

건식 점착을 이용한 멀티스케일 소자의 전사 장비 개발

Development of transfer assembly module of multi-scale devices using dry adhesion

*#김재현¹, 장봉균¹, 최현주¹, 송차규¹, 김경식¹, 이학주¹, 김광섭¹

*#J.-H. Kim(jaehkim@kimm.re.kr)¹, B. Jang¹, H.-J. Choi¹, C.-G. Song¹, K.-S. Kim¹, H.-J. Lee¹, K.-S. Kim¹

¹ 한국기계연구원 나노융합생산시스템 연구본부 나노역학 연구실

Key words : Transfer assembly, multi-scale, dry adhesion, module

1. 서론

반도체와 디스플레이 산업의 발전과 함께 차세대산업으로 유연 전자 산업의 시장이 지속적으로 확장되고 있다. 최근 수년 간 새로운 개념의 유연 디스플레이 및 각종 유연 전자 제품의 개발이 활발히 이루어 지고 있다. 유연 전자 제품의 개발 및 시장 확대를 위해서는 몇 가지 해결해야 하는 난제들이 있다. 본 연구에서는 이러한 난제 중에서 생산 기술에 관련된 부분에 초점을 맞춘다.

현재 유연 전자 제품의 생산 기술에는 두 가지 대표적인 접근 방법이 있다. 첫 번째는 가장 널리 사용되는 접근 방법이며, 유기물 반도체 및 전도성 잉크 등을 이용한 롤 기반의 프린팅 기술이다. 이 기술은 롤 연속생산을 이용한 생산성의 향상을 큰 장점으로 내세우고 있다. 두 번째 접근 방법은 본 연구에서 다루는 전사 기술을 이용한 생산 기술이다⁽¹⁾. 이 기술은 무기물 반도체의 우수한 특성을 유연 전자 제품에 구현할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 두 가지 접근 방법 중에서 아직까지 시장을 주도할 기술이 명확하게 결정되지는 않은 것으로 판단되며, 각각의 장단점이 비판적으로 비교/검토되는 단계에 있다.

롤 기반의 연속생산 기술은 생산성에 장점이 있는 반면에 유기물 반도체 소재의 낮은 성능 때문에, 향후 수년 내에는 고성능 전자 제품에는 적용되기 어렵다는 단점이 있다. 전사 공정을 이용한 기술은 고성능의 전자 제품을 유연 모재 위에 구현할 수 있는 신개념의 생산기술이지만, 아직까지 생산성이 낮고 제조 원가가 비싸다는 단점이 있다. 아래의 Fig. 1에 예시된 몇 가지 고성능 유연 전자 제품은 기존의 롤 기반 프린팅 기술로는 구현이 불가능하며, 본 연구에서 다루는 전사 공정 기술로 접근하는 것이 필요하다.

전사 공정 기술과 롤 기반 프린팅 기술을 비교할 때에 가장 큰 약점 중의 하나는 생산성이다. 이러한 생산성은 대면적 전사 공정 및 롤 기반 전사 공정의 개발을 통하여 극복될 수 있다. 본 연구에서는 대면적 전사 공정에 적용될 수 있는 전사 공정 장비의 개발에 대하여 보고한다. 전사 공정의 특징 상 대면적으로 전사할 때에, 여러 가지 전사 수율의 저하 및 소자의 파손 현상이 동반될 수 있다. 이러한 문제를 해결하고 2 인치 스케일의 전사를 진행할 수 있는 전사 장비를 개발하는 것이 본 연구의 목표이다.

2. 건식 점착의 원리 및 제어

전사 공정은 미국 UIUC 에 있는 Rogers 교수 그룹에서 제안하여 발전되어 왔다⁽¹⁾⁽³⁾. 이 기술은 유연한 폴리머 스탬프와 전사될 소자 사이의 건식 점착 현상을 이용하고 있다. 건식 점착은 별도의 점착제를 사용하는 습식 점착과 상반되는 개념으로서, 폴리머 스탬프와 소자 사이의 반데르발스 힘을 주된 점착 메커니즘으로 이용한다. 반데르발스 힘은 두 물체 사이의 거리에 크게 의존하며, 보통 수 nm 이하의 거리에서 유효하게 작동한다. 이러한 건식 점착은 폴리머 스탬프의 점탄성 거동과 함께 작동하여, 변형률 속도에 따라 점착력 차이를 보이는 거동을 지닌다.

이러한 변형률 속도에 따른 점착력 변화의 특성은 다양

한 연구자들이 연구하였으며⁽¹⁾⁽³⁾, 실제 소자의 전사 특성에 미치는 영향도 연구가 되었다⁽²⁾. 전사 공정을 성공적으로 구현하기 위하여 원하는 때에 점착력을 크게 하거나 작게 하는 것을 자유롭게 제어할 필요성이 있다. 폴리머 스탬프가 지니는 변형률 속도에 따른 점착력 변화 현상을 이용하여 전사 공정을 제어하는 것이 가능하다.

3. 장비의 설계 및 제작

전사 공정의 개략도는 Fig. 2에 나타나 있다. 이러한 전사 공정을 성공적으로 구현하기 위해서는 picking 하는 단계에서 폴리머 스탬프와 소자 사이의 점착력을 극대화하고, placing 하는 단계에서는 폴리머 스탬프와 소자 사이의 점착력을 최소화하는 것이 필요하다.

대면적 전사가 가능한 전사 장비의 핵심 기능은 Fig. 3에 나타난 몇 가지로 분류할 수 있으며, 다음과 같이 좀더 구체적으로 기술할 수 있다. Overlay 정렬 모니터링 및 제어 기능, 스탬프와 소자 사이의 평행도 정렬 모니터링 및 제어 기능, 스탬프의 변형률 속도 제어 기능, 스탬프의 접촉 압력을 균일하게 유지하는 기능, 스탬프의 탈부착 시에 하중을 지탱하는 기능, 스탬프 및 소자의 이송 기능 등이다.

전사 장비의 frame 을 설계하기 위해서는 전사할 면적에서 발생하는 최대 하중을 산출하고, 이에 강건하게 구동할 수 있는 장비 프레임을 선정하는 것이 필요하다. 2 인치 영역을 전사할 때에 발생할 수 있는 최대 하중은 폴리머 스탬프와 실리콘 소자 사이의 점착력으로부터 산출되었으며, 안전계수를 고려하여 400 N의 하중에 강건하도록 전사장비 프레임을 설계하였다.

제작된 전사 장비의 사진은 Fig. 4와 같으며, 앞서 제시된 핵심 기능을 구현할 수 있는 하드웨어 구성품을 지니고 있으며, 전사공정의 특성을 고려하여 설계된 프레임을 지닌다. 전사 장비의 구동을 위한 소프트웨어는 Fig. 5과 같이 구현되었으며, picking, placing, cleaning 의 3 가지 자동화된 프로시저를 지닌다. 여기서 cleaning 은 폴리머 스탬프에 붙은 이물질들을 제거하는 단계이다. 각각의 자동화 프로시저는 탈부착 속도를 비롯한 고유의 제어 매개변수를 지니며, 이러한 매개변수의 변화를 통하여 폴리머 스탬프의 점착력을 제어한다.

4. 요약 및 결론

Overlay 정렬 모니터링 및 제어 기능, 스탬프와 소자 사이의 평행도 정렬 모니터링 및 제어 기능, 스탬프의 변형률 속도 제어 기능, 스탬프의 접촉 압력을 균일하게 유지하는 기능, 스탬프의 탈부착 시에 하중을 지탱하는 기능, 스탬프 및 소자의 이송 기능 등의 핵심 기능을 지니는 2 인치 수준의 전사장비를 구현하였다. 이 장비의 개발은 전사기술의 생산성 향상 및 양산 공정 적용 가능성을 검증하며, 추가적인 연구개발을 통하여 전사 면적의 증가 및 보다 높은 생산성 달성이 가능하리라 생각된다. 향후에는 롤 프린팅 기술에 비견될 수 있도록, 롤 기반 연속 전사 장비의 개발이 이루어질 예정이며, Fig. 6과 같은 기술개발계획을 가지고 추진할 계획이다.

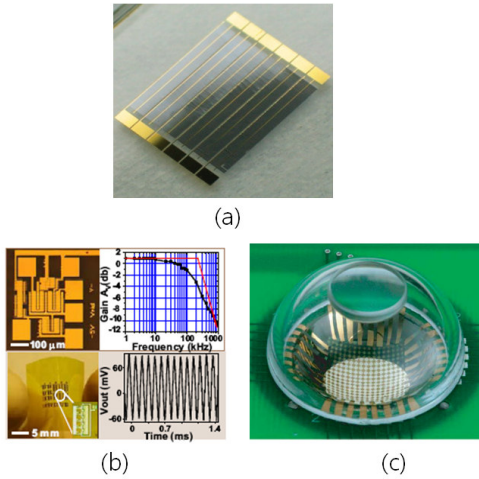


Fig. 1 Applications of transfer assembly process: a) flexible thin film solar cell, b) high performance TFT, c) image sensors on a curved surface⁽³⁾.

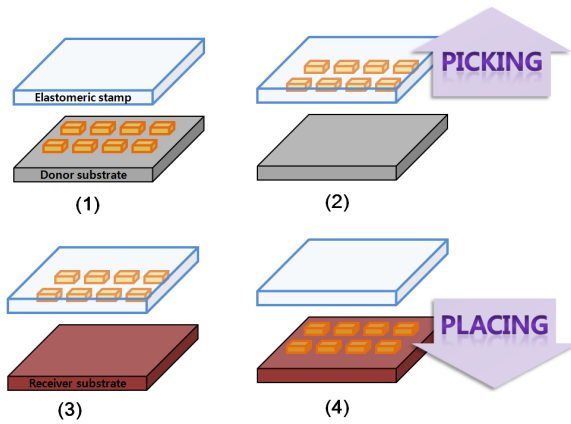


Fig. 2 A schematic of transfer assembly process⁽²⁾.

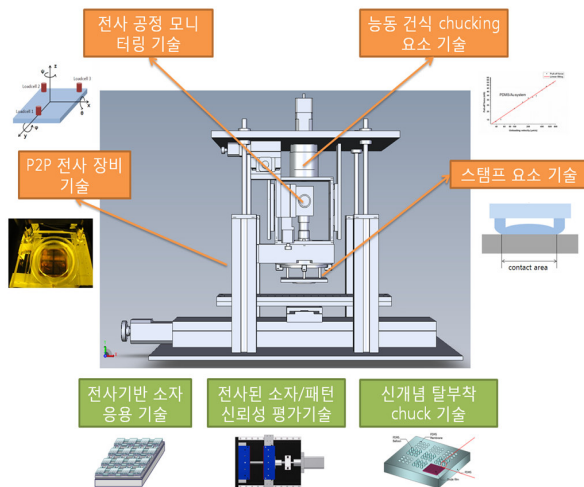


Fig. 3 Basic and elemental components of transfer assembly module.

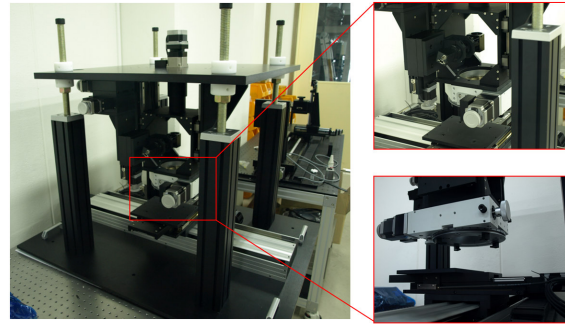


Fig. 4 Photographs of developed transfer assembly module.

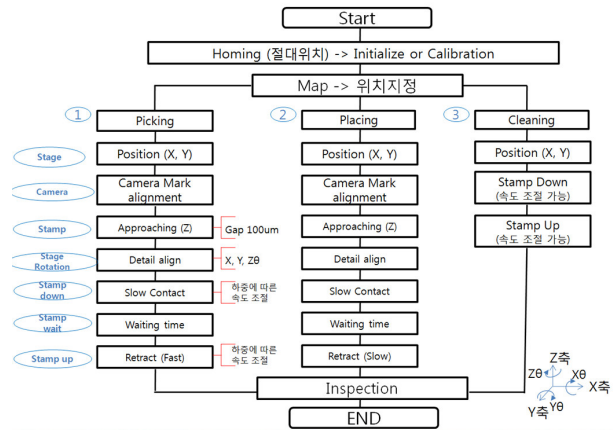


Fig. 5 Flow chart for controlling transfer assembly module.

구분	세부기술	1단계		2단계		
		1차년도(2009)	2차년도(2010)	3차년도(2011)	4차년도(2012)	5차년도(2013)
핵심/중점 기술 개발	전사공정기반 기술	유연 스탬프 적용 기술	대면적 탐부착 모듈			
	연속전사 장비 기술	Plate-to-Plate 기술	Plate-to-Roll 기술			
	전사도도화 기술	탐부착용 MBA 기술	고정도 패턴 정렬	연속전사용 스탬프 기술	연속전사용 탐부착 모듈	전사 속도 향상
	실용화 핵심 기술			대면적 고속 전사 장비	전사 성능 향상	전사 수율 향상
핵심/중점 성능	전사면적	50 mm	100 mm	120 mm	150 mm	200 mm
	전사수율	50 %	80 %	90 %	99 %	99.9 %
	정렬정밀도	10 μm	3 μm	3 μm	2.5 μm	2 μm
	전사속도	2 cycles/min	10 cycles/min	30 cycles/min	40 cycles/min	60 cycles/min
개발목표		공정 모듈 원천 기술 및 적용 기술		공정 장비 모듈 실용화 기술		
기술개발비중		원천(70)/실용(30)		원천(30)/실용(70)		

Fig. 6 Technology roadmap for development of transfer assembly module.

후기

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

참고문헌

- 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
- 장봉균, 김재현, 송선아, 이학주, "속도 의존적 점착 특성을 이용한 나노 스케일 구조물의 능동적 전사 제어," 대한기계학회 추계학술대회, 3031-3034, 2009
- http://rogers.mse.uiuc.edu/