

## UV NIL공정에서 액적의 양과 도포방법에 따른 기포형성 연구

이기연<sup>1</sup>, 김국원<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>순천향대학교 기계공학과

### A Study on the Formation of Air Bubble by the Droplet Volume and Dispensing Method in UV NIL

Ki Yeon Lee<sup>1</sup> and Kug Weon Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, SoonChunHyang University

**요 약** 최근 나노임프린트 리소그래피 공정이 마이크로/나노 스케일의 소자 개발에 있어서 경제적으로 대량 생산할 수 있는 기술로 주목 받고 있다. 최근 나노임프린트 기술은 공정의 고속화 및 대면적화를 통한 대량생산 기술로의 전환을 목표로 하고 있다. 자외선경화 방식의 나노임프린트의 경우 상온 및 저압의 장점과 함께 비진공 환경에서 공정이 가능하다면 진공챔버 및 고압 스테이지 등과 같은 고가의 장비가 필요 없게 됨으로써 설비비용을 낮추고 공정시간을 단축하는데 큰 기여를 할 수 있다. 그러나 비진공 환경에서는 기포결함이 종종 발생하게 된다. 본 연구에서는 비진공 환경에서의 자외선경화 방식의 나노임프린트 공정 중 레지스트의 액적도포 방법에 따른 기포형성을 연구하였다. 액적의 양과 액적의 수를 달리하여 도포한 레지스트에 대하여 충전 후 기포결함 발생을 분석하였다.

**Abstract** Nanoimprint lithography (NIL) is an emerging technology enabling cost-effective and high-throughput nanofabrication. Recently, the major trends of NIL are high throughput and large area patterning. UV curable type NIL (UV NIL) can be performed at room temperature and low pressure. And one advantage of UV NIL is that it does not need vacuum, which greatly simplifies tool construction, so that vacuum operated high-precision stages and a large vacuum chamber are no longer needed. However, one key issue in non-vacuum environment is air bubble formation problem. Namely, can the air bubbles be completely removed from the resist. In this paper, the air bubbles formation by the method of droplet application in UV NIL with non-vacuum environment are experimentally studied. The effects of the volume of droplet and the number of dispensing points on air bubble formation are investigated.

**Key Words** : Air bubble formation, Dispensing method, Droplet volume, Non-vacuum environment, UV NIL

### 1. 서론

나노 임프린트 리소그래피 (Nanoimprint Lithography, NIL) 공정은 상대적으로 단순한 공정과 10nm 이하의 패턴전사 능력으로 인해, 반도체 및 디스플레이 산업에서 기존 고가의 포토 리소그래피 공정을 대체할 수 있는 대안으로 활발한 연구가 이루어지고 있다[1,2]. NIL은 사용되는 레지스트의 종류 및 경화시키는 방법에 따라 열 나

노임프린트 리소그래피 (Thermal NIL)와 자외선 나노임프린트 리소그래피 (UV NIL)로 구별된다[3-5]. 이중 특히, UV NIL은 상온 및 저압 조건에서 공정이 이루어지기 때문에 생산성 면에서 Thermal NIL에 비해 강점을 갖는다.

최근 NIL 기술은 공정의 고속화 및 대면적화를 통한 대량생산 기술로의 전환을 목표로 하고 있다. UV NIL의 경우 상온 및 저압의 장점과 함께 비진공 환경

\*Corresponding Author : Kug Weon Kim(SoonChunHyang Univ.)

Tel: +82-41-530-1225 email: [kimkug1@sch.ac.kr](mailto:kimkug1@sch.ac.kr)

Received July 1, 2013

Revised July 25, 2013

Accepted September 6, 2013

(Non-vacuum environment)에서 공정이 가능하다면 진공 챔버 및 고압 스테이지 등과 같은 고가의 장비가 필요 없게 됨으로써 설비비용을 낮추고 공정시간을 단축하는데 큰 기여를 할 수 있다. 그러나 이 경우 시급한 문제는 기포결함을 해결하는 것이다. 즉 비진공 환경에서는 공정 중 공기의 유입에 의해 최종 패턴에서 기포결함이 발생하게 되는데, 기포를 완전히 제거 혹은 억제하는 연구가 시급한 실정이다.

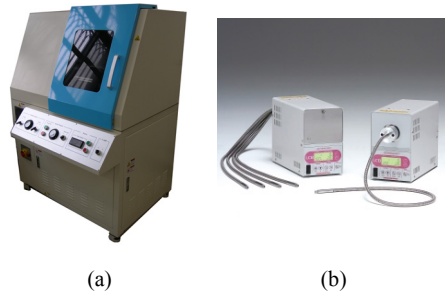
UV NIL 공정에서 기포 생성 메커니즘 규명 및 이의 저감 방법에 대하여 약간의 연구가 있었다. Morihara 등 [6]과 Nagaoka 등 [7]은 UV NIL의 충전과정 중 발생하는 기포생성 메커니즘에 대해 수치적 방법으로 계산하였다. 2차원 유동해석을 통해 몰드와 기판사이의 접촉각 변화에 따른 기포발생을 연구하였다. Hiroshima 등[8,9]은 기포발생 메커니즘에 대해 연구하였으며 레지스트의 유량이 증가할수록, 패턴의 크기가 작아질수록 기포 결함이 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 공기 대신 레지스트에 대한 용해도가 큰 물질 (trichlorofluoromethane) 을 사용하여 기포가 생기더라도 쉽게 용해되어 사라지게 하는 방식으로 결함 발생을 막는 방법을 제안하였다. Liang 등 [10]은 기포생성과 용해의 다이나믹 거동에 대한 실험적 및 이론적 연구를 수행하였고, 기포의 수축시간은 초기 기포의 크기, 임프린팅 압력, 공기 용해도 및 레지스트 잔류 두께 등과 관련 있음을 제시하였다. Reddy 등[11,12]은 사각단면의 줄무늬형상의 몰드 패턴에 대해 유동 선단의 재구성과 윤활이론을 적용하여 충전과정을 설명하였고, 기포형성에 대해 기하학적 해석을 통하여 설명하였다. 그 외에도 몇몇 연구자에 의해 기포결함에 대한 연구가 수행되었다[13,14].

본 연구에서는 비진공 환경에서의 UV NIL 공정 중 레지스트의 액적도포 방법에 따른 기포형성을 연구하였다. 액적의 양과 액적의 수를 달리하여 도포한 레지스트에 대하여 충전 후 기포발생 경향을 실험적으로 분석하였다.

## 2. 실험장비

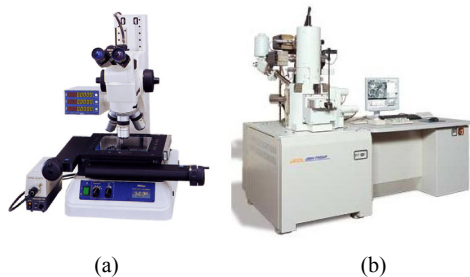
본 연구에 사용된 임프린트 장비는 Fig. 1 (a)의 NND사의 NANOSIS 6200모델을 사용하였다. 본 장비는 이중 구조로 되어있는 챔버가 특징이다. 하부 챔버에 히터와 수냉식 냉각재널이 있다. 상부 챔버는 질소를 주입하여 Rubber를 통해 균일하게 가압하도록 설계되었다. 1차적으로 챔버 내부를 진공상태로 만들고, 진공상태인 챔버에 질소가스를 주입하여 가압하는 방식이다. 이 방식은 진공 상태에서 rubber에 의해 스탬프가 고정된 후 가압하기

때문에 균일한 가압이 가능하며, 패턴 불량 등 공정 상 결함을 줄일 수 있다. 또한 UV beam이 rubber를 투과하여 stamp에 조사할 수 있기 때문에 Thermal NIL과 UV NIL 모두 가능한 수동형 모델이다. UV light는 Fig. 1 (b) HAMAMATSU사의 UV spot light source LC8을 사용하였으며, power는 200W, 2500 mJ/cm<sup>2</sup>, min λ 300 nm, max λ 400 nm로 가이드를 통해 조사된다.



[Fig. 1] (a) Imprint equipment (b) UV Light

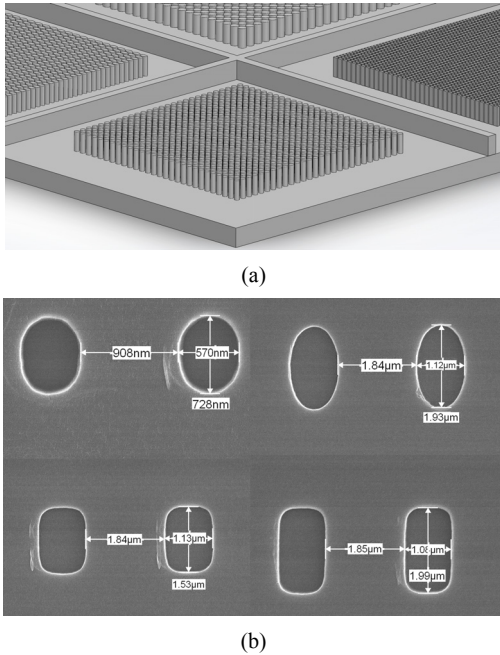
나노 사이즈의 결과물을 확인하기 위해선 일반적인 저배율 현미경으로는 불가능하기 때문에 고배율의 측정 장비가 필요하다. 따라서 Fig. 2의 광학 현미경 (MF-UA1020THD: 총배율 400X)과 FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscope: 300000X)을 사용한다.



[Fig. 2] (a) Optical microscope (MF-UA1020THD) (b) FE-SEM

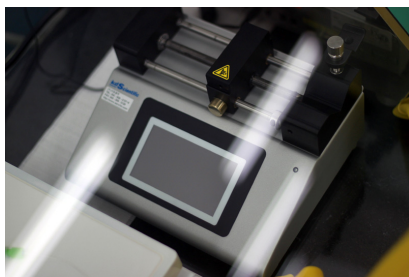
본 연구에 사용된 몰드는 크기가 20 × 20 mm이며 16 개의 셀로 구성된다. 셀은 수많은 패턴으로 구성되어 있으며 각각의 셀은 격벽에 의해 구분된다. 패턴과 격벽 사이의 공간은 비교적 넓으며, 각 패턴 사이는 매우 가깝게 형성되어 있다. 하나의 셀에는 같은 형상, 같은 크기의 패턴들로 구성되며, 셀마다 다양한 형상과 크기를 가진다. Fig. 3(a)는 하나의 셀을 도식적으로 나타낸 그림이며 격벽과 일련의 패턴형상을 볼 수 있다. Fig. 3(b)는 각각의

셀마다 다른 형상 및 크기를 가지는 패턴을 나타낸 그림이다.



[Fig. 3] (a) Part of UV NIL stamp (b) Pattern of stamp

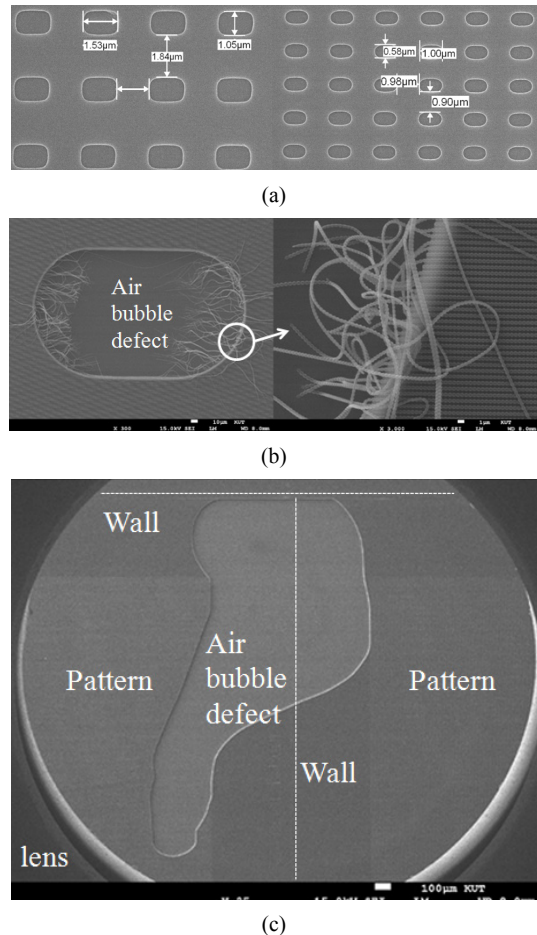
임프린트에 사용된 UV resin은 Acrylate resin인 NIP-K28로 무색 액상상태이고 경화조건은 2500 mJ/cm<sup>2</sup> 이상이며, viscosity는 5~15 cps (at 25℃)이다. 균일한 레지스트 도포를 위해 Dispensing은 fig.4의 KD scientific사의 실린지 펌프 Legato 100 (accuracy: ± 0.5%)을 사용하였다. Flow rate은 Minimum (0.5 μl syringe) 1.28 pl/min, Maximum (10ml syringe) 25.99 ml/min, Maximum (60ml syringe) 88.28 ml/min이다. 실린지 펌프는 맥동이 없고 정밀하며, 실린지 용량을 이용하여 간단하게 조작 가능하다.



[Fig. 4] Legato 100 (Syringe pump)

### 3. 실험 조건

UV NIL 공정에서는 웨이퍼 위에 레지스트를 다량 도포하며, 이에 따라 액적을 1 point 또는 다수의 points로 도포한다. 경화과정 중 챔버 안이 진공 상태 일 경우 기포가 발생하지 않거나 빠져나가지 못한 미소량의 기포가 발생한다. 하지만 비진공 상태일 경우에는 다수의 기포가 형성된 결과물을 얻을 수 있다. Fig. 5의 (a)는 타원, 사각형 형상의 패턴이 기포 없이 전사된 패턴이며, (b)는 전사된 패턴이 기포에 의해 이형공정 후 뜯긴 모습을 보여준다. (b)의 오른쪽 사진은 이형 중 유실된 부분에 의해 패턴이 가닥으로 나누어져 있다. (c)는 패턴과 패턴 사이의 격벽에 갇혀있는 기포 결함을 보여준다.



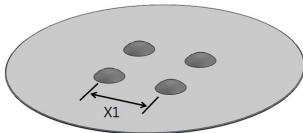
[Fig. 5] Result of UV NIL (a,b,c), Air bubble defect (b,c)

액적도포 방법은 Table 2와 같이 액적의 양을 변화시키면서, 같은 양의 액적에 대해 1 point 및 4 points로 액

적 수를 달리하였다. 4 points 액적은 Fig. 6과 같이 각 포인트의 거리를 5 mm로 정해 도포하였다. 가압력은 5 bar, 경화시간은 800s로 동일하다.

[Table 1] Experimental conditions

case 1		case 2		
droplet point	droplet volume	droplet point	droplet volume	distance of droplet (X1)
1	1 $\mu\text{l}$	4	0.25 $\mu\text{l}$	5mm
	1.5 $\mu\text{l}$		0.375 $\mu\text{l}$	
	2 $\mu\text{l}$		0.5 $\mu\text{l}$	
	10 $\mu\text{l}$		2.5 $\mu\text{l}$	



[Fig. 6] Distance of droplet on wafer

### 4. 실험 결과

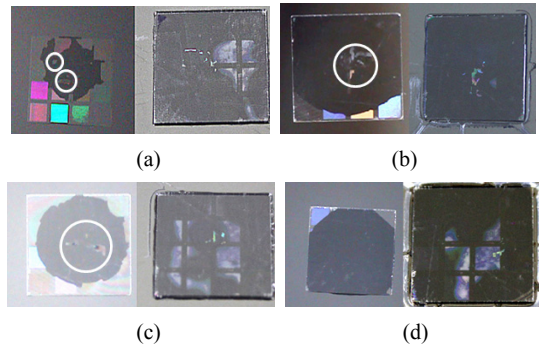
액적 1 point와 4 points에 대한 실험결과는 각각 Fig. 7와 Fig. 8과 같다. 그림의 왼쪽 사진은 가압 전 몰드 자중에 의해 액적이 퍼진 사진이며, 오른쪽 사진은 가압 후 몰드를 촬영한 것이다.

Fig. 7의 1 point 액적일 경우 액적의 양이 적을 때 기포가 발생 하는 것을 알 수 있다. 몰드는 양각의 원형, 타원, 사각형의 형상을 하고 있고 각 부분마다 격벽이 존재하는데, 액적의 양이 적은 Fig. 7 (a), (b), (c)는 공기가 격벽 안에 갇히는 현상을 보이며, 중앙부분에 많은 기포를 생성한다. 하지만 10  $\mu\text{l}$ 의 액적일 경우 기포가 발생하지 않았다. 이는 액적의 양이 많아 레지스트가 격벽의 높이보다 높게 도포되어 기포발생이 없이 충전되는 것으로 판단된다.

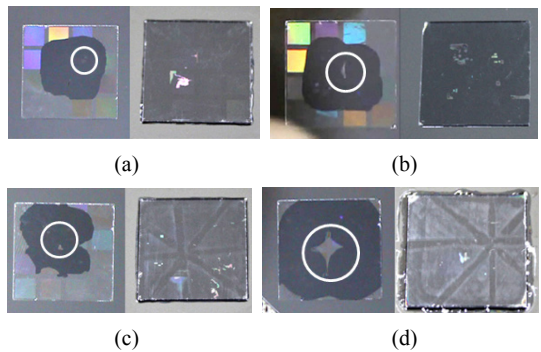
4 points 액적일 경우 기포발생과정이 1 point 액적일 때와는 다른 현상을 보였다. Fig.8의 (a)~(d) 모두 4개의 액적들이 병합 될 때 중앙의 공기가 갇혀지는 현상을 보였다. 가압 후 스탬프와 웨이퍼 사이의 공기의 퍼지는 작아지지만 사라지지 않고 남아있다. 10 $\mu\text{l}$ 의 경우 1 point 액적의 경우 기포결함이 발생하지 않았지만 4 points의 경우 비교적 큰 기포결함이 발생하였다.

Fig. 7와 Fig. 8을 비교하였을 때 가압 후 육안으로 확인할 가능한 기포가 Fig. 8이 더 많다. 그리고 Fig. 7은 기포가 중앙 쪽에 분포되어 있는 반면 Fig. 8은 불특정하게

분포되어 있다.



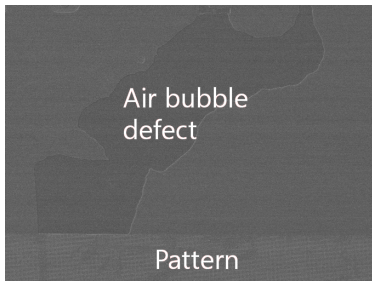
[Fig. 7] Formation of air bubble (1 point droplet) (a) 1  $\mu\text{l}$ , (b) 1.5  $\mu\text{l}$ , (c) 2  $\mu\text{l}$ , (d) 10  $\mu\text{l}$



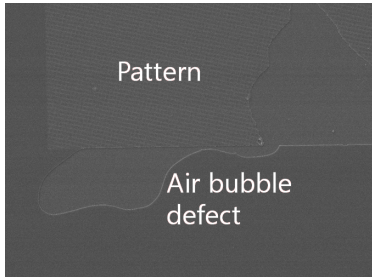
[Fig. 8] Formation of air bubble (4 points droplet) (a) 1  $\mu\text{l}$ , (b) 1.5  $\mu\text{l}$ , (c) 2  $\mu\text{l}$ , (d) 10  $\mu\text{l}$

육안으로 확인한 결과물을 정밀하게 보기 위해 FE-SEM으로 촬영하여 Fig. 9와 같은 결과를 얻었다. 16 개의 패턴 중 전사가 잘된 중앙 4개의 패턴에 대해 기포결함을 살펴보았다. Fig. 9의 (a), (b), (c)는 패턴과 격벽 사이의 빈 공간에 기포가 갇혀 경화된 기포결함을 보여주고 있다. (d), (e), (f)는 격벽에 막혀 기포가 나가지 못하고 경화된 기포결함을 나타낸다. 이와 같이 1 point 액적의 10 $\mu\text{l}$ 의 경우를 제외한 나머지 결과물에서 기포결함의 대부분은 패턴과 격벽사이의 공간에서 발생함을 알 수 있다.

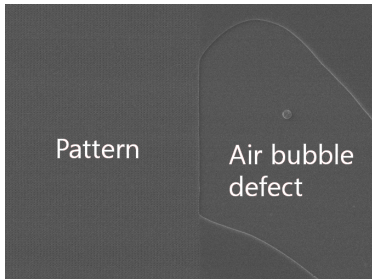
Fig. 10은 패턴과 격벽사이에 발생한 기포결함을 도식적으로 나타낸 그림이다. 공기가 격벽에 갇혀 있으면 공기가 있는 부분에 레지스트는 완충되지 못하고 경화되어 기포결함을 야기한다. 갇힌 공기의 양이 많을수록 패턴영역까지 침범하여 넓은 영역의 기포결함을 발생시킨다고 판단된다.



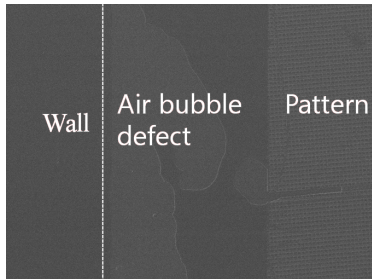
(a)



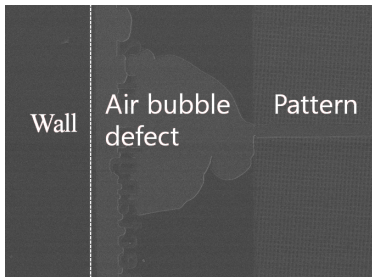
(b)



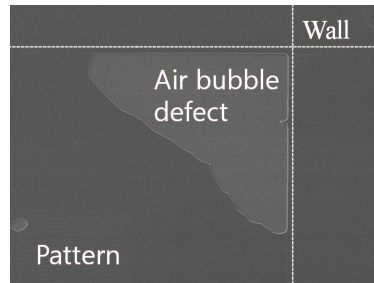
(c)



(d)

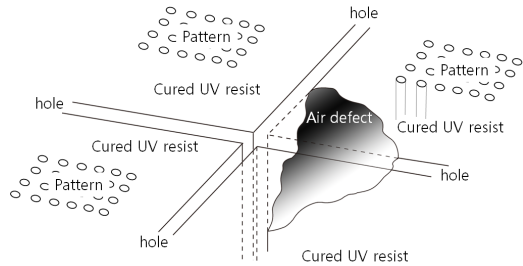


(e)



(f)

[Fig. 9] Air bubble defect of UV NIL process (a) 1  $\mu$  l(1 point droplet), (b) 2  $\mu$  l(4 point droplet), (c) 10  $\mu$  l(4 point droplet),(d) 2  $\mu$  l(1 point droplet), (e) 1  $\mu$  l(4 point droplet), (f) 1.5  $\mu$  l(4 point droplet)



[Fig. 10] Air bubble defect by wall of mold

## 6. 결론

본 연구는 액적도포 방법을 달리하여 비진공 UV NIL 공정 중 발생하는 기포 결함에 대해 알아보았다. 1 point, 4 points 액적 두 경우에 대하여 각 조건별 부피를 달리하여 실험하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 몰드는 양각의 원, 타원 등 16개의 다른 사이즈를 가진 패턴으로 제작되어 있으며 각 패턴 사이에 격벽이 존재한다. 1 point 액적일 경우 액적의 양이 적으면 공기가 격벽 부분에 갇혀 기포 결함이 발생한다. 액적의 양이 많으면 기포 결함 없이 몰드에 고루 충전이 되었다.
2. 적은 양의 4 points 액적일 경우 1 point 액적일 경우와 비슷한 경향을 보이며 몰드 전방에 걸쳐 기포 결함을 형성한다. 액적의 양이 많아지더라도 각 point 사이에 공기가 존재하여 기포결함이 발생하게 된다. 즉, 10 $\mu$  l의 경우 1 point 액적의 경우 기포 결함이 발생하지 않았지만 4 points의 경우 비교적 큰 기포결함이 발생하였다.
3. FE-SEM을 이용하여 16개의 패턴 중 전사가 잘되는

중앙 4개의 패턴을 촬영하였다. 촬영 결과 대부분의 기포결함은 격벽에 의해 빠져나가지 못한 경우였다.

이상의 결과를 종합하면 1 point 액적의 경우 액적의 양이 충분하지 않으면 격벽에 의해 기포가 갇히고, 4 points 액적의 경우 액적의 양이 많더라도 액적의 병합과정에서 액적사이의 공기에 의해 기포결함이 발생될 수 있다고 판단된다. 몰드 및 기관의 사이즈가 증가할수록, 액적도포 방법이 기포결함 발생에 큰 영향을 미칠 것이므로 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

## References

- [1] Chou, S. and Krauss, P., "Imprint lithography with sub-10nm feature size and high throughput," *Microelectronic Engineering*, Vol. 35, pp. 237-240, 1997. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9317\(96\)00097-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9317(96)00097-4)
- [2] Guo, L. J., "Recent progress in nanoimprint technology and its applications," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol. 37, pp. R123-R141, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0022-3727/37/11/R01>
- [3] Kim, N. W., Kim, K. W., and Sin, H.-C., "Finite element analysis of low temperature thermal nanoimprint lithography using a viscoelastic model," *Microelectronic Engineering*, Vol. 85, pp. 1858-1865, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mee.2008.05.030>
- [4] Lee, K. Y., and Kim, K. W., "A study on the filling process and residual layer formation in nanoimprint lithography process," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 13, No. 9, pp. 3835-3840, 2012.
- [5] Kim, N. W., Kim, K. W., and Sin, H.-C., "A mathematical model for slip phenomenon in a cavity-filling process of nanoimprint lithography," *Microelectronic Engineering*, Vol. 86, pp. 2324-2329, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mee.2009.04.011>
- [6] Morihara, D., Hiroshima, H., and Hirai, Y., "Numerical study on bubble trapping in UV-nanoimprint lithography," *Microelectronic Engineering*, Vol. 86, No. 4-6, pp. 684-687, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mee.2008.12.005>
- [7] Nagaoka, Y., Morihara, D., Hiroshima, H., and Hirai, Y., "Simulation study on bubble trapping in UV nanoimprint lithography," *Journal of Photopolymer Science and Technology*, Vol. 22, No. 2, pp. 171-174, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.2494/photopolymer.22.171>
- [8] Hiroshima, H., Komuro, M., Kasahara, N., Kurashima, Y., and Taniguchi, J., "Elimination of pattern defects of nanoimprint under atmospheric condition," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 42, pp. 3849-3853, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1143/JJAP.42.3849>
- [9] Hiroshima, H., and Komuro, M., 2007, "Control of bubble defects in UV nanoimprint," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 46, No. 9B, pp. 6391-6394. DOI: <http://dx.doi.org/10.1143/JJAP.46.6391>
- [10] Liang, X., Tan, H., Fu, Z., and Chou, S. Y., "Air bubble formation and dissolution in dispensing nanoimprint lithography," *Nanotechnology*, Vol. 18, No. 2, pp. 1-7, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0957-4484/18/2/025303>
- [11] Reddy, S., Schunk, P. R., and Bonnezaze, R. T., "Dynamics of low capillary number interfaces moving through sharp features," *Physics of Fluids*, Vol. 17, No. 12, pp. 122104-1-6, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2140691>
- [12] Reddy, S., and Bonnezaze, R. T., "Simulation of fluid flow in the step and flash imprint lithography process," *Microelectronic Engineering*, Vol. 82, No. 1, pp. 60-70, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mee.2005.06.002>
- [13] Seok, J.M. and Kim, N.W., "Analytic and numerical study for air bubble defect of UV-NIL process", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 21, No. 3, pp. 473-478, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2012.21.3.473>
- [14] Yoo, S.H., "The 3D investigation of bubble defect during the fabrication of anti-reflective pattern through UV-NIL", M.D. Thesis, Seoul National University, 2012.

이 기 연(Ki-Yeon Lee)

[정회원]



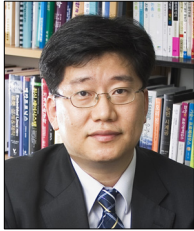
- 2005년 2월 : 온양고등학교
- 2012년 2월 : 순천향대학교 기계공학과 (학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 기계공학과 (석사)

<관심분야>

기계설계, 나노임프린트, 정밀가공

김 국 원(Kug Weon Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 1995년 2월 ~ 1999년 2월 : LG 전자 디지털미디어 연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

CAD/CAM, 초정밀가공