” 전자공학회지, 33 권, 제 4 호, 2006. 4.
- [9] 박은성, “나노기술의 연구방향: 향후 10 년간의 나노기술 연구개발에 대한 전망,” KOSEN/OSTIN Expert Review, 2000. 9.