

고성능 TFT 소자 응용을 위한 폴리스티렌 나노입자를 이용한 나노 그물망 제작공정 개발

윤길상*·이준영*·박익수*·Bo Jin*·백록현*·신현진**·이정수*[†]
*[†] 포항공과대학교 전자전기공학과, **충남대학교 수의학과

Formation of nanonet structure using polystyrene nanoparticle for high-performances TFT applications

Gilsang Yoon*, Junyoung Lee*, Iksoo Park*, Bo Jin*, Rock-Hyun Baek*, Hyun-jin Shin** and Jeong-soo Lee*[†]

*[†] Department of Electrical Engineering, POSTECH,

** Department of Veterinary Medicine, Chungnam National University

ABSTRACT

We have developed a nonlithographic patterning technique using polystyrene nanoparticles to form nanonet channel structures which is promising for high-performance TFT applications. Nanoparticles assisted patterning (NAP) is a technique to form uniform nano-patterns by applying lift-off and dry etch process. Oxygen plasma treatment was used to control the diameters of nanonet hole size to realize a branch width down to 100 nm. NAP technology can be very promising to fabricate nanonet structure with advantages of lower manufacturing cost and large-area patterning capability.

Key Words : Polystyrene bead, Nanoparticle, Nanonet structure, TFT, O₂ plasma

1. 서 론

소비자의 요구가 다양화됨에 따라 첨단 제품은 고기능화, 소형화, 경량화를 지향하고 있다. 이에 따라 나노기술이 적용된 가공기술이 요구되고 있다. 특히, 저비용 공정을 통하여 대면적으로 고밀도의 나노 패턴을 제작하는 것은 다양한 차세대 나노 소자의 개발을 위해 중요하다 [1-3].

최근 기존 planar 채널 구조를 대체한 나노 그물 채널(Network-channel)을 이용하여 TFT 소자의 전기적 특성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다는 논문이 발표되고 있다[4]. 이는 나노 그물망 구조(Nanonet structure)를 도입함으로써 저온폴리실리컨(Low temperature poly-Si)의 결정립계(grain boundary)로 인한 트랩 밀도를 감소시키고, 또한 게이트의

채널 조절력(channel controllability)을 증대함으로써 소자의 전기적 특성을 향상시키는 것이다. 하지만 나노 그물망 소자를 제작하기 위해서는 전자 빔 리소그래피를 이용한 공정이 필수적인데, 이는 많은 공정 시간과 비용이 소요되므로 실질적인 TFT소자로의 적용을 어렵게 하고 있다. 따라서 저비용 대면적의 서브 패터닝 기술을 적용한 나노 그물망 구조 제작에 대한 연구가 필요하다.

앞서 언급한 전자 빔 리소그래피의 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 나노 입자(Nanoparticle, NP)를 이용한 나노 그물망 구조를 형성하는 기술인 Nanoparticle-Assisted Patterning(NAP)에 대한 연구를 진행하였다. NAP 기술은 메탈 증착과 함께 고르게 분포된 수백 나노 미터의 나노 입자를 lift-off하여 dry etching을 함으로써 수십~수백 나노미터 크기의 패턴을 형성하는 방법이다. NAP 기술은 기존의 복잡하고 비싼 나노 패턴 제작 기술에 비해 단순하고 공정 비용을 절감할 수 있으며, 나노 그물망 구조의 고성능 TFT 소자 제작에 응용 될 수 있다.

[†]E-mail: ljs6951@postech.ac.kr

2. 실험 방법

2.1 표면 활성화

Fig.1은 NAP 기술의 개략도를 나타낸다. 표면 활성화 하기 전, 저온폴리실리콘 기판을 황산(H₂SO₄)과 과산화수소수(H₂O₂)의 4:1 혼합물을 기반으로 한 피라냐(Piranha)용액으로 불순물을 제거하고 실온에서 건조한 뒤 사용하였다. 폴리스िल리콘과 나노 입자 용액의 접착력을 향상시키기 위해 산소 플라즈마 처리를 하여 폴리스िल리콘 표면에 친수성 그룹(hydrophilic group)을 활성화 하였다. 표면 처리 시간은 0, 30 sec 으로 나누고 나머지 공정 조건은 Table 1에 나타내었다. 산소 플라즈마는 진공 플라즈마 장치(YES-CV200RFS)를 사용했다.

2.2 나노 입자 배열

나노 입자를 이용한 패터닝 기술에 사용되어지는 입자로 silica, poly methyl methacrylate, polystyrene 등이 주류를 이루고 있으며 본 연구에서는 O₂ Plasma에 화학적 반응을 하는 Polystyrene(PS)을 이용하여 연구를 진행하였다. 나노 입자를 균일하게 분산하는 방법에는 Spin coating, Dip coating, magnetic assisted assembly, Langmuir-Blodgett assembly[5-8] 등 다양한 배열 방법이 시도 되고 있다. 그 중에서 고가의 장비 없이 빠르고 쉬운 spin coating방법으로 저온폴리실리콘 표면에 Fig. 1. (a)와 같이 폴리스티렌 입자의 단일층을 만들었다.

2.3 나노 그물망 구조 제작

산소 가스를 기반으로 한 반응성 이온 식각(Reactive Ion etching, RIE) 공정을 이용하여 폴리스티렌 입자의 직경을 조절하는 논문이 보고된 바 있다[9-10]. 이 문헌을 참고하여 산소 가스량을 유지하고 Bias power와 에칭 시간을 조절하면서 입자의 직경과 입자간의 간격을 미세하게 조절하였다. RIE는13.56 MHz의 고주파수 진공 플라즈마 장치(Multiplex Lite ASE-SR)를 사용하여 진행했다.

Table 1. Condition of O₂ plasma treatment.

Pressure (mTorr)	Temperatu re(°C)	RF bias (W)	Gas rate (sccm)
300	30	50	50

RIE 공정 이후, 저온폴리실리콘 기판 위에 전자 빔 증착법(E-beam evaporation)을 통해Metal (Cr)을 증착하여 보호층(Hard mask)을 만들었다. Metal은 5×10⁶ Torr의 기본 압력을 갖는 전자 빔 증착기(KVE-C300160)에 의해 증착되었다.

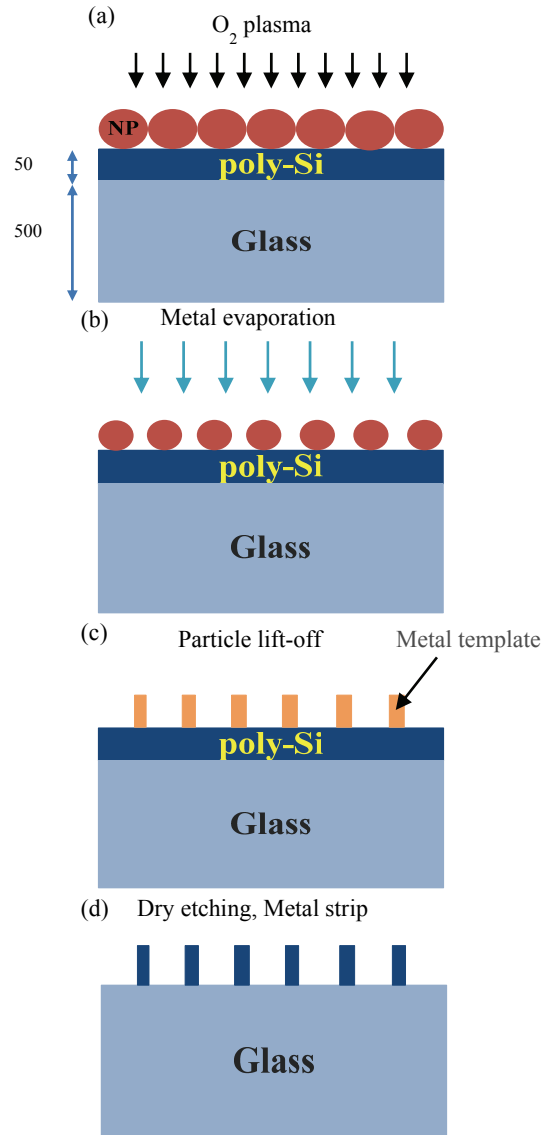


Fig. 1. A schematic of fabrication steps to form nanonet structure using NAP technique with polystyrene nanoparticles.

폴리스티렌 입자는 디클로로메탄(CH₂Cl₂), 톨루엔(toluene), 아세톤(acetone) 등 유기 용매에 용해된다[11]. 따라서 기판을 유기용매에 담궈 금속 박막을 입자와 함께 lift-off 기법으로 제거함으로써 Fig. 1 (c)에서 보듯이 metal template를 완성하였다. 이어서 Dry etching, Metal wet etching (Fig.1(d)) 공정을 순서대로 진행하여 Fig. 1. (d) 처럼 저온폴리실리콘에

균일한 나노 그물망 구조를 제작하였다.

실제 나노 그물 채널 TFT를 제작하기 위해서는 채널(Channel)에 나노 그물망 구조를 형성하는 기술이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 NAP기술에 photolithography를 접목시켜 실질적인 나노 그물 채널 TFT제작에 응용 할 수 있는 기술을 연구 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 접촉각 측정

산소 플라즈마에 의한 저온폴리실리콘 표면의 극성 변화를 Contact angle analyzer (DSA10) 장비를 이용하여 접촉각(contact angle) 측정을 통해 물에 대한 표면의 젖음성(wettability)을 관찰하였다. 접촉각은 저온폴리실리콘의 표면상태 변화를 간접적으로 확인할 수 있으며, 접촉각이 작을수록 저온폴리실리콘 표면의 젖음성은 우수한 것으로 알려져 있다[12].

Fig 2는 저온폴리실리콘 표면에 플라즈마를 처리하기 전, 후의 접촉각을 측정하여 나타낸 것이다. 산소 플라즈마 미처리 시 접촉각은 80.5°, 30초 처리 시 30.2°, 이는 처리 시간이 증가 할수록 저온폴리실리콘의 표면이 소수성에서 친수성으로 극성의 변화가 일어난 것이라고 할 수 있다.

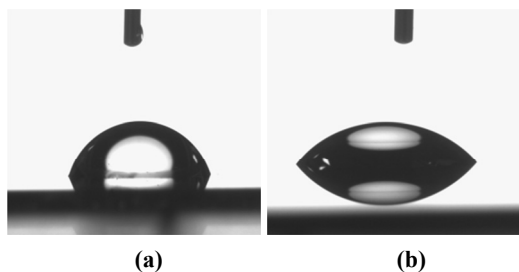


Fig. 2. Contact angle measurements of (a) No plasma and (b) O₂ plasma with time = 30 sec.

3.2 나노 입자 배열 관찰

친수화 된 저온폴리실리콘 표면에 Spin coating방법으로 폴리스티렌 입자를 분포하고 주사 전자 현미경(Scanning electron microscope, SEM)장비를 이용하여 입자의 배열을 확인했다. 고가의 장비와 복잡한 기술을 사용하지 않고 spin coating의 RPM을 최적화하여 입자들 간의 뭉치는 현상(aggregation) 없이 균일한 배열이 가능함을 보였다 (Fig 3).

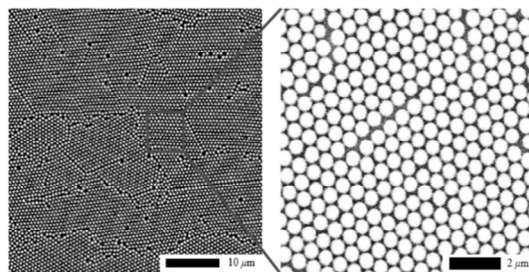


Fig. 3. SEM image of polystyrene bead as-spun coated on LTPS/glass substrate.

3.3 나노 그물망 구조체 패턴 형성

산소 가스를 이용한 RIE 공정을 통해서 Power(150 W)는 고정시키고 플라즈마 에칭 시간을 늘려 입자의 사이즈를 조절하였다. 초기 450 nm의 폴리스티렌 입자가 15 초 플라즈마 에칭 시 350 nm로 직경이 줄어들었고 입자간의 간격이 100 nm로 넓어진 것을 확인 할 수 있었다 (Fig 4). Fig 5는 플라즈마 처리 시간에 따른 폴리스티렌 직경의 변화를 나타내고 있다. 플라즈마에 의한 에칭 시간이 길어질수록 폴리스티렌 입자의 직경은 더 줄어들고 그 크기에 따라 최종 나노 그물망 구조의 패턴 크기가 결정 되기 때문에 이를 통해 원하는 크기의 나노 그물망 구조 제작을 가능하게 한다.

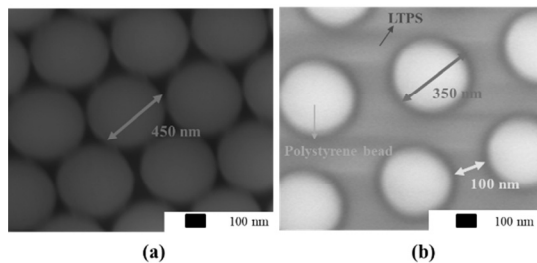


Fig. 4. SEM images of polystyrene(PS) beads on LTPS/glass with oxygen plasma treatment. (a) as-coated and (b) 15 sec exposure

RIE 공정 이후, Metal(Cr)을 30 nm 두께로 증착하고 기판을 톨루엔에 5분 동안 담궈 입자를 lift-off 기법으로 제거함으로써 Metal template를 완성하였다. Metal template를 보호막(Hard mask)으로 이용하여 Fig 1. (d) 공정 과정을 끝내고 저온폴리실리콘 표면의 패턴을 Fig 6에 도시 하였다. Fig 6. (b)에서 보듯이 패턴 직경은 350 nm, 패턴 간의 거리(branch width)가 100 nm로, 저온폴리실리콘 기판 전체에 매우 균일한 나노 그물망 구조가 제작되었음을 확인하였다.

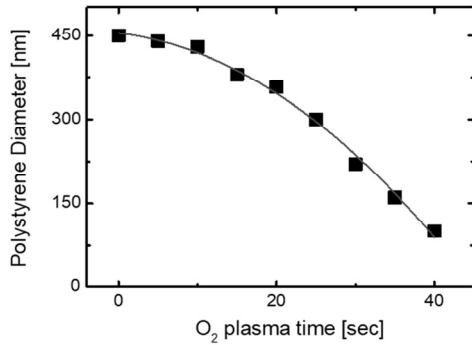


Fig. 5. PS diameter vs. O₂ plasma exposure time.

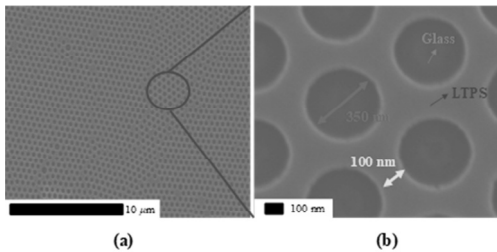


Fig. 6. SEM image of nanonet structure with hole size of 350 nm and branch width of 100 nm

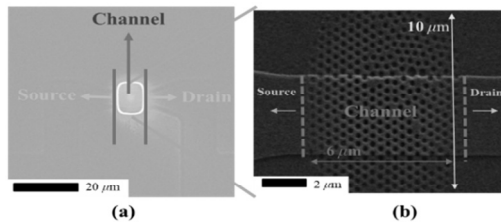


Fig. 7. SEM image of (a) masking pattern and (b) nanonet structure channel fabricated using NAP and photolithography technology.

실제 나노 그물망 채널 구조의 고성능 TFT를 제작하기 위하여 본 연구에서는 NAP기술에 photolithography를 접목시켰다. Fig. 1. (c) 단계 이후, 채널 영역 외 나머지 영역을 감광제(photoresist, PR)로 덮는 마스크(masking) 패턴을 구현하였다 (Fig. 7. (a)). 이어서 Fig. 1. (d) 단계를 순서대로 진행하고 SEM장비로 결과를 확인하였다. Fig. 7. (b)는 채널에 나노 그물망 구조가 형성된 이미지이다. 나노 그물망 구조 채널을 가지는 고성능 TFT 제작에 있어 기존의 복잡하고 고비용의 전자 빔 리소그래피 대신 빠르고 단순한

NAP 기술에 photolithography를 결합하여 나노 그물망 구조 채널을 형성 할 수 있음을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 폴리스티렌 입자를 이용하여 나노 그물망 구조를 저온폴리실리콘에 형성하였다. 산소 플라즈마 처리를 통해 저온폴리실리콘 표면의 극성을 친수화 함으로써 입자와 저온폴리실리콘간의 접착력을 향상시키고, spin coating기술을 이용하여 폴리스티렌 입자를 고르게 분포시키는데 성공하였다. 또한 RIE 공정을 통해 폴리스티렌 입자의 직경과 입자간의 간격을 조절 함으로써 나노 그물망 구조의 패턴 크기를 쉽게 조절 할 수 있었다. 더욱이 NAP기술과 photolithography를 접목하여 채널 영역에 나노 그물망 구조를 제작 할 수 있었다. NAP 기술은 복잡하고 고가의 나노 패터닝 기술들에 비해 비교적 단순하고 저가의 장비를 이용하기 때문에 공정비용과 시간을 절감 할 수 있어 실제 나노 그물망 구조를 갖는 고성능 TFT소자의 미세패턴에 적용될 것이다.

감사의 글

이 논문은 한국 정부(MSIT)가 후원하는 한국 연구재단(NRF, No. 2018R1A2A2A16022248), 산업통상자원부와 KSRC가 공동으로 지원하는 미래반도체소자 원천기술개발사업(No. 10067739), 과학 기술부, ICT 및 미래 기획(MSIP), 통상산업부(MOTIE)가 후원하는 나노융합2020 사업단(Project name: 반도체 센서 기반 인플루엔자 현장현시 (POCT) 진단키트 개발) 그리고 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 가축질병대응기술개발사업(과제번호 116167-3)에 의해 지원되었다.

참고문헌

1. Rothschild, M., Bloomstein, T. M., Efremow, N., Fedynyshyn, T. H., Fritze, M., Pottebaum, I., and Switkes, M., "Nanopatterning with UV optical lithography," MRS bulletin, 30(12), 942-946, (2005).
2. Galatsis, K., Wang, K. L., Ozkan, M., Ozkan, C. S., Huang, Y., Chang, J. P., and Botros, Y., "Patterning and templating for nanoelectronics," Advanced Materials, 22(6), 769-778, (2010).
3. Simeone, F. C., Albonetti, C., and Cavallini, M., "Progress in micro-and nanopatterning via electrochemical lithography," The Journal of Physical Chemistry C, 113(44), 18987-18994, (2009).
4. Lee, H., Lee, J., Baek, S., Jeong, W. H., Lee, Y., Yang, T.,

- and Lee, J. S., "Highly Enhanced Performance of Network Channel Polysilicon Thin-Film Transistors," *IEEE Electron Device Letters*, 38(2), 187-190, (2017).
5. Cho, J., Char, K., Hong, J. D., and Lee, K. B., "Fabrication of highly ordered multilayer films using a spin self-assembly method," *Advanced Materials*, 13(14), 1076-1078, (2001).
 6. Mihi, A., Ocaña, M., and Míguez, H., "Oriented Colloidal-Crystal Thin Films by Spin-Coating Microspheres Dispersed in Volatile Media," *Advanced Materials*, 18(17), 2244-2249, (2006).
 7. Nawa, M., Baba, R., Nakabayashi, S., and Dushkin, C., "Ordering effect of high magnetic field on silver nanoparticle arrays for electron-transfer devices," *Nano Letters*, 3(3), 293-297, (2003).
 8. Maoz, R., and Sagiv, J., "On the formation and structure of self-assembling monolayers. I. A comparative attractiveness study of Langmuir—Blodgett and adsorbed films on flat substrates and glass microbeads," *Journal of Colloid and Interface Science*, 100(2), 465-496, (1984).
 9. Soleimani-Amiri, S., Gholizadeh, A., Rajabali, S., Sanaee, Z., and Mohajerzadeh, S., "Formation of Si nanorods and hollow nano-structures using high precision plasma-treated nanosphere lithography," *RSC Advances*, 4(25), 12701-12709, (2014).
 10. Li, L., Zhai, T., Zeng, H., Fang, X., Bando, Y., and Golberg, D., "Polystyrene sphere-assisted one-dimensional nanostructure arrays: synthesis and applications," *Journal of Materials Chemistry*, 21(1), 40-56, (2011).
 11. Kuo, C. W., Shiu, J. Y., Cho, Y. H., and Chen, P. E. I. L. I. N., "Fabrication of large-area periodic nanopillar arrays for nanoimprint lithography using polymer colloid masks," *Advanced materials*, 15(13), 1065-1068, (2003).
 12. Suni, T., Henttinen, K., Suni, I., and Mäkinen, J., "Effects of plasma activation on hydrophilic bonding of Si and SiO₂," *Journal of the Electrochemical Society*, 149(6), G348-G351, (2002).

접수일: 2018년 8월 16일, 심사일: 2018년 9월 16일,
 게재확정일: 2018년 9월 16일