

## DVD/Blu-ray 스템퍼를 이용한 핫엠보싱 특성

김병희\* · 반준호\*\* · 신재구\*\* · 김현영\*

### Characteristics of Hot Embossing using DVD/Blu-ray Stamper

B. H. Kim , J. H. Ban, J. K. Shin and H. Y. Kim

#### Abstract

The Hot Embossing Lithography(HEL) as a method for the fabrication of nanostructure with polymer is becoming increasingly important because of its simple process, low cost, high replication fidelity and relatively high throughput. In this study, we investigated the characteristics of hot embossing lithography as a nanoreplication technique. To grasp characteristics of nano patterning rheology by process parameters(embossing temperature, pressure and time), we have carried out various experiments by using the DVD(400nm pattern width) and Blu-ray nickel stamps(150nm pattern width). During the hot embossing process, we have observed the characteristics of the size effect. The quality of products made by hot embossing is affected by its cooling shrinkage. The demolding process at the glass transition temperature results in low quality because of the shrinkage of the polymer. Therefore, the quantification of the temperature condition is essential for the replication of high quality.

**Key Words** : Hot embossing(핫엠보싱), PMMA(polymethylmethacrylate), Nano Rheology, DVD/Blu-ray Stamper, Shrinkage(수축), Size Effect(치수효과)

#### 1. 서 론

광디스크 비디오 레코딩의 포맷으로 DVD disc가 개발되어 상용화되고 있으며 이보다 약 10배의 저장용량을 제공하는 차세대 광저장 솔루션인 HD-DVD의 표준규격으로 Blu-ray disc의 개발에 성공하여 상용화 준비를 앞두고 있다 [1]. 현재 국내 LG, 삼성을 비롯해 일본의 히타치, 파이오니아, 소니 그리고 네덜란드의 로얄 필립스가 개발에 적극적인 참여를 하고 있다. 일반적으로 DVD/Blu-ray disc는 사출성형에 의하여 제작 되어 진다[2]. 본 연구에서는 사출성형 시 사용되는 DVD/Blu-ray 스템퍼를 이용하여 핫 엠보싱에 의한 성형을 수행함으로써 나노

구조물의 레올로지 특성을 파악하는데 목적을 두고 있다[3].

핫 엠보싱 리소그래피(hot embossing lithography)는 Chou의 공동연구자들에 의해 처음으로 제안되었다[4]. 이 공정은 레지스트 폴리머(resist polymer)를 유리전이온도(glass transition temperature, Tg)이상으로 가열하여 몰드 형성 후, 이를 압축하여 폴리머를 변형시키는 방법[5]으로 마스터(master)와 열가소성 폴리머와의 열적·기계적 물성의 차이를 이용한다[6].

본 연구를 통해 핫 엠보싱 성형특성을 파악하고 성형조건을 정량화 함으로써 대면적 나노 구조물(nano-structures)을 성형하기 위한 기반기술로 활용하려 한다.

\* 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

\*\* 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과 대학원

## 2. 핫엠보싱 공정

### 2.1 핫엠보싱 공정

본 연구에서는 패턴 폭 400 nm인 DVD 니켈 스탬프와 150 nm인 Blu-ray 스탬프를 이용하여 성형실험을 수행하였다. 일반적인 핫엠보싱 공정에서는 PMMA 를 기판(substrate)에 스핀 코팅 (spin coating)하여 사용하지만 본 시험에서는 2×2cm 판재의 PMMA 를 사용하여 시험을 수행하였다.

Fig. 1 은 핫 엠보싱 공정의 개략도이다. 전체적인 시험공정은 PMMA 필름을 유리전이온도 이상으로 가열하고 압축시킨 후 일정 시간이 경과하면 온도를 유리전이온도 이하로 냉각시켜 마스터를 디몰드 하는 순서로 수행하였다. Fig. 2 는 핫엠보싱 공정 시 시간에 따른 온도분포를 개략적으로 나타낸 것이다. 시험에서 부여된 성형 시간(embossing time)은 그래프상의 성형온도를 유지하는 시간을 말하며 DVD/Blu-ray 패턴 성형 시 동일하게 적용하였다. 또한 동일 온도에서 압력과 시간에 따른 기본성형 시험을 바탕으로 최적성형 조건을 찾기 위하여 여러 가지 성형 조건을 바꿔가며 시험을 수행하였다.

### 2.2 성형 실험 장비

시험에 사용한 엠보싱 머신은 핫엠보싱 전용이 아닌 웨이퍼 본딩머신으로 그 형태와 기능은 핫엠보싱 머신과 거의 유사하다. 가열과 냉각 시스템을 갖추고 있고, 공압에 의한 압축(press) 시스템과 rotary 펌프에 의한 저진공 시스템을 갖추고 있다. 기존 냉각방식은 N<sub>2</sub> 가스를 히팅블럭에 불어 넣어 챔버를 냉각하는 간접냉각방식이기 때문에 냉각시간이 상당히 소요되었다. 이런 단점을 극복하기 위하여 N<sub>2</sub> 가스 블로잉 방식에서 냉각수가 히팅블럭을 강제 순환하는 직접냉각 방식을 구현하였다. Fig. 3 은 챔버내부의 형상과 냉각장치의 형상을 보여주고 있다. 상부 히팅블럭에는 성형 시험에 사용된 DVD/Blu-ray 스탬프를 부착하였으며 하부 히팅블럭에는 PMMA 가 놓여진다. 그리고 성형하기 전 스탬프와 PMMA 의 분리로 인하여 독립적인 가열이 가능하다.

### 2.3 성형 시 열 분포

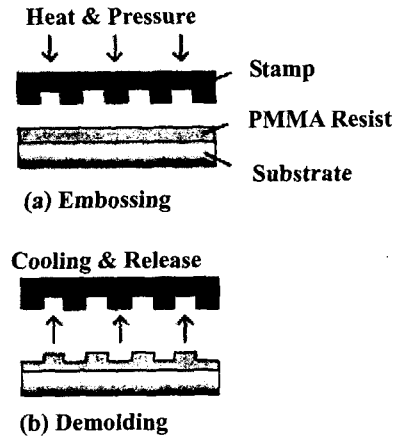


Fig. 1 Schematic representation of hot embossing

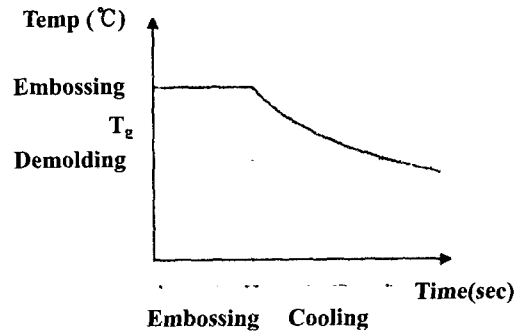


Fig. 2 Temperature variation during hot embossing

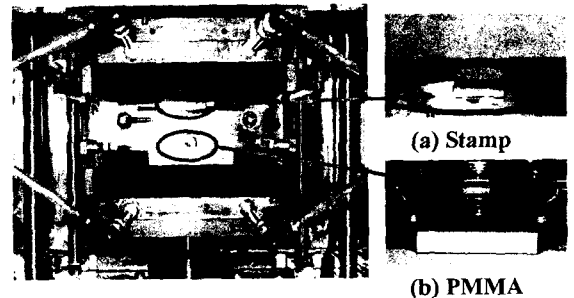


Fig. 3 Structure of inner chamber of hot embossing machine

성형 시험 시 인가된 온도와 스탬프/PMMA 의 온도분포를 정확히 파악하기 위하여 적외선 카메라(Infrared camera)를 사용하여 측정하였다. Fig.

4는 적외선 카메라를 사용하여 각 공정 별 챔버 내부의 상하부 히팅블럭과 스템프, PMMA의 온도분포를 촬영한 사진과 온도데이터이다. Fig. 4(a)는 성형 전 초기상태에서의 온도분포를 나타낸다. Fig. 4(b)는 상하부 히터를 작동하여 설정온도 110℃에 도달했을 때 온도분포로서 설정온도와의 오차가 거의 없음을 보여준다. Fig. 4(c)는 압축성형 후 냉각공정으로써 유리전이온도에서의 온도분포를 나타낸다. 여기서 히팅블럭과 스템프/PMMA의 냉각속도가 30sec 정도 차이가 발생하였다. 또한 Fig. 4(d)에서와 같이

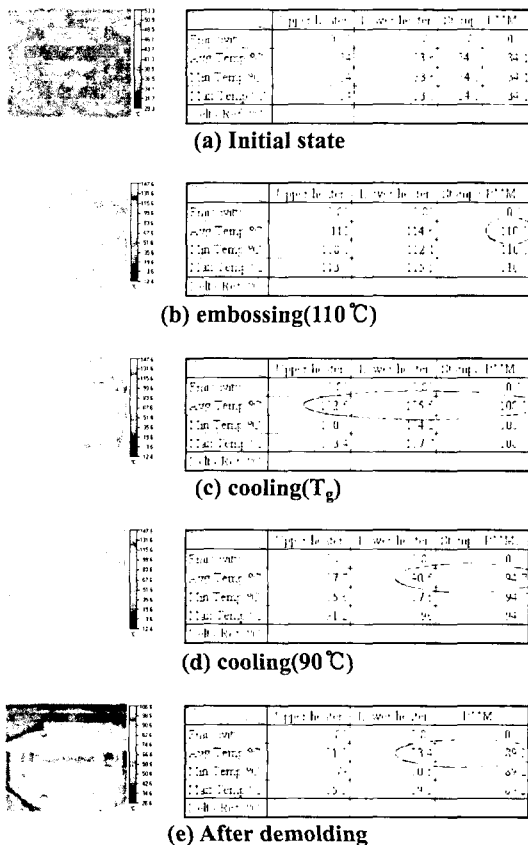


Fig. 4 Temperature distribution in the inner chamber photographed by Infrared camera

냉각온도가 이형온도인 90℃에 도달하였을 때 스템프와 PMMA의 온도는 약 4℃ 높은 상태를 나타냈다. 이것은 설정된 이형온도보다 높은 온도에서 이형 됨으로써 이형 시 패턴형상의 수축(shrinkage)이 발생할 수 있음을 말해준다. 따라

서 Fig. 4(e)의 결과와 같이 이형 후 하부 히팅블럭의 온도와 그 위에 놓여진 PMMA의 온도차가 약 6℃ 정도 발생하기 때문에 냉각속도차이에 의한 온도 오차 보정이 필요할 것으로 판단된다. 시험 시 발생된 챔버내부 각 부분의 온도차이는 상하부 히팅블럭과 스템프/PMMA의 사이에 다른 물질의 층이 게재됨으로써 온도전도도의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

### 3. 나노 패턴 성형

나노 패턴의 공정변수에 따른 성형특성을 파악하기 위하여 패턴 폭 400 nm인 DVD 니켈 스템프와 150 nm인 Blu-ray 스템프를 이용하여 성형 실험을 수행하였다. 엠보싱 공정시간을 단축하기 위해 110, 120℃의 저온성형 위주로 시험을 수행하였다. 또한 DVD와 Blu-ray 스템프의 레올로지 특성을 비교하기 위하여 동일한 압력, 시간, 이형온도를 사용하였다. 성형압력은 40, 80, 120bar를 사용하였고, 성형시간은 10, 30, 60, 120sec로 수행하였으며, 이형온도는 90℃로 고정하여 시험하였다. 성형 시 기본 조건 실험을 바탕으로 성형품질에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 변수를 달리하여 시험하였으며, 두 가지 스템프 모두 동일한 온도, 압력, 시간으로 시험함으로써 패턴의 치수효과(size effect)에 대한 영향을 파악하였다.

#### 3.1 DVD 패턴 성형특성

DVD 니켈 스템프는 패턴 폭 400 nm, 패턴 높이 140 nm, 트랙피치 740 nm이며 패턴 길이는 최소 400 nm에서 최대 1860 nm로써 양각의 형상을 가지고 있다. Fig. 5는 110℃에서 성형압력과 시간에 따른 시험결과를 FE-SEM으로 측정된 이미지이다. 측정결과 조건 별 확연한 전사성은 비교할 수 없었으나 110℃의 성형 시 80bar 이상의 압력 인가 시 좋은 전사성을 보였다. Fig. 6은 성형시간을 60sec로 고정하고 성형에 영향을 줄 수 있는 여러 가지의 변수를 바꾸며 시험한 결과를 FE-SEM으로 측정된 이미지이다. Case 1은 기본조건 실험으로써 스템프 온도와 PMMA 온도를 동일하게 유지하여 실험한 결과이다. Case 2는 빠른 이형 시험으로써 다른 시험과 달리 PMMA의 온도가 10℃ 높은 상태에서 이형하였을 때의 결과이다. Case 3은 스템프와

PMMA의 성형온도를 달리 인가하는 차별적 온도 시험으로써 스탬프 온도를 10°C 낮게 하였을 때의 성형 결과이다. 마지막으로 Case 4는 압력 증가 시험으로써 냉각 공정 시 유리전이온도 근처에 도달하였을 때 인가압력보다 40bar의 압력을 더 인가하여준 시험결과이다. 이상의 4가지 시험결과 110°C의 성형에서 Case 3의 시험 시 낮은 압력에서는 성형이 이루어지지 않았으나 냉각시간이 감소함으로써 공정시간 단축이 가능하였다.

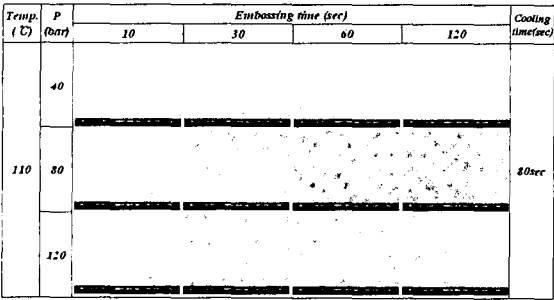


Fig. 5 FE-SEM images of PMMA nanostructure embossed at 110°C using DVD nickel stamp

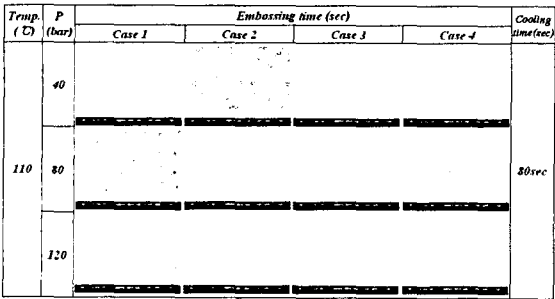


Fig. 6 FE-SEM images of nanostructure w.r.t. embossing conditions (110°C, DVD stamps)

보다 엄밀한 전사성을 파악하기 위하여 Fig. 7과 같이 AFM을 이용하여 재측정 하였다. Fig. 7은 110°C에서 80bar의 압력으로 60sec의 성형 시간, 90°C의 이형온도를 동일하게 적용하여 시험한 후 AFM으로 측정된 결과이다. 110°C의 성형에서는 기본조건 시험인 Fig. 7(a)와 같이 깊이 121nm의 패턴 전사성을 보였고 기타 성형의 경우 70~80nm의 미약한 전사성을 보였다. 이것은 성형온도가 유리전이온도 근방이기 때문에 폴리

머의 높은 점성에 기인한 결과로 판단된다. Fig. 8은 120°C에서 110°C 시험과 동일조건으로 시험한 결과이다. 120°C의 성형은 110°C 성형보다 패턴 전사성이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 특히 Case 2, 3, 4의 시험에서 110°C 성형에 비하여 패턴 깊이가 약 40nm 정도 향상되어 전사되는 것을 확인하였다. 그리고, 차별적 온도 시험시 121nm의 패턴 전사성을 보였다. 따라서, 빠른 공정시간에 고품질의 성형을 위해서는 온도조건 최적화가 필수적이라 본다.

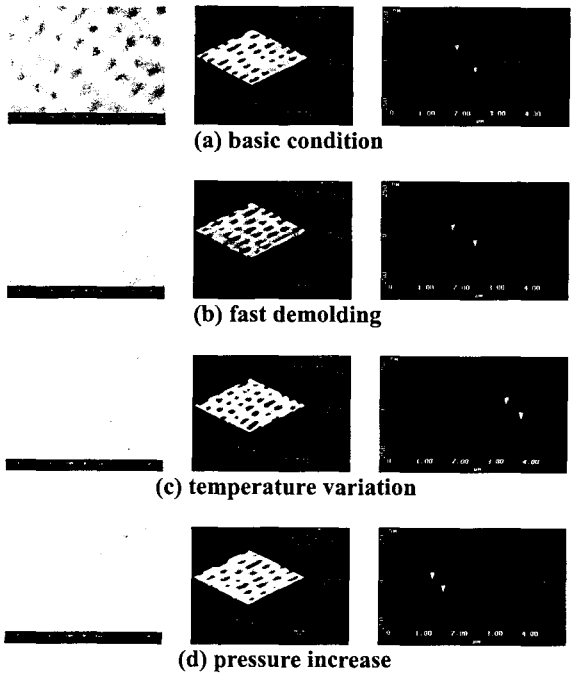
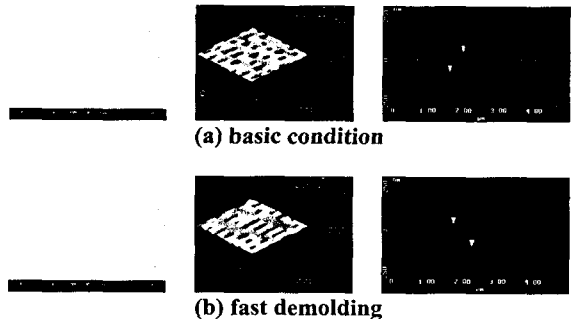


Fig. 7 AFM image & profile of nanostructure w.r.t. embossing conditions (110°C, DVD stamps)



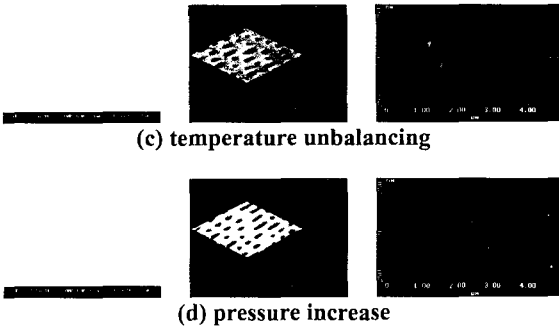


Fig. 8 AFM image & profile of nanostructure w.r.t. embossing conditions (120 °C, DVD stamps)

### 3.2 Blu-ray 패턴 성형특성

Blu-ray 1 세대 니켈 스탬프는 패턴 폭 150 nm, 패턴 깊이 76 nm, 트랙피치 320 nm로써 음각의 형태를 지니고 있다. 시험 조건은 DVD 스탬퍼를 이용한 성형과 동일하다. Fig. 9는 110 °C 에서 80bar 의 압력으로 60sec 의 성형시간, 90 °C 의 이형온도를 동일하게 적용하여 성형에 영향을 줄 수 있는 변수를 바꿔가며 시험한 결과를 AFM 으로 측정 한 결과이다. DVD 스탬퍼를 이용한 성형에 비하여 Blu-ray 스탬퍼를 이용한 성형이 지수효과(size effect)로 인하여 전사성이 낮게 나타났다. 특히 Fig. 9(c) 와 같이 차별적 온도시험의 경우 패턴 전사가 전혀 이뤄지지 않았다. 시험 결과 스탬프 온도가 유리전이온도 이하일 경우 Blu-ray 패턴 성형 시 160bar 이상의 높은 압력이 요구되었다.

Fig. 10 은 120 °C에서 동일 조건 하에 시험한 결과를 AFM 으로 측정 한 이미지이다. 110 °C와 마찬가지로 Fig. 10(c) 와 같이 차별적 온도시험의 경우 패턴 전사가 전혀 이뤄지지 않았다. DVD 패턴 성형과 동일한 조건하에서 Blu-ray 패턴 성형이 이뤄지지 않는 것은 패턴 크기의 영향이 크게 작용한 것으로 판단된다. 따라서, 마스터 패턴 폭이 작아질수록 완전성형을 위해서는 높은 압력이 요구되며 동시에 최적 조건의 성형온도도 중요하게 작용한다. 그리고, 120 °C 성형의 경우 Fig. 10(a), (b), (d)의 시험에서와 같이 스탬프 깊이보다 전사되는 PMMA 의 패턴 높이가 증가되는 현상이 발견되었다. 원인은 시험 조건의 오차일수도 있으나 스탬프 패턴이 음각의 형상 때문인 것으로 판단된다. 즉, 이형 시 발생하는 표면의 마찰에 의한 리프트(lift) 현상

으로 이형온도가 유리전이온도에 가까울수록 더욱 크게 나타났다. 따라서, 패턴의 리프트(lift) 현상을 피하기 위해서는 이형 전 충분한 냉각이 요구된다.

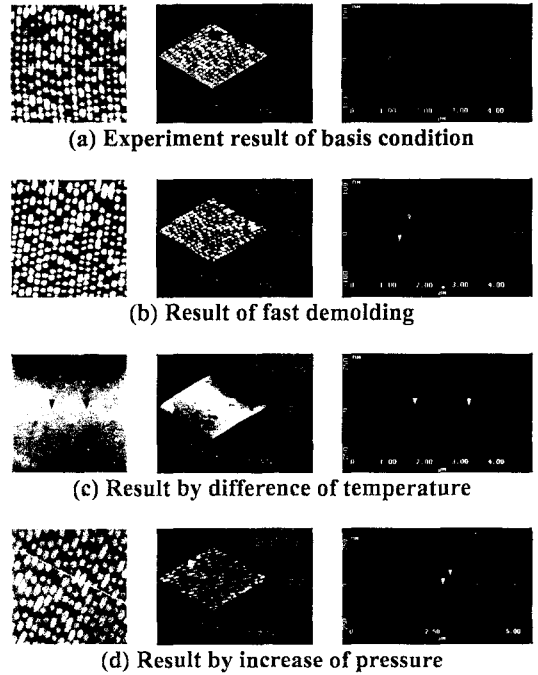
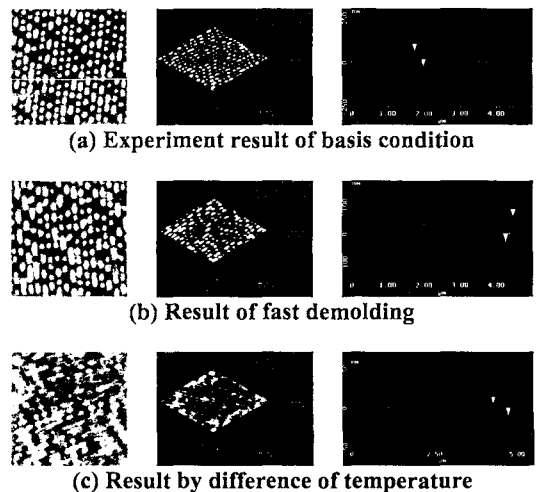
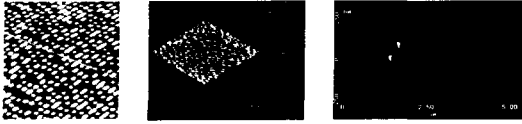


Fig. 9 AFM image & profile of nanostructure w.r.t. embossing conditions (110 °C, Blu-ray 1<sup>st</sup> generation nickel stamp)





(d) Result by increase of pressure

**Fig. 10 AFM image & profile of nanostructure w.r.t. embossing conditions (120 °C, Blu-ray 1<sup>st</sup> generation nickel stamp)**

#### 4. 결 론

나노 패턴의 공정변수에 따른 성형특성을 파악하기 위하여 패턴 폭 400 nm인 DVD 니켈 스탬프와 150 nm인 Blu-ray 스탬프를 이용하여 성형실험을 수행하였다. 두 가지 스탬프를 이용한 성형특성을 비교한 결과 치수효과가 발생하는 것을 확인하였다. 또한, 유리전이온도 근처에서의 이형은 패턴형상의 수축으로 패턴 전사성이 낮아진다. 따라서, 성형 시험 시 인가된 온도와 스탬프/PMMA 의 온도분포를 정확히 파악하기 위하여 적외선 카메라를 사용하여 관찰하였다. 그리고, 빠른 공정시간에 고품질의 성형을 위해서는 온도조건의 정량화가 필수적인 것으로 본다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부의 21C프론티어 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 나노메카트로닉스 기술개발 사업의 세부과제인 “나노패턴 성형 공정기술”의 위탁과제 수행결과의 일부로 세부과제 주관기관인 연세대학교와 참여기업인 (주)JMI의 도움에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Alan E. Bell and Christopher J. Cookson, 4 July 2004, “Next generation DVD: application requirements and technology”, Signal Processing: Image communication
- (2) Thomas G. Bifano, Helen E. Fawcett and Paul A. Bierden, January 1997, “Precision manufacture of optical disc master stampers”, Precision Engineering, vol.20, issue 1, pp.53-62
- (3) H. Schiff, C. David, M. Gabriel, J. Gobrecht, L. J. Heyderman, W. Kaiser, S. Koppel and L. Scandella, June 2000, “ Nanoreplication in polymers using hot embossing and injection molding”, Microelectronic Engineering, vol.53, issues 1-4, pp.171-174
- (4) Stephen Y. Chou, Peter R. Krauss, Preston J. Renstrom, 1995, “Imprint of sub-25 nm vias and trenches in polymers”, Applied Physics Letters, vol.67, pp. 3114
- (5) Yoshihiko Hirai, Masaki Fujiwara, Takahiro Okuno and Yoshio Tanaka, 2001, “Study of the resist deformation in nanoimprint lithography”, Journal of Vacuum Science and Technology B, vol.19, issue6, pp. 2811-2815
- (6) H.Schiff, R.W.Jaszewski, C.David and J.Gobrecht, 1999, “Nanostructuring of polymers and fabrication of interdigitated electrodes by Hot Embossing Lithography”, Microelectronic Engineering, vol.46, pp. 121-124