

소프트 스탬핑 프린팅 장비 개발에 관한 연구

장남은*, 김남국*, 이운섭*, 김용태**, 신관우**
 공주대학교 공과대학 전기전자제어공학학과*, 지앤씨테크**

A Study on the Development of Soft Stamping Printing Equipment

Nam-Eun Jang*, Nam-Kuk Kim*, Youn-Seop Lee*, Youg-Tae Kim**, Kwan-Woo Shin**
 Dept. of Electrical Engineering Kongju National University*, G&C Tech Co., Ltd.**

Abstract - Several universities in Korea are beginning studies related to soft stamping processes but since the studies are done with manual works thus systematic tests can't be performed due to difficulties in producing reproducible and repeatable fine patterns. Therefore, the phenomenon of destruction of the pattern forms of elastic polymers occurred during working because of inconsistent printing pressures and printing time and there have been difficulties in maintaining flatness or producing uniform and fault-free fine structures in printing large areas and also, there have been difficulties in multi-layered processes as patterns were changed by contacts in registering and errors in alignments.

The purpose of development of this technology is to improve the process of soft lithography so that contacts between PDMS stamps and metal coated substrates in order to develop a stamp printing device that can not only shorten but also optimize processes, secure reproducibility and repeatability and is advantageous in printing large areas. Also, using this technology, this author is to develop equipment technologies and applied technologies for nano grade pattern printing processes with new concepts based on fine contact printing processes in order to apply them to diverse nano patterning processes.

1. 서 론

나노기술(NT)은 정보기술(IT), 바이오기술(BT) 등과 함께 반도체, 전자소재, 가전 등 세계 산업 판도를 향후 10년 내에 완전히 뒤바꿔 놓을 만한 폭발력이 있으며, 나노기술을 기반으로 한 신기술산업이 2010년에 약 8조 달러에 이를 것으로 예상되고 있는 만큼 미국, 일본, 독일 등의 선진국들은 이미 치열한 기술경쟁을 벌이고 있는 상황이다. [1][2]

최근 해상도(resolution)의 범위가 나노급 이하로 내려가면서 새로운 반도체 공정 방법을 시도하게 되었다. 하지만, 나노급 이하의 해상도를 얻기 위해서 언급된 방법들을 사용하자면 초기자본 및 유지비 등의 비용이 많이 들 뿐만 아니라, 소스가 방사능의 누출을 유발할 수 있기 때문에 환경 친화적이지도 않고, 평평하지 않은 표면의 패터닝에는 쉽게 사용할 수 없다는 것도 난제로 떠오르게 되었다. 이러한 한계로 인하여 새로운 방법을 모색하게 되는데, 가장 효율적인 방법이 소프트 리소그래피(soft lithography)이다. [3][4]

나노 프린팅 기술은 나노스케일의 소자를 저가로 대량 생산하는 것을 가능케 하여, 반도체 분야에서 이룩한 국내의 기술력을 더욱 발전시킴으로써, 초고집적화가 가속되고 있는 정보처리, 저장과 관련된 신기능의 소자 개발

을 가능케 하여 세계적인 기술 우위를 지속적으로 확보하는데 기여할 것이다.

나노 프린팅 기술은 학계에서의 논의 수준을 넘어서서, 산업체에서 활용 가능한 기술로 개발되는 초기에 있다. 따라서, 본 기술의 제반 문제점을 극복하고, 산업체 적용이 가능한 기술로 개발하는 것은 세계적으로 경쟁이 치열한 나노기술 개발 및 산업화에 있어 세계를 선도하는 데 기여할 것이다.

본 기술개발에서는 미세접촉인쇄공정을 기반으로 한 새로운 개념의 나노급 패턴 프린팅공정 장비기술 개발 및 응용기술을 개발하여, 초고정밀도 정보저장용 매체, 디스플레이, 생체분자의 패터닝바이오센서(biosensor), 크로마토그래피(chromatography), 면역성 진단, 세포배양, DNA 미세정렬-분야에 나노패턴 및 microfluidic channel 형성을 제조할 수 있는 나노 패터닝 공정에 응용하고자 한다. [5][6]

2. 본 론

2.1 소프트 스탬핑 장치의 개요

나노접촉프린팅 공정과 관련된 국내 연구는 한국기계연구원, KAIST, 성균관대학교, 포항공과대학교와 한양대학교 등 몇몇 대학들이 연구를 시작하고 있으나, 인쇄공정을 수동작업으로 진행함에 따라 재현성 및 반복성 있는 미세패턴 작업이 어려웠으며, 인쇄작업과 인쇄시간의 불균일에 의해 유연성 스탬프의 패턴 형태가 파괴되는 현상이 있었다. 또한 대면적의 인쇄에 있어서 평탄도가 유지되거나 균일하고 결합 없는 나노구조물을 제작하는 데에도 어려움이 있었으며 정합접촉 및 정렬오차에 패턴이 변형되어 다중화 공정에도 어려움이 있었다. 나노패턴 프린팅 공정기술은 나노스케일의 구조를 저가로 생산할 수 있는 기능성에도 불구하고, 실제 산업체에서 채택되는 기술로 발전하기 위해서는 해결되어야 할 많은 문제점(나노 선폰의 미세 스탬프 제조기술, 다중화 패터닝을 위한 정렬/접촉 기술, 대면적화 프린팅 기술, 프린팅 공정에 적합한 소재 재료 개발, 후공정 최소화 기술)을 나노접촉식 프린팅 장치개발을 통하여 해결하고자 한다.

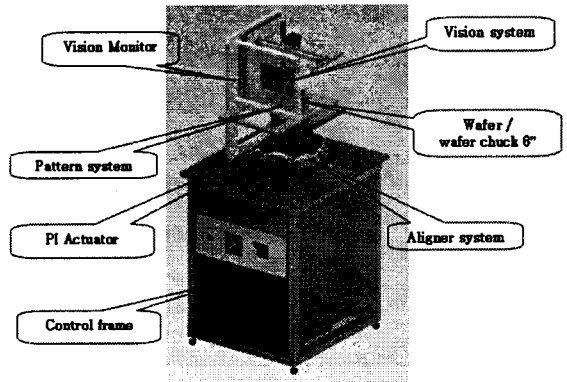
따라서 고해상도 프린팅 공정에 있어서 프린팅 시간, 패턴 형성시간, 패턴 확산형상, 확산현상 억제방법 프린팅에 필요한 힘 제어방법, 잉크에 젖는 정도, 표면접착력, 취성파괴현상 및 처짐현상 등의 매우 중요한 요소를 최적화 할 수 있는 전용 시스템이 요구되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 나노접촉 프린팅 공정에서 유연성 스탬프와 금속이 코팅된 기판 등과의 접촉을 자동으로 수행할 수 있는 장치를 설계하여 공정을 단축시킬 뿐만 아니라, 최적화하고 재현성과 반복성을 확보할 수 있으며, 대면적 공정에도 유리한 유연성 스탬프용 프린팅 장치를 개발할 필요가 있다. 나노패턴 프린팅 장치를 구성하고 있는 핵심기술은 장비의 특성과 공정기술에

따라서 다르나 웨이퍼를 공급해주고 웨이퍼의 위치결정을 위한 위치결정 및 스테이지기술, 패턴의 변형과 파괴를 방지하기 위한 소프트 프레스기술, 극저주파 진동에 의한 영향을 줄이기 위한 극저주파 진동절연기술, 시스템의 변형최소화 기술이 요구된다. 이외에 틸팅제어기술, 레지스트 코팅기술, 작업 상태를 감지할 수 있는 모니터링 기술 등이 요구된다.

이러한 패터닝 기술이 미세전자 회로의 생산과정에서 사용되는 공정에 적합한지의 여부가 연구되어야 한다. 특히 반도체 위에 자가조립단층을 직접적으로 형성하거나 현재 공정이나 사용된 물질과의 적합성이 최적화된 시스템이 필요하다. 미세 구조물들의 연구자와 제조자들은 미세 패턴 형성기술에 대하여 특정한 요구사항 즉, 개발 과정중의 융통성, 재현성, 신뢰성, 단순성과 상업적인 성공을 위한 비용의 효율성 등의 요구사항들을 갖고 있다.

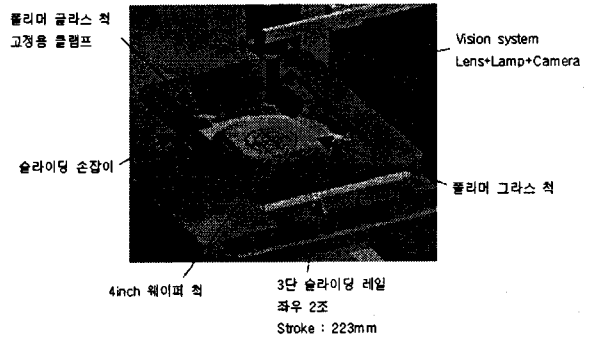
2.2 소프트 스탬핑 장치의 적용기술 기준 및 규격

소프트 리소그래피 (Soft Lithography) 공정에서 접촉하여 프린팅하는 장비로 매우 높은 변위 정밀도와 하중 제어 기술을 제어할 수 있는 각종 센서를 부착하여 높은 해상도를 갖는 패턴을 형성할 수 있는 장치기술이 적용되어야 한다. 모니터 및 전용 프로그램을 사용하여 작동중에 발생하는 다양한 환경을 실시간으로 측정하여 보여 주어야 하며 또한 접촉시간 스탬핑 하중을 입력값으로 받아 수행할 수 있는 기능을 갖추어야 한다.

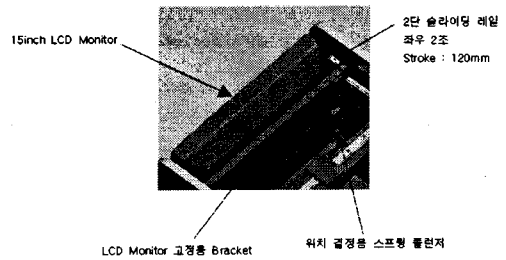


[그림 1] 소프트 스탬핑 장치 구성도

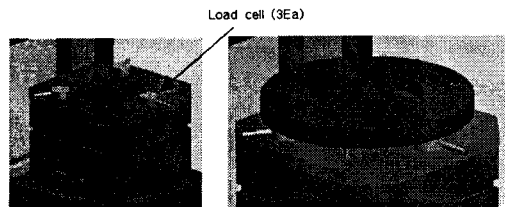
2.3.2 소프트 스탬핑 장치의 제작



[그림 2] Wafer Chuck Unit 구성도



[그림 3] Vision System 구성도



[그림 4] 제작된 하중제어 시스템 구성도

General data	Size : 410(W) × 410(D) × 570(H) Printing Mask size : 4 ~ 6" Substrates Patting printing time : 1Sec ~ 12 Hour
Vertical Micro Positioning Stage + Controller	Travel range : 12.5mm Design resolution : 0.024 μm Max. Load capacity : 5kg Min. Incremental motion : < 0.1μm
Force sensor + Controller	Force Sensor : 1kg × 3ea Rated output (R.O) : 0.7mv/v ti 1.2mv/v Full scale output : 0 ~ 5V A/D Conversion : 16bit
Alignment stage	Range of Alignment : X, Y, θ : ±5/ ±5/ ±2.5° Resolution(mm) : 0.002/Pulse Full step Maximum Speed : 20mm/sec 5Khz Accuracy : 5μm
Vision inspection system	15" LCD Monitor CCD Camera 1/3" Light Source Optical Magnification : × 8 Monitor Magnification : × 474

[표 1] 기계부 본체 구성

2.3 소프트 스탬핑 장치의 구성 및 제작

2.3.1 소프트 스탬핑 장치의 구성

소프트 스탬핑 장치는 상단 기계부 본체와 하단 제어부 본체로 나누어져 있으며 탈·부착이 가능하다. 상단 기계부 본체에는 스탬핑을 하기위한 변위 제어시스템, 위치제어 시스템, 하중제어 시스템, 비전 시스템으로 구성되며 하단 제어부에서는 각종 제어기기(스테이지, 로드셀, 비전시스템, PI controller)로 구성되어져 있다. 또한 하단 프레임은 기계 진동을 흡수할 수 있는 구조로 되어 있으며 상단 기계부 본체와 분리 조립이 가능한 구조이다.

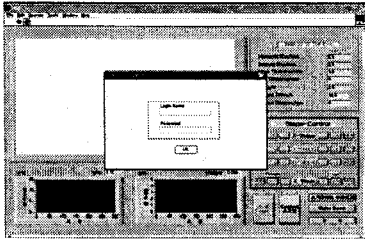
2.4 실험 결과 및 고찰

2.4.1 소프트 스탬핑 장치의 공정순서

소프트 스탬핑 장치의 각종 제어를 위한 MMI(Man Machine Interface) 프로그램은 LabView를 이용하여 개발 하였으며, 프로그램 사용자 등록에 따른 로그인 후 메인 프로그램으로 들어가게 구성하였다.

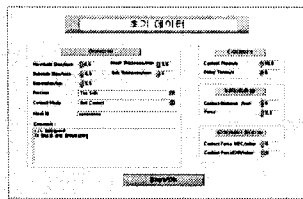
장치의 성능 평가를 위한 실험 분석은 6.5인치 Mask 와 Wafer를 대상으로 실험을 수행하였다.

1) 사용자 로그인



[그림 5] 사용자 로그인 화면

2) 초기데이터 입력/수정 화면



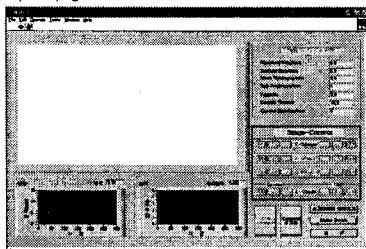
[그림 6] 초기데이터 입력/수정 화면

▶ 실험에 맞게 각종 파라미터 값을 설정한다.

- Maskhold Size/inch : 마스크 사이즈
- Maskhold Thickness/mm : 마스크 두께
- Substrate Size/inch : 웨이퍼 사이즈
- Substrate Thickness/mm : 웨이퍼 두께
- Separation/um : Mask와 Wafer의 이격거리
- Process : 공정 모드 선택
- Contact Mode : 실험 모드 선택
- Mask ID : 마스크 아이디
- Contact Time/s : 접촉 시간
- Delay Time/s : 접촉 후 지연 시간
- Contact Distance/mm : 접촉 후 떨어지는 간격
- Force : 접촉 압력

3) 메인 프로그램

- ▶ 초기화 과정(1차 패턴 Mask의 두께 측정)
 - 프로그램 실행 시 자동으로 실행
 - Z축 스테이지가 자동상승하여 1차패턴 Mask와 접촉 후 하강

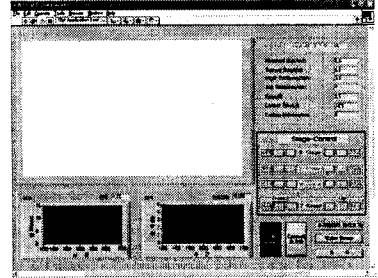


[그림 7] 메인프로그램 초기화면

▶ 1차 패턴 Mask 꺼내어 잉킹 후 재 장착

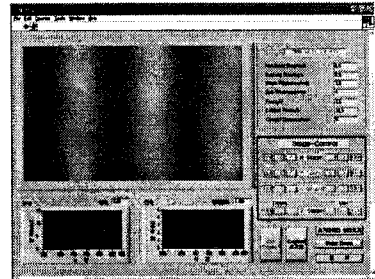
▶ Soft Contact 하기

- "Soft Contact" 버튼 누르기



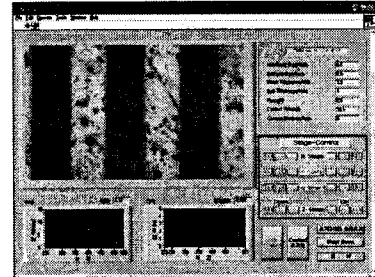
[그림 8] "Soft Contact" 버튼 누르기 화면

- Z 스테이지 상승



[그림 9] Z 스테이지 상승 화면(1단계)

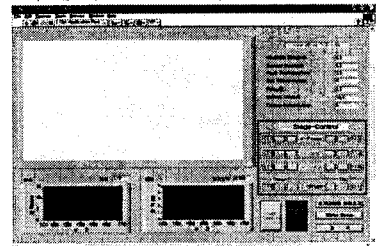
- 설정 된 시간(Contact Time/s)만큼 접촉하여 패턴 프린팅 한 후 Z축 스테이지 자동하강



[그림 10] Z 스테이지 상승 화면(2단계)

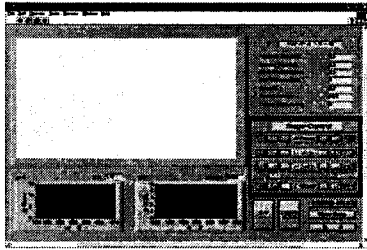
▶ 2차 패턴 Mask

- "Contact 초기화" 버튼 누르기 : 2차 패턴 Mask로 교체 한 후 Mask 두께 측정



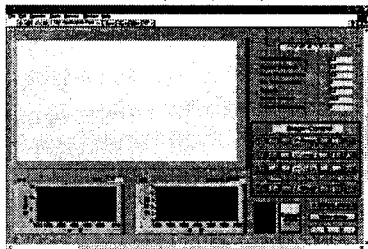
[그림 11] 2차 패턴 Mask로 교체 한 후 Mask 두께 측정 화면

- 1차 패턴 프린팅 된 Wafer와 2차 Mask 정렬하기 : 표시영역의 각 버튼으로 각 스테이지를 조정하여 정렬



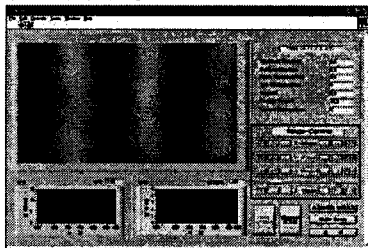
[그림 12] 1차 패턴 프린팅 된 Wafer와 2차 Mask 수동 정렬 화면

- 2차 패턴 Mask Soft Contact 하기 : "Soft Contact" 버튼 누르기



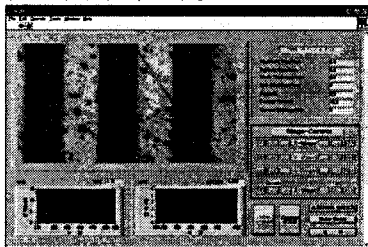
[그림 13] 2차 패턴 Mask Soft Contact 화면

- Z축 스테이지 상승



[그림 14] Z 스테이지 상승 화면(1단계)

- 설정된 시간만큼 접촉하여 패턴 프린팅 한 후 Z축 스테이지 자동하강



[그림 15] Z 스테이지 상승 화면(2단계)

- ▶ 프로그램 종료하기
 - 종료버튼으로 시스템종료 (Z축 스테이지 초기화)
- ▶ 데이터 저장
 - "Soft Contact" 버튼 누름과 동시에 압력, 변위값 등이 저장
 - 저장 위치 : C:\NSP\Data 폴더에 파일명은 'NSP20090401.xls'(예) 엑셀파일로 저장됨

3. 결 론

기존의 미세접촉인쇄 공정에서의 수동작업에 따른 문제점인 재현성 및 반복성이 없고, 미세패턴 제작 불가능, 인쇄압력과 인쇄시간의 불균일에 의해 단성중합체의 패턴 형태가 파괴되는 현상이 있었다. 또한 대면적의 인쇄에 있어서 평판도가 유지되거나 균일하고 결함 없는 미세구조물을 제작하는 데에도 어려움이 있었으며, 정합접촉 및 정렬오차에 의해 패턴이 변형되어 다층화 공정에도 또한 어려움이 있었다.

본 기술개발 과제를 통하여 소프트 리소그래피 공정 중에 PDMS 스탬프와 금속이 코팅된 기판 등과의 접촉을 자동으로 수행할 수 있도록 개선함으로써, 공정을 단축시킬 뿐만 아니라 최적화시킬 수 있고, 재현성과 반복성을 확보할 수 있으며, 대면적화에도 유리한 스탬프 프린팅 장치를 개발 하였다.

차후에 미세접촉인쇄공정을 기반으로 한 새로운 개념의 나노급 패턴 프린팅공정 장비기술 개발 및 응용기술을 개발하여, 초고정밀도 정보저장용 매체, 디스플레이, 생체분자의 패턴닝-바이오센서(biosensor), 크로마토그래피(chromatography), 면역성 진단, 세포배양, DNA 미세정렬-분야에 나노패턴 및 microfluidicchannel 형성을 제조할 수 있는 나노 패턴닝 공정에 응용하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박의석, "전략기술분야별 해외 주요로드맵,2008", 한국산업기술재단 기술정책연구센터, 2008
- [2] 정명섭, 박준석, 김형석, "IT분야에 적용되는 나노 기술 동향", 대한전기학회, 전기의 세계, 53, 12, 35-41, 2004
- [3] Y. Xia, G. M. Whitesides, "Soft Lithography", Annu. Rev. Mater. Sci., 28, 153-184, 1998
- [4] 이보현, "나노 접촉 인쇄를 이용한 고해상도의 나노패터닝 제조에 관한 연구", 국민대학교, 석사논문, 2004
- [5] 정형일, "생체분자 나노패터닝 기술", 공업화학전망, 9, 2, 6-18, 2006
- [6] 산업자원부, "MEMS/나노패턴의 차세대 반도체 제조용 건식프로세싱 및 장비개발", 산업자원부, 2007