



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0093292
(43) 공개일자 2020년08월05일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/67 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)
H01L 21/311 (2006.01) H01L 21/3213 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
H01L 21/67075 (2013.01)
H01L 21/027 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2019-0010576
(22) 출원일자 2019년01월28일
심사청구일자 2019년01월28일</p> | <p>(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50</p> <p>(72) 발명자
김태성
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
배주열
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50</p> <p>(74) 대리인
전용준</p> |
|--|--|

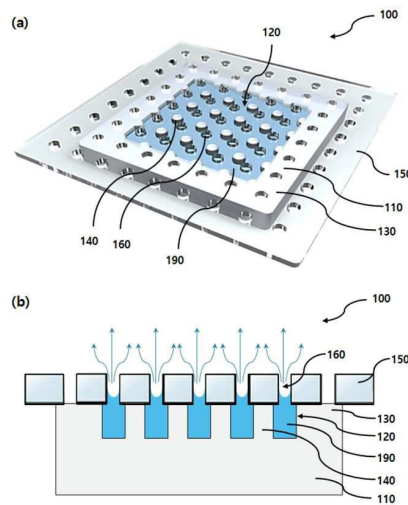
전체 청구항 수 : 총 30 항

(54) 발명의 명칭 액체매개 패턴형성장치, 그 제조 방법, 이를 이용한 액체매개 패턴 형성 방법 및 액체매개 패턴

(57) 요약

본 발명은, 다양한 물질에 적용가능하고, 높은 생산성과 경제성을 가지는 액체매개 패턴형성장치를 제공한다. 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치는, 증발대상액체를 수용하는 액체수용부; 및 상기 액체수용부 상에 배치되고, 상기 증발대상액체가 증발하여 액체매개 패턴이 형성되는 패턴형성부;를 포함하는 액체매개 패턴형성장치로서, 상기 액체수용부는, 상기 증발대상액체를 수용하는 함몰영역을 구비하도록 둘러싸는 외벽부재; 및 상기 함몰영역 내에 배치되는 복수의 기동부재들;을 포함하고, 상기 패턴형성부는, 상기 기동부재들 사이에 배치된 복수의 관통구멍들을 구비한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 21/31111 (2013.01)

H01L 21/32134 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711067858

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)

연구과제명 나노 패터닝을 위한 “크랙-포토리소그래피” 공정기술 개발

기 여 율 1/2

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711065952

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 집단연구지원(R&D)

연구과제명 급속·정밀 냉각 기반 신경 신호전달 모델링 및 제어 기초연구실

기 여 율 1/2

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

증발대상액체를 수용하는 액체수용부; 및

상기 액체수용부 상에 배치되고, 상기 증발대상액체가 증발하여 액체매개 패턴이 형성되는 패턴형성부;를 포함하는 액체매개 패턴형성장치로서,

상기 액체수용부는, 상기 증발대상액체를 수용하는 함몰영역을 구비하도록 둘러싸는 외벽부재; 및 상기 함몰영역 내에 배치되는 복수의 기둥부재들;을 포함하고,

상기 패턴형성부는, 상기 기둥부재들 사이에 배치된 복수의 관통구멍들을 구비하는, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 기둥부재들은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열된, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 기둥부재들로 이루어진 상기 단위 다각형은 연속적으로 배열되어 상기 함몰영역 전체에 걸쳐서 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 관통부재들은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열된, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 관통구멍들로 이루어진 상기 단위 다각형은 연속적으로 배열되어 상기 함몰영역 전체에 걸쳐서 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

네 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 사각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

여덟 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 사각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되고, 상기 관통구멍은 중첩되어 배치된 기둥부재에 비하여 큰 직경을 가지는, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

여섯 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

네 개의 상기 기둥부재들과 상기 액체매개 패턴의 두 개의 서로 마주보는 교차점들이 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 10

청구항 1에 있어서,

여섯 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되고, 상기 관통구멍은 중첩되어 배치된 기둥부재에 비하여 큰 직경을 가지는, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

세 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 삼각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 12

청구항 1에 있어서,

세 개의 상기 기둥부재들과 상기 액체매개 패턴의 세 개의 교차점들이 서로 교번하여 배열되어 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 13

청구항 1에 있어서,

여섯 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 삼각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

청구항 14

청구항 1에 있어서,

상기 기둥부재들의 반경(r_p)은 하기의 식에 의하여 도출된 상기 기둥부재들의 이상적인 반경(r_i)에 비하여 큰 값을 가지는, 액체매개 패턴형성장치.

$$r_i / (d/2 + r_p) = \sec(\theta/2) - \tan(\theta/2)$$

여기에서, d 는 상기 기둥부재들 사이의 거리이고, θ 는 상기 기둥부재들의 배열을 구성하는 다각형의 각도이다.

청구항 15

기관 상에 돌출부들과 주형구를 포함하는 몰드주형부재를 부착하는 단계;

상기 주형구를 통하여 상기 몰드주형부재의 내부 공간에 액상물질을 주입하는 단계;

상기 액상물질을 경화시켜 패턴형성부를 형성하는 단계;

상기 몰드주형부재로부터 상기 패턴형성부를 분리하여, 이에 따라 상기 패턴형성부에 관통구멍들이 형성되는 단계; 및

상기 패턴형성부를 기둥부재들을 포함하는 액체수용부 상에 배치하는 단계;를 포함하는, 액체매개 패턴형성장치의 제조방법.

청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 몰드주형부재를 부착하는 단계는 상기 기관을 플라즈마 처리하여 이루어지는, 액체매개 패턴형성장치의 제조방법.

청구항 17

청구항 15에 있어서,

상기 패턴형성부를 형성하는 단계는, 상기 액상물질을 광 조사하여 경화시켜 이루어지는, 액체매개 패턴형성장치의 제조방법.

청구항 18

청구항 15에 있어서,

상기 관통구멍들이 형성되는 단계는,

상기 몰드주형부재의 최외각 영역을 절단 부재를 이용하여 절단하는 단계;

상기 몰드주형부재에 인력을 작용하여 상기 패턴형성부로부터 분리하는 단계; 및

상기 몰드주형부재의 상기 돌출부들이 위치한 자리에 상기 관통구멍들이 형성되는 단계;를 포함하는, 액체매개 패턴형성장치의 제조방법.

청구항 19

기둥부재들을 포함하는 액체수용부에 증발대상액체를 주입하는 단계;

상기 액체수용부 상에 배치된 패턴형성부에 구비된 관통구멍들을 통하여 상기 증발대상액체가 증발하는 단계;

상기 증발대상액체가 증발하면서, 상기 액체수용부와 접촉하는 상기 패턴형성부의 하측면에 상기 관통구멍들 각각의 주위를 둘러싸는 액체-공기 계면들 각각이 형성되는 단계;

상기 증발대상액체가 증발하면서, 상기 관통구멍들 각각으로부터 멀어지는 방향으로 상기 액체-공기 계면들 각각이 확장하는 단계; 및

상기 액체-공기 계면들이 확장하여 서로 접촉하고, 상기 기둥부재들에 의하여 고정되어, 액체매개 패턴을 형성하는 단계;를 포함하는, 액체매개 패턴의 형성방법.

청구항 20

청구항 19에 있어서,

상기 증발대상액체를 주입하는 단계는, 상기 패턴형성부의 상측면에 상기 증발대상액체를 주입하고, 상기 증발대상액체가 상기 관통구멍들을 통과하여 상기 액체수용부 내로 투입되어 이루어지는, 액체매개 패턴의 형성방법.

청구항 21

청구항 19에 있어서,

상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계는, 상기 액체매개 패턴에 의하여 상기 증발대상액체에 포함된 용질이 갇히게 되고, 상기 액체매개 패턴의 형상에 따라 상기 용질이 자기조립되는, 액체매개 패턴의 형성방법.

청구항 22

청구항 19에 있어서,

상기 증발대상액체는 폴리스틸렌 나노입자, 폴리비닐알코올, 폴리아크릴산, 또는 텍스트란을 포함하는, 액체매개 패턴의 형성방법.

청구항 23

청구항 제19항 내지 청구항 제22항 중의 한 항에 따른 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성된 액체매개 패

턴으로서,

상기 액체매개 패턴은 200 nm 내지 10 μ m 범위의 폭을 가지고, 산마루 형상의 단면을 가지고, 직선 거리 50 μ m 내지 100 μ m 범위의 길이를 가지는 단일 입자 배열 또는 복수 입자 배열로 정렬된, 액체매개 패턴.

청구항 24

액체수용부에 제1 물질을 포함하는 제1 증발대상액체를 주입하는 단계;

상기 액체수용부 상에 배치된 패턴형성부에 구비된 관통구멍들을 통하여 상기 제1 증발대상액체가 증발하여, 상기 패턴형성부에 제1 액체매개 패턴을 형성하는 단계;

상기 액체수용부에 상기 제1 물질과는 다른 제2 물질을 포함하는 제2 증발대상액체를 주입하는 단계; 및

상기 관통구멍들을 통하여 상기 제2 증발대상액체가 증발하여, 상기 패턴형성부에 형성된 상기 제1 액체매개 패턴 상에 제2 액체매개 패턴을 형성하여 이중 액체매개 패턴을 형성하는 단계;를 포함하는, 액체매개 패턴의 형성방법.

청구항 25

청구항 제24항에 따른 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성된 액체매개 패턴으로서,

상기 액체매개 패턴은, 제1 직경을 가지는 상기 제1 물질을 포함하는 상기 제1 액체매개 패턴에 의하여 형성된 코어; 및 상기 코어를 덮고 상기 제1 직경에 비하여 작은 제2 직경을 가지는 상기 제2 물질을 포함하는 상기 제2 액체매개 패턴에 의하여 형성된 셸;을 포함하는 구조를 가지는 액체매개 패턴.

청구항 26

액체수용부에 제3 물질을 포함하는 제3 증발대상액체를 주입하는 단계;

상기 액체수용부 상에 배치된 제3 패턴형성부에 구비된 제3 관통구멍들을 통하여 상기 제3 증발대상액체가 증발하여, 상기 제3 패턴형성부에 제3 액체매개 패턴을 형성하는 단계;

상기 제3 패턴형성부를 제거하고, 상기 액체수용부 상에 상기 제3 관통구멍들과는 다른 배열로 배치된 제4 관통구멍들을 구비한 제4 패턴형성부를 배치하는 단계;

상기 액체수용부에 제4 물질을 포함하는 제4 증발대상액체를 주입하는 단계;

상기 제4 관통구멍들을 통하여 상기 제4 증발대상액체가 증발하여, 상기 제4 패턴형성부에 제4 액체매개 패턴을 형성하는 단계; 및

상기 제3 액체매개 패턴과 상기 제4 액체매개 패턴을 중첩하여 복합 형상을 가지는 액체매개 패턴을 형성하는 단계;를 포함하는, 액체매개 패턴의 형성방법.

청구항 27

액체수용부에 주입된 증발대상액체가 상기 액체수용부 상에 배치된 패턴형성부에 구비된 관통구멍들을 통하여 증발하여, 상기 패턴형성부에 액체매개 패턴을 형성하는 단계;

상기 액체매개 패턴 상에 광을 조사하여, 상기 액체매개 패턴의 조사된 영역을 변형시켜 기록된 액체매개 패턴을 형성하는 단계;

상기 패턴형성부를 상기 액체수용부로부터 분리하는 단계; 및

상기 액체수용부에서 상기 기록된 액체매개 패턴을 취득하는 단계;를 포함하는, 액체매개 패턴 기록방법.

청구항 28

청구항 27에 있어서,

상기 액체매개 패턴의 조사된 영역을 변형시켜 기록된 액체매개 패턴을 형성하는 단계는, 상기 광의 조사에 의하여 상기 액체매개 패턴을 구성하는 물질을 광 가교 결합시켜 이루어지거나, 또는 상기 광의 조사에 의하여 상기 액체매개 패턴의 일부를 제거하여 이루어지는, 액체매개 패턴 기록방법.

청구항 29

청구항 27에 있어서,

상기 기록된 액체매개 패턴의 기계적 강도가 상기 기록된 액체매개 패턴과 상기 패턴형성부 사이의 접촉력에 비하여 큰 경우에는, 상기 기록된 액체매개 패턴은, 공중 부유형 와이어를 가지는 3 차원 구조물을 형성하는, 액체매개 패턴 기록방법.

청구항 30

청구항 27에 있어서,

상기 기록된 액체매개 패턴의 기계적 강도가 상기 기록된 액체매개 패턴과 상기 패턴형성부 사이의 접촉력에 비하여 작은 경우에는, 상기 패턴형성부의 분리에 따라 상기 기록된 액체매개 패턴이 함께 분리되어 2 차원 구조물을 형성하는, 액체매개 패턴 기록방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 기술적 사상은 패턴 형성 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 액체매개 패턴형성장치, 그 제조 방법, 이를 이용한 액체매개 패턴 형성 방법, 및 액체매개 패턴에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전자 장치를 형성하기 위하여는 다양한 물질 패턴을 형성할 필요가 있다. 이러한 물질 패턴 형성 방식에는 탑-다운(Top-down) 방식과 바텀-업(Bottom-up) 방식이 있다.

[0003] 상기 탑-다운 방식은 물질을 제거하는 방식으로, 반도체 공정에 일반적으로 사용하는 포토 리소그래피 기술 등이 포함된다. 상기 탑-다운 방식의 장점으로는 마이크로/나노 크기와 같은 미세 크기에서의 제어가 수월하고, 패턴을 원하는 곳에 용이하게 위치시킬 수 있는 정밀성과 장기간의 반도체 공정 기술 발전에 따른 대중성이 있다. 상기 탑-다운 방식의 단점으로는 노광, 식각, 증착 등과 같이 많은 일련의 공정을 수행하여야 하는 복잡성과 제조 공정에서 산 물질이나 염기 물질을 필요로 하고 고온 및 고압을 필요로 하는 위험성과 패턴을 위하여 이용 가능한 물질이 상당히 제한적인 제한성이 있다.

[0004] 상기 액체 기반 바텀-업 방식을 물질을 축적하여 쌓아올리는 방식으로, 스핀 코팅이나 딥 코팅 기술 등이 포함된다. 상기 액체 기반 바텀-업 방식의 장점으로는, 가혹하지 않은 제조 환경 하에 수행될 수 있으므로, 유기 물질, 나노 물질, 양자 점 물질, 바이오 물질 등 다양한 물질의 패터닝이 가능한 다양성과 제조 장치의 구성이 상대적으로 간단하므로, 경제성과 간편성이 있다. 상기 액체 기반 바텀-업 방식의 단점으로는, 아직은 실제 산업 환경에서 폭넓게 사용되지 못하는 연구 단계이며, 미세 크기에서 액체 조작 기술의 부재한 문제점이 있다.

[0005] 또한, 액체 매개 패터닝 기술로는, 미세 크기의 홈이 형성된 도장을 찍는 방식인 스탬핑 방식이 있으나, 나노 크기의 패턴을 형성하는 경우 도장의 제조 가격이 기하 급수적으로 증가되는 한계가 있다. 또한, 두 기판 사이 표면 장력에 의해 생성된 공기-액체 계면의 나노 치수를 이용한 나노입자 패터닝 기술이 있으나, 단일 계면 제어에 의한 대면적 처리가 어려운 한계가 있다.

[0006] 따라서, 다양한 물질에 적용가능하고, 높은 생산성과 경제성을 가지는 물질 패턴 형성기술이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국특허공개번호 제10-2018-0009240호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 기술적 사상이 이루고자 하는 기술적 과제는 다양한 물질에 적용가능하고, 높은 생산성과 경제성을 가지는 액체매개 패턴형성장치, 그 제조 방법, 이를 이용한 액체매개 패턴 형성 방법, 및 액체매개 패턴을 제공 하는 것이다.

[0009] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치는, 증발대상액체를 수용하는 액체수용부; 및 상기 액체수용부 상에 배치되고, 상기 증발대상액체가 증발하여 액체매개 패턴이 형성되는 패턴형성부;를 포함하는 액체매개 패턴형성장치로서, 상기 액체수용부는, 상기 증발대상액체를 수용하는 함몰영역을 구비하도록 둘러싸는 외벽부재; 및 상기 함몰영역 내에 배치되는 복수의 기둥부재들;을 포함하고, 상기 패턴형성부는, 상기 기둥부재들 사이에 배치된 복수의 관통구멍들을 구비할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 기둥부재들은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 기둥부재들로 이루어진 상기 단위 다각형은 연속적으로 배열되어 상기 함몰영역 전체에 걸쳐서 배치될 수 있다.

[0013] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 관통부재들은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열될 수 있다.

[0014] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 관통구멍들로 이루어진 상기 단위 다각형은 연속적으로 배열되어 상기 함몰영역 전체에 걸쳐서 배치될 수 있다.

[0015] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 네 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 사각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다.

[0016] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 여덟 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 사각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되고, 상기 관통구멍은 중첩되어 배치된 기둥부재에 비하여 큰 직경을 가질 수 있다.

[0017] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 여섯 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다.

[0018] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 네 개의 상기 기둥부재들과 상기 액체매개 패턴의 두 개의 서로 마주보는 교차점들이 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다.

[0019] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 여섯 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되고, 상기 관통구멍은 중첩되어 배치된 기둥부재에 비하여 큰 직경을 가질 수 있다.

[0020] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 세 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 삼각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다.

[0021] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 세 개의 상기 기둥부재들과 상기 액체매개 패턴의 세 개의 교차점들이 서로 교번하여 배열되어 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다.

[0022] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 여섯 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 삼각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다.

[0023] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 기둥부재의 높이는 상기 함몰영역의 깊이와 동일하거나 또는 더 클 수 있다.

[0024] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 기둥부재들의 반경(r_p)은 하기의 식에 의하여 도출된 상기 기둥부재들의 이상적인 반경(r_i)에 비하여 큰 값을 가질 수 있다.

$$r_i / (d/2 + r_p) = \sec (\theta/2) - \tan (\theta/2)$$

[0026] 여기에서, d는 상기 기둥부재들 사이의 거리이고, θ 는 상기 기둥부재들의 배열을 구성하는 다각형의 각도이다.

[0027] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치의 제조방법은, 기판

상에 돌출부들과 주형구를 포함하는 몰드주형부재를 부착하는 단계; 상기 주형구를 통하여 상기 몰드주형부재의 내부 공간에 액상물질을 주입하는 단계; 상기 액상물질을 경화시켜 패턴형성부를 형성하는 단계; 상기 몰드주형부재로부터 상기 패턴형성부를 분리하여, 이에 따라 상기 패턴형성부에 관통구멍들이 형성되는 단계; 및 상기 패턴형성부를 기둥부재들을 포함하는 액체수용부 상에 배치하는 단계;를 포함한다.

[0028] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 몰드주형부재를 부착하는 단계는 상기 기판을 플라즈마 처리하여 이루어질 수 있다.

[0029] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 패턴형성부를 형성하는 단계는, 상기 액상물질을 광 조사하여 경화시켜 이루어질 수 있다.

[0030] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 관통구멍들이 형성되는 단계는, 상기 몰드주형부재의 최외각 영역을 절단 부재를 이용하여 절단하는 단계; 상기 몰드주형부재에 인력을 작용하여 상기 패턴형성부로부터 분리하는 단계; 및 상기 몰드주형부재의 상기 돌출부들이 위치한 자리에 상기 관통구멍들이 형성되는 단계;를 포함할 수 있다.

[0031] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴의 형성방법은, 기둥부재들을 포함하는 액체수용부에 증발대상액체를 주입하는 단계; 상기 액체수용부 상에 배치된 패턴형성부에 구비된 관통구멍들을 통하여 상기 증발대상액체가 증발하는 단계; 상기 증발대상액체가 증발하면서, 상기 액체수용부와 접촉하는 상기 패턴형성부의 하측면에 상기 관통구멍들 각각의 주위를 둘러싸는 액체-공기 계면들 각각이 형성되는 단계; 상기 증발대상액체가 증발하면서, 상기 관통구멍들 각각으로부터 멀어지는 방향으로 상기 액체-공기 계면들 각각이 확장하는 단계; 및 상기 액체-공기 계면들이 확장하여 서로 접촉하고, 상기 기둥부재들에 의하여 고정되어, 액체매개 패턴을 형성하는 단계;를 포함한다.

[0032] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 증발대상액체를 주입하는 단계는, 상기 패턴형성부의 상측면에 상기 증발대상액체를 주입하고, 상기 증발대상액체가 상기 관통구멍들을 통과하여 상기 액체수용부 내로 투입되어 이루어질 수 있다.

[0033] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계는, 상기 액체매개 패턴에 의하여 상기 증발대상액체에 포함된 용질이 갇히게 되고, 상기 액체매개 패턴의 형상에 따라 상기 용질이 자기조립될 수 있다.

[0034] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 증발대상액체는 폴리스틸렌 나노입자, 폴리비닐알코올, 폴리아크릴산, 또는 텍스트란을 포함할 수 있다.

[0035] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴은 상술한 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성된 액체매개 패턴으로서, 상기 액체매개 패턴은 200 nm 내지 10 μ m 범위의 폭을 가지고, 산마루 형상의 단면을 가지고, 직선 거리 50 μ m 내지 100 μ m 범위의 길이를 가지는 단일 입자 배열 또는 복수 입자 배열로 정렬된다.

[0036] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴의 형성방법은, 액체수용부에 제1 물질을 포함하는 제1 증발대상액체를 주입하는 단계; 상기 액체수용부 상에 배치된 패턴형성부에 구비된 관통구멍들을 통하여 상기 제1 증발대상액체가 증발하여, 상기 패턴형성부에 제1 액체매개 패턴을 형성하는 단계; 상기 액체수용부에 상기 제1 물질과는 다른 제2 물질을 포함하는 제2 증발대상액체를 주입하는 단계; 및 상기 관통구멍들을 통하여 상기 제2 증발대상액체가 증발하여, 상기 패턴형성부에 형성된 상기 제1 액체매개 패턴 상에 제2 액체매개 패턴을 형성하여 이중 액체매개 패턴을 형성하는 단계;를 포함한다.

[0037] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴은 상술한 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성된 액체매개 패턴으로서, 상기 액체매개 패턴은, 제1 직경을 가지는 상기 제1 물질을 포함하는 상기 제1 액체매개 패턴에 의하여 형성된 코어; 및 상기 코어를 덮고 상기 제1 직경에 비하여 작은 제2 직경을 가지는 상기 제2 물질을 포함하는 상기 제2 액체매개 패턴에 의하여 형성된 셸;을 포함하는 구조를 가진다.

[0038] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴의 형성방법은, 액체수용부에 제3 물질을 포함하는 제3 증발대상액체를 주입하는 단계; 상기 액체수용부 상에 배치된 제3 패턴형성부에 구비된 제3 관통구멍들을 통하여 상기 제3 증발대상액체가 증발하여, 상기 제3 패턴형성부에 제3 액체매개 패턴을 형성하는 단계; 상기 제3 패턴형성부를 제거하고, 상기 액체수용부 상에 상기 제3 관통구멍들과는 다른 배열로

배치된 제4 관통구멍들을 구비한 제4 패턴형성부를 배치하는 단계; 상기 액체수용부에 제4 물질을 포함하는 제4 증발대상액체를 주입하는 단계; 상기 제4 관통구멍들을 통하여 상기 제4 증발대상액체가 증발하여, 상기 제4 패턴형성부에 제4 액체매개 패턴을 형성하는 단계; 및 상기 제3 액체매개 패턴과 상기 제4 액체매개 패턴을 중첩하여 복합 형상을 가지는 액체매개 패턴을 형성하는 단계;를 포함한다.

[0039] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴은 상술한 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성된 액체매개 패턴으로서, 상기 액체매개 패턴은, 상기 제3 물질을 포함하고 제3 배열을 가지는 상기 제3 액체매개 패턴; 및 상기 제4 물질을 포함하고 상기 제3 액체매개 패턴 상에 배치되고 상기 제3 배열과는 다른 제4 배열을 가지는 상기 제4 액체매개 패턴;을 포함하고, 상기 제3 액체매개 패턴과 상기 제4 액체매개 패턴이 중첩되어 형성된 복합 형상을 가진다.

[0040] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴 기록방법은, 액체수용부에 주입된 증발대상액체가 상기 액체수용부 상에 배치된 패턴형성부에 구비된 관통구멍들을 통하여 증발하여, 상기 패턴형성부에 액체매개 패턴을 형성하는 단계; 상기 액체매개 패턴 상에 광을 조사하여, 상기 액체매개 패턴의 조사된 영역을 변형시켜 기록된 액체매개 패턴을 형성하는 단계; 상기 패턴형성부를 상기 액체수용부로부터 분리하는 단계; 및 상기 액체수용부에서 상기 기록된 액체매개 패턴을 취득하는 단계;를 포함한다.

[0041] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 액체매개 패턴의 조사된 영역을 변형시켜 기록된 액체매개 패턴을 형성하는 단계는, 상기 광의 조사에 의하여 상기 액체매개 패턴을 구성하는 물질을 광 가교 결합시켜 이루어지거나, 또는 상기 광의 조사에 의하여 상기 액체매개 패턴의 일부를 제거하여 이루어질 수 있다.

[0042] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 기록된 액체매개 패턴의 기계적 강도가 상기 기록된 액체매개 패턴과 상기 패턴형성부 사이의 접촉력에 비하여 큰 경우에는, 상기 기록된 액체매개 패턴은, 공중 부유형 와이어를 가지는 3 차원 구조물을 형성할 수 있다.

[0043] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 기록된 액체매개 패턴의 기계적 강도가 상기 기록된 액체매개 패턴과 상기 패턴형성부 사이의 접촉력에 비하여 작은 경우에는, 상기 패턴형성부의 분리에 따라 상기 기록된 액체매개 패턴이 함께 분리되어 2 차원 구조물을 형성할 수 있다.

발명의 효과

[0044] 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치는, 액체의 증발 현상을 이용하여 다양한 액체매개 패턴을 형성한다. 액체 내의 물질들은 형상 변형과 액체 증발을 통하여 패턴을 형성하거나 구조를 형성할 수 있고, 이에 따라 특히 마이크로 크기 및 나노 크기와 같이 미세한 크기에서 특유의 특성들 및 외적 성능을 나타낼 수 있다. 그러나, 이러한 구조들 또는 패턴들을 형성하는 것이 제조 기술의 한계에 의하여 제한되어 왔다. 본 발명의 기술적 사상에 따르면, 미세한 크기의 기둥부재들 사이에 증발성 액체를 고정하고, 관통구멍들을 포함하는 멤브레인들에 의하여 액체-공기 계면들을 제어할 수 있고, 이에 따라, 다양한 물질들을 포함하는 액체를 원하는 복잡하고 다양한 크기의 네트워크된 액체매개 패턴들로 형성하는 새로운 마이크로 유동/나노 유동 액체 매개 패턴 기술 제공한다.

[0045] 또한, 물질들 사이의 계면 힘을 제어하거나 또는 종래의 자외선 기술을 결합하여, 다양한 액체 매개 물질들로부터 형상화된 액체가 물질들의 영구 구조들이나 패턴들을 형성할 수 있다. 상기 마이크로 유동/나노 유동 액체-매개 패턴 기술은 반복 수행하여, 유연 기판 상에 3 차원 구조들을 포함하여, 다중의 이중 물질 패턴들을 순차적으로 중첩시킬 수 있다. 상기 마이크로 유동/나노 유동 액체-매개 패턴 기술은 현재의 제조 기술들에 의하여 얻을 수 없는 물질 제조의 새로운 방법을 제시할 수 있다.

[0046] 또한, 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치는, 저렴하고, 높은 생산성을 가지며, 대면적이 가능하고, 다양한 기능성 물질을 사용할 수 있는 나노 물질패터닝을 구현할 수 있다. 이러한 액체매개 패턴형성장치는, 유연 반도체 소자, 투명 디스플레이, 투명전극, 나노선 기반의 FET 센서, 나노유동 장치, DNA 분석 장치, 나노입자 분리 장치, 화학 생화학 분석 장비 등에 적용될 수 있다.

[0047] 상술한 본 발명의 효과들은 예시적으로 기재되었고, 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0048] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 도시한다.

도 2 및 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치의 제조방법을 도시하는 흐름도들이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴의 형성방법을 도시하는 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 제조하는 방법을 도시하는 개략도들이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴의 형성 과정을 시간에 따라 도시하는 현미경 사진들이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴을 확대하여 도시하는 주사전자현미경 사진들이다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴에 대한 기둥부재들 사이의 거리의 영향을 나타내는 도면들이다.

도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴에 대한 기둥부재의 반경의 영향을 나타내는 도면들이다.

도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴에 대한 상대습도의 영향을 나타내는 도면들이다.

도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 다양한 형상의 액체매개 패턴을 나타내는 도면들이다.

도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 이종 물질을 포함하는 액체매개 패턴의 형성방법을 도시하는 흐름도이다.

도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 도 12의 액체매개 패턴형성방법을 이용하여 형성한 이종 액체매개 패턴을 나타내는 도면들이다.

도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 복합 형상을 가지는 액체매개 패턴의 형성방법을 도시하는 흐름도이다.

도 15는 본 발명의 일실시예에 따른 도 14의 액체매개 패턴형성방법을 이용하여 형성한 복합형상 액체매개 패턴을 나타내는 도면들이다.

도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴 기록방법을 도시하는 흐름도이다.

도 17은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용한 액체매개 패턴형성방법과 직접 기록법을 접목한 방법을 나타내는 도면들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0049] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 기술적 사상을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 기술적 사상의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 기술적 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 본 명세서에서 동일한 부호는 시종 동일한 요소를 의미한다. 나아가, 도면에서의 다양한 요소와 영역은 개략적으로 그려진 것이다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상은 첨부한 도면에 그려진 상대적인 크기나 간격에 의해 제한되지 않는다.

[0050] 일반적으로, 액체는 외부에서 인가되는 전단 응력 등에 의하여 계속적으로 변형될 수 있다. 이와 반대로, 적절하게 외부 힘을 인가하거나 또는 물리 화학적인 제한을 가하면, 액체의 형상을 원하는 방식으로 변경시킬 수 있다. 액상 물질들을 원하는 위치에 침전시키기 위하여 액체를 형상화하는 것은 역사적으로도 현실적이고 잘 알려진 시도이다. 예를 들어, 액상 잉크에 포함된 안료를 침전시켜 형상을 만드는 방법으로 동양 붓을 사용한 전통 서예가 있다. 이러한 시도들에서, 형상화된 액체는 포함된 액상 물질들을 원하는 위치들에 고정하는 형판으로서 기능할 수 있다. 흥미롭게는, 예를 들어 인쇄와 같은 액체-매개 패턴링 등의 초창기의 중요한 발명들은 문명 발달에 영향을 주어왔고, 여전히 많은 인쇄 방법들이 산업 현장에서 광범위하게 사용되고 있으며, 최근에는 전자 장치들 및 광전자 장치들에도 적용되는 기술이 개발되었다.

[0051] 최근, 소프트-리소그래피와 같은 마이크로 제조 기술 및 나노 제조 기술들의 개발과 관련되어 마이크로 유동 기술 및 나노 유동 기술이 발달하였고, 이에 따라 액체의 부피와 형상을 마이크로 크기 및 나노 크기에서 제어할 수 있고, 또한 액체-공기 계면들의 이동도 제어할 수 있다. 지금까지, 이러한 기술들은 마이크로 크기의 액체

및 나노 크기의 액체의 제어를 위한 경제적이고 간단한 장비를 제공함으로써, 액체-매개 물질들의 마이크로 패터닝 및 나노 패터닝 또는 구조 형성에 획기적으로 기여하였다. 예를 들어, 상기 기술의 구체적인 예시로서 액체들의 직접적인 잉크젯 프린팅, 물리적 제한을 이용한 액체 스탬핑, 화학적 제한을 이용한 선택적인 액체 젖음, 액체의 마이크로 유동 등이 있다.

[0052] 상기 기술에 대한 새로운 도전 과제는 다음과 같다. 첫째, 액체들의 동적 유동성 및 전환력을 제어하기가 여전히 어려운 점이다. 특히 자유 표면들의 정도가 큰 경우에 그 제어가 더욱 어려우며, 그 이유는 작은 크기에서 높은 표면-부피 비율과 관련되어 내재된 유동 특성들 때문이다. 둘째, 액체의 부피가 변화될 때에, 중간물의 액체 막들 또는 거품들의 형상이 커지는 동안 제어되기 어렵고, 복잡한 방식으로 변화되는 점이다. 셋째, 액체 막들이, 예를 들어 1 초 미만의 매우 빠른 속도로 건조되는 경우, 증발과정에서 액체 패터닝 공정을 제어하기 어려운 점이다. 이러한 상술한 문제점들은 크기 법칙에 의하여 마이크로 크기 및 나노 크기와 같이 더 작은 크기에서 더 두드러진 영향을 나타낸다.

[0053] 더욱 최근에는, 마이크로 유동 기술 및 나노 유동 기술들과 관련하여, 예를 들어, 용해된 용질들, 폴리머들, 또는 현탁 고상 입자들과 같은 액체-매개 기능성 물질들은, 간단한 바텀-업 공정들에 의하여 다양한 마이크로 크기의 형상의 구조를 가지거나 또는 나노 크기의 형상의 구조를 가질 수 있고, 또한 패턴 형성이 가능하다. 예를 들어, 그래핀 및 생체 물질들의 3 차원 격자들, 마이크로 렌즈 배열 및 접착 패치를 위한 만곡된 폴리머 구조들, 약 300 nm 피치 크기의 고해상도를 가지는 전도성 금속 또는 페로브스카이트의 나노 와이어들, 무기 나노 결정들의 나노미터 두께의 막들 등이 알려져 있다. 특히, 이러한 물질들은, 예를 들어, 증착, 포토리소그래피, 및 식각 등과 같은 종래의 복잡한 미세 제조 공정을 수행하지 않으며, 단일 공정과 같은 단순한 공정으로 형성될 수 있고, 추가적인 기능들 및 성능들을 가질 수 있다. 특히, 미세 기둥들, 두 개의 평판들, 및 미세 채널들과 같은 미세하게 제조된 형판들은 물질 공정을 위한 하나의 액체-공기 계면들의 일방향으로 제어에 폭넓게 쓰이고 있다. 더 나아가, 상기 형판들은 추가적인 화학적 반응들 및/또는 처리들과 결합하여 복수의 다방향 액체-공기 계면들을 형성할 수 있다. 결과적으로, 화학적 반응들에 기반한 2 차원 거품과 이방성 표면 젖음에 의하여 유도된 액체 연결 브릿지 배열을 취득할 수 있다. 그러나, 현재까지는, 대면적 기판 상에서의 복수의 분리된 액체-공기 계면들의 동적 성장을 동시에 제어할 수 있는 물리적인 패터닝 공정이 정립되어 있지 않다. 액체 패터닝을 위하여는 용매의 자연 증발만을 수행하는 것이 더 우수할 수 있으며, 이는 간단하고, 오염되지 않고, 비접촉 수단을 허용하기 때문이고, 가능한 물질들과 샘플 용액들의 조합을 확대할 수 있기 때문이고, 또한 화학적 한계들을 극복하고 부산물들의 형성을 방지할 수 있기 때문이다.

[0054] 여기에서, 본 발명의 기술적 사상은 기판 상의 미세한 기둥부재들과 관통구멍을 포함하는 멤브레인을 이용한 액체 패터닝을 위한 새로운 마이크로 유동/나노 유동 액체-매개 패터닝(micro-/nanofluidic liquid-mediated patterning, 이하에서는 MNLP로 지칭하기로 함)기술을 제안한다. 상기 기둥부재들은 미리 설계된 액체 샘플을 수동적으로 고정하고, 상기 멤브레인의 관통구멍들은 상기 액체를 능동적으로 증발시킬 수 있다. 상기 멤브레인의 관통구멍들을 통하여 액체가 증발함에 따라 형성된 액체-공기 계면들은 제어가능한 방식으로 네트워크된 액체 막 패턴을 형성할 수 있다. 본 발명에서는, 다양한 액체 막 패턴들을 형성하기 위하여, 패턴 형성 메커니즘을 분석하고, 상기 MNLP 기술의 특징을 분석한다. 액체 내의 물질들을 위한 마이크로 크기 및 나노 크기로 제조된 형판으로서 액체 패턴을 사용하여, 액체 매개 물질들이 영구적인 두 가지 크기의 마이크로 구조들/나노 구조들을 형성할 수 있다. 또한, 상기 MNLP용 플랫폼은 반복하여 사용할 수 있고, 종래의 자외선 기록 공정들과 결합하여 사용할 수 있으며, 이에 따라 복수의, 이중의, 혼합 크기의 물질 패턴들, 및 3 차원 구조들을 유연 기판 상에 형성할 수 있다.

[0056] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치(100)를 도시한다. 도 1에서, (a)는 액체매개 패턴형성장치(100)의 사시도이고, (b)는 액체매개 패턴형성장치(100)의 단면도이다. 도 1의 (b)에서 청색 화살표는 증발대상액체(190)의 증발 현상을 나타낸다.

[0057] 도 1을 참조하면, 액체매개 패턴형성장치(100)는, 증발대상액체(190)를 수용하는 액체수용부(110); 및 액체수용부(110) 상에 배치되고, 증발대상액체(190)가 증발하여 액체매개 패턴이 형성되는 패턴형성부(150);를 포함한다.

[0058] 액체수용부(110)는, 증발대상액체(190)를 수용하는 함몰영역(120)을 구비하도록 둘러싸는 외벽부재(130); 및 함몰영역(120) 내에 배치되는 복수의 기둥부재들(140);를 포함한다. 액체수용부(110)는 다양한 물질을 포함할 수 있고, 예를 들어 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS)을 포함할 수 있다. 또한, 액체수용부(110)

는 에폭시 계열의 자외선 경화물질을 포함할 수 있고, 예를 들어 상업적으로 구할 수 있는 노랜드 프로덕트사(Norland Products)의 NOA 63, 머썬랩사(MERCENE LABS)의 ostemer 를 포함할 수 있다. 또한, 액체수용부(110)는 소프트 리소그래피 방식으로 마이크로 구조물을 본뜬 수 있는 모든 물질을 포함할 수 있다.

[0059] 패턴형성부(150)는, 기둥부재들(140) 사이에 배치된 복수의 관통구멍들(160)을 구비한다. 패턴형성부(150)는 다양한 물질을 포함할 수 있고, 예를 들어 아크릴레이트(polyurethane acrylate, PUA)를 포함할 수 있다. 또한, 패턴형성부(150)는 에폭시 계열의 자외선 경화물질을 포함할 수 있고, 예를 들어 상업적으로 구할 수 있는 노랜드 프로덕트사(Norland Products)의 NOA 63, 머썬랩사(MERCENE LABS)의 ostemer 를 포함할 수 있다. 또한, 패턴형성부(150)는 소프트 리소그래피 방식으로 마이크로 구조물을 본뜬 수 있는 모든 물질을 포함할 수 있다.

[0060] 패턴형성부(150)는 액체수용부(110)의 전체를 덮도록 배치되어 있다. 관통구멍들(160)은 액체-공기 계면들의 초기 위치를 미리 지정하도록 설계되고, 또한 증발 출구로서 기능하도록 설계된다.

[0061] 기둥부재들(140)은 관통구멍들(160) 사이에 배치되고, 액체-공기 계면들을 고정하는 액체고정위치로서 기능한다. 기둥부재들(140)은 인접한 관통구멍들(160)이 형성한 도형의 내부에 위치할 수 있고, 예를 들어 상기 도형의 중심에 위치할 수 있다. 기둥부재들(140)의 높이는 함몰영역(120)의 깊이와 동일하거나 더 클 수 있다.

[0062] 관통구멍들(160)은 증발대상액체(190)를 외부로 증발시키고, 액체-공기 계면(180)을 생성시키는 위치를 제공하는 기능을 수행할 수 있다. 관통구멍들(160)은 외부 습도 조절을 통하여 증발대상액체(190)가 빠르게 또는 천천히 증발시키는 역할을 수행할 수 있다. 또한, 관통구멍들(160)은 증발에 의하여 형성되는 액체-공기 계면(180)들을 원하는 위치에서 생성되도록 유도하는 역할을 수행할 수 있다.

[0063] 함몰영역(120), 기둥부재들(140), 및 관통구멍들(160) 등과 관련된 치수는 어떠한 제한 없이 다양한 크기를 가질 수 있다. 기둥부재들(140)은, 예를 들어 10 μm 내지 1000 μm 범위의 지름을 가질 수 있고, 예를 들어 10 μm 내지 1000 μm 범위의 높이를 가질 수 있다. 기둥부재들(140) 사이의 거리는, 예를 들어 10 μm 내지 1000 μm 범위일 수 있다. 함몰영역(120)은, 예를 들어 10 μm 내지 1000 μm 범위의 깊이를 가질 수 있다. 패턴형성부(150)는, 예를 들어 10 μm 내지 1000 μm 범위의 두께를 가질 수 있다. 관통구멍들(160)은, 예를 들어 10 μm 내지 1000 μm 범위의 지름을 가질 수 있다. 그러나, 이러한 치수들은 예시적이며, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

[0064] 하기에 실험예에서 예시한 바와 같은 치수들을 가질 수 있다. 기둥부재들(140)은, 예를 들어 60 μm 의 지름을 가질 수 있고, 예를 들어 25 μm 의 높이를 가질 수 있다. 기둥부재들(140) 사이의 거리는, 예를 들어 100 μm 일 수 있다. 기둥부재들(140)에 의하여 형성된 배열의 전체 면적은, 예를 들어 가로 8 mm 및 세로 약 8 mm 일 수 있다. 함몰영역(120)은, 예를 들어 25 μm 의 깊이를 가질 수 있다. 패턴형성부(150)는, 예를 들어 25 μm 의 두께를 가질 수 있다. 관통구멍들(160)은, 예를 들어 60 μm 의 지름을 가질 수 있다.

[0065] 액체매개 패턴(170)이 삼각형, 사각형, 또는 육각형과 같은 다각형이 규칙적으로 배열된 형태를 가지기 위하여는 하기와 같은 조건이 제안될 수 있다. 하기의 도 8을 참조하여 설명하는 바와 같이, 기둥부재들(140)의 반경(r_p)은 하기의 식에 의하여 도출된 기둥부재들(140)의 이상적인 반경(r_i)에 비하여 큰 값을 가질 수 있다.

[0066]
$$r_i / (d/2 + r_p) = \sec(\theta/2) - \tan(\theta/2)$$

[0067] 여기에서, d는 기둥부재들(140) 사이의 거리이고, θ 는 기둥부재들(140)의 배열을 구성하는 다각형의 각도이다.

[0068] 기둥부재들(140)의 반경(r_p)은 하기의 식에 의하여 도출된 기둥부재들(140)의 이상적인 반경(r_i)에 비하여 큰 경우에는, 기둥부재들(140)이 삼각형 또는 사각형으로 배치된 경우에는 결함을 형성하지 않을 수 있다. 그러나, 기둥부재들(140)이 육각형으로 배치된 경우에는 평활 법칙(plateau's Law)를 따르게 되므로, 이러한 규칙이 적용되지 않을 수 있다.

[0069] 기둥부재들(140)과 관통구멍들(160)은 다양한 방식으로 배열될 수 있으며, 예를 들어 하기의 도 11에 도시된 바와 같은 방식으로 배열될 수 있다. 기둥부재들(140)은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열될 수 있다. 여기에서 상기 단위 다각형은 인접한 기둥부재들(140)이 형성하는 다각형을 의미한다. 기둥부재들(140)로 이루어진 상기 단위 다각형은 연속적으로 배열되어 함몰영역(120) 전체에 걸쳐서 배치될 수 있다. 또한, 관통구멍들(160)은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열될 수 있다. 여

기에서 상기 단위 다각형은 인접한 관통구멍들(160)이 형성하는 다각형을 의미한다. 관통구멍들(160)로 이루어진 상기 단위 다각형은 연속적으로 배열되어 패턴형성부(150) 전체에 걸쳐서 배치될 수 있다.

[0070] 기둥부재들(140)과 관통구멍들(160)은 다양한 방식으로 상대적으로 배열될 수 있으며, 예를 들어 하기의 도 11에 도시된 바와 같은 방식으로 상대적으로 배열될 수 있다. 기둥부재들(140)이 형성하는 단위 다각형 내에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다. 상기 다각형은 삼각형, 사각형, 육각형일 수 있다.

[0071] 예를 들어, 상기 다각형이 사각형인 경우에는, 도 11의 (a)에 도시된 바와 같이, 네 개의 기둥부재들(140)이 형성하는 단위 사각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 사각형의 중심에, 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다. 또한, 도 11의 (c)에 도시된 바와 같이, 여덟 개의 기둥부재들(140)이 형성하는 단위 사각형의 의 내부에, 예를 들어 상기 단위 사각형의 중심에, 하나의 관통구멍(160)이 배치되고, 관통구멍(160)은 중첩되어 배치된 기둥부재(140)에 비하여 큰 직경을 가질 수 있다.

[0072] 예를 들어, 상기 다각형이 육각형인 경우에는, 도 11의 (d)에 도시된 바와 같이, 여섯 개의 기둥부재들(140)이 형성하는 단위 육각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 육각형의 중심에, 하나의 관통구멍(160)이 배치될 수 있다. 또한, 도 11의 (e)에 도시된 바와 같이, 네 개의 기둥부재들(140)과 상기 액체매개 패턴의 두 개의 서로 마주보는 교차점들이 형성하는 단위 육각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 육각형의 중심에, 하나의 관통구멍(160)이 배치될 수 있다. 또한, 도 11의 (f)에 도시된 바와 같이, 여섯 개의 기둥부재들(140)이 형성하는 단위 육각형의 중심에 하나의 상기 관통구멍(160)이 배치되고, 관통구멍(160)은 중첩되어 배치된 기둥부재(140)에 비하여 큰 직경을 가질 수 있다.

[0073] 예를 들어, 상기 다각형이 삼각형인 경우에는, 도 11의 (g)에 도시된 바와 같이, 세 개의 기둥부재들(140)이 형성하는 단위 삼각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 삼각형의 중심에, 하나의 관통구멍(160)이 배치될 수 있다. 또한, 도 11의 (h)에 도시된 바와 같이, 세 개의 기둥부재들(140)과 상기 액체매개 패턴의 세 개의 교차점들이 서로 교번하여 배열되어 형성하는 단위 육각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 육각형의 중심에, 하나의 관통구멍(160)이 배치될 수 있다. 또한, 도 11의 (i)에 도시된 바와 같이, 여섯 개의 기둥부재들(140)이 형성하는 단위 삼각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 삼각형의 중심에, 하나의 관통구멍(160)이 배치될 수 있다.

[0074] 증발대상액체(190)는 액체매개 패턴(170)을 형성하는 물질을 포함할 수 있고, 증발이 용이한 물질을 기반으로 구성될 수 있다. 증발대상액체(190)는 패턴링을 원하는 타겟 용질과 상기 타겟 용질을 매개할 액체 용매를 포함하여 구성될 수 있다. 또한, 증발대상액체(190)는 상기 액체 용매에 따른 적절한 거품을 형성하는 계면 활성제를 더 포함할 수 있다. 증발대상액체(190)는 상기 액체 용매로서, 물, 알코올, 및 다양한 유기 용매들을 포함할 수 있고, 또한 상기 액체 용매에 용해되거나 현탁되는 등의 방법으로 섞일 수 있는 다양한 액체상 또는 고체상의 용질들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 증발대상액체(190)는 폴리스티렌 나노입자, 폴리비닐알코올, 폴리아크릴산, 또는 텍스트란을 포함할 수 있다. 증발대상액체(190)는 계면 활성제로서, 예를 들어 플루로닉(Pluronic F-127)을 포함할 수 있다. 그러나, 이러한 물질들은 예시적이며, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

[0075] 도 2 및 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치의 제조방법(S100)을 도시하는 흐름도들이다. 액체매개 패턴형성장치의 제조방법(S100)은 하기의 도 5에 구체적인 예로서 추가로 도시되어 있다.

[0076] 도 2를 참조하면, 액체매개 패턴형성장치의 제조방법(S100)은, 기판 상에 돌출부들과 주형구를 포함하는 몰드주형부재를 부착하는 단계(S110); 상기 주형구를 통하여 상기 몰드주형부재의 내부 공간에 액상물질을 주입하는 단계(S120); 상기 액상물질을 경화시켜 패턴형성부를 형성하는 단계(S130); 상기 몰드주형부재로부터 상기 패턴형성부를 분리하여, 이에 따라 상기 패턴형성부에 관통구멍들이 형성되는 단계(S140); 및 상기 패턴형성부를 기둥부재들을 포함하는 액체수용부 상에 배치하는 단계(S150);를 포함한다.

[0077] 상기 몰드주형부재를 부착하는 단계(S110)는 상기 기판을 플라즈마 처리, 예를 들어 플라즈마 처리하여 부착력을 형성하여 이루어질 수 있다. 상기 플라즈마는 산소 플라즈마일 수 있고, 그러나 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

[0078] 상기 패턴형성부를 형성하는 단계(S130)는, 상기 액상물질을 광 조사하여 경화시켜 이루어질 수 있다. 상기 광은 자외선일 수 있고, 그러나 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

[0079] 도 3을 참조하면, 상기 관통구멍들이 형성되는 단계(S140)는, 상기 몰드주형부재의 최외각 영역을 절단 부재를 이용하여 절단하는 단계(S142); 상기 몰드주형부재에 인력(引力)을 작용하여 상기 패턴형성부로부터 분리하는 단계(S144); 및 상기 몰드주형부재의 상기 돌출부들이 위치한 자리에 상기 관통구멍들이 형성되는 단계(S146);

를 포함한다.

- [0080] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴의 형성방법(S200)을 도시하는 흐름도이다.
- [0081] 도 4를 참조하면, 액체매개 패턴의 형성방법(S200)은, 기둥부재들을 포함하는 액체수용부에 증발대상액체를 주입하는 단계(S210); 상기 액체수용부 상에 배치된 패턴형성부에 구비된 관통구멍들을 통하여 상기 증발대상액체가 증발하는 단계(S220); 상기 증발대상액체가 증발하면서, 상기 액체수용부와 접촉하는 상기 패턴형성부의 하측면에 상기 관통구멍들 각각의 주위를 둘러싸는 액체-공기 계면들 각각이 형성되는 단계(S230); 상기 증발대상액체가 증발하면서, 상기 관통구멍들 각각으로부터 멀어지는 방향으로 상기 액체-공기 계면들 각각이 확장하는 단계(S240); 및 상기 액체-공기 계면들이 확장하여 서로 접촉하고, 상기 기둥부재들에 의하여 고정되어, 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S250);를 포함한다.
- [0082] 상기 증발대상액체를 주입하는 단계(S210)는, 상기 패턴형성부의 상측면에 상기 증발대상액체를 주입하고, 상기 증발대상액체가 상기 관통구멍들을 통과하여 상기 액체수용부 내로 투입되어 이루어질 수 있다.
- [0083] 상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S250)는, 상기 액체매개 패턴에 의하여 상기 증발대상액체에 포함된 용질이 갇히게 되고, 상기 액체매개 패턴의 형상에 따라 상기 용질이 자기조립될 수 있다.
- [0084] 상기 증발대상액체는 증발성 용매, 상기 액체매개 패턴을 형성하는 용질, 및 계면 활성제를 포함할 수 있다. 상기 증발대상액체는 폴리스틸렌 나노입자, 폴리비닐알코올, 폴리아크릴산, 또는 텍스트란을 포함할 수 있다. 상기 폴리스틸렌 나노입자는, 예를 들어 200 nm 내지 500 nm 범위의 직경을 가질 수 있다.
- [0085] 하기의 도 10을 참조하여 설명하는 바와 같이, 상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계는 70% 초과 내지 95% 이하의 상대습도 분위기 하에서 수행될 수 있다.
- [0086] 도 4의 액체매개 패턴의 형성방법(S200)을 이용하여 액체매개 패턴을 형성할 수 있다. 상기 액체매개 패턴은 200 nm 내지 10 μ m 범위의 폭을 가지고, 산마루 형상의 단면을 가지고, 직선 거리 50 μ m 내지 100 μ m 범위의 길이를 가지는 단일 입자 배열 또는 복수 입자 배열로 정렬될 수 있다. 또한, 상기 액체매개 패턴은 200 nm 내지 10 μ m 범위의 폭을 가지고, 산마루 형상의 단면을 가지고, 직선 거리 50 μ m 내지 100 μ m의 길이를 가지는 단일 입자 배열 또는 복수 입자 배열로 정렬된 유기물질을 포함할 수 있다.
- [0087] 하기의 도 11을 참조하여 설명하는 바와 같이, 상기 액체매개 패턴은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형이 연속하여 배열되는 형태를 가질 수 있다.
- [0089] 실험예
- [0090] 실험예에 사용한 시약들과 물질들
- [0091] 본 발명의 실험예에 사용된 화합물들은 별도로 지칭되지 않는한 시그마-알드리히(Sigma-Aldrich)사의 제품을 사용하였다. 모든 실험예들에서, 1 mg/ml 농도를 가지는 플루로닉(Pluronic) F-127 액상 용액을 2.3 μ l 사용하였다. 상기 물질들의 증발 후 증착을 위하여, 상기 액상 용액들은 상기 플루로닉 F-127 용액 내에 입자들 또는 용질들을 현탁시키거나 용해하여 준비하였다. 200 nm의 직경의 형광 폴리스틸렌 나노입자(적색을 나타냄, R200)와 380 nm의 직경의 형광 폴리스틸렌 나노입자(녹색을 나타냄, G400)를 서모 사이언티픽(Thermo Scientific)사로부터 구입하였다. 200 nm의 직경의 형광 카르복실기 폴리스틸렌 나노입자(적색을 나타냄, 19391)와 500 nm의 직경의 형광 카르복실기 폴리스틸렌 나노입자(청색을 나타냄, 18339)를 폴리사이언스(Polysciences, Inc.)사로부터 구입하였다. 폴리비닐알코올(M_w 는 9000 내지 10000, 360627) 및 폴리아크릴산(M_w 는 약 1800, 323667)을 사용하였다. 자외선-기록 실험을 위하여, 광개시제로서, 2 mg/ml 의 2-히드록시-4'-(2-히드록시에톡시)-2-메틸프로피오페논 (2-Hydroxy-4'-(2-hydroxyethoxy)-2-methylpropiophenone) (410896)을 포함하는 플루로닉 F-127 용액 내에 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트 (M_n 은 약 700, 455008)을 용해시켰다. 패턴링 동안 상기 물질들은 25 $^{\circ}$ C 의 온도에서 처리되었다. 상기 패턴형성부와 상기 액체수용부의 간극의 차이를 정량화하기 위하여, 1X 포스페이트(phosphate)가 버퍼된 식염수(PBS, P5493)에 용해된 100 μ M 의 플루오레세인이소티오시아염 (fluoresceinisothiocyanate, FITC, 3326-32-7)을 사용하였다.

[0093] 액체매개 패턴형성장치의 제조

- [0094] 패턴형성부(150)로서 폴리우레탄 아크릴레이트로 이루어진 멤브레인을 제조하였다.
- [0095] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 제조하는 방법을 도시하는 개략도들이다.
- [0096] 도 5의 (a)를 참조하면, 패턴형성부(150)를 제조하기 위하여 미세 유동 몰드 구조체(200)를 준비하였다. 미세 유동 몰드 구조체(200)는 유리 등으로 구성된 기관(210) 상에 배치된 몰드주형부재(220)를 포함한다. 몰드주형부재(220)는 복수의 미세한 크기의 돌출부들(230) 및 주형구(240)를 포함한다. 돌출부들(230)에 의하여, 상기 패턴형성부의 관통구멍들이 형성된다. 주형구(240)를 통하여 상기 패턴형성부를 구성하는 액상 물질이 투입될 수 있다. 몰드주형부재(220)는 폴리디메틸실록산으로 구성될 수 있다. 몰드주형부재(220)는 폴리디메틸실록산 경화제 및 기저제(Sylgard 184, Dow Corning)를 1:10의 비율로 포함하는 혼합물을 이용하여 일반적인 소프트 리소그래피 공정으로 준비하였다. 몰드주형부재(220)는 산소 플라즈마를 이용한 표면 처리된 기관(210)에 부착되고, 이에 따라 미세 유동 몰드 구조체(200)를 완성하였다.
- [0097] 도 5의 (b)를 참조하면, 미세 유동 몰드 구조체(200)에 주형구(240)를 통하여 패턴형성부(150)를 구성하는 액상 물질(252)을 투입한다. 상기 액상 물질은 폴리우레탄 아크릴레이트(MINS-311RM, Minuta technology)를 이용하였다. 이러한 액상 물질(252)은 미세 유동 몰드 구조체(200)의 빈 공간, 구체적으로 기관(210)과 몰드주형부재(220) 사이의 공간을 충전한다. 이어서, 질소 환경에서 자외선을 조사하여 상기 폴리우레탄 아크릴레이트를 경화시켜, 패턴형성부(150)를 형성하였다. 여기에서, 상기 자외선 경화 중에 발생할 수 있는 산소에 의한 방해물을 방지하기 위하여, 미세 유동 몰드 구조체(200)를 약 20 Pa의 진공에서 약 20분 동안 진공 처리한 후 상기 경화를 수행하였다. 경화를 위한 자외선은 예시적이며, 본 발명은 이에 한정되지 않고 상기 액상 물질을 경화시킬 수 있는 모든 광을 포함한다. 패턴형성부(150)는 돌출부들(230)에 의하여 상보적인 형상을 가질 수 있다.
- [0098] 도 5의 (c)를 참조하면, 몰드주형부재(220)와 패턴형성부(150)를 분리한다. 몰드주형부재(220)로부터 패턴형성부(150)의 경화된 폴리우레탄 아크릴레이트를 분리하기 위하여, 플라즈마 활성화되어 기관(210)에 부착된 몰드주형부재(220)의 최외각 영역을 메스와 같은 절단 부재(290)를 이용하여 절단 영역(적색으로 표시됨)을 형성하여 절단할 수 있다.
- [0099] 도 5의 (d)를 참조하면, 몰드주형부재(220)를 당겨서 패턴형성부(150)로부터 분리하면, 돌출부들(230) 또한 패턴형성부(150)에서 분리될 수 있다. 기관(210)을 패턴형성부(150)로부터 분리하면, 잔류하는 돌출부들(230)의 부분 등은 기관(210)과 함께 패턴형성부(150)로부터 제거될 수 있다. 돌출부들(230)의 자리에 패턴형성부(150)의 관통구멍들(160)이 형성된다.
- [0100] 도 5의 (e)를 참조하면, 별도의 공정을 통하여 액체수용부(110)를 형성한다. 액체수용부(110)는 소프트 리소그래피를 이용하여 형성할 수 있다. 액체수용부(110)는 기둥부재들(140)이 배치된 함몰영역(120)을 포함한다. 액체수용부(110)는 다양한 물질을 포함할 수 있고, 예를 들어 폴리디메틸실록산을 포함할 수 있다.
- [0101] 액체수용부(110)의 함몰영역(120)에 물과 같은 윤활 액체(290)를 투입한다. 이어서, 액체수용부(110) 상에 패턴형성부(150)를 덮어 액체매개 패턴형성장치(100)를 완성한다. 기둥부재들(140)은 관통구멍들(160)의 사이에 배치된다. 이러한 배치에 대하여는 하기에 상세하게 설명하기로 한다. 윤활 액체(290)는 액체수용부(110)와 패턴형성부(150)를 정렬하도록 윤활제의 역할을 할 수 있고, 또한 액체수용부(110)와 패턴형성부(150) 사이를 밀봉할 수 있다. 액체매개 패턴형성장치(100)가 완성된 후에는 함몰영역(120) 내의 윤활 액체(290)는 증발 등에 의하여 제거될 수 있다.
- [0102] 대안적인 방법으로, 몰드주형부재(220)는 광학 접착제(NOA 63, Norland Products)를 이용하여 형성하였다. 몰드주형부재(220)는 기관(210)과 메톡시 폴리에틸렌 실란(methoxy polyethylene silane)(PLS-2011, Creative PEGWorks)을 이용하여 접착하였다.
- [0103] 하기의 자외선 기록 실험을 위하여, 몰드주형부재(220)는 기관(210)과 [3-(트리메소시실릴)프로필]메타크릴레이트 ([3-(trimethoxysilyl) propyl]methacrylate) (440159, Sigma-Aldrich)를 이용하여 접착하였다. 다른 실험 예들은, 몰드주형부재(220)를 산소 플라즈마를 이용하여 간단하게 처리하였다.
- [0104] 도 5의 (f)를 참조하면, 액체수용부(110)와 패턴형성부(150) 사이의 공간에 증발대상액체(190)를 채운다. 패턴형성부(150) 상에 증발대상액체(190)를 투입하면, 모세관 현상으로 증발대상액체(190)가 관통구멍들(160)을 통하여 상기 공간에 채워지게 된다.

[0106] 실험 설비

[0107] 역형광 현미경 (TI-U, Nikon) 상에 장착된 CCD 카메라 (ORCA R2, Hamamatsu Photonics)를 이용하여 광학 사진들과 형광 사진들을 취득하였다. 상기 역형광 현미경은 자외선 광원으로서 Intensilight C-HGFIE가 설치되어 있다. 전동 스테이지(96S209-N2), 전동 초점 제어기(99A400), 및 제어 시스템(MAC 5000)(Ludl electronic Products 제조)을 이용하여 상기 현미경을 자동화하였다.

[0108] 전계효과 주사전자현미경(FE-SEM, S-4800, Hitachi)을 이용하여 주사전자현미경 사진들을 취득하였다. 대기 조건들을 제어하기 위하여, 맞춤 습도/온도 제어 시스템은 솔레노이드 밸브들(S10MM-20-24-2, Pneumadyne Inc.), 습도/온도 센서(SHT15, SENSIRION), 미세제어보드(Arduino Uno, Arduino cc.), 및 현미경 인큐베이터(CU-501, Live Cell Instrument)를 포함하고, LabVIEW 소프트웨어(National Instruments)를 이용하여 프로그래밍하였다.

[0110] 결과 분석

[0111] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴(170)의 형성 과정을 시간에 따라 도시하는 현미경 사진들이다.

[0112] 도 6을 참조하면, 액체수용부(110)와 패턴형성부(150) 사이의 공간에 증발대상액체(190)를 채운 후에, 증발대상액체(190)가 증발하는 동안에 액체-공기 계면(180)이 성장하여 액체매개 패턴(170)을 형성하는 과정이 나타나 있다. 여기에서, 액체매개 패턴(170)은 액체수용부(110)와 접촉하는 패턴형성부(150)의 하측면에 형성됨에 유의한다.

[0113] 전 과정을 정리하면, 증발대상액체(190)가 관통구멍들(160)을 통하여 증발되어 제거되면서, 액체-공기 계면(180)이 형성되고, 액체-공기 계면(180)이 확장되어 액체매개 패턴(170)이 형성된다.

[0114] 구체적으로 설명하면, 초기에는, 즉 증발을 시작한지 0 초 후에는 관통구멍들(160)의 하측에서, 두꺼운 흑색 선으로 표시된 바와 같은 관통구멍들(160)을 둘러싸는 액체-공기 계면(180)이 형성된다. 청색 영역은 증발대상액체(190)를 나타내고, 흰색 영역은 공기를 나타낸다.

[0115] 증발을 시작한지 60 초 후에는, 증발대상액체(190)가 관통구멍들(160)을 통하여 증발해가면서, 증발대상액체(190)가 제거되고, 이에 따라 액체-공기 계면(180)이 확장된다. 관통구멍들(160)을 둘러싸서 중앙집중방식으로 원기둥 형상의 액체-공기 계면(180)이 균일하게 측방향으로 성장한다. 미세한 크기이므로 표면 장력이 강하게 나타나며, 증발대상액체(190)가 수직 방향이 아닌 수평 방향으로 줄어들게 된다.

[0116] 증발을 시작한지 140 초 후에는, 증발대상액체(190)이 증발이 계속 진행됨에 따라, 평활한 액체-공기 계면(180)들은 기둥부재들(140)과 접촉하여 고정되고, 이에 따라 격자 형상을 나타낸다. 인접한 액체-공기 계면(180)들은 서로 접촉하게 되고, 원형에서 사각형 형상으로 변형되기 시작한다.

[0117] 증발을 시작한지 170 초 후에는, 증발대상액체(190)이 증발이 계속 진행됨에 따라, 기둥부재들(140) 사이에 액체매개 패턴(170)이 형성되고, 액체매개 패턴(170)의 두께가 얇아지게 된다. 하나의 기둥부재(140)와 네 개의 평활한 경계들은 네 개의 수직 막을 형성하게 된다. 액체매개 패턴(170)은 층판(lamella) 구조들 및 평활(plateau) 경계들을 가진다. 여기에서, 기둥부재들(140)은 액체매개 패턴(170)을 고정하는데 중요한 기능을 수행함을 알 수 있다. 액체매개 패턴(170)이 파괴되지 않는 이유는 수백 나노 미터 두께의 비누방울막이 유지되는 원리와 동일하다. 특히, 증발대상액체(190)에 포함된 계면활성제가 계면을 안정화시킨다.

[0118] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴(170)을 확대하여 도시하는 주사전자현미경 현미경 사진들이다.

[0119] 도 7을 참조하면, 증발대상액체(190)에 나노 입자 또는 유기물질을 혼합하여 액체매개 패턴을 형성한 결과가 나타나 있다. 도 7의 (a)는 500 nm 직경의 폴리스티렌 나노입자들(PS NP)을 6.5 mg/ml, 3.25 mg/ml, 및 1.3 mg/ml로 혼합한 경우이고, (b)는 200 nm 직경의 폴리스티렌 나노입자들을 6.5 mg/ml, 0.65 mg/ml, 및 0.325 mg/ml로 혼합한 경우이고, (c)는 폴리비닐알코올(PVA)을 0.5 mg/ml, 0.2 mg/ml, 및 0.1 mg/ml로 혼합한 경우이다. 각각의 사진에서, 상측 사진의 축척 바는 20 μ m이고, 하측 사진의 축척 바는 1 μ m이다.

[0120] 각각의 경우, 증발대상액체(190)가 증발됨에 따라 액체매개 패턴(170)이 얇아지고, 각각의 물질들, 즉 상기 폴리스티렌 나노입자들과 상기 폴리비닐알코올이 액체매개 패턴(170)에 의하여 각각 갇히게 되고, 이에 따라 액체매개 패턴(170)의 형상에 따라 조립되는, 자기 조립(self assembling)을 수행하게 된다. 따라서, 액체매개 패

턴(170)은 상기 물질들의 복제된 패턴을 위한 형판으로서 기능할 수 있다.

- [0121] 도 7의 (a) 및 (b)를 참조하면, 200 nm 및 500 nm의 폴리스틸렌 나노입자들의 경우에는, 산마루(ridge) 형상의 단면을 가지는 100 μm 길이의 선형 패턴들이 패턴닝된다. 상기 선형 패턴의 폭은 200 nm 내지 10 μm 범위이다. 특히, 상기 폴리스틸렌 나노입자들은 1.3 mg/ml 또는 0.325 mg/ml의 경우의 단일 입자 배열의 해상도에서도 잘 정렬되고, 자기 조립됨을 알 수 있다. 하측과 같이 동일한 대칭 방식으로 패턴형성부의 상측에도 동일한 선형 패턴들이 형성되었다.
- [0122] 도 7의 (c)를 참조하면, 폴리비닐알코올의 경우에도, 동일한 산마루 형상의 단면을 가지는 선형 패턴이 형성되었다. 따라서, 다른 수용성 폴리머, 예를 들어 폴리아크릴산(polyacrylic acid, PAA), 및 덱스트란(dextran) 등의 경우에도 우수한 선형 패턴을 형성할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치(100)를 이용한 패턴형성방법을 다양한 물질에 적용될 수 있다.
- [0123] 하기의 도면에서 설명하는 바와 같이, 기둥부재들의 반경(r_p) 및 높이 (h_p), 인접한 기둥부재들 사이의 거리(d), 관통구멍의 배열, 관통구멍의 배열, 및 상대습도(Φ)를 통하여 상기 MNLP 공정을 특정할 수 있다.
- [0124] 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴에 대한 기둥부재들 사이의 거리의 영향을 나타내는 도면들이다.
- [0125] 도 8의 (a)를 참조하면, 관통구멍들(160)을 통한 증발대상액체(190)의 직접 증발의 모델링이 도시되어 있다. 기둥부재들(140)의 반경(r_p)과 기둥부재들(140) 사이의 거리(d)는 잘 정렬된 액체매개 패턴(170)을 얻기 위한 중요한 요소임을 알 수 있다. 기둥부재들(140)이 정사각형 형상으로 설계되고, 또한 관통구멍들(160)이 정사각형 형상으로 설계되어 있으며, 관통구멍들(160)로부터 형성된 액체-공기 계면(180)들이 균일하게 성장하여 서로 접촉하게 된다. 상기 설계에 따른 배열은 기본 단위로서 네 개의 기둥부재들(140)과 하나의 관통구멍(160)을 가지며, 이하에서는 "4P1H"로 지칭하기로 한다. 여기에서, 액체-공기 계면(180)들에 의하여 형성된 거품(182)의 반경(r_b)은 하기의 식과 같이 기둥부재들(140)의 반경(r_p) 및 기둥부재들(140) 사이의 거리(d)에 의하여 결정된다.
- [0126]
$$r_b = (r_p + d/2) \tan (\theta/2)$$
- [0127] 여기에서, θ 는 기둥부재들(140)의 배열을 구성하는 다각형의 각도이고, 예를 들어 4P1H 배열에서는, θ 는 $\pi/2$ 이다.
- [0128] 제한된 증발대상액체(190) 영역(청색으로 표시됨)의 중심에서의 기둥부재들(140)의 이상적인 반경(적색 점선원으로 표시됨)은 r_i 이고, 기하학적 관계는 다음과 같다.
- [0129]
$$r_i / (d/2 + r_p) = \sec (\theta/2) - \tan (\theta/2)$$
- [0130] 도 8의 (b)를 참조하면, 상술한 정사각형 배열에서 두 가지 기둥부재들(140) 사이의 거리(d)에 대하여 시간에 따라 변화되는 액체-공기 계면(180)을 나타낸다. 좌측은 결함이 없는 액체매개 패턴이 형성된 경우이고, 우측은 결함이 있는 액체매개 패턴이 형성된 경우이다. 상기 4P1H 배열에서, 기둥부재들(140)의 반경(r_p)이 30 μm 이고, 기둥부재들(140) 사이의 거리(d)가 50 μm 인 경우에는 기둥부재들(140)의 이상적인 반경(r_i)은 22.78 이 되며, 따라서 $r_i < r_p$ 가 된다. 이와 같이, $r_i < r_p$ 경우에는, 도 8의 (b)의 좌측 도면과 같이, 잘 정렬된 사각형의 격자 패턴이 형성되었다. 반면, 동일한 4P1H 배열에서, 기둥부재들(140) 사이의 거리(d)를 변화시키면, 기둥부재들(140)의 이상적인 반경(r_i)이 변화된다. 기둥부재들(140)의 반경(r_p)이 30 μm 이고, 기둥부재들(140) 사이의 거리(d)가 200 μm 인 경우에는 기둥부재들(140)의 이상적인 반경(r_i)은 53.85 가 되며, 따라서 $r_i > r_p$ 가 된다. 이와 같이, $r_i > r_p$ 경우에는, 도 8의 (b)의 우측 도면과 같이, 세 개의 평활 경계들이 기둥부재들(140)의 위치를 벗어나서 접촉하는 액체 교차점들이 많이 발견되었다. 상기 실험 결과들을 기초로 하여, 격자 패턴 내에 패턴되지 않은 선, 즉 결함의 갯수를 세어서 분석하였다.
- [0131] 도 8의 (c)를 참조하면, 반경 차이의 변화에 대한 결함 갯수의 변화를 나타내는 그래프이다. 상기 그래프는 가로 8 mm 세로 8 mm의 전체 공간에서의 결함 발생을 정량화한 그래프이다. 상기 반경 차이는 $\Delta r (= r_i - r_p)$ 로 표시되어 있다. 반경 차이(Δr)가 증가함에 따라 결함의 개수가 증가함을 알 수 있다. 또한, 상기 증가의 정

도는 기둥부재들(140) 사이의 거리(d)가 작을수록 크게 나타났다.

- [0132] 도 8의 (d)를 참조하면, 도 8의 (c)의 결과를 기초로 하여, 무차원화한 반경 차이의 변화에 대한 결함 갯수의 변화를 나타내는 그래프이다. 상기 무차원화는 반경 차이(Δr)를 거품(182)의 반경(r_p)으로 나누어 수행하였다. 무차원화를 수행한 후에는, 기둥부재들(140) 사이의 거리(d)가 130 μm 및 200 μm 에 각각 상응하는 그래프들이 잘 중첩됨을 알 수 있다.
- [0133] 도 8의 분석에 의하면, 액체매개 패턴(170)을 결함없이 형성하기 위하여는 기둥부재들(140)의 반경(r_p)과 기둥부재들(140) 사이의 거리(d)가 중요한 요소임을 알 수 있다. 기둥부재들(140)의 반경이 작아지고, 기둥부재들(140) 사이의 거리가 커질수록, 결함이 형성되는 경향이 강해짐을 알 수 있다. 또한, 액체-공기 계면(180)들이 서로 접촉하기 전에, 액체-공기 계면(180)들을 고정하기 위하여, 기둥부재들(140)의 반경(r_p)이 기둥부재들(140)의 이상적인 반경(r_i)에 비하여 큰 값을 가져야 함을 알 수 있다.
- [0134] 도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴에 대한 기둥부재의 반경의 영향을 나타내는 도면들이다.
- [0135] 도 9의 (a)를 참조하면, 도 8의 4P1H 배열과는 다른 3P1H 배열에서, $r_i < r_p$ 경우에 대하여 도시되어 있다. 이러한 경우에는, 액체-공기 계면(180)들은 제한 없는 공간에서의 평활 법칙을 따르는 2 차원 액체 거품의 성장을 따르게 된다. 최소 표면 에너지 원리에 따라서, 세 개의 액체-공기 계면(180)은 120도의 상호 각도로 만난다.
- [0136] 도 9의 (b)를 참조하면, 도 8의 4P1H 배열과는 다른 3P1H 배열에서, $r_i > r_p$ 경우에 대하여 도시되어 있다. 이러한 경우에는, 기둥부재들(140)에 의한 고상 경계들에 의하여 제한될 때까지 액체-공기 계면(180)들이 확장되고, 상기 액체-공기 계면(180)들끼리 서로를 누르면서 비대칭적으로 변형된다. 즉, 3P1H 배열이 $r_i < r_p$ 에서 $r_i > r_p$ 로 변화되면, 잘 정렬된 삼각형 막들이 혼란한 패턴들로 변화된다.
- [0137] 이하에서는, 별도의 지칭이 없으면 기둥부재들(140)의 반경(r_p)은 30 μm , 기둥부재들(140) 사이의 거리(d)는 100 μm , 및 기둥부재들(140)의 높이(h_p)는 25 μm 임에 유의한다.
- [0138] 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴에 대한 상대습도의 영향을 나타내는 도면들이다.
- [0139] 도 10의 (a)를 참조하면, 다른 습도 조건들 하에서의 시간에 따른 액체매개 패턴(170)의 변화를 나타낸다. 청색 화살표는 파괴되지 않은 계면을 나타내며, 적색 화살표는 파괴된 계면을 나타낸다. 상대습도(relative humidity, RH) 95%에서, 4P1H 배열 내에 액체매개 패턴(170)을 형성한 후에, 상대습도 50%, 70%, 및 90% 각각에서 시간에 따른 액체매개 패턴(170)의 변화를 관찰하였다. 상대습도 90%에서는, 패턴들은 약간 얇아지는 경향을 나타내었으나, 12 시간이 지난 후에도 그 형상이 변화하지 않고 유지되었다. 그러나, 상대습도 70%와 상대습도 50%에서는, 시간이 지남에 따라 액체매개 패턴(170)의 일부가 파괴되었다. 상대습도 50%에서 가장 빠르게 액체매개 패턴(170)이 파괴되었다.
- [0140] 도 10의 (b)를 참조하면, 시간에 따른 건조에 의하여 264 개의 전체 액체 선 중에서 파괴된 액체 선의 수의 비율인 파괴 비율을 나타낸다. 내부 그래프는 상대습도 50%에서의 결과를 확대하여 나타낸다. 건조 시간은 상대습도와 반비례하여 수행하였다. 상대습도가 50% 인 경우에는, 건조 시간이 10초를 지난 후에 액체매개 패턴(170)을 구성하는 액체 막들이 파괴되기 시작하였으며, 30초 후에는 거의 모든 상기 액체 막들이 파괴되었다. 상대습도가 70% 인 경우에는, 건조 시간이 1분 지난 후에 액체 막들이 파괴되기 시작하였으며, 10 분 후에는 거의 모든 액체 막들이 파괴되었다. 반면, 상대습도가 90%인 경우에는, 액체매개 패턴(170)을 구성하는 액체 막들은 안정적이며 14 시간 이후에도 파괴되지 않았다. 흥미롭게는, 상대습도가 90% 내지 95% 범위에서는, 다른 두께를 가지는 액체 막들이 서로 평형을 이루었다. 따라서, 충분한 상대습도 하에서는, 예를 들어 상대습도가 90% 내지 95% 범위에서는, 액체매개 패턴(170)은 유지될 수 있다. 또한, 액체매개 패턴(170)이 관통구멍들(160)을 통하여 대기에 노출된 상태이므로, 상대습도를 제어하여 액체매개 패턴(170)의 증발속도 및 두께를 조절할 수 있다.
- [0141] 도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 다양한 형상의 액체매개 패턴을 나타내는 도면들이다.

- [0142] 도 11을 참조하면, 기둥부재들(140)의 배열과 관통구멍들(160)의 배열에 따라 설계된 다양한 액체매개 패턴(170)들이 나타나있다. 도 11에서, (a), (b), 및 (c)는 4P1H 배열에서의 액체매개 패턴(170)들이고, (d), (e), 및 (f)는 6P1H 배열에서의 액체매개 패턴(170)들이고, (g), (h), 및 (i)는 3P1H 배열에서의 액체매개 패턴(170)들이다. 적색 점선을 이용하여 표시한 기본 배열과 함께, 기둥부재들의 배열은 정사각형, 육각형, 삼각형 형상을 가지며, 다양한 형상의 관통구멍들이 단위 다각형의 중심에 위치한다. 상기 기둥부재들이 제거된 위치들은 청색 원들로 표시되어 있고, 관통구멍들이 제거된 위치들은 녹색 원들로 표시되어 있다.
- [0143] 참고로, 상기 관통구멍들이 상기 기둥부재들에 의하여 형성된 다각형의 중심에 위치함은 예시적이며, 상기 관통구멍들이 상기 기둥부재들에 의하여 형성된 다각형의 내부에 어떤 자리에도 위치하는 경우도 동일한 결과를 얻을 수 있다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상은 상기 관통구멍들이 상기 기둥부재들에 의하여 형성된 다각형의 내부에 어떤 자리에도 위치하는 경우를 포함한다.
- [0144] 특정한 기둥부재들의 배열에서 다양한 패턴들을 얻기 위하여, 기둥부재들의 제거, 관통구멍들의 제거, 및 기둥부재들을 둘러싸는 구멍들의 크기 변화는 연구할 필요가 있는 다른 공학적 요소들이다.
- [0145] 먼저, 상기 4P1H 배열의 경우를 검토하기로 한다.
- [0146] 도 11의 (a)를 참조하면, 기둥부재들과 관통구멍들을 각각 단위 사각형들로 배치되어 있다. 이러한 경우에는, 액체매개 패턴도 동일한 단위 사각형이 연속하여 배열된 형태를 가진다.
- [0147] 도 11의 (b)를 참조하면, 가로 2 및 세로 2의 단위 사각형에서 청색 원으로 표시된 중심에 위치하는 기둥부재가 제거되어 있다. 이러한 경우에는, 액체매개 패턴은 세 개의 평활 경계들을 포함하는 두 개의 상호 연결된 교차점을 나타낸다.
- [0148] 도 11의 (c)를 참조하면, 가로 2 및 세로 2의 단위 사각형에서 중심에 위치한 두 배 크기의 관통구멍들을 포함한다. 청색 화살표는 두 배 크기의 관통구멍에 의하여 둘러싸인 기둥부재를 나타낸다. 이러한 경우에는 도 11의 (a)와 비교하여 네 배 면적의 단위 사각형 패턴이 형성된다.
- [0149] 이어서, 상기 6P1H 배열의 경우를 검토하기로 한다.
- [0150] 도 11의 (d)를 참조하면, 기둥부재들과 관통구멍들을 각각 단위 육각형들로 배치되어 있다. 이러한 경우에는, 액체매개 패턴도 동일한 단위 육각형이 연속하여 배열된 형태를 가진다.
- [0151] 도 11의 (e)를 참조하면, 단위 육각형에서 청색 원으로 표시된 두 개의 기둥부재들이 제거되어 있다. 두 개의 기둥부재들을 제거하여도, 도 11의 (b)의 상기 4P1H의 경우와는 다르게, 벌집 형상의 육각형 액체매개 패턴들의 형상에는 영향이 없다. 즉, 액체매개 패턴에서 세 개의 평활 경계들을 가지는 두 개의 교차점이 고정하는 기둥부재들이 없이도 형성될 수 있다. 개방 경계에서의 액체 계면들이 평활 법칙(plateau's law)을 따르기 때문에 상기 4P1H와 6P1H는 서로 다르게 나타난다. 도 11의 (e)의 상기 6P1H 배열에서는, 어떠한 기둥들을 제거하는 것과는 무관하게, 세 개의 액체-공기 계면들은 재배열이 없이 상기 평활 법칙을 따라서 항상 접촉하게 된다. 반면, 도 11의 (b)의 상기 4P1H 배열에서는, 액체-공기 계면들은 비대칭으로 변형되고 이어서 평활 법칙을 따라서 재배열된다. 따라서, 고정하는 기둥부재들은 평활 법칙을 따르지 않는 액체매개 패턴들을 설계하는데 중요한 역할을 한다.
- [0152] 도 11의 (f)를 참조하면, 단위 육각형에서 중심에 위치한 두 배 크기의 관통구멍들을 포함한다. 청색 화살표는 두 배 크기의 관통구멍에 의하여 둘러싸인 기둥부재를 나타낸다. 이는, 도 11의 (g)의 3P1H 배열의 기둥부재들에서 형성할 수 있다. 상기 두 배 크기의 관통구멍에 의하여 둘러싸인 기둥부재는 액체매개 패턴의 형상에 영향을 주지 않으며, 그 이유는 액체-공기 계면이 상기 기둥부재와 접촉하지 않기 때문이다. 추가로, 특정한 관통구멍들이 주기적으로 제거되면, 기하학적 파라미터들을 고려하고 평활 법칙을 적용하여 예측될 수 있는 다양한 액체 패턴들을 형성할 수 있다.
- [0153] 이어서, 상기 3P1H 배열의 경우를 검토하기로 한다.
- [0154] 도 11의 (g)를 참조하면, 기둥부재들과 관통구멍들을 각각 단위 삼각형들로 배치되어 있다. 이러한 경우에는, $r_i > r_p$ 의 조건을 가지게 되고, 상술한 바와 같은 원리에 따라 액체매개 패턴의 결함들이 관찰되었다.
- [0155] 도 11의 (h)를 참조하면, 적색 점선으로 표시된 육각형의 단위 공간에서 녹색 원으로 표시된 세 개의 관통구멍들이 제거되어 있다. 이러한 경우에는, 잘 정렬된 육각형의 액체매개 패턴을 형성할 수 있다. 세 개의 액체-공기 계면의 Y-형 교차점은 액체매개 패턴의 기본 구성 요소가 된다.

- [0156] 도 11의 (i)를 참조하면, 적색 점선으로 표시된 단위 삼각형의 공간에서 녹색 원으로 표시된 세 개의 관통구멍들이 제거되어 있다. 이러한 경우에는, 잘 정렬된 확대된 삼각형의 액체매개 패턴을 형성할 수 있다. 세 개의 액체-공기 계면의 Y-형 교차점은 액체매개 패턴의 기본 구성 요소가 된다.
- [0158] 이하에서는, 다른 종류의 물질들을 함께 포함하거나 복합 형상을 가지는 액체매개 패턴의 형성방법에 대하여 설명하기로 한다.
- [0159] 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 이중 물질을 포함하는 액체매개 패턴의 형성방법(S300)을 도시하는 흐름도이다.
- [0160] 도 12를 참조하면, 액체매개 패턴의 형성방법(S300)은, 액체수용부에 제1 물질을 포함하는 제1 증발대상액체를 주입하는 단계(S310); 상기 액체수용부 상에 배치된 패턴형성부에 구비된 관통구멍들을 통하여 상기 제1 증발대상액체가 증발하여, 상기 패턴형성부에 제1 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S320); 상기 액체수용부에 상기 제1 물질과는 다른 제2 물질을 포함하는 제2 증발대상액체를 주입하는 단계(S330); 및 상기 관통구멍들을 통하여 상기 제2 증발대상액체가 증발하여, 상기 패턴형성부에 형성된 상기 제1 액체매개 패턴 상에 제2 액체매개 패턴을 형성하여 이중 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S340)를 포함한다.
- [0161] 도 12에 도시된 단계들을 구현하기 위한 상세한 사항은 도 4를 참조하여 설명한 단계들을 적용할 수 있다.
- [0162] 도 12를 참조하여 설명한 상기 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성된 액체매개 패턴은, 상기 액체매개 패턴은, 제1 직경을 가지는 상기 제1 물질을 포함하는 상기 제1 액체매개 패턴에 의하여 형성된 코어; 및 상기 코어를 덮고 상기 제1 직경에 비하여 작은 제2 직경을 가지는 상기 제2 물질을 포함하는 상기 제2 액체매개 패턴에 의하여 형성된 셸;을 포함하는 구조를 가질 수 있다.
- [0163] 또는, 도 12에 의한 상기 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성된 액체매개 패턴은, 제1 직경을 가지는 상기 제1 물질을 포함하는 상기 제1 액체매개 패턴에 의하여 형성된 코어; 및 상기 코어를 덮고 상기 제1 직경에 비하여 큰 제2 직경을 가지는 상기 제2 물질을 포함하는 상기 제2 액체매개 패턴에 의하여 형성된 셸;을 포함하는 구조를 가질 수 있다.
- [0164] 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 도 12의 액체매개 패턴형성방법을 이용하여 형성한 이중 액체매개 패턴을 나타내는 도면들이다.
- [0165] 도 13의 (a)를 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 제1 물질을 액체매개 패턴닝하여 제1 액체매개 패턴을 형성한 후에, 동일한 액체매개 패턴형성장치를 다시 이용하여 제1 물질과는 다른 크기의 제2 물질을 액체매개 패턴닝하여 제2 액체매개 패턴을 형성한다. 즉, 이 경우에는, 상기 제1 액체매개 패턴과 상기 제2 액체매개 패턴을 형성할 때, 액체수용부의 기둥부재들의 배열과 패턴형성부의 관통구멍들의 배열이 동일한 액체매개 패턴형성장치를 사용한다. 이에 따라, 단일 기관 상에 복수의 이중 물질들로 각각 구성된 액체매개 패턴들이 적층된 이중 액체매개 패턴이 형성된다.
- [0166] 이에 대한 실험예로서, 상술한 4P1H 배열의 액체매개 패턴형성장치를 이용하였다. 또한, 상기 제1 물질로서 500 nm 직경의 폴리스티렌 나노입자들을 포함하는 13 mg/ml 현탁액을 이용하여 제1 액체매개 패턴을 형성한 후, 이어서, 상기 제2 물질로서 200 nm 직경의 폴리스티렌 나노입자들을 포함하는 6.5 mg/ml 현탁액을 이용하여 제2 액체매개 패턴을 형성하였다. 참고로, 먼저 패턴닝된 제1 액체매개 패턴은 90℃에서 2 분 동안 소결되어, 후속의 제2 물질을 포함하는 액체가 장입하여 발생하는 대류 유동에 기인한 점성 저항에 의한 파손을 방지할 수 있다.
- [0167] 도 13의 (b)를 참조하면, 상기 이중 액체매개 패턴의 주사전자현미경 사진들이다. 코어는 500 nm 직경의 폴리스티렌 나노입자들로 구성되고, 셸은 200 nm 직경의 폴리스티렌 나노입자들로 구성된다. 초기의 완전한 선형 구조는 코어의 사진을 위하여 의도적으로 파괴되어 있음에 유의한다. 결과적인 상기 이중 액체매개 패턴은 상기 500 nm 직경의 폴리스티렌 나노입자들이 산마루 형상으로 자기 조립되고, 상기 200 nm 직경의 폴리스티렌 나노입자들에 의하여 덮인 코어-셸 선형 패턴으로 형성되었다.
- [0168] 상술한 나노입자들에 의하여 구성된 상기 이중 액체매개 패턴은 예시적이며, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니며, 상기 이중 액체매개 패턴이 나노입자 외의 다른 물질로 구성되는 경우도 포함한다.
- [0169] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 복합 형상을 가지는 액체매개 패턴의 형성방법(S400)을 도시하는 흐름도이

다.

- [0170] 도 14를 참조하면, 액체매개 패턴의 형성방법(S400)은, 액체수용부에 제3 물질을 포함하는 제3 증발대상액체를 주입하는 단계(S410); 상기 액체수용부 상에 배치된 제3 패턴형성부에 구비된 제3 관통구멍들을 통하여 상기 제3 증발대상액체가 증발하여, 상기 제3 패턴형성부에 제3 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S420); 상기 제3 패턴형성부를 제거하고, 상기 액체수용부 상에 상기 제3 관통구멍들과는 다른 배열로 배치된 제4 관통구멍들을 구비한 제4 패턴형성부를 배치하는 단계(S430); 상기 액체수용부에 제4 물질을 포함하는 제4 증발대상액체를 주입하는 단계(S440); 상기 제4 관통구멍들을 통하여 상기 제4 증발대상액체가 증발하여, 상기 제4 패턴형성부에 제4 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S450); 및 상기 제3 액체매개 패턴과 상기 제4 액체매개 패턴을 중첩하여 복합형상을 가지는 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S460);를 포함한다.
- [0171] 도 14에 도시된 단계들을 구현하기 위한 상세한 사항은 도 4를 참조하여 설명한 단계들을 적용할 수 있다.
- [0172] 도 14를 참조하여 설명한 상기 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성된 액체매개 패턴은, 상기 제3 물질을 포함하고 제3 배열을 가지는 상기 제3 액체매개 패턴; 및 상기 제4 물질을 포함하고 상기 제3 액체매개 패턴 상에 배치되고 상기 제3 배열과는 다른 제4 배열을 가지는 상기 제4 액체매개 패턴;을 포함하고, 상기 제3 액체매개 패턴과 상기 제4 액체매개 패턴이 중첩되어 형성된 복합형상을 가진다.
- [0173] 상기 제3 물질과 상기 제4 물질은 동일하거나 또는 서로 다를 수 있다. 또한, 상기 제3 물질과 상기 제4 물질은 동일한 직경을 가지거나 또는 다른 직경을 가질 수 있다. 예를 들어, 상기 제3 물질의 직경이 상기 제4 물질에 비하여 더 크거나 또는 작을 수 있다.
- [0174] 도 15는 본 발명의 일실시예에 따른 도 14의 액체매개 패턴형성방법을 이용하여 형성한 복합형상 액체매개 패턴을 나타내는 도면들이다.
- [0175] 도 15를 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여, 제3 액체매개 패턴을 형성한 후에, 다른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 제3 액체매개 패턴과는 다른 패턴 형상을 가지는 제4 액체매개 패턴을 형성한다. 즉, 이 경우에는, 상기 제3 액체매개 패턴과 상기 제4 액체매개 패턴을 형성할 때, 액체수용부의 기둥부재들의 배열은 동일하지만, 패턴형성부의 관통구멍들의 배열이 상이한 다른 액체매개 패턴형성장치를 사용한다. 이에 따라, 단일 기관 상에 다른 패턴 형상들을 각각 가지는 복수의 액체매개 패턴들이 적층된 복합형상 액체매개 패턴이 형성된다.
- [0176] 이에 대한 실험예로서, 관통구멍들의 배열이 상이한 패턴형성부들을 이용하였다. 도 11의 (f)에 도시된 바와 같은 배열을 위하여 200 nm 적색 형광 (RF) 폴리스티렌 나노입자들을 포함하는 1 mg/ml 현탁액과 도 11의 (h)에 도시된 바와 같은 배열을 위하여 380 nm 녹색 형광(GF) 폴리스티렌 나노입자들을 포함하는 1.5 mg/ml 현탁액을 사용하였다. 먼저, 제3 패턴형성부를 이용하여 자기 조립되는 제3 액체매개 패턴을 형성한 후에, 상기 제3 패턴형성부를 액체수용부로부터 분리하고, 다른 관통구멍 배열을 가지는 제4 패턴형성부를 상기 액체수용부에 부착하여 자기 조립되는 제4 액체매개 패턴을 형성한다.
- [0177] 도 15의 (a)를 참조하면, 적색 별집 형상의 상기 제3 액체매개 패턴과 녹색 Y 형상의 상기 제4 액체매개 패턴이 명시야 사진 및 형광 사진으로 나타나있다. 각각의 패턴링 공정에서 사용된 관통구멍들은 황색 원들로 강조되어 있다.
- [0178] 도 15의 (b)를 참조하면, 상기 제3 액체매개 패턴과 제4 액체매개 패턴이 중첩되어 형성된 복합형상 액체매개 패턴의 형광 사진 및 확대된 주사전자현미경 사진들이 나타나 있다.
- [0179] 상술한 나노입자들에 의하여 구성된 상기 복합형상 액체매개 패턴은 예시적이며, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니며, 상기 복합형상 액체매개 패턴이 나노입자 외의 다른 물질로 구성되는 경우도 포함한다.
- [0180] 도 13 및 도 15를 참조하면, 형광 사진들 및 주사전자현미경 사진들을 검토하면, 순차적인 액체매개 패턴링 공정 동안에 두 가지 다른 물질들 사이에 교차 오염이 거의 발견할 수 없었고, 각각의 개별적인 액체매개 패턴은 명확하게 단일 물질로 형성됨을 알 수 있다. 상기 기둥부재들의 배열과 상기 관통구멍들의 배열의 설계에 따라서, 액체매개 패턴들을 각각 형성하는 물질들은 정밀하게 자기 정렬됨을 알 수 있다.
- [0181] 이러한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용한 액체매개 패턴형성 공정은, 복잡한 고해상도 배열을 요구하고 광범위하게 사용되는 스텝핑 방식 패턴링 공정과 비교하여 많은 장점을 가짐을 알 수 있다. 따라서, 복수의 유기 또는 무기 기능성 빌딩 블록들을 유연 PET 막 등과 같은 기관에 통합하는 능력은, 높은 진공 및/또는 고온 조건들을 요구하는 종래의 탑-다운 기술들(예를 들어, 증착, 포토리소그래피, 및 식각의

조합)이 구현하지 못하는, 투명하고, 입을 수 있고, 또는 복합 기능성 전자 장치들의 개발을 용이하게 할 수 있다. 즉, 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치는 저렴하고, 용이하고, 대면적의 패턴을 빠른 생산 속도로, 수백 나노 미터 내지 수 마이크로 선폭을 가지는 다양한 전자 장치를 제조할 수 있다. 가능한 전자 장치의 일례로서, 적색, 녹색, 및 청색을 각각 가지는 3 가지의 나노 입자를 배열 형식으로 패터닝하여 QLED(quantum dot light emitting diode) 패널의 제조가 가능할 것이다.

- [0182] 도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴 기록방법(S500)을 도시하는 흐름도(S500)이다.
- [0183] 도 16을 참조하면, 액체매개 패턴 기록방법(S500)은, 액체수용부에 주입된 증발대상액체가 상기 액체수용부 상에 배치된 패턴형성부에 구비된 관통구멍들을 통하여 증발하여, 상기 패턴형성부에 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S510); 상기 액체매개 패턴 상에 광을 조사하여, 상기 액체매개 패턴의 조사된 영역을 변형시켜 기록된 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S520); 상기 패턴형성부를 상기 액체수용부로부터 분리하는 단계(S530); 및 상기 액체수용부에서 상기 기록된 액체매개 패턴을 취득하는 단계(S540)를 포함한다.
- [0184] 상기 액체매개 패턴의 조사된 영역을 변형시켜 기록된 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S520)는, 상기 광의 조사에 의하여 상기 액체매개 패턴을 구성하는 물질을 광 가교 결합시켜 이루어질 수 있다. 또는, 상기 액체매개 패턴의 조사된 영역을 변형시켜 기록된 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S520)는 상기 광의 조사에 의하여 상기 액체매개 패턴의 일부를 제거하여 이루어질 수 있다.
- [0185] 도 16에 도시된 단계들을 구현하기 위한 상세한 사항은 도 4를 참조하여 설명한 단계들을 적용할 수 있다.
- [0186] 도 17은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용한 액체매개 패턴형성방법과 직접 기록법을 접목한 액체매개 패턴 기록방법을 나타내는 도면들이다.
- [0187] 도 17을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용한 액체매개 패턴형성방법과 직접 기록법으로서 레이저 조사에 의한 기록을 접목하여, 액체매개 패턴 기록을 수행할 수 있다. 상기 액체매개 패턴 기록방법은 다음과 같은 두 가지 방법이 가능하다. 첫째는, 격자 무늬로 액체를 건조하여 물질을 격자 패턴으로 증착한 후, 선택적으로 자외선 조사를 하여 경화시키는 방법이다. 둘째는, 격자 무늬로 액체를 건조하여 물질을 격자 패턴으로 증착한 후, 자외선 조사로 조사된 패턴의 부분을 제거하는 방법이다.
- [0188] 이에 대한 실험예로서, 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트(poly(ethylene glycol) diacrylate, PEGDA)과 수용성 광개시제가 혼합된 액체-매개 물질 샘플을 사용하였다. 액체는 상술한 바와 같은 4P1H 배열 또는 3P1H 배열을 통하여 패터닝되어 액체매개 패턴을 형성하고, 질소 환경에서 상대습도 90% 에서 상기 액체매개 패턴의 막이 파괴되지 않도록 유지되었다. 이어서, 직접 기록 기술과 유사한 방식으로, 현미경 렌즈(10x)의 정렬된 개구부를 통하여 자외선 광을 준비된 상기 액체매개 패턴 상에 조사하였다.
- [0189] 도 17의 (a)를 참조하면, 액체 형태의 액체매개 패턴을 선택적 고체화하기 위한 자외선 기록 공정이 도시되어 있다. 밝은 원 영역은 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트 용액으로 형성된 액체매개 패턴 상에 현미경의 개구부를 통하여 조사되는 자외선을 나타낸다.
- [0190] 도 17의 (b)를 참조하면, 4P1H 배열에서 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트의 격자형 액체매개 패턴 상에 자외선 조사에 의한 문자 "J" 기록이 나타나 있다. 내부 도면은 문자 "J"의 자외선 기록 선형 패턴의 확대도이다. 오렌지색 화살표는 패턴을 명확하게 구분하게 한다. 자외선 조사에 의하여, 상기 액체매개 패턴의 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트 용액이 선택적으로 광-가교 결합되고, 문자 "J"를 형성하였다. 여기에서, 격자형 패턴은 예시적이며, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다. 여기에서, 조사를 위한 자외선은 예시적이며, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0191] 도 17의 (c)를 참조하면, 조절된 개구부 크기에 따른 선형 자외선 기록 패턴들이 나타나 있다. 자외선 기록된 패턴의 선폭은 단일 막에서 수 개의 막의 범위를 가지고, 개구부의 크기와 렌즈의 배율에 따라 제어될 수 있다.
- [0192] 도 17의 (d)를 참조하면, 프로그램된 자동화 현미경 스테이지에서, 예를 들어 "UNIST"와 같은 단어에 해당되는 패턴과 같은 다양한 패턴들이 단일 막을 가지는 해상도로 형성되었다.
- [0193] 도 17의 (e)를 참조하면, 상술한 공정에서 사용된 패턴형성부와 물질 사이의 접촉력에 의존하여, 두 가지 결과물을 선택적으로 허용하게 된다. 이러한 선택적 방식에 의하여 자외선 처리된 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트의 2 차원 형상 또는 3 차원 형상으로의 구조화가 가능하게 된다.
- [0194] 도 17의 (e)에 표시된 "Case-I"은 자외선 조사 처리된 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트의 기계적 강도가 폴리

(에틸렌글리콜)디아크릴레이트와 상기 패턴형성부 사이의 접착력에 비하여 큰 경우이다. 자외선-기록을 수행한 후에 패턴형성부를 액체수용부로부터 분리하면, 상기 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트는 상기 패턴형성부에 따라가지 않고 액체수용부에 잔존하며, 이에 따라 청색으로 강조된 사진들에서 나타난 바와 같이, 공중 부유형(suspended) 와이어를 가지는 3 차원 구조물을 형성하게 된다. 상기 폴리우레탄 아크릴레이트 및 상기 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트의 물질 특성들이 잘 알려져 있으므로, 상기 패턴형성부 만을 용이하게 제거할 수 있고, 경화된 상기 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트가 그대로 잔존되어 기판 상에 3 차원 구조를 형성할 수 있다. 흥미롭게도, 액체 막의 층판이 존재하는 공간에는 고형화된 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트 벽이 없으며, 기둥들 사이에 단지 공중 부유형 와이어들만이 관찰되었다. 이는 공중 부유형 3 차원 구조물을 제조하는 새로운 방법이다. 종래에는, 마이크로 크기의 3차원 구조물들은 일반적으로 복잡하고 여러 단계의 탑-다운 제조 공정들을 이용하여 제조하였다.

[0195] 도 17의 (e)에 표시된 "Case-II"는 자외선 조사 처리된 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트의 기계적 강도가 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트와 상기 멤브레인 사이의 접착력에 비하여 작은 경우이다. 자외선 기록 도중에 폴리우레탄 아크릴레이트가 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트와 가교 결합하여 폴리우레탄 아크릴레이트 멤브레인의 하측 표면을 부분적으로 경화하였다. 동시 가교 결합은 강한 결합을 형성한다. 자외선-기록을 수행한 후에 패턴형성부를 액체수용부로부터 분리하면, 상기 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트는 상기 패턴형성부에 붙어서 따라가면서 상측 부분들이 찢어져서 분리되고, 하측 부분은 액체수용부에 잔존한다. 이에 따라 적색으로 강조된 사진들에서 나타난 바와 같이, 상술한 공중 부유형(suspended) 와이어를 갖지 않는 2 차원 구조물을 형성하게 된다.

[0196] 자외선 조사에 의한 경화는 기판 전체에 적용되어 액체 막들 전부를 경화할 수 있다. 추가로, 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트 구조물들의 폭들은 폴리(에틸렌글리콜)디아크릴레이트와 물의 혼합 비율을 조절하여 제어될 수 있다. 비율과는 무관하게, 산마루형 구조의 정점의 두께는 약 200 nm 이었다.

[0197] 이러한 결과들로부터, 액체-매개 광 경화성 물질 잉크들은 나노 와이어 네트워크들을 위한 간단하고, 경제적이고, 요구에 따르며, 마스크를 쓰지않는 패터닝 공정의 개발에의 중요한 기능을 할 수 있다. 따라서 일반적으로 비싸고 낮은 수율의 전자빔 리소그래피의 대안을 제공할 수 있다. 예를 들어, 액체-매개 광경화성 잉크의 증발성 조립이 격자 형태로 나노 와이어 구조를 패터닝하면, 마이크로 해상도로 집중된 자외선 광을 이용하여 원하는 나노 와이어 네트워크를 기록할 수 있고, 노출되지 않은 영역을 개발할 수 있다.

[0199] 결론

[0200] 종합하면, 증발 동안 자연 막들/거품들의 동적 물리적 특성들을 정밀하게 제어하고 단순화하는 멤브레인-지원 MNLP 기술을 개발하였다. 수동적인 접촉 선 고정을 위하여 미세한 크기의 배열된 기둥부재들을 사용하고, 액체-공기 계면들의 능동적인 지시를 위하여 미세한 크기의 배열된 관통구멍들을 이용함에 따라, 다양하고 복잡하며 잘 정렬된 액체매개 패턴들을 형성하였고, 다양한 대면적 유연 기판들 상에 2 차원 또는 3 차원 선형 구조들을 형성하였다.

[0201] 액체제어기술은 간단한 마이크로 제조공정들을 사용하는 것만으로, 설계된 바와 같이 수백 나노미터로부터 수 마이크로미터까지의 범위로 혼합 치수의 물질 구조들/패턴들을 형성할 수 있다. 추가로, 상기 MNLP 공정을 단순히 반복함으로써, 하나의 유연 기판 상에 복수의 이중 기능성 물질을 포함한 액체매개 패턴을 성공적으로 형성하였다. 따라서, 미래의 다기능성을 가지고, 더 많은 정보를 제공하며 및 대화가 가능한 전자 장치들을 위한 기술로서 사용될 가능성을 제시할 수 있다.

[0202] 다른 가능한 현실적 응용으로서, 본 발명의 기술적 사상에 따른 바텀-업 기술과 자외선-기록 등의 탑-다운 포토 리소그래피 기술의 결합에 의하여 낮은 가격, 높은 수율 및 마스크를 사용하지 않는 나노제조기술로서 사용될 수 있다. 통상적인 및 비통상적인 리소그래피 기술들의 장점만을 가지는 이러한 두 가지 제조 개념들은 높은 가격, 낮은 수율, 가혹한 물질 공정 조건들을 가지는 현재의 제조 기술들의 한계를 극복할 수 있다.

[0203] 또한, 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치는 액체 거품의 전자동력학 및 생체적 이중층 멤브레인들과 같은 마이크로 크기/나노 크기에서의 액체 막들의 물리 화학적 특성들에 대한 기초 연구를 위한 정밀하게 제어가능한 실험적 장치로서 사용될 수 있다. 따라서, 상기 MNLP 기술은 액체 모폴로지의 능동적인 조작을 위한 새로운 길을 제공하고, 다양한 기판들 상에 복수의 이중, 및 기능성 액체-매개 물질들을 간단하고, 경제적이고, 크기가 조절가능하고, 제어가능한 방식으로 패터닝하는 것에 의하여 많은 기초 연구 분야들을 발전시

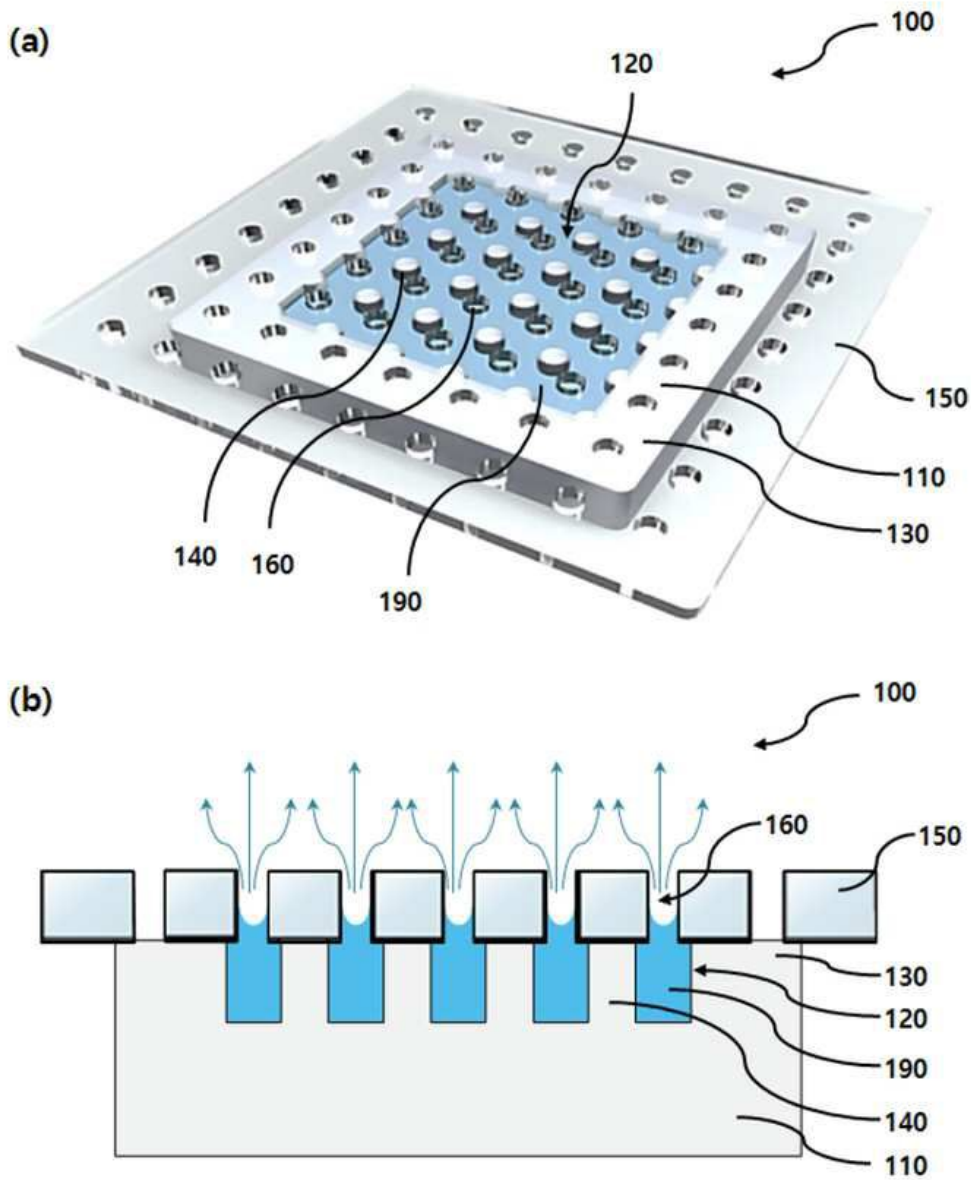
킬 수 있다.

[0204]

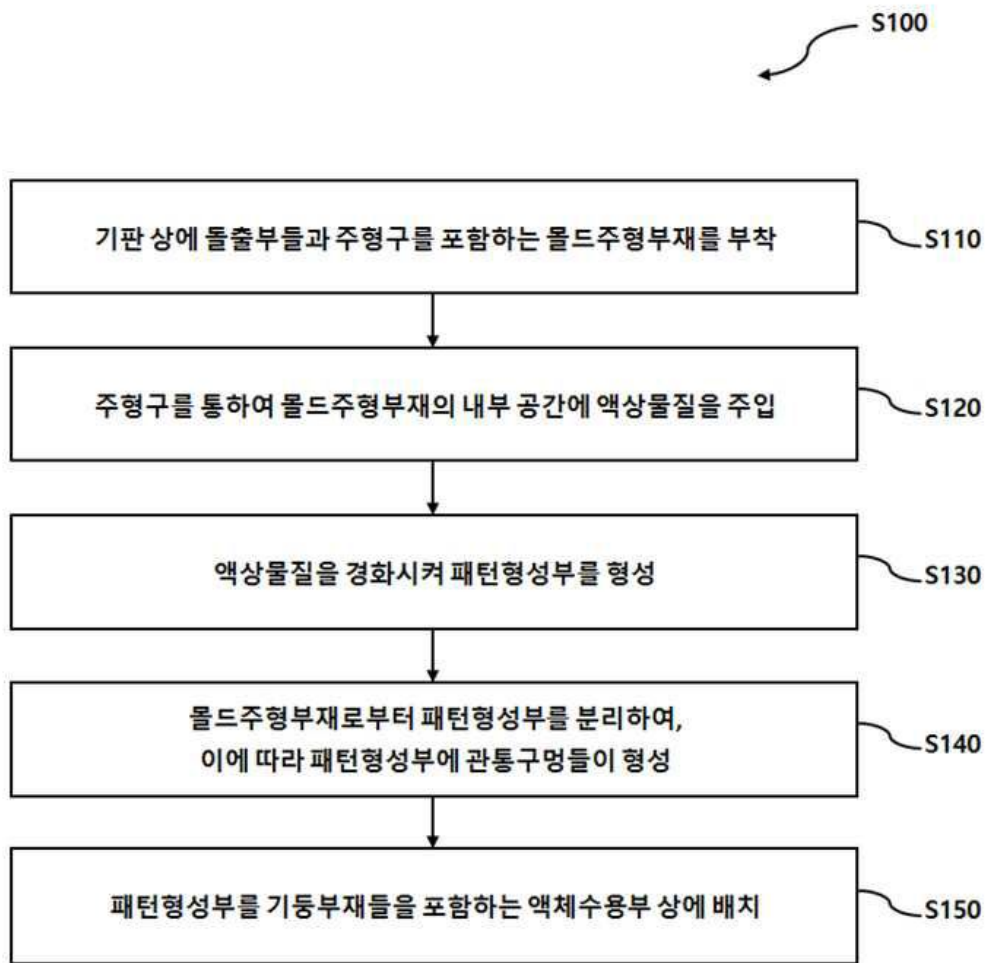
이상에서 설명한 본 발명의 기술적 사상이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명의 기술적 사상이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

도면

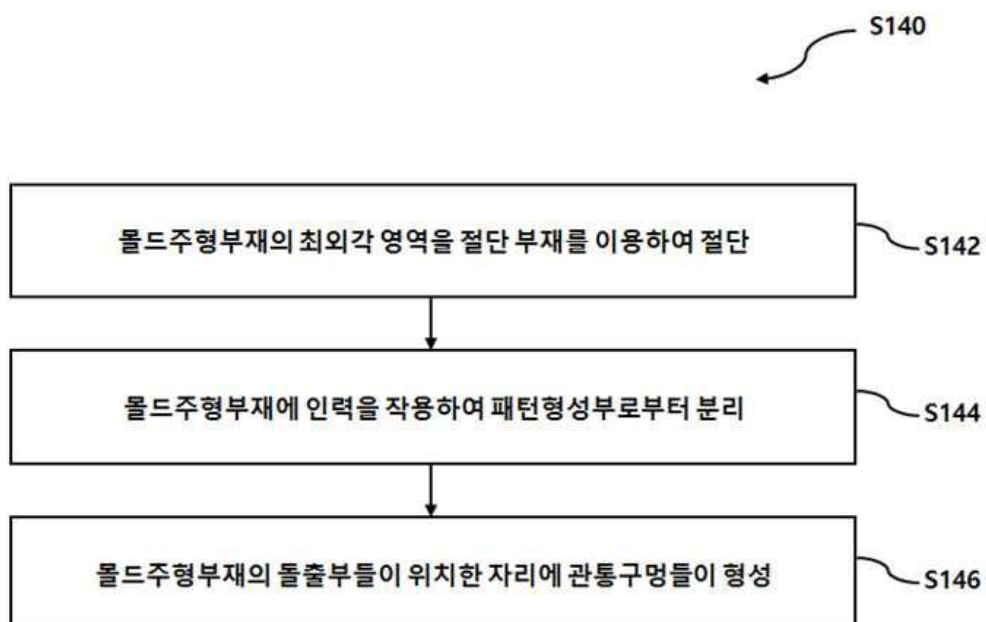
도면1



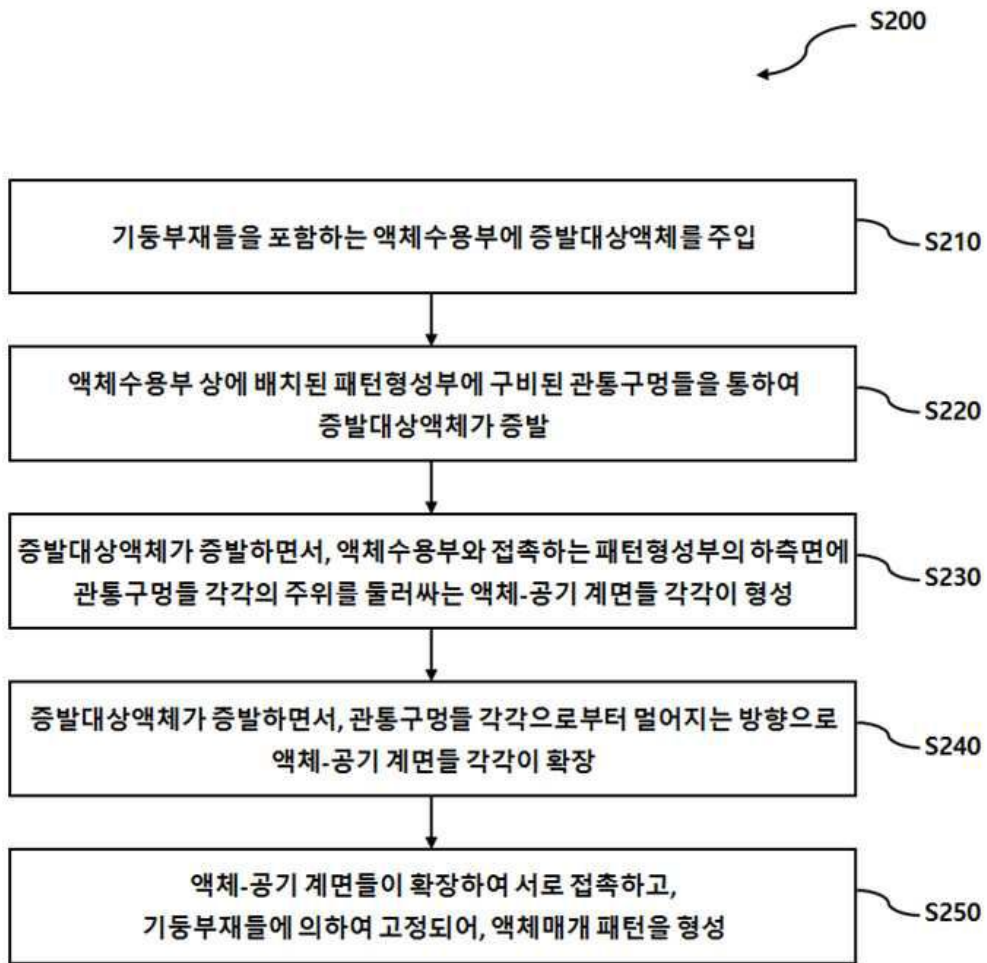
도면2



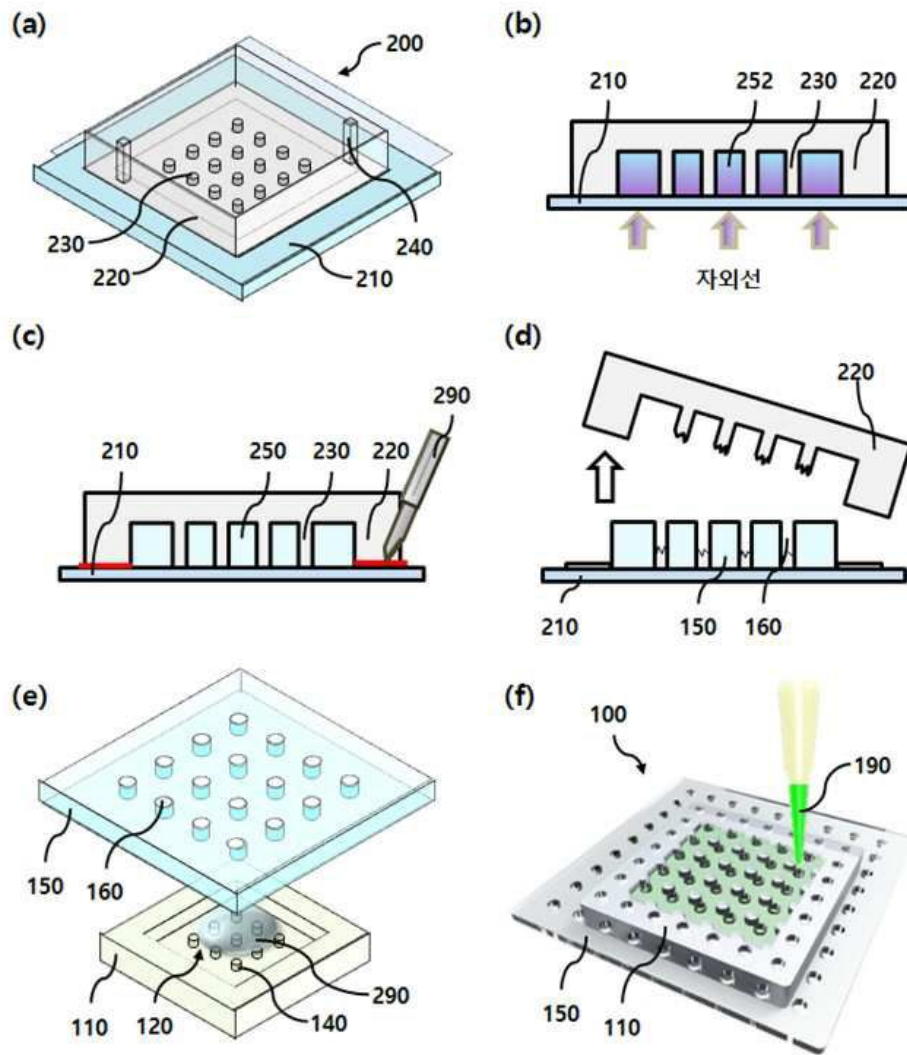
도면3



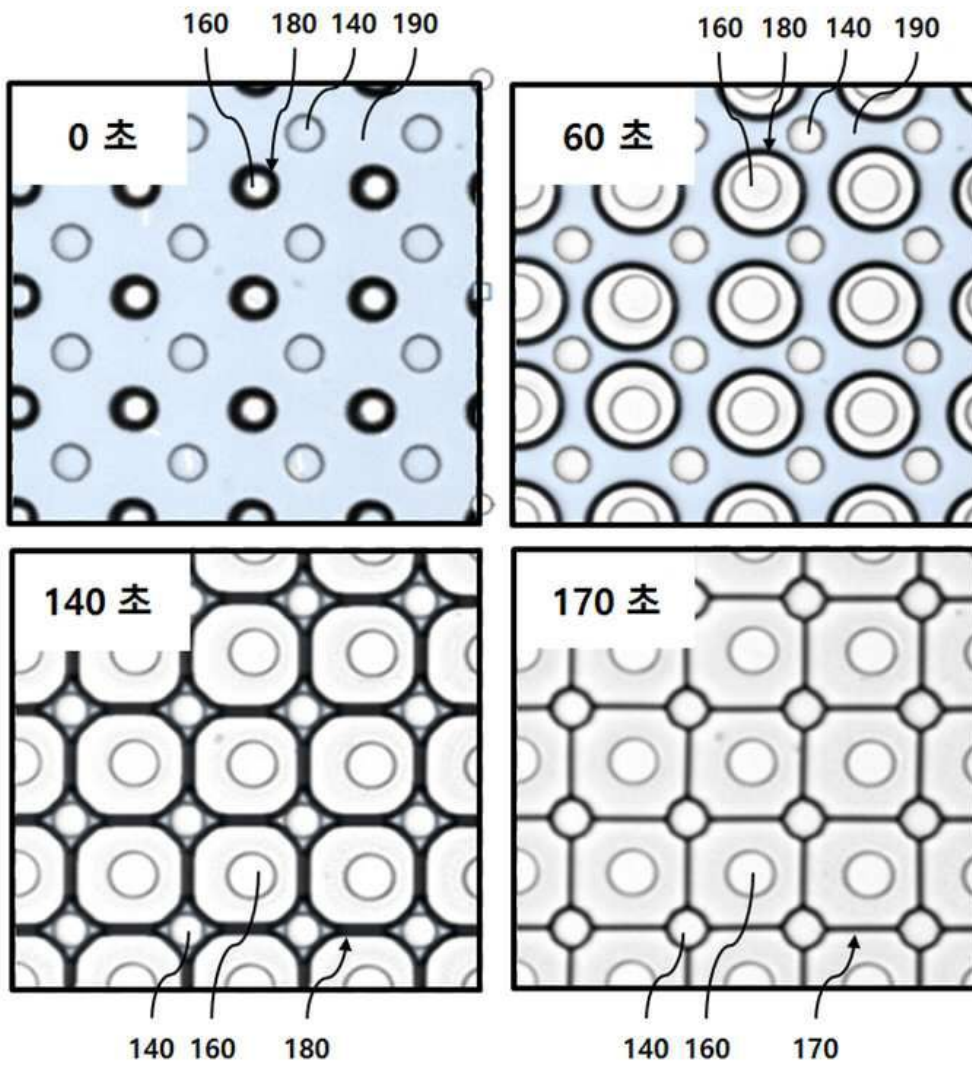
도면4



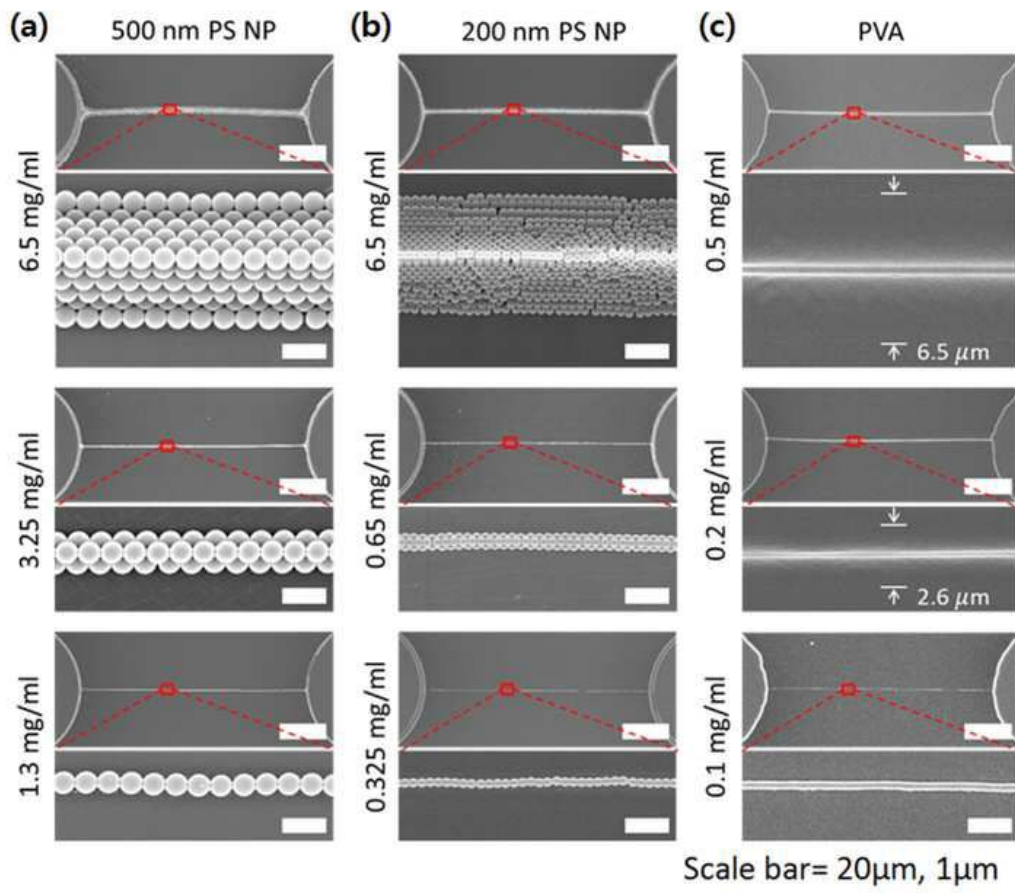
도면5



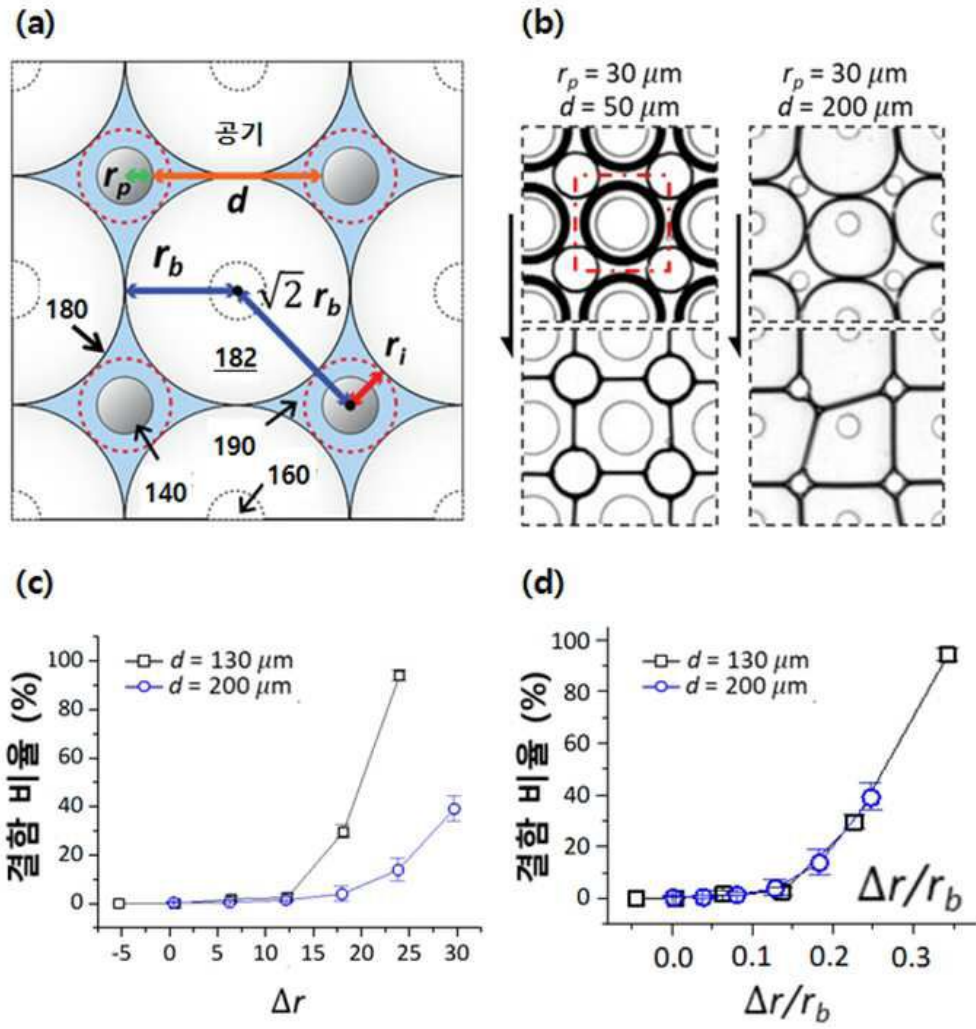
도면6



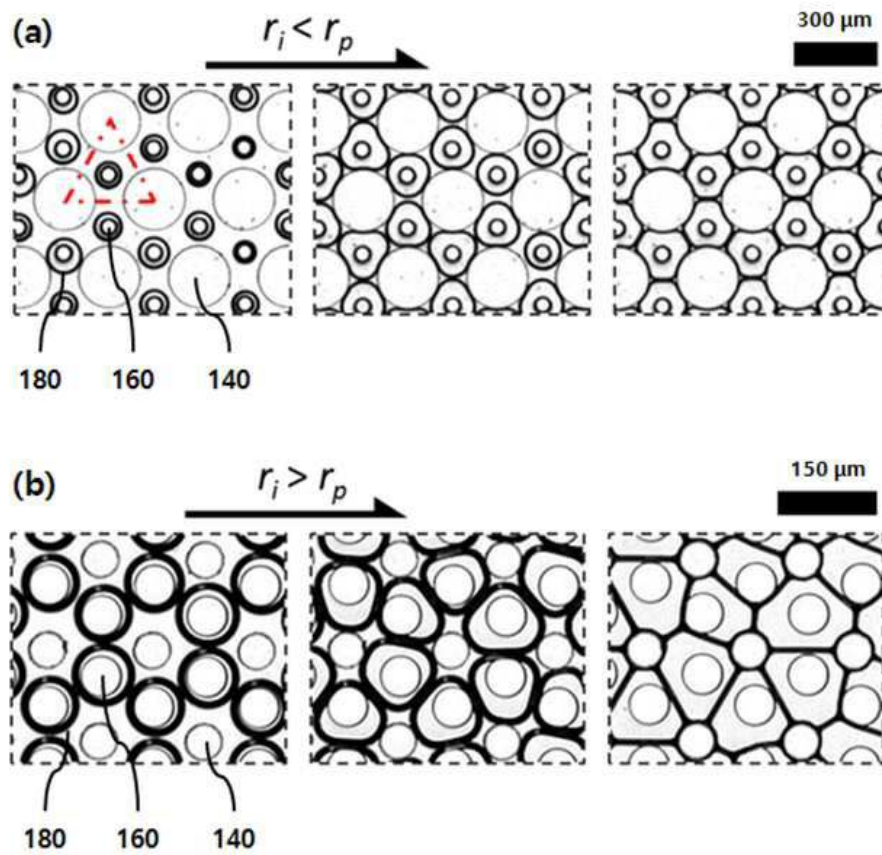
도면7



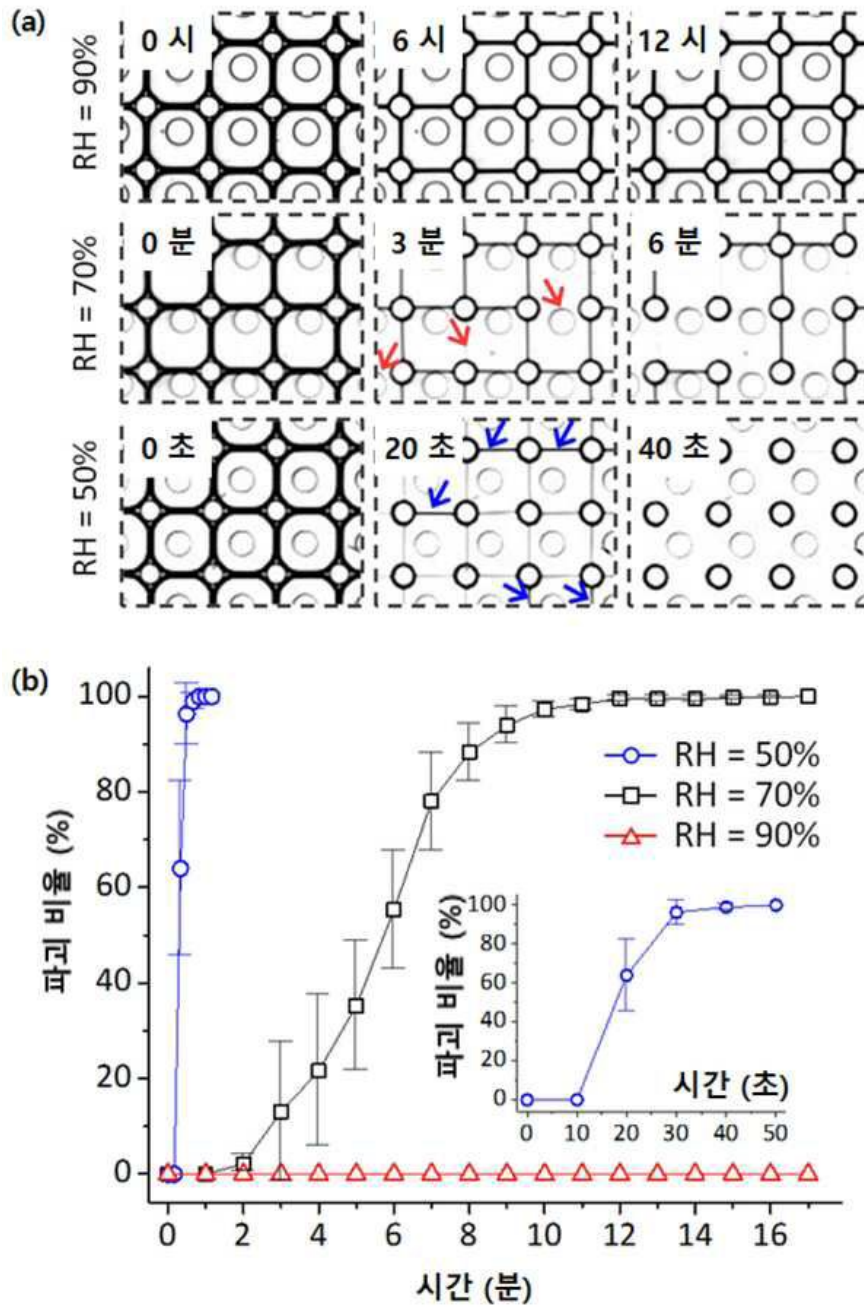
도면8



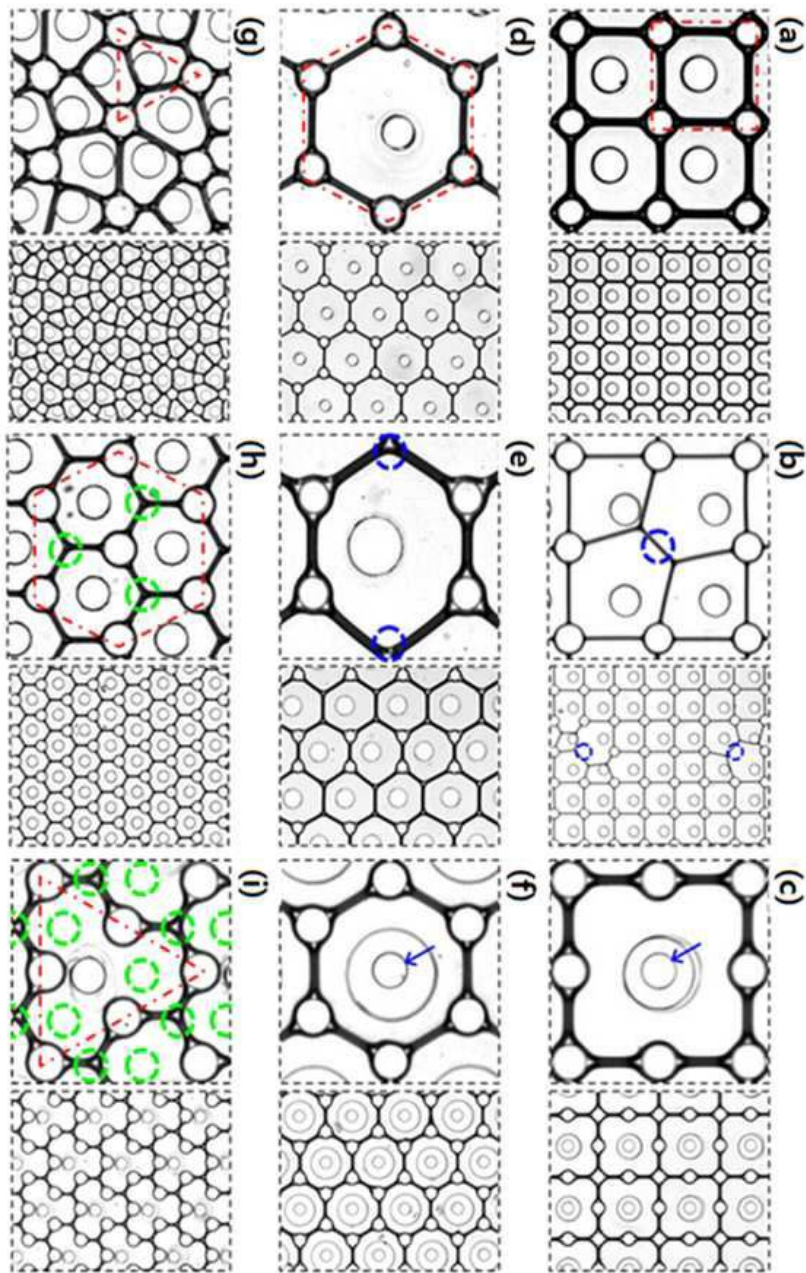
도면9



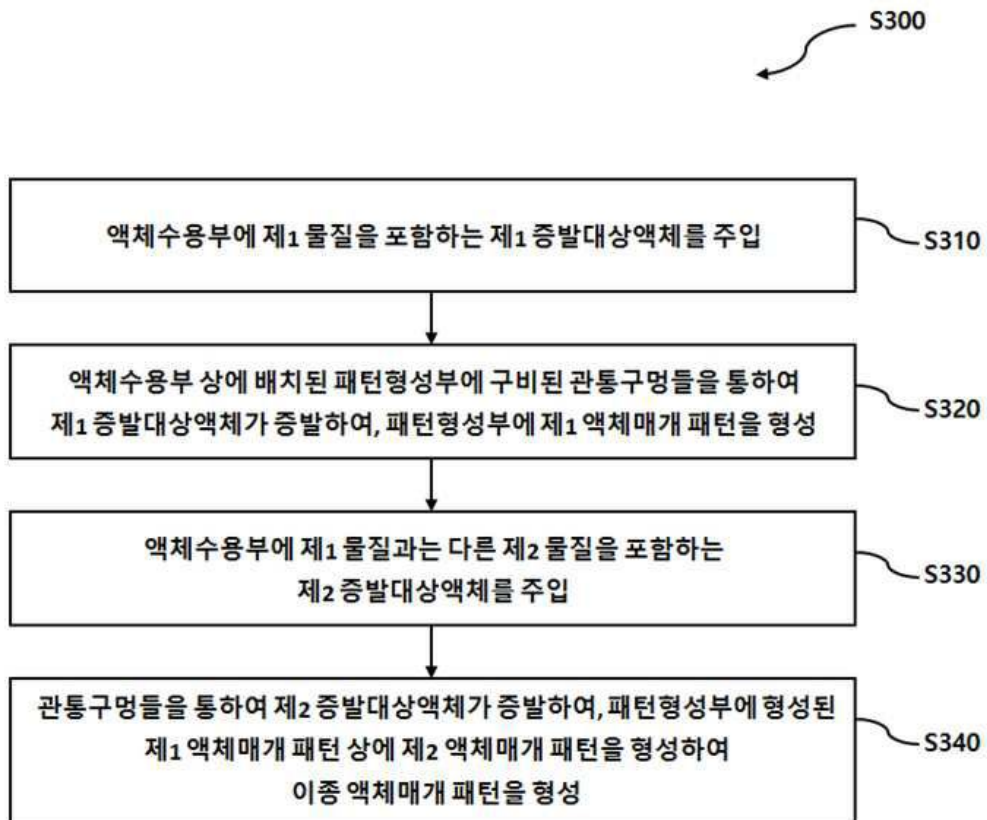
도면10



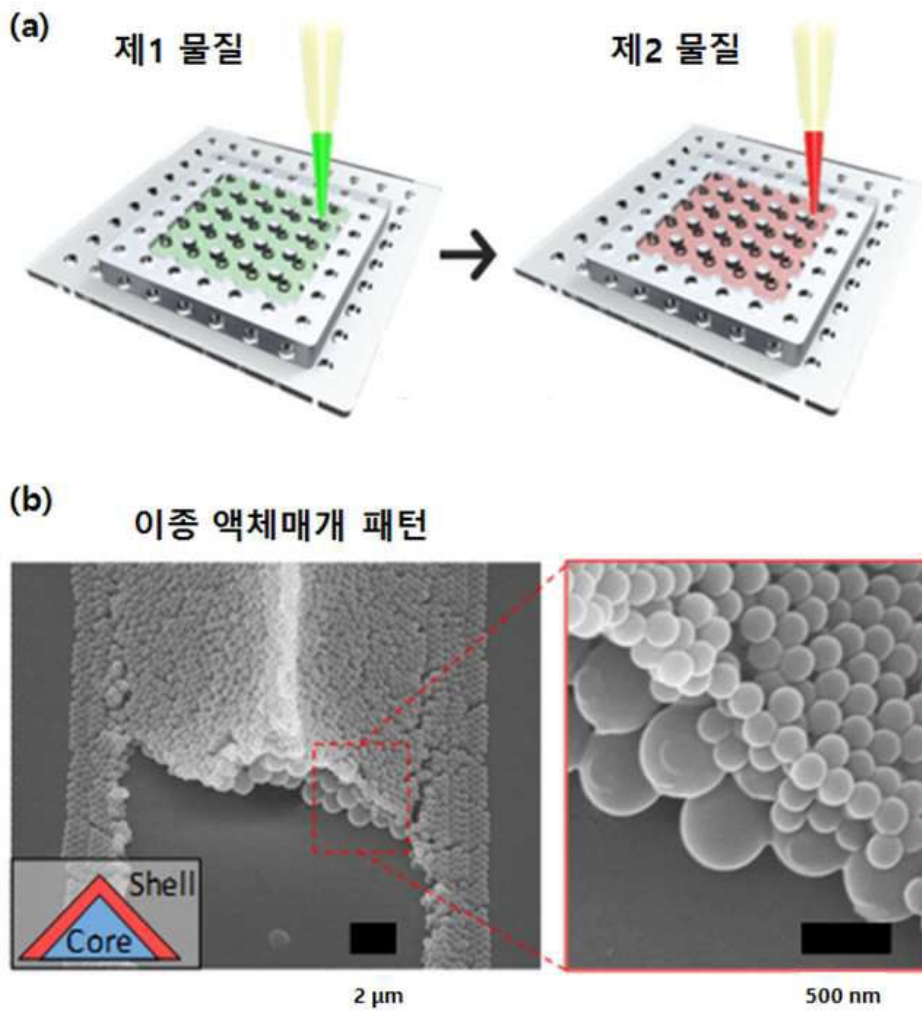
도면11



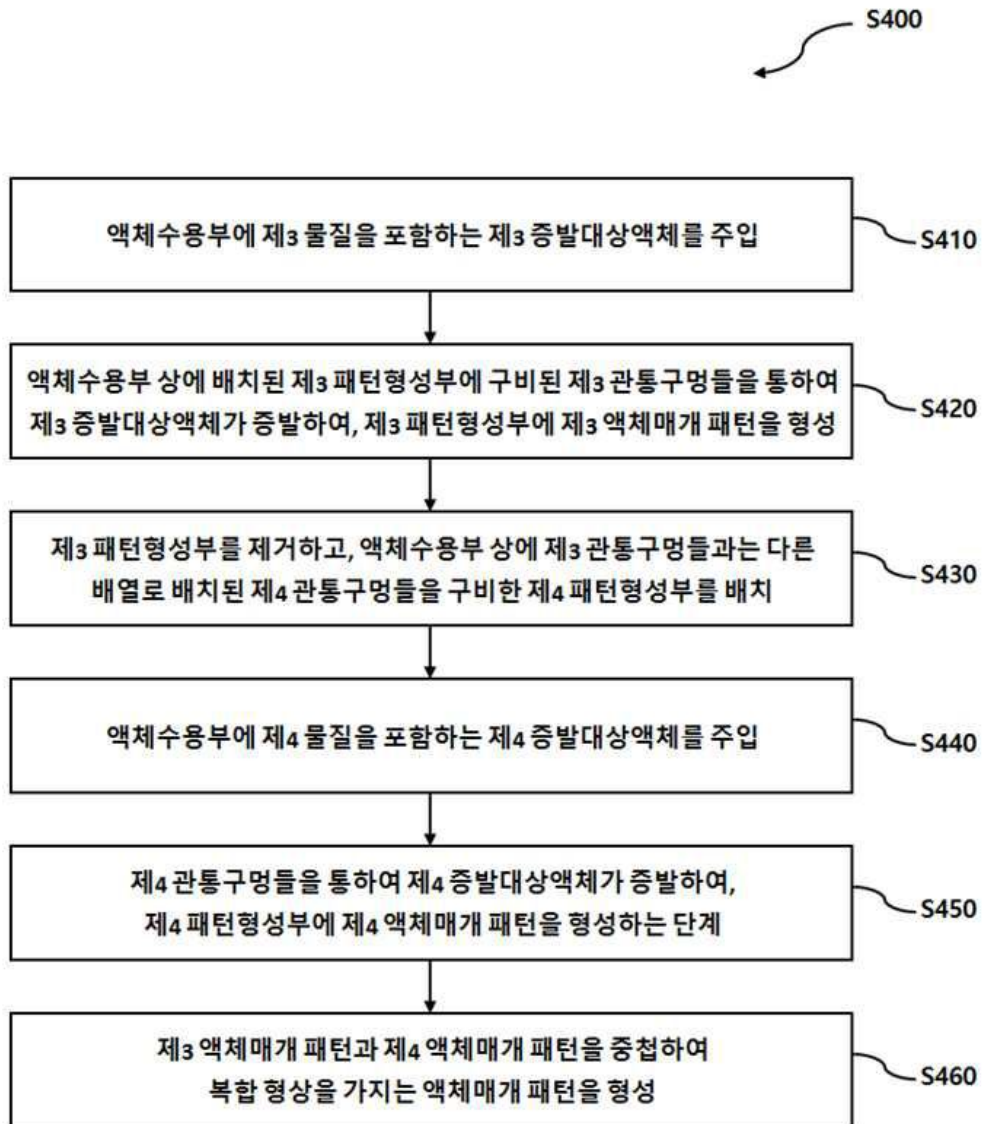
도면12



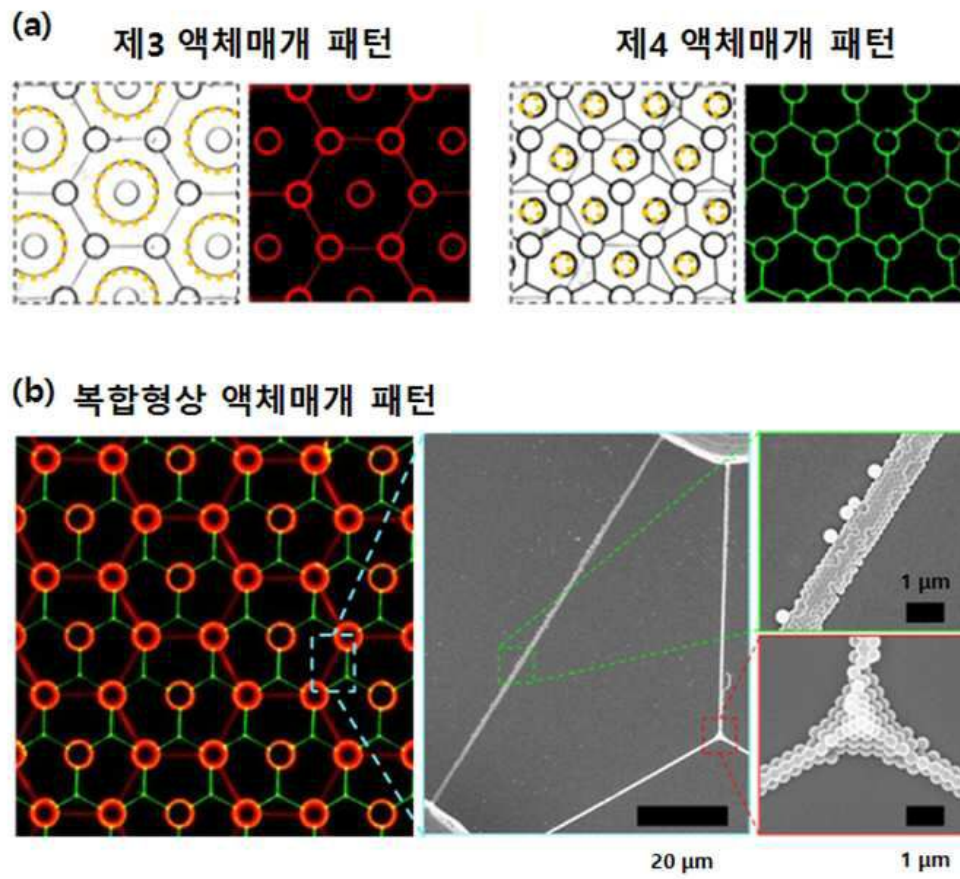
도면13



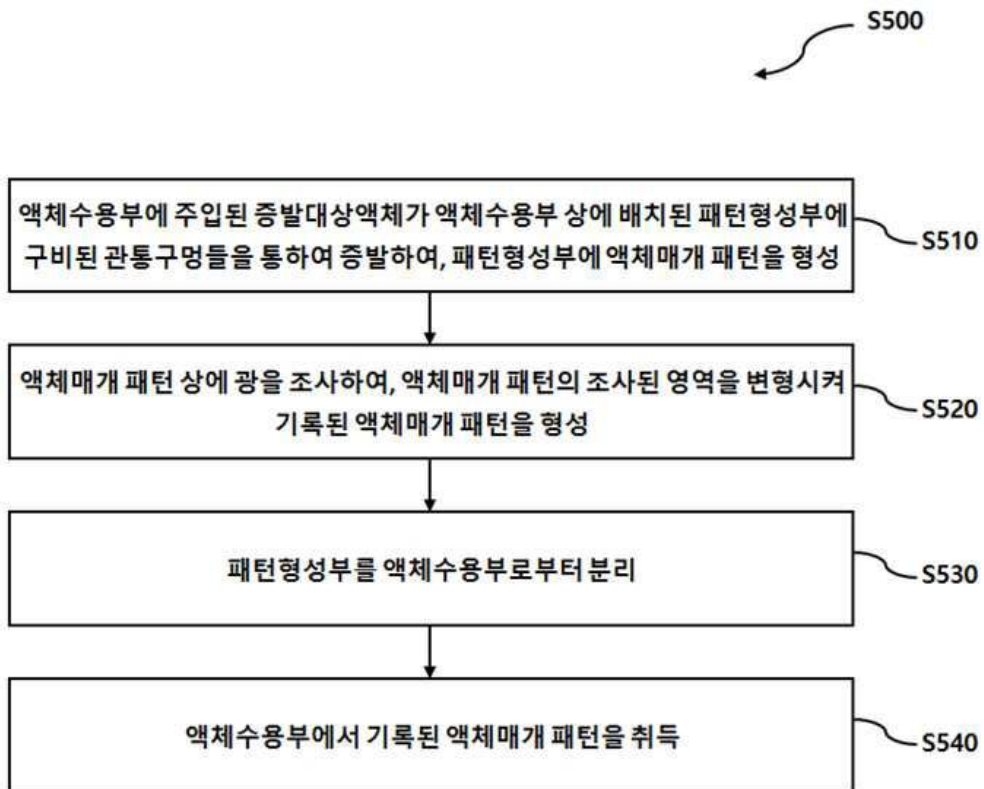
도면14



도면15



도면16



도면17

