나노 홈 구현을 위한 FIB 공정기술 연구
Study of fabrication process to make nano groove using FIB

*#최현석 [1]
*#H. S. Choi(hchoi@kitech.re.kr)[1]
[1] 한국생산기술연구원 생산시스템연구부

Key words :nano groove, FIB, nano gap, surface Plasmon, focusing , fabrication process

1. 서론

마이크로/나노 가공 기술을 이용하여 미세한 렌즈와 구조체를 구현할 수 있게 되면서 광학 분야에서는 나노(Nano) 수준의 크기의 패턴과 렌즈에서의 빛의 전달과 굴절등에 대한 연구가 많은 관심을 받으며 진행되고 있다. 이러한 연구를 나노 광학(Nano optics, Nanophotonics)이라고 하며 nanometer scale 에서 빛의 거동을 연구하는 분야이다. 전통적인 광학에서 빛은 파장에 의해 굴절 특성이 정하여진다. 보통 빛은 파장의 1/2 크기가 초점 크기의 한계점으로 Rayleigh Criterion 으로 알려져 있다. 하지만 나노 광학에서는 이러한 한계를 넘는 빛의 현상에 대해 연구하는 분야로 Near field scanning microscope (NSOM), surface Plasmon optics 등을 예로 들 수 있다.

나노 광학에서 필요한 렌즈와 waveguide 등은 MEMS 공정기술과 nano 공정(ebeam lithography 등)을 사용하여 구현하고 있다. 나노 광학 시스템의 요소로 나노 크기의 패턴, 박막, 그리고 나노 슬릿(slit)등이 있으며 이러한 요소들을 구현하기 위한 공정 기술의 개발이 나노 광학 분야에서는 필수적으로 필요하다. 사용되는 공정기술에는 MEMS 공정기술과 나노 수준의 크기를 가진 패턴을 만들 수 있는 e-beam lithography, 박막가공 공정, 그리고 FIB 를 이용한 직접가공 방식의 nano 가공 공정 등이 있다.

금이나 은과 같은 금속 재질이나 실리콘(Si), 사파이어(Al_2O_3)등과 같은 비금속 재질을 사용하여 나노 수준의 크기를 가진 패턴이나 구조를 가공하는 공정은 어렵고 비용이 많이 들어가는 공정이다. 일반적인 MEMS 공정이나 반도체 공정에서 UV 를 사용한 노광 공정으로 얻을 수 있는 최소 패턴 크기는 마이크로 수준이 물리적인 한계이다.

나노 수준의 크기를 가진 패턴 공정기술로 마스크를 사용하지 않는 ebeam lithography 나 FIB(Focused Ion Beam)을 이용한 공정이 있다. 이들 공정들은 빔을 이용하여 노광을 하거나 이온 빔을 이용하여 직접 가공 재료를 식각하는 방식으로 마스크를 필요치 않아 비교적 저렴한 비용으로 짧은 시간 안에 나노 패턴을 만들 수 있다. EUV(Extreme UltraViolet)을 사용할 경우 마스크(mask)를 사용하며 다른 방법에 비해 짧은 시간 안에 넓고 많은 패턴을 만들어 낼 수 있다. 그러나 연구과정에서 빈번한 패턴 변경이 필요한 경우 마스크 제작비용이 높아 EUV 를 공정에 적용하기 어려운 점이 있다.

나노 공정에서 많이 사용되는 대표적인 패터닝 기술에 대해 표 1 에서 비교 하였다. 최근에는 FIB 와 ebeam lithography 가 나노 광학에서 렌즈의 제작에 많이 사용되고 있다. FIB 는 금속이나 비금속 모두의 패턴 제작에 적용이 가능하며 PR(Photo resistor) 없이 원하는 패턴대로 식각 및 특정 물질의 증착이 가능하여 나노 공정에서 많이 사용되고 있다. Ebeam lithography 는 FIB 보다 높은 공정 속도와 공정 패턴정밀도를 가지고 있지만 PR 을 사용하므로 적절한 PR 의 선택과 습식공정이 필요하다.

본 연구에서는 surface plasmon 의 특성에 대한 연구를 위해 나노 수준의 크기를 가진 금속(금,Au) 재질의 V 자형 홈의 구현을 위한 공정 기술을 제안하였다. Surface plasmon 은 금속 박막과 유전체 사이의 경계면에서 발생하는 전하밀도 진동이다. 이 진동을 일으키기 위해서 경계면에 수직하는 성분인 TM 편광된 파를 입사시킨다. 금속의 nano needle 이나 edge 에 빛을 입사시키면 표면을 따라 surface plasmon 이 유도되며 첨단부에서 빛으로 산란되면서 입사된 빛의 파장보다 짧은 초점 크기를 가질 수 있다. 이러한 이러한 물리적 현상은 subdiffraction limit resolution 을 가진 microscope 등에 적용되고 있다. Surface Plasmon 연구에서는 나노 구조의 구현 기술이 물리현상을 연구에 매우 중요하다. 나노 수준 크기를 가진 패턴의 정밀도뿐만 아니라 표면의 거칠기도 우수해야 하며 박막의 두께에 대한 공정 정밀도도 우수 해야만 원하는 현상을 볼 수 있다.

본 논문에서는 입사된 빛의 파장보다 작은 초점 크기를 만들고 surface Plasmon focusing 에 의한 초점에서의 에너지 밀도를 증가를 측정하기 위한 surface Plasm waveguide 를 구현하였다. V 자형의 금속 나노 홈(groove)을 만들기 위해 FIB 공정을 이용하였다. FIB 를 이용하여 단면 형상이 V 자형으로 좁은 입구쪽 홈이 약 50nm 의 크기를 갖도록 공정을 개발하였다.

Table 1 Comparison of nano-patterning processes

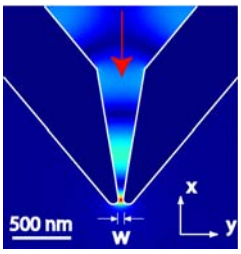
Fabrication process	Mask	Productivity	Min. Pattern pitch
EUV photolithography	Required	Good	~30nm
E-beam Lithography	No	Low	30-50nm
FIB	No	Low	50nm

2. 공정 설계

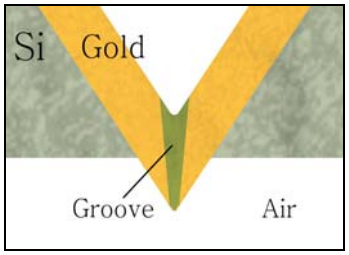
FIB 를 이용하여 나노 홈을 가공할 때 홈의 각도는 빔의 포커스 크기, 세기, 그리고 에칭 시간에 따라 결정된다. 일반적으로 FIB 에칭에 의한 홈의 각도는 거의 수직에 가까우므로 본 연구에서 원하는 V 자 형의 홈을 만들기 위해서는 FIB 공정 기술의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 FIB 를 이용하여 에칭할 때 빔의 사이즈를 달리하여 2 단계 나누어 에칭함으로써 약 17 도 정도의 각도를 가진 V 자형 홈을 구현하였다.

구현한 나노 V 형 홈의 형상은 그림 1(a),(b)와 같다. 그림(a)는 surface plasmon 의 거동을 시뮬레이션한 결과로써 좁은 홈의 끝단으로 갈수록 에너지의 밀도가 높아지는데 이것은 좁은 틈으로 surface plasmon 진행하면서 focusing 이 이루어짐으로써 나타나는 현상이다. 이러한 focusing 현상에 대한 연구를 위해 나노 홈을 제작하였으며 구현하고자 하는 홈의 최소 간격은 약 50nm 이며 홈 길이는 2um 이다. 제작된 나노 홈은 V 자형의 금박막의 중심굴곡지점 위에 가공하였다. 시험중 나노 홈의 변형을 방지하기 위해 구조적으로 평탄한 박막보다 강인한 V 자형 구조를 적용하였다.

그림 1(b)의 그림과 같이 실리콘 웨이퍼의 V 자 형상 위체 금을 증착하고 V 자 형상의 굴곡지점에 나노 홈을 가공하였다.



(a) Surface Plasmon simulation



(b) Schematic of cross section Nano V-groove

Fig.1 Surface Plasmon waveguide focusing and nano V-groove cross section view

첫번째 공정으로 실리콘 웨이퍼 표면의 SiO_2 패턴을 photolithography 공정을 이용하여 만든후 KOH 에칭용액으로 Si 을 식각한다. 다음으로 SiO_2 를 RIE 로 제거하고, 클리닝 작업을 거쳐 식각된 면에 ebeam evaporator 로 금(Au)을 증착 한다. 본 연구에서는 증착두께는 1um 으로 하였다. 증착후 KOH 를 사용하여 금증착면의 뒷면을 식각하여 증착된 금박막의 일부가 드러나도록 한다. 마지막으로 FIB 를 이용하여 나노 홈을 가공한다.

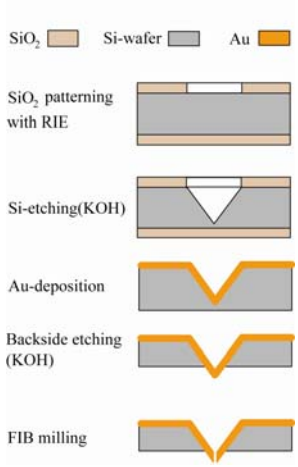


Fig. 3 Fabrication process of nano V-groove using FIB

FIB 에칭에서 홈의 측면 각도가 일정을 각도를 가지게 하기 위해서 그림 4 와 같이 2 단계에 걸쳐 서로 다른 크기의 빔 초점을 사용함으로써 V 자형 각도를 구현할 수 있었다. 1 차로 최소 직경의 빔으로 좁은 홈을 가공한다. 1 단계에서는 금박막을 관통하지 않는다. 2 단계에서는 1 단계 공정보다 큰 크기의 빔을 사용하여 1 단계에서 가공한 홈의 크기를 넓히며 금박막을 관통한다. 1 단계에서의 홈의 크기와 깊이에 따라 최종적으로 만들어 지는 V 홈의 각도와 종단부의 넓이가 결정된다.

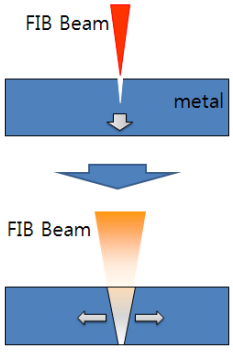
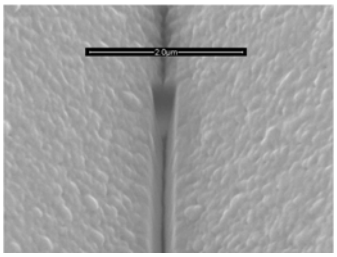
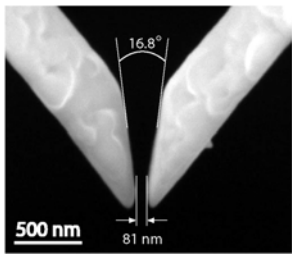


Fig. 4 Proposed FIB etching process with two kinds size beam of FIB by two step



(a) Top view



(b)Cross section view

Fig. 5 SEM pictures of nano V-groove

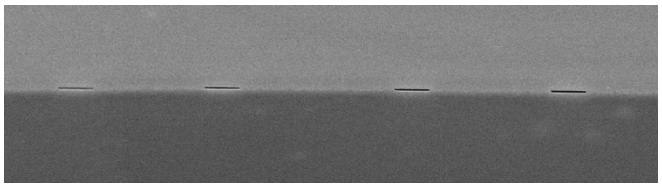


Fig. 6 SEM picture of nano V-groove on backside view
Size is 133nm, 95nm, 85nm, 71nm from left side, length 2um

3. 결론

제안한 공정과 FIB 에칭 방법을 사용하여 나노 V 홈(nano V-groove)를 구현하였다. 그림 5 는 구현된 형상에 대한 전자현미경 사진으로 V-홈의 양측면의 각도는 16.8° 이며 하부 종단부의 간격은 약 81nm 이다. 구현된 나노 홈의 최소 폭은 55nm 이었으며 V 형태의 금박막을 사용함으로써 실험이나 이동에 의해 받는 외력에 의한 나노 홈의 변형을 방지 할 수 있는 것으로 판단된다. 그림 6 은 뒷면의 형상을 V 자 굴곡선을 따라 나노 홀이 가공된 모습으로 에칭 시간을 조절함으로써 홀의 폭을 조정하였다.

향후 FIB 의 1 차 에칭 조건에 따른 홈의 형상 변화에 대해 연구를 계속 진행할 계획이다.

참고문헌

1. Maier, S. A., Kik, P. G., Atwater, H. A., Meltzer, S., Harel, E., Koel, B. E. & Requicha, A. A. G. “Local detection of electromagnetic energy transport below the diffraction limit in metal nanoparticle plasmon waveguides,” Nature Mater. **2**, 229-232, 2003.
2. Takahara, J., Yamagishi, S., Taki, H., Morimoto, A. & Kobayashi, “T. Guiding of a one-dimensional optical beam with nanometer diameter,” Opt. Lett. **22**, 475-477, 1997.
3. Berini, P.,“Plasmon-polariton waves guided by thin lossy metal films of finite width: Bound modes of symmetric structures,” Phys Rev B **61**, 10485-10, 2000.
4. Bozhevolnyi, S. I., Volkov, V. S., Devaux, E., Laluet, J. Y., Ebbesen, T. W. ,”Channel plasmon subwavelength waveguide components including interferemeters and ring resonators,” Nature **440**, 508-511, 2006.