

나노임프린트 리소그래피 기술의 연구 및 응용 동향

나도백¹, 박장선[#]

Trend of recent research and applications on Nanoimprint Lithography

D. B. Nah, J. S. Park

Abstract

With intensive research and development to mass particular nanostructure of 10nm, Nanoimprint lithography will soon be put to practical use. This paper reviews latest research and application trend and also covers technical articles about Nanoimprint lithography technology published since 1998, including statistical analysis of collected data(Web of Science DB) and related technical trend.

Key Words : nanoimprint, lithography, thermal-NIL, UV-NIL, ITRS, Technical Information analysis

1. 서론

나노임프린트 리소그래피(Nanoimprint lithography : 이하 NIL로 표기)기술은 광 디스크 제작에서 유용한 엠보싱 기술을 발전시켜 해상도를 향상시킨 기술이다. 1995년 미국 Princeton 대학의 Chou 교수팀에 의해 최초로 제안된 이후, 10nm 수준의 미세구조를 저렴한 값과 높은 재현성으로 대량 제작할 수 있는데 주목하고 집중적인 연구개발이 진행된 결과 실용화에 다가서고 있다[1]. 현재 NIL기술은 연구자 측의 요소기술 개발 단계에서 수요자 측의 실용화 단계로 이행되는 상황이다. 이러한 환경의 변화를 이끄는 것이 NIL에 대한 치열한 국제적인 연구개발 경쟁이며, 한국은 중요한 도전자의 위치에 있다.

본문에서는 NIL에 대한 최근 연구개발과 응용동향을 고찰하고, Web of Science DB를 통해 1998년부터 현재(2008년 8월)까지 발표되었던 논문들을 조사, 관련 과학기술정보들을 통계학적으로 분석하여 그 추이와 각국의 연구개발 및 응용기술의 동향을 살펴보았다.

2. 연구개발 동향

나노임프린트의 접근방식에 대한 연구는 다양하다. 대체로 열 나노임프린트(thermal nanoimprint), 광 나노임프린트(UV-nanoimprint), 소프트 리소그래피(Soft Lithography) 기술에 대한 연구가 가장 활발하며, 열 및 광 나노 리소그래피를 융합한 열-광 하이브리드 NIL, 반전 임프린트, 직접가압 NIL, 롤러 NIL, 나노주조 리소그래피 방법 등이 발표되고 있다[2][3][4].

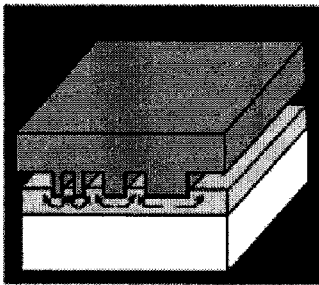
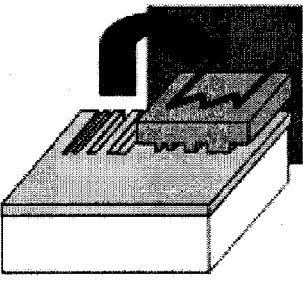
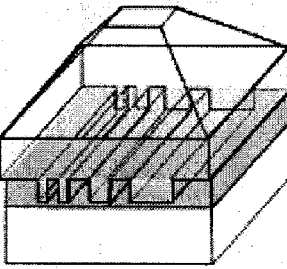
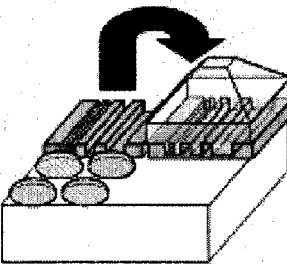
열 나노임프린트(thermal nanoimprint)는 유리 전이점(Tg) 부근의 온도상승과 냉각이라는 열 사이클 프로세

1. 한국과학기술정보연구원 정보분석센터

교신저자: 한국과학기술정보연구원 ReSEAT프로그램, E-mail:jangseon@reseat.re.kr

스를 이용한 방법이며, 점성이 낮은 자외선 경화수지를 사용한 방법이 광 나노임프린트(UV-nanoimprint)이다. 소프트 리소그래피(Soft Lithography)기술은 PDMS를 몰드로 사용하는 접촉 프린트(contact print) 기술로서, 몰드는 레지스트 패턴을 형성한 후, PDMS를 넣어 가열 경화시키고, 레지스트 패턴으로부터 박리하여 성형한다.

열-광 하이브리드 NIL는 폴리머의 Tg를 낮추면 건식 에칭 내성이 저하하고, 광 경화시키면 건식 에칭 내성이 증가하는 현상을 이용하는 방법이다. 기판에 낮은 Tg 폴리머를 도포하여 열 임프린트에 의해 몰드 패턴을 전사한 후, 광 마스크를 통해 광을 조사하여 경화시킨 후, 산소 플라즈마 에칭을 한다.

Process	Patterning scheme	Step & repeat (S&R) variant
Thermal nanoimprint lithography (NIL, T-NIL) also called Hot embossing lithography (HEL)	 <p>Process: Compression of thin thermoplastic film between hard stamp and substrate and molding by squeeze flow</p>	 <p>Step&stamp Imprint lithography (SSIL): Similar to standard stepping lithography using small stamps (dies): only local heating over T_g</p>
UV-nanoimprint lithography (UV-NIL) (a) Hard stamp lithography (b) Soft (stamp) lithography (SL)	 <p>Process: Low pressure filling of liquid resin at room temperature by capillary action and hardening by UV-exposure through the stamp; coating by dispensing or spin coating of precursor</p>	 <p>Stamp&flash imprint lithography (SFIL/O): SSIL using a negative resist: coating and UV-exposure only locally SFIL/R (reverse tone SFIL): Patterning of planarization layer + overcoating enables imprint over intrinsic substrate topology</p>

< Fig. 1 > Comparison of thermal - UV Nanoimprint lithography

초고정밀 가공기술을 필요로 하는 전시장치의 개발은 NIL 실현의 관건이라 할 수 있다. 각국의 연구기관, 대학과 주요 반도체장비 업체를 중심으로 장비와 프로세스 기술개발이 경쟁적으로 진행되고 있다. 기술을 양산에 적용하기 위해서는 전사 결함의 문제를 해결할 필요가 있다. 전사 결함 요인이 장치 또는 몰드인지 불분명한 점이 많고, 현재 결함 밀도에 대한 보증이 되어 있지 않다. NIL은 패턴원형인 몰드를 사용하여 저렴하게 대량으로 전사할 수 있는 것이 특징이지만, 미세패턴 제작은 보통 전자선 노광에 의한 리소그래피와 건식 에칭 또는 이방성 습식 에칭으로 이뤄지기 때문에 몰드 자체는 고가이다. 따라서 경제적 가격의 대면적 몰드 제작기술, 롤러형 몰드 제작기술, 열 임프린트용 몰드의 내구성 향상, 표면처리, 3차원 형상검사 등의 기술 향상이 필요하다.

미국에서는 Molecular Imprint사, Texas 대학, Motorola사를 중심으로 하는 그룹과 Chou 교수를 중심으로 하

는 Princeton 대학, Nanonex사의 그룹 활동이 매우 활발하고, 광 나노임프린트에 치중하고 있다. 또한 국방 부산하 DARPA를 위시한 국가기관의 투자가 활발하며, 산학연구 컨소시엄이 잘 형성되어 있다. EU는 NaPa(emerging NanoPatterning method) 프로젝트에 나노임프린트를 반영하여 EU 전체의 프로젝트로 추진하고 있으며, 오스트리아의 장치업체인 EV그룹이 중심이 된 민간주체 컨소시엄의 활동이 활발하다. 일본은 2005년 1월 NPO 정보과학기술네트워크가 산업과학기술총합연구소(AIST)와 협력하여 NIL연구개발 지원 서비스를 하는 NiPS 컨소시엄을 설립하여 나노임프린트 기술의 보급, 실용화 지원, 신기술 개발을 목적으로 2005년 4월부터 활동을 시작하였다. 한국, 대만, 중국, 싱가포르 등 아시아의 주요 국가들은 국별로 나노기술 프로그램에 따라 대학과 연구기관에서 연구가 활발히 진행 중이다. 나노메카트로닉스 기술개발사업단을 중심으로 NIL 기술개발이 이뤄지고 있는 한국은 논문 수에서 미국 다음이며, 일본, 프랑스, 독일과 거의 대등한 수준에 이르고 있고, 일부 반도체용 NIL 장치개발에서도 세계적 성과가 발표되고 있다[6][7].

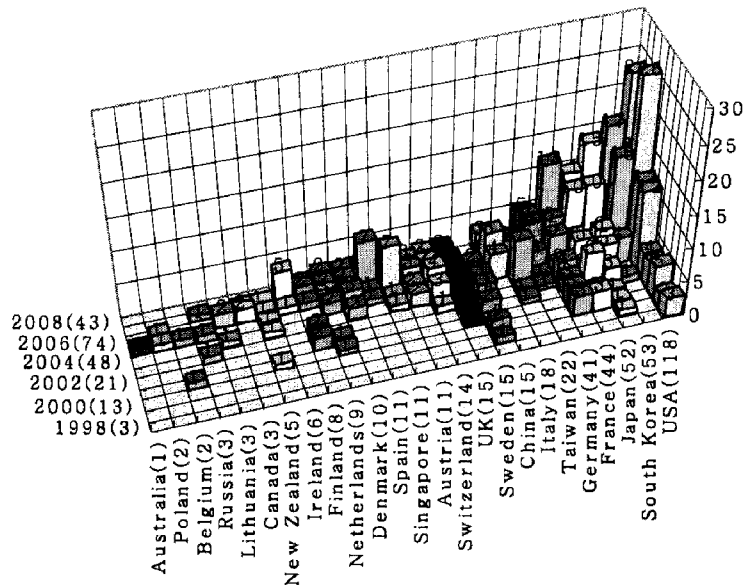
3. 응용 기술

반도체 분야를 비롯한 일부 분야에서는 나노리소그래피 기술이 응용되고 있다. 그러나 이 기술은 전반적으로 볼 때 아직도 R&D를 거치고 있는 단계이며, 지속적으로 진화하고, 새로운 응용연구가 이뤄지는 추세이다. 현재 반도체분야를 중심으로 광학, 미디어, MEMS, 생화학분석, 바이오, 환경과 에너지 등에 대한 응용연구가 매우 활발하다[3][4]. LSI는 대표적 응용분야이다. 2003년판 국제반도체기술로드맵(International Technology Roadmap for Semiconductor: ITRS) 이래 NIL이 기술노드 (hp) 후보로 채택되고 32nm(2013년), 22nm(2016년), 16nm(2019년)으로 미세화에 대응할 수 있는 나노 프로세스 기술로 주목 받고 있다. NIL가 반도체 프로세스에 사용될 때의 이점은 ITRS 로드맵위원회가 앞으로의 주요 과제로서 지적하는 코스트 다운, 프로세스 단축, LER(Line-edge Roughness) 저감을 기대할 수 있다. 반도체 프로세스는 NIL 수요가 현실적으로 가장 중요한 수요 분야로서, 투명유리의 몰드를 사용한 광 나노임프린트 리소그래피 기술이 개발되어 중합이 크게 진전되고 있다. 미국의 Molecular Imprints Inc를 중심으로 반도체 프로세스용 NIL 기술개발이 진행되고 있다[5].

광학부품 분야에서 저렴한 NIL 기술개발에 의해 미세패턴이 광학부품에도 사용되어 왔다. 예를 들면, NIL을 사용하여 형성한 광 도파로의 광 커플러 모듈이 2005년부터 상용화되었다. 또한 이 기술을 이용하여 광 반사율을 1/10로 줄인 액정 패널용 프론트 라이트가 등장하였다. MEMS(Micro Electro Mechanical System) 제품에는 각종 센서와 광학부품, 고주파 통신용 디바이스와 시스템인 광MEMS, 고주파(RF)-MEMS, 그리고 DDS(Drug Delivery System), μ TAS(Micro Total Analysis System) 같은 바이오-의료 관련 시스템까지 많은 영역이 포함되고 있다. MEMS 제품을 제조하는 입장에서 볼 때 NIL기술에 대한 기대가 크다. 바이오-의료 분야에서는 NIL의 응용을 통해 기술적 돌파를 기대하는 과제들이 많다. NIL기술을 이용함으로써 3차원 마이크로 유로를 만들 수 있기 때문에 DNA분석 등 생화학 분석을 위한 PCR 칩 및 μ -TAS 분야에서 응용이 확대될 전망이다. 환경-에너지 분야에서 미세가공 기술을 필요로 하는 디바이스 또는 재료는 각종 환경 센서, 연료전지 부품들이 있다. 아직 나노 리소그래피 기술의 적용 예는 없지만 센서분야와 연료전지 분야에서 이 기술을 응용하여 패턴을 형성할 가능성은 충분하다

4. 학술정보분석

ISI Web of Knowledge 플랫폼을 통해 제공되는 Web of Science DB는 미국 Thomson Scientific 사가 제공하는 순수 연구 논문을 비롯하여 저널에 실린 Letter, correction, addition, except, editorial 혹은 review 논문 등에 대한 검색이 가능하며, 각 문헌에 대한 인용 문헌, 제목, 저자, 키워드, 초록 및 기타 문헌 정보를 수록한 서지 데이터베이스로 잘 알려진 세계적인 데이터베이스이다. 이러한 Web of Science DB에 발표된 나노임프린트 리소그래피 관련 학술정보(1998년~2008년 8월)를 검색하여 국가별, 기술별, 연구기관별, 연도별 발표 동향과 분포현황을 분석하였다. 조사결과 418건이 검색되었으며, 데이터 클리닝을 통해 이들 전체를 대상으로 분석을 실시하였다.



<Fig. 2> Research trend of NIL Technology in each country

5. 결론

NIL 기술은 낮은 가격과 대량 생산의 이점으로 주목 받는 나노 스케일 리소그래피 기술이다. 현재 이 기술은 요소기술 연구단계에서 실용화 단계로 이행되는 과정에 있으나 아직은 대량 가공기술로서 확립되어 있지 않으며, 다른 리소그래피에 비해 경쟁력이 떨어지는 상태이다. 이것은 앞으로 연구개발 수요가 많음을 의미한다. 국제적으로 NIL이 주목 받는 가장 중요한 배경은 2010년 이후 나노 스케일 반도체 제조의 핵심기술이라는 점이다. 광학, 패턴미디어, MEMS, 생화학분석, 바이오, 환경 에너지 등의 분야에서도 NIL을 응용하기 위한 여러 새로운 기술적 접근이 이루어지고 있다. 2000년대 초부터 나노기술 개발을 국가연구 프로젝트로 추진해 온 한국은 치열한 국제 연구개발경쟁 환경에서 선진국들과 함께 중요한 도전자의 위치에 있다. 앞으로 국가적 NIL 기술경쟁력 강화를 위해 요소기술 개발과 실용화를 위한 지속적인 투자 확대가 필요하다.

참고 문헌

- [1] D. J. Wagner, A. H. Jayatissa, "Nanoimprint lithography: Review of aspects and applications", Proc. of SPIE, Vol. 6002, 2005, pp.60020R1~9
- [2] Helmut Schiff, "Nanoimprint lithography: An old story in modern times? A review", Journal of Vacuum Science and Technology B 26(2), Mar./Apr. 2008, pp.458~480.
- [3] 한국과학기술정보연구원, "KISTI 유망기술 100선(나노기술부문): 나노 스케일 디바이스생산을 위한 나노리소그래피 기술", 정보분석센터 보고서 BA876, 2007. 11, pp.205~252
- [4] NTTアドバンステクノロジー株式会社, "ナノインプリント技術の調査", NEDO 2004年度成果報告書(日本), 2005. 3.
- [5] 水野 文夫, "半導體技術ロードマップ "ITRS2003"から見た技術動向", クリーンテクノロジー, 14(8), 2004. 8, pp.39~45
- [6] "나노기술안내", <http://www.nnfc.com/index.html>
- [7] "나노관련 국내 신기술 연구개발 동향분석(2006. 4)", <http://www.eic.re.kr>