

# UV nano imprint 공정에서 air bubble area 최소화에 대한 연구

최성웅<sup>†</sup> · 이동언<sup>\*</sup> · 이우일<sup>\*\*</sup>

## Experimental study to minimize the air bubble during the imprinting process in UV nanoimprint lithography

Seung Woong Choi, Dong Eon Lee and Woo il Lee

**Key Words:** nanoimprint lithography (나노임프린트), air bubble (공기방울), dispensing(디스펜징), coalescence (병합), critical distance (임계거리), centroid (도심)

### Abstract

Formation of air bubble is the one of common defects in UV nano imprint lithography. Location of dispensing and volume of droplets are among the most important parameters in the process. In this study, UV curable resin droplets with different volumes were dispensed at different locations and pressed to investigate air bubble formation. By varying volume of droplet and dispensing location, process conditions were found for minimum air bubble area.

### 기호설명

- A : air bubble area [ $\text{mm}^2$ ]  
 D : dispensing distance [mm]  
 $D_{crit}$  : critical distance [mm]  
 V : volume of droplet [ $n \ell$ ]

### 1. 서론

시대적인 요구에 따라 미세한 기기와 부품 등을 만들기 위한 공정 기술은 꾸준히 발전해 왔다. 그 중 현재 미세 구조물들을 제작하는데 가장 널리 사용되고 있는 포토 리소그래피 방법은

빛의 회절현상으로 인해 초미세 스케일의 공정에서는 어려움이 있으며, 그 회절현상의 어려움을 극복하기 위한 X-ray lithography와 같은 방법은 많은 설비 투자가 필요하다는 단점이 있다. 그에 대한 보완으로 e-beam lithography, scanning probe microscope lithography (SPM) 등이 새로운 공정방식이 연구되고 있지만 생산 효율성에 있어서 범용적으로 사용하기에 어려움이 있다. 대안적인 제조기술중 최근 주목받고 있는 공정 기술로는 Chou 교수가 제안한 나노 임프린트 리소그래피 기술을 들 수 있는데 이 기술은 고비용 저생산성의 기존의 공정 기술들과 비교해 보았을 때 매우 혁신적인 기술이라고 볼 수 있으며 최근 기술 선진국에서 경쟁적으로 연구하며 가능성을 확인하고 있는 기술이다. 나노 임프린트 리소그래피의 특징은 직접적인 접촉으로 패턴이 있는 스탬프를 폴리머 레지스트(resist)표면에 전사하는 방법이다. 나노 임프린트 리소그래피는 사용하는 레지스트(resist)와 경화 방식에 따라 가열식 임프

<sup>†</sup> 회원, 서울대학교 기계항공공학부 대학원

E-mail : wilce@snu.ac.kr

TEL : (02)880-1657 FAX : (02)880-0631

<sup>\*</sup> 서울대학교 기계항공공학부

<sup>\*\*</sup> 서울대학교 기계항공공학부

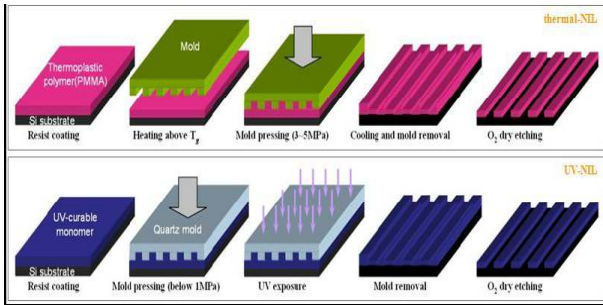


Fig. 1 Nano Imprint Lithography

린트 방식(thermal NIL), 자외선 경화 임프린트 방식(UV-NIL)으로 나누어진다. 그 중 UV-NIL에서는 resist doping시 dispensing방식을 주로 사용하게 된다. 패턴을 얻어 내기위한 UV-NIL 공정 중 dispensing, imprinting과정을 거치면서 여러 defect들이 발생 할 수 있는데 가장 크게 제기되는 문제점 중 하나가 air bubble의 생성이라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 air bubble최소화를 위하여 air bubble의 형성과 관계된 연구를 진행하여 각각의 변수를 확인하고 찾았다. Dispensing based nanoimprint lithography에서 air bubble의 형성에 영향을 미치는 변수는 여러 가지가 있는데, 그 중 가장 중요한 변수는 dispensing의 위치와 volume of droplet이다. Air bubble의 생성을 최소화하기 위한 조건을 찾아 dispensing의 위치와 volume of droplet을 함수화 하고 조건을 찾음으로서 보다 큰 대 면적에서 air bubble의 생성을 최소화할 수 있다. 본 연구에서는 one droplet motion을 바탕으로 parallel type의 기반인 four droplets의 coalescence현상을 실험하였고, 나아가 전체 영역에 dispensing할 수 있는 방법을 모색해보았다. 모든 공정에서 imprinting되는 시간과 힘은 동일하다고 가정하였다.

## 2. 본론

### 2.1 실험조건

본 연구에서는 dispensing, imprinting공정에서 변수를 달리하여 step and flash nanoimprint lithography (IMPRIO 100)장비와 substrate로 6 inch wafer를 이용하여 실험하였다. 최대 contacting imprinting force는 3N으로 120초 동안

pressing을 하였으며, 경화를 위해 10초 동안 UV(ultraviolet)빛을 조사하였다. 스탬프로는 1 x 1 in<sup>2</sup> 스탬프를 6 x 6 x 0.25 in<sup>3</sup> quartz mask blank로부터 e-beam공정과 etching공정을 거쳐서 제작하였으며, anti-adhesion처리를 하였다. 스탬프와 경화된 레진 층 사이에 이형(separation)을 원활하게 하기 위해서, wafer는 anti-reflective coating재료를 가지고 spin-coating되었다. 또한 상온에서 점도가 10 cps인 MINS OR UV curable resin이 실험용액으로 사용되었다. UV레진은 jet-type dispenser를 사용하여 drop-on-demand방식으로 substrate에 dispensing하였다. 결과를 관찰하기 위해서 영상현미경과 FE-SEM(HITACHI)를 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 Four droplets)dispensing

Four droplets dispensing은 네 개의 resist droplet을 imprinting한 후, 하나의 큰 액적(droplet)을 형성하는 병합(coalescence)현상으로 볼 수 있다. 네 개의 액적(droplet)이 dispensing될 때, 중간에 air bubble area가 생기게 되는데 액적(droplet)사이의 거리를 조절해 전체적으로 air bubble area가 없는 four droplets dispensing을 만드는 실험을 하였다. 0.1, 0.5, 1.0 nℓ 부피를 가지는 각각의 액적(droplet)에 대해서 액적(droplet)사이의 거리를 조절하면서 도심(centroid)부분에 생기는 air bubble area를 측정하였고 그에 따른 결과로써 거리에 따른 air bubble area를 각각의 부피에 대한 그림 2 과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

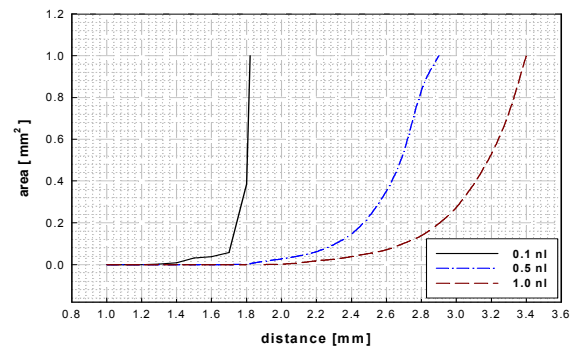


Fig. 2 Air bubble area in four droplets

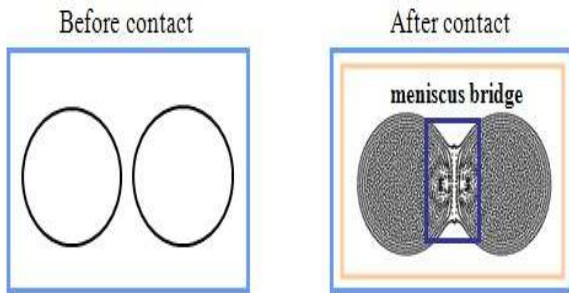


Fig. 3 Coalescence of two droplets

### 3.2 임계 거리(Critical distance)

네 개의 액적(droplet)이나 여러 개의 액적(droplet)이 만날 때 그들이 만나서 한 액적(droplet)을 형성하는 경우를 병합(coalescence)이라고 한다. 이 병합(coalescence)과정은 두 가지 과정으로 이루어지는데 첫 번째가 그림 3에서 보는 바와 같이, 액적(droplet)사이 meniscus bridge의 초기의 빠른 생성이고, 두 번째 과정이 합쳐진 액적(droplet)의 완전한 재배열이다. 이 배열은 타원형에서 시간이 지남에 따라 점차 원형으로 바뀌는 과정으로 요약할 수 있다. Four droplets

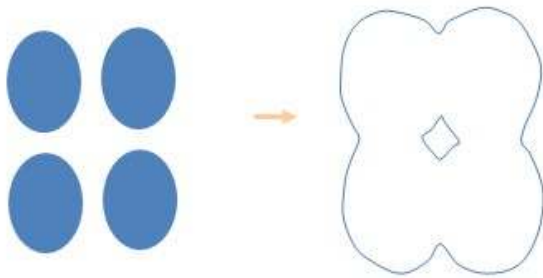


Fig. 4 임계거리 외에서의 Coalescence

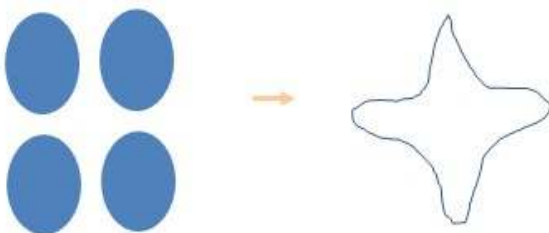


Fig. 5 임계거리 내에서의 Coalescence

dispensing에서는 액적(droplet) 사이의 거리에 따라서 dispensing된 결과가 다르게 나타날 수 있다. 특정한 임계거리, 즉 네 개의 액적(four droplet)이 병합(coalescence)되었을 때, 도심(centroid)부분에 air bubble이 나타나지 않는 액적(droplet)사이의 거리를 구해 보았으며, 그 결과를 바탕으로 특정한 임계거리 아래에서는 그림 4,5에서와 같이, 액적(droplet)들이 imprinting공정 후 정확하게 병합(coalescence)이 되지 않는 것을 알 수 있었다. 이것은 imprinting시 도심(centroid)부분의 액적의 양이 다른 부분보다 월등히 많아져 imprinting하면서 예상하지 못한 방향으로 합침이 일어나기 때문에 나타나는 현상이다. 임계거리 아래에서는 네 개의 액적(droplet)이 병합(coalescence)된 후 커다란 원의 모양이 되지 않고 십자의 모양 혹은 불특정한 마름모 형상을 보였다. 즉 각각의 부피에 대해서 액적(droplet)사이의 거리가 임계거리 아래이면, 병합(coalescence) 후 완전한 원의 모양에서 벗어난 현상이 관찰되었다. 이러한 거리를 임계 거리(critical distance)라고 명명했고, 각각의 부피에 대해서 임계 거리(critical distance) 결과를 그림 6 와 같이 얻을 수 있었다.

### 3.3 Five droplets dispensing

네 개의 droplet이 합쳐지면서 dispensing지점의 도심(centroid)부분에 air bubble area가 생성된다. 그림 2 에서 볼 수 있듯이 dispensing 거리(distance)를 일정하게 하면서 부피를 증가시키면 dispensing하면서 air bubble area가 감소함을 알 수 있다.

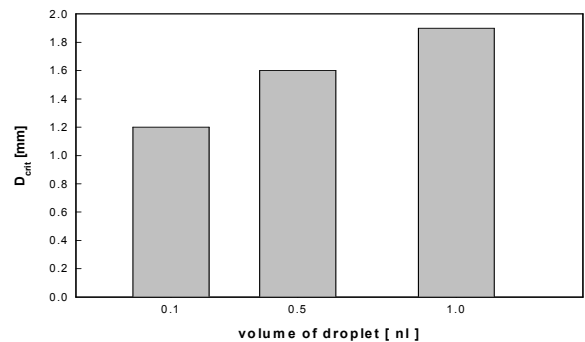


Fig. 6 임계거리 (Critical distance)

따라서 air bubble area는 centroid지점에 droplet을 첨가함으로써 제거되거나 최소화될 수 있다. Dispensing 거리(distance)에 대하여 부피를 변화시키므로써 UV-NIL 공정 이후, air bubble area data를 curve fitting으로서 구하였다. 또한 액적(droplet)부피에 대하여 dispensing 거리(distance)를 변화시키면서 air bubble area를 curve fitting으로 구할 수 있었다. 그에 따른 결과로서, Air bubble area(A)는 dispensing distance(D)거리에 비례하고 droplet의 부피(V)에는 반비례함을 알 수 있다.

$$A = k(D)^m(V)^n$$

위 공식은 결과를 curve fitting하여  $m = 2.86 \sim 3.0$ ,  $n = -2.5 \sim 3.0$ 이라는 수치를 얻을 수 있었고, 이를 이용해서 four droplet dispensing에서는 부피와 dispensing 거리(distance)에 대해 air bubble area에 맞는 one droplet의 부피를 얻을 수 있었다. 계산된 액적(droplet)을 도심(centroid)부분에 첨가하여 전체적으로 병합(coalescence)되는 것을 알 수 있었다.

### 3.4 Dispensing of 단위 액적(droplets)

앞의 두 가지 기본 단위(four droplet dispensing, five droplet dispensing)를 바탕으로  $1 \times 1 \text{ in}^2$  ( $10 \times 10 \text{ mm}^2$ )의 넓이를 전체적으로 도포할 수 있게 여러 단위의 액적(droplet)을 dispensing하였다. 액적(Droplet)사이의 거리를  $D_{crit}$ 로 제한하면서, 중간에 액적(droplet)이 들어가지 않은 four droplets과 중간에 액적(droplet)이 들어간 five droplet을 전체적으로 dispensing하였고, 그 결과를 비교하였다.

#### 3.4.1 Four droplets 단위 dispensing

전체 면적을 도포할 수 있게 four droplets단위 개수를 계산하였고, 계산된 값을 바탕으로 전체 면적에 dispensing하였다. 각각의 부피(0.1, 0.5, 1.0 nℓ)의 액적(droplet)에 대해서 계산된  $D_{crit}$ 을 바탕으로 전체적으로 dispensing하였다. 그에 따른 결과는, 부피가 커짐에 따라서 전체적으로 고르게 dispensing됨을 알 수 있었다. 표 1에서 보

는 바와 같이, 액적(droplet)사이의 거리를  $D_{crit}$ 로 제한함으로써 전체에 도포되는 총 액적(droplet)의 양이 액적(droplet)의 부피가 커짐에 따라서 커지게 되었다. 즉  $D_{crit}$ 을 바탕으로 전체 면적을 dispensing하게 되면, 액적(droplet)의 부피가 커짐에 따라서 전체 면적에 도포하는 총 액적(droplet)의 부피가 증가하게 된다. 총 부피가 증가함에 따라서 전체 면적을 dispensing하는 액적(droplet)의 양이 증가하게 되고 이로 인해 전체적으로 void가 있는, 즉 air bubble이 생길 가능성이 작아지는 결과가 되었다.

Table 1 전체면적을 도포할 때 필요한 액적(droplet)의 개수와 액적(droplet)의 부피

droplet 부피	droplet 개수	총 droplet 부피
0.1nℓ	64	6.4 nℓ
0.5nℓ	36	18 nℓ
1.0nℓ	25	25 nℓ

#### 3.4.2 Five droplets 단위 dispensing

Five droplets 단위 dispensing은 four droplets의 결과를 바탕으로 실험을 하였다. Four droplets의 경우에 맞는  $D_{crit}$ 을 바탕으로 액적(droplet)사이 간격에 각각 0.1mm 거리의 여유를 주어서 centroid부분에 계산된 액적(droplet)을 첨가하였다. Air bubble area를 계산해서 거기에 맞는 부피의 액적(droplet)을 도포한 다음 전체 영역을 도포할 수 있는 five droplets의 단위개수를 측정하였다. Four droplet에서 나왔던 문제, 즉 액적(droplet)의 부피를 감소시키면 air bubble이 생길 가능성이 커졌던 문제가 도심(centroid)부분에 계산된 액적(droplet)을 떨어뜨림으로써, 전체적으로 앞의 four droplets 단위 dispensing보다 훨씬 균일한 도포결과를 얻을 수 있었고 air bubble이 생길 가능성이 줄어드는 것을 알 수 있었다. Five droplets 단위 dispensing도  $D_{crit}$ 을 바탕으로 액적(droplet)의 부피를 증가시키기에 따라 전체에 도포되는데 필요한 액적(droplet)의 양이 늘어나게 되었다. 그리고 표 2에서 보는 바와 같이, 도심(Centroid)부분에

Table 2 도심(Centroid)부분에 들어가야 할 액적(droplet)양

droplet 부피	droplet양(계산치)	droplet양(실험치)
0.1n ℓ	0.025n ℓ	0.030n ℓ
0.5n ℓ	0.010n ℓ	0.013n ℓ
1.0n ℓ	0.005n ℓ	0.007n ℓ

필요한 액적(droplet)양은 액적(droplet)의 부피가 늘어남에 따라서 작아지게 되었다. 원래의 액적(droplet)과 첨가해야 할 액적(droplet)의 부피의 차는 액적(droplet)이 커짐에 따라 작아졌다. Five droplet 단위 dispensing에서는 부피가 작은 droplet 단위가 부피가 큰 단위보다 air bubble area의 가능성을 줄였으며 더욱 더 고르게 dispensing되는 결과가 나왔다. 부피가 작을수록, 증발효과로 인해서 계산치보다 첨가해야 할 액적(droplet)의 양이 늘어나는 것을 알 수 있었고, dispensing결과 부피가 작을수록 더욱 더 고르게 dispensing되는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 one droplet에서 four droplets까지 거리와 부피에 따른 병합(coalescence)현상을 볼 수 있었다. 또한 부피와 거리로부터 air bubble area를 계산할 수 있었다. 두 가지 기본 dispensing모델이 있었는데  $D_{crit}$ 를 바탕으로 한 four droplets단위와  $D_{crit}$ 보다 큰 거리에서 도심(centroid)부분에 액적(droplet)을 첨가한 five droplets 단위를 구할 수 있었다. 중간에 액적(droplet)이 첨가되지 않았을 때 생겼던 air bubble 문제가 도심(centroid)부분에 액적(droplet)을 첨가함으로써, 해결할 수 있었다. Four droplet단위 dispensing에서  $D_{crit}$ 에서 액적(droplet)의 부피가 줄어들음에 따라서 air bubble 가능성이 커졌고, five droplet 단위 dispensing에서는 부피가 줄어들

에 따라서 air bubble 가능성이 줄어드는 것을 알 수 있었다. Five droplets 단위 dispensing에서는 four droplets 단위 dispensing보다 전체적으로 더 고른 dispensing결과를 볼 수 있었고 부피가 커짐에 따라서 그 효과가 더 작아짐을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스기술 개발 사업 단 의 연구 비 지원(M102KN010007-08K1401-00710) 과 나노 핵심 기반연구개발사업의 나노-메조-메크로간 고신뢰성 및 최소간접 정보전달통로 기술개발(M10403001204-08M0300-20410) 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- (1) Chou, S.Y., Krauss, P.R., and Renstrom, P.J., 1996 "Nanoimprint lithography", J. Vac. Sci. Technol. B Vol. 14(6), pp. 4129-4133
- (2) W. D. Ristenpart, P. M. McCalla, R. V. Roy , And H. A Stone, 2006. "Coalescence of Spreading Droplets in a Wettable Substrate.", PRL 97, 064501
- (3) X Liang, H Tan, Z Fu, SY Chou, 2007. "Air bubble formation and dissolution in dispensing nanoimprint lithography", NANOTECHNOLOGY. 18, 025303 (7pp)
- (4) Chou, Krauss, and Renstrom: Nanoimprint lithography, 1996. "Nanoimprint lithography", J. Vac. Sci. Technol. B 14(6), pp4129-4133