

광모듈 및 배선용 유기소재 공정 기술

권나영 · 김대근 · 이택승

1. 서론

광을 정보 전달 매체로 하는 광통신 시스템 구축은 인터넷 통신의 폭발적인 증가와 고도 정보 통신 사회에 대응하는 고품질의 화상 서비스, 원격 진료, 화상회의, 실감 영상 전달 등의 차세대 서비스를 내포하는 초고속, 대용량 통신을 위하여 필수적이다. 따라서, 광자(photronics) 즉 빛의 제어에 의한 광전자/광자 기술이 필연적이며 정보 통신 분야의 광전자/광자 기술 산업이 다른 모든 산업을 주도할 것으로 예상된다. 광통신 부품시장은 2006년을 기점으로 2011년까지 연 평균 28% 이상 증가할 것으로 예상하고 있다(CIR 2006). 광통신영역 뿐만 아니라 유비쿼터스 사회 구현을 위한 ubiquitous companion terminal (UTC) 등의 차세대 단말은 3차원의 게임 및 고화질의 디스플레이, 입체영상, 3차원 프로젝션 디스플레이 등의 구현을 위하여 단말기 몸체에서 디스플레이 창으로 대용량/초고속의 정보전송이 요구되어 이를 위해 단말기내의 정보전송 매질 자체는 현재의 단말기와 같이 접거나 휘 수 있는 플렉시블(flexible)한 매질의 광전송 모듈 개발이 우선적으로 필요하다. 필연적으로 공정, 집적화를 기반으로 하는 경제성 측면에서 광정보 전송 및 신호처리용 광도파로 화학재료의 수요는 기하급수적으로 늘어날 것으로 예측된다.

광통신 부품 및 모듈 생산의 산업적 혁명을 불러올 광도파로 및 광배선 임프린트 및 엠보싱/몰딩 공정 기술 개발이 진행 중이나 관련핵심소재인 화학소재는 전량 수입하고 있는 실정으로 관련 화학소재의 국산 개발이 시급하다. 핫엠보싱과 UV 임프린팅 기술을 활용한 광 PCB 관련시장 중 하나인 광백플레인 세계시장규모는 2003년 3.16 백만

불에서 2006년 7.54 백만불, 2010년 2.69억불 규모로 급격히 팽창할 것으로 예상되며(BPA Consulting 2003), 관련 국내 PCB 시장 규모는 2003년 수출 869 백만불, 내수 2.512조원 규모로, 2004년에는 수출 998 백만불, 내수 2.798조원으로 추정하고 있다. 이러한 증가율로 계산할 때 2010년에는 수출 15억불, 내수 4조원에 이르리라 예상한다. 이중 핫엠보싱과 UV 임프린팅 재료 시장을 5%로 가정하면 향후 수 년내에 수 천억원의 시장을 형성할 것으로 예상된다(ETRI 광보고서 2005).

핫엠보싱, UV 임프린팅을 통한 미세 패턴 가공기술의 주류를 이루는 기술은 광을 이용한 광학 리소그래피로서, 패턴의 신뢰성과 일치성 등의 강점으로 반도체 산업을 비롯한 전자, 전기소자산업과 MEMS와 같은 미세기계적 소자산업, 그리고 최근에는 광학용 특성을 요수하는 디스플레이 광학판, 광도파로 패턴 구현, 바이오 칩과 같은 정밀산업 분야에 이르기까지 광범위한 분야를 커버할 수 있는 기술이다. 이렇게 용도에 따라 달라지는 패턴의 형상의 최적 제어, 패턴의 선폭 제어 등을 뒷바침할 수 있는 핫엠보싱용 소재와 UV 임프린팅용 소재개발이



김대근

2009 충남대학교 유기소재·섬유시스템공학과 (공학사)
2009~ 현재 충남대학교 나노기술학과(석사과정)



권나영

2009 충남대학교 유기소재·섬유시스템공학과 (공학사)
2009~ 현재 충남대학교 유기소재·섬유시스템공학과 (석사과정)



이택승

1988 서울대학교 섬유공학과(공학사)
1990 서울대학교 섬유공학과(공학석사)
1994 서울대학교 섬유고분자공학과(공학박사)
1995 한국과학기술연구원(Post-Doc.)
1997 Univ. of Massachusetts Lowell (Post-Doc.)
1997~ 현재 충남대학교 유기소재·섬유시스템공학과 분석과학기술 대학원 교수

Fabrication of Organic Materials for Optical Module and Interconnection

충남대학교 공과대학 유기소재·섬유시스템공학과 (Na Young Kwon, Dai Geun Kim, and Taek Seung Lee, Chungnam National University, Organic and Optoelectronic Materials Laboratory, Department of Advanced Organic Materials and Textile System Engineering, Department of Nanotechnology, Graduate School of Analytical Science and Technology, 220 Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea) e-mail: tslee@cnu.kr

표 1. 임프린트용 화학소재의 주요산업과 적용기술

산업	적용 기술	기술 충족 재료의 조건
광전자 산업	· 광통신 수동소자 제작을 위한 광도파로 설계 · 광전송로 패턴 제작, 식각 공정기술	광도파로 성능조건과 임프린팅 제조 조건의 시너지 효과 구현
전자 산업	· 반도체 소자의 리소그래피 기술	정밀 나노패턴 붕괴 제어형 광기능성 재료의 개발
정밀화학 산업	· 바이오 칩 패턴 구현 기술	화학적 생물학적 안정성과 감지 성능향상을 충족하는 재료

임프린팅 리소그래피 기술의 핵심적인 요소라 할 수 있다. 표 1에 재료 관련 주요산업별 적용 기술과 조건을 정리하였다.

2. 광모듈 및 배선용 유기소재 공정 기술의 개요¹

나노임프린트 리소그래피(Nanoimprint lithography, NIL)는 콤팩트 디스크(CD)와 같이 마이크로 스케일의 패턴을 갖는 고분자 소재 제품의 대량 생산에 사용되는 엠보싱/몰딩 기술을 리소그래피에 적용한 것이다. NIL의 핵심은 전자빔 리소그래피를 이용하여, 나노스케일의 구조를 갖는 스탬프를 제작하고, 스탬프를 고분자 박막에 각인하여, 나노스케일의 구조를 전사하고, 이를 반복 사용함으로써, 전자빔 리소그래피의 생산성 문제를 극복하는 것이다. 이는 1995년 미국 프린스턴대학교의 Stephen Y. Chou 교수에 의해 도입된 나노 제작 방법으로, 낮은 생산성을 갖는 전자빔 리소그래피를 보완할 기술로 주목받고 있다.

2.1 가열식 나노임프린트 리소그래피

Chou 교수가 제안한 NIL에서는 나노크기의 패턴이 부조(요철) 형태로 형성된 스탬프로 poly(methyl methacrylate) (PMMA) 재질의 레지스트가 코팅되어 있는 기판 표면을 유리전이온도 이상의 고온조건인 140~180 °C에서 고압으로 누른 후 100 °C 이하로 냉각시켜 분리하게 된다. 이에 따라 레지스트에는 스탬프의 나노패턴이 반대형상으로 전사되고, 이방성 에칭작업을 거쳐 레지스트 표면에서 눌러진 부분 즉, 잔여층(residual layer)을 제거한다. 이어, Ti와 Au를 기재 전체 면적에 고르게 증착한 후 리프트 오프(lift-off) 공정을 통해 PMMA와

PMMA 위에 증착된 Ti와 Au 층을 제거한다. Chou 교수는 이 공정을 사용하여 10 nm 지름의 원형 금속 점 배열을 구현하는데 성공하였다.^{2,3}

NIL 기술은 크게 가열식(thermal-type) NIL과 자외선 경화식(UV) NIL로 나눌 수가 있는데, 대표적인 두 가지 타입의 NIL 공정을 그림 1에 나타내었다. 앞에서 언급한 Chou 교수가 개발한 NIL은 가열식-NIL에 속한다고 할 수 있다. 이 가열식-NIL기술은 다층화작업이 필수적인 반도체 디바이스 제작에 있어, 열변형에 의해 다층정렬이 어렵다는 단점을 갖고 있다. 그리고, 점도가 큰 레지스트를 임프린트하기 위해서는 고압(10~30 bar 정도)이 필요하기 때문에 기 제작된 하단의 나노 구조물을 파손시킬 소지가 있고, 불투명한 스탬프는 다층화 정렬작업에 불리하게 작용한다. 열 변형/경화 방식에서는 실리콘과 같은 기판에 고분자 박막을 스핀 코팅한다. 제작된 스탬프와 기판을 평행하게 놓고, 고분자의 유리 전이 온도까지 가열한다. 스탬프를 고분자 박막과 물리적 접촉을 시키고, 압력을 가한 후, 온도를 낮춘다. 온도가 유리 전이 온도 이하가 되면 스탬프와 고분자를 분리한다.

2.2 자외선 경화 나노임프린트 리소그래피

이에 반하여, UV-NIL은 1996년 Haisma 등에 의하여 최초로 제안되었는데, PMMA와 같은 열가소성 재질을 사용하는 가열식-NIL과 달리 저점성 광경화성 수지와 이를 경화하기 위하여 자외선을 사용하는 것이 특징이다.⁴ 따라서, UV-NIL은 상온 저압공정이 가능하여 다층화공정 및 대량생산에 적합하다는 장점을 갖고 있다.

—몰드-어시스티드 리소그래피(Mold-Assisted Lithography, MAL)

앞에서도 언급한 바와 같이 MAL은 1996년 Haisma 등에 의하여 제안되었으며 그의 기본원리는 그림 2와 같다.⁴ 먼저 나노구조물이 각인된 투명재질의 용융 실리카(fused silica) 스탬프를 제작하고 점착방지막을 처리한다. 그리고, 프라이머(primer)층을 형성하고 광경화 수지를 기재 위에 도포한 후 제작한 스탬프를 누르면서 300~400 nm 파장의 자외선을 조사하여 광경화수지를 경화시키게 된다. 최종적으로 임프린트된 고분자 박막에 RIE(reactive ion etching) 공정을 거쳐 나노구조물이 기재에 전사된다. 실제 실험에서는 나노구조물이 각인된 용융 실리카 스탬프를 사용하지 않고 실리콘 스탬프와 용융 실리카 기재를 사용하여 실험을 하였으며 진공 가압 프린터(vacuum contact printer)를 사용하여 가압력은 0.1 bar, 가압시간은 25초 조

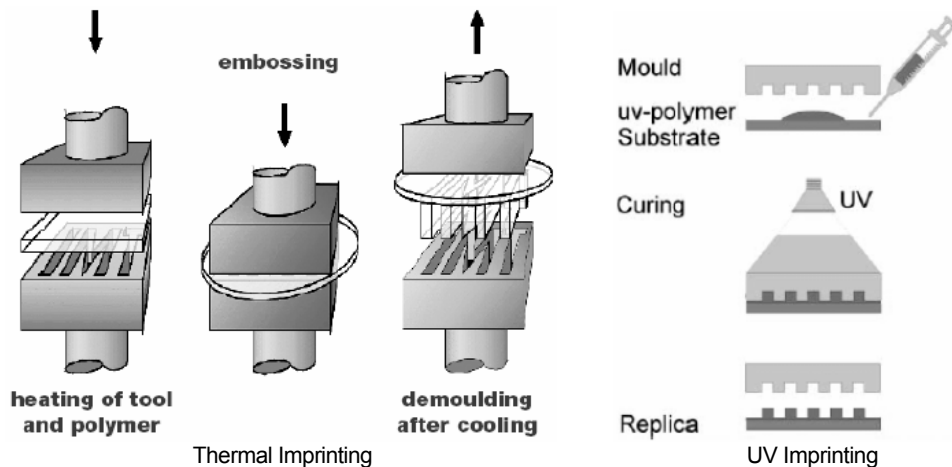


그림 1. 나노임프린트 리소그래피 공정 흐름도.

건에서 실험을 하였다. 본 연구에서 지적인 MAL의 문제점은 잔여층(residual layer) 두께의 불균일성이었다. 4인치 웨이퍼를 사용했을 때 500 nm 이상의 잔여층 불균일도(non-uniformity)를 보였고, 이를 해결하기 위하여 3 cm 크기의 스탬프를 사용했을 경우는 50 nm 보다 작은 불균일도를 보였다고 밝혔다. 따라서, 작은 스탬프를 사용하여 반복적으로 임프린트를 수행하는 공정 즉 스텝-앤-리프트(step-and-repeat)가 대면적 공정에서 불균일도를 감소시킬 수 있는 방안이라고 제시한바 있다.

유럽에서 UV-NIL에 대한 연구는 주로 Bender와 Otto 등에 의하여 이루어졌으며, 2004년에는 4인치 웨이퍼 위에 수지를 대략 200

nm 두께로 스핀코팅한 후 스텝-앤-리프트 방식을 사용해서 임프린트한 결과를 발표하였다.⁵ 이 연구에서는 마이크로 크기의 패턴이 각인된 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 스탬프를 사용하였으며 4인치 웨이퍼에 대해 37번의 임프린트를 수행하여 50 nm급 잔류두께를 얻는데 성공했다.

Chou 교수는 주로 가열식 NIL 개발에 주력하여 오다가, 광경화 나노임프린트 리소그래피(photocurable nanoimprint lithography (P-NIL))을 제안하였다.⁶ 이 P-NIL의 특징은 100 cp 정도의 점도를 갖는 광경화 수지를 100 nm 두께로 스핀코팅한 후 molecular-beam epitaxy (MBE)로 제작한 GaAs와 SiO₂ 재질의 스탬프와 수정 기재를 사용하여 임프린트를 수행하였으며, 전달층으로 PMMA를 사용한 것이다. 이 연구에서 Chou 교수는 5 nm의 나노구조물의 임프린트에 성공하였는데, 이는 UV-NIL기술이 sub-10 nm 구조물 제작에 활용될 수 있음을 확인시켜 주는 결과라고 판단된다.

-스텝-앤-플래시 임프린트 리소그래피(Step-and-Flash Imprint Lithography, SFIL)

텍사스 오스틴 대학의 Sreenivasan 교수 등은 1999년에 step and flash imprint lithography (SFIL) 공정기술을 제안하였다(그림 3).^{7,8} 초기에 제안한 SFIL 공정에서는 먼저 전달층(transfer layer)이 실리콘 기판 위에 스핀코팅 된다. 이어 UV투과성 스탬프가 전달층과 일정 간격이 유지된 상태에서 저점성 UV경화수지를 표면장력에 의하여 안으로 충전되도록 한다. 충전이 완료된 시점에서 스탬프를 가압하고 UV를 조사하여 경화시킨 후, 스탬프를 분리하게 된다. 이러한 작업을 반복하여 웨이퍼 전체에 대해 임프린트를 완료한 후 에칭과정과 리프트 오프(lift off) 과정을 거쳐 나노구조물을 기판에 전사한다. SFIL은 1-4 cp 정도의 저점도 수지를 사용하고 있기 때문에 1인치 영역에 대해 20 N 정도의 저압으로 임프린트가 가능하다. 또한, 임프린트된 레지스트층과 평탄화층에 대한 2단계 에칭과정을 통하여 잔여층 불균일에 의한 에칭결함을 상당히 감소시킬 수 있다. SFIL용 스탬프는 포토마스크용 수정 원판으로 제작하며 6인치 원판으로부터 4개의 스탬프를 제작할 수 있다. 대기압 분위기에 이루어지는 SFIL은 초기 액적의 위치를 최적화하여 임프린트 후 내부에 공기가 함입되지 않도록 한다. 이에 따라 초기에 액적형태였던 수지가 퍼져 sub-100 nm의 잔여 박막을 형성하

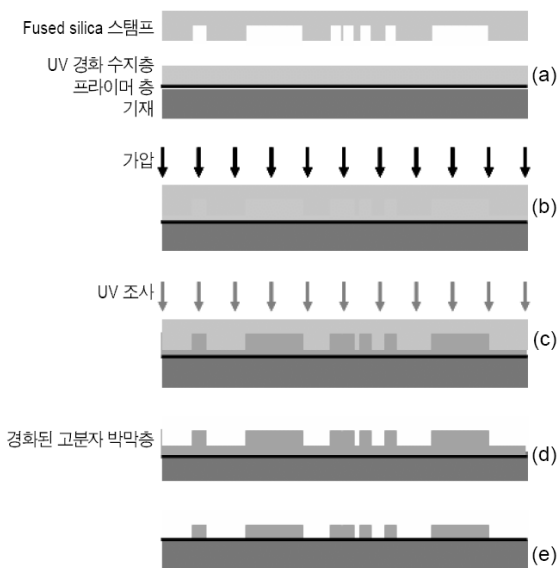


그림 2. Mold-assisted lithography의 개념도: (a) 점착방지막이 처리되어 있는 fused silica 스탬프와 프라이머(primer)층과 UV 경화수지층이 있는 웨이퍼; (b) 진공환경에서 스탬프를 가압하여 수지가 스탬프의 음각 구조물을 모두 채우게 함; (c) UV를 조사하여 수지를 경화시킴; (d) 스탬프를 분리한 후 패턴 사이에 존재하는 잔여층; (e) 에칭을 거쳐 잔여층을 제거한 고분자 마스크.

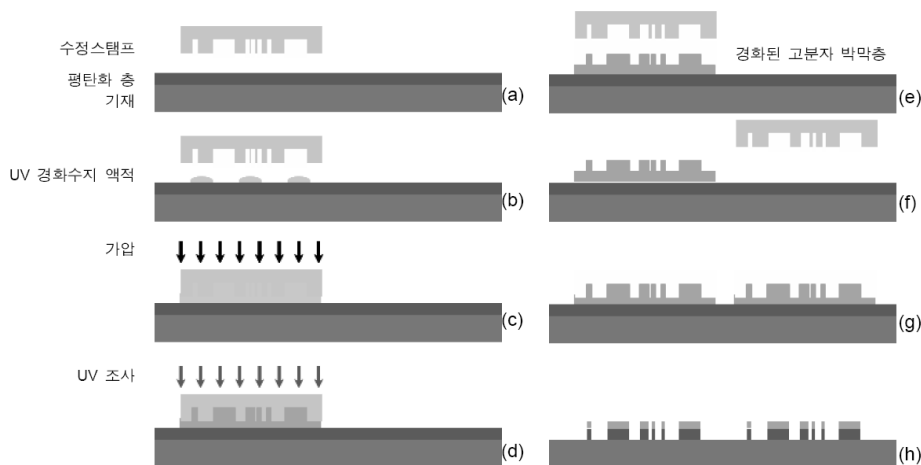


그림 3. Step and flash imprint lithography의 개념도: (a) 점착 방지막이 처리되어있는 1인치 크기의 수정 스탬프와 평탄화층과 UV 경화수지층이 있는 웨이퍼; (b) 수지액적을 웨이퍼 위에 디스펜싱함; (c) 대기환경에서 스탬프를 가압하여 수지가 스탬프의 음각 구조물을 모두 채우게함; (d) UV를 조사하여 수지를 경화시킴; (e) 스탬프를 분리함; (f) 스탬프를 임프린트 안된 영역으로이동시킴; (b)-(f)까지의 과정을 반복함; (g) 2단계 이방성 에칭을 거쳐 잔여층을 제거한 고분자 마스크.

는데 150초 정도의 가압과정이 필요하다.

-EPS 활용 UV-나노임프린트 리소그래피(UV-Nanoimprint Lithography Using an Elementwise Patterned Stamp(EPS))

UV-NIL공정에서 생산성을 확보하기 위한 가장 효과적인 방법은 스탬프를 대면적화 하는 것이다. 대기환경에서 대면적 스탬프를 사용하면 공기가 침투하는 결함이 발생하게 되는데 이를 제거하기 위해서는 MAL과 같이 진공환경을 만들어야 한다. 그러나 이러한 진공분위기를 위하여 반드시 진공장치가 필요하고 진공환경에 적합한 수지를 사용해야만 한다.

이러한 문제점을 해결하고자 KIMM에서는 저진공 환경 또는 대기압 환경에서 사용할 수 있는 대면적 EPS(Elemental Patterned Stamp)를 사용한 UV-NIL공정기술을 제안하였다(그림 4).^{9,10} 이

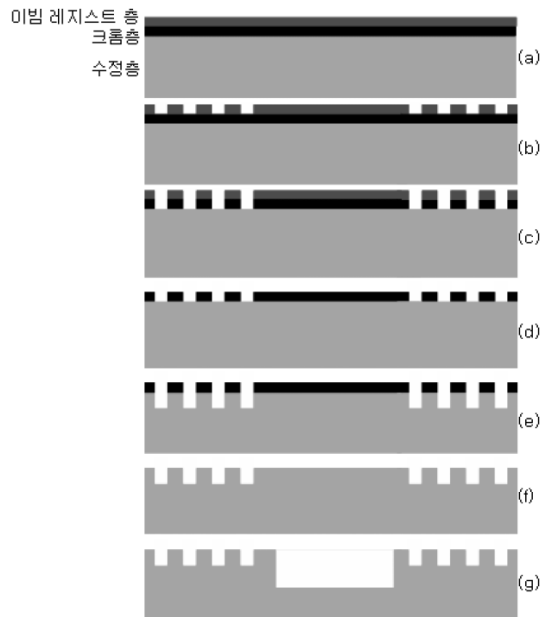


그림 4. EPS 제작과정의 개념도: (a) 이 빔 레지스트와 크롬 박막이 형성되어 있는 수정원판; (b) 이 빔 공정으로 이 빔 레지스트에 패턴을 형성함; (c) 에칭공정으로 크롬 박막에 패턴을 형성함; (d) 이 빔 레지스트를 제거함; (e) 패턴이 형성된 크롬 박막을 마스크로 하여 수정층을 에칭함; (f) 크롬 박막을 제거함; (g) 이방성 에칭 또는 습식 에칭으로 수정층에 채널을 형성함.

표 4. 핫엠보싱용 화학소재

Acronym	Full name	Temp. Stability in °C	Properties	Structure
COC	Cyclo-olefin/copolymer	140	Highly transparent	Amorphous
PMMA	Poly(methyl methacrylate)	80	Highly transparent	Amorphous
PC	Polycarbonate	130	Highly transparent	Amorphous
PS	Polystyrene	80	Transparent	Amorphous
POM	Polyoxymethylene	90	Low Friction	Semi-crystalline
PFA	Polyfluoralkoxy copolymer	260	High Chemical resistive	Semi-crystalline
PVC	Polyvinylchloride	60	Cheap	Amorphous
PP	Polypropylene	110	Mechanical Properties	Semi-crystalline
PET	Poly(ethylene terephthalate)	110	Transparent, Low friction	Amorphous/Semi-crystalline
PEEK	Poly(ether ether ketone)	250	High Temp. Resistivity	Semi-crystalline
PA	Polyamide	80-120	Good mechanical Properties	Semi-crystalline
PSU	Polysulfone	150	Chemical and Temp. Resistivity	Amorphous
PVDF	Polyvinylidene fluoride	150	Chemically inert, piezo-electric	Semi-crystalline

EPS는 나노패턴이 각인되어 있는 단위요소(element)들 간에 채널(channel)이 존재하여 임프린트 시 요소영역에 있던 공기가 요소영역 밖으로 밀려 나갈 수가 있다. 따라서, 대기압 및 저진공 환경에서 대면적 스탬프를 사용할 시 발생하는 공기가 침투하는 결함을 방지할 수 있다. 또한, EPS는 스탬프와 임프린트된 고분자 박막간의 분리를 용이하게 해주는 장점을 갖고 있다. 고수율, 대면적 패턴제작을 위해서 EPS를 이용한 공정기술이다.

한편, UV 경화방식과 유사한 방법이지만, UV 경화형 고분자를 이용, UV 조사를 통하여 경화하는 방식이 있다. 이 방법은 높은 온도와 압력을 필요로 하지 않기 때문에 최근에 많은 연구가 진행되고 있는 방식이다. 이렇게 하여 스탬프의 패턴은 고분자 박막으로 옮겨지게 된다. 패턴된 고분자 박막은 다음과 같이 사용될 수 있다.

-식각(Etching)이나 리프트-오프(Lift-Off) 공정을 위한 마스크

이 경우의 고분자 박막은 광학 리소그래피의 포토레지스트와 정확히 같은 역할을 하게 된다. 레지스트로 하부 반도체, 금속 박막의 식각 공정에 이용됨으로써, 기존의 광학 리소그래피가 제공할 수 없는 10 nm 이하의 선폭까지 저가로 제작할 수 있다.

표 2. 핫엠보싱용 화학소재와 UV 임프린트용 화학소재의 조건

	Thermal Imprint	UV Imprint
Resist	Thermoplastic Polymer	UV Curable resin
Stamp Material	Silicon, Nickel	Quartz(transparent)
Processing Temperature	>Glass transition temperature (~150 °C)	Room temperature
Processing Pressure	High(>30 bar)	Low(~1 bar) (Non-uniform residual Layer)
Overlay Alignment	Difficult	Possible to be much improved

표 3. 임프린트에 사용될 고분자의 조건

핫엠보싱용	UV 임프린트용
· T_g 이상에서 안정한 열적 성질 · 질적으로 우수한 박막성질 · 플라즈마 내에칭성 · single layer process에서 에치 마스크로 응용 · 최소 50 nm까지 최소 크기 도달 가능성	· 광화학적 경화 성질 · 경화온도 250 °C까지 열안정성

표 5. UV 임프린트용 화학소재

구조	역할	함량(%)
	실리콘 함유 acrylate monomer	44
	crosslinker (EGDA)	15
	Thinner (t-butyl acrylate)	37
	photoinitiator	4

고분자 자체가 전기적, 광학적 특성을 가졌을 경우나 광흡수 손실이 작은 경우에는 직접 임프린트 하여 광도파로의 코어 층을 패터닝할 수 있다. 이것은 광도파로 소자를 저가로 제작할 수 있는 기회를 제공한다. 또, 고분자가 전도성 혹은 반도체 고분자인 경우에는 메모리 소자, 유기 박막 트랜지스터 등을 저가로 제작할 수 있는 방법이 된다. NIL은 다양한 전자 소자, 저장 매체, 광소자, 바이오센서 등의 제작에 적용 가능함이 이후의 연구를 통해 밝혀져 왔다.

일반적으로 나노임프린팅 공정을 통한 광도파로 및 광배선용 소재에 적용되는 조건은 가열식 임프린트(핫엠보싱)용 화학소재와 UV 임프린트용에 따라 표 2 같이 구별된다.

따라서, 공정조건을 감안하면 UV 임프린트용 화학소재가 훨씬 안정한 조건에서 활용될 수 있으므로 대량 생산, 다층 공정과 스텝 앤드 리피트 공정에 유리한 측면이 있다. 위의 공정조건을 만족하기 위하여 표 3, 표 4와 같이 적합한 소재성능을 지녀야 한다.

UV 임프린트용 화학소재로는 표 5와 같은 광중합이 가능한 실리콘을 함유하는 아크릴레이트 계통의 단량체들을 formulation하여 사용하고 있다.

3. 광모듈 및 배선용 유기소재 공정기술동향¹¹

3.1 기술적 개론

임프린트 기술은 이미 1974년 Bell 연구소에서 이를 적용한 광소자 제작 가능성을 보고 하였듯이, 오래된 기술의 한 분야이다. 그러나 최근에 광학 리소그래피의 분해능 한계에 대한 인식이 확산되면서 프린스턴 대학의 Stephen Y. Chou 교수에 의해 제안된 나노임프린트 리소그래피가 차세대 나노 패터닝 공정기술로 새롭게 대두되고 있다. 1995년에 Chou 교수에 의해 보고된 본 기술은 기존의 광학 리소그래피가 가지는 분해능 한계를 뛰어넘어 수십 나노미터의 패턴을 경제적으로 구현할 수 있음을 보여주고 있다. 초기에 제안된 것은 열적 프레스 방식을 이용해 미리 가공된 스탬프의 패턴을 레지스트 박막에 전사시켜 원하는 레지스트 패턴을 형성하고 추가적으로 건식 식각(dry etching)을 통해 나노패턴을 얻는 방법으로 시작되어, 현재까지 다양한 연구그룹에서 독자적인 연구가 체계적으로 진행되어, 향후 본 기술이 나노제작 기술의 핵심적인 위치로 자리 매김을 할 수 있다는 가능성을 보여주는 연구결과들이 보고되고 있다.

연구분야를 대별해보면 ① 다양한 재질의 스탬프 설계 및 제작기술, ② 표면처리를 통한 이형 기술, ③ 대면적 나노패터닝 구현기술 개발, ④ 다층공정 임프린트를 위한 정렬 기술개발, ⑤ 고분자 거동에 대한 이론

적인 연구 및 현재 가장 폭넓게 연구되고 있는 ⑥ 대면적 초미세 가공이 가능한 장비개발, ⑦ 용도 및 응용성 개발 등으로 나눌 수 있다. 궁극적으로 보면 이러한 기술들은 별개의 기술이라기보다 서로 유기적으로 맞물려있는 관련기술들이다. 이러한 선행기술들이 확립되어야 나노임프린트 기술이 향후 핵심공정기술로 응용될 수 있는 것이다.

3.2 스탬프 제작관련 기술

나노임프린트 리소그래피 기술의 궁극적인 분해능 한계는 스탬프 제작기술의 한계와 맞물려있기 때문에, 본 기술이 성공하기 위해서는 우선 초미세 나노패턴을 가진 스탬프 제작기술이 선행되어야 하며, 지금까지 다양한 방법들이 제안되고 있다. 재료와 가공방법에 따른 장단점을 살펴보면 가장 일반적인 방법이 실리콘이나 실리콘 다이옥사이드를 이용한 전자빔 리소그래피와 습식, 플라즈마, 또는 반응성 이온 식각(RIE)을 이용한 제작기술이다.¹²

현재까지 본 방법을 이용하여 10 nm 패턴까지 큰 어려움 없이 형성되고 있는 정도이다. 하지만, 대면적 스탬프 제작을 위해서는 장시간의 공정시간이 요구되므로 상대적으로 비용이 높아지는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 독일의 Wuppertal 대학의 H. C. Scheer 그룹에서는 전자빔 리소그래피로 제작한 고가의 스탬프를 반영구적으로 이용하기 위해서, 강도가 있는 플라스틱 재료를 이용해서 음각 또는 양각으로 복제한 플라스틱 스탬프를 임프린트 공정에 적용함으로써 저가, 대량공정에 부합되는 기술로 제안하였다.¹³

현재 콤팩트 디스크(CD) 대량생산에 이용하고 있는 스탬프의 경우와 같이 레이저 리소그래피 또는 전자빔 리소그래피를 통해 금속(Ag, Ni)을 전기 주조하는 방법을 이용하는 CD 스탬프 제작법도 일반적으로 많이 이용하는 방법 중에 하나이다. 그러나, 이 방법에서 레이저 리소그래피를 이용할 경우 레이저빔의 집속점 크기 제한에 의해 마이크로 이하의 패턴 제작에는 유용하지 못한 단점이 있다.

향후 저가, 대량생산 나노임프린트 공정으로 되어야 할 것으로 기대되는 연속전사(roll to roll) 임프린트를 위해서도 스탬프제작은 중요하다. 공정기술이 발달할수록 대면적 임프린트 기술이 중요한 문제로 부각이 될 것인데 프린스턴 대학교의 Stephen Y. Chou 교수그룹에서는 공간 비율 배가법(spatial frequency doubling)을 이용한 대면적 100 nm 피치 그라팅(grating) 제작법을 제안하였다.¹⁴ 또한, 롤러 나노임프린트 리소그래피 구현을 위한 원통형타입의 스탬프를 제작하기 위하여 얇은 금속 필름을 매끈한 롤러에 둘러 붙여서 제작 가능함을 발표하였다.¹⁵

한편, 열 경화방식의 임프린트에 비해 높은 온도 압력에 따른 패턴의 왜곡이 적은 장점을 가진 스텝 앤 프레스 임프린트 리소그래피(step and fresh imprint lithography)에 대한 관심이 높아지면서 스탬프 역시 빛이 투과되는 투명한 재질을 이용한 스탬프 제작에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 동경이과대의 J. Taniguchi 그룹에서는 석영, 사파이어, 다이아몬드를 이용한 스탬프제작에 대해 발표하였는데 접촉 시 스탬프 패턴의 파손이나 왜곡없이 대량 복제에 적합한 재료로서 주목되고 있다.¹⁶ 큰 Knoop 강도, 큰 압축강도, 큰 인장강도, 높은 열전도성, 그리고 낮은 열팽창계수, 뛰어난 내열, 내약품성 등이 다이아몬드 재질이 사파이어나 석영에 비해 월등히 뛰어나기 때문에 비용만 적절하다면 최적의 스탬프 재질로서 다양한 응용성을 보여줄 것으로 기대된다. 제작은 실리콘 스탬프와 마찬가지로 일반적인 전자빔 리소그래피, 금속 리프트오프, 반응성 이온 식각 공정을 통해서 제작된다.

스탬프 제작과 더불어 스탬프와 고분자 재료를 간에 접촉 문제를 해

결하기 위하여, 제작된 스탬프의 표면처리가 중요한 요소로 대두되고 있다. 지금까지 알려진 이형체로서는 가장 일반적으로 이용되고 있는 것이 tridecafluoro-1,1,2,2-tetrahydrooctyltrichlorosilane이다. 플루오르화된 긴 알킬 탄소에 의해 비활성(passive) 표면을 형성함으로써 낮은 표면 자유 에너지를 가지게 스탬프 표면을 개질하여, 많은 횟수의 임프린트 사이클뿐만 아니라 피롤리돈과 같은 화학약품이 이용한 스탬프 세척에도 견딜 수 있는 표면을 제공한다.¹⁷

그 외에도 플루오르화된 에틸렌프로필렌(FEP) 혼성중합체, 테트라플루오렌 고분자, perfluoro-2-butene, Aquaphobe CFTM(Gelest Co.), KP-801MTM(Shin-etsu 화학) 등을 이용한 표면처리 및 스탬프와 고분자 표면과의 접착강도에 관한 연구결과들도 발표되고 있다.^{18,19} 가장 이상적인 것은 고분자의 점탄성 성질, 임프린트 온도, 스탬프와 고분자 사이 계면 에너지의 적절한 조화를 통하여 별도의 이형체를 이용하지 않는 것이다.

3.3 임프린트 리소그래피를 위한 재료개발 동향

기본적으로 스탬프의 구조를 고분자에 각인하여 기판에 전사하는 것으로서 패터닝 고분자 박막은 다음의 세 가지 정도의 용도로 사용될 수 있다.

- (a) 건식 식각을 위한 마스크
- (b) 리프트오프 공정을 위한 패턴 형성
- (c) 고분자 자체가 전기적, 광학적 특성을 가졌을 경우에는 소자자체 따라서, 재료 개발 역시 각각의 용도에 따라 차별화 되어 진행되어야 할 것이고 요구되는 물성들도 차별화가 되어야 할 것이다. 우선 건식 식각을 위한 마스크로 이용되는 경우 PMMA형 레지스트가 많이 사용되고 있지만, 유리전이온도(T_g) 범위와 점도가 적절한 일반적인 열가소성 수지 또는 열 경화성 고분자를 이용해도 무관할 것으로 생각된다. 최근에는 mr-I 8000TM 및 mr-I 9000TM(마이크로 레지스트 테크놀로지)과 같이 나노임프린트 리소그래피 전용 열가소성 수지 및 열경화성 포토레지스트를 판매하고 있다.^{20,21}

리프트오프 공정을 위한 패턴형성 재료 역시 건식 식각 마스크 재료와 유사하나, 보다 세밀한 가공이 가능한 전자빔 리소그래피에 적합한 재료가 요구된다. 금속 리프트오프 시에 현상액에 대한 용해도가 우수한 조건정도를 고려해서 사용하면 무리가 없을 것 같다. 하지만, 임프린트에서 고분자 재료 역시, 매우 중요한 인자로서 영향을 미치기 때문에 레지스트의 조성과 스탬프 계면에서의 상호작용, 흐름성, 스탬프를 떼어낼 때 재변형 등에 대한 연구가 지속적으로 이루어져서 최적화 및 특화된 재료공급이 수반되어야 할 것으로 생각된다.

마지막 용도의 경우 최근에 광소자 또는 디스플레이 소자에 응용성을 찾기 위한 연구가 다양하게 진행되고 있으므로 향후 관심이 증대될 분야로 생각된다. 먼저 도파로 타입 광소자 제작을 위해서는 스탬프에서 형성되는 패턴 자체가 광도파로로 이용되기 때문에 고분자재료 자체가 높은 광학적 특성이 요구된다. 업체별 재료들은 독창성을 가지고 각각 고유의 물성들을 보여주고 있지만 실제적으로 재료를 판매하고 있는 업체는 그다지 많지 않은 실정이다. 따라서, 향후 고분자재료는 각 기업의 고유 재료들을 개발하여 자체 수급하여 이용하는 추세로 진행될 것으로 기대되고 열 경화타입 보다는 UV 경화 고분자재료에 대한 수요가 높아질 것으로 기대된다. 코닝(前알라이드시그널), 듀폰 포토닉스 테크놀로지(前텔레포토닉스), NTT, 젤파이어, 다우 케미컬 등 다양한 기업에서 독자적인 재료개발이 진행되어 왔고, 현재까지 알려진 재료 중에 가장 뛰어난 성능을 보여주고 있는 재료는 알라이드시그널

에서 개발한 재료로서 1,550 nm에서 광 손실이 <0.2 dB/cm, 굴절률 이방성이 0.00002 정도이다.

최근의 발표자료에서 듀폰 포토닉스 테크놀로지서 자체 개발한 재료의 경우, 1,550 nm에서 광 손실이 <0.1 dB/cm, 매우 낮은 굴절률 이방성을 보고하였다. 그 이외에 NTT의 폴리이미드 계열 고분자가 1,550 nm에서 광 손실이 0.5 dB/cm, 굴절률 이방성이 >0.008 정도를 보이고, 다우 케미컬의 perfluorocyclobutane (PFCB)인 경우도 좋은 재료로서 예를 보여주고 있다.

향후 궁극적인 광학 고분자 재료의 개발방향은 낮은 광 손실, 낮은 굴절률 이방성, 낮은 편광 의존 손실, 높은 열 안정성, 좋은 접착성질, 공정 유용성, 환경적 안정성 등을 만족하는 새로운 재료의 개발이 주된 관심사가 될 것이다. 이러한 요구를 만족시키는 재료개발을 위해 각 기업에서 독자적인 연구개발이 체계적으로 진행될 것으로 생각된다. 또한, 마이크로렌즈 어레이나 확산판과 같은 디스플레이 광부품 재료 및 바이오센서 또는 마이크로 유체채널 진단 키트 제작을 위해 현재 많이 이용되고 있는 폴리디메틸실록산(PDMS) 또는 SU-8 2000TM(마이크로켄, 음각형 포토레지스트 고분자)과 더불어 새로운 재료 개발연구도 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

3.4 임프린트 리소그래피 응용기술 개발 동향

임프린트 리소그래피를 이용한 응용은 나노전자, 바이오, 광소자, NEMS, MEMS 등에 다양한 가능성을 가진 공정기술로서의 적용이다. 응용성 재고를 위한 선구적인 연구결과들을 보고하는 Chou 교수는 최근까지 다양한 응용 가능성을 강조하는 논문들을 지속적으로 보고하고 있는데, 1995년 초기논문에서 100 nm 주기의 sub-25 nm 직경 금속점 어레이를 임프린트와 리프트오프 공정을 통해서 제작 가능함을 보고하였다.

광자 디바이스 분야에 대한 응용성도 보여주었는데 200~300 nm 주기의 유기발광 패턴을 150 °C 진공 하에서 PMMA 매질 내에 블렌딩된 저분자 및 고분자 재료를 직접 임프린트하여 매우 높은 분해능의 유기발광 미디어를 제작하였다. Zone plates, 원형 그라팅(circular grating)을 가지는 광학 커플러와 같은 나노스케일 원형 패턴들은 집적화된 광학(integrated optics), 광 인터 커넥터, 빔 집속, 마스크없는 리소그래피 시스템 등에 핵심요소이다. 이러한 나노스케일 원형패턴들이 기존에는 전자빔 리소그래피 또는 X-선 리소그래피를 통해 제작되었으나 저가, 대량생산을 위한 리소그래피 방법으로서 NIL 공정을 적용해 성공적인 성과를 보여주었다.²²

비선형 광학 및 유기 광전자 분야에 응용이 가능한 분자배향에 관한 연구도 진행하였는데, 공정진행 동안에 분자와 발색단(chromophore)의 자발적인 배열이 일어남을 관측하였다.²³ 또한, 40 nm 이하의 T-게이트 및 공간 브릿지(air-bridge) 구조물과 같은 3차원 패턴 역시 3차원 몰드를 이용한 NIL과 금속 리프트오프를 통해서 형성이 가능함을 보고하였다.²⁴ 2002년 논문에서는 8 nm의 갭을 갖는 분자 디바이스 나노접촉(nanocontacts)을 전기적 이동(electromigration)을 이용한 제작가능성을 보고하였으나 아직은 일정한 갭 조절에는 미흡한 점이 있어 보인다.²⁵

이와 아울러 Chou 교수가 설립한 벤처업체인 나노옵토(NanoOpto)에서는 그라팅을 이용한 편광판(polarizer)을 제작, 상용화에 힘쓰고 있다. 이 기술은 폴리머 패턴을 임프린트 기술로 형성한 후에 메탈을 패턴위에 증착하여 증착된 이중막으로 파장이하의 금속그라팅(sub-wavelength metal grating)이 단차를 가지고 형성되어 있는 것이 특징

으로 현재 광통신시스템용 부품으로 판매되고 있고,²⁶ 또 다른 벤처업체인 나노넥스(Nanonex)에서는 나노임프린트와 관련된 모든 공정기술에 대한 토털 솔루션을 제공하고 있다.²⁷

또한, 관심이 집중되고 있는 플라스틱 전자디바이스에 응용성을 갖는 전도성 고분자의 패터닝을 위하여 독일의 Mainz대학의 R. Zentel, M. Behl 교수 그룹도 본 기술을 접목하고 있다.²⁸ 영국의 St. Andrews 대학의 I. D. W. Samuel 교수그룹도 핫엠티싱 방법을 통해 발광 고분자를 직접 패터닝해서 광학적 성질을 조사한 결과를 발표하였다.²⁹ 또한, Glasgow 대학의 D. S. Macintyre 그룹도 금속-반도체 필드 효과 트랜지스터(metal-semiconductor field effect transistor) 및 높은 전하이동도를 가지는 트랜지스터에 사용되는 T 모양의 게이트 구조를 형성하기 위해 임프린트 공정을 적용하였다.³⁰ 하지만, 세부사항이나 재료에 대해 알려진 바가 거의 없는 실정이다.

이상과 같이 매우 다양한 분야에 임프린트 리소그래피 공정기술이 응용될 수 있는 핵심기술로서 가능성은 충분히 입증되고 있다. 향후 보다 세밀한 공정개발을 진행하여 실제 양산기술로 성숙 발전시키기 위한 노력이 경주되어야 할 것으로 생각된다.

3.5 임프린트 공정기술 개발동향

앞에서도 소개한 바와 같이 임프린트 공정기술은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. Chou 교수에 의해 제안된 핫엠티싱 또는 열적 경화방법과 Wilson 교수에 의해 제안된 UV 경화 방법인데 각 공정에 따른 장, 단점이 있다. 최근의 공정기술들은 양산공정기술로 확립되기 위해 요구되는 다음과 같은 과제들에 집중되어 있다.

- (a) 다층 공정(multi-level process)을 위한 정렬 기술
- (b) 대면적화를 위한 스탬프 제조 및 각인 기술
- (c) 스탬프와 고분자의 접착 문제 처리기술
- (d) 스탬프의 수명 개선
- (e) NIL 공정에 적합한 고분자 재료 개발
- (f) 저가, 대량생산에 적합한 고속공정 개발

현재까지 보고된 바에 의하면 Lund 대학 Lars Montelius 그룹에서 전자빔 리소그래피와 니켈 전기주조공정으로 제작한 6인치 대면적 니켈 스탬프로, 스탬프와 기판사이의 평형성을 보정하기 위하여 오일밸런스 시스템이 도입된 장비를 이용하여, 100 nm 패턴을 6인치 실리콘 웨이퍼에 성공적으로 임프린트한 기술이 가장 큰 사이즈의 나노임프린트로 알려지고 있다. 향후 지속적으로 대면적 임프린팅 기술이 개발될 것으로 생각되고 이는 장비의 발전과 병행되어야 할 것이다.

이와는 역으로 광학 리소그래피에서 적용되는 스텝퍼(stepper)처럼 작은 사이즈의 스탬프를 이용한 스텝 앤 스텝퍼(step-and-stamp) 방식의 임프린트 기술도 개발이 기대되는 분야이다. 이러한 기술들이 체계적으로 정립되면 머지않아 연속공정(roll-to-roll) 임프린트 방식에 의한 소자제작이 이루어질 것으로 기대된다. 스텝퍼와 고분자의 접착 문제를 해결하기 위해 다양한 표면처리를 통하여 계면에서의 접착강도 및 표면에너지에 관한 연구보고들이 진행되고 있다. 동경이과대의 J. Taniguchi 그룹은 주로 임프린트 공정기술 자체와 관련된 연구결과들을 많이 발표하고 있는데, 스텝퍼와 광 경화성 레진 사이에서 표면처리제 종류에 따른 접착력을 측정한 결과들을 보고하였다.³¹ 또한, 임프린트 시 가해지는 압력의 균일성을 압력 감응 필름을 이용해서 측정하는 방법을 제안하고, 이론적으로 스텝퍼 압력에 의해 야기되는 웨이퍼의 휨 정도를 계산한 결과들을 보고하였다.³² 이는 스텝퍼의 수명파도 관계가 있는데 전자빔 리소그래피를 이용한 대면적 스텝퍼 가공이 쉽지 않은 작

업이기 때문에 스텝퍼의 장수명은 중요한 요소이다.

가공재질에 따라 깨짐성, 휨성, 오염성, 내열성, 투명성 등 여러 가지 인자에 대한 고려가 중요하다. 다른 대안으로는 강도가 있는 플라스틱을 이용해서 원판몰드의 패턴을 복제해서 복제된 스탬프를 이용하게 되면, 스탬프는 반영구적으로 사용이 가능함을 제안하는 연구결과들도 있다.³³ 고온, 고압에서 이루어지는 임프린트 공정에 비해 실온에서 공정 진행이 가능한 방법모색도 많이 이루어지고 있다. UV 경화 시스템 역시 그러한 맥락이지만 최근 일본 Himeji 공대의 S. Matsui 그룹은 일반적으로 이용되는 PMMA 대신에 spin on glass(GOG)를 이용해서 실온에서 200 nm 패턴형성을 보고하였다.³⁴

이상에서 살펴본 외국의 연구동향을 종합해보면 다양한 분야에서 관련기술들이 종합적이고 체계적인 연구가 진행되고 있음을 알 수 있다. 이미 관련 기술분야에 많은 기술적 노하우가 축적이 되어 상용화기술로의 발전을 모색하고 있는 추세이다.

3.6 국내 기술동향

국내의 경우 최근에 몇몇 그룹 및 연구과제에서 핫 엠티싱 및 임프린트 리소그래피에 대해 연구가 진행되기 시작하고 있고, 지금까지는 그다지 활발한 연구가 이루어지지 않은 것으로 생각된다. 지금까지 알려진 연구동향을 살펴보면, 먼저 서울대 그룹에서 고분자 필름의 용매 증기 처리를 통하여 별도의 이형제를 사용하지 않고 실온에서의 패턴 형성을 보고하였다.³⁵ 또한, 고온공정에서 발생하는 단점들을 해결하기 위하여 실온에서 고압에 의해 각인이 가능한 포토레지스트 패턴을 통해 나노패턴 형성이 가능하다는 연구결과를 보고한 바 있다.³⁶

고려대 그룹도 자체 제작한 장비와 열 경화방식 고분자를 이용하여 40 nm 패턴 형성을 보고하였다.³⁷ 또한, 한국과학기술원 그룹도 마이크로 몰딩기술을 이용하여 마이크로 사이즈의 다중모드 광도파로 형성을 통해 광 PCB 등의 분야에 다양한 기능성을 재고하고 있다. 산자부 주관의 차세대 기술개발과제에서 포항공대 그룹과 연세대 그룹에서 각각 LIGA 및 광 리소그래피, 습식 또는 건식 식각 공정을 이용한 몰드 제작기술을 통해 UV 또는 핫엠티싱 기술을 이용한 마이크로 사이즈의 마이크로렌즈 어레이 또는 2차원형상의 패턴제작기술을 개발하고 있는 정도이다.³⁸

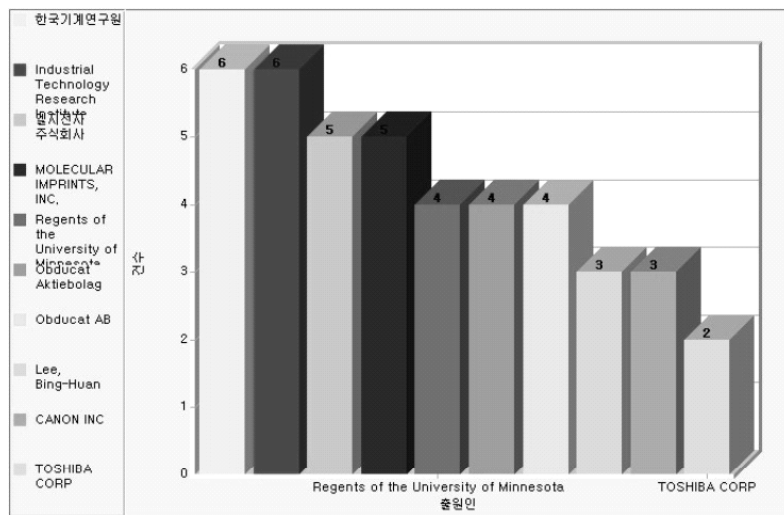
하지만, 이러한 기술들은 아직 마이크로 사이즈의 기술개발이 진행되는 정도이고, 실제적인 대면적 나노 사이즈 공정기술개발과는 다소 거리가 있다. 또, 현시점에서 국내에서 양산화 기술 개발을 진행하고 있는 경우는 거의 없는 실정이고, 지금부터라도 양산화 기술개발이 산학연 협동이 가능한 국책과제에 의해 체계적으로 진행되어야 할 것으로 생각된다. 다행히 최근 벤처업체인 LGS에서는 임프린트 리소그래피를 이용하여 광부품 및 디스플레이 부품 제작을 진행하고 있고 디지털바이오에서는 마이크로 몰딩 방법을 이용해서 다양한 마이크로 유체채널을 형성한 진단, 의료기 분야에 다양한 용도 모색을 진행하고 있다.

국내여건으로 나노임프린트 리소그래피 관련해서 재료관련 연구를 진행하는 기관은 거의 없는 실정이고, 그나마 광소자용 재료의 경우도 전자통신연구원(ETRI)과 광주과학기술원(GIST) 정도로서 최근에 좋은 연구결과들을 보고하고 있다. 국내기업으로는 캠옵틱스, 삼성종합기술원, 루벤텍스 정도를 들 수 있는데 상용화는 캠옵틱스에서만 이루어지고 있고 루벤텍스는 제한적인 용도로 재료를 공급하고 있는 정도이다.

캠옵틱스 재료의 경우, 재료의 특성은 광학 손실이 1,550 nm에서 광 손실이 0.35 dB/cm, 굴절률 이방성이 0.004 정도의 사양을 보여 주고 있다. 모든 면에서 외국과 비교해서 기술적으로 떨어지는 것이 사실이

표 6. 연도 및 국가별 특허출원 동향

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
EP	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	4	2	4
JP	0	0	0	0	0	1	1	0	3	2	9	1	1
KR	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7	7	5	0
US	1	0	0	1	1	1	3	7	13	6	18	7	9
WO	0	0	0	0	0	0	2	0	7	4	3	4	4



	한국기계연구원	Industrial Technology Research Institute	엘지전자 주식회사	MOLECULAR IMPRINTS, INC.	Regents of the University of Minnesota	Obducat Aktiebolag	Obducat AB	Lee, Bing-Huan	CANON INC	TOSHIBA CORP
건수	6	6	5	5	4	4	4	3	3	2

그림 5. 출원인별 특허 동향.

다. 아직 체계적으로 관련기술들을 개발한 예가 없고, 나노임프린트 공정기술을 위한 인프라가 거의 구축되어 있지 않은 상황이므로 초기단계로서 접근하는 것이 바람직할 것이다.

4. 특허 출원 동향

임프린트 분야의 연구주체는 기업이 가장 활발하게 특허활동을 하는 것으로 나타났으며 한국에서는 다른 나라에 비하여 정부차원의 연구가 많이 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 일본의 경우는 기업차원에서의 특허출원만 이루어지고 있음을 알 수 있었으며, 미국에서는 타국에 비해 대학에서의 연구가 많이 이루어지고 있었다. 또한, 한미일의 특허 점유율 및 증가율별 특허동향을 살펴보면, 한미일 공히 기술별 특허동향에 따라 각기 다른 증가율 및 점유율을 보인다.

한국의 경우는 컨택트 프린팅 및 기타기술(정렬 및 측정)에서 최근 특허출원이 활발하며 스탬프 제조, 가열식 임프린트 및 UV 나노임프린트 기술은 감소추세를 보이고 있다. 미국은 가열식 임프린트 및 UV 나노임프린트가 지속적으로 특허 출원되고 있으며, 스탬프 제조기술에 있어서 최근 특허출원이 활발한 것으로 나타났다. 또한, 최근 컨택트 프린팅 및 기타기술(정렬 및 측정)이 도입되고 있음을 알 수 있었다. 일본의 경우는 UV 나노임프린트 기술이 가장 활발하고 지속적으로 출원되고 있으며, 스탬프 제조기술 및 가열식 임프린트 기술에 있어서 최근

출원이 감소추세를 보이고 있다.

나노임프린트 기술에 대한 연도별 출원 경향을 살펴보면(표 6), 검색된 특허는 총 148편으로 1995년 1건을 시작으로 연평균 12.33건의 특허가 출원되었다. 출원년도 기준으로 2003-2005년에 출원이 집중되어 있었는데, 총 95편으로 전체의 64% 정도를 차지하고 있다. 특허국가별로는 일본특허가 18편, 미국특허가 67편, 한국특허가 23편, 유럽특허가 16편으로 미국에서 출원된 특허가 전체의 40%에 육박한다.

특허 출원인 기준 상위 10위 기관들의 특허 동향은 그림 5에서와 같이 특정 기업에 의해 독점되는 양상은 보이지 않고 있다. 국내 기업으로는 LG전자와 한국기계연구원에서 각각 5개와 6개의 특허를 보유하고 있으며, 다수의 미국 기업에 의해 분산되어 있는 양상을 보인다. 따라서, 광도파로 및 광배선 공정의 단순화를 위한 나노임프린트 기술의 응용은 현재 태동기인 시점에서 우리나라가 기술개발에 투자를 한다면 비교적 단시일 내에 기술을 선도하는 위치로 올라설 수 있다는 점을 특허분석결과는 시사하고 있다.

5. 결론

임프린팅은 다양한 패턴 구조를 저가로 생산할 수 있는 가능성에도 불구하고, 실제 산업체에서 채택되는 기술로 발전하기 위해서는 해결해야 할 많은 문제점을 가지고 있다. 다층 공정(multi-level process)을

위한 정렬 기술, 고밀도 패턴 대면적 스탬프, 스탬프와 고분자의 접착 (sticking), 경화 방법 및 임프린트 온도/압력, 스탬프의 수명, 고분자재료문제에 관하여 해결해야 할 과제들이 있다. 이는 개별적으로 연구되어야 할 사안이 아니라 체계적으로 관련지어 개발되어야 할 아이템이다. 따라서, 본 기술개발의 성공을 위해서는 스탬프 및 열 감응 또는 광 감응 패턴링 물질의 설계와 합성, 광도파로 공정을 위한 임프린팅 공정 기술, 특성 분석 등 다학제적인 연구 협력이 요구된다.

나노기술의 산업화를 위한 세계적인 경쟁은 치열하며, 결국 새로운 패러다임에 기초한 소자의 개발과 이를 값싸게 고속으로 대량생산할 수 있는 제조 기술을 확보하는 국가가 21세기 과학 기술을 선도하게 될 것이다. 임프린트 리소그래피 기술은 현재 연구되고 있는 나노 구조 제조 기술 중, 가장 실용화가 유력한 기술로 주목받고 있으며, 이제 학계에서의 연구를 넘어서서 기업체에서의 실제 적용을 위한 기술 개발로 이어지고 있다. 이 기술을 이용한 광도파로 및 광배선 공정에 사용은 현재의 기술 수준으로 그 가능성에도 불구하고 산업화 기술로 성장하기 위해서는 몇 가지 문제점을 안고 있다. 대면적화 기술, 다층 공정을 위한 나노미터급 정렬 기술, 스탬프의 장수명화 기술, 고분자 재료의 연구 개발 및 관련 장비 개발이 요구된다. 이러한 기술적 과제들을 해결하기 위한 연구 개발 노력이 세계적으로 진행중이며, 이러한 기술적 과제들이 해결된다면, 기존의 공정 기술과는 비교할 수 없는 경제성을 가진 기술로 자리 잡을 것이다. 저가/고속/대량 생산이 가능한 나노소자 제조 기술의 개발이 미칠 경제적 효과는 금액으로 환산할 수 없을 만큼 지대하다.

스탬프로 사용하는 안정성 높은 화학재료, 패턴에 사용하는 열 감응과 UV 감응 고분자재료의 특성에 따른 데이터 베이스를 구축하여 재료의 화학적, 광학적 특성을 유지하며, 광도파로 및 광배선 공정에 사용되기 위하여 각 단위별로 그리고 각 공정 간의 품질경영의 적용과 그에 따른 6 시그마적 통제화에 따른 합리화가 요구된다.

참고문헌

- 정준호, 이응숙, *물리학과 첨단기술*, 10월호 2 (2004).
- S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, *Appl. Phys. Lett.*, **67**, 3114 (1995).
- S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **14**, 4129 (1996).
- J. Haisma, M. Verheijen, and K. Heuvel, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **14**, 4124 (1996).
- M. Bender, M. Otto, B. Hadam, B. Spangenberg, and H. Kurz, *Microelectron. Eng.*, **61**, 407 (2002).
- M. D. Austin, H. Ge, W. Wu, M. Li, Z. Yu, D. Wasserman, S. A. Lyon, and S. Y. Chou, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 5299 (2004).
- M. Colburn, S. Johnson, M. Stewart, S. Damle, T. Bailey, B. Choi, M. Wedlake, T. Michaelson, S. V. Sreenivasan, J. Ekerdt, and C. G. Wilson, *SPIE's 24th International Symposium on Microlithography: Emerging Lithographic Technologies III*, Santa Clara, CA, **3676**(1), 379 (1999).
- S. V. Sreenivasan, *ASME International Conference on Integrated Nanosystems*, Sept. 18-20, Berkeley, USA (2002).
- J. H. Jeong, Y. S. Sim, H. K. Sohn, and E. S. Lee, *Microelectron. Eng.*, **75**, 165 (2004).
- 심영석, 정준호, 손영기, 신영재, 이응숙, 최성욱, 김재호, *한국진공학회지*, **13**, 39 (2004).

- 나노공정 · 측정기술동향, 한국과학기술정보연구원 (2002).
- S. Matsui, Y. Igaku, H. Ishigaki, J. Fujita, M. Ishida, Y. Ochiai, M. Komuro, and H. Hiroshima, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **19**, 2801 (2001).
- H. Schulz, D. Lyebyedye, H. C. Scheer, K. Pfeiffer, G. Bleidiessel, G. Grutzner, and J. Ahopelto, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **18**, 3582 (2000).
- Z. Yu, W. Wu, L. Chen, and S. Y. Chou, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **19**, 2816 (2001).
- H. Tan, A. Gilertson, and S. Y. Chou, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **16**, 3926 (1998).
- J. Taniguchi, Y. Tokano, I. Miyamoto, M. Komuro, and H. Hiroshima, *Nanotechnology*, **13**, 592 (2002).
- T. Bailey, B. J. Choi, M. Colburn, M. Meissl, S. Shaya, J. G. Ekerdt, S. V. Sreenivasan, and C. G. Wilson, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **18**, 3572 (2000).
- I. Martini, S. Kuhn, M. Kamp, L. Worschech, A. Forchel, D. Eisert, J. Koeth, and R. Sijbesma, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **18**, 3561 (2000).
- K. Deguchi, N. Takeuchi, and A. Shimizu, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41**, 4178 (2002).
- <http://www.microresist.de/index.htm>.
- H. Schulz, H. C. Scheer, T. Hoffmann, C. M. Sotomayor Torres, K. Pfeiffer, G. Bleidiessel, G. Grutzner, Ch. Cardinaud, F. Gaboriau, M. C. Peignon, J. Ahopelto, and B. Heidari, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **18**, 1861 (2000).
- M. Li, J. Wang, L. Zhuang, and S. Y. Chou, *Appl. Phys. Lett.*, **76**, 673 (2000).
- J. Wang, X. Sun, L. Chen, L. Zhuang, and S. Y. Chou, *Appl. Phys. Lett.*, **77**, 166 (2000).
- M. Li, L. Chen, and S. Y. Chou, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, 3322 (2001).
- M. Austin and S. Y. Chou, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **20**, 665 (2002).
- <http://www.nanoopto.com>.
- <http://www.nanonex.com>.
- M. Behl, J. Seekamp, S. Zankovych, C. M. Sotomayor Torres, R. Zentel, and J. Ahopelto, *Adv. Mater.*, **14**, 588 (2002).
- J. R. Lawrence, P. Andrew, W. L. Barnes, G. A. Turnbull, and I. D. W. Samuel, *Appl. Phys. Lett.*, **81**, 1955 (2002).
- D. S. Nacintyre, Y. Chen, D. Lim, and S. Thomas, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **19**, 2797 (2001).
- J. Taniguchi, T. Kawasaki, Y. Tokano, Y. Kogo, I. Miyamoto, M. Komuro, H. Hiroshima, N. Sakai, and K. Tada, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41**, 4194 (2002).
- K. Deguchi, N. Takeuchi, and A. Shimizu, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41**, 4178 (2002).
- Y. Hirai, S. Harada, S. Isaka, M. Kobayashi, and Y. Tanaka, *Jpn. Appl. Phys.*, **41**, 4186 (2002).
- Y. Igaku, S. Matsui, H. Ishigaki, J. Fujita, M. Ishida, Y. Ochiai, H. Namatsu, M. Komuro, and H. Hiroshima, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41**, 4198 (2002).
- D. Y. Khang and H. H. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, **76**, 870 (2000).
- D. Y. Khang, H. Yoon, and H. H. Lee, *Adv. Mater.*, **13**, 749 (2001).
- C. M. Park, B. H. Choi, C. K. Hyon, S. W. Hwang, D. Ahn, and E. K. Kim, *J. Kor. Phys. Soc.*, **39**, 157 (2001).
- 제2회 고기능 초미세 광, 열유체 마이크로부품 기술개발 Workshop (산업자원부), 2002년 7월.