

Electrostrictive Polymer를 이용한 마이크로-나노 플로터 메커니즘 개발

류경주*(성균관대 대학원 기계공학과), 김훈모(성균관대 기계공학과)

Development of Micro-Nano Plotting Mechanism using Electrostrictive Polymer

KyungJoo Ryu* (Sungkyunkwan Univ.), Hunmo Kim (Sungkyunkwan Univ.)

ABSTRACT

Although Hereafter a mass production will claim for patterning nano sized thickness of line in micro-nano industry, existent lithography fabrication has many usable fields, it has complex fabrication steps , expensive values and row work rates. Development of Dip-pen type nano plotter using polymer actuator can construct row cost mass production system because it will change existent lithography fabrication more simple and easy.

Key Words : Electrostrictive Polymer (전기수축 고분자), dip pen nanolithography (탐침담금 나노리소), plotter(플로터)

1. 서론

가는 선, 정밀한 모양을 패터닝 할 때 단파를 사용하는 lithography 방법은 반도체 공정, MEMS 공정에 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 그러나 패터닝에 있어서 리소그래피 방법은 시간당 처리량과 가격 면에서 불리한 점이 많다. 최근 나노 기술은 저가의 기능적 패터닝을 할 수 있는 것을 요구하고 있다.

dip-pen nanolithography는 lithography의 새로운 방법으로 연구되고 있다. 화학물질을 tip을 통해서 기판의 표면에 패터닝 하는 방법이다. Fig 1.에서 scanning probe tip의 끝 부분에 수분이 substrate의 표면과 표면장력에 의하여 맺히면, 화학 물질이 물을 통해 시편의 표면에 tip이 이동하는 방향으로 assembly된다. 일반적으로 substrate를 gold로 코팅하고, patterning 하는 물질은 ODT(octadecanethiol)를 사용한다.

Dip pen lithography를 통한 nanoplotter의 연구가 Northwestern University, University of Illinois at Urbana-Champaign에서 진행되고 있다. thermally actuated probe로 silicon nitride layer

와 gold layer의 열팽창계수의 차이로 인한 bending motion을 한다. 또한 electrically actuated probe로 substrate와 전극 사이의 pull-in force로 구동할 수 있다.

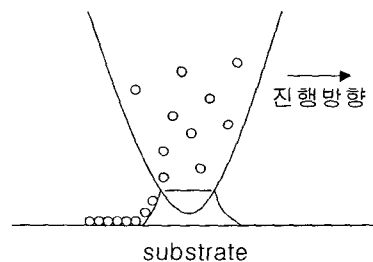


Fig1. nano dip pen의 개념도

일반적으로 원자현미경에 사용되는 구동기는 원통형 압전 세라믹(piezoelectric ceramic)을 사용하는데, 압전 세라믹 자체의 비선형성, 이력현상(hysteresis) 등에 의해 오차가 생기며, 반응 속도와 주파수 적인 측면에서 좋지 않은 특성을 나타내

고 있다. 또한 튜브의 비틀림에 의존하여 스캔하기 때문에 x-y-z축 움직임의 직교성과 독립성이 떨어진 다.

그러한 특성을 해결하고자 Electrostrictive Polymer (EP)를 이용하여 plotting 액추에터를 만 들고자 메커니즘을 구성하였다.

2. Electrostrictive Polymer의 특성

Electrostrictive polymer의 plotter 메커니즘을 개발 하기 위해서는 먼저 Electrostrictive polymer의 정특성 및 동특성에 대한 연구가 선행되어야 한다. 이에 대한 연구는 기존에 연구가 수행되어 그 결과를 제시 한 바가 있다.

Electrostrictive polymer의 구동 메커니즘은 Electrostrictive polymer가 유전체의 역할을 하여 전압 을 인가하였을 경우 Maxwell stress로 탄성계수가 변 화하여 변형이 발생하게 된다. Maxwell stress는 다음 과 같다.

$$P(t) = \epsilon \epsilon_0 (V(t)/d)^2 \quad (1)$$

여기서 ϵ 은 EP가 가지는 유전율이고, ϵ_0 는 대기중 유전율, d 는 EP의 두께, $V(t)$ 는 EP에 공급되는 전압이다.

Fig 2과 같은 actuation의 발생을 위해서는 우선 Electrostrictive polymer의 양단면에 전극을 가하고 전 극을 가한 부분에 전압을 인가한다.

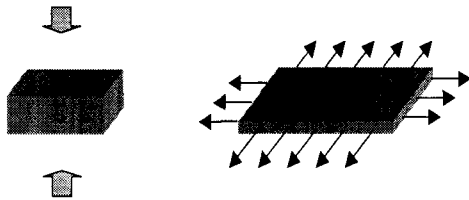


Fig 2. Electrostrictive polymer의 구동 메커니즘

아래의 그래프는 전압을 인가하였을 때 Electrostrictive polymer가 내는 힘을 나타내는 그래프 이다.

Electrostrictive polymer의 특성상 고전압을 인가 하여야 변형이 일어난다. 하지만 연구결과에 따르면 고전압 칩을 사용하여 외부로부터의 고전압의 인가 없이 회로를 통해 전압을 증폭시켜 인가하는 방법을 사용하고 있다.

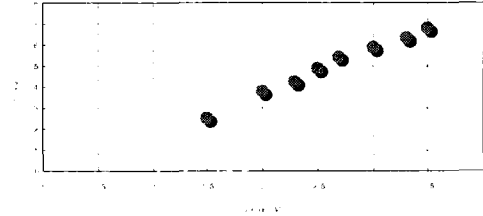


Fig3. Electrostrictive polymer의 전압 - 압력 그래 프

또한 Electrostrictive Polymer는 복원성과 재연성 이 우수하여 소성한도 내에서의 수차례의 변형에서 일정한 움직임을 보인다.

3. Electrostrictive Polymer Actuator를 이용한 plotter 메커니즘

3-1 단품 Electrostrictive polymer Actuator의 구성

Fig. 2와 같은 Electrostrictive polymer에 전압을 인 가하고, 제거함에 따라 4면으로 발생하는 변형을 구 속시키면 다양한 actuation을 발생시킬 수 있다. 이를 이용하여 Fig. 4와 같은 actuator를 제작하였다.

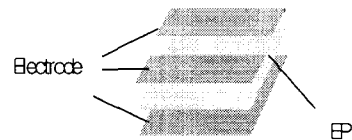


Fig 4. 단품 acuator의 구조

Fig. 4에서 Electrostrictive polymer의 상단면은 2 개의 채널로 나누어 전극을 가하였으며 상단면은 positive로 하단면은 ground로 Electrostrictive polymer 전면에 compliant 전극을 가하였다. Electrostrictive polymer의 boundary는 구속되어 있어 Fig.2처럼 4 방 향으로 변형이 발생되지 않는다. Electrostrictive polymer의 전 boundary가 구속되어 있지만 실제로 변 형이 발생하는 부분은 전극이 가해진 부분이므로 2 채널의 전극이 가해진 Electrostrictive polymer는 바깥 면만이 구속되어 있고 안쪽 면은 구속이 되어있지 않게 된다. 따라서 Fig. 5와 같이 안쪽방향으로의 actuation 이 발생한다. 두 채널에 반복적인 frequency 로 전압을 인가하면 이 actuator는 주기적인 운동을 발생시킨다.

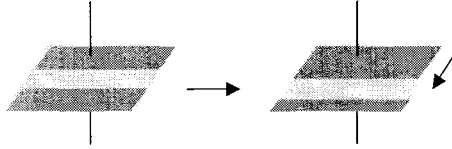


Fig. 5. 상채널에 전압을 인가하였을 경우의 변위의 발생

3. 2 단품 Actuator를 응용한 potting 메커니즘의 구성

Fig. 4와 같은 단품 actuator를 조합하면 Fig. 6과 같이 한 방향으로 움직일 수 있는 메커니즘을 구성할 수 있다. 2개의 단품 액추에이터 모듈의 같은 방향의 전극에 같은 크기의 전압을 가하게 되면 액추에이터를 연결한 링크가 평행하게 움직이게 된다. 가하는 전압을 제어함에 따라 변위를 제어할 수 있다.

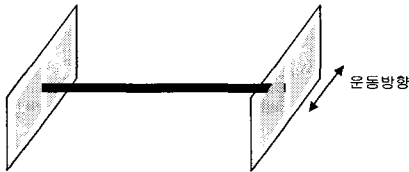


Fig. 6. 1자유도 메커니즘

x,y 평면의 substrate에 패터닝하기 위해서는 2자유도를 갖는 메커니즘을 구성하여야 한다. 위의 1자유도 메커니즘의 조합으로 링크가 엇갈리는 부분에 slide를 달아서 그 부분에 tip을 고정하면 x축과 y축을 독립적으로 구동 및 제어할 수 있다.

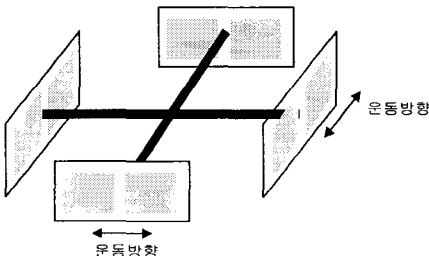


Fig.7. 1자유도 메커니즘을 조합한 2자유도 메커니즘

4. Nano Dip Pen

시스템은 bimorph thermal polymer micro actuator를 $n \times n$ 으로 array를 구성하고, 각 부분에 tip을 고정하여 각각의 actuator를 parallel processing으로 제어할 수 있다. Tip이 액추에이터에 고정되어서 액추에이터의 움직임에 따라 구동되어야 한다. Tip은 cantilever type으로 만들 수 있다.

nano dip pen tip의 문제점은 탐침이 유한한 크기를 가지고 있어 좁고 깊은 계곡과 같이 경사가 심한 부위의 측정이 불가능하거나 어렵다는 점과 측정 가능한 부위에서도 탐침의 모양새에 의한 왜곡현상(convolution effect) 때문에 측정오차가 생긴다는 점이다. 이를 고려하여 tip의 형상을 고려하여 제작을 하여야 한다.

4. 결론

본 논문에서는 Electrostrictive Polymer를 액추에이터로 사용하여 마이크로 나노 플로터의 메커니즘을 구성하였다. 이는 재료에 대한 기반 연구를 바탕으로 Electrostrictive Polymer의 우수한 특성을 마이크로한 시스템에 적용한 것이다. Electrostrictive Polymer는 탄성계수가 작고, 연신율이 크고, 과단한도가 작은 반면 복원성이 좋고, 재연성이 우수한 성질을 가지고 있다.

반면, Electrostrictive polymer는 매우 비선형적인 특성을 가지고 있다. 점성과 탄성 성질을 가지고 있기 때문에 전압의 frequency에 따른 Electrostrictive Polymer의 응답속도 및 변형량의 재연성을 모델링을 기반으로 한 실험을 통해서 데이터를 얻을 계획에 있다. 또한, 메커니즘의 실현 가능성을 확신하기 위하여 시뮬레이션을 통해 알아보아야 한다.

본 논문에서 발표한 electrostrictive Polymer 액추에이터의 메커니즘을 이용하여 plotting system을 구성하고 dip-pen의 제작과 substrate, ink의 성질을 연구하여 직접 plotting을 하는 방법을 연구할 예정이다.

참고문헌

1. John W. Suh 외 5인 "Organic Thermal and Electrostatic Ciliary Microactuator Array for Object Manipulation" Sensors and Actuators A 58 (1997) 51-60
2. Ming Zhang 외 7인 "A MEMS nanoplotter

with high-density parallel dip-pen nanolithography probe arrays" *Nanotechnology* 13 (2002) 212-217

3. John W. Suh 외 5인 "CMOS Integrated Ciliary Actuator Array as a General-Purpose Micromanipulation Tool for Small Objects" *Journal of Microelectromechanical systems* vol8,no4,december 1999
4. Gregory T. Kovacs, "Micromachined Transducers SourceBook" McGrawHill
5. David Bullen 외 2인 "Thermo-mechanical optimization of thermally actuated cantilever arrays"
6. Kyoil Hwang, Hunmo Kim, "General Modeling of Electrostrictive polymer Using Finite Element Method", 1st Intelligent Microsystem Symposium, 2001.
7. Hunmo Kim, Kyoil Hwang "Actuator model of electrostrictive polymer(EPs) for micro actuators", SPIE 2001, 2001.