

# 압입자 속도에 따른 유연기판의 점착 특성 평가 Adhesion Evaluation of Flexible Substrate Depending on Speed of Indenter

\*김민석<sup>1</sup>, \*최범규<sup>1</sup>, 박정열<sup>1</sup>, 이문규<sup>1</sup>

\*M. S. Kim<sup>1</sup>, \*B. K. Choi(bkchoi@sogang.ac.kr)<sup>1</sup>, J. Y. Park<sup>1</sup>, M. K. Lee<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>서강대학교 기계공학과

Key words : Adhesive force, Adhesion layer, Adhesion control, Flexible electronics

## 1. 서론

최근 유연 전자 제품 산업이 급속도로 성장하고 있다. 유연 전자 제품 산업은 flexible displays, flexible sensors, flexible wireless communications, flexible high efficiency TFT(thin film transistor) 등의 많은 제품들을 생산해 내고 있다. 하지만 기존의 유기물 기반의 프린팅 기술로는 가까운 장래에 신뢰성이 높은 고성능 유연 전자 제품을 생산하기가 어렵다. 또한 현재 활발하게 연구되고 있는 폴리머 기반의 유연 모재에 소자 등을 직접 형성하는 기술은 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 폴리머 기반 유연 모재는 고온 공정을 견딜 수가 없으며, 이로 인하여 반도체의 응답 특성을 나타내는 Carrier Mobility가 매우 낮은 유기물 기반의 반도체 소자들은 신뢰성에서 여러 가지 문제점을 보이고 있으므로 양산 제품에 적용되기에는 어려움이 있다.[1] 따라서 dummy 모재(Rigid Dummy Substrate) 위에 형성된 소자 패턴을 다른 유연 기판(Flexible Substrate) 위로 전사하기 전에 유연 기판, 전사 공정용 스탬프, 소자 패턴 등의 표면 상대 점착력을 증가 또는 감소시키는 대면적 점착 제어 공정 및 모듈화 기술에 주목하고 있다.[2] 그러므로 유연 기판에 사용될 다양한 물질들과 패턴에 대하여 각기 다른 조건하에 점착력을 측정할 필요가 있고, 이러한 데이터를 근거로 점착력 예측 모델을 만들 필요가 있다. 점착력은 패턴의 모양이나 유연 기판 표면의 상태에 따라서 달라지게 된다.[3,4] 그러므로 다양한 소재 및 패턴과, 그것들의 각기 다른 상태에서의 점착력을 측정할 필요가 있다. 그런데 지금까지 AFM을 이용한 간접적 측정 또는 작은 크기의 시료에서 점착력을 측정할 수 있는 장비 밖에 없었다.[3,4,5,6.] 따라서 본 연구에서는 유연 기판 위의 속도와 최대 하중에 따라 달라지는 점착력을 측정하기 위해 300mm 너비의 점착력 측정 장치를 새롭게 제작하고 유연 기판 위의 소재가 가지는 점착력의 변화를 알아보았다.

## 2. 점착력 측정 시스템

본 논문에서는 모재 위에 형성된 소재 패턴을 다른 유연 기판 위로 전사하기 위한 최적의 점착력을 가지도록 하는 조건을 찾기 위해서 점착력을 직접 측정할 수 있는 시스템을 제작하고, 점착력에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 인자를 찾기 위해서 pull-off 속도와 pull-in 시 최대 하중, 다시 말해 압입되는 깊이를 변화시켜 실험을 실시하였다. 여기서 z축 스테이지를 조작하여 시료에 다가가게 하는 것을 pull-in이라 명명하고, 시료에서 떨어지게 움직이는 것을 pull-off라 명명하여 사용하겠다. 점착력 측정 시스템은 Fig. 1과 Fig. 2와 같이 초정밀 힘센서(high resolution force sensor, FT-S270, Femto tools, Switzerland), 초정밀 압전형 z축 스테이지(high resolution piezo z-stage, P-611.ZS, PI), 그리고 이것들을 연결하는 DAQ board(NI Usb-6221, NI)와 수동스테이지, 시스템 케이스 및 시스템의 모든 구성요소를 올릴 방진테이블로 구성되어있다. 그림과 같이 시스템 케이스에 장착된 수동스테이지를 조작하여 힘센서의 끝이 z축 스테이지로 변위를 제어하였을 때에 측정될 시료에 접촉할 수 있을 정도

로 변위를 조정한다. 그리고 공기 유동, 음파 등의 각종 소음들을 최소화하기 위해 시스템케이스의 덮개를 씌우고 PC안의 제어 프로그램을 이용하여 DAQ board를 제어하고 z축 스테이지를 조작하게 된다. 이때 힘센서가 측정될 시료에 접촉하게 하는데 지정한 힘이 가해지면 z축 스테이지를 위로 올라가게 한다. z축 스테이지를 조작하면서 얻어지는 변위 값과 힘센서에서 얻는 힘 값을 가지고 재료의 점착력을 파악하는 힘-변위 곡선을 얻을 수 있고, 힘과 변위에 대한 각각의 데이터를 얻게 된다. DAQ board는 LABVIEW(8.6, NI)를 이용하여 프로그램을 만들어서 제어를 하였다. 점착력 측정 시스템에서 사용된 장비로 z축 스테이지는 0~100um를 움직일 수 있으며, 선형성은 0.1, 분해능은 2nm인 것을 사용하였다. 힘센서는 MEMS 공정을 이용하여 제작된 것으로 2000uN까지 측정가능하고, 분해능은 2uN이다.

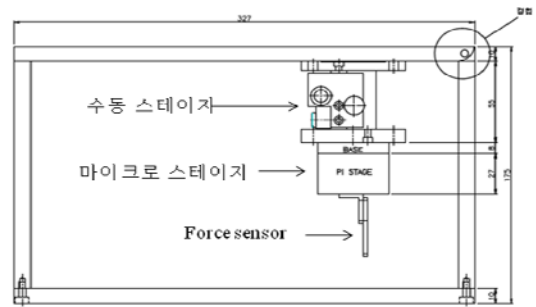


Fig. 1 Schematic of a novel adhesive force

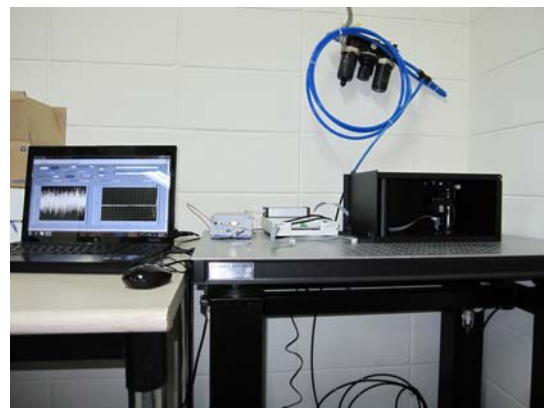


Fig. 2 Adhesive force measurement system configuration

## 3. 실험 방법

제작된 점착력 측정 시스템이 점착력 측정이 가능한지에 대한 판단을 하기 위해 이 시스템을 이용하여 SiO<sub>2</sub>와 PDMS에 대해 실험을 실시하였다. 실험에 사용한 SiO<sub>2</sub>는 실리콘 웨이퍼를 사용하여 자연적으로 생성된 산화막을 사용하였고, PDMS는 1:10 비율로 섞어 실리콘 웨이퍼에 스핀코팅을 하고 진공상태에서 PDMS에 포함된 공기를 제거한 이후 hotplate를 이용해 응고시켜 점착력 측정에 사용하였

다. 시료에 압입되는 힘센서 끝의 넓이는 50um x 50um 이다. 점착력 시스템의 사용 조건은 z 축 스테이지의 경우 pull-in 에서는 40nm/s 로 움직였으며, pull-off 에서는 40nm/s~4000nm/s 의 속도로 움직여서 pull-off force 의 크기를 측정하고 비교하였다. 측정된 공간은 실온, 대기압에서 측정하였다.

#### 4. 실험 결과

Fig. 3 은 변위에 따른 점착력 그래프를 나타내었다. 그래프에서 변위값은 점착력 측정 시스템으로 측정할 때 z 축 스테이지의 이동 거리를 나타내는데, 측정에서 수동 스테이지의 조작과 시료 표면의 편평도의 차이에 의해서 이동하는 변위가 달라지기 때문에 절대적인 값보다 측정되는 힘값이 변화되는 시점부터 움직이는 상대적 변위값으로 판단한다. 그래프에서와 같이 점착력이 존재하는 PDMS 의 경우 pull-in force 와 pull-off force 가 측정이 되었지만, SiO2 에서는 측정이 되지 않았다.

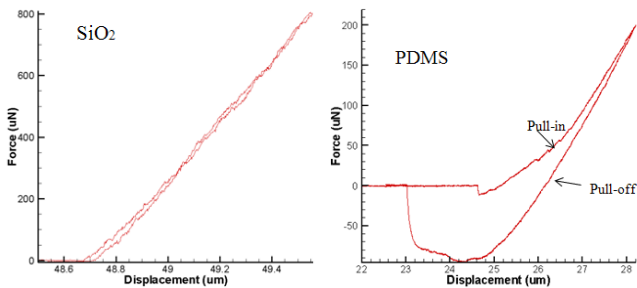


Fig. 3 Force-displacement measurement for SiO2 and PDMS

Pull-off 속도를 40~4000nm/s 로 변화시켜가면서 pull-off force 가 어떠한 양상으로 변화되는지를 Fig. 4 의 그래프로 나타내었다. 이때, pull-in 시 최대 압입 하중(100uN)과 pull-in 속도, 온도, 그리고 습도에 대한 조건을 동일하게 하여 pull-off 속도를 변화시켜가면서 pull-off force 를 살펴보았다. 40~500nm/s 구간에서 상대적으로 급격한 변화양상을 보였으며, 500~1400nm/s 사이에서는 pull-off 속도와 pull-off force 의 기울기가 40~500nm/s 구간에 비하여 약 0.5 배가 되었다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 1400nm/s 이후의 속도에서는 pull-off force 의 큰 변화가 없다는 것을 확인할 수 있었다. 이렇게 같은 재료에서 pull-off 속도만 변화시켰음에도 불구하고 pull-off force 가 크게 차이가 나는 것은 이후 대면적 점착 제어공정에 있어서 pull-off 속도의 조절로 최적의 점착 조건을 찾을 수 있다고 판단된다.

마지막으로 pull-in 시 최대 압입 하중을 변화시켜가며 pull-off force 를 살펴보았다. Fig. 5 와 같이 압입자가 PDMS 의 압입깊이가 커질수록 pull-off force 가 커지는 경향성이 있다. 그러나 압입되는 깊이의 정도는 pull-off 속도에 비해

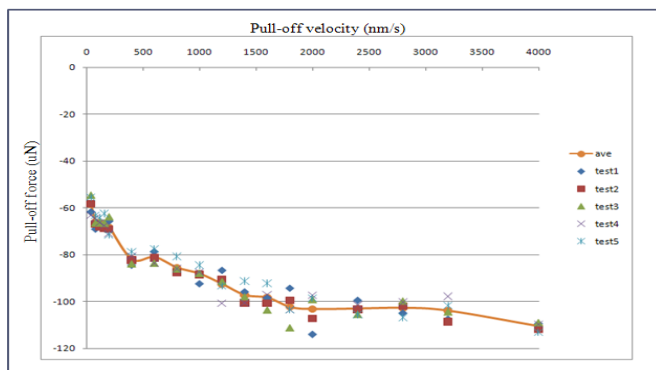


Fig. 4 Pull-off velocity dependence of pull-off force for PDMS

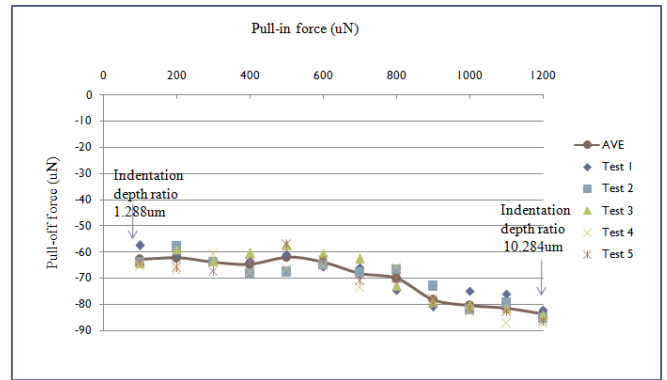


Fig. 5 Maximum force in pull-in dependence of pull-off force for PDMS

pull-off force 에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 하지만, 시료의 두께가 달라진다면 pull-off force 가 압입자가 압입되는 힘과 압입되는 깊이에 보다 큰 영향을 받을 수 있는 가능성을 배제할 수 없으므로 이에 대해서는 추후 두께에 따른 실험이 필요하다고 판단된다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 초정밀 압전형 z 축 스테이지 와 초정밀 힘센서 그리고 이를 제어할 수 있는 제어기와 프로그램을 이용하여 점착력 측정 시스템을 새롭게 개발하였다. 새롭게 개발한 점착력 측정 시스템으로 PDMS 를 이용하여 측정하였을 때, pull-in 시 최대 압입 하중을 증가시키거나 pull-off 속도를 증가시키면 pull-off force 가 커지는 경향성이 나타났다. 여기서 압입되는 깊이의 정도는 pull-off 속도에 비해 pull-off force 에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 이번 결과를 토대로 유연기판 위의 다양한 재료와 패턴에 대한 점착력 특성 평가를 하는데 있어서 많은 조건 중에 실제적으로 유효한 조건을 찾는 데 도움이 되었다.

#### 후기

본 연구는 지식경제부의 지원(10033274)을 받아 이루어진 연구서임.

#### 참고문헌

1. Thomas Köhler, Stephan Mietke, Jürgen Ilgner and Matthias Werner , "Nanotechnology-Markets & Trends", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 51-56, 2005
2. Matthew A. Meitl, Zheng-Tao Zhu, Vipam Kumar, Keon Jae Lee, Xue Feng, Yonggang Y. Huang, Ilesanmi Adesida, Ralph G. Nuzzo and John A. Rogers , "Transfer printing by kinetic control of adhesion to an elastomeric stamp", Nature materials, vol. 5, pp. 33-38, 2006.
3. Chang-Dong Yeo, Sung-Chang Lee, and Andreas A. Polycarpou, "Dynamic adhesive force measurements under vertical and horizontal motions of interacting rough surfaces", American Institute of Physics, 2008
4. Nikhil S Tambe and Bharat Bhushan, "Scale dependence of micro/nano-friction and adhesion of MEMS/NEMS materials, coatings and lubricants", NANOTECHNOLOGY, 2004
5. Sriram Sundarajan, and Bharat Bhushan, "Development of AFM-based techniques to measure mechanical properties of nanoscale structures", Sensors and Actuators, 2002
6. 이학주, 조기호, 김재현, 유영은, 김완두, 김종만, 김용권, 백창욱, "마름모형 AFM 캔틸레버를 이용한 고분자 나노 섬모의 점착력 측정", 대한기계학회, 2005