

〈학술연구〉

탄성 중합체 변형을 통한 패턴 변화 특성 연구

장 희 수* · 이 동 원*[†] · 심 재 삼**[†]

Characterization in Contol of Pattern Gap using Elastomer Deformation

Hee Soo Jang, Dong-Weon Lee, Jaesam Sim

Key Words : Polydimethylsiloxane(폴리다이메틸실록산), Mechanical properties(기계적 특성), Pattern gap (패턴 간격), Tensile(인장), Transfer(전사)

ABSTRACT

In this study, controlling pattern gap was induced by deformation of the stretchable substrate. The pre-fabricated pattern was made by depositing an Au(gold) on the Si substrate, and PDMS(Polydimethylsiloxane) was used for the stretchable substrate in consideration of surface energy, formability, and viscoelastic characteristics. For uniform deformation of PDMS, it is manufactured in the form of a tensile specimen using a molding method. An external force is applied to the deformable substrate in the uni-axial direction using a self-manufactured JIG, and the Au thin film pattern is transferred to the substrate under tensile state. After that, the external force is removed, and the PDMS specimen is recovered to its initial state. At this time, it can be seen that the pre-fabricated pattern gap is shortened from the initial size due to the viscoelastic properties of the PDMS. As a result, it was characterized to deformation rate of the pattern gap according to elongation rate of PDMS.

1. 서 론

반도체 산업에서 고성능 저전력 구동이 가능한 소자에 대한 수요가 증대되면서 소형화, 고집적화는 핵심 요소로 다뤄지고 있다. 이는 최근 MEMS(micro electro

mechanical system) 기술을 이용한 소자의 미세구조 구현 방법에 대한 연구를 더욱 확대시켰다. 나노, 마이크로 소자의 소형화와 고집적화를 달성하기 위해 노광 공정에서 G-line, I-line, KrF, ArF, ArFi 극자외선(EUV) 기술 진보가 이뤄지고 있다. 그러나 이러한 기술은 고가의 장비, 생산성 감소, 복잡한 공정 방식 등 해결해야 할 문제들이 남아 있다.

본 연구에서는 신축성 기판에 가해지는 외력 제어^[1-4]를 통해 새로운 패턴을 형성하고, 인가되는 외력에 따른 변형률을 정량화하였다. 이는 신축성 기판의 점탄성 특성을 이용한 새로운 패턴 간격 미세화 방법이다. 기존의 패터닝 공정을 통해 제작된 Au 패턴^[3]을 외력에 의해 인장된 신축성 기판 위에 전사^[5-9]하고, 신축성 기판의 외

Received : 2021.11.30.

Revised : 2021.12.15.

Accepted : 2021.12.21.

*†Corresponding Author; Member, School of Mechanical Engineering, Chonnam University, professor
E-mail : mems@jnu.ac.kr

**†Corresponding Author; Member, Automotive Materials & Components R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Senior Researcher
E-mail : sjswkd3@kitech.re.kr

* School of Mechanical Engineering, Chonnam University

력 제거를 통해 신축성 기판과 함께 Au 패턴의 간격이 수축^[6]됨을 확인하였다. 이를 통해 인가되는 외력의 크기에^[10-11] 따른 패턴 간격의 수축 특성을 파악하였다.

2. 실험 방법

2.1 Au 박막 패턴 제작

Au 박막은 E-Beam Evaporator를 이용하여 Si 기판 위에 50nm 두께로 증착하였다. Table 1에 Au 박막 패턴 제작 방법을 나타내었다. 이때, 신축성 기판으로의 전사를 용이하게 하기 위하여 접착층은 제외한다. Au 박막 패턴의 제작 순서는 Fig. 1과 같다. 박막 상층부에 Photo Resist 스핀 코팅 후, Hot Plate에서 소프트 베이킹을 진행하였다. 이후 노광 공정을 거쳐 현상하였다. 마지막으로 Wet Etching 후 PR Strip을 진행하여 패터닝 하였다.

2.2 신축성 기판

본 연구에서는 표면 에너지, 성형성, 점탄성 특성을 고려하여 PDMS(polydimethylsiloxane, sylgard-184 dow corning)를 신축성 기판으로 사용하였다. 신축성 기판은 Molding 방식^[12]을 통해 제작되었다. 알루미늄 소재의 몰드(mold)를 고온의 환경에서 테프론 코팅하여 신축성 기판과의 분리성을 향상시켰다. Base와 경화제(agent)를 10:1 교반한 PDMS 용액을 잔류 기포 제거를 위해 진공 챔버(vacuum chamber)에서 1시간 동안 노출시킨 후 주형에 주입하여 100 °C 에서 30분 베이킹하여 제작하였다. 신축성 기판의 두께는 인장 시 탄성 한계를 고려하여 2mm 두께로 제작하였다.

Table 1 Experimental conditions for making Au thin film patterns

Au thin film deposition	
Deposition thickness(nm)	50
Deposition velocity(Å/s)	0.5
Au patterning	
PR(AZ-P4860) Coating	
- Revolution Per Minute	1800
- Time (s)	30
Soft Baking	
- Temperature (°C)	120
- Time (s)	150
Exposure (I - line)	
- Time (s)	46
Develop (AZ 340MIF)	
- Developer : DI water	3:5

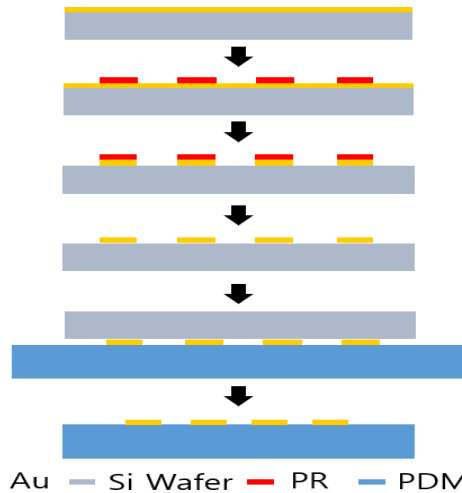


Fig. 1 Schematic illustration of the experimental procedure

2.3 신축성 기판 변형

신축성 기판은 정량적으로 외력을 인가 할 수 있는 JIG(Fig. 2)를 활용^[1-4]하여 10, 20, 30, 40% 연신 시켰다. 인장 방법은 다음과 같다. 지그 로드 부에 변형체 끝단을 고정 후, 회전축을 통하여 단일 축 방향으로 외력을 인가하였다. 회전축의 회전량에 따라 인가되는 외력의 크기를 제어 할 수 있으며, PDMS의 탄성 한계 내에서 균일한 외력 인가^[10-11]를 위해 동일한 속도(RPM)로 회전시켰다.

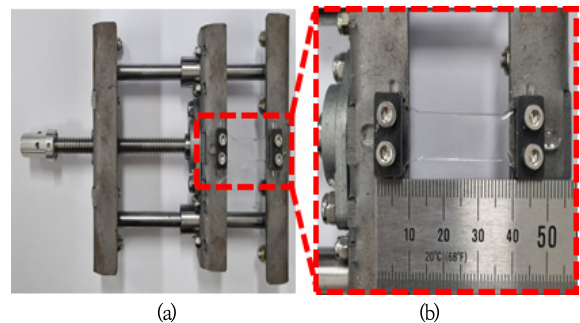


Fig. 2 Images of external force applying device. (a) Tensile JIG, (b) Enlarged view of the deformation of the PDMS specimen

2.4 패턴 변형

기 제작된 패턴은 인장 상태의 신축성 기판에 스탬핑(stamping) 방식으로 전사되며, 이때 패턴의 배열과 신

축성 기판의 인장 방향이 직교하도록 배치시킨다. 500, 100, 50 μm 간격을 갖는 패턴을 사용하여 신축성 기판에 전사하였다. 패턴 전사^[7-9,12,14-17] 후 낮은 속도로 Si 기판을 제거하여 Au 패턴의 전사율을 향상시켰다.

3. 실험결과 및 고찰

단축 인장된 신축성 기판 표면에 Au 박막을 전사하였다. 인가된 외력 제거 시 신축성 기판 수축과 함께 변화된 패턴 간격(Fig. 3)을 광학 현미경을 통해 확인하였다.

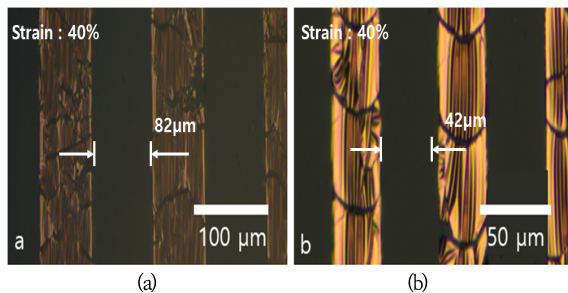


Fig. 3 Optical microscopic images of Au transferred PDMS. (a) 100 μm , (b) 50 μm in initial size

3.1 연신율에 따른 패턴 간격 변화

Fig. 4는 연신율에 따른 패턴 간격 변화량을 나타내었다. Fig. 4(a),(b),(c)에서 500 μm 패턴 간격은 40% 인장 후 복원 시 400 μm 으로 감소하였으며, 100, 50 μm 간격은 각각 82, 42 μm 로 감소하였다. Fig. 3(a),(b)에 나타나는 바와 같이 광학 현미경을 통해 줄어드는 패턴 간격을 확인 하였으며, 이를 통해 40% 인장된 신축성 기판에서 외력 제거 시 패턴 간격 약 20%가 감소됨을 확인하였다.

3.2 패턴 간격에 따른 변화율

Fig. 5는 PDMS 연신율과 패턴 간격의 수축률 사이의 상관관계를 나타내었다. PDMS 연신율 증가에 따라 각 패턴 간격 수축률이 증가함을 확인하였다. 이를 통해 인가되는 외력은 신축성 기판의 연신율과 탄성에너지로 결정하며, 패턴 간격 변화를 유도한다는 것을 확인하였다. 또한 인가되는 외력 크기는 패턴 간격 변화량과 선형관계가 있음을 알 수 있다.

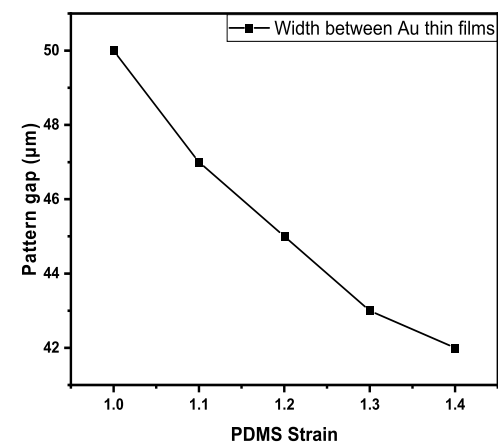
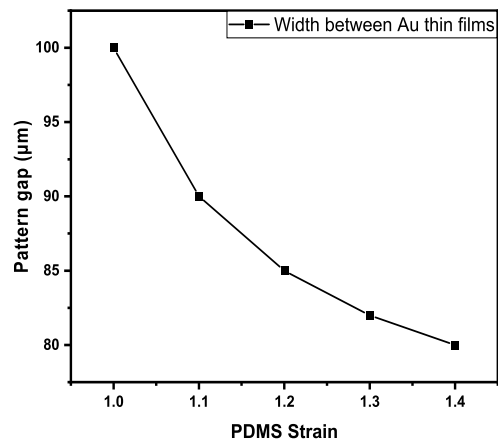
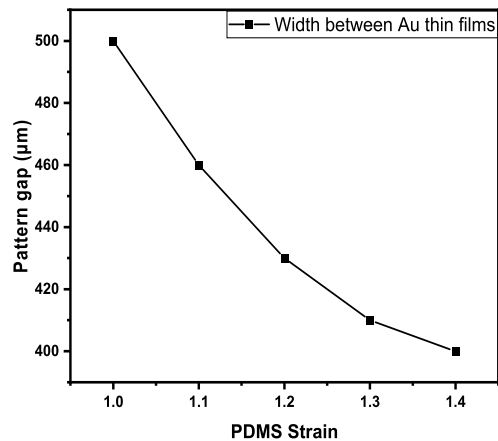


Fig. 4 Variation of pattern according to strain of (a) 500 μm , (b) 100 μm , (c) 50 μm gap

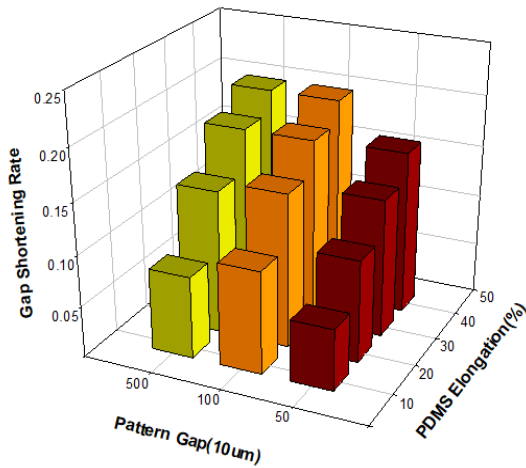


Fig. 5 Correlation between PDMS elongation and pattern gap shortening rate

4. 결 론

본 연구에서는 신축성 기판의 물리적 변형을 이용한 패턴 간격 제어를 연구하였다. 자체 제작된 지그를 활용하여 PDMS에 가해지는 외력 크기를 정량적으로 제어하였고, 이를 통해 탄성체의 연신율을 결정하였다. 연신율의 증가에 따라 패턴 간격 수축률은 증가하였으며, 초기 값의 20%까지 증가하였다. 실험 결과를 바탕으로 패턴의 변화량을 수치화하였으며, 인가되는 힘에 따른 패턴 간격과 수축 사이에 선형적 상관관계를 확인하였다.

후 기

본 논문은 한국생산기술연구원 기관주요사업 “Add-on 모듈 탑재를 통한 지능형 뿌리공정 기술개발 (KITECH EO-21-0009)”의 지원으로 수행한 연구입니다.

References

- [1] Adrega, T. Lacour, S. P., “Stretchable gold conductors embedded in PDMS and patterned by photolithography: Fabrication and electromechanical characterization” *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 20 (5), 2010
- [2] Hyun-ju Choi, Jae-Hyun Kim, Hee-jung Lee, Joong-Hun Lee, Kyung-Sik Kim, Hak-Joo Lee, “A study on estimating elastic modulus of nano-scale metal thin films on a polymeric substrate” *The Korean Society of Mechanical Engineers*. 2007
- [3] Hyun-Ju Choi, Jae-Hyun Kim, Sang-Joo Lee, Hak-Joo Lee, “A study on mechanical characterization of nano-thick films fabricated by transfer assembly technique”, *The Korean Society of Mechanical Engineers*. 2008
- [4] Samuel Yu, Seongkyun Choi, Yoshizumi Masumoto, Taichi Hirose, Masahito Ban, Sun Min Kim, “Contact Guidance of Cells using the Micro/Nanopatterns Created by Stretching Plasma Treated PDMS Membrane” *The Korean Society of Mechanical Engineers*. 2011
- [5] Jae Won Jeong, Se Ryeun Yang, Yoon Hyung Hur, Seong Wan Kim, Kwang Min Baek, Soonmin Yim, Hyun-Ik Jang, Jae Hong Park, Seung Yong Lee, Chong-Ook Park, Yeon Sik Jung “High-resolution nanotransfer printing applicable to diverse surfaces via interface-targeted adhesionswitching”, *nature communications* Published 10 Nov. 2014
- [6] Geon Hwee Kim, Hyeonsu Woo, Geunbae Lim, Taechang An, “Development of Optical Strain Sensor with Nano structures on a Poly-dimethylsiloxane (PDMS) Substrate” *Journal of Sensor Science and Technology* Vol. 27. 2018
- [7] Ikjoon Byun, Anthony W. Coleman, Beomjoon Kim “SAM meets MEMS: reliable fabrication of stable Au-pattern embedded in PDMS using dry peel-off process” *Microsyst Technol* DOI 10.1007/s00542-013-1923-8. 2013
- [8] Dongil Chu, Eun Kyu Kim “Recent Advances in Synthesis and Assembly of van der Waals Materials” *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 73, No. 6, September. 2018
- [9] Ikjoon Byun, Anthony W Coleman, Beomjoon Kim “Transfer of thin Au films to poly-

- dimethylsiloxane (PDMS) with reliable bonding using (3-mercaptopropyl)trimethoxysilane as a molecular adhesive", *Journal of micro-mechanics and microengineering* doi:10.1088/0960-1317/23/8/085016, 2013
- [10] Won Jae Lee, So-Yeon Park, Hyun Jin Nam, and Sung-Hoon Choa, "Mechanical and Optical Characteristics of Transparent Stretchable Hybrid Substrate using PDMS and Ecoflex Material" *The Korean Microelectronics and Packaging Society* doi.org/10.6117, 2018
- [11] Ung-Hui Shina, Dong-Wook Jeongb, Sang-Min Parka, Soo-Hyung Kima,b,c, Hyung Woo Leeb,d, Jong-Man Kim, "Highly stretchable conductors and piezocapacitive strain gauges based on simple contact-transfer patterning of carbon nanotube forests" *CARBON80* doi.org/10.1016/j.carbon. 2014. 08. 079, 2014
- [12] Min-Soo Ghim, Hee-Kyeong Kim, Young-Sam Cho, "Experiments of surface energy change with respect to strain of patterned PDMS", *The Korean Society of Mechanical Engineers* 2013.12, 3747-3751 (5pages), 2013
- [13] Chi Hwan Lee, Dong Rip Kim, and Xiaolin Zheng, "Fabricating nanowire devices on diverse substrates by simple transfer-printing methods", *10.1073/pnas.0914031107*, 2010
- [14] Junyong Park, S huodao Wang, Ming Li, Changui Ahn, Jerome K. Hyun, Dong Seok Kim, Do Kyung Kim, John A. Rogers, Yonggang Huang & Seokwoo Jeon, "Three-dimensional nanonetworks for giant stretchability in dielectrics and conductors" *nature communications*. 3:916 DOI: 10.1038/ncomms1929, Published 26 Jun 2012
- [15] Debashis Maji, Debanjan Das, Jyoti Wala & Soumen Das, "Buckling assisted and lithographically micropatterned fully flexible sensors for conformal integration applications" *nature scientific reports*. DOI: 10.1038/srep17776. 07 December 2015
- [16] Dong-ryul Lee, "Flow Analysis of a Thermopneumatic Micropump For Different Shapes of PDMS Membrane" *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology* DOI 10.17958/ksmt.17.2.201504.245. 2015
- [17] Byeong-yun Oh, "Fabrication of Aligned Nano Patterns on HfZnO based on the Imprinting Method for Liquid Crystal Display" *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*. 2019



Hee Soo Jang was received the B.S. degree in Mechanical Engineering from Chonnam National university in 2019. He is currently M.S at Chonnam National university and a student Researcher at th Korea Institute of Industrial Technology in korea. His research interests include stretchable substrate-based patterning.