

기술논문

감광성유리를 이용한 마이크로머시닝 기술

조수제[✉]

NT 랩

Micromachining technology using photosensitive glass

Sooje Cho[✉]

NT LAB

Abstract

Micromachining of photosensitive glass by UV exposure, heat treatment, and etching processes is reported. Like photoresist, the photosensitive glass is also classified into positive and negative types by development characteristics. For the positive type, the exposed area is crystallized and etched away during the etching process in HF solution, whereas the unexposed area is crystallized and etched away for the negative type. The crystallized area of the photosensitive glass has an etch rate approximately 30~100 times faster than that of the amorphous area so that it becomes possible to fabricate microstructures in the glass. Based on the unique properties of glass such as high optical transparency, electrical insulation, and chemical/thermal stability, the glass micromachining technique introduced in this work could be widely applied to various devices in the fields of electronics, bio engineering, nanoelectronics and so on.

Keywords: Photosensitive Glass(감광성유리), Micromachining(마이크로머시닝), Etching(에칭), UV exposure (자외선 노광), Heat treatment(열처리)

1. 서론

유리는 독자의 투명성, 전기적 절연성, 내열성, 내화학성 등 다양한 특성을 지니고 있어 일반 생활용품뿐만 아니라 평판디스플레이나 초정밀 전자소자의 패키징, lab on a chip, 각종 MEMS 등에 이르는 각종 첨단소자의 핵심 부품으로 폭넓게 이용되고 있다.

이와 같은 소자를 구현하게 하는 유리의 마이크로머시닝 기술은 포토리소그라피 기반으로는 감광성유리공정기술, 습식에칭 기술, 샌드브라스트 기술 등이 있으며, 레이저나 기계가공, 또는 소성을 이용한 다양한 방법들이 디바이스에 응용되고 있다. 포토리소그라피 기반의 기술 중에서는 일반적으로 습식에칭 기술, 샌드브라스트, 감광성유리 공정 기술 순으로 그 정밀도가 향상된다. 특히 감광성유리 기술은 다른 기술들과 비교할 수 없을 정

도로 정밀도가 높아, 그 응용성이 전자, 기계, 화학, 우주항공 분야에 이르기 까지 크게 증가하고 있다.

2. 감광성유리 기술

감광성유리란 유리를 특수한 조성으로 만들어, 자외선을 조사시킨 다음 빛을 받는 부분 또는 빛을 받지 않은 부분에 미세한 결정상을 석출시켜서, 비정질로 유지하는 부분과의 에칭선택성의 차이를 이용하여 이방성에칭이 가능하도록 한 기술이다.

이 기술은 1947년 미국 Corning의 Stookey에 의해서 우연히 발견된 현상으로¹ 초기에는 지금과 같은 첨단기술이 발전한 상황이 아니어서 유체소자 등에 제한적으로 응용이 되었으나, 실제 생활응용 측면에서 유명한 코닝웨어(코렐 등)에 적용되어 오늘날까지 판매되고 있다.

투고일: 2011년 3월 2일 심사완료일: 2011년 3월 10일

계재승인일: 2011년 3월 17일

교신저자: 조수제 ✉ mems21@ymail.com

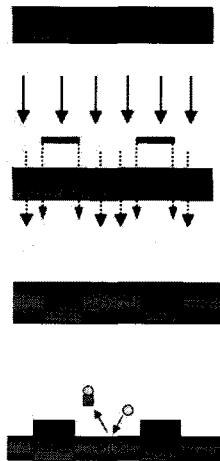


Fig. 1 공정도.

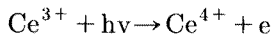
그러나 최근 MEMS기술의 발전과 함께 1980년 대 후반 독일의 IMM을 필두로 하여 미국, 유럽, 일본 등에서 새로이 조명받게 되었고 응용분야가 광범위하게 확대되고 있는 상황이다.

또 현상적인 측면에서 기존의 노광부가 에칭되는 포지티브형 공정과 반대되는 비노광부 에칭형인 네거티브 현상은 저자에 의해서 발견되었으며, 동일한 에칭조건하에서 크게 향상된다고 보고되었다.

감광성유리의 마이크로머시닝을 위한 주요 공정은 Fig. 1과 같이 크게 노광, 열처리, 에칭으로 이루어진다.

2.1 노광

노광공정은 감광성유리에 빛에너지를 흡수시켜 특정 이온(Ce³⁺ 등)으로부터 전자가 분리시키는 공정이다.²



이 때 방출된 전자는 아직 밝혀지지 않은 유리 내 특정 사이트에 존재하게 되며 추후 열처리공정에서 은원자의 석출에 영향을 주게 된다.

노광은 수은등과 같은 자외선 광원을 통한 자외선을 조사하는 방식이 일반적이나 최근에는 레이저광을^{3,5} 감광성유리에 조사시켜서 다양한 소자를 개발하기도 한다.

보통 MEMS공정에서 이용되는 얼라이너와 같이 자외선램프를 이용하는 경우 노광에 영향을 주는 파장은 310nm영역의 파장이다. 그러므로, 이 영역 파장의 흡수가 많은 소다라임유리로 된 포토마스

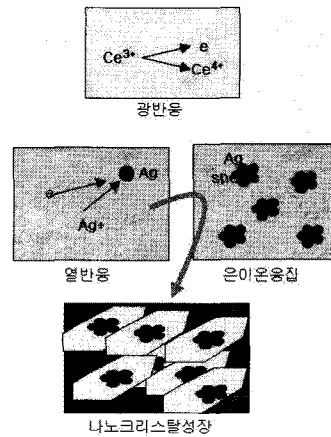


Fig. 2 광반응 및 열반응.

크로는 광반응이 쉽게 일어나지 않는다. 또 일반 포토리소그래피에 이용되는 365nm나 430nm의 파장역시 광반응이 일어나지 않으므로, 주의해야 한다. 그러나 레이저와 같이 집중된 에너지가 매우 큰 경우는 310nm 보다 긴 파장에서도 감광이 되는 것을 여러 테스트에서 확인된 바 있다.

2.2 열처리

열처리를 하게 되면 광반응에 의해 생성된 유리내의 전자가 유리내의 은 이온과 결합하여 은 원자가 석출하게 된다. 은 원자들끼리 응집하여 미세한 응집체들을 형성하게 되는 데, 이 은 원자를 중심으로 하여 결정체들이 성장하게 된다.² 보통 580도 정도의 온도에서 준안정상인 litium metasilicate가 800도 정도의 고온에서는 litium disilicate가 석출이 된다. 마이크로머시닝을 위해서 분당 2도씩 승온시켜 580도에서 1시간 유지하였으며, 이후 상온으로 서냉시켰다. 이와 같이 하여 결정상이 유리 내에 생성되게 하면 추가적인 화학에칭 단계에서 유리상태로 유지되는 부분에 비해 수십 배 빠른 에칭거동을 나타내게 되어 유리의 마이크로머시닝이 가능하게 된다.

2.3 에칭

에칭은 보통 5-10%의 HF 수용액으로 한다. 에칭 방식은 보통 dipping이나 spray를 한다. dipping은 가장 간단하나, 정밀도가 떨어지고, spray는 불산 증기의 처리를 신중히 해야 하고, 설비비용이 크게 증가되는 문제가 있다. 결정화 분율이나 방식에 따라 차이가 있지만 에칭 선택성(etching selectivity)은 약 30-100정도로 결정상이 형성된 부분이 결정상이 형성되지 않은 부분에 비해 에칭속도가 빠르다.



Fig. 3 노광부에서의 XRD 분석.



Fig. 4 비노광부에서의 XRD분석.

일반적으로 제작하는 것이 마이크로 홀이나 마이크로 채널이므로, 에칭부산물의 신속한 배출과 에칭 액의 원활한 공급은 구조체의 정밀도에 크게 영향을 미치게 된다. 당사에서는 spray대신에 강력한 기관진동을 도입하여 1mm두께의 감광유리를 dipping으로 에칭 했을 때 한 시간 정도 소요된 것을 15분 정도로 줄인바 있다.⁶

2.4 네거티브 감광성유리 기술⁷

HOYA의 PEG-3을 이용하여 마이크로머시닝 테스트를 하다가 광량 및 열처리 온도의 영향을 평가하는 과정에서 자외선을 받지 않은 부분이 결정화되는 현상을 발견하여, 2001년 국제 재료학회에 발표한 바 있다. 네거티브 공정에서는 노광부는 색만 바뀐 투명한 비정질 상태를 유지하게 되고, 비노광부는 결정질로 바뀌게 되었다.

Fig. 3은 노광부의 광량을 변화시켜 가며 분석한 X-ray 회절(XRD) 패턴을 나타내고 있다. 노광 시 500w의 수은등을 사용하였으며, broad band(수은등의 모든 파장이 나오도록 한 상태)에서 수행하였다. HOYA사의 PEG-3의 경우 결정화시 광량에 따라 차이가 있지만 불투명한 흰색에서 연분홍, 갈색 등으로 노광부의 색이 변화하며, Schott사의 FOTORAN의 경우 검은 색을 띄게 된다. 실험에서는 PEG-3를 이용하였으며, 노광 시간을 1분 30초 한 다음 열처리하면 노광부는 연분홍색이 되고

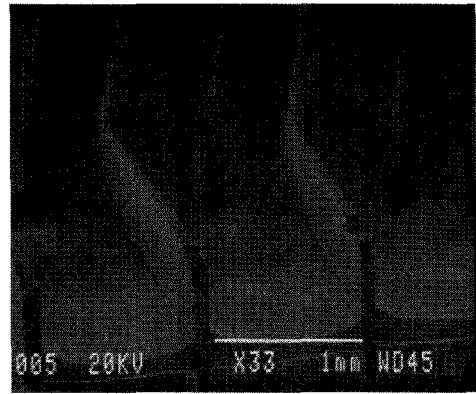


Fig. 5 네거티브공정으로 제조된 마이크로채널.

비노광부는 투명한 상태를 유지한다. 그림의 맨 위 X-ray 회절 패턴은 이 때 노광부의 분석패턴이다. 그 아래는 10분 노광했을 때이며, 맨 아래 패턴은 20분 노광했을 때의 X-ray 회절패턴이다. 그림에서 알 수 있듯이, 어느 정도의 노광량에서는 결정상을 형성하나, 광량의 증가와 함께 노광부가 비정질 상태를 유지함을 할 수 있다.

Fig. 4는 동일한 노광조건하에서 비노광부의 XRD 패턴을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 광량의 증가와 함께 비정질 상태의 비노광부에서 결정질의 *litium metasilicate*가 발생되는 것을 확인할 수 있다.

네거티브 감광성유리 공정으로 제조한 마이크로채널을 주사전자현미경으로 관찰한 사진을 Fig. 5에 나타내었다.

에칭은 에칭조속에 담근 상태의 딥핑으로 했는데, 동일 조건으로 포지티브 형으로 제조했을 때 낮은 에칭선택성으로 인하여 패턴이 뭉그러짐에 반해 네거티브 공정에서는 훨씬 정밀한 미소구조체가 구현됨을 확인할 수 있었다.

감광성유리는 호야에서 생산되는 PEG-3과 쇼트의 EOTURAN이 대표적인데, 두 유리의 경우 모두 *litium silicate*기반이며, 소량 첨가된 산화물의 미소한 조성 차이만 있을 뿐이나, PEG-3에서는 네거티브 감광성유리 공정이 확인되었으나, FOTORAN에서는 확인되지 않았다.

네거티브 감광성유리 공정의 정확한 원인은 규명되지 못했는데 추후 검토되어야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 광량이 증가될 때 노광부에서 비정질을 유지하는 이유
- 2) 광량이 증가될 때 비노광부가 감광되는 이유



Fig. 6 감광성유리로 구현가능한 형상.

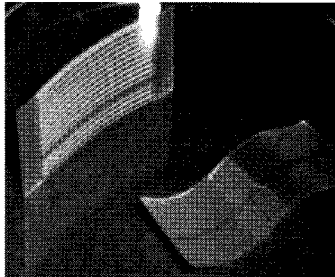


Fig. 7 곡면상의 마이크로머시닝.

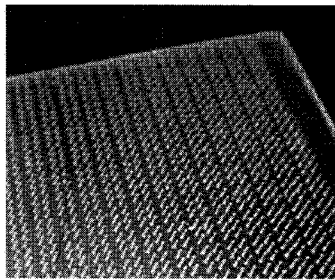


Fig. 8 경사진 마이크로홀.

2.5 감광성유리로 구현 가능한 형상

감광성유리로는 기존의 실리콘의 deep RIE(reactive ion etching)기술에 비해 다양한 형상의 구현이 가능하다. 일반적인 수직 관통형 에칭 뿐 만이 아니고 경사에칭이나 다단에칭, 다단 접합 등이 가능하다. 또한 유리를 점성이 큰 액체로 분다면, 평면이 아닌 곡면형상도 가능한 특징이 있다.

Fig. 6에 구현가능한 다양한 형상을 나타내었다. 비아홀의 도체화를 용이하게 하기 위해서는 테이퍼상이 바람직한데, 이 경우는 광량을 줄이거나 많이 하여 제조할 수 있다.

Fig. 7의 곡면상의 마이크로홀이나 채널은 노광을 먼저 한 다음 열처리 과정에서 휘어지는 현상을 이용하여 제조한 것이다. 틀을 적당히 만든 다음 결정화과정에서 곡면을 만들수가 있다.

Fig. 8의 경우는 포토마스크 및 감광성유리를 입사광에 대해 경사지게 배치한 후 노광을 한 후 에칭을 한 것이다.

감광성유리는 유리자체의 특성을 지니는 투명한 구조체를 만드는 것도 가능하나, 노광 후 열처리하면 세라믹 화 되는 현상을 이용하여, 세라믹 화 시킨 구조체를 형성할 수도 있다.

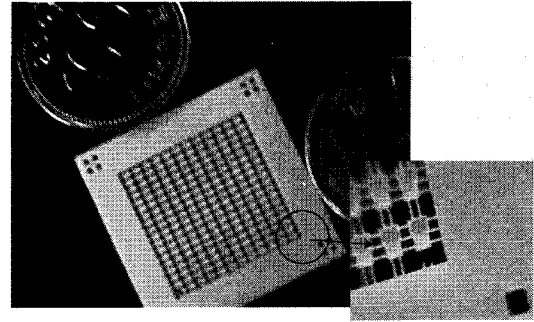


Fig. 9 세라믹화한 마이크로구조체.

Table 1 실리콘 이방성에칭기술과 감광성 유리공정의 비교

감광성 유리 공정	실리콘 RIE
공정이 간단	공정이 복잡
별도의 마스크 고정 불필요	PR, SiN 등 다양한 마스크 필요
빠른 에칭 속도 (1mm 관통 10-20분)	상대적으로 느림
수백 장이라도 한꺼번에 식각 가능	기판 수 제한
습식(저가 설비)	진공(고가 설비)

Fig. 9에는 마이크로캡용으로 제조된 다단에칭된 감광성유리 구조체로 에칭 후 재노광한 다음 780C에서 1시간 열처리하여 얻은 세라믹 구조체이다. 세라믹화는 580°C 근처의 온도에서도 일어나며, 이때의 주 결정상은 준안정상상태(meta stable)의 결정상인 lithium metasilicate, 750°C 이상의 결정화 온도에서는 안정상인 lithium disilicate가 형성된다.

3. 감광성유리기술의 응용

마이크로머시닝 기술은 NT(나노기술), IT(정보기술), BT(바이오기술), ET(환경기술) 등 산업전반의 첨단기술의 핵심기술로 자리 잡고 있다. 유리는 고유의 광학적, 전기적 특성 및 열적 화학적 안정성으로 인하여 다양한 용도로 사용될 수 있다. 특히 감광성유리는 그 특유의 마이크로머시닝 특성 및 세라믹화 기능까지 복합화 되어 현재 수 많은 기술 분야로 그 응용성이 확대되고 있다.

Table 1에는 MEMS분야 및 다양한 산업분야에서 활용되고 있는 실리콘 이방성에칭 기술과 비교한 표를 나타내었다. 고가의 공정설비를 이용하여 하는 실리콘 RIE기술에 비해 다양한 장점을 지니고 있음을 알 수 있다.

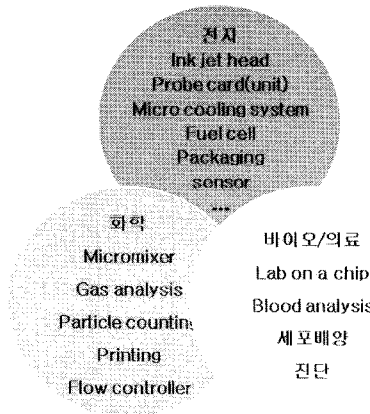


Fig. 10 유리 마이크로머시닝 응용분야.

Fig. 10에는 전자, 화학 및 바이오 분야에서 현재 개발되거나 상용화된 응용분야를 나타내고 있다. 이 외에도 우주항공분야에서는 미국의 DARPA에서 개발한 초소형 인공위성의 추진체가 있으며, 기록분야에 응용해서는 CD 한장에 기가비트의 백만배에 이르는 페타비트를 기록할 수 있는 기록매체를 감광성유리 공법으로 개발하여 제품을 출시하고 있다.

국내에서는 기업체를 중심으로는 전자분야에서 프로브카드의 세라믹기판이나 MEMS 니들(needle) 제조에 대한 연구나, 잉크젯 프린터 헤드의 개발이 진행 중이며, 특히 전자소자의 경박 단소화 및 제조비용의 절감을 위한 웨이퍼레벨 패키징화를 다양한 각도에서 접근해오고 있다.

그러나 국내 개발기간은 짧지 않음에 반해 실제 제품화는 외국에 비해 느린 편이다. 예로 표면탄성과 필터(SAW필터)의 경우 국내에서 개발은 먼저 이루어졌으나, 일본의 교세라에서 감광성유리 기술을 응용한 제품을 먼저 출시하였다. 잉크젯헤드 역시 국내에서 제품개발은 지난 10여 년간 다양한 형태로 진행이 되어 왔으나, 실제 제품에 적용한 개발품은 미국 및 일본에서 먼저 완성되었으며, 국내는 여전히 미진한 상태이다.

이와 같은 현상은 위에 언급한 분야뿐만이 아니고, 바이오, 의료, 각종 센서 응용 등 제반분야에서 비슷한 현상이 나타나고 있는데, 연구개발의 집중도를 올리는 것이 필요할 것으로 생각된다.

4. 결 론

감광성유리를 이용한 마이크로머시닝 기술은 노

광, 열처리, 에칭의 공정으로 정밀한 마이크로머시닝이 가능한 기술로 수 많은 산업응용성을 가지고 있는 반면에 그 개발의 시작은 길지 않은 분야이다.

국내산업의 경우, 반도체, 평판디스플레이, 휴대폰 등의 정보통신기기 등이 세계시장을 선도하고 있는 상황인데, 이와 같은 산업분야를 포함한 각종 전자부품 및 소자에 있어 핵심요소기술로 자리잡을 수 있는 중요한 기술이다.

외국의 경우도 비교적 개발기간이 길지 않은 상황이므로, 국내에서도, 지금부터라도 관련 소재 및 소자의 개발을 적극적으로 추진하여 선도적으로 원천요소기술들을 확보한다면 추후 산업에 큰 보탬이 될 것으로 생각된다.

References

- 1) S.D. Stookey, Canadian patent 442273(1947).
- 2) S.D. Stookey, Ind. Chem., 41(4): 856-861(1949).
- 3) Y. Cheng, K. Sugioka RIKEN RIVIEW No. 50: 101-106(2003).
- 4) U. Brokmann, M. Jacquorie, M. Talkenberg, A. Hamisch, E.W.Kreutz, D. Hulsenberg, R. Poprawe Microsystem Technologies 8: 102-104(2002).
- 5) S.Etoh, T.Fujimura, R.Hattori and Y. Kuroki Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42: 4093-4097(2003).
- 6) blog.daum.net/memsware 기판진동에칭
- 7) 조수제 대한민국 특허 1003871000000