

마이크로 구조물 형성을 위한 핫 엠보싱용 플라스틱 스탬프 제작

차남구 · 박창화 · 임현우 · 박진구[†] · 정준호* · 이응숙*

한양대학교 재료화학공학부 마이크로바이오칩센터

*한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

Fabrication of Hot Embossing Plastic Stamps for Microstructures

Nam-Goo Cha, Chang-Hwa Park, Hyun-Woo Lim, Jin-Goo Park[†], Jun-Ho Jeong* and Eung-Sug Lee*

Division of Materials and Chemical Engineering, Micro Biochip Center, Hanyang University

*Precision Machining Group, Korea Institute of Machinery & Materials

(2005년 6월 21일 받음, 2005년 8월 30일 최종수정본 받음)

Abstract Nanoimprinting lithography (NIL) is known as a suitable technique for fabricating nano and micro structures of high definition. Hot embossing is one of NIL techniques and can imprint on thin films and bulk polymers. Key issues of hot embossing are time and expense needed to produce a stamp withstanding a high temperature and pressure. Fabrication of a metal stamp such as an electroplated nickel is cost intensive and time consuming. A ceramic stamp made by silicon is easy to break when the pressure is applied. In this paper, a plastic stamp using a high temperature epoxy was fabricated and tested. The plastic stamp was relatively inexpensive, rapid to produce and durable enough to withstanding multiple hot embossing cycles. The merits of low viscosity epoxy solutions were a fast degassing and a rapid filling the microstructures. The hot embossing process with plastic stamp was performed on PMMA substrates. The hot embossing was conducted at 12.6 bar, 120°C and 10 minutes. An imprinted PMMA wafer was almost same value of the plastic stamp after 10 times embossing. Entire fabrication process from silicon master to plastic stamp was completed within 12 hours.

Key words nanoimprinting, hot embossing, plastic mold, high temperature epoxy.

1. 서 론

NIL (nanoimprinting lithography)은 현재 전세계적으로 주목 받고 있는 기술이며 이 기술에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.¹⁾ NIL 기술은 기존의 포토리소그래피를 대체할 수 있는 방법으로 빛의 회절 현상에 의해 필연적으로 발생하는 선폭의 한계를 해결할 수 있으며 경제적으로 나노급 구조물을 빠른 속도로 제작할 수 있는 장점이 있다. 이러한 NIL 기술 중 핫 엠보싱(hot embossing) 기술은 미리 제작된 핫 엠보싱용 스탬프를 이용하여 폴리머를 유리천이온도 이상으로 올린 후 열과 압력을 가하여 구조물을 형성한다.^{2,3)} 핫 엠보싱 공정에 있어서 핵심적인 요소는 높은 형상 정밀도를 가지는 스탬프를 정확하게 제작하는 것과 다양한 온도변화에 강인하고 매우 높은 압력에도 튼튼한 스탬프를 제작하는 것이다. 이러한 스탬프를 제작하는 여러 방법은 니켈 또는 니켈 합금을 전기 도금하거나, 실리콘 웨이퍼를 deep reactive ion etching (DRIE)을 이용하여 건식식각 하거나 KOH를 이용하여 습식식각 하는 방법이 널리 사용되고 있다.^{4,5)}

니켈과 같은 금속 스탬프의 경우 내구성이 높고 고온 고압 환경에서 사용할 수 있는 장점이 있으나 제작하는 공정방법이 너무 복잡하고 고가의 제작비가 소요되며 제작기간이 길어 스탬프 디자인을 수정하여 반영하는데 상대적으로 많은 시간이 소요된다. 실리콘과 같은 세라믹 계열의 스탬프의 경우 니켈 스탬프에 비해 스탬프의 디자인을 변경하여 적용하는데 소요기간이 짧으며 상대적인 제작 비용도 낮은 가격으로 제작할 수 있으나 고온 고압의 핫 엠보싱 분위기에서 충격이나 오염입자 등에 의한 스탬프의 손상이 손쉽게 일어나 상대적으로 스탬프의 수명이 짧다.⁶⁾

따라서 열과 압력에 대해서 강하고 짧은 제작 기간을 가지며 디자인 변경이 손쉬운 스탬프는 핫 엠보싱 공정 개발에 있어서 분명한 장점을 지니게 된다. 본 논문에서는 마이크로 구조물 형성이 용이하도록 첨가제가 들어간 고온 에폭시 용액을 이용하여 플라스틱 스탬프를 제작해 보았다. 그 후 플라스틱 스탬프를 이용하여 polymethylmethacrylate (PMMA) 기판에 핫 엠보싱 공정을 수행하였다. 이를 통해 핫 엠보싱 공정용 플라스틱 스탬프의 사용가능성에 대해 확인해 보았다.

[†]E-Mail : jgpark@hanyang.ac.kr

Table 1. The results of viscosity measurement as an addition of IPA.

Test Number	Mixture Volume %			Viscosity (at 25°C)
	Resin	Hardener	IPA	
1	100	75	0	6.72 cP
2	100	75	100	5.80 cP
3	100	75	150	5.30 cP
4	100	75	200	4.85 cP

2. 실험 방법

2.1 실험 재료

플라스틱 스탬프를 제작하기 위해 먼저 실리콘 스탬프를 제작하였다. 실험에 사용된 기판은 4인치 Si (100) 웨이퍼에 산화막이 100 nm 성장된 기판을 사용하였다. 세정과 습식식각에 사용된 H₂SO₄, H₂O₂, HF, KOH 등의 케미컬은 (주)동우화인켐에서 구매하였다. 실리콘 기판 위에 패턴을 형성하기 위하여 AZ1512 (Clariant, Switzerland) 감광제를 사용하였다. 제작된 실리콘 스탬프를 이용해 플라스틱 스탬프를 제작하기 위하여 먼저 플라스틱 스탬프용 주형을 형성하였다. 주형을 형성하기 위한 용액으로 PDMS (polydimethylsiloxane) (Sylgard 184 kit, Dow Corning Co. USA)가 사용되었다. 플라스틱 스탬프 제작을 위한 재료는 고온 에폭시 수지로 180°C의 사용 환경에 적용 가능한 Conapoxy FR-1080 (Cytec Industries Inc, USA)을 사용하였다. 고온 에폭시의 점도를 조절하기 위한 첨가재로는 IPA (isopropyl alcohol)가 사용되었다. 핫 엠보싱 공정을 이용한 복제물 형성을 위해 1 mm 두께의 PMMA (SEWHA POLYTECH, Korea) 기판을 4인치 형태로 가공하여 사용하였다. 핫 엠보싱 공정은 EVG사의 EVG520HE (Austria)를 이용하여 진행되었다. 실리콘 스탬프와 제작된 플라스틱 스탬프 상호간의 치수를 확인하기 위하여 profiler (PI, Tencor Instruments, USA)가 사용되었다. 실리콘 스탬프 제작에서부터 플라스틱 스탬프 제작까지의 실험절차와 소요되는 시간을 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 실리콘 스탬프 제작

먼저 패턴 형성을 위해 최소 선폭이 50 μm를 가지는 Micro CE (capillary electrophoresis) 칩 형태의 필름 마스크를 제작하였다. 양각 형태의 실리콘 스탬프를 제작하기 위하여 실리콘 산화막 위에 AZ1512를 스핀 코팅하였다. 스핀 코팅을 위한 장비로 CEE4000 (CEE, USA)을 사용하였으며 3000 rpm, 30초 동안 유지하여 1.4 μm를 형성하였다. 감광액이 도포된 웨이퍼는 UV Aligner (EVG620, EVG, Austria)를 이용하여 노광을 한 뒤 현상을 하였다. 패턴이 형성된 웨이퍼는 oxide deep etcher (AOE, STS, England)를 이용하여 건식식각하였다. 건식

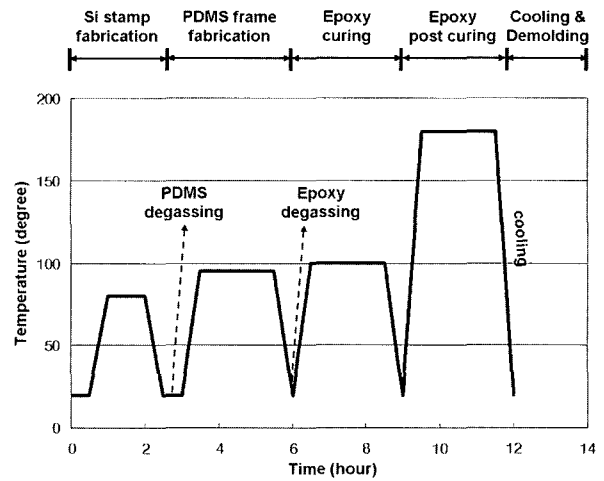


Fig. 1. Graphical representation of the temperature and time to fabricate the plastic mold.

식각 후, 산화막층에 패턴이 형성된 웨이퍼를 얻은 후 잔류 감광액을 제거 하였다. 이렇게 형성된 웨이퍼를 73°C, 20 wt% KOH 용액에 20분간 담아 실리콘 습식식각을 하였다. 실리콘 습식식각이 다 끝난 웨이퍼는 다시 HF 용액에 넣어 남아 있는 산화막을 제거하여, 플라스틱 스탬프 형성을 위한 실리콘 양각 스탬프를 얻게 되었다.

2.3 플라스틱 스탬프 제작

플라스틱 스탬프를 제작하기 위하여 PDMS 주형이 제작되었다. PDMS 주형을 제작하기 위하여 Sylgard 184 (A) 용제와 Sylgard 184 (B) 용재를 10:1의 비율로 섞은 후 20분 동안 진공오븐을 이용하여 degassing 공정을 수행하였다. 앞에서 제작된 실리콘 양각 스탬프를 평탄한 유리판 위에 올린 후 (Fig. 2(a)) 준비된 PDMS 용액을 붓고 95°C에서 2시간 동안 두어 경화시켰다 (Fig. 2(b)). 그 후 실리콘 스탬프와 분리하여 PDMS 주형을 제작하였다 (Fig. 2(c)). 플라스틱 스탬프를 제작하기 위한 용액인 Conapoxy FR-1080 (A)와 Conapoxy FR-1080 (B) 용액은 3:2로 혼합한 후 점도를 낮추기 위하여 IPA가 첨가되었다. 혼합된 용액을 degassing 공정을 마친 후 PDMS 주형에 붓고 진공 오븐에 넣은 후 50°C에서 1시간 가량 두어 IPA를 증발시켰다 (Fig. 2(d)). IPA가 모두 증발하고 난 후 100°C에서 2시간 동안 curing을 실시하

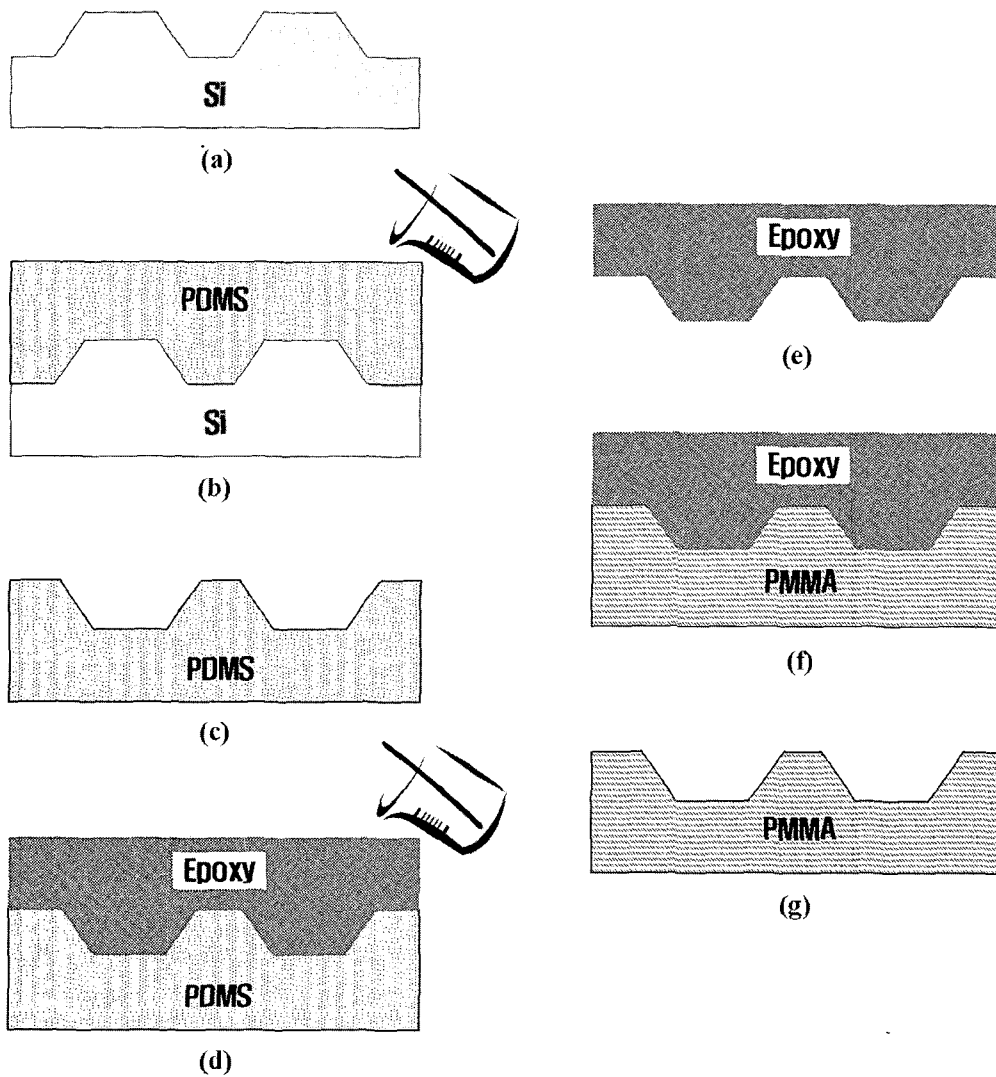


Fig. 2. Schematic process diagram to fabricate the plastic stamp.

고 PDMS 주형과 분리하였다 (Fig. 2(e)). 그 후 다시 180°C에서 2시간 동안 post curing을 실시하여 플라스틱 스탬프를 제작해 내었다.

그 후 PMMA 기관과 제작된 플라스틱 스탬프를 샌드위치 시킨 후 핫 엠보싱 공정을 수행하였다 (Fig. 2(f)). 핫 엠보싱 공정은 120°C에서 12.6 bar의 압력으로 10분 동안 수행하여 임프린트된 PMMA 판을 제작하였다 (Fig. 2(g)).

3. 결과 및 고찰

먼저 정확한 형상의 플라스틱 스탬프를 제작하기 위하여 저점도의 용액이 설계되었다. 저점도의 용액을 얻기 위하여 Conapoxy FR-1080 (A)와 (B)를 혼합한 용액에 IPA 용액을 첨가한 후 점도 변화를 관찰해 보았다(Table 1).

점도 측정 결과 IPA가 첨가되지 않은 경우 약 6.72

cP의 값을 가지나 IPA가 첨가되면서 점도가 선형적으로 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 IPA의 첨가를 통해 degassing 시간이 줄어드는 효과도 있었다. 그러나 과도한 IPA의 첨가는 에폭시 레진과 상분리가 빨리 일어나며 부피를 늘려 스탬프제작 시간을 증대시키는 요인이 되었다. 불안정하게 IPA를 증발시킬 경우 잔류하는 IPA가 끓어 최종 스탬프에 기공을 형성하는 요소가 되었다. 따라서 이번 실험에는 Conapoxy FR-1080 (A): Conapoxy FR-1080 (B):IPA가 100:75:100의 비율로 혼합된 실험조건 1을 선택하여 스탬프 제작을 수행하였다.

저점도 플라스틱 스탬프 용액을 PDMS 주형에 부은 후 IPA를 완전히 증발시키기 위하여 50°C에서 1시간 동안 유지시켰다. 그 후 100°C에서 2시간 동안 curing을 실시하고 PDMS 주형과 분리한 후 다시 180°C에서 2시간 동안 post curing을 실시하여 고온 에폭시 스탬프를 제작하였다 (Fig. 3). 고온 에폭시를 이용한 플라스틱 스

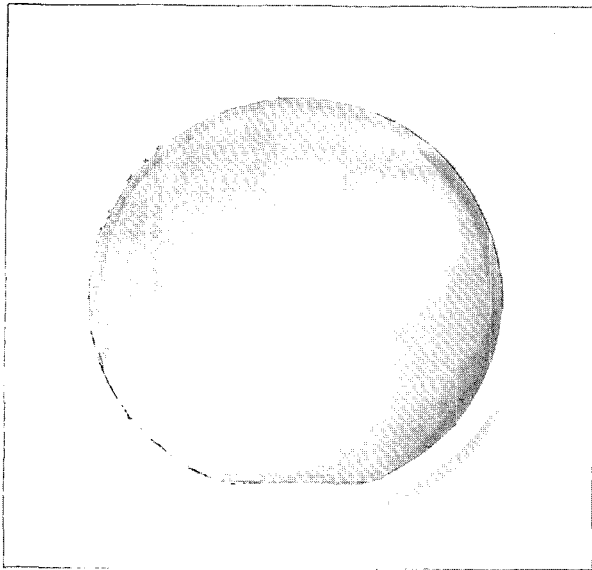


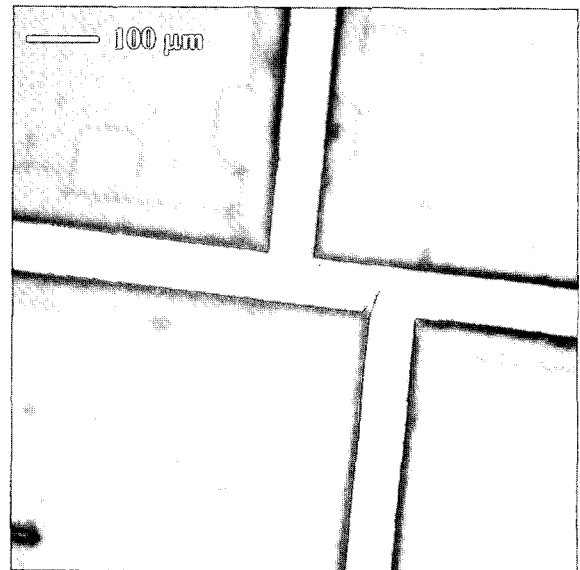
Fig. 3. Photograph of the fabricated plastic mold.

탬프의 경우 180°C의 온도에서 48시간 방치해 두어도 구조적인 특성이 변하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 최종적으로 완성된 플라스틱 스탬프를 이용하여 핫 엠보싱 공정을 수행하였다. 핫 엠보싱 공정은 120°C에서 1 bar의 압력으로 30분 동안 PMMA 기판을 이용하여 수행되었다. 플라스틱 스탬프를 이용하여 동일한 실험을 10회 반복 실험한 결과 패턴의 손실 없이 동일한 패턴이 PMMA 기판 위에 정확하게 전사되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 4(a)는 플라스틱 스탬프의 현미경 사진을 보여주고 있고 Fig. 4(b)는 10번째 임프린트된 PMMA 기판의 현미경 사진을 보여주고 있다. Table 2에서는 실험에 사용된 실리콘 스탬프 및 고온 에폭시를 이용하여 제작된 플라스틱 스탬프와 이를 통해 10번째 핫 엠보싱 공정을 수행한 PMMA 기판 사이의 치수형상을 비교한 결과를 나타내고 있다.

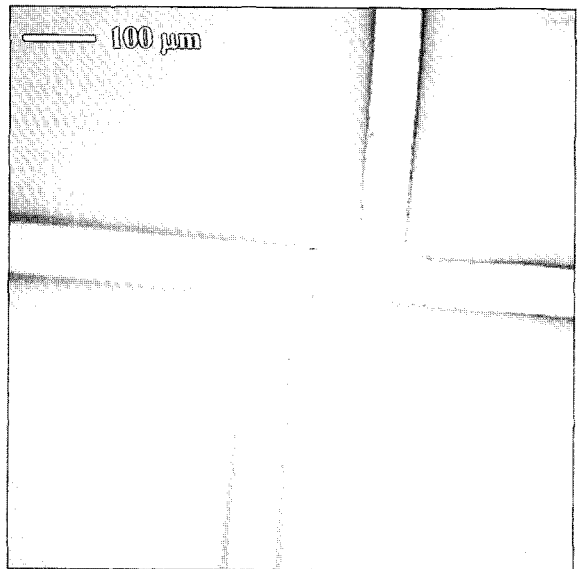
플라스틱 스탬프를 이용한 핫 엠보싱의 경우 실리콘 스탬프 제작에서 플라스틱 스탬프 제작까지 만나질이 소요되었다. 이를 통해 스탬프 디자인의 변화가 있을 경우 12시간 이내에 이를 반영하여 새로운 엠보싱 공정을 수행하는 것이 가능하였다.

4. 결 론

열과 충격에 강하면서, 손쉬운 스탬프 제작과 신속한



(a)



(b)

Fig. 4. Microscopy images of (a) a fabricated plastic stamp and (b) 10th imprinted PMMA sheet.

디자인 적용을 위한 플라스틱 스탬프를 제작해 보았다. 플라스틱 스탬프 제작을 위한 재료로 고온 에폭시를 이용하였으며, 제작된 스탬프를 이용하여 핫 엠보싱 공정을 수행해 보았다. 플라스틱 스탬프의 경우 금속이나 세라믹 계열의 스탬프에 비해 제작 공정이 단순하고 가격이 저렴하며 빠른 제작기간으로 스탬프 디자인 변경시 손쉽

Table 2. The results of geometry measurements.

Si stamp (μm)		Plastic stamp (μm)		10th Imprinted PMMA (μm)	
Width	Height	Width	Height	Width	Height
63.5±0.3	15.2±0.5	63.4±0.5	15.5±0.5	63.3±0.5	15±0.5

게 대응할 수 있었다. 보다 정확한 형상의 플라스틱 스탬프를 제작하기 위하여 고온 에폭시 혼합액에 IPA를 첨가제로 사용하여 점도를 낮춰 사용되었다. 낮은 점도의 혼합액의 경우 degassing이 손쉽고 미세 구조물 안쪽까지 잘 채워지는 것을 확인할 수 있었다. 고온 에폭시를 이용한 플라스틱 스탬프의 경우 180°C의 온도에서도 구조적인 특성이 변하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 제작된 플라스틱 스탬프를 이용하여 핫 엠보싱 공정을 수행한 결과 스탬프와 동일한 패턴의 PMMA 복제물을 얻을 수 있었다. 이를 통해 스탬프 패턴 디자인이 변경되었을 경우 12시간 이내에 변경된 디자인을 반영한 결과를 구현하는 것이 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 나노메카트로닉스 기술개발사업 (과제번호: 05K1401-

00215)의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

1. Alternative Lithography, Edited by Clivia M. Sotomayor Torres, Kluwer Academic Publishers (2003).
2. S.Y. Chou, P.R. Krauss and P.J. Renstrom, Appl. Phys. Lett, **67**, 3114 (1995).
3. H. Schiff, C. David, M. Gabriel, J. Gobrecht, L.J. Heyderman, W. Kaiser, S. K?ppel and L.Scandella, Microelectronic Engineering, **53**, 171 (2000).
4. T. Koerner, L. Brown, R. Xie and R.D. Oleschuk, Sensor and Actuator B, **107**, 632 (2005).
5. N. Roos, H. Schulz, L. Bendfeldt, M. Fink, K. Pfeiffer and H.C. Scheer, Microelectronic Engineering, **61**, 399 (2002).
6. J. Narasimhan and I. Papautsky, J. Micromech. Microeng., **14**, 103 (2004).