

Micro Mold 제작 및 RTP 공정에 의한 미세 패턴의 성형

김홍규* · 고영배* · 김정진* · 임성한** · 오수익***

Micro Mold Fabrication and the Micro Patterning by RTP Process

H. K. Kim, Y. B. Ko, J. J. Kang, S. H. Rhim and S. I. Oh

Abstract

RTP(Rapid Thermal Pressing) is to fabricate desired pattern on polymer substrate by pressing patterned mold against the substrate heated around glass transition temperature. For a successful RTP process, the whole process including heating, molding, cooling and demolding should be conducted 'rapidly' as possible. As the RTP process is effective in replicating patterns on flat large surface without causing shape distortion after cooling, it is being widely used for fabricating various micro/bio application components, especially with channel-type microstructures on surface.

This investigation finally aims to develop a RTP process machine for mass-producing micro/bio application components. As a first step for that purpose, we intended to examine the technological difficulties for realizing mass production by RTP process. Therefore, in the current paper, 4 kinds of RTP machines were examined and then the RTP process was conducted experimentally for PMMA film by using one of the machines, HEX 03. The micro-patterned molds used for RTP experiment was fabricated from silicon wafer by semi-conduct process. The replicated micro patterns on PMMA films were examined using SEM and the causes of defect observed in the replicated patterns were discussed.

Key Words: RTP, Polymer Substrate, Glass Transition Temperature, Channel-type Microstructure, Micro-patterned Mold

1. 서 론

RTP(Rapid Thermal Pressing)는 적정 온도로 가열된 소재의 표면에 원하는 패턴을 갖는 금형을 가압하고 냉각 및 이형 시키는 작업을 통해 원하는 패턴을 전사하는 공정 기술로서, 짧은 성형 공정 주기, 병렬 공정을 통한 고생산성 등의 장점을 갖고 있다. (1-2) 이러한 RTP 기술은 특히 여러 개의 패턴을 넓은 면에 걸쳐 전사시키는 경우 다른 성형 방식에 비해 생산성이 뛰어나고 냉각 후의 변형도 적은 매우 효율적인 성형 방식으로 평가되고 있다. (3) 최근에 채널이나 홀과 같은 미세 패턴

이 마이크로/나노 및 바이오 부품 등의 각종 분야에 응용되면서 (4-5) 이러한 미세 패턴을 효율적으로 성형하기 위한 RTP 공정 기술과 이를 구현하는 성형기가 국내외에서 개발되고 있는 상황이다.

그런데 현재의 RTP 공정 기술이 향후 각종 마이크로 스케일 부품의 본격적인 양산화에 적용되기 위해서는 패턴 성형 정밀도 확보, 대면적 전사 기술, 성형 공정 주기 단축 등 양산 수준 RTP 공정 기술 및 이를 구현할 수 있는 성형기의 개발이 필요하다. 이에 본 연구에서는 최종적으로 마이크로 스케일 성형의 양산화가 가능한 RTP 성형기를 개발하고자 한다.

* 한국생산기술연구원 생산공정본부 정밀금형팀

** 서울대학교 정밀기계설계공동연구소

*** 서울대학교 공과대학 기계항공공학부

이를 위해서 기존 성형기의 장단점을 분석하고, 이 토대 위에서 공정 시간 단축, 공정 구현을 위한 성형기 설계 및 제작이 이루어져야 한다. 기존 장비들을 비교, 검토하고 핵심 모듈의 기능을 비롯한 전체 공정을 실제 시험하는 일은 현 수준 RTP 공정 기술의 문제점을 파악하고 향후 양산 장비의 개발 방향을 설정하는데 있어 매우 중요한 절차이다. 이에 본 연구에서는 일차적으로 기존 성형 장비와 자체 제작된 미세 패턴의 금형을 사용하여 RTP 공정을 시험하고 이를 통해 미세 패턴의 전사 시에 발생할 수 있는 공정의 문제점들을 파악하고자 한다. 향후 양산화를 위한 RTP 장비 개발을 위해서는 파악된 문제점의 해결은 물론 양산 수준 생산성 확보를 위한 공정 조건 최적화가 선행되어야 하겠다.

2. RTP 성형기 개요

현재 국내에서의 RTP 성형기 개발은 미미한 상태이고, 국외에서는 독일, 오스트리아, 스웨덴 등 유럽을 중심으로 RTP 유사 공정 성형기가 개발, 발전되어 왔다. 정렬 기술, 진공 기술 등등의 반도체 공정 기술이 RTP 공정의 요소 기술로 사용되므로 개발 초기에는 RTP 공정에 적합하게 변경된 반도체 공정 장비들이 개발되었고, 차츰 시장의 요구에 따라서 RTP 공정의 고유 특성을 고려한 전용 성형기가 개발되고 있는 상황이다

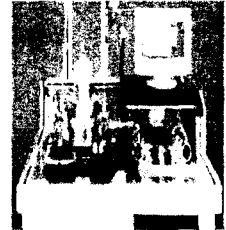
본 연구에서는 기존 성형기의 특성 파악을 위해 세계적으로 널리 알려져 있는 4 가지 성형기를 비교, 검토하였다. 각각의 성형기 사진은 Fig. 1 에 나타내었다.

Table 1 은 RTP 공정에서 중요한 공정 변수인 가열 및 냉각 시간, 진공 수준, 가압력 등에 대한 각 장비의 사양을 보여주고 있다. 이 외에도 소재 (substrate)의 편평도 한계, 금형과의 상대 위치 정렬도 등의 사양이 존재하는데, 현 단계에서 위치 결정 관련 정렬도는 크게 고려하지 않기도 한다.

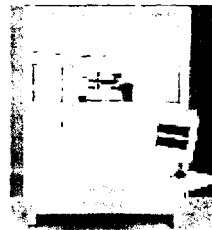
주의할 점은 공정 변수의 차이 이전에 설계 방식의 차이에 따라 성형기의 장비 모델링 자체가 달라진다는 점이다. 예를 들어 가압 메커니즘의 경우 피드백 없이 장비 프레임의 강성에 의존하기도 하고 이와 반대로 소재-금형간 접촉력을 보정하면서 프레임의 강성은 의도적으로 배제하기도 하는데, 이런 경우 가압력 크기와 같은 공정 변수 이상의 근본적인 장비 차이가 발생하고 이러



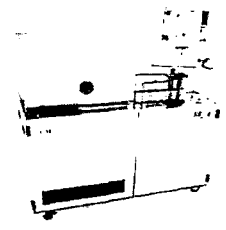
(a) HEX03 : Jenoptik



(b) EVG520HE : EVG



(c) NIL 6" : Obducat



(d) SB6e : Suss Microtec

Fig. 1 Various RTP Machines

Table 1 Comparison of Specs. of the RTP machines

	HEX03	EVG520HE	NIL 6"	SB6e
Press force(Max.)	200kN	40kN	80bar	20kN
Heating-up time	7 min (60→180℃)	6 min (60→180℃)	2~5℃/min (<350℃)	100℃/min (<550℃)
Cooling period	7 min (180→60℃)	5 min (180→60℃)	-	50℃/min
Temperature stability	±2℃	±1℃	-	±3℃
Temperature uniformity	±1%	±1%	±1%	±3%
Vacuum	1 mbar	0.001 mbar	-	200 mbar
Stamper/substrate size (0)	130/180	200mm	152mm	2~6"

한 장비 특성의 적절한 모델링이 공정 변수 설정 이전에 선행되어야 한다. 앞에서 보여진 성형기들의 분석에 의하면 각각의 성형기는 장비 방식에 있어 실제 약간의 차이를 갖고 있고, 따라서 위의 Table 1 의 장비 사양 값들의 직접적인 비교를 통해 성형기 사이의 우열을 가리기는 상당히 어렵다. 궁극적으로는 각각의 성형기에 대해 고유의 장비 모델링 후 최적의 공정 변수를 도출할 필요가 있지만, 이를 위해서 우선적으로는 개별 성형기에 대한 RTP 공정의 연구가 이루어져야 하겠다. 본 연구에서는 앞서서의 4 가지 RTP 성형기의 검토 결과 가압 및 가열 등의 기계적 메커니즘에 상대적으로 가장 충실한 Jenoptik HEX03 성형기를 선택하고 실제 공정을 시험하기로 하였는데, 이는

RTP 공정 양산화를 위해 가장 중점적으로 개선되어야 할 부분이 기계적 공정이라는 판단에서이다.

3. RTP 공정

RTP 공정은 크게 정렬, 진공화, 가열, 가압, 냉각, 이형 등의 공정으로 구성되는데, 각 세부 단계를 Fig. 2 에 도식적으로 나타내었다.

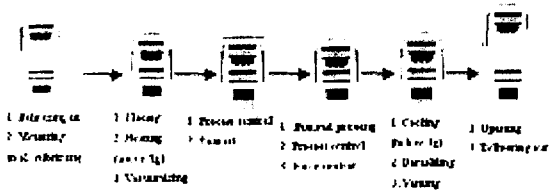


Fig. 2 Schematic diagram of the RTP process

본 연구에서는 앞에서 서술한 바와 같이 HEX 03 성형기를 사용하여 RTP 공정을 시험하였다. 마이크로 스케일의 패턴 전사성을 고찰하기 위해 반도체 공정을 통해 다양한 패턴을 갖는 Silicon 소재 마이크로 금형을 자체 제작하고 이를 사용하여 PMMA 필름에 대한 RTP 공정을 수행하였다.

3.1 마이크로 금형의 제작

Silicon Wafer 를 사용하여 금형을 제작하기 위해서는 여러 단계의 반도체 공정을 이용하게 된다. 이때 동일한 최종 형상을 제작하더라도 단계별 공정의 구성은 약간의 차이가 있을 수 있는데 실제 본 연구에서 사용된 제작 공정은 Fig. 3 에 보여진 바와 같다. 또한 각 단계에서의 구체적인 가공 조건에 대해서는 Table 3 에 정리하여 나타내었다.

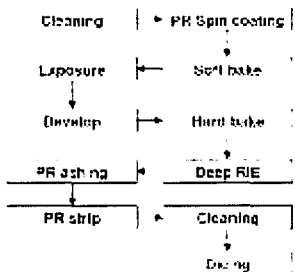


Fig. 3 Sequential procedures for micro mold fabrication from silicon wafer

이와 같은 공정에 의해 다양한 형태의 미세 패턴을 갖는 마이크로 금형을 제작하였으며 이를 Fig.4 에 나타내었다.

Table 3 Treatment details of the micro mold fabrication procedures

Seq.	Process flow	Fabrication recipes
01	Initial cleaning	H ₂ SO ₄ :H ₂ O ₂ (=4:1) for 10min. at 120°C Rinse/Dump for 60sec. ×6 at 20°C HF:H ₂ O(=1:10) for 10sec. at 20°C Spin dry
02	Spin coating	HMDS:500rpm for 5sec., 2500rpm for 7sec. AZ1512:500rpm for 5sec., 4500rpm for 35sec.
03	Soft bake	for 90sec, 95°C on hot plate
04	Exposure	UV, 67.5mJ/cm ²
05	Development	AZ300 MIF solution:H ₂ O(=6:1) for 70sec. at 20°C Rinse/Dump for 60sec.×6 at 20°C
06	Hard bake	for 90sec, 95°C on hot plate
07	Deep RIE	9µm grooving with Bosch process [63]
08	PR ashing	O ₂ plasma, 1 hour
09	PR strip	H ₂ SO ₄ :H ₂ O ₂ (=4:1) for 10min. at 120°C Rinse/Dump for 60sec. ×6 at 20°C HF:H ₂ O(=1:10) for 10sec. at 20°C Spin dry
10	Wafer dicing	Cut into 12×12 mm square plates
11	Isotropic etching	HF:HNO ₃ :CH ₃ COOH(=3:5:3) for several seconds

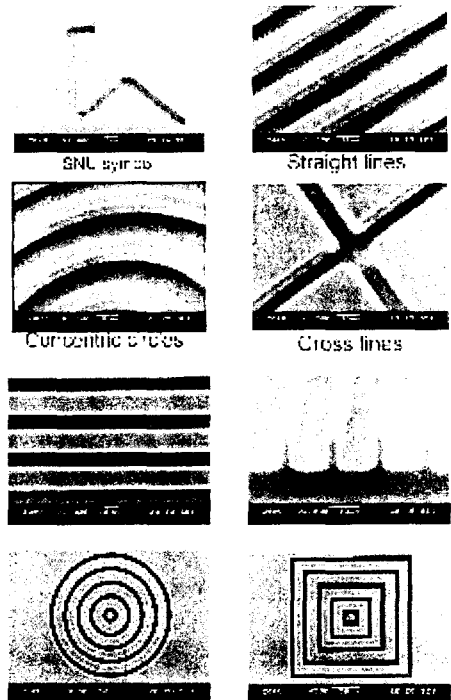


Fig. 4 SEM images of the micro patterns in silicon micro molds

3.2 RTP 공정 시험 및 결과

자체 제작된 Silicon 마이크로 금형과 HEX 03 성형기를 사용하여 실제 RTP 공정을 수행하였다. 이때 공정은 145°C ~ 150°C 부근의 온도에서 이루어졌으며 패턴이 성형될 피가공물로는 PMMA 필름이 사용되었다. 공정이 완료된 후에 패턴 전사성을 관찰하기 위해 SEM 측정을 하였으며, 측정된 사진들을 Fig. 5 에 나타내었다. 그림에 보여진 미세 패턴의 경우 각 채널의 폭은 9 μm의 크기이다.



Fig. 5 SEM images of the micro patterns in PMMA sheets fabricated by the RTP process

전사된 미세 패턴의 형상을 보면 표면의 상태나 전체적인 형상 정밀도에서 문제가 관찰된다. 표면 결함의 경우에는 이형 메커니즘을 고려하고 적합한 특성의 이형제를 사용하면 개선될 것으로 예상되는데 향후 다양한 시험 및 평가가 수행되어야 하겠다. 한편, 형상의 뒤틀림은 냉각 과정에서 발생하는 잔류 응력에 큰 영향을 받을 것으로 예상된다. 충분한 시간 동안 냉각 공정을 수행하면 이러한 잔류 응력은 감소하겠지만 이는 반대로 양산화를 저해하는 요소가 된다. 따라서 짧은 공정 시간을 유지하면서도 잔류 응력을 방지하는 전체 공정의 설계가 필요하다.

4. 결론

양산화가 가능한 수준의 RTP 성형기 개발을 위해 기존 RTP 성형기에 대하여 비교, 검토하였다. 또한 실제 성형시에 발생하는 문제점의 파악을 위해 silicon wafer 를 사용하여 미세 패턴을 갖는 마이크로 금형을 자체 제작하고 검토된 HEX03

성형기를 사용하여 PMMA 소재의 필름에 대해 실제 RTP 공정을 수행하였다. RTP 공정에 의해 전사된 PMMA 필름 면 위의 미세 패턴을 관찰하고 수행된 RTP 공정을 평가하였다.

본 연구에서는 수행된 RTP 공정의 성형성을 정성적으로 고찰했는데 향후 정량적인 분석도 이루어져야 할 것이다. 또한 본 연구에서는 HEX03 성형기에 대해 특정 공정 조건을 적용하였다. 따라서 성형기의 고유 특성을 고려한 이해가 필요하고 얻어진 결과를 일반화하기 위해서는 앞으로 좀 더 다양한 공정 조건에 대한 시험이 수행되어야 하겠다. RTP 공정에 대한 보다 많은 실제 시험은 향후 양산화를 위한 RTP 성형기 개발을 위해 중요한 설계 데이터를 제공할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 2010 생산기반혁신기술 개발인 “기능성 고분자소재 성형용 마이크로 금형 시스템” 사업의 세부과제로서 수행 중이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) M. Hecke, W. Bacher, and K. D. Müller, 1998, "Hot embossing – The molding technique for plastic microstructures", *Microsystem Technologies*, Vol. 4, pp. 122~124.
- (2) L. J. Heyderman, H. Schiff, C. David, B. Ketterer, M. A. Maur, and J. Gobrecht, 2001, "Nanofabrication using hot embossing lithography and electroforming", *Microelectronic Engineering*, Vol. 14, pp. 1 ~ 14.
- (3) M. Hecke and W. K. Schomburg, 2004, "Review on micro molding of thermoplastic polymers", *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 14, pp. 1 ~ 14.
- (4) D. R. Reyes, D. Lossifidis, P. A. Auroux, and A. Manz, 2002, "Micro Total Analysis Systems. 1. Introduction, Theory, and Technology", *Anal. Chem.*, Vol. 74, pp. 2623-2636.
- (5) H. Becker and W. Dietz, 1998, "Microfluidic devices for μ-TAS applications fabricated by polymer hot embossing", *Proceedings of SPIE – Microfluidic Devices and Systems*, 21.-22., pp. 177~182.