

나노스텐실 제작을 위한 FIB 밀링 특성

김규만*(경북대 기계공학부), 정성일, 오현석(LG 생산기술원)

FIB milling on nanostencil membrane

G. M. Kim(Mecha. Eng. Dept. KNU), S. I. Chung and H.S. Oh (LG-PRC)

ABSTRACT

FIB (Focused Ion Beam) milling on a 500-nm-thick silicon nitride membrane was studied in order to fabricate a high-resolution shadow mask, or called a nanostencil. The silicon nitride membrane was fabricated by MEMS processes of LPCVD, photolithography, ICP etching and bulk silicon etching. The apertures made by FIB milling and normal photolithography were compared. The square metal pattern deposited through FIB milled shadow mask showed 6 times smaller corner radius than the case of photolithography. The results show high resolution patterning could be achieved by local deposition through FIB milled shadow-mask.

Key Words : Nanostencil (나노스텐실), Shadow mask (샤도우마스크), FIB (집속이온빔), MEMS (멤스)

1. 서론

나노리소그래피 기술은 나노기술의 기반을 제공하는 필수적이고 원천적인 기술이다. UV, e-beam, X-ray 등을 이용하는 sub- μm 나노 패턴 기술은 이러한 원천기술을 가능하게 하고 또한 고집적회로 제작분야에서 한 단계 발전할 수 있는 기반을 제공하였다. 특히 최근에 생명공학의 중요성이 강조되고 기술 융합의 중요성이 강조되면서 고기능 organic 층을 표면에 처리하는 경우가 급증하고 있고 미세 구조물 표면위에 기능성 패턴을 제작해야 할 필요도 늘고 있어 새로운 리소그래피 기술 개발에 대한 필요성이 증가하고 있다[1-3].

샤도우마스크킹이란 샤도우마스크(shadowmask 혹은 stencil)을 이용하여 원하는 패턴을 증착, 제작하는 방법이다. 샤도우마스크란 미리 정의된 패턴만이 개방되어 있고 그 나머지 부분은 막혀 있는 얇은 막을 의미한다. 이는 MEMS 기술을 이용하여 제작할 수 있다. 패턴하고자 하는 표면 위에 샤도우마스크를 올려놓으면 개방부위만 표면이 노출되기 때문에 그 위로 물질을 증착시키면 스텐실에 정의된 개방패턴이 그대로 표면위로 전사되어 패터닝

이 가능하다[4-6].

한편, LCD 제작공정 중 각종 패턴제작에 사용되는 크롬마스크의 제작은 필수적이다. 크롬마스크는 제작비용이 매우 비싸고 제작시간도 길기 때문에 총 제작 단가 산정에 있어서 큰 비중을 차지하므로 불량을 최소화 하기위한 노력이 필요하다. 일반적으로 크롬마스크는 레이저(laser)를 이용한 포토리소그래피(photolithography)로 제작되고, 특별히 높은 해상도가 요구되는 경우 전자빔리소그래피(e-beam lithography)를 사용하여 제작되기도 한다. 원리 상 샤도우마스크킹 기술은 높은 해상도를 지니므로 고해상도 크롬마스크 패턴 제작에 응용될 수 있을 것으로 판단되며 이에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 나노스텐실 제작을 위한 FIB 밀링특성을 살펴보고, 샤도우마스크킹을 이용하여 유리 기판 위 금속의 나노리소그래피특성을 평가하였다. 이를 위하여 우선 MEMS 공정과 집속이온빔 밀링(FIB milling)을 이용하여 나노스텐실을 제작하고 국부증착을 통한 나노리소그래피를 수행하였다. 그리고 레이저빔 리소그래피와 FIB 밀링으로 제작된 패턴을 비교 분석하여 고해상도 패터닝을 위한 FIB 밀링 특성을 알아보았다.

2. 제작

2.1 스텐실 멤브레인 제작

MEMS 공정을 이용하여 스텐실 멤브레인을 제작하였다. Fig.1 에 스텐실 멤브레인 제작공정과 FIB 을 이용한 나노패턴 가공 실험 공정의 개요를 나타내었다. 우선 실리콘 웨이퍼상에 500nm 두께의 질화실리콘막을 LPCVD 로 생성하였다. 이 질화실리콘막은 최종 멤브레인이 되므로 스트레스를 최소화하기 위해 저 스트레스 공정을 사용하였다. 멤브레인에 개방형 패턴을 만들기 위해서는 웨이퍼 윗면에 포토리소그래피(photo-lithography)공정으로 PR (photoresist)에 패턴을 한 후 inductively coupled plasma (ICP) etching 으로 질화실리콘을 패터닝하였다. 질화실리콘막을 멤브레인으로 만들기 위하여 웨이퍼 아랫면에 동일한 공정 (photolithography, ICP etching)으로 멤브레인 윈도우를 패터닝 하고, 마지막으로 bulk silicon etching (KOH)을 사용하여 정의된 멤브레인 윈도우를 통하여 웨이퍼 내 실리콘을 제거하여 질화실리콘 멤브레인을 제작하였다.

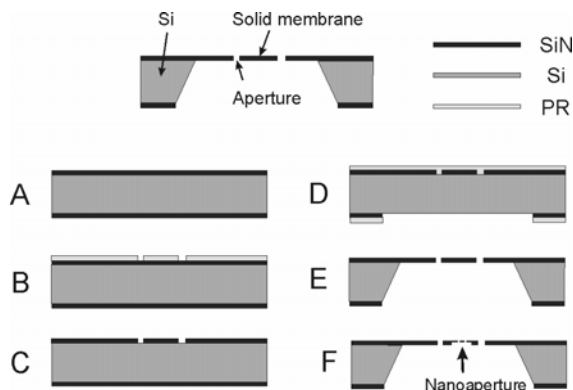


Fig. 1 Schematic overview of nanostencil fabrication process. (a) Deposition of 500-nm thick low stress SiN. (b) Photolithography of microscale pattern. (c) SiN etching of microscale pattern. (d) Photolithography and SiN etching on backside. (e) KOH etching of bulk Si from backside for 500-nm thick SiN membrane releasing. (f) FIB milling for local SiN membrane thinning into 50-nm thick, and then, nanoaperture fabrication.

2.2 FIB 을 이용한 나노 구멍패턴 가공

MEMS 공정을 이용하여 제작된 스텐실 멤브레인에 FIB 밀링을 이용하여 구멍패턴을 가공하면서 그 특성을 알아보았다. 사용된 FIB machine 은 dual beam (ion/electron beam) 시스템으로서 시료를 이동

하지 않고도 ion beam 을 이용한 가공과 electron beam 을 이용한 이미지 측정이 가능하다. 물론 ion beam 을 이용하여 이미지를 측정할 수도 있으나 이 경우에는 이온에 의하여 매우 작은 양이지만 물질이 가공되기 때문에 전자빔 측정이 가능한 듀얼빔 시스템이 최근에 많이 사용되고 있다. FIB 밀링은 우선 가공하고자 하는 범위의 윈도우를 정하고 이온빔에 가하는 전압, 전류 등의 가공조건을 설정하면 설정된 범위에서 이온빔에 의한 가공이 진행된다. 가공 범위는 최소 10nm 의 매우 작은 범위를 설정할 수 있기 때문에 고 해상도의 미세가공이 가능하다.

Fig2 에 FIB 을 이용하여 관통가공할 때 가공시간에 따른 멤브레인의 형상변화를 나타내었다. 가공된 구멍의 크기는 $4\ \mu\text{m} \times 4\ \mu\text{m}$ 이고, 가공에 사용된 FIB 조건은 30kV, 0.3nA 이다. 가공조건에서 20 초 간격으로 가공을 중단하고 전자빔으로 이미지를 얻었다. FIB 밀링이 진행되면서 처음에는 멤브레인의 두께가 얇아진다. 가공이 진행되면서 중앙부부터 관통이 되고 코너부로 관통부가 진행됨을 보인다. 관통윈도우 주위에 검게 나타난 부위는 FIB 밀링 시 SiN 시료에 전도성을 주기 위하여 Au 막을 스퍼터링하였는데, FIB 에 의하여 Au 막이 제거되었기 때문이다. 나노스케일의 aperture 를 지니는 나노스텐실 가공의 경우 나노구멍패턴의 폭에 비해 멤브레인이 두껍기 때문에 구멍패턴을 통한 물질증착이 어려워 진다. 따라서 우선 SiN 멤브레인을 FIB 을 이용하여 멤브레인 두께를 줄인 후 나노구멍패턴을 가공하여야 한다. 이는 FIB 가공시간을 조절하여 최종 두께의 조절이 가능하다.

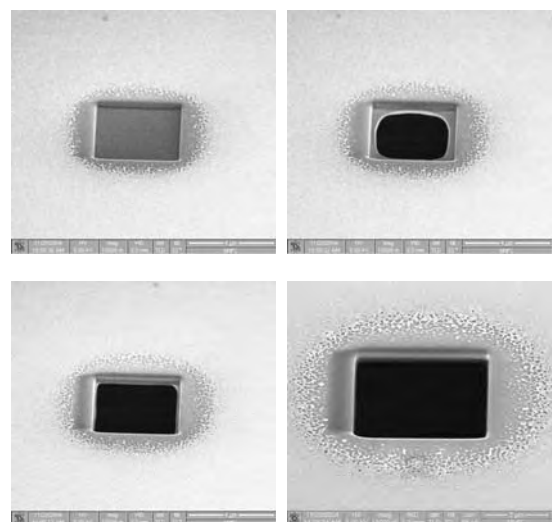


Fig.2 membrane thinning and drilled through according to FIB milling time (every 20 sec)

3. 결과 및 고찰

3.1 사각 관통 패턴의 코너부 비교

FIB 밀링가공의 해상도를 일반 리소그래피와 비교하였다. 이를 위하여 일반리소그래피로 가공된 관통된 마이크로 패턴 근처에 FIB 밀링으로 $4\ \mu\text{m} \times 4\ \mu\text{m}$ 크기의 정사각형 구멍을 가공하였다. Fig.3 을 보면 FIB 가공부분이 일반 포토리소그래피로 가공된 사각형 패턴보다 정확한 코너부 가공이 가능함을 확인할 수 있다. 기존의 포토리소그래피 방법에서는 크롬마스크용 포토레지스트 (PR, photo-resist)노광에 사용되는 레이저빔의 스팟(spot) 크기가 약 $0.8\ \mu\text{m}$ 로 크기 때문에 패턴의 코너부에서 라운드 지는 왜곡현상이 발생한다. 또한 PR 의 현상, 메탈층의 에칭과정에서 코너부는 보다 풍부한 에칭용액 (etchant)을 공급받기 때문에 코너부의 라운딩 현상이 보다 커지게 된다. 반면 FIB 밀링은 이온빔의 스팟크기가 14nm 로 매우 작고 주어진 가공범위 윈도우에서 이온에 의한 가공부가 물리적으로 제거되기 때문에 매우 정확한 코너부의 가공이 가능하다. FIB 가공 시 사용된 전류조건에 따라 코너부 round 가 달라지고, 작은 전류조건에서 보다 정밀한 가공이 가능하고 이에 따라 작은 코너부 형상을 제작할 수 있다.

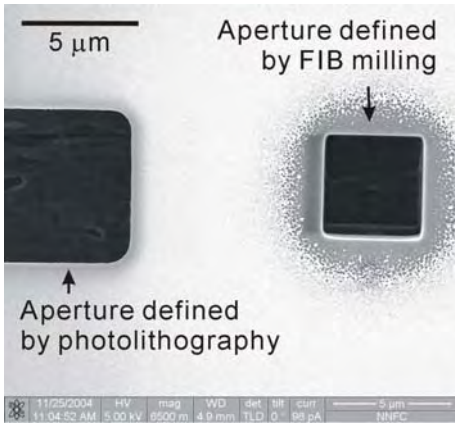


Fig.3 membrane holes made by photolithography (left) and FIB milling (right).

3.2 국부 증착을 통한 금속 패터닝

제작된 샤도우마스크를 통하여 국부증착을 수행함으로써 크롬 금속패턴을 유리기판 위에 제작하였다. 금속막의 두께는 약 50nm 을 목표로 e-beam evaporation 으로 금속패턴을 증착하였다. Fig.4 는 FIB 으로 제작된 구멍패턴(오른쪽)과 레이저 빔을 이용한 포토리소그래피로 제작된 구멍패턴(왼쪽)

통하여 증착된 금속패턴을 비교한 FESEM 사진이다. 모재인 유리가 비전도성 물질이기 때문에 SEM 측정시 발생하는 charging 효과를 줄이기 위하여 시료에 Pt 막을 스퍼터링으로 입혀서 측정하였다. FIB 샤도우마스크로 제작된 패턴의 코너부에서 라운딩 효과가 확연히 작음을 관찰할 수 있다.

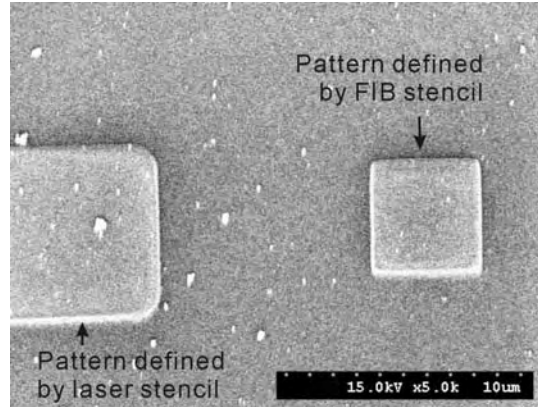
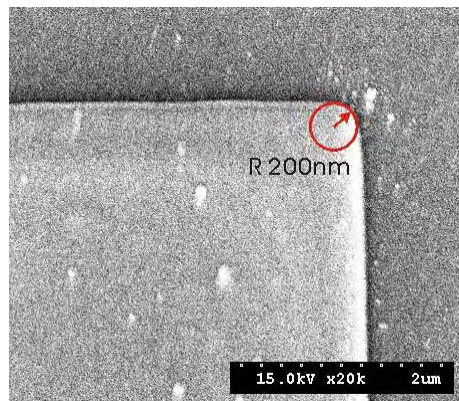
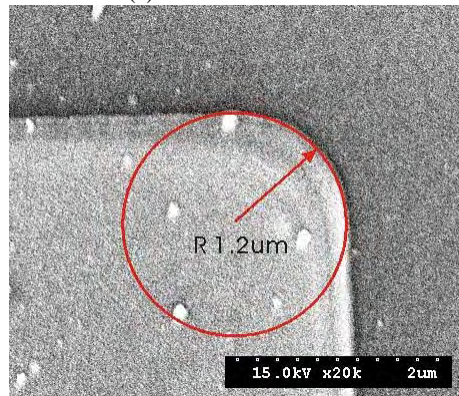


Fig.4 Cr Mask patterns made by photolithography (on left) and FIB stencil method (on right).



(a) FIB stencil method



(b) laser exposed photolithography

Fig.5 Radius of curvatures of patterns made by photolithography and FIB stencil method

Fig.5 는 FESEM 이미지를 이용하여 측정된 코너부의 곡면반경을 비교한 그림이다. Photolithography 경우 코너반경은 1.2um 로 측정되었고, FIB 밀링의 경우 코너반경은 200nm 로 측정되었다. FIB 에 사용된 가공조건은 30kV, 0.3nA 로 고속, 저정밀도의 황삭가공에 해당되는 조건으로서 보다 작은 전류조건을 사용하며 보다 작은 코너반경으로 가공이 가능하다. 이러한 상대적으로 저정밀도 조건의 FIB 가공 조건에서도 Photolithography 와 비교하여 FIB stencil lithography 가 6 배 이상 작은 코너부 round 를 보임을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 스텐실 증착기술을 이용하여 금속 나노패턴 제작기술을 개발하기 위하여 질화실리콘 멤브레인위에 FIB 밀링을 이용한 관통형 패턴 가공에서 FIB 밀링 특성을 관찰하였다. 이를 위하여 MEMS 가공공정들을 이용하여 질화실리콘 멤브레인을 제작하였고 FIB 밀링을 수행하였다. 제작된 샤도우마스크를 이용하여 금속패턴을 제작하였고 FIB 밀링과 포토리소그래피로 제작된 패턴들의 코너부형상을 비교한 결과 FIB 밀링방법이 일반 포토리소그래피보다 6 배 이상 작은 코너부 라운드를 보여 정밀가공이 가능함을 확인하였다.

참고문헌

1. A. Kumar and G. M. Whitesides, Applied Physics Letters 63, pp. 2002-2004, 1993
2. S.Y. Chou, P.R. Krauss, and P.J. Renstrom, J. Vac. Sci. Technol. B 14, pp. 4129-4133, 1996
3. K. Wilder, C.F. Quate, D. Adderton, R. Bernstein, and V. Elings, Applied Physics Letters, pp. 2527-2529, 1998
4. G.J. Burger, E.J.T. Smulders, J.W. Berenschot, T.S.J. Lammerink, J.H.J. Fluitman, and S. Imai, Sensors and Actuators A 54, pp. 669-673, 1996
5. J. Brugger, C. Andreoli, M. Despont, U. Drechsler, H. Rothuizen, P. Vettiger, Sensors and Actuators 76, pp. 329-334, 1999
6. 김규만, J. Brugger, “국부증착용 마이크로 샤도우 마스크 제작,” 한국정밀공학회지 21(8), pp.152-156, 2004