

프린팅 방법을 통한 Micro-Nano 시스템을 위한 all polymer flexible cuircuit 개발

이정훈*(성균관대 대학원), 황교일(성균관대 대학원), 신창용(성균관대 대학원),
류경주(성균관대 대학원), 김훈모(성균관대)

Development of all-polymer flexible circuit for micro-nano system using printing method

Kyoil Hwang(Mech. Eng. Dept. ,SKKU), Changyong Sin(Mech. Eng. Dept. ,SKKU), Junghun Lee(Mech. Eng. Dept. ,SKKU), Kyungju Ryu(Mech. Eng. Dept., SKKU), Hunmo Kim(SKKU)

ABSTRACT

At present, almost circuits are wired using copper in flexible circuits. But, these circuits have limit to flexibility so it occurs fracture about cyclic bending, and, thermal load of bending stress occur a circuit trouble. a study of all-polymer flexible circuits get over that problem.

Established fabrication method of all-polymer circuits is photolithograph. This method can not have mass production, so this method wastes time and human effort.

In this study, all polymer flexible circuits are fabricated using the inkjet process.

Key Words : All polymer flexible circuit, Inkjet print(잉크젯 프린터), x,y plotter(x,y 플로터)

1. 서론

마이크로-나노 패터닝 공정의 개발은 반도체 공정의 한계점을 극복할 수 있는 새로운 머시닝 기법의 개발에 초점이 맞추어져 있다. 기존의 반도체 공정은 시간 및 공정 단가가 너무 고가이므로 상용화에 문제가 있다. 이를 극복할 수 있는 방법이 새로운 패터닝을 할 수 있는 머시닝 기술이다. 머시닝 기술은 나노 사이즈의 선폭을 패터닝 하거나 스캐닝 하여 측정할 수 있는 장비로의 응용이 가능하며 MEMS, NEMS 용 센서 액츄에이터 제조에도 응용이 가능하다. 뿐만 아니라 flexible circuit 개발에도 응용이 가능하다.

나노 사이즈의 선폭을 패터닝을 하기 위해서는 패터닝 장비의 개발이 필요하다. 이때 패터닝 장비는 고속으로 정밀한 위치 이동이 가능해야 하므로 피에조 물질 및 폴리머를 이용한 액츄에이터의 개발이 필요하다. 이에 앞서 모터를 이용한 패터닝 장

비의 개발 및 패터닝 기술에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해서 본 연구에서는 all polymer flexible circuit을 위한 패터닝 개발을 수행을 하였다.

현재 FPC(flexible printed circuit)의 제조 방법은 polyimide와 같은 polymer 재질의 substrate에 일정한 pattern대로 etching을 하여 etching된 substrate에 전도성 금속인 구리등을 도금하여 제작되고 있다. 그러나 이러한 FPC는 반복적인 굽힘 응력을 가했을 시 substrate와 구리와의 결합력이 약해져 구리가 substrate에서 분리되어 저항을 높여 회로에 열을 발생시켜 회로의 고장의 원인이 되거나 오작동의 원인이 되기도 한다. 이런 문제를 해결하기 위하여 polymer 재료인 substrate와 접합력을 좋게 하기 위하여 배선 또한 polymer인 전도성 polymer를 사용하게 된다면 flexiblilty가 구리보다 좋고, 진화력 또한 좋기 때문에 반복적인 굽힘응력을 가했을 시에도 배선의 파괴 혹은 결합

력이 약화되는 일은 발생하지 않을 것이다.

이러한 all polymer flexible circuit을 제작하기 위하여 중요한 요인 중 하나가 일정한 패턴을 형성하는 것이다. 패턴은 전극배선의 박막화, 전극배선간의 저항 차를 줄이기 위한 전극의 균일화가 중요한데 이를 위해서는 패턴링의 방식이 중요하다. 패턴링을 위해서 기존의 다양한 연구가 진행된 바가 있다.[1][2][3][4][5] 이에 따라 all polymer circuit의 전극배선의 패턴 형성을 위하여 잉크젯 프린팅 방식을 이용하고자 한다. 본 연구를 위해서 몇 가지 방식이 시도 되었다. 본 논문에서는 이러한 방법에 대해서 소개를 하고자 한다.

또한 기존의 잉크젯 프린팅 방법은 단순한 상용의 프린터에 전도성 고분자를 넣어서 실험을 수행하였지만 이는 향후 실제 circuit제작에 있어서 한계점이 있으므로 all flexible circuit 패턴링 분사 장치 및 실험 결과에 대해서 소개를 한다.

2. Circuit 패턴 용 장치 개발

2.1 X, Y Plotter을 이용한 스케칭 방식

기존의 x,y plotter에 silver conductive ink를 첨가한 conductive pen을 부착하여 전극의 패턴을 형성하였다. Fig.1과 같은 장치에 silver conductive ink는 에치슨 사의 ED820B 및 Ed5915를 사용하였으며 Ethylene glycol monobutyl (CH₃(CH₂)₃OCH₂CH₂OH)을 50%의 석하여 conductive pen에 첨가하였다.

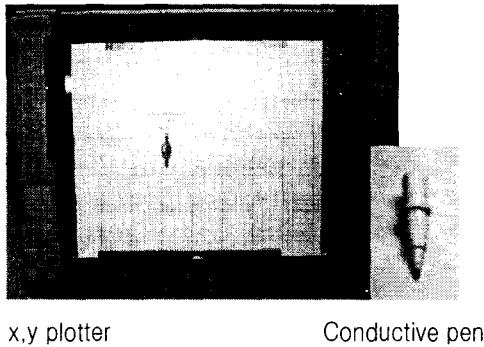


Fig.1 The equipment of patterning using x,y plotter

Substrate는 paper와 polymer인 3M사의 VHB4910을 사용하여 patterning 결과를 확인하였다.

Paper 및 polymer 위에 conductive pen을 사용하여 patterning 한 결과 paper의 경우 Fig.2와 같이

최소 선폭을 0.1mm를 가지는 patterning의 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 polymer의 경우 plotter의 manipulator의 작동을 지연시킬 정도의 conductive pen과 polymer의 접합점의 마찰 저항력으로 인하여 pattern 형성 자체가 이루어지지 않았다. 접합점의 마찰 저항력을 줄이기 위하여 conductive pen과 polymer 사이의 간격을 pen의 첨단만이 polymer와 접합하게 조절하여 pattern을 형성하게 되면 polymer 표면위에 silver ink자체가 형성되지 않았다.

3. 분사 방식을 이용한 전극의 형성

3.1 분사 방식의 전극 pattern 형성 시 중요한 요인

분사 방식으로 전극을 형성함에 있어서 중요한 개발 issue는 첫째 정확한 pattern형성을 위한 위치

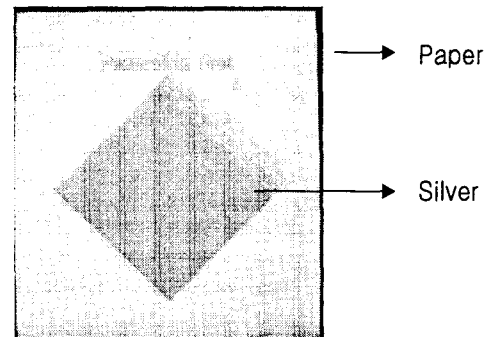


Fig.2 The result of patterning in case of using x,y plotter

control 및 manipulator의 개발, 두 번째 일정한 droplet을 분사 할수 있는 nozzle의 개발, 세 번째 substrate위에 전극 배선을 형성하는 전도성 polymer의 선정 및 개발이 그것이다.

패턴링 장비의 구동 액츄에이터로 우선 모터를 이용하였다. 따라서 비교적 미세한 패턴링을 수행하고자 하였다.

분사 방식으로 공압을 이용한 0.2mm 미세 노즐을 이용하여 전도성 잉크를 분사 시켰으며, 모터를 이용한 x,y plotter형태로 nozzle의 분사 위치를 결정하였다. 또한 전도성 잉크의 선정에 있어서는 다음과 같은 사항을 고려 하였다.

- * 제작된 전도성 잉크가 printer의 nozzle을 통과하는가
- * 전도성 잉크가 polymer film에 접촉되는가

* 접착된 전도성 잉크는 충분한 flexibility를 가지고 있는가

위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 우선 전도성 polymer를 두 가지로 제작하였다. 첫 번째 carbon black + silicon + solvent를 혼합한 전도성 잉크와 두 번째 silver conductive ink + solvent + silicon 를 혼합한 것이 선정된 전도성 잉크이다.

3. 2 전도성 잉크의 선정

3.2.1 In case of carbon black + silicon + solvent

carbon black와 polymer silicon을 이용하여 제작한 전도성 polymer의 경우 flexibility와 polymer film의 접착면에 있어서는 우수하나 분사 후 substrate에서 carbon 입자들이 엉긴 상태로 접착이 됨을 확인 할 수 있었다. carbon과 silicon polymer 그리고 solvent를 교반하여 제작한 전도성 polymer를 분사하였을 경우 증발이 잘 되지 않는 silicon내의 carbon 입자들이 시간이 지난후 silicon 내에서 고르게 분포되지 않고 침전층은 엉김을 발생시키기 때문이다. 이런 현상을 방지하기 위하여 solvent의 양을 증가시키면 극성이 있는 solvent가 substrate를 용해시키게 되어 정밀한 pattern 형성의 문제를 발생시킨다.

3.2.2 In case of silver conductive ink + solvent + silicon

Silver conductive ink 자체는 혼합된 silver 입자가 탄소입자 보다 작으며 (20nm 이하) 균일하게 교반이 되어 있으나 점도가 크고 전극을 patterning 할 경우 flexibility 를 떨어뜨리기 때문에 이를 solvent로 희석 시켜야 한다. 앞에서 의 x,y plotter와 동일하게 언급한 silver conductive ink는 에치슨 사의 ED820B 및 ED5915를 사용하였으며 Ethylene glycol monobutyl (CH₃(CH₂)₃OCH₂CH₂OH)을 희석제로 사용하였다. silver conductive ink의 경우 carbon과는 달리 ink 자체가 균일하게 교반되어 있으므로 엉김 현상이 발생하지는 않으며 carbon에 비하여 저항이 낮아 전도율면에 있어서 높은 성능을 가지고 있다. 그러나 carbon에 비하여 flexibility가 떨어지며 비용이 높다는 단점이 있다.

3. 3 nozzle과 분사 장치의 구성

아래 Fig. 3과 같은 형태로 분사 장치를 구성하였

다. nozzle은 0.2mm의 nozzle을 선택하여 조작시 일정한 공압으로 내부의 전도성 잉크를 분사 시키는 방식을 이용하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 carbon black을 이용한 전도성 polymer의 경우 입자들의 엉김 현상으로 인한 문제로 인하여 silver conductive ink를 사용하여 분사 하였다. polymer위에 전도성 잉크를 분사한 결과는 Fig.4와 같다. 최소 선폭은 0.4mm이며 전극의 두께는 7~10µm 이므로 미세 선폭의 전극박막이 형성이 되었으며 두께 또한 균일한 크기로 형성되었다. 이때 선폭의 크기는 노즐과 기저 polymer 사이의 거리와 노즐 직경에 따라 결정이 된다. 노즐과 기저 polymer 사이가 보다 가까우면 선폭은 결과로 나온 0.4mm 보다 줄어들 것이다. 하지만 현재 proto type로 만든 분사 장치의 한계점으로 인하여 최소 선폭이 0.4mm가 되었다.

또한 패턴 분사 장치의 구동부가 모터로 구성되어 있어 수 마이크로 및 나노 사이즈의 패턴닝에 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 향후에 피에조 액추에이터 및 폴리머 액추에이터를 이용한 미세 패턴닝 용 분사 장치의 개발이 필요하다.

이러한 패턴닝용 분사 장치는 결국 나노 크기의 선폭 패턴닝으로 응용이 가능할 것이며 이는 나노 액추에이터, 센서 개발로 활용이 가능할 것이다.

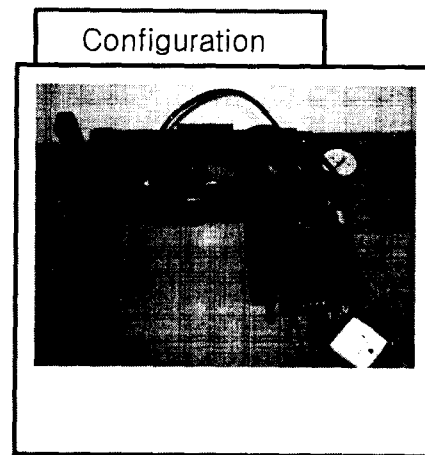


Fig.3 configuration of injection equipment

4. 결론

본 연구는 all-polymer flexible circuit의 개발에 대한 내용이다. 이를 위한 기존의 연구 방식은 lithograph 방식과 잉크젯 프린터 방식이 있다. 하지만 lithograph 방식은 시간 및 공정이 복잡한 단

점이 있다. 잉크젯 프린터 방식은 기존의 상용화된 프린터에 새로운 전도성 고분자를 넣어서 뿌려주는

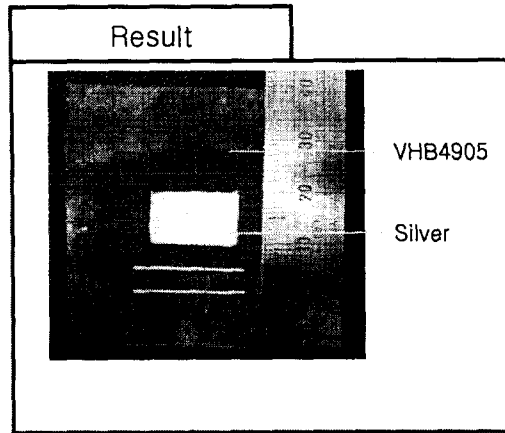


Fig.4 result of conductive polymer adhesion by using inkjet printing

방식을 채택하였다. 하지만 이는 향후 대량 생산을 추구할 경우 기존의 프린터로는 문제가 있으므로 circuit 생산 용 분사 장치가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 공압을 이용한 기본적인 분사 장치를 개발하였다. 그 결과 최소 선폭이 약 0.4mm가 되었지만 이는 장치의 정밀도를 높이면 더욱 높아질 수가 있다.

하지만 궁극적인 선폭을 줄이기 위해서는 노즐 직경의 크기를 줄이는 방법이 필요하다. 또한 기 개발한 x, y plotter의 위치 제어를 정밀하게 하는 것이 필요하다. 현재에는 x, y plotter의 구동체가 모터를 사용하고 있다. 하지만 향후에는 이러한 패터닝을 위한 장비에 피에조 액츄에이터 혹은 폴리머를 적용 하여 보다 정밀한 구동을 수행하여 미세한 선폭의 패터닝에 연구의 초점을 둘 계획이다. 이러한 미세한 선폭을 형성할 수 있는 패터닝 장비를 이용하여 수 nm 단위의 resolution을 가지는 측정 및 스캐닝 장비를 개발하여 나노 단위 패터닝 공정에 적용을 할 것이다.

현재 이러한 연구를 위하여 SPM 장비등에 대한 연구가 추진되고 있지만 고속 및 정밀한 탐사를 위해서 극복해야할 과제가 있다. 그 중 하나가 탐침의 구동을 위한 고속의 피에조 액츄에이터와 탐침의 개발이다. 또한 피에조 액츄에이터의 고속 위치 제어 알고리즘이 필요하며 탐침과 기저 물질 사이의 거리 제어 알고리즘 역시 필요하다. 그 이유는 피에조 액츄에이터는 고속으로 스캐닝을 수행하여 보다 빠르고 정확한 패터닝을 수행해야 하며 탐침과 기저 물질 사이에는 전자력등의 외력이 발생

할 수가 있어서 정확한 패터닝이 불가능할 수가 있으므로 이를 극복할 수 있도록 제어 알고리즘과 탐침의 최적 형상 설계가 이루어져야 한다. 이러한 연구가 선행되어야 수 나노 단위의 선폭을 얻을 수 있으므로 향후 위와 같은 연구를 계속 추진할 것이다.

이렇게 하여 얻게 되는 나노 단위의 선폭 패터닝 공정은 나노 센서, 액츄에이터 등으로 활용이 가능할 것이며 몰드 개발로도 활용이 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] J. Campbell Scott, " Conducting Polymers: From Novel Science to New Technology ", Science 1997 December 19; 278: 2071-2072.
- [2] Robert F. Service, "Patterning Electronics on the Cheap", Science 1997 October 17; 278: 383-384.
- [3] Robert J.Hamers, "Flexible electronic futures", nature 2002 august 2 VOL 412
- [4] Alexander Knobloch, Adolf Bernds, Wolfgang Clemens, "Printed polymer transistor", First International IEEE Conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics
- [5] H.Sirringhaus, T.Kawase, R.H.Friend, T.Shimoda, M.Inbasekaran, W.Wu, E.P.Woo, "High-Resolution Inkjet Printinf of All-Polymer Transistor Circuits", Science 2000 december 15; 290: 2123-2126.