한국정밀공학회지 제 21 권 제 8 호 (2004 년 8 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 8, August 2004

국부증착용 마이크로 샤도우 마스크 제작

김규만#, 유르겐 부르거*

Fabrication of Miniaturized Shadow-mask for Local Deposition

Gyu Man Kim# and Juergen Brugger*

ABSTRACT

A new tool of surface patterning technique for general purpose lithography was developed based on shadow mask method. This paper describes the fabrication of a new type of miniaturized shadow mask. The shadow mask is fabricated by photolithography and etching of 100-mm full wafer. The fabricated shadow mask has over 388 membranes with apertures of micrometer length scale ranging from 1 μm to 100s μm made on each 2mm x 2mm large low stress silicon nitride membrane. It allows micro scale patterns to be directly deposited on substrate surface through apertures of the membrane. This shadow mask method has much wider choice of deposit materials, and can be applied to wider class of surfaces including chemical functional layer, MEMS/NEMS surfaces, and biosensors.

Key Words : Shadow mask (샤도우마스크), Microfabrication (미세가공), Evaporation (기화증착), Micropatterning (마이크로 패터닝), MEMS (멤스)

1. 서론

UV 광 리소그라피(UV photolithography)는 자외선광(UV light) 하에서 광반응성 수지 필름의 현상과 인화작업을 이용하여 미세 패턴 정의를 가능하게 함으로써 집적회로와 MEMS 제작에 주도적으로 사용되어 왔다. 최근 들어 제품이 소형화, 고기능화되고 나노기술의 중요성이 부각되면서 UV 광 리소그라피의 한계를 뛰어넘는 새로운 리소그라피 방법에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 방법들의 대표적인 기술로서 Deep UV, 엑스선(X-ray), 전자빔(e-beam) 등을 이용하여 보다 미세한 패터닝이 가능하였고 회로의 고집적화 및 나노구조물(nanostructures)의 제작이 가능하게 되었다. 그러나 이들 기술들은 우선 고가의 장비가 필요하고, 모재(substrate)와 패턴 재질의 선택에 제한이 있다. 최근들어 NEMS/MEMS, 폴리머 기반 디바이스(polymer based device), 미세유체 (micro-fluidics), 바이오시스템(bio-analytical systems) 등 미세 시스템의 종류가 다양해짐에 따라 다양한 재질이 사용되고 있고 화학적 표면처리(surface modification)의 중요성이 강조되는 추세이다. 이러한 고기능 바이오/화학표면이나 기계적 강성이 떨어지는 미세 구조 표면 위로의 패터닝에서 기존 광리소그라피 방법은 한계가 있다.

이러한 단점을 극복하기 위하여 샤도우마스크

☞ 접수일: 2003 년 11 월 3 일; 게재승인일: 2004 년 5 월 7 일
교신저자: 경북대학교 기계공학부
E-mail gyuman.kim@knu.ac.kr, Tel. (053) 950-7570
* Microsystems Laboratory, EPFL, Switzerland

를 이용하여 직접 원하는 물질을 표면 위에 증착하는 방법이 개발되었다.[1-4] 샤도우마스크의 멤브레인(membrane)에는 패턴형상이 개방되어 있다. 패턴을 형성하고자 하는 표면 위에 샤도우마스크를 고정한 후 패턴 물질을 물리적, 화학적으로 증착(deposition)하면, 개방된 패턴형태로 국부적으로 증착되어 샤도우마스크 패턴이 표면에 일대일로 전사된다(Fig. 1).

이 방법은 한번의 증착 공정으로 모재 표면에 원하는 물질을 패터닝할 수 있기 때문에 모재와 증착물질 선택의 폭이 넓고, 일반 광리소그라피 공정 중 포토레지스트의 코팅(spin coating), 현상(exposure) 및 습식 인화 (development), 패턴물질 증착(deposition)과 리프트 오프(lift-off) 공정이 한 공정으로 해결 될 수 있다. 또한 패터닝 공정이 진공 내에서 이루어지기 때문에, 화학처리된 표면의 변질이나 건조 시 표면장력으로 인한 구조물의 표면 점착, 파괴 등 습식공정에서 나타날 수 있는 문제점들을 예방할 수 있다.

샤도우마스크 제작방법은 재질에 따라 다양하다. 기존에 많이 사용되어온 금속 샤도우마스크는 일렉트로포밍(electroforming), 에칭(etching), 레이져 커팅(laser cutting) 등 다양한 방법으로 제작되어 왔으나, 금속판의 두께가 ~100 μm 로 두껍기 때문에 미세한 패턴제작에 한계를 지닌다. 한편 폴리머 기반 샤도우마스크는 멤브레인 강성의 한계로 제한된 응용범위에서 사용된다.[5] 최근들어 미세패터닝용 샤도우마스크를 제작하기 위해 MEMS 공정이 자주 사용되고 있다. 그 중에서 Si, SiO_2 멤브레인은 제작후 잔류응력의 문제가 존재하므로 패턴 형상과 멤브레인 두께의 선정에 유의해야 한다.[3] SiN 멤브레인의 경우 잔류응력이 상대적으로 작아서 10-100 nm 크기의 극미세 패터닝이 가능하지만, 멤브레인 크기가 수 십 μm^2 인 매우 작은 영역에서의 패터닝에 국한되어 보고되었다.[6,7]

높은 수율(high-throughput) 을 얻기 위해서는 넓은 영역에서의 패터닝이 중요하므로 대면적 샤도마스크 제작이 필요하다. 본 연구에서는 100 mm 웨이퍼 상에서 마이크로 가공 (micro machining)하여 크기 2x2 mm^2 인 388 개 멤브레인을 가진 미세 샤도우마스크를 제작하고, 이를 이용하여 국부 증착을 수행하여 미세패터닝이 가능함을 확인하였다.

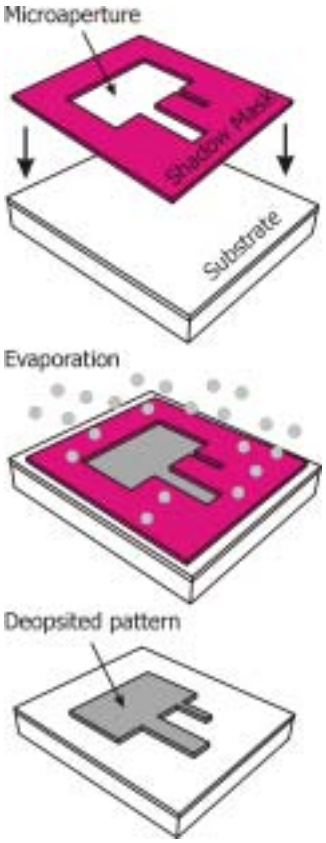


Fig. 1 Schematic diagram of shadow masking principle

2. 샤도우 마스크 제작

2.1 제작 공정

샤도우마스크는 100 mm 실리콘 웨이퍼 상에서 마이크로 가공(micro-fabrication)하여 제작되었다.[8] Fig. 2 에 샤도우마스크 제작에 관한 개략적인 공정을 나타내었다.

우선 양면 폴리싱된(double polished) 실리콘 웨이퍼에 저응력질화규소(low-stressed SiN) 막을 증착한다. 사용된 실리콘 웨이퍼의 결정방향은 (100) 이고, 지름과 두께는 각각 100 mm, 380 μm 이다. 증착된 SiN 막의 두께는 500 nm 이고, LPCVD (low pressure chemical vapour deposition) 으로 증착하였다. 증착된 SiN 막의 내부 응력은 약 200 MPa 이다.

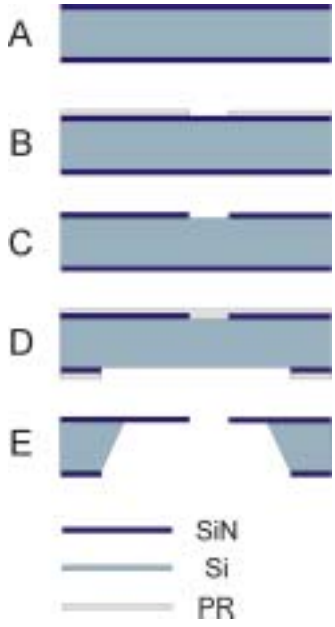


Fig. 2 Process overview of shadow mask fabrication: (a) SiN layer deposition (b) aperture patterning by photolithography (c) pattern transfer into SiN layer on topside (d) membrane window definition by photolithography on backside (e) bulk Si wet etching to make membrane

샤도우마스크 패턴을 광리소그라피법을 사용하여 웨이퍼 앞면에 정의하였다. 포토레지스트(photo-resist, S1818, Positive type, Shipley)를 5000 rpm 에서 1.7 μm 두께로 스핀코팅하고 115°C 에서 45 초간 베이킹(soft-baking, 50 μm proxy) 하였다. MA-150 aligner (Karl Suss, UV lamp 1000W Hg)에서 8 초간 노출(exposure)한 후 인화(developing)와 베이킹(Hard baking, 90 sec, 115°C, 50 μm proxy)을 RiteTrack Developer 에서 수행하였다.

이어서 ICP (inductively coupled plasma) etching 으로 SiN 막을 에칭(anisotropic etching)하여 정의된 포토레지스트 패턴을 웨이퍼 윗면의 SiN 막에 전사하였다 (601E, Alcatel : C_2F_6 20 sccm, 20˚C, 1800W). 뒷면의 SiN 막을 전술한 공정과 동일한 공정으로 계산된 크기로 개방하고 마지막으로 KOH 용액(40% wt, 60°C)에서 실리콘 에칭(bulk silicon etching)하여 SiN 멤브레인을 만들었다. 이때 에칭직전 1% HF 용액에 웨이퍼를 담가서 실리콘 표면의 자연산화막(natural oxide)을 제거하였다. KOH 용액에서의 Si 에칭율(etching rate)은 18.7μm/hr 로 측정되었다. Si 에칭 중 금속척(metal chuck)을 이용하여 앞면을 보호하였고, 에칭 후 RCA2 세척(cleaning)을 수행하여 잔존하는 이온을 제거하였다.

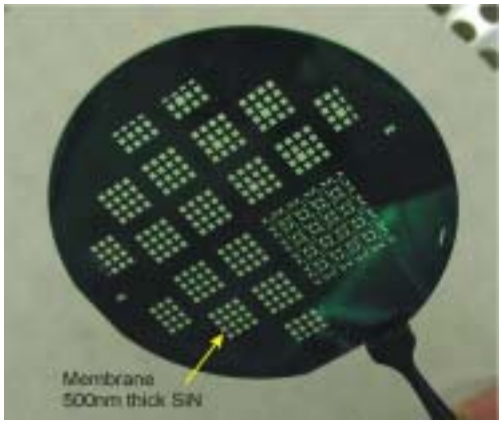
2.2 제작된 샤도우 마스크

Fig. 3 에 전술한 공정으로 제작된 100-mm 마이크로 샤도우마스크를 나타내었다. Fig. 3(a)는 100-mm 웨이퍼에 제작된 샤도우마스크의 사진이다. 하나의 샤도우마스크에 388 개의 멤브레인이 정의되어 있고, 각각의 멤브레인의 크기는 2 mm x 2 mm, 두께는 500 nm 이다. 실리콘 림(rim)으로 각 멤브레인 주위를 보강하여 멤브레인의 안정성을 높였다. Fig. 3(b)는 샤도우 마스크 뒷면의 전자주사현미경(SEM, scanning electron microscopy) 사진이다. 실리콘 림, 질화실리콘 멤브레인, 그리고 멤브레인에 정의된 다양한 테스트 패턴들을 볼 수 있다. Fig. 3 (c)에서는 한 테스트 패턴의 SEM 사진을 나타내었다. 최소 패턴의 크기는 1μm 이다.

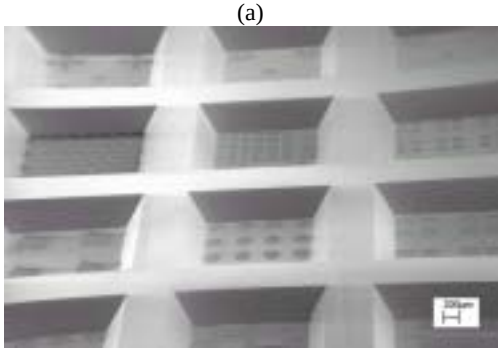
3. 국부 증착 실험 및 결과

제작된 샤도우마스크를 이용하여 국부 증착 실험을 수행하고 미세 패턴을 제작하였다.샤도우 마스크를 모재 표면 위에 얹고 스프링, 혹은 폴리머 테입을 사용하여 기계적으로 고정하였다. 이때 샤도우마스크와 모재표면간에 간극을 되도록 줄이도록 주의하였다. 샘플을 진공증착기의 진공챔버(vacuum chamber)에 넣고 원하는 물질을 샘플 표면 위로 증착하였다.

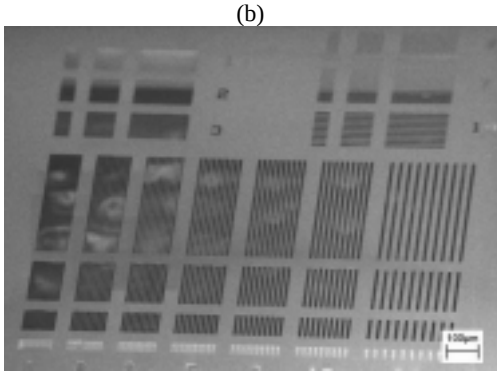
본 실험의 경우 알루미늄을 실리콘과 질화실리콘 표면에 증착하였다. 증착에는 전자빔 기화증착(e-beam evaporation)을 사용하였다(EVA 600, Alcatel, base chamber pressure $5x10^{-7}$ mbar). Fig. 4 에서 증착 후 모재 위에 놓여있는 샤도우마스크의 SEM 이미지를 나타내었다. 샤도우 마스크와 표면의 거리는 약 5 ㎛ 떨어진 상태(proximity)를 보이고 있다. 기화증착을 수행하면 샤도우마스크 표면과 모재 표면 모두 증착되는데, 사진에서 샤도우 마스크의 모서리 부분에 샤도우현상 (shadow effect) 를 관찰 할 수 있다. 이는 증착 시 증착입자의 직진성에 기인한다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 SEM images of a fabricated micro-shadowmask: (a) full wafer scale shadow mask, (b) image taken from the backside of shadowmask. (c) close-up image of a membrane pattern.

증착 후에 샤도우마스크를 표면에서 제거하면 샤도우마스크에 정의된 마이크로 패턴을 표면에 얻을 수 있다. Fig. 5(a)에서 샤도우마스킹으로 제작된 마이크로 패턴의 SEM 이미지를 나타내었다. 또한, 제작된 패턴의 해석을 위하여 원자력 현미경(atomic force microscope, AFM)을 이용하여 표면 굴곡형상(topography)을 측정하였다. 해석에 사용된 AFM 은 Nanosurf 사의 EasyScan 이다. Fig. 5(b)는 측정된 AFM 이미지와 표면굴곡형상을 보이고 있다. 패턴의 경계부에서 무뎌짐(blur) 현상은 보이지 않았고, 따라서 샤도우마스크와 모재표면이 약간 떨어진 상태에서도 마이크로 크기의 패터닝이 가능함을 보이고 있다. 표면 형상 데이터로부터 두께는 약 40nm 로 측정되었다

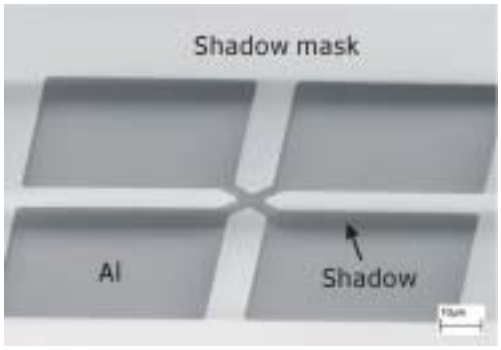
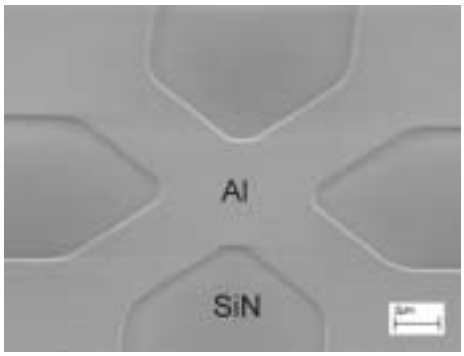


Fig. 4 SEM image of shadowmask and surface after evaporation of 100-nm-thick Al layer

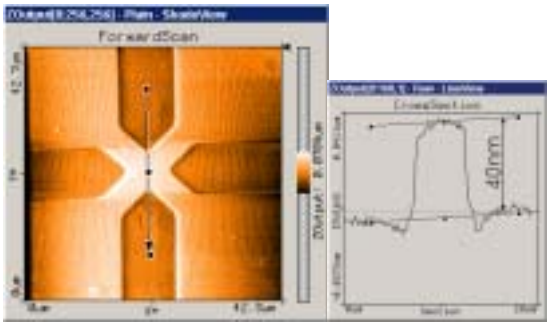
4. 결론

본 연구에서는 포토레지스트를 사용하지 않고 물질을 직접 증착하여 미세 패턴을 제작할 수 있는 미소 샤도우마스크를 제작하였다. 미소 샤도우마스크는 직경 100 mm 실리콘 웨이퍼 상에서 388 개 이상의 멤브레인을 가지도록 제작되었으며, 광리소그라피와 에칭 등의 방법을 이용하여 2mm x 2mm 크기의 저응력 질화 규소 (Low stressed SiN) 멤브레인에 개방형 마이크로 패턴들을 제작할 수 있었다. 샤도우마스크를 통과하여 물질을 직접 증착함으로써 각종 마이크로 스케일의 패턴을 제작하였고 SEM, AFM 을 이용하여 제작된 패턴을 분석한 결과 마이크로 패터닝이 가능함을 확인하였다. 제안된 샤도우마스킹법은 미세 샤도우마스크 멤브레인에 정의된 패턴을 통하여 원하는 물질을 직접 국부 증착함으로써 일회의 증착공정으로 패

터닝이 가능하여 공정효율을 증가할 수 있으며, 표면과 물질의 제약을 크게 완화할 수 있는 장점이 있다. 또한 제작된 샤도우마스크는 반복하여 사용할 수 있어 공정단가를 크게 절감할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 5 (a) SEM image of micro scale pattern made by shadowmasking. (b) AFM image and surface profile of deposited pattern

후 기

본 연구는 2003 년도 경북대학교의 연구비에 의하여 수행되었으며, 샤도우마스크 제작에 필요한 장비 지원을 해주신 EPFL 스텝들에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Burger, G.J., Smulders, E.J.T., Berenschot, J.W., Lammerink, T.S.J., Fluitman, J.H.J. and Imai, S., “High-resolution shadow-mask patterning in deep holes and its application to an electrical wafer feed through,” Sensors and Actuators A, Vol. 54, pp. 669-673, 1996.
2. Brugger, J., Andreoli, C., Despont, M., Drechsler, U., Rothuizen, H. and Vettiger, P., “Self-aligned 3D shadow mask technique for patterning deeply recessed surfaces of micro-electro-mechanical systems devices,” Sensors and Actuators, Vol. 76, pp. 329-334, 1999.
3. Tixier, A., Mita, Y., Gouy J.P. and Fujita, H., “A silicon shadow mask for deposition on isolated areas,” J. Micromech. Microeng., Vol. 10, pp. 157-162, 2000.
4. Kim, G.M., Kim, B. and Brugger, J., “All-photoplastic microstencil with self-alignment for multiple layer shadow-mask patterning,” Sensors and Actuators A, Vol. 107, pp. 132–136, 2003.
5. Jackman, R.J., Duffy, D.C., Cherniavskaya, O. and Whitesides, G.M., “Using elastomeric membranes as dry resists and for dry lift-off,” Langmuir, Vol. 15, pp. 2973–2984, 1999..
6. Deshmukh, M.M., Ralph, D.C., Thomas, M. and Silcox, J., “Nanofabrication using a stencil mask,” Applied Physics Letters, Vol. 75, pp. 1631-1633, 1999
7. Brugger, J., Berenschot, J.W., Kuiper, S., Nijdam, W., Otter, B. and Elwenspoek, M., “Resistless patterning of sub-micron structures by evaporation through nanostencils,” Microelectronic Engineering, Vol. 53, pp. 403-405, 2000
8. Kim, G.M., van den Boogaart, M.A.F. and Brugger, J., “Fabrication and application of a full wafer size micro/nanostencil for multiple length-scale surface patterning,” Microelectronic Engineering, Vol. 67–68, pp. 609–614, 2003