

전자 빔 리소그래피를 이용한 나노 소자 제작

*박수연¹, 이승우², 이재종³
^{1,2,3}한국기계연구원 나노공정장비연구센터

Nano-Scale Device Fabrication by Electron Beam Lithography

*S.Y.Park¹, S.W.Lee², J.J.Lee³
^{1,2,3} Nano-Mechanical Systems Research Center, Korea Institute of Machinery & Materials.

Key words : electron beam lithography, nano-scale device, fabrication process

1. 서론

최근 나노기술에 대한 관심이 급격히 증가하면서 세계 각국들은 나노와 관련된 신소재와 소자 개발을 위한 이론적 기반을 확립하고, 이와 관련된 과학기술 및 산업 육성에 박차를 가하고 있다. 그 중에서도 반도체 공정을 이용한 소자제작 분야에 있어서, 이미 한계에 다다른 집적화를 해결할 방안으로 전자 빔 리소그래피 기술이 중요한 기술로 인식되고 있다.

전자 빔 리소그래피는 텅스텐과 같은 필라멘트에 전압 및 전류를 가하여 발생된 파장 230nm 전후의 전자빔을 모아서 기판 위에 도포된 감광막을 선택적으로 감광하는 기술이다. 초점화 되어 방출되는 전자 빔의 사이즈는 약 2nm 정도로써 일반 사진 감광 공정의 회절 현상에 의한 해상도 한계를 벗어날 수 있다.

이러한 전자 빔 리소그래피를 이용한 공정에서 가장 중요하게 고려되어야 할 점은 제작하고자 하는 패턴의 선폭과 연계 공정과의 관계를 고려한 적절한 감광막의 선택이다. 실 공정에서, 설계된 선폭과 감광막 상에서의 선폭 그리고 금속 공정과의 연계 후의 선폭이 다른 경우가 발생하기도 하는데 이는 보통 원하는 금속의 두께와 선폭의 비율에 맞는 감광막 선택에 실패했기 때문에 발생하는 경우가 크다. 감광막의 노광 공정에 있어서 고려되어야 할 부분이 바로 가속전압과 선량(dose)이다. 가속전압은 전자 빔의 전류를 조절하게 되며, 선량은 이러한 가속전압과 설계된 선폭과의 관계에서 결정된다. 가속전압과 선량(dose)의 결정은 감광막의 두께와 선폭에 관련하여 적절히 결정되어야 한다. 이것에 제대로 이루어지지 못할 경우, 감광막의 하부가 상부보다 더 넓은 선폭을 갖게 되는 현상(under-cut)이나, 현상이 제대로 이루어지지 않아 금속 증착을 통한 패턴의 전후 사이즈 및 형태를 변화시킬 수도 있다.

본 논문에서는 이러한 전자 빔 리소그래피를 이용하여 나노 스케일의 간격을 갖는 전극을 제작하고 이를 이용한 가스센서 제작을 시도하였다. 각 전극들은 각기 다른 나노 사이즈의 간격을 갖고 있으며, 여기에 가스에 반응하는 전도성 고분자를 도포하여 간극의 사이즈에 따른 전자의 전달 능력을 살펴보고자 하였다. 가스에 반응할 물질로는 나노 스케일의 입자가 포함되어 있는 전도성 고분자, 폴리아닐린(polyaniline, PAni)를 이용하였다.[1,4] 이 전도성 고분자 폴리아닐린은 암모니아 등의 가스에 반응하여 나노 사이즈의 입자 사이에 전자를 전달하는 능력을 가지고 있다. 즉, 각각의 나노 사이즈의 입자가 산포되어있는 폴리아닐린은 가스 입자와 만나 반응하여 진주목걸이와 같이 연결된 형태가 되고, 이는 전자의 전달이 쉽도록 하는 역할을 하게 된다.[2,3]

2. 전자빔 리소그래피 공정 및 소자제작

실험에서 사용된 전도성 고분자 폴리아닐린은 독일의 Ormecon 사의 제품으로서 아래의 표 1 에서 보이는 성질을 갖고 있었다.

Table 1 The properties of the conducting polymer

Item	Properties
Conductivity	2X10 ² S/cm
Particle size	<100nm
Aniline Unit : sulfonic acid	1:2
Solide content	4%
Viscosity	3mPa*s

전자빔 리소그래피를 이용하여 제작한 전극은 폴리아닐린의 가스 반응도를 높이기 위해 빗살 무늬형식을 취하였으며, 전극의 선폭은 300nm 로 균일하게 하였다. 또한, 간극의 사이즈는 80nm, 850nm, 1um 로 변화를 두어 간극의 사이즈에 따른 전도성 고분자의 가스반응 전자전달 능력을 확인 하였다.

그림 1 은 전자 빔 리소그래피를 이용한 전극 형성의 공정순서를 보여주고 있다.

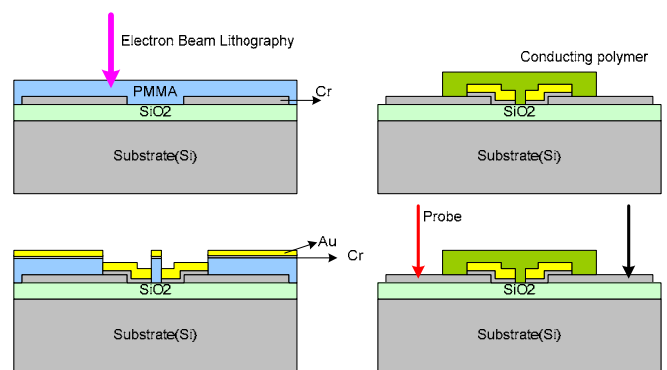


Fig. 1 Electrode fabrication process using EBL

전극의 패드 부분은 일반적인 사진 감광 공정을 이용하여 크롬(Cr)과 골드(Au)를 스퍼터링으로 증착 후 아세톤이 담긴 용기에 초음파를 가하여 리프트 오프 하였다. 이후 전자 빔에 선택적 감광이 가능한 PMMA 950K를 100nm의 두께로 도포하였다. 감광막은 이후 공정에서 리프트 오프 공정을 연계할 것이므로 양성 타입(positive type) 감광막으로서, 설계한 최소 선폭 80nm를 기준으로 두께를 약 100nm로 선정하였다. 이렇게 제작된 시편에 Raith사의 Raith 50 을 이용하여 나노 스케일의 전극 패턴을 제작하였다. 이때 사용된 전자 빔은 20KeV의 가속 전압에 선량(dose)는 150uAs/cm²가 사용 되었고, MIBK와 IPA가 1:3 으로 희석된 용액에서 약 25 초간 현상되었다. 감광막의 형상이 드러난 시편에 크롬 50Å과 골드 100Å을 스퍼터링으로 증착 후, 초음파가 가해지는 아세톤 속에서 불필요 부분의 금속들을 제거하였다. 금속막의 두께는 최소 선폭인 80nm와 감광막의 도포 두께인 100nm를 기준으로 연성이 높은 골드

의 성질에 영향을 받지 않도록 선정 하였으며, 골드 하부층의 크롬은 골드의 접착력을 위한 희생 층으로 사용하였다. 그림 2 는 전자 빔 리소그래피와 크롬·골드의 증착, 리프트 오프 공정을 통하여 제작된 전극을 AFM(atomic Force Microscope)으로 측정한 것이다.

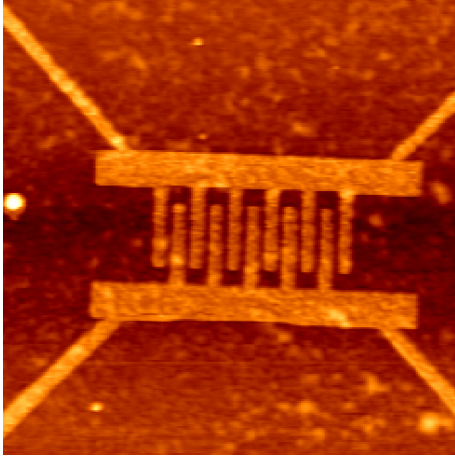


Fig. 2 AFM image (electrode size=300nm, electrode gap size=80nm)

제작된 크롬과 골드의 나노 패턴이 형성된 전극에 약 5 분간 초음파를 가한 산포된 형태의 전도성 고분자, 폴리아닐린을 도포· 건조하였다.

3. 실험결과

이렇게 제작된 시편을 챔버에 넣고 질소와 암모니아수를 이용한 암모니아 가스를 이용, 간극에 따른 전도성의 변화를 측정하였다. 우선 진공과 질소의 인입· 배출을 반복하여 챔버 안을 질소로 채운 뒤, 이후 암모니아수를 약 3uL정도를 인입하고, 암모니아 가스로 기체 상태가 되도록 유도하였다. 여기에 KEITHLEY의 전류원인 6220 과 나노미터 전압 측정장치인 2182A를 연결하여 전도성 고분자를 통하여 전달되는 전자의 량을 측정하였다. 사용된 전류는 $\pm 10e^{-6}A$ 의 범위 내였다.

그림 3 은 전극의 간극 사이즈가 80nm 일 때, 질소 분위기와 암모니아 가스가 인입된 분위기에서 전도성의 변화를 측정한 것이다. 암모니아 가스가 인입이 되자 전도성 고분자인 폴리아닐린의 전도성은 증가하고 있음을 알 수 있다. 즉, 전도성 고분자인 폴리아닐린을 이용한 나노 사이즈 간극의 가스센서 제작이 가능함을 보여주고 있다.

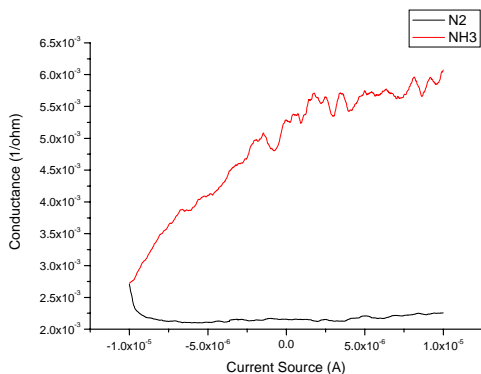


Fig. 3 Measured results for the conductance with 80nm clearance

그림 4 는 위와 같은 측정 방법을 이용하여 측정된 전도성 변화의 그래프로서 전극의 사이즈가 작을수록 전도성 고분자의 가스 반응도는 높아짐을 알 수 있었다. 이는 전극의 간극이 가까울수록 전자의 이동이 쉽다는 것을 말해주고 있으며, 좀더 작은 전류와 전압을 이용하기 위해서는 전극의 간극이 더욱 작아질 필요가 있다는 것을 설명한다.

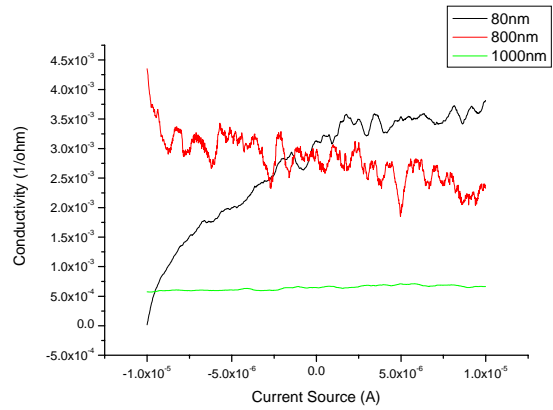


Fig. 4 Variations of conductance with respect to the clearance between electrodes

4. 결론

본 실험 결과를 통하여, 전자 빔 리소그래피를 이용하여 나노 사이즈의 간극을 갖는 전극 제작이 가능했으며, 전자빔 리소그래피 공정에 의해서 제작된 소자를 이용한 가스분위기에서의 특성실험결과를 보면 간극에 따라 다양한 기능성 소자제작이 가능함을 알 수 있었다. 또한, 50nm 이하의 전극도 적절한 감광막 선택과 여러 공정 조건들의 선택으로 제작이 가능할 것으로 예상된다. 향후 50nm 이하의 전극을 제작할 경우 전도성이 높은 실험결과를 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

1. M. Angelopoulos, "Conducting Polymers in Microelectronics," IBM J.RES & DEV., Vol.45, No.1, Jan., 2001
2. A.B. Kaiser, et al, "Electronic Transport Properties of Conducting Polymers and Polymer Blends," Synthetic Metals, Vol.69, 1995
3. C.O.Yoon, et al, "Transports in Blends of Conducting Polymers," Synthetic Metals, Vol.69, 1995
4. B. Adhikari, et al, "Polymers in Sensor Applications," Prog. Polymer. Sci., Vo.29, 2004