(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년11월21일
(11) 등록번호 10-2732292
(24) 등록일자 2024년11월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B08B 17/06 (2006.01) *B29C 33/38* (2018.01)
B29C 33/42 (2018.01) *C09D 5/16* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B08B 17/065 (2013.01)
B29C 33/3878 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0069264
(22) 출원일자 2023년05월30일
심사청구일자 2023년05월30일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020210136347 A*
US20060078724 A1*
KR1020180021401 A
KR1020170089205 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
박일웅
인천광역시 남동구 서창남순환로 55, 503동 1604호(서창동, 서창센트럴푸르지오)
(74) 대리인
이은철, 이수찬

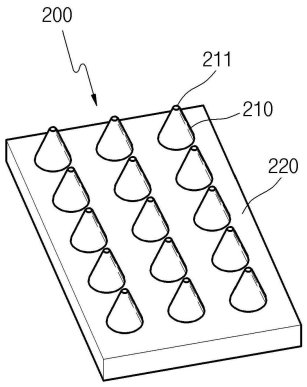
전체 청구항 수 : 총 7 항 심사관 : 김정현

(54) 발명의 명칭 **초소수성 유연 시트 및 이의 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 초소수성 표면을 가짐으로써 자가 세정 기능이 있으면서 유연하여 평면과 곡면 모두에 부착 가능한 초소수성 유연 시트 및 이의 제조 방법에 관한 것으로서, 일면에 형성되는 초소수성 미세 구조를 포함함으로써, 투명하고 유연하면서도 표면에 초소수성 미세 패턴이 형성되어 자기 세정 효과가 있어, 기존의 각종 시설물이나 차량의 유리 또는 차체 및 기타 외관 효과나 물과의 마찰력을 이겨내야 하는 잠수함 등에도 적용할 수 있도록 곡면에 부착 가능하고, 초소수성이 발휘될 수 있는 극히 미세한 패턴이 유연한 필름 형태의 시트에 구현되는 초소수성 유연 시트 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B29C 33/424 (2013.01)
C09D 5/1681 (2013.01)

공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

유연한 시트로서,

일면에 형성되는 초소수성 미세 구조를 포함하며,

상기 초소수성 미세 구조는 상부가 일정한 높이에서 절개되어 상단이 평면으로 형성된 미세한 원추 형상이 종횡으로 반복되는 형태이며, 시트의 전체 표면적에 대해 상기 미세한 원추 형상의 상단 평면의 면적의 합의 비율은 0.009 ~ 0.09 사이인 것을 특징으로 하는 초소수성 유연 시트.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 유연한 시트는 투명 재질의 폴리디메틸실록산으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 초소수성 유연 시트.

청구항 5

제1항, 및 제4항 중 어느 하나의 항으로 이루어지는 초소수성 유연 시트를 제조하는 방법으로서,

상기 초소수성 미세구조가 표면에 형성된 원판을 제작하는 단계;

상기 원판으로 상기 초소수성 미세구조에 대응되는 음각형상을 가지는 주형을 제작하는 단계;

상기 주형에 원료를 부어서 초소수성 유연 시트를 제작하는 단계;를 포함하는 초소수성 유연 시트 제조 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 초소수성 미세구조는 원추 형상이 종횡으로 반복되는 형태이고,

상기 초소수성 미세구조는 실리콘 웨이퍼에 포토레지스트 층을 접합한 후 감광하여 형성하는 것을 특징으로 하는 초소수성 유연 시트 제조 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 주형과 상기 초소수성 유연 시트는 모두 폴리디메틸실록산인 것을 특징으로 하는 초소수성 유연 시트 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 주형을 제작하는 단계와 상기 초소수성 유연 시트를 제작하는 단계는 모두 원료 혼합 단계를 포함하되,

상기 주형을 제작하는 단계에서의 원료 혼합 비율과 상기 초소수성 유연 시트를 제작하는 단계에서의 원료 혼합 비율은 서로 다르며,

상기 초소수성 유연 시트를 제작하는 단계에서의 원료 혼합 비율로 상기 초소수성 유연 시트의 투명도와 유연성을 조절하는 것을 특징으로 하는 초소수성 유연 시트 제조 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 주형을 제작하는 단계에서의 원료 혼합 단계는 상기 주형의 경도와 인장강도가 상기 원판보다는 작고 상기 초소수성 유연 시트보다 크도록 원료 배합 비율을 조절하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 초소수성 유연 시트 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 초소수성 표면을 가짐으로써 자가 세정 기능이 있으면서 유연하여 평면과 곡면 모두에 부착 가능한 초소수성 유연 시트 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 물체의 표면에 대한 물의 접촉각이 0도와 90도 사이인 경우를 친수성이라고 하고 물의 접촉각이 90도와 180도 사이 인 경우를 소수성이라고 한다. 소수성 중에서도 특히 물의 접촉각이 150도와 180도 사이일 경우를 ‘초소수성’이라고 한다.

[0003] 초소수성 성질을 띠는 물체의 표면은 물에 좀처럼 젖지 않으므로 물에 녹아 있는 불순물이나 물에 녹을 수 있는 불순물로 인해 표면이 오염되는 것이 방지될 수 있으므로 마치 자체적으로 세척된 것과 동일한 효과인 자가 세정 기능이 있다.

[0004] 이러한 효과는 더러운 연못에서 자라더라도 항상 깨끗함을 유지하는 연꽃에서 발견할 수 있으며, 실제로 연꽃은 그 표면에서 물방울이 쉽게 구를 수 있어 소수성 상태를 의미하는 Cassie & Baxter 상태는 연꽃의 표면을 그 모델로 한다.

[0005] 따라서 초소수성 표면이 구현될 수 있다면 상시적인 유지 관리가 힘들면서도 깨끗한 표면 상태가 유지될 필요가 있는 태양전지 패널이나 공공장소의 시설물들 또는 마감재에 적용된다면 유지 보수에 들어가는 비용과 시간이 절약될 수 있다.

[0006] 뿐만 아니라 시야 확보가 중요한 차량의 유리에도 초소수성이 적용된다면 특히 비가 오는 날에도 물방울이 전면 유리에 맺히지 않아 시야 확보가 유리하고, 차체에 적용된다면 오염이 쉽게 되지 않아 고급스런 마감이 항상 유지될 수 있다.

[0007] 또한 청소가 일상적으로 필요한 일반 가정의 바닥, 욕실 벽면, 타일, 거실 유리창 등에도 적용될 수 있다면 청결이 보다 쉽게 유지될 수 있으며 청소에 드는 노고가 대폭 절감될 수 있을 것이다.

[0008] 하지만 기존 시설물이나 각종 물건에 초소수성을 임의로 부여하는 것은 사실상 불가능하고, 또한 기존 물건들은 차량의 유리에서 알 수 있듯이 곡면이 많으므로 경질의 패널에 초소수성이 구현되더라도 기존 물건에 부착한다는 것은 사실상 힘들다.

[0009] 종래에는 실리콘과 같은 단단한 표면에 초소수성을 띨 수 있는 미세패턴을 형성하는 형태로 초소수성 표면이 구현되었고 이에 대한 여러 가지 연구가 수행되고 있다.

[0010] 소수성 표면은 물질 표면의 화학적 조성으로도 얻을 수 있으나, 초소수성 표면의 구현은 화학적인 방법만으로는 얻기가 힘들며, 실제로 코팅 등의 화학적 처리 만으로는 물의 접촉각을 120도 이상으로 올리는 것은 힘들다. 이때 표면의 초소수성 성질은 재료 자체의 화학적 조성보다는 표면의 계층적 기하학적 구조에 의존한다는 것이 여러 연구를 통해 밝혀지고 있다.

[0011] 이때 초소수성 표면 상태에서 액체 방울과 물질 표면의 접촉 형태는 액체 방울이 물질 표면에서 고체로 된 돌기와 기체 위에 얹혀 있는 형태가 된다.

[0012] 하지만 아직은 각종 물건에 임의로 초소수성 표면을 부여할 수 있는 기술은 발견하기 힘든 실정이며, 한정된 몇

가지 물건들에만 제조 단계에서 초소수성 표면을 형성하는 기술들만이 사용되고 있다.

선행기술문헌

[0013] 공개특허공보 제10-2022-0104152호(공개일자: 2022. 07. 26)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 이에 본 발명은 투명하고 유연하면서도 표면에 초소수성 미세 패턴이 형성되어 자기 세정 효과가 있어, 기존의 각종 시설물이나 차량의 유리 또는 차체 및 기타 외관 효과나 물과의 마찰력을 이겨내야 하는 잠수함 등에도 적용할 수 있도록 곡면에 부착 가능하고, 초소수성이 발휘될 수 있는 극히 미세한 패턴이 유연한 필름 형태의 시트에 구현되는 초소수성 유연 시트 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 이러한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 초소수성 유연 시트는 유연한 시트로서, 일면에 형성되는 초소수성 미세 구조를 포함한다.

[0016] 여기서 상기 초소수성 미세 구조는 바람직하게는 미세한 원추 형상이 종횡으로 반복되는 형태일 수 있다.

[0017] 이 경우 상기 미세한 원추 형상은 바람직하게는 상부가 일정한 높이에서 절개되어 상단이 평면으로 형성될 수 있다.

[0018] 이때 상기 유연한 시트는 바람직하게는 투명 재질의 폴리디메틸실록산으로 이루어질 수 있다.

[0019] 상기 내용으로 이루어지는 본 발명에 따른 초소수성 유연 시트를 제조하는 방법은 상기 초소수성 미세구조가 표면에 형성된 원판을 제작하는 단계와, 상기 원판으로 상기 초소수성 미세구조에 대응되는 음각형상을 가지는 주형을 제작하는 단계와, 상기 주형에 원료를 부어서 초소수성 유연 시트를 제작하는 단계를 포함한다.

[0020] 여기서 상기 미세구조 원판은 바람직하게는 실리콘 웨이퍼에 포토레지스트 층을 접합하여 제조하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 또한 상기 주형과 상기 초소수성 유연 시트는 바람직하게는 모두 폴리디메틸실록산일 수 있다.

[0022] 이때 상기 주형을 제작하는 단계와 상기 초소수성 유연 시트를 제작하는 단계는 모두 바람직하게는 원료 혼합 단계를 포함하되, 상기 주형을 제작하는 단계에서의 원료 혼합 비율과 상기 초소수성 유연 시트를 제작하는 단계에서의 원료 혼합 비율은 서로 다르며, 상기 초소수성 유연 시트를 제작하는 단계에서의 원료 혼합 비율로 상기 초소수성 유연 시트의 투명도와 유연성을 조절할 수 있다.

[0023] 이 경우 상기 주형을 제작하는 단계에서의 원료 혼합 단계는 바람직하게는 상기 주형의 경도와 인장강도가 상기 원판보다는 작고 상기 초소수성 유연 시트보다 크도록 원료 혼합 비율을 조절하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 따른 초소수성 유연 시트 및 이의 제조 방법은 투명하고 유연하면서도 표면에 초소수성 미세 패턴이 형성되어 자기 세정 효과가 있어, 기존의 각종 시설물이나 차량의 유리 또는 차체 및 기타 외관 효과나 물과의 마찰력을 이겨내야 하는 잠수함 등에도 적용할 수 있도록 곡면에 부착 가능하고, 초소수성이 발휘될 수 있는 극히 미세한 패턴이 유연한 필름 형태의 시트에 구현되는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 초소수성 유연 시트의 사시도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 초소수성 유연 시트의 제조 방법을 순서대로 나타낸 개념도이다.

도 3의 (a)(b)(c)(d)는 도 2에서 측면도로 표시된 (d)(e)(i)(h)를 각각 상부에서 바라보고 촬영한 SEM 이미지이다.

도 4는 주형과 본 발명에 따른 초소수성 유연 시트의 사시도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 초소수성 유연 시트의 제조 방법을 나타낸 블록도이다.

도 6의 (a)(b)는 원추 형상에 대한 겉보기 접촉각과 평형 습윤각 및 원추 형상의 상단 면적의 비율의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 7의 (a)(b)는 원추 형상의 상단 면적의 비율에 대한 접촉각 히스테리시스와 겉보기 접촉각의 관계를 각각 나타낸 그래프이다.

도 8은 원추 형상의 상단 면적의 비율과 기울기 각도의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 9의 (a)(b)(c)는 원추 형상의 상단 면적의 비율에 대한 접촉각의 변화를 기준 접촉각과, 측정 접촉각과, 평형 접촉각 그래프에 대비하여 나타낸 그래프이다.

도 10의 (a)(b)(c)(d)(e)는 (a) 매끄러운 표면, (b) 미세 기둥, (c) 단단한 기판 위의 미세 원추, (d) 부드러운 기판 위의 미세 원추 및 (e) 단단한 기판 위에서 물방울 형성이 실패한 경우 각각의 접촉각 개념도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 본 발명의 실시예에서 제시되는 특정한 구조 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있다. 또한 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 되며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경물, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0028] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 대해 상세히 설명한다.

[0029] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 초소수성 유연 시트(200)는 유연한 시트로서, 일면에 초소수성을 물리적으로 구현하는 미세 구조가 형성된다.

[0030] 물체 표면의 소수성은 화학적인 처리로도 구현될 수 있지만 한계가 있어, 액적의 접촉각이 대략 150도 이상인 초소수성의 구현은 표면의 기하학적인 미세한 물리적 구조로 구현될 수 있다. 이때 물방울은 미세 구조 사이의 공기로 파고들지 못하여 미세 구조의 상단과 그 사이의 공기에 얹혀서 부양된 형태로 접촉하므로 거시적으로 관찰할 때 물방울이 물체 표면을 적시지 못하고 물방울 형태가 유지되는 것을 관찰할 수 있다.

[0031] 물체 표면이 초소수성을 띨 수 있도록 하는 연구는 종래에도 있어 왔으나, 유연한 시트 또는 필름 형태의 물체 표면에서 단단한 물체 표면과 동일한 정도의 초소수성을 얻는 것은 종래에는 힘들었으며, 이에 대해 본 발명에서는 초소수성 성질이 필름 또는 시트 형태의 유연한 재질에 구현됨으로써, 이미 설치된 각종 시설의 마감재나 차량 등의 차체에 자가 세정이 가능한 초소수성을 부여할 수 있는 효과가 있다.

[0032] 초소수성 미세 구조는 도 1과 같이 보다 구체적으로 미세한 원추 형상(210) 또는 원뿔 형상이 종횡으로 반복되는 형태로 이루어질 수 있다. 이때 미세한 원추 형상(210) 사이에는 일종의 에어 포켓이 형성되어 물방울이 원추 형상 사이의 바닥면까지 침투하지 못함으로써 물방울은 거시적으로 관찰할 때 초소수성 유연 시트(200)의 표면에서 그대로 물방울 형태가 유지되는 모습을 띨 수 있다.

[0033] 원추 형상(210,11,21,31)은 특히 도 1 및 도 3의 (a) 내지 (d)를 참조하면 상부가 일정한 높이에서 수평 방향으로 절개되어 상단(211)이 평면으로 형성될 수 있다. 원추 형상(210)의 상단이 만약 뾰족한 첨두로 형성되어 상단(211) 면적이 너무 작을 경우에는 물방울이 원추 형상(210)의 상단에서 멈추지 않고 원추 형상(210) 사이의 바닥(220)까지 밀려 내려올 수 있다.

[0034] 따라서 원추 형상(210)들의 상단(211)의 면적의 합이 적어도 일정한 면적 이상이 되면서 비로소 시트 표면의 성질이 습윤-친수성 상태에서 소수성 또는 초소수성 상태로 변화되는 것을 알 수 있다. 이에 대해서는 뒤에서 상술하기로 한다.

[0035] 또한 초소수성 유연 시트(200)를 이루는 재질은 투명 재질의 폴리디메틸실록산(이하에서 PDMS라 칭하기로 한다)일 수 있다. PDMS는 실리콘 기반의 유기 중합체로서, 탄성계수가 낮아 쉽게 변형될 수 있고 불활성, 무독성, 불연성이 있어 다양한 물체에 접합되기에 좋다. 그리고 투명도가 높아 유리나 기타 각종 마감재의 표면 질감과 투명도를 유지시켜주면서 접합될 수 있다.

[0036] 따라서 유연함과 투명도를 가지면서 동시에 초소수성 성질이 구현됨으로써, 곡면 형상의 물체에도 얼마든지 부착되어 자가 세정 기능을 부여할 수 있어 청정도가 중요한 물건에 광범위하게 활용될 수 있는 각별한 효과가 있

다.

[0037] 본 발명의 일 실시예에 따른 초소수성 유연 시트(200)의 제조 방법은 도 2에 도시된 바와 같이 초소수성 미세구조가 표면에 형성된 원판(30)을 제작하는 단계와, 원판(30)으로 초소수성 미세구조에 대응되는 음각형상을 가지는 주형(100)을 제작하는 단계와, 주형(100)에 원료를 부어서 초소수성 유연 시트(200)를 제작하는 단계를 포함한다.

[0038] 도 2를 참조하면, 원판(30)을 제작하는 단계는 최종적으로 제작되는 본 발명에 따른 초소수성 유연 시트(200)의 표면에 형성되는 미세구조와 동일한 형상의 미세 구조를 실리콘 웨이퍼(1)에 형성하는 단계이다.

[0039] 원판(30)을 제작하는 단계는 구체적으로 먼저 실리콘웨이퍼(a)(1)에 포토레지스트 층(2)을 접합하는 단계(b)와, 원추 형상의 상단이 포토레지스트 층에 양각으로 새겨지도록 하는 감광 단계(c)와, 식각 단계(d)와, 포토레지스트 층(2)을 세척하여 제거하는 단계(e)와, 실란화 단계(f)로 이루어질 수 있다. 참고로 도 3의 (a)의 사진은 식각 단계 직후의 사진이고, 도 3의 (b)의 사진은 포토레지스트 층(2)이 제거된 상태를 나타낸다. 여기서 원판(30)은 바로 도 2의 (f)의 단계로 제작된 실란화 된 실리콘웨이퍼인 TC_S를 의미한다.

[0040] 주형(100)을 제작하는 단계(g)는 주형(100)의 원료를 배합하는 단계와, 배합된 원료 혼합물을 탈기하는 단계와, 원판(30)에 접촉한 상태로 경화하는 단계와, 실란화 단계로 이루어질 수 있으며, 이때 실란화에 앞서 주형(100)의 뒷면을 마무리하도록 하는 산소 플라즈마 처리 단계를 더 거칠 수 있다.

[0041] 초소수성 유연 시트(200)를 제작하는 단계(h)는 원료를 배합하는 단계와, 배합된 원료 혼합물을 탈기하는 단계와, 주형(100)에 원료 혼합물을 붓는 단계와, 주형(100)에 부어진 원료 혼합물을 경화하는 단계와, 경화가 완료된 원료 혼합물을 주형(100)에서 분리하는 단계로 이루어질 수 있다.도 3의 (d)가 완성된 초소수성 유연 시트(200)의 사진이다.

[0042] 주형(100)은 최종적으로 제조되는 초소수성 유연 시트(200)의 표면에 형성되는 초소수성 미세 구조가 형성되도록 초소수성 미세 구조의 음각 형상이 주형(100)의 일면에 형성된다. 도 4의 왼쪽이 주형(100)을 나타낸 사시도이고 오른쪽은 주형(100)으로 제작된 초소수성 유연 시트(200)를 나타낸 사시도이다. 여기서 초소수성 미세 구조는 보다 구체적으로 원추 형상(210)이 종횡으로 반복되는 형태일 수 있다.

[0043] 주형(100)과 초소수성 유연 시트(200)는 그 재질이 모두 폴리디메틸실록산(PDMS) 일 수 있다. 이 경우 주형(100)을 제작하는 단계에서의 원료 혼합 비율과 초소수성 유연 시트(200)를 제작하는 단계에서의 원료 혼합 비율은 서로 다르게 함으로써, 주형(100)과 최종 생산물인 초소수성 유연 시트(200)는 서로 유연성과 인장 강도 등의 기계적 성질이 서로 다르게 할 수 있다.

[0044] 또한 초소수성 유연 시트(200)를 제작하는 단계에서의 원료 혼합 비율로 초소수성 유연 시트(200)의 투명도와 유연성을 조절할 수 있다.

[0045] 그리고 주형(100)을 제작하는 단계에서의 원료 혼합 단계는 주형(100)의 경도와 인장강도가 원판(30)보다는 작고 초소수성 유연 시트(200)보다 크도록 원료 배함 비율을 조절하는 단계를 포함할 수 있다.

[0046] 이하에서는 투명하고 유연한 본 발명에 따른 초소수성 유연 시트(200)가 유연함과 투명함이 초소수성과 함께 동시에 구현되는 원리에 대해 본 발명이 도출되기까지의 중간 연구과정을 함께 간략하게 살펴보며 설명하기로 한다.

[0047] 물체 표면의 소수성 성질은 연꽃 잎 표면의 미세구조로 대표되며 Cassie-Baxter 상태라고 지칭되기도 한다. 친수성은 장미꽃잎의 표면과 유사한 상태라고 하여 Wenzel 상태라고 지칭된다.

[0048] 본 출원인은 Cassie-Baxter 상태와 Wenzel 상태 상호간의 전이 조건으로 습윤성과 소수성을 제어하는 데 초점을 두고 연구를 진행하였다. 이때 물체 표면의 원추 형상의 미세구조의 높이와 원추형 미세구조의 각 중심 간의 거리 및 원추형 미세구조 상면의 면적의 합계와 물체의 전체 표면적의 비율 등이 변수가 될 수 있음을 확인하였다.

[0049] 연구의 두 번째 초점은 저렴하면서 복제 가능할 뿐만 아니라 특히 극히 유연하여 어떠한 표면 형상을 가지더라도 대부분의 물체에 부착 가능하고 투명하여 물체의 표면 질감과 색상 및 투명도에 전혀 영향을 미치지 않으면서도 표면에 초소수성을 부여할 수 있는 소재를 개발하고자 하는 것이다.

[0050] 먼저, 젖음성 또는 소수성의 정도를 제어하는 것과 관련하여, 겉보기 접촉각을 θ^*, 평형 습윤각을 θ_E, 고체

표면의 비율 , 즉 물체의 전체 표면적에 대한 미세 구조를 이루는 원추 형상의 상단 면적의 비율을 f_s라고 둘 때,

[0051] $$cos\theta^* = -1 + f_s(cos\theta_E + 1)$$ 의 관계가 성립한다.

[0052] 여기서 겉보기 접촉각 θ^*는 물방울이 물체 표면에 맺힐 때 물방울의 측면 경사가 물체 표면과 이루는 각도를 의미하고 평균 습윤각은 미세한 원추 형상(210)의 사이의 바닥(220)으로만 이루어지고 미세한 원추 형상(210)이 없는 경우에 물방울이 맺힐 때의 물방울과 바닥(220)이 만나는 지점에서 물방울의 측면 경사와 바닥이 이루는 각도이다.

[0053] 도 6의 그래프에 나타난 용어들인 TC_PR, TC_C, TC_PDMS를 이해하기 위해 도 2와 도 3을 함께 살펴보면, TC_PR은 도 2에서 (d)로 표시된 상태인 식각 후 포토레지스트 층(2)을 제거하기 전 상태로서 도 3의 (a)에 해당되고, TC_C는 도 2의 (d)에서 포토레지스트 층(2)을 제거한 (e)상태로서 도 3의 (b)에 해당되며, TC_PDMS는 원판(30)으로 주형(100)을 생산한 후 주형(100)으로 제작한 초소수성 유연 시트(200)로서 도 2에서 (h)를 의미하며 도 3의 (d)에 해당한다. 그리고 HC_C는 도 2의 (J)와 도 3의 (c)에 해당하며, 도 2의 (d)에서 건식 에칭을 추가적으로 거친 다음 남아 있는 포토레지스트 층(2)을 제거한 상태를 말한다. 그리고 TC_S는 도 2의 (e)에서 실란화 처리를 거친 다음의 도 2의 (f)상태를 말한다.

[0054] 도 6의 (a) 그래프를 살펴보면, cosθ^* 값과 cosθ_E 값은 TC_PDMS, 즉 최종 생산물인 초소수성 유연 시트(200)가 가장 작은 것을 알 수 있다. cosθ^* 값과 cos θ_E 값이 작다는 것은 곧 θ^* 값과 θ_E 값은 가장 크다는 것을 의미하므로 최종 생산물인 초소수성 유연 시트(200)가 가장 큰 초소수성 성질을 가지는 것을 알 수 있다.

[0055] 도 6의 (b) 그래프를 살펴보면, 전체 표면적에 대한 미세한 원추 형상(210)의 상단 면적의 비율인 f_s값이 일정한 값에서 습윤성과 초소수성으로 급격하게 변하는 임계적인 거동을 보임을 알 수 있다. 이 임계적인 f_s값 중에서도 최종 생산물인 초소수성 유연 시트(200)를 나타내는 TC_PDMS의 경우에는 임계값의 전과 후의 접촉각 차이가 가장 작으며 접촉각 또한 가장 커서 가장 큰 초소수성을 가짐을 알 수 있다.

[0056] 도 7의 (a)에서는 표면이 기울어질 경우에 물방울의 전진 측 접촉각과 후방 측 접촉각의 차이인 히스테리시스 값과 f_s의 관계가 나타나 있고, 여기서 특정한 f_s 값에서 히스테리시스 값이 급격하게 감소됨을 알 수 있다.

[0057] 이때 초소수성일수록 히스테리시스 값이 작으므로, TC_PDMS는 대략 f_s 값이 0.009에서 0.09 사이일 때 가장 양호한 히스테리시스 특성을 가짐을 알 수 있다. 이러한 자료는 미세한 원추 형상(210)의 설계에서 상단(211) 면적과 미세한 원추 형상(210)의 밀도를 정할 때 기준 자료가 될 수 있다.

[0058] 도 7의 (b)는 도 6의 (b)와 유사한 결과를 보여주는 그래프로서 f_s 값의 변화에 대한 겉보기 접촉각의 변화를 나타낸다. 역시 여기서도 본 발명에 따른 초소수성 유연 시트(200)인 TC_PDMS는 가장 우수한 초소수성을 가짐을 알 수 있으며, 특히 대략 f_s 값이 0.009에서 0.09 사이일 때 가장 큰 겉보기 접촉각을 가짐으로써 초소수성 성질을 이 f_s 값에서 극한까지 끌어올릴 수 있음을 알 수 있다.

[0059] 도 8의 그래프는 f_s 값에 대한 기울기 각을 나타낸 그래프이며, 기울기 각이 작을수록 고도의 초소수성을 나타낸다. 이때 큰 초소수성을 얻을 수 있는 최소의 f_s 값이 어느 범위인지를 알 수 있다.

[0060] 도 9의 그래프는 도 6의 (b) 그래프와 유사하며, 도 9의 (a)(b)(c)는 미세한 원추 형상(210)의 높이가 각각 31, 51, 71㎛일 경우의 f_s 값에 대한 접촉각을 나타낸 그래프이다. 여기서 모두 criterion contact angle, 즉 물방울과 고체 계면에서의 에너지 평형이 있을 정도의 시간이 흐른 뒤의 접촉각이 0.8일 때의 실선 곡선과 평형

접촉각을 나타내는 수평선과 만나는 지점에서 친수성-소수성 천이가 일어나는 것을 알 수 있다.

[0061] 여기서도 도 9의 (b)에서 알 수 있는 바와 같이 최종적으로 완성된 초소수성 유연 시트(200)의 경우인 TC_PDMS가 가장 큰 초소수성 성질을 가짐을 알 수 있으며, 천이가 일어나는 지점에서도 친수성-소수성의 천이가 아니라 소수성-초소수성의 천이가 일어남을 관찰할 수 있다.

[0062] 도 10에서는 부드러운 평면과, 지주형 구조와, 경질 콘 구조와, 부드러운 콘 구조 및 경질 콘 구조이면서 평형 접촉각이 낮은 경우에 대한 접촉각 형성의 개념도를 각각 보여준다.

[0063] 도 10의 (c)에서 관찰 할 수 있듯이 미세한 원추 형태는 (b)와 같은 칼럼 형태가 아니라 측면이 경사면으로 형성되므로 접촉각은 원추 형태의 경사 각도만큼 고체와 액체의 접촉각이 수평선으로부터 형성되는 것에 비해 감소한다.

[0064] 도 10의 (d)에서는 고체가 경질이 아닌 유연한 소재로 이루어지므로 유연성으로 인한 변형이 형성되는 만큼 접촉각도가 증가함을 알 수 있어, 미세한 원추 형상(210)이 유연한 소재의 표면에 구현될 수 있다면 경질의 표면에 비해 보다 높은 초소수성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

[0065] 도 11은 실험을 통해 실제로 제작된 PDMS 재질의 초소수성 유연 시트(200)의 사진이다. 도 11의 (a)는 PDMS 재질의 주형의 사진이고 (b)는 주형으로 제작된 초소수성 유연 시트(200)의 사진이다. (a)의 사진에서 주형에 접합된 상태의 초소수성 유연 시트(200)는 미세한 원추 형상(210)이 주형(100)에서 초소수성 유연 시트(200)가 분리될 때 서로 간섭이 일어나지 않는 형태인 점에서 구조적 안정성이 있어, 주형(100)에서 초소수성 유연 시트(200)를 분리하는 과정에서 표면의 초소수성이 저하될 우려가 없으며, 극히 저렴한 비용으로 고도로 유연하면서 높은 초소수성과 투명성이 겸비된 표면을 얻을 수 있어, 자가 세정 기능이 필요한 대부분의 물체에 적용이 가능한 효과가 있다.

[0067] 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능함은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명백할 것이다.

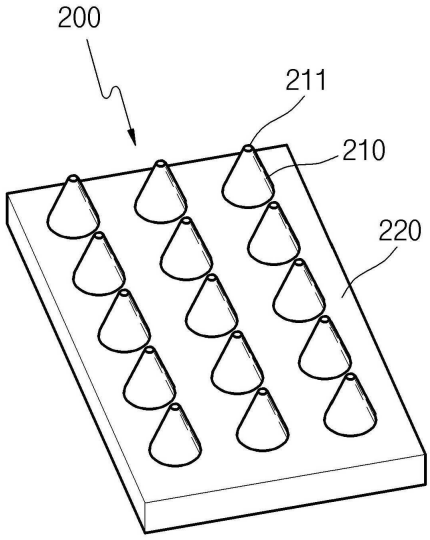
부호의 설명

[0068]

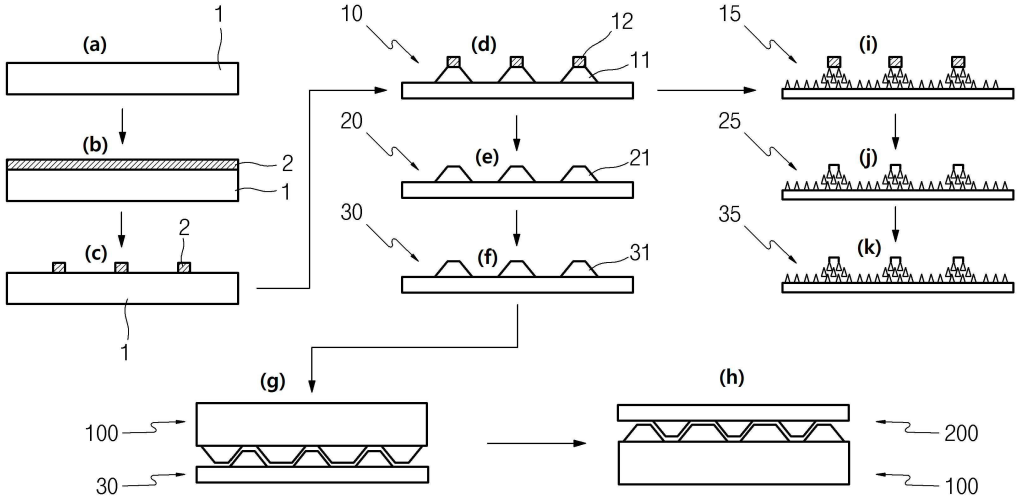
1 : 실리콘 웨이퍼	2 : 포토레지스트 층
10 : TC_PR	11,21,31,210 : 원추 형상
12 : 감광된 포토레지스트 층	15 : HC_PR
20 : TC_C	25 : HC_C
30 : 원판	35 : HC_S
100 : 주형	110 : 원추 형상 홀
200 : 초소수성 유연 시트	211 : 상단
220 : 바닥	

도면

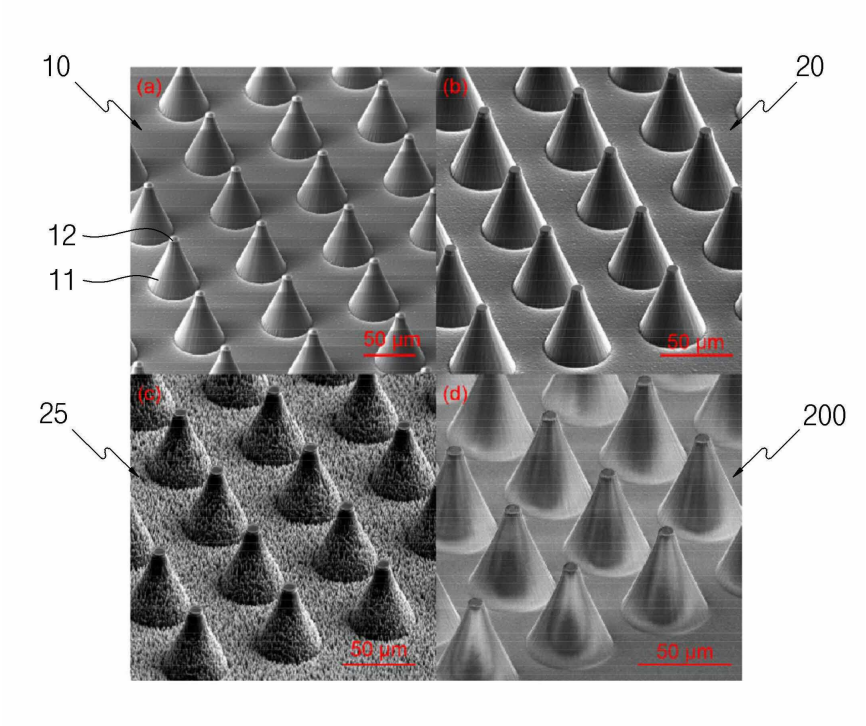
도면1


200
211
210
220

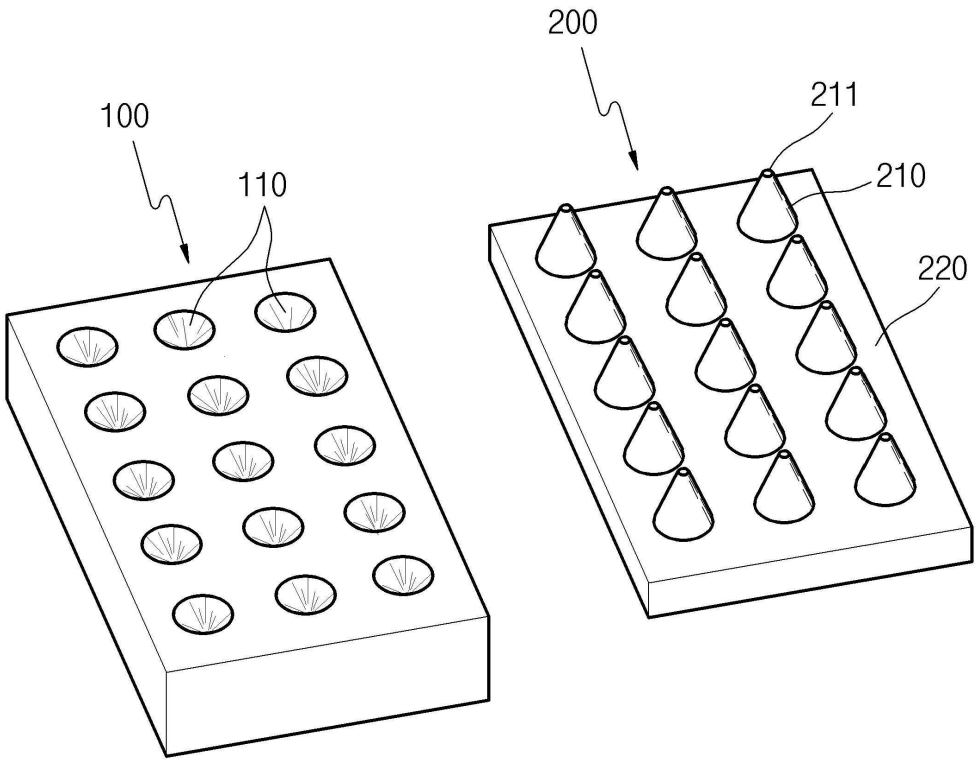
도면2


(a)
1
(b)
2
1
(c)
2
1
10
(d)
12
11
20
(e)
21
30
(f)
31
15
(i)
25
(j)
35
(k)
(g)
100
30
(h)
200
100

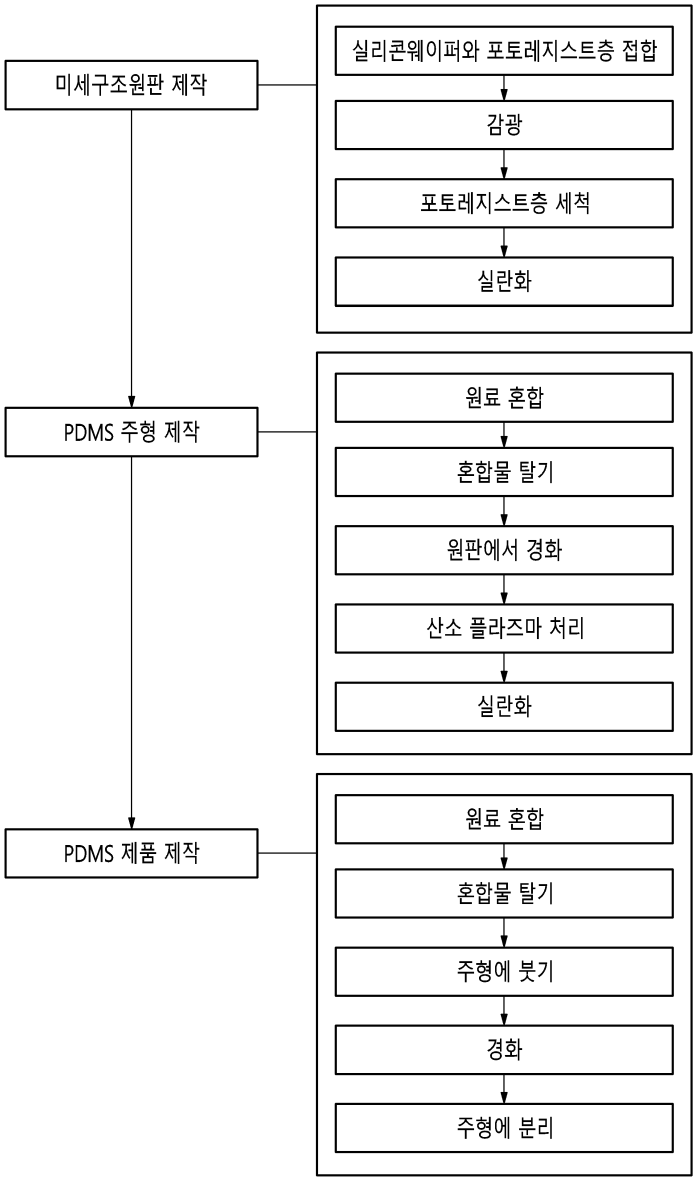
도면3


10
20
12
11
25
200
(a)
(b)
(c)
(d)
50 μm
50 μm
50 μm
50 μm

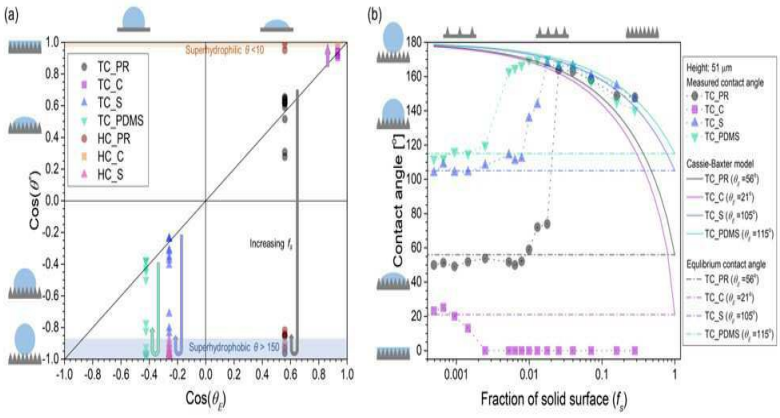
도면4


100
110
200
211
210
220

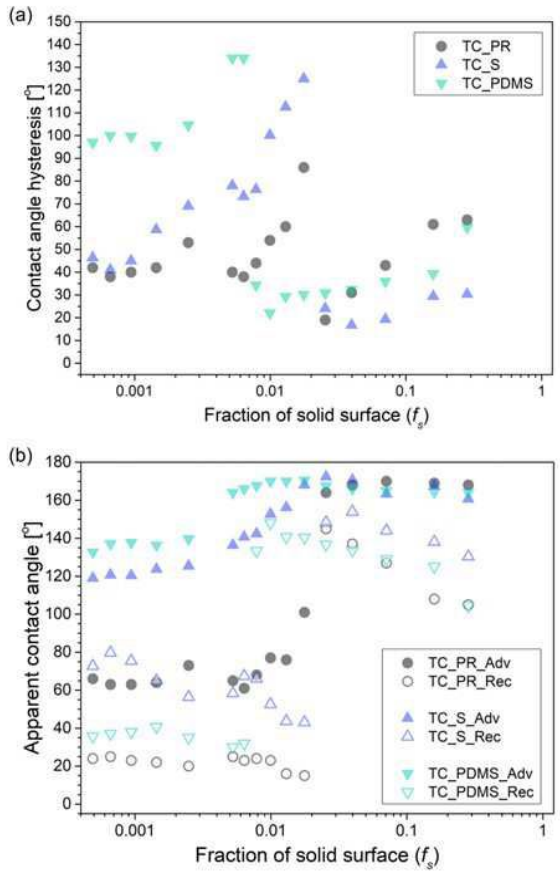
도면5


미세구조원판 제작
실리콘웨이퍼와 포토레지스트층 접합
감광
포토레지스트층 세척
실란화
PDMS 주형 제작
원료 혼합
혼합물 탈기
원판에서 경화
산소 플라즈마 처리
실란화
PDMS 제품 제작
원료 혼합
혼합물 탈기
주형에 붓기
경화
주형에 분리

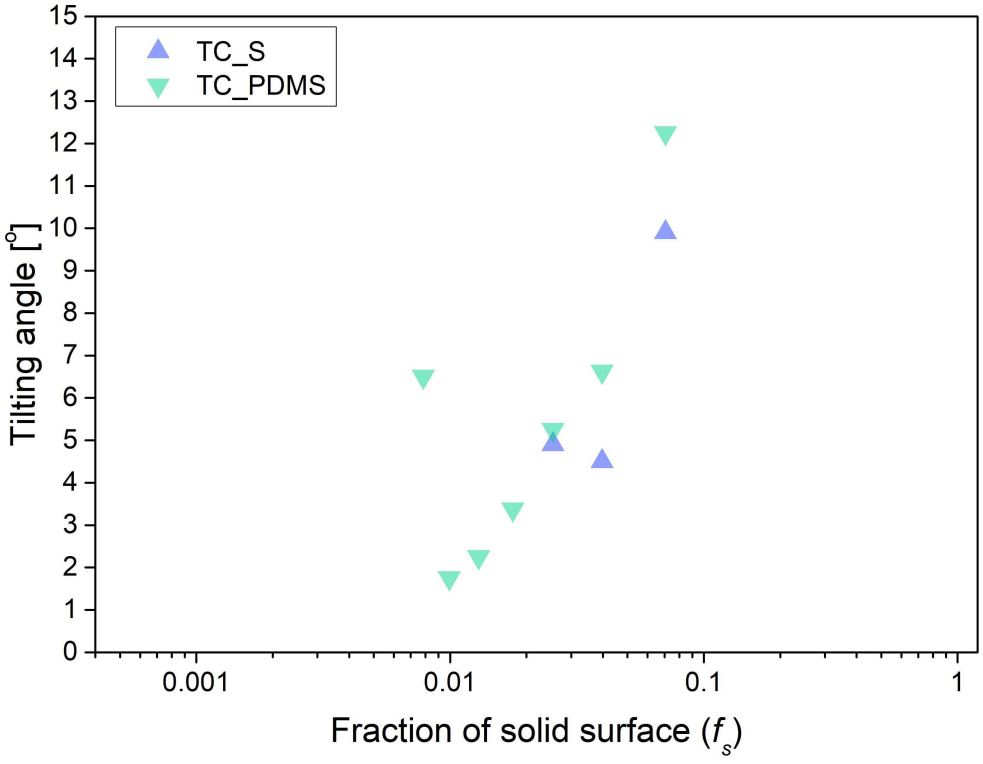
도면6


(a)
Superhydrophilic θ <10
TC_PR
TC_C
TC_S
TC_PDMS
HC_PR
HC_C
HC_S
Increasing f_s
Superhydrophobic θ > 150
Cos(θ)
Cos(θ_c)
(b)
Contact angle (°)
Fraction of solid surface (f_s)
Height: 51 μm
Measured contact angle
Cassie-Baxter model
Equilibrium contact angle

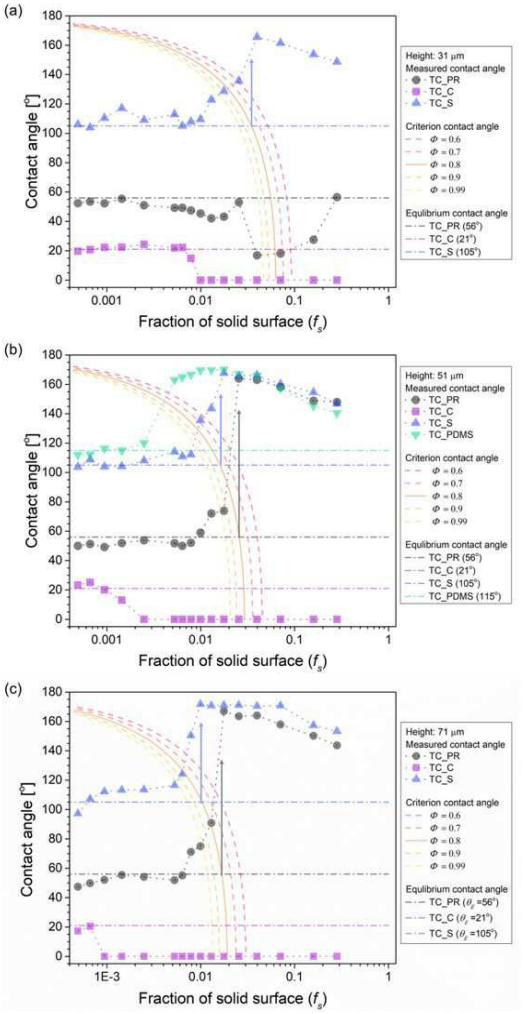
도면7


(a)
Contact angle hysteresis [°]
Fraction of solid surface (f_s)
TC_PR
TC_S
TC_PDMS
(b)
Apparent contact angle [°]
Fraction of solid surface (f_s)
TC_PR_Adv
TC_PR_Rec
TC_S_Adv
TC_S_Rec
TC_PDMS_Adv
TC_PDMS_Rec

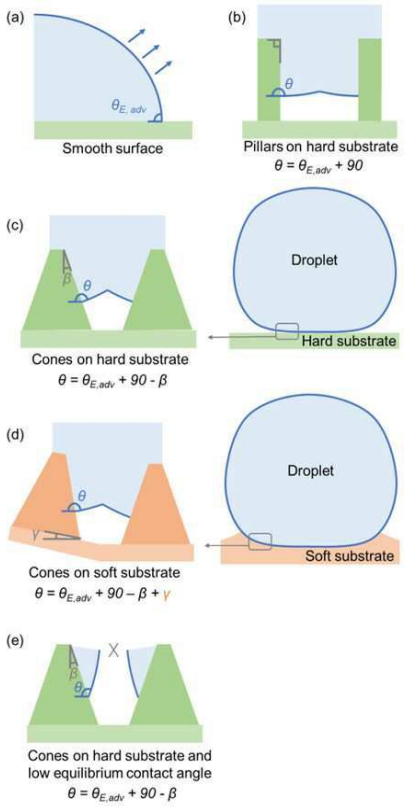
도면8


TC_S
TC_PDMS
Tilting angle [°]
Fraction of solid surface (f_s)

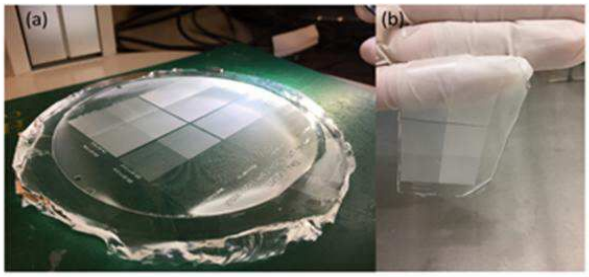
도면9


(a)
Contact angle [°]
Fraction of solid surface (f_s)
Height: 31 μm
Measured contact angle
TC_PR
TC_C
TC_S
Criterion contact angle
Φ = 0.6
Φ = 0.7
Φ = 0.8
Φ = 0.9
Φ = 0.99
Equilibrium contact angle
TC_PR (56°)
TC_C (21°)
TC_S (105°)
(b)
Contact angle [°]
Fraction of solid surface (f_s)
Height: 51 μm
Measured contact angle
TC_PR
TC_C
TC_S
TC_PDMS
Criterion contact angle
Φ = 0.6
Φ = 0.7
Φ = 0.8
Φ = 0.9
Φ = 0.99
Equilibrium contact angle
TC_PR (56°)
TC_C (21°)
TC_S (105°)
TC_PDMS (115°)
(c)
Contact angle [°]
Fraction of solid surface (f_s)
Height: 71 μm
Measured contact angle
TC_PR
TC_C
TC_S
Criterion contact angle
Φ = 0.6
Φ = 0.7
Φ = 0.8
Φ = 0.9
Φ = 0.99
Equilibrium contact angle
TC_PR (θ_e=56°)
TC_C (θ_e=21°)
TC_S (θ_e=105°)

도면10


(a)
$\theta_{E,adv}$
Smooth surface
(b)
θ
Pillars on hard substrate
$\theta = \theta_{E,adv} + 90$
(c)
β
θ
Cones on hard substrate
$\theta = \theta_{E,adv} + 90 - \beta$
Droplet
Hard substrate
(d)
θ
γ
Cones on soft substrate
$\theta = \theta_{E,adv} + 90 - \beta + \gamma$
Droplet
Soft substrate
(e)
X
β
θ
Cones on hard substrate and
low equilibrium contact angle
$\theta = \theta_{E,adv} + 90 - \beta$

도면11


(a)
(b)