

마이크로머시닝 기술을 이용한 전자 광학 렌즈의 제작

이 용재^o, 전 국진
서울대학교 전기공학부

Fabrication of Electro-optical Microlens Using Micromachining Technology

Yongjae Lee^o, Kukjin Chun
School of Electrical Engineering, Seoul National University.

Abstract

This paper presents a technique for fabricating an electro-optical microlens for microcolumn e-beam system. The device, named Self-Aligned Microlens (SAM) was realized by mixing surface and bulk micromachining technology. The microbridges were formed on both sides of silicon wafer symmetrically. The alignment error between the electrodes could be controlled within a few micrometers with also reducing the numbers of anodic bonding

I. 서론

현재의 optical lithography를 대체할 수 있는 방안으로 전자빔 묘화의 이용이 거론되고 있다. 그러나, 전자빔 묘화는 낮은 생산성으로 인하여 VLSI 제작에 적용되기 어려운 큰 단점이 있다. 이에 전자빔 묘화의 해상도를 유지하고 생산성을 개선할 수 있는 마이크로컬럼 전자 빔 묘화 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4]. 이는 전체 시스템을 mm scale로 소형화하여 마이크로컬럼 array에 의한 전자빔 묘화로 생산성 문제를 해결하려는 시도이다. 그리고, 저 에너지(1KeV)를 이용함으로써 근접효과를 현저히 줄일 수 있고[5] 높은 해상도를 가지는 장점이 있다[6]. 이 시스템은 그림 1에서와 같이 STM 전계 방출 팁, source lens, micro-deflector 그리고 Einzel lens로 구성되어 있다. 일반적으로, 마이크로렌즈(source lens, Einzel lens)는 multi-layer anodic bonding을 이용하여 제작되었다[7]. 2차원의 실리콘과 Pyrex glass를 한 층씩 anodic bonding으로 접합하여 3차원의 구조를 형성하였으며 광학 현미경을 통하여 실리콘의 각 hole을 정렬하였다. 그러나, multi-layer anodic bonding은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 광학 현미경을 보면서 각 hole을 정렬하기 때문에 hole 사이의 정렬이 쉽지 않고(Einzel lens에서 특히 요구됨), 접합에 대한 신뢰도가 떨어지며, anodic bonding을 계속 수행함으로써 마이크로렌즈의 생산성에 제약을 가져올 뿐만 아니라, 높은 electric field로 인한 열화가 발생할 수 있고, 균일한 성능의 마이크로렌즈를 제작하기 힘들다.

위에 기술된 문제점을 해결하기 위하여 새로운 구조의 마이크로렌즈인 SAM (Self-Aligned Microlens)을 제작하였다. 이 소자는 그림 2에서와 같이 실리콘 웨이퍼 양면에 두 개의 전극이 형성되어 있으며 각 전극은 중앙에 hole이 형성되어 있는 마이크로 브릿지의 형태를 지니고 있다. 두 개의 마이크로 브릿지 사이에는 이방성 식각에 의해 실리콘을 식각함으로써 전자빔이 통과할 수 있도록 cavity가 형성되어 있다. 이 구조를 제작하기 위하여 표면 마이크로머시닝 기술과 벌크 마이크로머시닝 기술을 동시에 사용하였다. 표면 마이크로머시닝 기술에 의하여

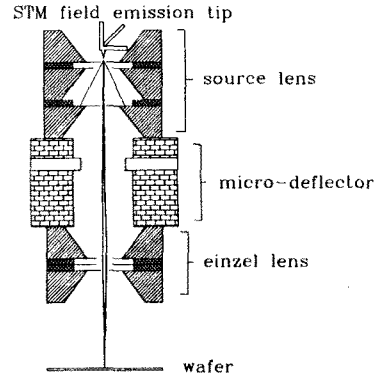


그림.1 Microcolumn electron beam lithography system

마이크로 브릿지를 제작하였고 벌크 마이크로머시닝 기술에 의하여 전자빔이 통과할 수 있는 공간을 형성하였다. 이 소자로 실리콘 웨이퍼에 3차원의 구조를 형성하였고, 3층(silicon-glass-silicon)을 접합과정 없이 조립할 수 있었다.

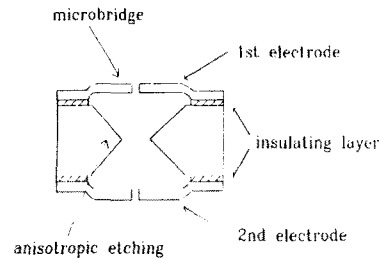
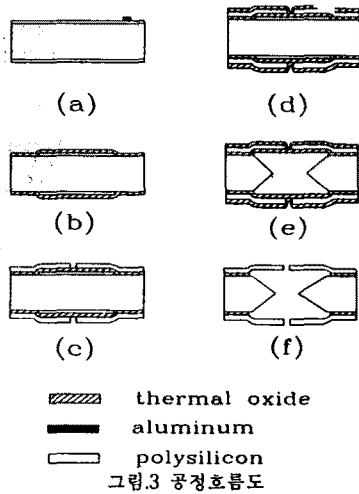


그림.2 SAM의 구조

II. SAM 제작

SAM은 회생층과 구조층으로 폴리실리콘을 사용하였다. 회생층인 폴리실리콘과 벌크실리콘을 Ethylene-Diamine Pyrocatechol(EDP) 용액에서 동시에 식각함으로써 구조를 완성하였다. 전체 공정을 보여주는 그림이 그림3에 나타나 있다.

기판 물질로는 p-type (100) 양면으로 폴리싱된 웨이퍼를 사용하였다. 저기압 화학 기상 증착(LPCVD)에 의해 회생층으로 사용될 1μm의 폴리실리콘을 증착하였다. 그 위에 양면 정렬마스크 사용되는 알루미늄을 증착한



후 인산, 질산, 초산, 물의 혼합용액에 알루미늄을 식각하였다. 이 정렬마크를 사용하여 웨이퍼 양면의 폴리실리콘에 정렬된 같은 모양의 패틴을 만들어 주고 RIE로 건식식각하였다. 알루미늄을 제거하고 난 후, 폴리실리콘에 1.5 μm 의 열산화막을 길러 주었다. 이 열산화막은 후에 EDP 용액에서 식각할 때 구조층인 폴리실리콘의 아래 부분을 보호하고, 마이크로렌즈 내부에서 동작할 때 생길 수 있는 breakdown을 방지하기 위한 절연층의 역할을 한다. 열산화막 위에 마이크로 브릿지를 형성하는 구조층으로 사용되는 2 μm 의 폴리실리콘을 길러 주고, POCl₃로 도핑을 하였으며, 폴리실리콘의 내부 스트레스를 줄이기 위하여[8] 1000 $^{\circ}\text{C}$ 에서 4시간의 drive-in 과정을 수행하였다. RIE에 의하여 렌즈의 구경으로 사용되는 hole과 EDP 용액으로 실리콘을 식각할 식각 윈도우를 폴리실리콘에 형성하였다. 그리고 나서, 마이크로 브릿지의 윗부분을 보호할 열산화막을 폴리실리콘에 길러 주고 etch window에 존재하는 열산화막을 BHF로 식각하여

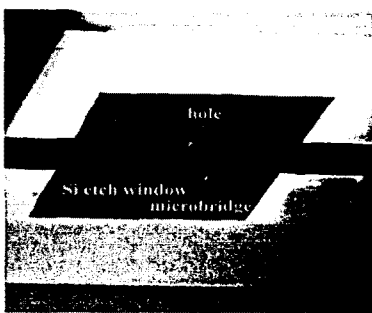


그림4. 마이크로 브릿지의 SEM 사진

서 희생층인 폴리실리콘이 window를 통하여 표면에 드러나게 하였다. 그 후 EDP 용액에서 실리콘을 식각하면 etch window의 희생층 폴리실리콘이 식각되면서 그 아래 존재하는 벌크 실리콘도 같이 식각이 되고 희생층 폴리실리콘이 수평 방향으로 모두 식각이 된 후 마이크로 브릿지가 형성되었다. 이 때 벌크 실리콘은 54.7 $^{\circ}$ 의 각을 이루면서 cavity가 형성될 때까지 계속 식각이 되고 4시간 식각 후 모든 식각면에서 (111) 방향이 드러나게 되면 식각율이 현저히 떨어지게 된다. 이는 식각 정지 방법을 따로 사용할 필요가 없기 때문에 다른 공정에 비해 유연한 공정이다. 한편, 식각 과정에서 열산화막이 마이크로 브릿지를 위아래로 보호하기 때문에 마이크로 브릿지를 형성하는 폴리실리콘은 EDP 용액의 침투를 받지 않는다. 마지막으로 열산화막을 BHF 용액으로 제거하면 모든 공정이 끝나고 소자가 완성된다. 이를 SEM으로 관찰한 사진이 그림 4에 보여지고 있다.

III. 마이크로렌즈 조립

마이크로렌즈의 source lens는 SAM에 의해 대체될 수 있지만 Einzel lens는 5층(3개의 전극)으로 이루어져 있기 때문에 접합과정이 필요하다. 그림 5에서 보여지는 바와 같이 이전의 Einzel lens는 4번의 양극접합으로 5층을 구성하였지만, SAM에 의하여 2번의 양극접합으로 Einzel lens를 형성할 수 있다. 따라서 2번의 양극 접합 과정을 줄이게 되어 정렬 오차도 5 μm 이내로 감소시킬

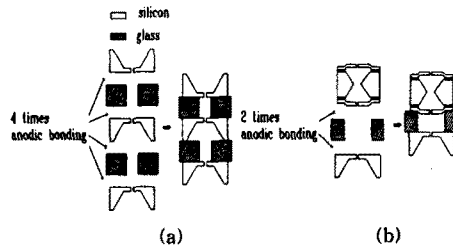


그림. 5 microlens assembly
(a)conventional method (b) with SAM

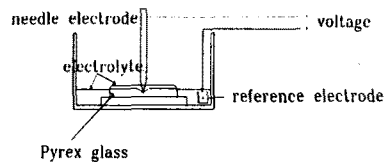


그림. 6 EDM 장치

수 있었다. Diaphragm 중앙에 hole이 형성되어 있는 실리콘 sample을 SAM과 조합할 electrode로 사용하기 위하여 미리 제작하였다. Diaphragm을 형성하는 방법으로는 boron으로 높게 도핑된 실리콘의 식각 정지 성질을 이용하였다. 마이크로렌즈의 조립은 그림 5 (b)에서 실리콘과 Pyrex glass를 먼저 anodic bonding으로 접합시킨

후 Pyrex glass의 다른 한쪽 면과 SAM을 접합시키는 순서로 진행하였고, anodic bonding은 350℃, 800V의 조건에서 수행하였다.

Pyrex glass에 전자빔이 통과할 수 있는 hole을 형성하기 위하여 Electrochemical Discharge Machining (EDM) 기술[9]을 이용하였다. EDM 장치가 그림 6에 나타나 있다. 30V 이상의 전압을 needle과 전해액 사이에 가해주면 방전이 일어나고 이 방전에너지에 의해 온도가 높게 상승하여 glass를 식각하게 된다. EDM 공정 후에 식각된 glass의 표면은 anodic bonding을 하기에 적당한 surface roughness를 유지하였다.

IV. 결론

Surface와 bulk micromachining 기술을 혼합하여 새로운 구조의 electrostatic microlens를 제작하였다. 이 소자의 장점은 1)정렬 오차가 mask aligner의 정렬 오차에 의해 결정되기 때문에 수 μm 이내로 조절이 가능하고, 2)anodic bonding 횟수를 감소시켜 microlens의 생산성 향상과 균일한 성질을 얻을 수 있다.

Electron beam lithography는 현재의 optical lithography를 대체할 기술로 간주되어 왔지만, 낮은 생산성으로 인하여 microelectronics에 적용되기 어려운 단점이 있다. 따라서, multi-column array에 관한 연구가 이 문제에 해결책을 제시할 수 있으리라 생각된다. 그런데 microcolumn 내부의 microelectro-optical component는 작은 scale로 인하여 미세한 오차도 전체 시스템에 큰 영향을 줄 수 있기 때문에 현재와 같이 조립하는 방법은 적당하지 않다. 그러므로 silicon micromachining에 의한 microcolumn의 집적화가 필요하고 SAM은 이를 위한 출발점이라고 할 수 있다.

References

1. L.P. Muray, U. Staufer, E. Bassous, D.P. Kern and T.H.P. Chang, J. Vac. Sci. Technol. B9(6), Nov/Dec 1991
2. T.H.P. Chang, D.P. Kern, L.P. Muray, J. Vac. Sci. Technol. B10(6), Nov/Dec 1992
3. E. Kratschmer, H.S. Kim, M.G.R. Thomson, K.Y. Lee, S.A. Rishton, M.L. Yu and T.H.P. Chang, J. Vac. Sci. Technol. B12(6), Nov/Dec 1994
4. T.H.P. Chang, L.P. Muray, U. Staufer and D.P. Kern, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.31 Dec. 1992
5. T.J. Stark, K.M. Edenfeld, D.P. Griffis, Z.J. Radzinski, and P.E. Russel, J. Vac. Sci. Technol. B11(6), Nov/Dec 1993
6. E. Kratschmer, H.S. Kim, M.G.R. Thomson, K.Y. Lee, M.L. Yu, and T.H.P. Chang, J. Vac. Sci. Technol. B13(6), Nov/Dec 1995
7. 이 용재, 강 석호, 전 국진, "다층양극집합을 이용한 마이크로렌즈 제작" 센서기술학술대회, 1995 10, pp.47-53
8. Dieter Maier-Schneider, Aylin Ersoy, Jürgen Maibach, Dieter Schneider and Ernst Obermeier, Sensors and Materials, Vol.7, No.2, (1995) pp.121-129
9. Shuichi Snon and Masayoshi Esashi, Technical