

평행도 및 overlay 정렬을 고려한 실리콘 패턴의 전사 Silicon pattern transfer considering tilt and overlay alignment

*장봉균¹, #김재현¹, 최현주¹, 김광섭¹, 박현성¹, 이학주¹

¹B. Jang¹, #J.-H. Kim(jaehkim@kimm.re.kr)¹, H.-J. Choi¹, K.-S. Kim¹, H.-S. Park¹, H.-J. Lee¹

¹ 한국기계연구원 나노융합생산시스템 연구본부 나노역학 연구실

Key words : Transfer process, Silicon thin film, Tilt alignment and Overlay alignment

1. 서론

나노/마이크로 스케일의 구조물 제작에서 전사 공정(transfer process)은 기존의 반도체, MEMS 공정에 비하여 간단한 메커니즘을 이용하여 저비용 대량 생산에 적합하다는 장점을 가지고 있다. 또한, 디바이스 제작에 있어서 기판을 제한하지 않는다는 장점을 갖고 있어, 유연 전자 제품을 제작하기 위한 방법 중의 하나로 많은 연구가 수행되고 있다[1,2].

현재, 이러한 전사 공정을 이용하여 소자를 대면적으로 대량 생산하는 단계에는 미치지 못하고 있는 실정이다. 평면 기판 위에 있는 소자를 다시 평면 기판 위로 전사할 때의 가장 큰 문제점은 스탬프와 기판 사이의 평행도를 정확하게 정렬 시키는 것이다. 평행도가 벗어난 상태에서는 접촉 불량에 의한 전사 수율 저하 및 국부적인 집중 압력으로 인한 디바이스 파손의 가능성이 크다.

평행도 정렬과 함께 overlay 정렬 기술 또한 중요하다. 전사 공정은 스탬프를 이용하여 디바이스를 기판에서 떼어내는 picking 공정과, 스탬프에 부착된 디바이스를 원하는 기판에 붙이는 placing 공정으로 구성되며, 이 두 가지 공정은 여러 번 반복 또는 다른 공정과 결합되어 진행될 가능성이 있어서 각각의 과정에서 overlay 정렬은 필수적이다. 따라서 디바이스를 정확한 위치에 전사시키기 위해서는 전사 공정에 적절한 overlay 정렬 알고리즘이 필요하다.

본 연구에서는 대면적 전사 공정에서 중요한 요소인 평행도 정렬과 overlay 정렬을 고려하여 실리콘 패턴을 전사하는 것을 목표로 하고 있다. 평행도 정렬에 유리한 스탬프, overlay 정렬을 위한 구동기, 정렬 모니터링을 위한 광학계 등을 이용하여 전사 장비를 구성하였으며, 실리콘 패턴을 PDMS 스탬프를 이용하여 폴리이미드 기판 위로 전사시키는 공정을 수행하였다.

2. 장비 구성 및 시편 제작

본 연구에서 전사 공정을 수행하기 위하여 제작한 전사 장비는 그림 1과 같다. PDMS 스탬프는 z축 구동기에 달려 있으며 구동기와 스탬프의 연결 부위에는 평행도 정렬이 가능하도록 6축 구동기가 장착되어 있다. 스탬프의 위쪽에는 overlay 정렬 상태를 관찰할 수 있도록 광학계를 설치하였으며, 그림 3(a)와 같이 스탬프가 달려 있는 아크릴 플레이트는 3개의 로드셀을 이용하여 평행도를 맞출 수 있도록 하였다. 전사하고자 하는 기판을 올려놓을 수 있는 진공 플레이트는 40 nm 해상도의 x, y축 구동기 위에 장착되어 있어, overlay 정렬이 가능하도록 장비를 구축하였다.

전사 공정을 수행하기 위한 실리콘 패턴 시편은 다음과 같은 과정으로 제작하였다. 우선 400 nm의 산화막과 200 nm의 실리콘을 갖는 SOI 웨이퍼를 이용하여 RIE 공정으로 실리콘 박막 패턴을 제작하였다. 이 때에 사용한 마스크에는 dot, 또는 slit 형태의 에칭홀이 설계되어 있으며, 이후에 HF를 이용하여 산화막을 제거하여 PDMS 스탬프를 이용하여 박막을 쉽게 떼어낼 수 있도록 하였다.

PDMS 스탬프와 기판이 평행하지 않았을 때의 발생하는 문제점들을 완화시키기 위하여 PDMS 스탬프는 큰 곡률을 가진 구형 스탬프를 제작하여 사용하였다. 그림 2에서

알 수 있듯이, 구형 PDMS를 사용하면, 약간의 평행도가 어긋난 상태에서, 작은 하중에서도 넓은 면적이 접촉할 수 있다. 구형 PDMS의 제작 방법은 다음과 같다. PDMS(Sylgard 184, Dow Chemical Co., Midland, MI)와 가교제를 10:1로 섞어 준 뒤, 곡률을 알고 있는 오목 렌즈 위에 부어준다. 진공 펌프를 이용하여 기포를 제거한 뒤, 75 °C의 오븐에서 3시간 동안 경화시킨다. 이렇게 제작된 PDMS 스탬프는 투명한 아크릴판에 붙여서 전사장비에 장착시킨다.

스탬프로 떼어낸 실리콘 패턴을 유연 기판에 붙이기 위해서, 폴리이미드 기판을 UV adhesive(NOA 61)를 스핀코팅한 후 1분정도 예비경화시킨 뒤에 사용하였으며, 전사공정이 완료된 후에 완전하게 경화시켰다.

3. 실험 절차 및 결과

실험을 수행하기 전에 PDMS 스탬프와 평탄한 실리콘 웨이퍼를 접촉시켜 대략적인 평행도를 맞추어 둔다. 접촉하였을 때의 접촉 면의 위치 및 그림 3(b)와 같이 장비에 달려 있는 3개의 로드셀 신호를 이용하면 평행도를 정렬할 수 있다. 그 다음, 진공 플레이트 위에 산화막 희생층이 제거된 실리콘 패턴 시편과 패턴을 전사시킬 폴리이미드 기판을 위치시킨다. 이 상태에서 PDMS 스탬프와 기판 사이의 overlay 정렬을 맞춘다. 정렬 방법은 스탬프와 기판 사이의 각도가 일치하도록 x-y 평면 회전 구동기를 구동시킨 뒤, x-y 평면의 각각의 위치가 정렬되도록 구동기를 작동시키도록 한다. 실험 준비가 완료되면, z축 구동기를 작동시켜 스탬프가 전사하고자 하는 영역이 접촉되도록 한다. Picking은 0.1 mm/s의 속도로 떼어내었으며 x, y축 구동기를 움직여 Placing하고자 하는 폴리이미드 기판을 스탬프 아래로 이동시킨다. 스탬프를 접촉시켜 디바이스와 폴리이미드 기판이 접촉되도록 한 후에, 가능한 천천히 스탬프를 떼어낸다. 이것은 Picking에서는 속도가 빠를수록, Placing에서는 속도가 느릴수록 전사 수율이 증가하는 경향이 알려져 있기 때문이다[3]. 그림 4는 전사 공정에서 picking 공정과 placing 공정에서의 모습을 보여준다. 여기서 주의할 점은, 스탬프와 기판을 접촉시킬 때에는 기포가 들어가지 않도록 주의해야 한다. 구형 PDMS를 사용하였기 때문에 스탬프의 중앙부터 접촉되기 때문에 접촉 속도를 천천히 하면 큰 문제가 되지 않지만, 너무 빠른 속도로 접촉하게 되면 스탬프와 기판 사이에 기포가 발생하여 접촉이 되지 않는 경우가 발생한다.

그림 5(a), (b)는 크기가 각각 25 mm x 25 mm, 50 mm x 50 mm의 실리콘 패턴을 전사한 결과를 나타낸다. 25 mm x 25 mm 크기의 패턴의 경우에는 육안으로 관찰하였을 때, 전체 영역이 전사가 된 것을 확인할 수 있었다. Picking 공정과 Placing 공정에서 측정된 하중은 각각 2.9 N, 3.0 N이었다. PDMS 스탬프와 기판이 접촉하였을 때 측정되는 하중은 PDMS 스탬프의 강성에 관련이 있으며, PDMS를 제작할 때에 강성을 조절하면, 하중의 크기를 조절할 수 있다. 또한 접촉시키고자 하는 면적이 커지게 되면 구형 PDMS를 큰 힘으로 눌러야 한다. 실제로 50 mm x 50 mm의 패턴을 전사할 때에 Picking 공정과 Placing 공정에서 측정되는 힘의 크기는 각각 65.1 N과 45.9 N으로 측정되었는데, 전사하고자 하는 패턴을 모두 접촉시키기 위해서 큰

힘을 가해주어야 했던 것은 이러한 이유 때문이다.

PDMS 스탬프를 기관에서 떼어낼 때의 최대 하중을 전사 공정에서의 점착력이라고 정의하면, 25 mm x 25 mm 크기의 실리콘 패턴의 경우에는 Picking 공정과 Placing 공정에서의 점착력은 각각 2.6 N, 5.6 N으로 측정되었다. Picking 공정에서 더 빠른 속도로 떼어내었지만 측정되는 하중이 작은 것은 실리콘 패턴이 희생층이 제거된 상태에서 PDMS와 함께 떨어지게 되기 때문이다. Placing 공정에서는 PDMS 스탬프와 패턴 사이가 떨어져야 하기 때문에, Picking 공정에서보다 점착력이 더 크게 측정되었다. 패턴 부분만 접촉할 수 있도록 PDMS 스탬프를 제작한다면, Picking 공정 및 Placing 공정에서 받는 하중이 줄어들게 되어 더 빠른 속도로 떼어낼 수 있을 뿐만 아니라 수율도 증가할 것으로 예상된다.

4. 결론

전사 공정은 고성능을 지니는 소자를 폴리머 기관 위에서 형성할 수 있다는 장점을 지니고 있으며, 기관의 종류와 공정 온도에 제약을 받지 않는다는 장점을 지니고 있다. 대면적으로 소자를 전사하는 공정에 있어서 평행도와 overlay 정렬은 해결해야 할 주된 문제이다. 본 연구에서는 이러한 정렬 문제를 해결할 수 있는 메커니즘을 고안하고, 실제로 장비로 구현하였다. 개발된 전사 장비를 이용하여 50 mm x 50 mm 크기의 실리콘 패턴을 유연 기관에 전사할 수 있었다. 본 연구에서 제안된 평행도 및 overlay 정렬 기술 및 곡률을 가진 스탬프를 응용하는 기술은 대면적 전사 장비의 핵심 요소 기술이 될 것으로 전망된다. 개발된 전사 장비는 대면적 전사 공정을 최적화하는 데에 필요한 다양한 전사 시뮬레이션을 수행하는 데에 사용될 수 있다.

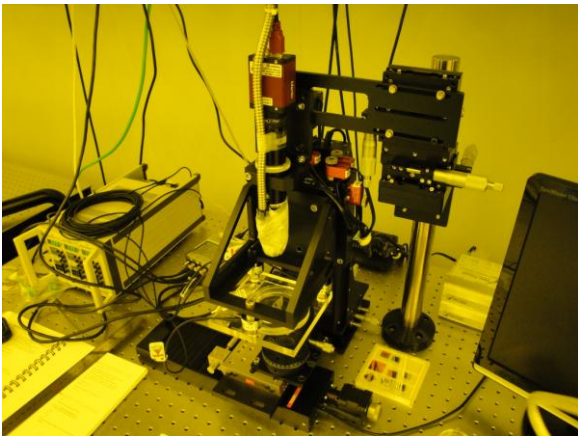


Fig. 1 Photograph of the apparatus for transferring silicon pattern from mother substrate to donor substrate.

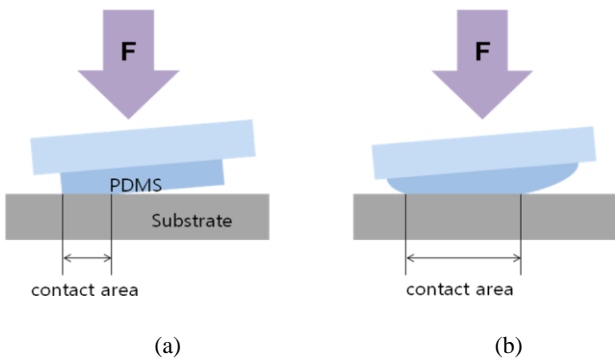


Fig. 2 Differences of contact area between (a) flat PDMS stamp and (b) spherical PDMS stamp.

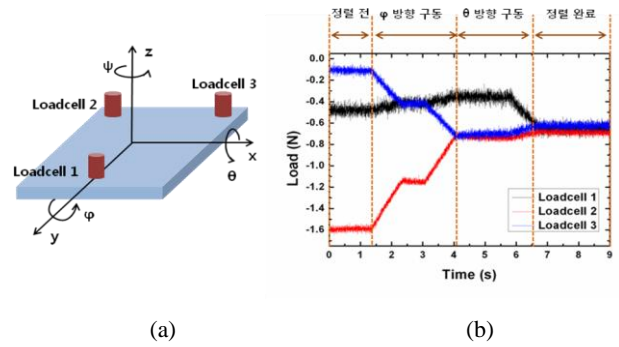


Fig. 3 Tilt alignment based on load cell signal; (a) schematics of tilt alignment system, (b) signals detected three load cells.

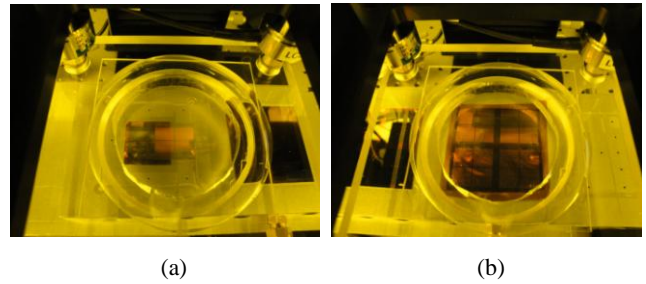


Fig. 4 Photographs pictured during transfer process; (a) picking process, (b) placing process.

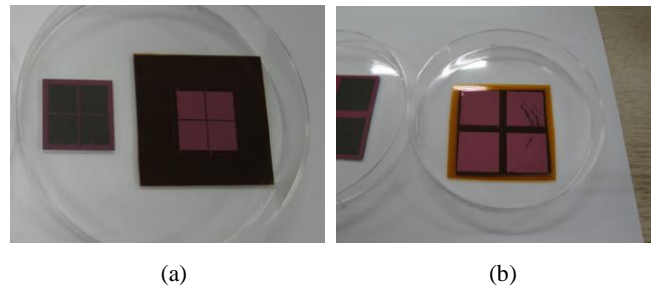


Fig. 5 Photographs of the transferred specimens with (a) 25 mm x 25 mm and with (b) 50 mm x 50 mm.

후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발(과제번호: 10033309)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Meitl, M. A., Zhu, Z.-T, Kumar, V., Lee, K. J., Feng, X., Huang, Y. Y., Adesida, I., Nuzzo, R. G. and Rogers, J. A., "Transfer printing by kinetic control of adhesion to an elastomeric stamp," Nature Materials, 5, 33-38, 2006
2. Park, S.-I., Xiong, Y., Kim, R.-H., Elvikis, P., Meitl, M., Kim, D.-H., Wu, J., Yoon, J., Yu, C.-J., Liu, Z., Huang, Y., Hwang, K.-C., Ferreira, P., Li, X., Choquette, K. and Rogers, J. A., "Printed assemblies of inorganic light-emitting diodes for deformable and semitransparent displays," Science, 325, 977-981, 2009
3. 장봉균, 김재현, 송선아, 이학주, "속도 의존적 점착 특성을 이용한 나노 스케일 구조물의 능동적 전사 제어," 대한기계학회 추계학술대회, 3031-3034, 2009