



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0009886
(43) 공개일자 2011년01월31일

(51) Int. Cl.

B82B 3/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0067324

(22) 출원일자 2009년07월23일

심사청구일자 2009년07월23일

(71) 출원인

김근형

광주 동구 운림동 남해오네뜨빌 1302호

(72) 발명자

김근형

광주 동구 운림동 남해오네뜨빌 1302호

윤현

광주광역시 남구 월산동 1048-55

전호준

광주광역시 남구 주월1동 덕산아파트 101-1604

(74) 대리인

강성혜

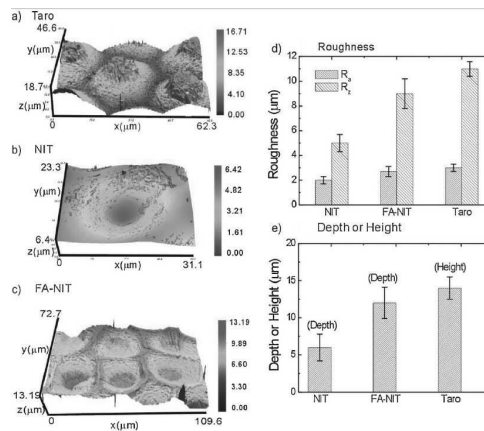
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 전기장 나노임프린팅 방법

(57) 요약

본 발명은 마이크로/나노임프린팅 방법을 개선하여 전기장을 가함으로써 복제 효율을 향상시킨 방법에 관한 것이다. 이러한 전기장 나노임프린팅 방법은 두 단계로 이루어져 있다: 먼저 복제 대상 아래 액상 폴리머에 전기장을 가하는 단계, 그리고 전기장을 적용한 폴리머를 경화시키는 단계이다. 전기장을 부가한 나노임프린팅 방법에 의하면 종래 나노임프린팅에 의하여 제조된 것보다 45%나 향상된 임프린팅 효율을 얻을 수 있었다. 전기장을 부가한 나노임프린팅 방법은 종래 나노임프린팅의 질을 현저히 향상시켰다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

나노임프린팅 방법에 있어서,

대향하는 양측에 양 전극을 위치시키고, 일측 전극면 내측에는 복제 대상 원본을 위치시키고, 대향하는 전극면 내측에는 고화 또는 경화가 가능한 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 위치시키며, 상기 양 전극 사이에 주파수 50Hz 이상, 전기장 강도 0.1kV/mm 이상의 교류 전기장을 형성하고, 상기 교류 전기장을 형성한 상태로 상기 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머와 복제 대상 원본이 맞닿도록 가압한 후 상기 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 고화 또는 경화시키는 것을 특징으로 하는 전기장 나노임프린팅 방법.

청구항 2

나노임프린팅 방법에 있어서,

일측에 양 전극을 위치시키고, 상기 양 전극 사이에 주파수 50Hz 이상, 전기장 강도 0.1kV/mm 이상의 교류 전기장을 형성하고, 상기 형성된 교류 전기장 내에 복제 대상 원본과 고화 또는 경화가 가능한 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 위치시키며, 상기 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머와 복제 대상 원본이 맞닿도록 가압한 후 상기 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 고화 또는 경화시키는 것을 특징으로 하는 전기장 나노임프린팅 방법.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 폴리머는 열경화성 폴리머, 열가소성 폴리머 및 광경화성 폴리머 중 선택된 1종 이상임을 특징으로 하는 전기장 나노임프린팅 방법.

청구항 4

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 복제 대상 원본은 마이크로/나노 구조 표면을 갖는 유기물 또는 무기물임을 특징으로 하는 전기장 나노임프린팅 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 마이크로/나노임프린팅 방법을 개선하여 전기장을 가함으로써 복제 효율을 향상시킨 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

토란 잎은 독특한 표면 구조로 인해서 많은 연구자들의 관심의 대상이 되어 왔다. 그것이 초소수성(superhydrophobic property)을 갖는다는 것이 알려진 이후로, 그 복제 표면 구조는 예컨대 자기 정화 유리창(self-cleaning windows), 저항 저감 코팅(drag reduction coatings) 및 안티포그 효과 등 다양한 분야에 응용되고 있다. 이와 같은 특이한 표면 구조는 광리소그래피에 기초한 공정(photolithography-based processing)[J. Y. Shiu et al., Chem. Mater. 2004, 16, 561, B. He et al., J. Lee, Langmuir 2003, 19, 4999], 화학적 표면처리 기술[H. Y. Erbil et al., Science 2003, 299, 1377, J. P. Youngblood et al., Macromolecules 1999, 32, 6800] 및 UV를 이용한 마이크로/나노임프린팅 방법[S. M. Lee et al., Nanotechnology 2006, 17, 3189]과 같은 다양한 기술을 이용하여 제조되어 왔다. 그렇지만, 이러한 기술들은 몇

가지 단점이 있었다. 예를 들면, 이러한 기술은 시간이 많이 소요되고, 비용이 많이 들며, 고가의 장비와 제한적인 재료들을 필요로 한다는 것이다. 그러나, 나노임프린팅은 원판의 표면 구조를 열과 압력 조건 하에서 다양한 폴리머로 전이시킴으로써 마이크로- 및 나노구조의 복제에 있어서 저렴하고 용이한 방법을 제공한다. 나노임프린팅 방법은 다른 기술에 비하여 상대적으로 용이하기 때문에 특이한 화학적, 광학적 및 전자적 성질로 인하여 생물의학 기기, 광학 기기, 마이크로 전기기계 시스템(microelectromechanical systems; MEMS) 및 미세유체공학(microfluidics) 분야 등에서 임프린팅 물질을 널리 이용하게 되었다.

[0003] 최근에는, 열경화성 및 열가소성 폴리머를 이용하여 전기장 존재 하에서 자기 조직적인 마이크로/나노 크기 구조(self-organized micro/nano-sized structure) 제조에 관한 실험적 및 이론적인 연구가 많이 시도되고 있다 [S. Y. Chou et al., Appl. Phys. Lett. 1999, 75, 1004, M. Boltau et al., Nature 1998, 391, 877, E. Schaffer et al., Nature 2000, 403, 874]. 얇은 폴리머 층이 공기 갭을 가진 양 전극 사이에 놓이고, 전극에 전기장을 적용한다. 직류 전기장(DC electric field)을 이용함으로써, 계면 정전압 구배(interfacial electrostatic pressure gradient)가 형성되고, 결국 얇은 폴리머 층은 규칙적이고 자기-정렬된 기둥 배열구조로 바뀐다. 이 기술은 전기장 구배 내에서 힘을 생산하는 유전체 물질의 성질에 기초한 것이다 [L. D. Landau, E. M. Lifshitz, "Electrohydrodynamics of continuous media", Pergamon, New York 1984]. 강한 전기장 구배는 폴리머 필름의 표면 장력을 뛰어넘는 힘을 형성할 수 있고, 불안정한 상태를 유도한다 [E. Schaffer et al., Nature 2000, 403, 874]. 전기장-유도 제조방법의 다른 예로서, 전기장-부가 마이크로-테일러링 기술(field-aided micro-tailoring technology)은 이방성(anisotropic) 마이크로-제조 폴리머 조성물(micro-tailored polymeric composites) 제조에 이용된다 [G. H. Kim, Compos. Sci. Technol. 2005, 65, 1728]. 교류 전기장을 이용하여 이 기술은 원래의 연속적인 유전 배지에서 각기 다른 전기적 성질을 가진 유기 또는 무기 입자들을 모으고 재배열한다. 외부에서 적용한 전기장의 방향성은 기계적, 온도적 및 광학적으로 이방성 성질을 가지는 조성물의 방향성을 지시한다 [G. H. Kim, Compos. Sci. Technol. 2005, 65, 1728].

[0004] 미국공개특허 제2008/0217822호는 복제할 원본 아래에 약간의 간격을 두고 고화 또는 경화 가능한 액상 폴리머를 위치시킨 다음 원본과 액상 폴리머 사이에 직류 전기장을 형성시키는 임프린팅 방법을 개시한다. 그러나, 직류 전기를 흘려주는 경우에는 한 방향으로만 흐름이 형성되기 때문에 임프린팅 효율을 증진시키는데 한계가 있다.

[0005] 미국공개특허 제2008/0106003호는 복제할 원본 아래에 약간의 간격을 두고 고화 또는 경화 가능한 액상 폴리머를 위치시킨 다음 균일한 압력으로 가압함에 있어서, 자기장 또는 정전기장(electrostatic field)에 의하여 압력을 가하는 것을 특징으로 하는 임프린팅 방법을 개시한다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0006] 본 발명은 종래 마이크로 및/또는 나노임프린팅 방법이 미세 구조를 충분히 복제하지 못하는 문제점을 해결하려는 것을 목적으로 한다.

과제 해결수단

[0007] 본 발명에서는 토란 잎의 마이크로/나노 크기 복제품을 제조하기 위하여 마이크로/나노임프린팅 기술에 교류 전기장을 가하였다. 이 기술은 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머 내에 전기영동 및 유전영동 효과에 의하여 형성된 불안정한 흐름을 이용한다. 전기장을 부가하였을 때의 효과를 관찰하기 위하여 전기장 부가 방법으로 제조된 표면은 일반 나노임프린팅 방법으로 제조된 표면과 비교하였다. 본 발명의 방법은 두 가지 공정으로 구성된다. 식물 잎 아래의 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머에 주파수 50Hz 이상, 전기장 강도 0.1kV/mm 이상의 교류 전기장을 가하는 공정과 적용된 전기장 하에서 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 고화(solidification) 또는 경화(curation)시키는 공정이 그것이다. 고화 또는 경화 공정은 열을 가하거나 빛을 이용하여 수행한다. 상기 교류 전기장의 주파수가 50Hz 미만인 경우에는 도 2의 결과와 같이, 임프린팅 효율이 낮다. 또한, 상기 교류 전기장의 강도가 0.1kV/mm 미만일 때는 양 전극 간에 불안정한 흐름이 충분히 발생하지 않아 임프린팅 효율이 높지 않다. 전기장의 세기가 지나치게 커지면 전류가 통하기 때문에 원하는 임프린팅이 제대로 수행되지 못한다. 물질의 종류, 좀더 정확히는 유전상수(dielectric constant)에 따라서 전기가 통하는 세기가 달라지므로 이에 따라서 구체적인 전기장의 세기가 결정되어야 한다. 전기장은 0.1kV/mm 내지 50kV/mm 범위 내에서 유전상수를 고려하여 선택하는 것이 바람직하며, 주파수 또한 50Hz ~ 10kHz 범위 내에서 선택하는 것이 바람직하다.

[0008]

[0009]

임프린팅 폴리머로서는 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 이용한다. 이때 폴리머는 열경화성 폴리머(thermoset polymer) 및 열가소성 폴리머(thermoplastic polymer)가 모두 가능하다. 폴리머를 용매에 녹인 액상 폴리머 외에도 저점도 폴리머도 사용할 수 있다. 저점도라 하면 지나치게 점도가 높아 복제 대상 원본과 접촉했을 때 잘 복제가 되지 않는 정도가 아니면 되는데, 바람직하게는 점도 500Pa.s 이하이면 된다. 점도가 500Pa.s를 초과하면 복제 대상 원본에 들러붙어 복제가 원활히 이루어지지 않게 된다. 통상 임프린팅에 많이 사용되는 폴리머로는 PMMA{Poly(methyl methacrylate)}, PDMS(Polydimethylsiloxane), PE(Polyethylene)(HDPE, LDPE, LLDPE), PA, PI, PCL, 실리콘 계열 및 감광(photosensitive) 폴리머 등이 있다.

[0010]

본 발명은 나노임프린팅 방법에 있어서, 대향하는 양측에 양 전극을 위치시키고, 일측 전극면 내측에는 복제 대상 원본을 위치시키고, 대향하는 전극면 내측에는 고화 또는 경화가 가능한 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 위치시키며, 상기 양 전극 사이에 주파수 50Hz 이상, 전기장 강도 0.1kV/mm 이상의 교류 전기장을 형성하고, 상기 교류 전기장을 형성한 상태로 상기 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머와 복제 대상 원본이 맞닿도록 가압한 후 상기 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 고화 또는 경화시키는 것을 특징으로 하는 전기장 나노임프린팅 방법에 관한 것이다.

[0011]

또한, 본 발명은 상기와 같이 양 전극판을 대향하게 놓고 그 사이에 전기장을 형성하는 방법 외에도 양 전극을 같은 평면 상에 위치시키는 싱글 플레이트 전극(single plate electrodes) 방식으로 형성되는 전기장을 적용하는 것도 가능하다. 이때 싱글 플레이트 전극은 한 평면에 여러 개의 양극과 여러 개의 음극을 형성하는 것도 포함한다(도 5 및 도 6 참조). 즉, 본 발명은 나노임프린팅 방법에 있어서, 일측에 양 전극을 위치시키고, 상기 양 전극 사이에 주파수 50Hz 이상, 전기장 강도 0.1kV/mm 이상의 교류 전기장을 형성하고, 상기 형성된 교류 전기장 내에 복제 대상 원본과 고화 또는 경화가 가능한 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 위치시키며, 상기 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머와 복제 대상 원본이 맞닿도록 가압한 후 상기 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 고화 또는 경화시키는 것을 특징으로 하는 전기장 나노임프린팅 방법에 관한 것이다.

[0012]

또한, 본 발명은 상기 폴리머가 열경화성 폴리머, 열가소성 폴리머 및 광경화성 폴리머 중 선택된 1종 이상임을 특징으로 하는 전기장 나노임프린팅 방법에 관한 것이다.

[0013]

또한, 본 발명은 상기 복제 대상 원본이 마이크로/나노 구조의 표면을 가진 유기 또는 무기물임을 특징으로 하는 전기장 나노임프린팅 방법에 관한 것이다.

[0014]

본 발명의 구체적인 실시예에서는 복제 대상 원본으로서 토란잎과 같은 식물 표면의 마이크로/나노 구조물을 이용하였고, 이의 마이크로/나노 크기의 패턴화된 복제물을 제조하기 위하여 마이크로/나노임프린팅 기술에 교류 전기장을 부가한 기술을 이용하였다. 이 기술은 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머 내의 전기영동 및 유전영동 효과(electrophoretic and dielectrophoretic effect)에 의하여 야기되는 불안정한 흐름을 이용한다. 유사한 불안정성 유도 흐름이 다양한 미세유체 시스템(microfluidic systems)에 이용된바 있다(마이크로펌핑 및 마이크로믹서). 마이크로/나노 크기 구조 형성에 미치는 전기장의 영향을 관찰하기 위하여 제조된 표면 구조를 종래 나노임프린팅에 의해 제조된 구조와 비교하였다. 제조된 표면 구조는 주사전자현미경으로 관찰하였고, 거칠기는 광학적 방법으로 거칠기를 측정하는 장치로 측정하였다. 복제된 표면의 소수성을 관찰하기 위하여 물 접촉 각도 측정(water contact angle measurement)을 실시하였다.

효 과

[0015]

본 발명의 전기장을 부가한 나노임프린팅 방법은 토란 잎의 육각형 모양 및 나노 크기의 윤곽선과 같은 미세 패턴이 종래의 마이크로/나노임프린팅에 비하여 전기장을 가했을 때 더욱 선명하게 복제되었다. 전기장-나노임프린팅에 의하여 생성된 거칠기는 일반 마이크로/나노임프린팅 방법에 의한 것보다 약 45% 향상되었다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하, 구체적인 실시예를 들어 본 발명의 구성을 좀더 자세히 설명한다. 그러나, 본 발명의 범위가 실시예의 기재에만 한정되는 것이 아님은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명하다.
- [0017] 액상 실리콘은 동양실리콘에서 구입하였다. 전기장 부가 마이크로/나노임프린팅 공정에 사용한 액상 실리콘의 유전상수(dielectric constant), 밀도 및 점도는 각각 11.7, 1.365g/cc 및 1,000,000cps였다. 공정 중 적용된 압력은 14kPa였다. 액상 실리콘에 전기장을 적용할 때 고화 시간(curing time)은 액상 실리콘 사슬의 움직임으로 인하여 연장되었다. 전기장을 적용하면서 액상 실리콘을 완전히 고화시키기 위하여 12시간이 소요되었다.
- [0018] 고화 시스템은 하이드록실기 말단 폴리머(hydroxyl-terminated polymers), 알킬트리아세톡시실란 크로스링커(alkyltriacetoxysilane crosslinkers) 및 주석 촉매로 구성된다. 이러한 구성요소들은 습기에 노출되면 고화된다. 도 1(a)는 식물 잎의 마이크로/나노구조 표면을 눌러 찍는데 사용하는 전극의 배치를 나타낸다. 고화 공정 중 전기장 조건은 강도 $0.55 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$ 및 진동수 10~200Hz를 적용하였고, 유리 기질 상에 놓인 구리층을 이용하여 제조한 평행판 전극을 이용하였다. 강한 전기장을 통하여 전극 간에 전류가 흐르는 것을 방지하기 위하여 전극은 얇은 폴리(에틸렌 테레프탈레이트)로 코팅처리하였다($50\mu\text{m}$). 복제된 폴리머 표면은 주사전자현미경(SEM; Hitachi S-4800, Japan)으로 관찰하였고, 표면 거칠기 검사장치(Nanoview-m4151p, Korea)로 시험하였다. 표면의 3차원 거칠기 프로파일 및 평균 거칠기 값, R_a 및 R_z 는 거칠기 검사장치로 측정하였다. 측정은 위상차간섭계(phase sifting interferometry)를 이용하였는데, 이것은 비접촉 표면 형상측정에 있어서 일반적인 광학적 기법이다. 복제된 표면의 물 접촉 각도는 접촉각도 분석기(SEO Phoenix 300, South Korea)를 이용하여 측정하였고, 접촉 각도 또한 10회 반복 실시 후 평균내었다.
- [0019] **결과**
- [0020] 도 1(b)는 각기 다른 배율로 토란 잎 표면의 주사전자현미경 이미지를 보여준다. 토란 잎은 마이크로 크기 구조와 나노 크기 구조가 혼합된 구조이다. 잎의 표면 구조는 마이크로/나노 크기 구조의 조합이고, 마이크로 단위의 육각형 모양이며, 동그란 모양이 튀어나와 있고, 육각형 모양 근처에는 꽃잎 모양의 나노 크기 윤곽선이 있다. 표면 구조, 특별히 마이크로/나노 구조가 조합된 표면 구조는 토란 잎이 물과 고체의 경계면에서 접촉 감소로 인하여 초소수성 표면을 가짐을 나타낸다.
- [0021] 도 2는 각각 종래 나노임프린팅과 본 발명의 전기장 나노임프린팅(Field aided-Nanoimprinting; 본 발명의 상세한 설명 및 도면에서 "FA-NIT"와 혼용함)을 이용하여 토란 잎으로부터 복제된 실리콘 표면의 주사전자현미경 이미지를 나타낸다. 일반 임프린팅 방법(Nanoimprinting; 본 발명의 상세한 설명 및 도면에서 "NIT"와 혼용함)으로 토란 잎 복제물을 제조할 때 가한 압력과 액상 실리콘 고화시간은 각각 14kPa 및 12시간이었다. 도 2(a)(d)와 같이, 식물 잎이 튀어나온 모양이기 때문에 복제된 표면은 홀과 거친 표면 및 육각형 패턴을 나타내었다. 일반 임프린팅 방법으로 제조한 구조는 잘 제조된 것으로 보인다. 그렇지만, 도 2(d)의 전기장($E=3.7 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$, 200Hz, 14kPa 압력)을 부가한 방법으로 제조한 표면과 비교해보면 일반 나노임프린팅 방법으로 찍힌 구조는 원래 잎사귀의 표면을 완벽하게 복제하지 못한 것으로 나타난다. 도 2(d)와 같이, 토란 잎의 육각형 모양과 나노 크기 꽃잎 모양의 윤곽선과 같은 미세한 패턴은 전기장 부가 나노임프린팅에 의해서 더 잘 복제되었다. 또한, 확대된 주사전자현미경 이미지와 같이 표면의 나노 크기 꽃잎과 유사한 패턴은 일반 나노임프린팅에 의한 것보다 좀더 분명하게 복제되었다. 이는 전기장 조건 하에서 액상 실리콘의 불안정한 흐름이 동요되어 얻어지는 결과인 것으로 보인다. 약한 전하를 띠는 액상 실리콘 내에 전기역학적 힘(electrokinetic forces), 유전영동력(dielectrophoretic force) 또는 전기영동력(electrophoretic forces)을 가하면 불안정한 흐름이 형성된다. Kim과 Shkel에 의하면, 교류 전기장 조건에서 다양한 무기 입자와 혼합된 액상 에폭시 내에서 이와 유사한 불안정한 흐름이 생성된다[G. H. Kim, Y. M. Shkel, J. Micromech. Microeng. 2007, 17, 2522]. 이러한 결과, 전기역학적 힘에 의하여 액상 폴리머 내의 공기 방울과 입자가 주변 액체와 함께 상하로 움직인다. Pohl에 의하면, 전기영동은 전하를 띤 액체 내에서 표면의 2층 형성과 관련된 극성-의존적 현상으로 정의된다[H. A. Pohl, "Dielectrophoresis", Cambridge University Press, New York 1978]. 또한, 몇 개의 원자들로 구성된 분자들은 영구적인 양극(dipoles)을 보유하게 된다. 이는 외부의 전기장에 반응하여 그 포텐셜을 감소시키기 위하여 재배열되려는 경향을 나타내게 된다[H. A. Pohl, "Dielectrophoresis", Cambridge University Press, New York 1978]. 도 1(a)와 같은 본 발명의 실험 시스템을 고려하면, 주변 습기의 전하에서 발생한 약한 전하를 띠는 액상 폴리머에 의해 유도되는 불안정한 흐름은 다음의 수식으로 얻을 수 있다. 맥아종 방정식($\nabla^2 \varphi = -\rho/\epsilon\epsilon_0$)으

로부터 포텐셜, φ 가 y축의 유일한 함수라고 가정한다면 다음의 수학식을 얻을 수 있다.

수학식 1

$$\frac{d^2\varphi}{dy^2} = -\frac{\rho}{\epsilon\epsilon_0}$$

여기에서 ρ 는 전하 밀도, ϵ_0 ($8.854 \cdot 10^{-12}$ F/m)는 자유 공간의 유전율(permittivity of free space), 그리고, ϵ 는 매체의 유전상수이다. From the equation of motion with 뉴턴 흐름(Newtonian flow)의 운동방정식 및 $v_y=v_z=0$, $\text{grad } p=0$, 압축할 수 없는 흐름(incompressible flow), 및 정상상태 조건(steady-state condition)을 가정할 때 다음과 같은 수학식을 얻을 수 있다.

수학식 2

$$\mu \frac{d^2 v_x}{dy^2} = -F$$

여기에서 μ 는 액체의 점도이고 F 는 매체에 적용된 외부의 힘이다. 그러면 용액 1제곱센티미터당 가해지는 힘은 $F=\rho E$ 와 같이 표현할 수 있다. 수학식 1 및 2로부터 다음의 수학식이 얻어진다.

수학식 3

$$\mu \frac{d^2 v_x}{dy^2} = E\epsilon\epsilon_0 \frac{d^2\varphi}{dy^2}$$

벽과의 거리를 $y=0$ 라고 가정할 때, 속도는 유한해야 하며, 적용된 전기장은 $E=E_0 \cos(\omega t)$ 로 표현할 수 있다.

수학식 4

$$v_x = \frac{\epsilon\epsilon_0 E_0 \cos(\omega t)}{\mu} \varphi(y) + C$$

수학식 4로부터 전기장을 적용했을 때 매체 내의 전하에 의해 생성되는 불안정한 흐름은 적용된 전기장의 강도, 주파수 및 액상 매체의 점도에 의존적임을 알 수 있다.

액상 폴리머의 동요에 영향을 미치는 또다른 중요한 변수는 유전영동력(dielectrophoretic force)이다. Nath와 Siddiqui에 따르면, 폴리머 사슬은 양쪽에 하전된 구슬(양극)이 후크 탄성체 스프링(elastic Hookean spring)으로 연결된 것으로 표현할 수 있다[S. Nath, R. Siddiqui, J. Chem. Phys. 1995, 103, 3212]. 거대분자들은 극소적으로 유도된 쌍극자 모멘트 및 유도된 분극으로 인하여 서로 상호작용한다. 덤벨 모양의 분자 사슬이 전기장 하에 있을 때 사슬은 유도된 쌍극자 모멘트의 사용을 통하여 전기역학적으로 상호작용한다. 사슬에 유도된 힘은 유도된 분극 모멘트(P)와 전기장 구배(5E) 사이의 상호작용에 의해 발생하는 물리학적 현상이라고 묘사할 수 있고, 따라서 전기장에 의해 유도된 힘(Fd)은 $Fd=P \cdot \nabla E$ 로 나타낼 수 있다. 여기에서 쌍극자 모멘트 P는 $\epsilon_0 \epsilon K_F(\omega)VE$ 이고 식에서 V는 부피이다. 무차원 변수(dimensionless parameter)는 $K_F(\omega)$ 로서, 분자 사슬의 서로 직교하는 축의 탈분극 인자 간의 차이이고, ω 는 적용된 주파수이다. Jones에 따르면, $KF(\omega)$ 는 저주파수 범위에서 분자 사슬과 매체 사이의 전기전도도의 차이에 매우 의존적이다. 반면, 고주파수에서는 상기 변수는 유전상수 간의 차이에 의존적이다[T. B. Jones, "Electromechanics of Particles", Cambridge University Press, Cambridge 1995]. 이러한 이론적 검토로부터 본 발명자들은 복제품의 최종 품질에 영향을 미치는 공정 변수를 추론할 수 있었다: 적용된 전기장 조건, 전기장 세기 및 주파수; 전기전도도, 액상 폴리머의 유전상수 및 점도와 같은 액상 실리콘에 관련된 변수이다.

도 2(b) 및 (d)는 동일한 전기장 강도($E=3.7\text{kV/mm}$) 하에서 주파수를 달리 했을 때 복제되는 표면 간의 차이를

보여준다. 도면과 같이 높은 주파수(200Hz)에서는 낮은 주파수(10Hz)에 비하여 복제가 좀더 선명해졌다. 본 발명의 전기장 부가 방법에서 전기전도도는 유전율과 비교해서 액상 폴리머 내에서 매우 낮다. 즉, FH는 FL보다 현저히 큰 값을 나타내는데, 여기에서 F_H 는 고주파수에 대한 유전영동력(dielectrophoretic force) F_L 은 저주파수에 대한 유전영동력이다.

[0032] 또한, 도 2(c) 및 (d)는 전기장 세기에 따른 효과를 보여준다. 수학적 식 4와 같이 불안정한 흐름은 전기장 세기에 정비례한다. 주사전자현미경 이미지를 정량적으로 분석하기는 어렵지만, 도 2(c) 및 (d)는 용액 내에서 적용된 전기장 강도가 미치는 효과를 보여준다.

[0033] 도 2와 같이, 주사전자현미경 이미지는 3차원 표면 형상에 대한 정량적 데이터를 제공하지는 않기 때문에, 본 발명자들은 표면 거칠기를 측정하기 위하여 광학 장치를 사용하였다. 표면 거칠기를 측정하기 위하여 표면측정 시험기를 이용하여 $2 \times 2\text{mm}^2$ 면적을 스캔하였다. 도 3(a)~(c)는 각각 토란 잎의 3차원 표면 형상과 일반적인 방법으로 제조한 토란 잎 복제표면, 그리고 본 발명의 전기장-나노임프린팅 방법으로 복제한 표면이다. 도면과 같이, 스캔한 토란 잎 표면 형상 이미지는 블록하고, 두 개의 복제된 표면은 오목하여 주사전자현미경 이미지와 유사하다. 스캔된 사진 데이터를 통하여 표면의 거칠기 및 홈의 깊이를 양적으로 분석할 수 있다.

[0034] 도 3(d)는 평균 표면 거칠기(R_a) 및 10점 평균 거칠기(R_z)를 나타낸다. 전기장-나노임프린팅 방법으로 얻어진 표면은 일반 나노임프린팅으로 얻어진 표면보다 평균 거칠기 값이 높았다. 또한, 일반 임프린팅으로 얻어진 표면의 홈 깊이와 전기장 부가 임프린팅으로 얻어진 표면의 홈 깊이를 원래 잎의 농이와 비교한 결과는 도 3(e)와 같이, 전기장을 가한 방법으로 얻어진 표면의 깊이는 일반 임프린팅 방법에 의하여 얻어진 것보다 더 깊었다.

[0035] 전기장-나노임프린팅 방법의 실현 가능성을 평가하기 위하여 음각된 마이크로/나노 패턴의 실리콘 표면을 접촉 각도 측정법(contact angle measurement)으로 측정하였다. 일반적으로 접촉 각도는 소수성을 측정하는 좋은 지표이다. 원판인 토란잎 표면의 접촉 각도는 $155 \pm 3.4^\circ$ 로서 높은 소수성을 나타내었다. Cassie-Baxter에 따르면, 마이크로/나노패턴 표면 내에 공기가 포집되어 있으면 물 접촉 각도를 개선시킬 수 있다고 한다. 왜냐하면 물방울이 공기 중에 적당히 자리잡을 수 있기 때문이다[A. B. D. Cassie, S. Baxter, Trans. Faraday Soc. 1944, 40, 546]. 도 4는 일반 나노임프린팅과 전기장-나노임프린팅으로 제조한 표면의 물 접촉 각도를 나타낸다. 일반 나노임프린팅 및 전기장-나노임프린팅에 의한 폴리머 복제물의 물 접촉 각도 값은 각각 $118 \pm 4.7^\circ$ 및 $135 \pm 5.3^\circ$ 였다. 참고값으로서, 마이크로/나노 패턴 표면이 없는 동일한 폴리머의 매끄러운 표면의 물 접촉 각도는 $96 \pm 2.2^\circ$ 였다. 이 현상은 일반 나노임프린팅과 전기장-나노임프린팅 방법으로 같은 재료를 복제하였지만 제조된 복제물의 표면 형태가 다를 수 있음을 말해준다. 도 2와 같이, 폴리머의 마이크로 및 나노 패턴 표면은 전기장을 가한 방법에서 더욱 잘 복제되었고, 폴리머의 소수성도 더욱 증가하였다. 이러한 결과로부터 전기장-나노임프린팅 방법은 나노임프린팅을 개선하는 좋은 방법이며, 마이크로/나노 크기의 구조를 복제하는데 유용함을 알 수 있다.

[0036] 요약하면, 본 발명은 초소수성인 토란 잎을 복제함에 있어서 종래의 마이크로/나노임프린팅 방법에 전기장을 부가한 것이다. 전체 공정은 단순히 교류 전기장을 가하여 불안정한 흐름을 유도하고, 이러한 전기장 조건 하에서 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 고화 또는 경화하는 것이다. 토란 잎의 육각형 모양 및 나노 크기의 윤곽선과 같은 미세 패턴은 종래의 마이크로/나노임프린팅에 비하여 전기장을 가했을 때 더욱 선명하게 복제되었다. 전기장-나노임프린팅에 의하여 생성된 거칠기는 일반 마이크로/나노임프린팅 방법에 의한 것보다 약 45% 향상되었다. 즉, 고품질의 마이크로/나노구조의 표면 복제품을 얻기 위해서는 적절한 전기장 조건 및 고주파가 필요하고, 전기영동 및 유전영동과 같은 전기역학적 현상으로 인하여 생성되는 불안정한 흐름을 강화하기 위한 전기장의 강도가 필요하다. 종래 마이크로/나노임프린팅 기술을 개선하는 것으로서, 본 발명의 교류 전기장을 부가한 나노임프린팅 기술은 마이크로 또는 나노크기의 구조를 복제하거나 제조함에 있어서 매우 유용하다.

도면의 간단한 설명

[0037] 도 1(a)는 본 발명의 전기장-나노임프린팅 기술을 도식화한 것이고, 도 1(b)는 각기 다른 배율의 토란 잎 표면 주사전자현미경 이미지이다.

[0038] 도 2(a)는 일반 나노임프린팅 방법으로 제조한 토란 잎 복제 실리콘 표면의 주사전자현미경 사진이다. 도 2(b), (c), (d)는 각각 전기장 강도와 주파수를 달리하여 복제 실리콘 표면을 주사전자현미경 촬영한 것이다: (b)는 전기장 강도 3.7kV/mm 및 주파수 10Hz , (c) 0.5kV/mm 및 200Hz , (d) 3.7kV/mm 및 200Hz . 작은 사진은 확대

대된 이미지이다.

[0039] 도 3(a)는 토란잎의 3차원 표면 형태이고, 3(b)는 일반 나노임프린팅으로 제조한 복제 실리콘 시트의 표면 형태, 3(c)는 본 발명의 전기장-나노임프린팅 방법으로 제조한 복제 실리콘 시트의 표면 형태이다. 3(d)는 토란 잎, 일반 나노임프린팅 복제물 및 전기장-나노임프린팅 복제물의 평균 거칠기 데이터 Ra 및 Rz이고, (e)는 토란 잎 표면의 마이크로 크기의 둔덕의 높이 및 일반 나노임프린팅과 전기장-나노임프린팅에 의한 복제물 상의 홀 깊이이다.

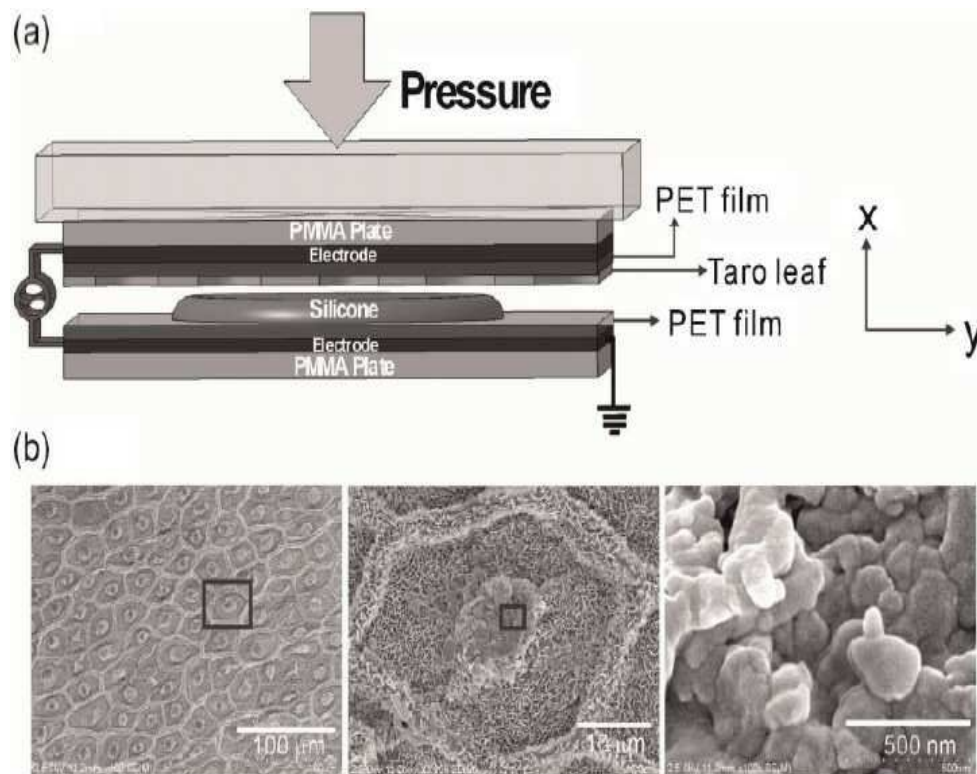
[0040] 도 4(a)는 일반 나노임프린팅으로 제조된 표면의 물방울이고, 4(b)는 전기장-나노임프린팅으로 제조된 표면의 물방울이다.

[0041] 도 5는 하나의 평면에 다수 개의 양 전극을 위치시키고, 상기 양 전극 사이에 주파수 50Hz 이상, 전기장 강도 0.1kV/mm 이상의 교류 전기장을 형성하고, 상기 형성된 교류 전기장 내에 복제 대상 원본과 고화 또는 경화가 가능한 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 위치시키며, 상기 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머와 복제 대상 원본이 맞닿도록 가압한 후 상기 액상 폴리머 또는 저점도 폴리머를 고화 또는 경화시키는 본 발명의 다른 실시예에 의한 방법을 도식화한 것이다. 여기에서는 전극이 놓인 평면 측에 폴리머를 위치시키고 그 위에 복제 대상 원본을 놓아 가압하였다.

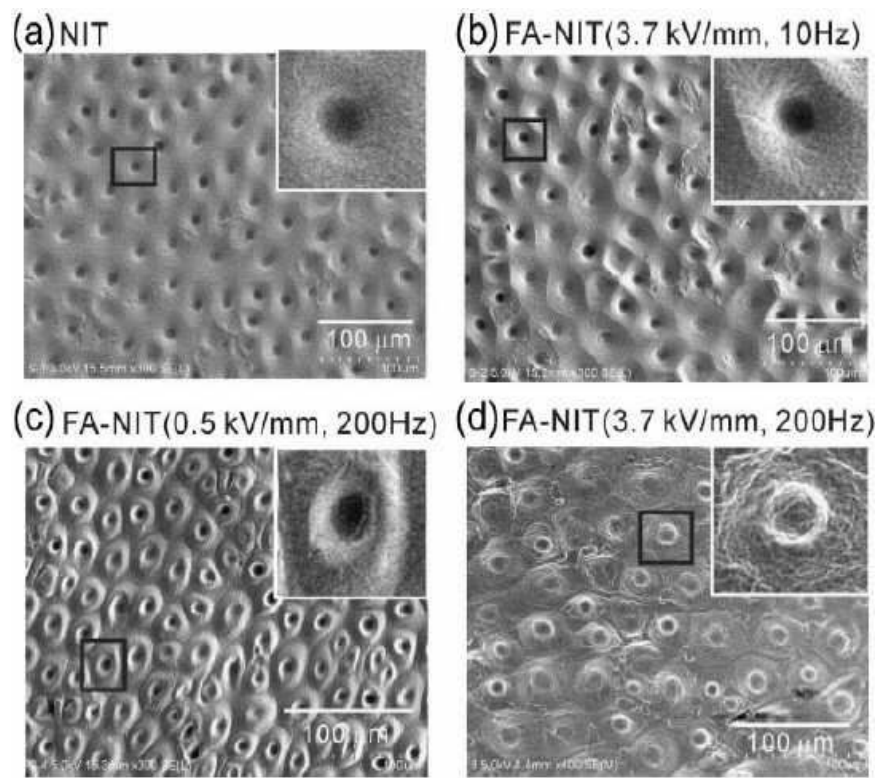
[0042] 도 6은 도 5와 개념은 동일하며 다만, 전극이 놓인 평면 측에 복제 대상 원본을 놓고, 그 위에 폴리머를 놓아 가압하였다.

도면

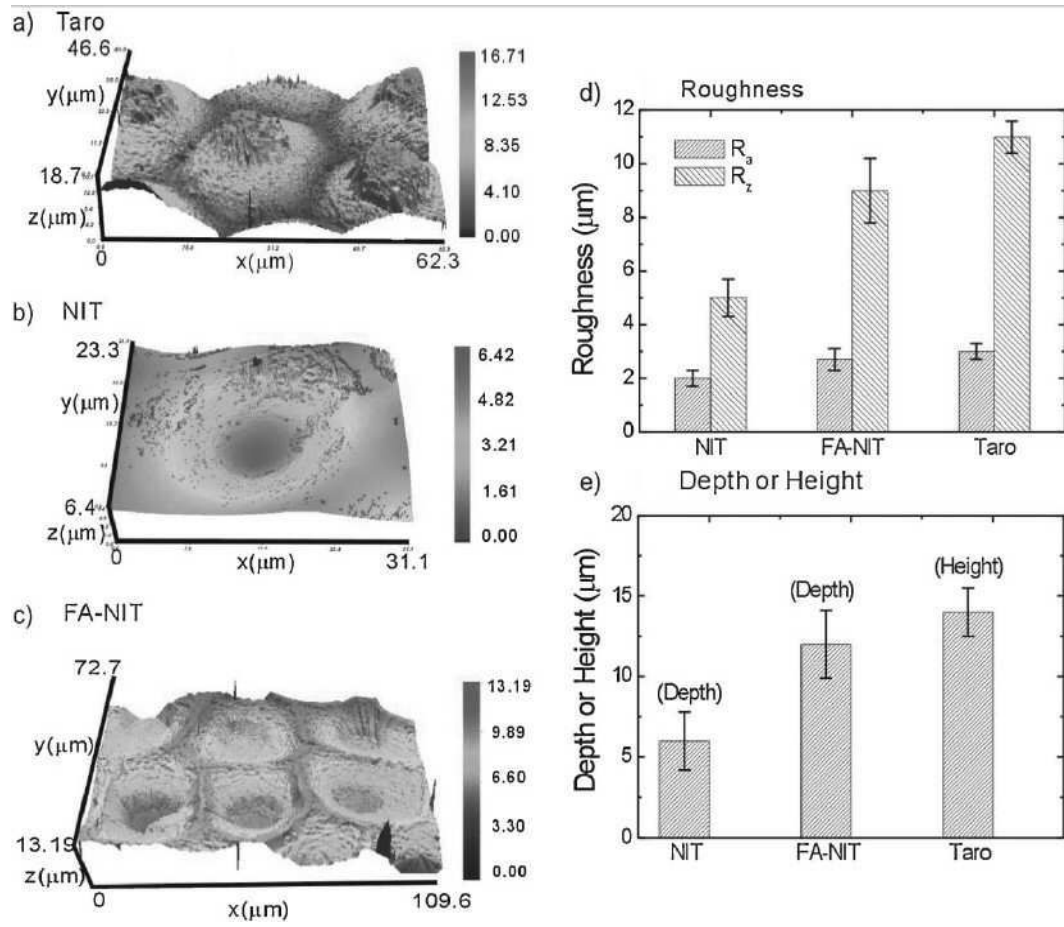
도면1



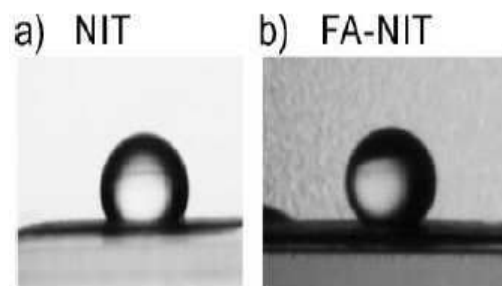
도면2



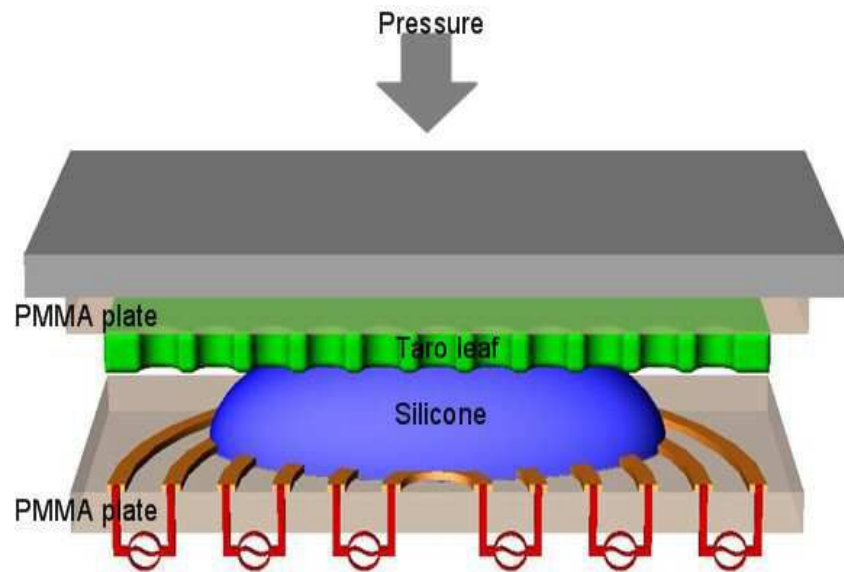
도면3



도면4



도면5



도면6

