

## 광조형을 이용한 마스크리스 패턴형성에 관한 연구

정영대\*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 조인호(삼성 SDI),  
손재혁, 임용관(부산대 대학원 정밀기계공학과), 정해도(부산대학교 기계공학부)

### A Study of Maskless Pattern Fabrication using Stereolithography

Y. D. Jung(Prec & Mech. Eng. Dept., PNU), I. H. Cho(Samsung SDI), J. H. Son, Y. G. Im(Prec & Mech. Eng. Dept., PNU), H. D. Jeong(Mech. Eng. Dept., PNU)

#### ABSTRACT

Mask manufacturing is a high COC and COO process in developing of semiconductor devices, because of the mass production tool with high resolution. Direct writing has been thought to be one of the patterning method to cope with development or small-lot production of the device. This study focused on the development of the direct, maskless patterning process using stereolithography tool for the easy and convenient application to micro and meso scale products. Experiments are utilized by three dimensional CAD/CAM as a mask and photo-curable resin as a photo-resist in a conventional stereo-lithography apparatus. Results show that the resolution of the pattern was achieved about 300 micron because of complexity of SLA apparatus settings, inspite of 100 micro of inherent resolution. This paper concludes that photo resist and laser spot diameter should be adjusted to get finer patterns and the proposed method is significantly feasible to maskless and low cost patterning with micro and meso scale.

**Key Words** : Mask(마스크), Stereolithography(광조형), Direct writing(직접묘화), Photolithography(사진공정), Photoresist (감광성 레지스트), MEMS, Spin coater(스핀 코터)

#### 1. 서론

최근 패속시작 기술의 발전은 산업계에서 신제품 개발주기를 단축시킴과 동시에 설계의 오류를 최소화하며, CE(동시공학)의 적용을 현실화하고 있다. 이러한 예로 자동차산업과 항공기 부품산업등 시작기술과 금형기술이 적용되는 거의 모든 산업뿐만 아니라 디자인업계에까지 영향을 미치고 있다.

이러한 패속시작기술은 하나의 목표에 여러 가지 공정이 동시에 적용되어 발전하여 왔으나 최근에는 그 적용대상과 기능성의 관점에서 특화 또는 전문화되는 양상을 보이고 있다. 그 대표적인 예로 SLA(Stereolithography)의 경우는 다색성을 부여하는 방법<sup>[1]</sup>과 제작기의 정밀성에 의해 칩 패키징등에 장점을 가지고 있으며, 향후 개발이 예상되는 분야이다. 또한 FDM(Fused Deposition Manufacturing)의 경우 낮은 생산비와 공정 자체의 다색성에 의해 디자인분야에서 각광을 받고 있는 실정이다.

또한 반도체 공정은 IT산업과 통신시장을 업고 온갖 선진국들의 기술전쟁의 장이 되고 있으며, 그 중 Lithography공정은 칩 제작에서 가장 고가이고 성능결정에 가장 중요한 역할을 차지하는 부분이다.

현재 Lithography공정에서는 수은램프(Mercury Lamp)\* 혹은 KrF등의 광원을 이용하여 마스크(mask)에 광원을 선택적으로 투과 혹은 반사시켜 포토레지스트(Photoresist 이하 PR)에 의해 실리콘웨이퍼 표면에 한 층씩 패턴을 형성한다. 이 마스크는 실제양산시 대량생산용에는 적합하지만, 소량의 주문형 제작시에는 비교적 고비용이 소모된다. 또한 다층공정일 경우 적층되는 층의 수만큼의 마스크가 필요하게 되므로 고비용의 마스크의 낭비를 초래할 수도 있다.<sup>[2]</sup>

이를 극복하기 위해 직접 그 위에 그림을 그리는 방식인 direct writing방식을 이용하여 전자부품과 센서개발공정에 적용을 하고 있다.<sup>[3]</sup> 이는 복잡한 CAD/CAM소프트웨어와 고가의 제어장치가 필요로 하게 되며, 유지와 보수가 용이하지 않을뿐더러 공

정이 복잡한 단점이 있다.<sup>[4]</sup>

이러한 단점을 극복하기 위해 또 하나의 방법으로 제시되는 것이 SLM(Spatial Light Modulator)을 이용한 동적 마스크(Dynamic Mask)법이다. 최근 일본에서 개발되었던 방법으로는 TFT-LCD를 이용하여 제품의 단면을 CAD로 형상화한 후 이를 노광하여 사용하였는데 레이저에서 나온 광을 다시 확대시켜 이용하였으며 단면생성시 두께의 제어가 direct writing에 비해 까다로워 3차원 구조물의 형성에 적용하기가 어렵다는 것을 알 수 있다<sup>[5]</sup>.

또 하나의 방법으로서 본 연구에서 제시하는 공정은 백미크론대의 미세패턴을 형성할 경우, 개발단계에서 설계상의 오류에 의한 많은 포토마스크를 필요로 하는 단점을 보완하기 위해 포토마스크가 없이 실리콘웨이퍼 상에 원하는 패턴을 SLA장비로부터 직접 제작하여 이를 회로제작법에 적용하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

기존의 실리콘 프로세스에서는 E-beam을 이용한 Direct writing과 광학 마스크를 사용한 노광법이 주를 이루어 왔다.

### 2.1 Photomasking 공정

포토 마스크 공정은 웨이퍼의 최상층을 선택적으로 제거하거나 패턴을 형성하는 기술이다. 포토마asking 작업이란 포토 마스크로부터 패턴이 웨이퍼 표면에 옮겨지는 것을 말한다. 포토마스크의 제작은 반도체 공정의 중요한 분야이다.

포토마asking 공정 중 표면패턴을 형성할 때 사용되는 PR은 빛이나 방사, 열등 여러 형태의 에너지에 노출되었을 때 내부구조가 바뀌는 특성을 가진 화합물이다. 반도체에 적용되는 PR의 구조변화는 현상기능에서 현상 불능 혹은 그 역으로 바뀌어진다.

### 2.2 기존의 패턴형성법

기존의 패턴형성공정은 마스크제작으로부터 시작한다. 마스크 제작은 필요한 전기적 파라미터를 물리적 크기로 나타내는 것부터 시작한다. 그 다음에 패턴이 유리판의 표면에 옮겨진다. 포토마스크는 유리판위에 에멀전(Emulsion), 크롬, 산화철 박막 등으로 만든다.

현재 사용되고 있는 사진식각공정에서 사용되고 있는 노광과정은 반드시 이러한 마스크 제작이 필수적이었다. 이는 반도체공정이 고밀도, 고집적화되면서 더욱 더 요구된다.

Fig 1은 기존의 사진식각공정을 나타내는 것으로 먼저 포토마스크를 제작하고, 이를 이용하여 자외선 노광하여 PR을 선택적으로 광반응시켜서, 잠재적인

패턴을 만들게 된다. Fig 2는 반도체산업에 사용되고 있는 사진공정을 나타내고 있다. 먼저 PR도포를 위해 웨이퍼를 산화시킨 후 스핀 코터(spin coater)를 이용하여 PR 박막을 웨이퍼상에 형성하고 soft baking 과정과 준비된 마스크를 이용하여 노광을 하면 패턴이 생성된다. 이를 현상(develop)과 hard baking과정을 거치게 되면 웨이퍼상에 회로가 생성된다.

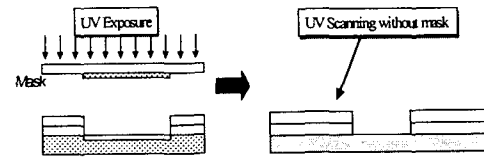


Fig 1. Conventional & Proposed Process

이와 같은 기존의 패턴형성법에 의하면 반도체공정에서 다층공정으로 적용되는 수에 해당하는 만큼의 포토마스크를 필요로 하게 된다. 따라서 새로운 반도체의 개발 시 또는 MEMS(Micro Electro Mechanical System)의 개발 제작 시에는 설계상의 오류를 계속적으로 수정, 보완하는 개발과정에 필수적이기 때문에 그때마다 포토마스크를 필요로 하는 비효율적인 요소가 내재되어 있다.

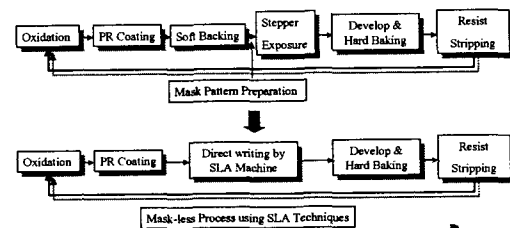


Fig 2. Comparison of Typical & Proposed Process Flow

## 3. 제안된 패턴형성법

MEMS분야에서나 다층 PCB분야에 있어서는 특히 개발단계에서 설계상의 오류에 의한 많은 포토마스크를 필요로 하는 단점을 보완하기 위해 기존의 패속조형 공정중 하나인 SLA를 이용하여 마스크가 없이 패턴을 형성하는 방법을 제안하고자 한다. 본 연구에서는 pre-process인 산화과정과 soft baking, post-process인 develop & hard baking, PR stripping에 대한 내용은 기존의 반도체공정을 그대로 사용하므로 다루지 않기로 한다.

이를 위해 광조형에 사용되는 광경화성 수지를 PR로 사용하여 패턴을 형성하고, 그 패턴에 대한 정보를 CAD 시스템에서 추출된 STL로 전처리를 수행한다. 이 데이터를 바탕으로 식각되어야 하는 부분

을 광조형시스템의 구동부에 의해 Direct Writing을 수행하도록 한다.

전체시스템의 구조는 Fig 3.와 같다.

먼저 기판상에 광경화성 수지를 일정두께로 도포하고, 도포된 광경화성 수지에서 패턴에 대응하는 부분을 레이저빔에 의하여 경화시킨 후, 미경화된 수지를 제거하고 기판상에 에칭을 수행하여 패턴을 완성한다.

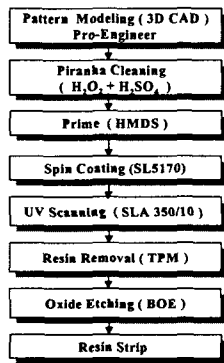


Fig 3. Overall Process Flow

### 3.1 3차원 CAD데이터 추출

기판 위에 도포된 광경화성수지를 경화시켜 패턴을 형성하므로 SLA장비가 그 부분을 인식할 수 있도록 패턴에 해당하는 부분에 대한 3차원 모델링을 수행한다.

통상적으로 사용되는 SLA와 같은 폐속조형용 장비의 경우 CAD 데이터는 STL (Stereolithography) 포맷을 사용하게 된다. 본 실험에서 사용하기 위해 두 가지의 샘플이 사용되었다. 하나는 Fig 4(a)의 패턴 A로 일정 선간격을 가지나 각각 0.05mm의 선폭변화를 주어 선폭의 변화와 패턴형성모양에 대한 관계를 관찰하였다. 다른 방법으로는 Fig 4(b)의 패턴 B로 일정선폭을 가지나 각각 0.05mm의 선간격을 주어 선간격의 변화와 패턴형성모양에 대한 관계를 관찰하였다.

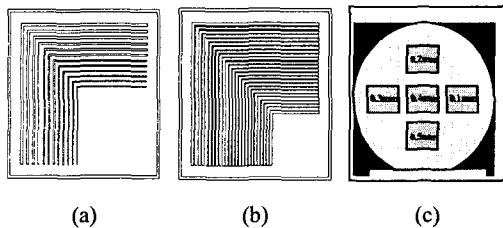


Fig 4. Three dimensional modelling of a test pattern. (a) pattern A with constant gap and variable width (b) pattern B with constant width and variable gap and (c) positioning each thickness layer patterns

CAD 데이터를 추출하기 위해 Pro-Engineer 2000i<sup>2</sup>를 사용하였으며, 실리콘웨이퍼 위에서 패턴을 형성하였기 때문에 지지대 형성과정을 생략하였다. 또한 본 실험에서 실리콘웨이퍼를 SLA장비내의 bath에 위치할 수 있도록 SLA를 이용하여 지그를 제작하였다. 패턴의 크기와 위치간의 관계를 규명하기 위해 패턴A의 경우는 아래와 같이 좌측 끝부터 1번에서 25번까지 25개의 패턴을 형성하였다.

### 3.2 전처리과정(Pre-processing)

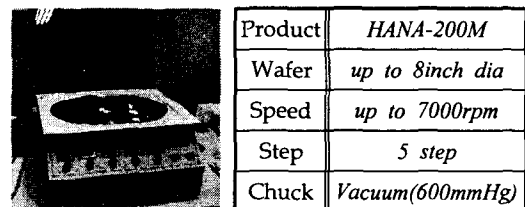
수지를 도포하기 전에 웨이퍼 표면에 잔류물이나 이물질이 남게되면 웨이퍼와 패턴이 되는 경화부부분의 접합성에 영향을 미치게 된다. 이는 후처리과정에서 패턴이 떨어지는 현상을 초래하므로 반드시 제거해 주어야만 한다.

본 연구에서는 반도체 공정에서 사용되고 있는 RCA세정공정 중의 하나인 Piranha 세정공정<sup>7)</sup>을 이용하여, 황산과 과산화수소와 물을 1:4로 혼합하여 패턴이 형성된 하부층에 유기물 오염이 잔류하지 않도록 하였다.

또한 무기물인 웨이퍼와 유기물인 광경화성 수지와의 접합성을 높이기 위해 Prime처리를 수행한다. 이에 의해 wafer 표면은 소수성화되어 이후에 도포될 광경화성 수지와 밀착성을 증대시킨다. 이 과정은 wafer의 재질에 따라 일반적으로 50~80℃의 온도에서 NH<sub>3</sub>가 되어 증발되는데 본 실험에서는 HMDS(Hexa-methyl di-silazane)을 Spin Coater에 회전 도포하여 표면을 관찰하였으며 도포하지 않았을 경우와 형상을 비교, 측정하였다.

### 3.3 수지도포과정

광경화성 수지를 일정한 두께로 도포하기 위한 하나의 방법이 스펀코팅(spin coating)인데, 이 방법은 기판의 상면에 광경화성수지를 도포하고 기판을 고속으로 회전시키는 것에 의하여 일정한 두께의 광경화성 수지층을 형성하는 방법으로 특히 초박막의 형성이 매우 유리하고 균일한 두께층을 성형하는 것이 가능하다는 장점을 가지고 있다.



(a) (b) Fig 5. Spin coater & its specification

본 시스템에서는 현재 SLA에서 사용하고 있는 상용수지인 SL5170을 이용하였으며, 한 층두께를 SLA의 최대정밀도인 0.1mm로 하여 SLA장비에서 바로 적용할 수 있도록 하였다. 그러나 비교적 점도가 높고 일정 이상의 시간동안 회전을 주게 되면 기포가 발생되어 패턴형성에 악영향을 미치게 되므로 저속으로 도포하여야 한다. 본 실험에서는 먼저 10초간 100rpm으로 퍼지게 한 뒤 30초간 2000rpm으로 회전시켰다.

### 3.4 SLA에 의한 패턴형성

SLA를 이용한 direct writing방법은 반도체 공정에서 사용되는 마스크 방식과는 약간 상이한 갈바노미러(galvano mirror)를 사용한다.

스핀코팅에 의해 박막으로 코팅된 광경화성 수지는 SLA장비에 내장된 UV(He-Cd)레이저로 인해 경화되는데, 3차원 CAD로부터 얻어진 STL데이터로부터 주사경로를 생성한 후 박막코팅된 웨이퍼를 액중에 위치된 지그에 위치시킨다. 이 때 액면에서 약간 올려주어야 박막의 두께를 일정하게 유지할 수 있다. Fig 6(a)는 HMDS prime처리가 된 패턴이고 Fig 6(b)는 아무 처리도 하지 않은 패턴을 SEM으로 촬영한 결과이다.

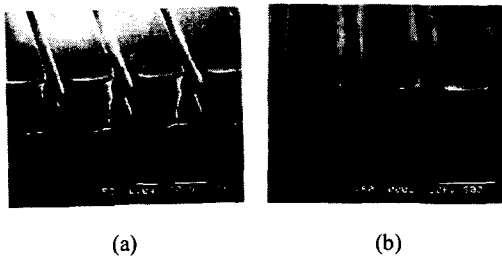
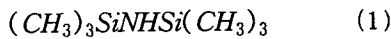


Fig 6. SEM photograph of maskless patterned wafer surface (a) with HMDS prime & (b) without prime after post-processing



식 (1)은 실험에 사용된 HMDS의 분자식으로 실험에 사용된 재료는 98%의 농도를 가진 원액을 사용하였다. 본 실험에서는 광경화성 수지를 도포하기 전에 HMDS를 반응시키지 않고 미경화된 수지를 제거한 후에 후처리과정에서 증발되도록 하여 미경화된 수지의 제거가 용이하게 하였다.

Fig 6(a)에서도 나타난 바와 같이 prime처리에 의해 생성된 패턴은 소수성화되어 Si wafer와 광경화성 수지와의 접합성이 증대되었으며, 경화된 패턴부와 미경화된 수지와의 분리가 원활히 이루어졌음을 보

여준다.

### 3.5 후처리과정(Post-processing)

Spin Coater를 이용하여 TPM(tri-propylene glycol mono-methyl ether)을 일정한 rpm으로 저속 회전시키면서 웨이퍼에 잔존하는 미경화수지를 제거한다.<sup>[6]</sup>

Fig 7(a)은 prime처리와 후처리과정을 거쳐 에칭을 수행하기 전 단계의 negative 패턴을 보여주고 있다. 여기서는 흰 부분이 패턴이 올라가 있는 부분으로써 회로의 식각에는 패턴간의 gap을 이용한다. Fig 7(b)는 미경화수지의 잔존을 확인하기 위해 prime처리를 하지 않고 패턴을 형성한 후 광경화성 수지의 경화부분을 제거한 후 촬영하였다.

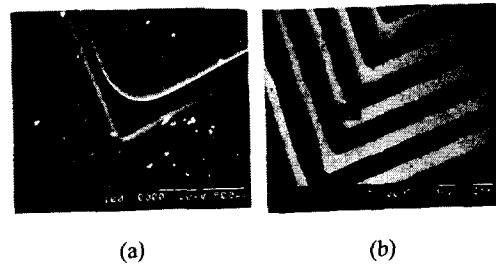
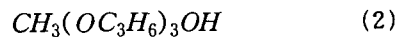


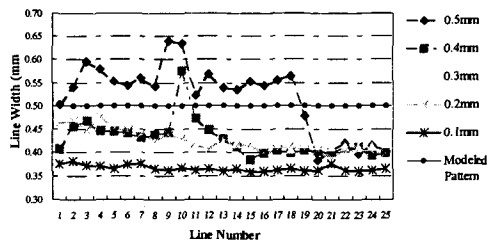
Fig 7. SEM photograph of mask-less patterned wafer surface (a) of negative patterning with priming and (b) remains uncured resin without priming



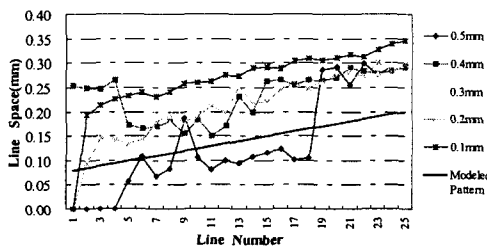
식 (2)는 실험에 사용된 TPM의 분자식으로 실험에 사용된 재료는 DOWANOL TPM을 사용하였다. Fig 7(b)에서 나타난 바와 같이 미경화수지에 의해 에칭공정에 영향을 미칠 정도의 영향을 미치는 것을 알 수 있으며 이는 Beer-Lambert Law에 의해 주사된 자외선빔의 중심으로부터 반응이 시작되어 가장자리 부에는 반경화 혹은 미경화된 수지들이 남아있음을 보여준다. 본 실험에서는 5초간 dipping 후 spin coater를 이용하여 10분간 미경화수지를 제거하였다.

### 4. 실험결과 및 고찰

Fig 7는 패턴 A와 패턴 B를 광학현미경으로 관찰한 후, 그 결과를 나타낸 그래프이다. 패턴 A의 경우는 선폭만을 측정하고 패턴 B의 경우는 선간격만을 측정하였다. 전자의 경우는 Positive pattern에 해당하고 후자의 Negative pattern에 해당된다.



(a) Pattern A



(b) Pattern B

Fig. 8 Optical Microscope Measurement

패턴 A의 경우는 선폭의 설계치와 실측치와는 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 사용된 장비에서 실제 레이저로 한 선을 그을 때 0.36mm로 고정되어 있다는 것을 알 수 있으며 한번의 주사로 얻어지는 선폭은 레이저의 광량이나 광학부의 조정 혹은 리코더 위치조절과 같이 간단한 조작으로는 불가능을 알 수 있다. 일반적으로 SLA의 정밀도는 0.1mm의 최소 선폭으로 알려져 있으나 사용되는 광경화성 수지의 품질과 사용환경 등에 따라 많은 차이가 나타난다. 그러므로 패턴 A의 경우는 SLA장비의 정밀도의 범위 이내에서만 사용되어야 할 것이다.

이를 극복하기 위한 negative patterning을 시도하기 위해 패턴 B를 측정된 그래프이다. 두께가 두꺼울수록 패턴의 설계치에 근접함을 관찰할 수 있었으나, Beer-Lambert Law<sup>6)</sup>에 의해 광경화시 수지에 수반되는 수축과 장비가 가지는 근사오차 등에 의해 일정한 선간격을 내지 못함을 알 수 있다. 또한 두께가 얇은 경우 패턴의 설계치와는 상당한 오차가 있으나 비교적 치수가 비교적 일정함을 알 수 있다. 또한 패턴의 형상을 고르게 하기 위해 HMDS로 prime 처리를 하여 패턴과 wafer간의 접합성을 높이고 TPM을 이용하여 미경화수지를 제거를 효율적으로 수행하였다.

## 5. 결론

본 실험에서는 상용으로 사용되고 있는 광조형기 (SLA250)에서 패턴으로 사용될 부분을 3차원 설계한 후 이를 이용하여 광경화성 수지로 패턴을 제작하는

공정으로 반도체 제작의 노광공정에 이용되는 마스크 제작공정을 단축하고 비용을 절감하는 제작법을 개발하려 한다. 이는 현재 상당한 수준에 올라있는 반도체 기술에 비추어볼 때, 반도체 시장에 적용될 정도의 정밀도는 다소 어려우나 최근 많은 제작이 예상되는 MEMS나 마이크로 머신부분, 예를 들면 마이크로 펌프에 사용되는 meso-scale의 제어회로부 등의 분야에서는 상당한 수요가 예상된다. 본 연구에서 제안한 공정의 장점을 요약하여 보면

- ① 비용의 측면에서 시제품개발 혹은 소량제작의 경우 고가의 마스크 제작비용을 줄일 수 있다.
- ② 시간적인 측면에서 마스크 제작시간이 없었고 CAD/CAM에 의한 제작시간 도출이 가능하고 제작자에게 다양한 부가적 기능을 제공한다.

단점으로는

- ① 정밀도의 측면에서 positive의 경우 SLA장비의 정밀도를 높이기 어려워 선폭의 개선이 용이하지 못하다. 이를 위해 전용장치의 개발이 진행중이며 광경화성 수지의 정밀도를 높이고 광학기술등의 요소기술을 개선하고 최적화하여야 한다.
- ② 미경화수지의 제거가 단층패턴작업의 경우는 비교적 용이하지만 다층의 경우는 매우 힘들다. 이를 위해 반도체 공정에서 사용되고 있는 Ashing공정을 적용하여 uncured부분을 깨끗이 제거한 후 post-curing공정을 적용할 필요가 있다.

## 참고문헌

1. 정해도, 손재혁, 임용관, 조진구, "광조형을 이용한 다색 기능성 시작품의 색상특성에 관한 연구", 한국정밀공학회, pp 824-828, (2000/05)
2. loyd R. Harriot, "Limits of Lithography", Proceeding of the IEEE, vol.89, no 3, March 2001 pp 366-374
3. A. Pique, D. B. Chrissey, etc, "A novel laser transfer process for direct writing of electronic and sensor materials", Applied Physics A69 - Material Science & Processing -, S279-S284(1999)
4. J. Paufler, St. Brunn, T. Korner, F. Kuhling, "Continuous Image Writer with improved critical dimension performance for high-accuracy maskless optical patterning", Microelectric Engineering 57-58 (2001) pp 31-40
5. T. Hayashi, T. Miyoshi, Y. Tanaka, S. Takahashi, "Direct 3D Forming Using TFT-LCD mask", The 8th International Conference on Rapid Prototyping, 2000, pp 172-177
6. P. F. Jacobs, "Rapid Prototyping & Manufacturing", Society of Manufacturing Engineers, 1992
7. 황호정, "반도체 공정기술", 생능출판사, 1999