

핫 엠보싱 공정을 이용한 플라스틱 CE(capillary electrophoresis) 마이크로 칩의 제작

차남구, 박창화, 임현우, 박진구 (한양대 마이크로바이오칩센터)

Fabrication of plastic CE (capillary electrophoresis) microchip by hot embossing process

Nam-Goo Cha, Chang-Hwa Park, Hyun-Woo Lim, Jin-Goo Park (MicroBioChip Center, Hanyang Univ.)

Abstract

A plastic-based CE (capillary electrophoresis) microchip was fabricated by hot embossing process. A Si mold was made by wet etching process and a PMMA wafer was cut off from 1mm thick PMMA sheet. A micro-channel structure on PMMA substrate was produced by hot embossing process using the Si mold and the PMMA wafer. A vacuum assisted thermal bonding procedure was employed to seal an imprinted PMMA wafer and a blank PMMA wafer. The results of microscopic cross sectional images showed dimensions of channels were well preserved during thermal bonding process. In our procedure the deformation amount of bonding process was below 1%. The entire fabrication process may be very useful for plastic based microchip systems.

Key Words: Nanoimprint (나노임프린트), Hot Embossing(핫 엠보싱), Capillary Electrophoresis(모세관 전기영동), Plastic Chip(플라스틱 칩)

1. Introduction

분석시스템의 소형화를 위한 연구의 발전은 최근 30여년간 계속 진행되어 왔으며, 특히 최근 몇 년간 폴리머 기반의 micro CE(capillary electrophoresis) 칩의 발전은 미세유체시스템 시장에서 많은 관심을 끌게 되었다. 현재 대부분의 미세유체시스템은 유리 기관이나 실리콘 기관으로 제작되며 복잡한 채널 망들을 칩 내부에 가지고 있는 형태로 구성되어

있다. 폴리머 기반의 마이크로칩은 동일한 채널과 구성을 가지면서 유리나 실리콘으로 만든 칩들에 비해 낮은 가격, 공정의 단순함, 대량생산 등의 많은 이점을 가지고 있다. 이러한 폴리머 기반의 미세소자를 만드는 기술은 hot embossing, injection molding, soft lithography, X-ray, laser ablation, sacrificial etching 등이 있으며, 이번 연구의 제작 방법으로는 핫 엠보싱 기법이 사용되었다 [1,2].

PMMA (polymethyl metacrylate)는 광소자에 널리

쓰이는 매우 잘 알려진 재료로 다른 일반적인 플라스틱들에 비해 상대적으로 낮은 소수성을 가지고 있으며, 전기장을 마이크로채널에 가했을 경우에 안정적인 EOF(electro-osmotic flow)를 가지고 있다 [3-5]. 또한 PMMA는 가격이 싸고, 내후성이 좋으며, 인체에 무해한 물질로써 실제로 *in-the-field*? 또는 *point-of-care*에 적용할 수 있는 일회용 소자의 재료로써 기대된다 [4].

본 연구에서는, 실리콘 볼드와 1 mm 두께의 PMMA 판을 사용하였으며 핫 엠보싱 기술과, 패턴의 변형이 최소화되는 *thermal bonding* 공정을 이용하여 PMMA micro CE 칩을 제작하였다.

2. Experimentals

2.1. Chip design

마이크로칩은 Fig. 1.에서 보는 것처럼 10 mm의 짧은 채널과 64 mm의 긴 채널이 십자가 모양으로 교차하여 이루어져 있다. 채널의 너비는 50 μ m 이고, reservoir의 직경은 2 mm로 설계되었다. 각각의 Reservoir는 H1 (buffer reservoir), H2 (sample reservoir), H3 (sample waste), H4 (buffer waste)로 표시하였으며, 마스크는 AutoCAD를 이용하여 제작하였다.

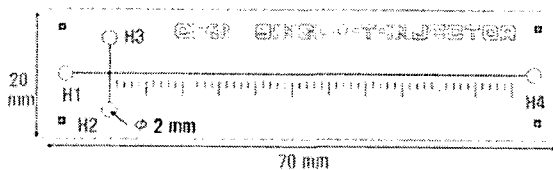


Fig. 1. Mask design for the micro CE chip.

2.2. 실리콘 mold 제작

핫 엠보싱을 위한 실리콘 mold를 제작하기 위하여 300 nm 두께의 thermal oxide가 증착된 4 인치 실리콘 웨이퍼(100)를 사용하였다. 세정과 습식식각에 사용된 H_2SO_4 , H_2O_2 , HF, KOH 등의 케미컬은 ㈜동우화인켐에서 구매하였다. Thermal

oxide 웨이퍼는 piranha 용액 ($H_2SO_4 : H_2O_2 = 4 : 1$)을 이용하여 세정하였다 (Fig. 2(a)).

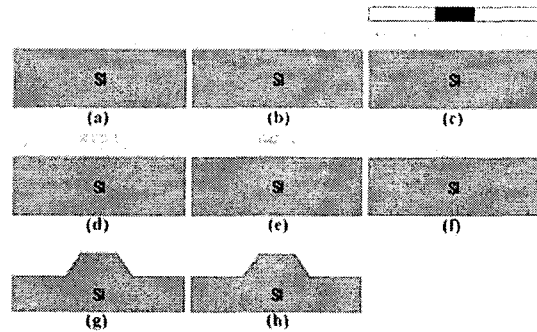


Fig. 2. Fabrication process for Si molds. (a) A 300 nm thermal oxide layer on Si was cleaned by piranha solution. (b) A layer of photoresist (AZ1512) was spin-coated. (c) The surface exposed to UV light through a photomask. (d) Development of the photoresist provided the surface pattern on the surface. (e) The mold was etched in the HF solution. (f) After photoresist was removed, oxide patterns on Si were acquired. (g) The mold was etched in the KOH solution. (h) After the oxide patterned layer was removed in the HF solution, a mold for hot embossing was acquired.

먼저 패턴 형성을 위해 Positive 감광액(AZ1512)을 스핀코팅 하였다. 감광액은 3000 rpm, 30 초 동안 스핀 코팅하여 1.4 μ m의 두께를 형성하였다. (Fig. 2(b)). 감광액이 도포된 웨이퍼는 UV Aligner(EVG620, EVG, Austria)를 이용하여 노광을 한 뒤 현상 하였다 (Fig. 2(c), 2(d)). 패턴이 형성된 웨이퍼는 HF 용액에 담가 산화막을 습식식각 하였다 (Fig. 2(e)). HF 식각 후에는 산화막층에 패턴이 형성된 웨이퍼를 얻은 후 (Fig. 2(f)) 이렇게 형성된 웨이퍼를 80°C, 20 wt% KOH 용액에 50분간 담가 실리콘 습식식각을 하였다 (Fig. 2(g)). 실리콘 습식식각이 다 끝난 웨이퍼는 다시 HF 용액에 넣어 남아 있는 산화막을 제거하여, 핫 엠보싱을 위한 mold를 얻게 되었다 (Fig. 2(h)).

2.3. 핫 엠보싱 공정 및 PMMA 마이크로 칩 제작

먼저 1 mm 두께의 4인치 PMMA 판을 웨이퍼 형태로 가공하여 핫 엠보싱용 복제물을 만드는데 사용하였다. 핫 엠보싱은 EVG520HE (EVG, Austria)장비를 사용하였다 (Fig. 3). 제작된 실리콘 mold를 이용하여 PMMA 웨이퍼에 임프린트를 실시하였고, 임프린트된 PMMA 웨이퍼와 PMMA 평판을 붙여 채널을 형성하였다. 먼저 실리콘 mold와 PMMA 웨이퍼 사이의 좋은 이형성능을 위해서 ICP 플라즈마 장비를 이용하여 실리콘 웨이퍼 위에 20 nm 두께의 점착방지막을 형성 시켰다 (Fig. 4(a)). 실리콘 mold와 1 mm 두께의 PMMA 웨이퍼를 붙인 뒤 조심스럽게 핫 엠보싱 장비에 고정시켰다 (Fig. 4(b)). 핫 엠보싱 공정은 110 °C, 12.6 bar의 조건에서 10분 동안 진행하였다 (Fig. 4(c)). 공정이 끝난 뒤에는 실리콘 mold와 임프린트된 PMMA 웨이퍼를 분리하였다 (Fig. 4(d)). 임프린트된 PMMA 웨이퍼에 4개의 1 mm 직경의 홀(H1~H4)을 드릴링하여 reservoir를 형성시켰고, 그 다음엔 진공 상태에서 thermal bonding 공정을 이용해 임프린트된 PMMA 웨이퍼와 평판 PMMA 웨이퍼를 접합하였다 (Fig. 4(e)).

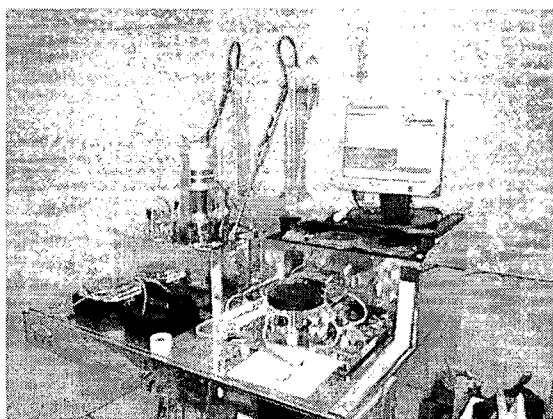


Fig. 3. Photograph of an entire hot embossing equipment (EVG, EVG520HE, Austria).

진공 thermal bonding 공정 조건은 60 °C, 1.3 bar,

진공도는 1×10^{-2} Torr 였고 접합 공정 시간은 10 분이였다 (Fig. 4(f)). 그 다음에는 서서히 상온으로 냉각시키고, 완전히 식은 후에는 접착된 웨이퍼를 세로 2 cm, 가로 7 cm의 직사각형으로 잘라 PMMA micro CE 칩을 완성하였다.

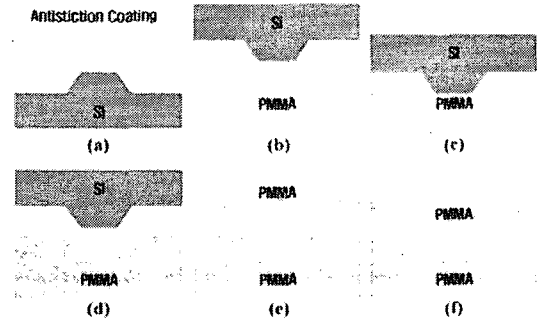


Fig. 4. Hot-embossing process for a PMMA microchip. (a) An antistiction coating on Si mold for a release process. (b) The Si mold and the 1 mm thick PMMA wafer aligned and sandwiched. (c) Applied a pressure and temperature. (d) Released the Si mold and the imprinted PMMA wafer. (e) The patterned PMMA wafer and the blank wafer was aligned and sandwiched. (f) Applied a low pressure and low temperature. Finally the PMMA micro CE chip was obtained.

3. 결과 및 토의

3.1. 핫 엠보싱 결과

실리콘 mold와 임프린트된 PMMA 웨이퍼의 형상 및 너비의 측정은 surface profiler (PI, Tencor Instruments, USA)를 이용하여 측정하였다. 구조와 치수는 광학현미경(L-150A, Nikon, Japan)을 이용하여 측정하였다.

제작된 실리콘 mold과 복제된 PMMA 기관의 사진과 치수를 측정한 결과가 Fig. 5에 나타나있다. Fig. 5(a)는 실리콘 mold의 전체 모양을 보여주는 사진이다. Fig. 5(b)는 마이크로 채널이 교차하는 부분의 광학현미경 사진으로 채널의 상부 치수를

보여 주고 있다. Fig. 5(c)는 surface profiler 로 측정 한 결과로 mold의 채널의 윗부분의 길이가 아래 부분보다 작은 사다리꼴 모양을 형성하는 것을 확인할 수 있었다.

Table 2. Actual geometry data of the Si mold and the imprinted PMMA wafer.

	Top (μm)	Bottom (μm)	Height (μm)
Si mold	43.345 (± 0.6)	119.2 (± 0.6)	45.9 (± 0.2)
Imprinted PMMA wafer	43.14 (± 0.3)	123.2 (± 0.6)	47.3 (± 0.4)

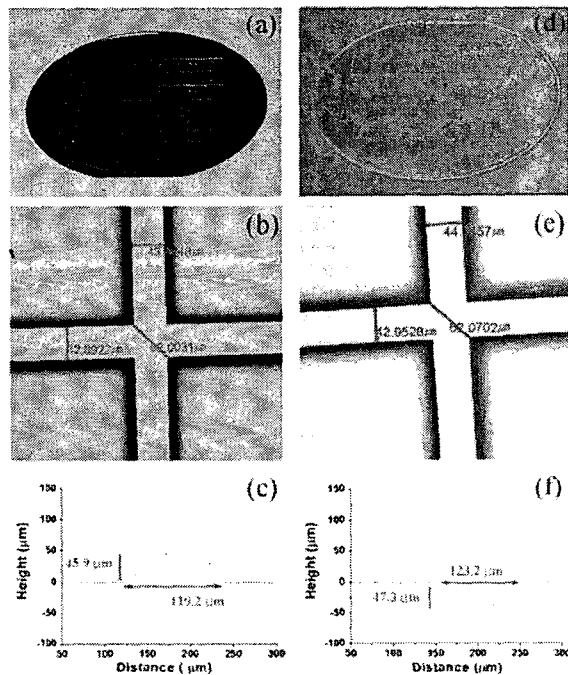


Fig. 5. (a) Photograph of the 4 inch Si mold. (b) Microscopic image of mold channels. (c) Cross sectional profile of a channel on the Si mold. (d) Photograph of the imprinted PMMA wafer. (e) Microscopic image of imprinted channels. (f) Cross sectional profile of an imprinted PMMA channel.

Fig. 5(d)는 웨이퍼 형태로 가공된 1mm 두께의

PMMA 웨이퍼에 임프린트 된 결과를 보여주고 있다. Fig. 5(e)는 임프린트 된 PMMA 마이크로 채널의 현미경 측정 결과를 보여 주고 있다. Fig. 5(f)는 임프린트된 PMMA 마이크로칩의 채널 부위의 surface profiler 결과로 실리콘 mold의 값과 잘 일치되는 것을 확인할 수 있었다. 임프린팅 전후의 실리콘 mold와 복제물의 사이의 채널의 너비와 깊이의 오차는 약 4 ~ 0.5 μm 로 나타났다. 이러한 차이는 공정 시에 PMMA와 실리콘의 열팽창계수의 차이에 의해 발생하는 것으로 생각된다. 실제적인 실리콘 mold와 임프린트된 PMMA 웨이퍼의 기하학적 형상의 값들은 Table 2에 정리하였다.

3.2. Thermal boning 공정을 이용한 칩 제작

임프린트된 PMMA 웨이퍼의 접합은 진공 상태에서의 thermal boning 공정을 이용하였다. 먼저 임프린트된 PMMA 웨이퍼는 드릴링을 하여 reservoir를 만들고, IPA를 이용하여 세척하였다. 드릴링된 PMMA 웨이퍼와 평판 PMMA 웨이퍼를 정렬한 뒤 핫 엠보싱 장비에 장착한 후 접합하였다. 접합된 PMMA 판을 다이싱 장비(NDS200, A.M Technology, Korea)를 이용하여 다이싱한 후 최종적으로 세로 2 cm, 가로 7 mm, 두께 2 mm를 가지는 직사각형의 PMMA 마이크로칩을 제작하였다.

Table 3. A change of imprinted PMMA wafer before and after thermal bonding process (bonding temperature was 60 °C, pressure was 1.3 bar, chamber vacuum was 1×10^{-2} Torr and bonding time was 10 min.)

	Top (μm)	Bottom (μm)	Height (μm)
Before	43.14 (± 0.3)	123.2 (± 0.6)	47.3 (± 0.4)
After	44.20 (± 1)	125.2 (± 2)	45.5 (± 1.1)

Fig. 6(a)는 모든 공정이 끝난 PMMA 마이크로칩 제품의 사진이다. Fig. 6(b)는 마이크로칩 단면의 현미경 이미지로 정상적으로 채널이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 임프린트된 PMMA

웨이퍼와 접합된 PMMA 상의 미세 채널의 깊이와 너비의 변형량은 약 1% 이내의 미세한 변형만이 발견되었다. Table 3은 임프린트된 PMMA 칩의 접합공정 전과 후의 치수 차이를 비교하였다.

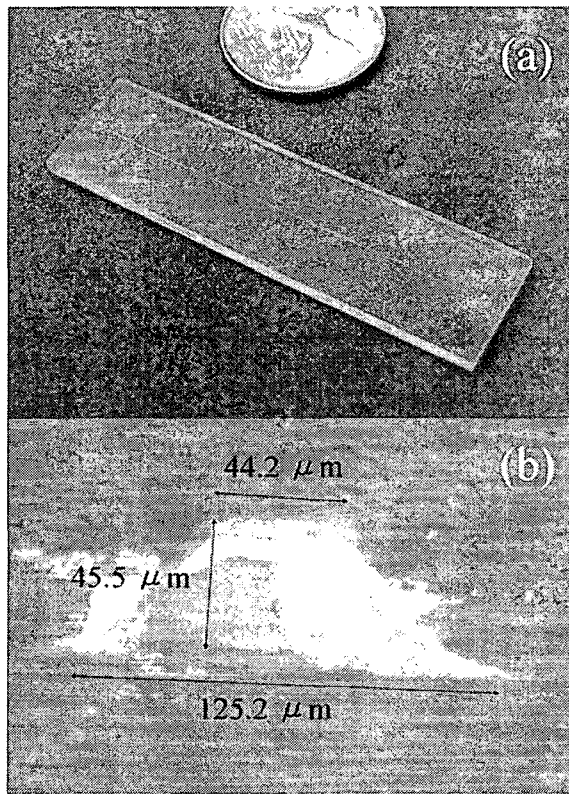


Fig. 6. (a) Photograph of an 2cm x 7cm entire PMMA microchip. The thickness of microchip is 2 mm. (b) Microscopic cross sectional image of the channel region after thermal bonding.

4. 결론

본 연구에서 핫 엠보싱 공정을 이용하여 플라스틱 기판을 사용한 PMMA micro CE 칩을 제작해 보았다. 핫 엠보싱용 mold는 4 인치 실리콘 기판을 습식 식각하여 제작하였으며 복제물을 제작하기 위한 기판으로 1 mm 두께의 PMMA 기판을 웨이퍼 형태로 가공하여 사용하였다. 임프린트 후 mold 와 복제물은 거의 동일한 형상을 가지고 전사되었다.

임프린트된 PMMA 웨이퍼와 평판 PMMA 웨이퍼를 진공 상태에서 최적화된 thermal bonding 공정을 이용하여 접합 시킨후 미세 채널을 형성하였다. Thermal bonding 공정후 접합이 성공적으로 되었으며 공정후 채널의 변형량도 미비하였다. 핫 엠보싱에 의한 PMMA micro CE 칩은 고감도 단백질 검출을 위한 일회용 칩으로 사용 가능하리라 예상된다.

Acknowledgment

본 논문은 과학기술부 21세기 프론티어연구개발사업인 ‘나노메카트로닉스기술개발사업단’의 지원(과제번호: 04K1401-00213)으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Clivia M. Sotomayor Torres, *Alternative Lithography*, Kluwer Academic Publishers, 2003
2. Ursula Bilitewski, Meike Genrich et al., *Microchemical analysis with microfluidic systems? Anal Bioanal Chem.*, Vol. 377, pp. 556-569, 2003
3. Yun Seok Heo, Seok Chung et al., *Effects of peak anomalies with the hydrophilic or hydrophobic properties of reservoirs during derivatization injection on a capillary electrophoresis microchip? Journal of Chromatography A*, Vol. 1013, pp. 111-122, 2003
4. Zhifeng Chen, Youhua Gao et al., *Vacuum-assisted thermal bonding of plastic capillary electrophoresis microchip imprinted with stainless steel template? Journal of Chromatography A*, Vol. 1038, pp. 239-245, 2004
5. Erhard H. Weigl, Ron L. Bardell et al., *Lab-on-a-chip sample preparation using laminar fluid diffusion interfaces- computational fluid dynamics model results and fluidic verification experiments? Fresenius J. Anal Chem*, Vol. 371, pp. 97-105, 2001