



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2020-0044985  
(43) 공개일자 2020년04월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C09D 5/16 (2006.01) B08B 17/06 (2006.01)  
B64D 15/06 (2006.01) B82B 1/00 (2017.01)  
F28F 19/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
C09D 5/1681 (2013.01)  
B08B 17/065 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-7011317(분할)

(22) 출원일자(국제) 2011년11월22일  
심사청구일자 없음

(62) 원출원 특허 10-2019-7025260  
원출원일자(국제) 2011년11월22일  
심사청구일자 2019년09월27일

(85) 번역문제출일자 2020년04월20일

(86) 국제출원번호 PCT/US2011/061898

(87) 국제공개번호 WO 2013/022467  
국제공개일자 2013년02월14일

(30) 우선권주장  
61/515,395 2011년08월05일 미국(US)

(71) 출원인  
메사추세츠 인스티튜트 오브 테크놀로지  
미국 02139 메사추세츠 캠프리지 메사추세츠 애브뉴 77

(72) 발명자  
디만 라지브  
미국 메사추세츠 02148 펠덴 넘버 213 아일랜드 힐 애비뉴 8  
스미스 제이. 데이비드  
미국 메사추세츠 02142 캠프리지 에이피티. 843 3 스트리트 285  
(뒷면에 계속)

(74) 대리인  
장훈

전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 액체 함침 표면, 이의 제조 방법 및 이것이 일체화된 장치

**(57) 요약**

본 발명은 액체 함침 표면을 갖는 물품으로서, 상기 표면은 액체를 사이에 또는 내부에 안정하게 포함하도록 충분히 가깝게 이격되고, 또한 이 위의 박막에 바람직한, 이 위의 피처의 매트릭스를 갖는 것인 물품에 관한 것이다. 상기 표면은 유리한 비습윤 특성을 갖는 물품을 제공한다. 표면 텍스처 내에 비말동반된 가스(예를 들면, 공기)를 포함하는 이전의 비습윤 표면과 비교하여, 이 액체 함침 표면은 침투 및 착상에 저항적이고, 따라서 더 튼튼하다.

(52) CPC특허분류

*B64D 15/06* (2013.01)

*B82B 1/00* (2013.01)

*F28F 19/006* (2013.01)

(72) 발명자

**마라나시 크리파 케이.**

미국 메사추세츠 02420 렉싱턴 유닛 5 플레처 애비  
뉴 31

**레자-가르두노 카벨로 어네스토**

미국 메사추세츠 02139 캠브리지 메모리얼 드라이브 372

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

액체 함침 표면을 포함하는 물품의 증기 터빈에서의 용도로서, 상기 표면은 함침 액체를 사이에 안정하게 포함하도록 충분히 가깝게 이격된 복수의 마이크로 스케일 및/또는 나노 스케일 고체 피쳐(feature)를 포함하고, 상기 표면은 상기 고체 피쳐들 사이에 상기 함침 액체를 안정하게 포함하며, 상기 함침 액체는 상기 고체 피쳐들 사이의 공간을 채우고 상기 표면의 이동에도 불구하고 상기 고체 피쳐들 사이의 제 위치에 유지되고,

$0 < \phi < 0.5$ 이며, 여기서  $\phi$ 는 상기 함침 액체에 의해 침지되지 않는 상기 표면의 표면 면적 분획이고, 상기 표면은 상기 표면과 접촉하는 접촉 액체에 비습윤인, 용도.

### 발명의 설명

#### 기술분야

[0001]

관련 출원에 대한 상호 참조

[0002]

본원은 2011년 8월 5일자에 출원된 미국 가출원 제61/515,395호에 대한 우선권 및 그의 이익을 주장하고, 그 전문을 참조문헌으로 본 명세서에 포함한다.

[0003]

기술분야

[0004]

본 발명은 일반적으로 비습윤 및 저부착성 표면에 관한 것이다. 더 특히, 특정한 실시양태에서, 본 발명은 액체 침투, 얼음 형성, 스케일(scale) 형성, 수화물 형성에 저항적이고/이거나 방오 특성을 갖는 비습윤 표면에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0005]

지난 십년간 마이크로/나노 엔지니어링 표면의 출현은 열유동 과학에서 매우 다양한 물리적 현상을 증대시키기 위한 새로운 기술을 열었다. 예를 들면, 마이크로/나노 표면 텍스처의 사용은 더 적은 점성 항력, 얼음 및 다른 재료에 대한 부착 감소, 자가 세정 및 발수성을 성취할 수 있는 비습윤 표면을 제공한다. 이러한 개선은 일반적으로 고체 표면과 인접한 액체 사이의 접촉 감소(즉, 습윤 감소)로부터 생긴다.

[0006]

관심 대상의 일 유형의 비습윤 표면은 초소수성 표면이다. 일반적으로, 초소수성 표면은 소수성 코팅과 같은 고유한 소수성 표면에 마이크로/나노 스케일 거칠기를 포함한다. 초소수성 표면은 마이크로/나노 표면 텍스처 내의 공기-물 계면에 의해 물과의 접촉에 저항이다.

[0007]

기존의 비습윤 표면(예를 들면, 초소수성, 초소유성 및 초소금속성(supermetallophobic) 표면)의 단점 중 하나는 이것이 쉽게 침투되어, 표면의 비습윤 능력을 파괴한다는 점이다. 충돌하는 액체(예를 들면, 액체 액적 또는 액체 스트림)가 표면 텍스처 내에 비말동반된 공기를 대체할 때 침투가 발생한다. 침투를 방지하기 위한 이전의 노력은 마이크로 스케일로부터 나노 스케일로 표면 텍스처 치수를 감소시키는 것에 중점을 둔다.

[0008]

기존의 비습윤 표면의 다른 단점은 쉽게 얼음이 형성되고 부착된다는 점이다. 예를 들면, 기존의 초소수성 표면에 성애가 형성될 때, 표면은 친수성이 된다. 어느 조건 하에, 물 액적은 표면에 달라붙을 수 있고 얼음이 축적될 수 있다. 얼음이 표면 텍스처와 맞물릴 수 있으므로, 얼음을 제거하기 어려울 수 있다. 유사하게, 이 표면이 탈염 또는 오일 및 가스 분야에서와 같은 염에 의해 포화된 용액에 노출될 때, 표면에 스케일이 축적되어 기능을 소실시킨다. 기존의 비습윤 표면의 유사한 한계로 표면 위의 수화물 형성 및 다른 유기 또는 무기 침착물의 형성의 문제점을 포함한다.

[0009]

더 튼튼한 비습윤 표면(예를 들면, 초소수성 표면, 초소유성 표면 및 초소금속성 표면)에 대한 수요가 존재한다. 특히, 침투 및 얼음 형성에 저항인 비습윤 표면에 대한 수요가 존재한다.

#### 발명의 내용

[0010]

표면 위의 마이크로/나노-엔지니어링 피쳐(feature)의 매트릭스 내에 함침된 액체 또는 표면 위의 기공 또는 다른 작은 웰(well)을 채우는 액체를 포함하는 비습윤 표면이 본 명세서에 기재되어 있다. 표면 텍스처 내에 비말

동반된 가스(예를 들면, 공기)를 포함하는 이전의 비습윤 표면과 비교하여, 이 액체 함침 표면은 침투 및 착상에 저항적이고, 따라서 더 튼튼하다. 본 발명은 사실상 기본적으로, 비습윤 표면으로부터 이익을 얻는 임의의 분야에 사용될 수 있다. 예를 들면, 본 명세서에 기재되어 있는 방법은 오일 및 가스 관로에서 점성 항력을 감소시키고, 비행기 및/또는 송전선 위의 얼음 형성을 방지하고, 충돌하는 액체의 축적을 최소화하기 위해 사용될 수 있다.

- [0011] 본 명세서에 기재되어 있는 방법 및 장치는 본 명세서에서 가스 함침 표면이라 칭하는 기존의 비습윤 표면에 비해 여러 이점을 갖는다. 예를 들면, 가스 함침 표면과 비교하여, 액체 함침 표면은 침투에 훨씬 더 저항적이다. 이는 액체 함침 표면이 액체 충돌 동안 더 높은 압력(예를 들면, 더 높은 액적 속도)를 견디게 한다. 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 이전의 가스 함침 표면 접근법에서 사용되던 나노 스케일 텍스처가 아닌 마이크로 스케일 표면 텍스처의 사용을 통해 침투에 저항적이다. 마이크로 스케일 피처가 덜 비싸고 제작하기 훨씬 쉬우므로, 나노 스케일 텍스처가 아닌 마이크로 스케일 텍스처의 사용은 적어도 매우 유리하다.
- [0012] 함침 액체의 적절한 선택을 통해, 본 명세서에 기재되어 있는 액체 함침 표면은 매우 다양한 범위에 적합하도록 쉽게 맞춤형으로 제작된다. 예를 들면, 물이 오일 위로 쉽게 미끄러지므로, 함침 액체로서 오일을 사용하여 고체 표면에 대한 물의 항력 감소를 성취할 수 있다. 함침 액체로서의 오일의 사용은 성에 및 얼음 형성의 방지에 또한 적합하다. 이 분야에서, 성에 및 얼음은 표면 텍스처의 뾰족한 부분에만 형성되어, 얼음 형성률 및 부착 강도를 크게 감소시킬 수 있다.
- [0013] 일 양태에서, 본 발명은 액체 함침 표면을 포함하는 물품으로서, 상기 표면은 액체를 사이에 또는 내부에 안정하게 포함하도록 충분히 가깝게 이격된 피처의 매트릭스를 포함하는 것인 물품에 관한 것이다. 특정한 실시양태에서, 액체는 실온에서의 점도가 약 1000cP(또는cSt) 이하, 약 100cP(또는cSt) 이하 또는 약 50cP(또는cSt) 이하이다. 특정한 실시양태에서, 액체는 실온에서의 증기압이 약 20mm Hg 이하, 약 1mm Hg 이하 또는 약 0.1mmHg 이하이다.
- [0014] 특정한 실시양태에서, 피처는 실질적으로 균일한 높이를 갖고, 액체는 피처 사이의 공간을 채우고, 피처 상부 위로 적어도 약 5nm 두께의 층으로 피처를 코팅한다. 특정한 실시양태에서, 피처는 기공 또는 다른 웰을 획정하고, 액체는 피처를 채운다.
- [0015] 특정한 실시양태에서, 액체가 피처 상부에 안정한 박막을 형성하도록 액체는 0°의 후진 접촉각을 갖는다.
- [0016] 특정한 실시양태에서, 매트릭스는 약 1마이크로미터 내지 약 100마이크로미터의 피처 대 피처 간격을 갖는다. 특정한 실시양태에서, 매트릭스는 5나노미터 내지 약 1마이크로미터의 피처 대 피처 간격을 갖는다. 특정한 실시양태에서, 매트릭스는 계층적 구조물을 포함한다. 예를 들면, 계층적 구조물은 나노 스케일 피처를 이 위에 포함하는 마이크로 스케일 피처일 수 있다.
- [0017] 특정한 실시양태에서, 피처는 높이가 약 100마이크로미터 이하이다. 특정한 실시양태에서, 피처는 포스트(post)이다. 특정한 실시양태에서, 피처는 1 이상의 구형 입자, 나노니들, 나노잔디 및/또는 표면 거칠기를 제공하는 랜덤 기하 피처를 포함한다. 특정한 실시양태에서, 피처는 1 이상의 기공, 캐비티, 상호연결 기공 및 상호연결 캐비티를 포함한다. 특정한 실시양태에서, 표면은 크기가 다른 복수의 기공을 갖는 다공질 매체를 포함한다.
- [0018] 특정한 실시양태에서, 액체는 과불화탄소 액체, 퍼플루오로불화(perfluorofluorinated) 진공 오일(예컨대, 크리톡스(Krytox) 1506 또는 프롬블린(Fromblin) 06/6), 불화 냉각제(예를 들면, 3M에 의해 제조되고 FC-70으로 시판되는 퍼플루오로-트라이헵틸아민), 이온성 액체, 물과 비혼화성인 불화 이온성 액체, PDMS를 포함하는 실리콘 오일, 불화 실리콘 오일, 액체 금속, 전기 유동 유체(electro-rheological fluid), 자기 유동 유체(magneto-rheological fluid), 액체자석(ferrofluid), 유전체 액체, 탄화수소 액체, 불화탄소 액체, 냉매, 진공 오일, 상변화 재료, 반액체, 그리스(grease), 윤활액 및/또는 체액을 포함한다.
- [0019] 특정한 실시양태에서, 물품은 증기 터빈 부품, 가스 터빈 부품, 비행기 부품 및 풍력 터빈 부품이고, 액체 함침 표면은 충돌하는 액체를 발수하도록 구성된다. 특정한 실시양태에서, 물품은 안경, 고글, 스키 마스크, 헬멧, 헬멧 차광면 또는 거울이고, 액체 함침 표면은 이 위의 연무를 억제하도록 구성된다. 특정한 실시양태에서, 물품은 비행기 부품, 풍력 터빈, 전력 전송선 및 바람막이이고, 액체 함침 표면은 이 위의 얼음 형성을 억제하도록 구성된다. 특정한 실시양태에서, 물품은 관로(또는 이의 부품 또는 코팅)이고, 액체 함침 표면은 이 위의 수화물 형성을 억제하고/하거나 이 위로(또는 관통하여) 흐르는 유체의 미끄러짐을 증대시키도록(항력을 감소시키도록) 구성된다. 특정한 실시양태에서, 물품은 열 교환기 부품 또는 오일 또는 가스 관로(또는 이의 부품 또는 코팅)이고, 액체 함침 표면은 이 위의 염의 형성 및/또는 부착을 억제하도록 구성된다. 특정한 실시양태에서,

액체 함침 표면은 부식을 억제하도록 구성된다.

[0020] 특정한 실시양태에서, 물품은 인공 관절이고, 액체 함침 표면은 일치하는 표면 사이의 마찰을 감소시키고/시키거나 관절의 장기간 순환을 제공하도록 구성된다. 특정한 실시양태에서, 물품은 엔진 부품(예를 들면, 피스톤 또는 기통)이고, 액체 함침 표면은 부품의 장기간 순환을 제공하도록 구성된다. 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 시간 경과에 따라 표면으로부터 액체를 유출시켜 시간 경과에 따라 순환을 제공하도록 구성된다.

[0021] 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 위의 파편(debris)의 흡착에 저항하도록 구성된 방오 표면이다. 특정한 실시양태에서, 물품은 열 교환기 부품이고, 액체 함침 표면은 이 위의 응축물의 흘러내림(shedding)을 촉진하여 응축 열 전달을 증대시키도록 구성된다.

**도면의 간단한 설명**

[0022] 본 발명의 목적 및 특징은 하기 기재된 도면 및 특허청구범위를 참조하여 더 잘 이해될 수 있다.

도 1a는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 비습윤 표면과 접촉하는 액체의 도식적 횡단면도;

도 1b는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 비습윤 표면에 침투된 액체의 도식적 횡단면도;

도 1c는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 액체 함침 표면과 접촉하는 액체의 도식적 횡단면도;

도 2a는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 액체 함침 표면에 있는 액적의 도식적 횡단면도;

도 2b는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 포스트를 포함하는 비습윤 표면의 SEM 이미지;

도 2c는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 포스트를 포함하는 비습윤 표면의 도식적 투시도;

도 2d는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 포스트를 포함하는 비습윤 표면의 도식적 상부 횡단면도;

도 3는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 마이크로텍스처링 표면의 사진을 포함하는 도면;

도 4a 및 도 4b는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 각각 가스 함침 표면 및 액체 함침 표면에 대한 물 액적의 충돌을 보여주는 연속 고속 비디오 이미지를 포함하는 도면;

도 5는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 수평에 25° 경사진 액체 함침 표면에 충돌하는 액적을 보여주는 연속 고속 비디오 이미지를 포함하는 도면;

도 6a 내지 도 6d는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 가스 함침 비습윤 표면 위의 성에의 형성을 보여주는 연속 ESEM 이미지를 포함하는 도면;

도 7a 내지 도 7c는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 건조 및 착상 초소수성 표면에 대한 액적 충돌 시험으로부터 얻은 이미지를 포함하는 도면;

도 8은 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 정규화된 표면적에 대한 측정된 정규화된 얼음 부착 강도의 그래프;

도 9는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 표면 고체 분획에 대한 구름각(roll-off angle)의 그래프;

도 10, 도 11 및 도 12는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 경사진 액체 함침 표면 위의 액적 구름 속도의 그래프;

도 13 및 도 14는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 실리콘 오일이 함침된 마이크로포스트 표면 위의 성에 핵 형성의 환경적 SEM(ESEM) 이미지를 포함하는 도면;

도 15는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라, 침투 상태를 비습윤 상태와 비교하는, 포스트 피치의 매트릭스를 갖고 실리콘 오일이 함침된 표면 위의 물 액적의 이미지;

도 16은 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 6의 액체 함침 표면 습윤 상태를 설명하는 모식도;

도 17은 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 도 16에 도시된 6의 액체 함침 표면 습윤 상태에 대한 상태를 보여주는 모식도.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0023] 청구된 발명의 조성물, 혼합물, 시스템, 장치, 방법 및 공정이 본 명세서에 기재되어 있는 실시양태로부터의 정보를 사용하여 개발된 변경 및 변화를 포함하는 것으로 고려된다. 관련 기술의 당업자가 본 명세서에 기재되어

있는 조성물, 혼합물, 시스템, 장치, 방법 및 공정의 변화 및/또는 변형을 수행할 수 있다.

- [0024] 물품, 장치 및 시스템이 특정 성분을 갖거나, 포함하거나, 함유하는 것으로 기재되어 있거나, 공정 및 방법이 특정 단계를 갖거나, 포함하거나, 함유하는 것으로 기재되어 있는 명세서 전체에서, 기술된 성분으로 실질적으로 이루어지거나, 이들로 이루어진 본 발명의 물품, 장치 및 시스템이 있고, 기술된 공정 단계로 실질적으로 이루어지거나, 이들로 이루어진 본 발명에 따른 공정 및 방법이 있는 것으로 추가로 고려된다.
- [0025] 유사하게, 물품, 장치, 혼합물 및 조성물이 특정 화합물 및/또는 재료를 갖거나, 포함하거나, 함유하는 것으로 기재되어 있는 경우, 기술된 화합물 및/또는 재료로 이루어지거나, 이들로 이루어진 본 발명의 물품, 장치, 혼합물 및 조성물이 있는 것으로 추가로 고려된다.
- [0026] 특정한 작용을 수행하기 위한 순서 또는 단계의 순서는, 본 발명이 작동 가능한 한, 중요하지 않은 것으로 이해되어야 한다. 더구나, 2 이상의 단계 또는 작용이 동시에 수행될 수 있다.
- [0027] 배경기술 섹션에서처럼 본 명세서에서 임의의 공보의 언급은 그 공보가 본 명세서에 제시된 임의의 청구항과 관련하여 선행 기술로서 작용한다는 인정이 아니다. 배경기술 섹션은 명확히 할 목적으로 제시되고, 임의의 청구항과 관련하여 선행 기술의 설명으로 의도되지 않는다.
- [0028] 특정한 실시양태에서, 액체와 고체 사이의 접촉각( $\theta$ )은 접촉선(여기서, 고상, 액상 및 기상 3상이 만나고 수평임)에서 접선 사이에 측정된 고체 표면 위에 액체 방울에 의해 형성된 각도로 정의된다. 액체가 어떠한 이동도 없이 단지 고체 위에 있으므로, 용어 "접촉각"은 보통 정접촉각( $\theta$ )을 의미한다.
- [0029] 본 명세서에서 사용되는 동접촉각( $\theta_d$ )은 고체 표면 위에 이동하는 액체에 의해 형성된 접촉각이다. 액적 충돌의 맥락에서,  $\theta_d$ 는 전진 또는 후진 이동 동안 존재할 수 있다.
- [0030] 표면이 액체와 적어도 90도의 동적 접촉각을 갖는 경우, 본 명세서에서 사용되는 표면은 "비습윤"이다. 비습윤 표면의 예로는 예를 들면 초소수성 표면, 초소유성 표면 및 초소금속성 표면을 들 수 있다.
- [0031] 본 명세서에서 사용되는 접촉각 이력(contact angle hysteresis: CAH)은  $CAH = \theta_a - \theta_r$ 이고,  $\theta_a$  및  $\theta_r$ 은 각각 고체 표면 위의 액체에 의해 형성된 전진 접촉각 및 후진 접촉각이다. 전진 접촉각( $\theta_a$ )은 접촉선이 막 전진하려고 하는 순간에 형성된 접촉각이고, 후진 접촉각( $\theta_r$ )은 접촉선이 막 후진하려할 때 형성된 접촉각이다.
- [0032] 도 1a는 본 발명의 일 실시양태에 따라 전통적인 또는 이전의 비습윤 표면(104)(즉, 가스 함침 표면)과 접촉하는 접촉 액체(102)의 도식적 횡단면도이다. 표면(104)은 포스트(108)에 의해 확정된 표면 텍스처를 갖는 고체(106)를 포함한다. 공기와 같은 가스(110)가 포스트(108) 사이의 구역을 점유한다. 도시된 바대로, 접촉 액체(102)는 포스트(108) 상부와 접촉할 수 있고, 가스-액체 계면(112)은 액체(102)가 전체 표면(104)을 습윤시키는 것을 방지한다.
- [0033] 도 1b를 참조하면, 특정한 경우에, 접촉 액체(102)는 함침 가스를 대체하고 고체(106)의 포스트(108) 내에 침투될 수 있다. 예를 들면, 액체 액적이 표면(104)을 고속으로 충돌할 때 침투가 발생할 수 있다. 침투가 발생할 때, 접촉 액체(102)가 포스트(108) 사이의 구역을 점유하는 가스를 일부 또는 전부 대체하고, 표면(104)이 이의 비습윤 능력을 소실할 수 있다.
- [0034] 도 1c를 참조하면, 특정한 실시양태에서, 가스가 아닌 함침 액체(126)가 함침된 텍스처(예를 들면, 포스트(124))를 갖는 고체(122)를 포함하는 비습윤 액체 함침 표면(120)이 제공된다. 도시된 실시양태에서, 표면과 접촉하는 접촉 액체(128)는 표면(120)의 포스트(124)(또는 다른 텍스처) 위에 있다. 포스트(124) 사이의 구역에서, 함침 액체(126)가 접촉 액체(128)를 지탱한다. 특정한 실시양태에서, 접촉 액체(128)는 함침 액체(126)와 비혼화성이다. 예를 들면, 접촉 액체(128)는 물일 수 있고, 함침 액체(126)는 오일일 수 있다.
- [0035] 고체(122)는 임의의 고유한 소수성, 소유성 및/또는 소금속성 재료 또는 코팅을 포함할 수 있다. 예를 들면, 고체(122)는 탄화수소, 예컨대 알칸 및 플루오로중합체, 예컨대 테플론, 트라이클로로(1H, 1H, 2H, 2H-퍼플루오로옥틸)실란(TCS), 옥타데실트라이클로로실란(OTS), 헵타데카플루오로-1,1,2,2-테트라하이드로데실트라이클로로실란, 플루오로POSS 및/또는 다른 플루오로중합체를 포함할 수 있다. 고체(122)에 추가의 가능한 재료 또는 코팅은 세라믹, 중합체 재료, 불화 재료, 금속간 화합물 및 복합 재료를 포함한다. 중합체 재료는 예를 들면 폴리테트라플루오로에틸렌, 플루오로아크릴레이트, 플루오로유라탄(fluoroetherane), 플루오로실리콘, 플루오로실란, 변형 탄산염, 클로로실란, 실리콘, 폴리다이메틸실

록산(PDMS) 및/또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 세라믹은 예를 들면 탄화티탄, 질화티탄, 질화크롬, 질화붕소, 탄화크롬, 탄화몰리브덴, 카보나이트라이드 티탄, 무전해 니켈, 질화지르코늄, 불화 이산화 규소 (fluorinated silicon dioxide), 이산화티탄, 산화탄탈륨, 질화탄탈륨, 다이아몬드상 탄소, 불화 다이아몬드상 탄소 및/또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 금속간 화합물은, 예를 들면 니켈 알루미늄아이드, 티탄 알루미늄아이드 및/또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0036] 액체 함침 표면(120) 내의 텍스처는 물리적 텍스처 또는 표면 거칠기이다. 텍스처는 프랙탈(fractal) 또는 패턴화를 비롯하여 무작위일 수 있다. 특정한 실시양태에서, 텍스처는 마이크로 스케일 또는 나노 스케일 피처이다. 예를 들면, 텍스처는 약 100마이크론 미만, 약 10마이크론 미만, 약 1마이크론 미만, 약 0.1마이크론 미만 또는 약 0.01마이크론 미만의 길이 스케일(L)(예를 들면, 평균 기공 직경 또는 평균 돌출부 높이)을 가질 수 있다. 특정한 실시양태에서, 텍스처는 포스트(124) 또는 다른 돌출부, 예컨대 구형 또는 반구형 돌출부를 포함한다. 날카로운 고체 가장자리를 피하고 액체 가장자리의 고정을 최소화하기 위해 원형 돌출부가 바람직할 수 있다. 기계적 및/또는 화학적 방법, 예컨대 리소그래피, 자기 조립 및 침착 등을 비롯한 임의의 종래 방법을 이용하여 표면에 텍스처를 도입할 수 있다.

[0037] 함침 액체(126)는 원하는 비습윤 특성을 제공할 수 있는 임의의 형태의 액체일 수 있다. 예를 들면, 함침 액체(126)는 유성 또는 수성(즉, 수계)일 수 있다. 특정한 실시양태에서, 함침 액체(126)는 이온성 액체(예를 들면, BMI-IM)이다. 가능한 함침 액체의 다른 예로는 헥사데칸, 진공 펌프 오일(예를 들면, 폼블린(FOMBLIN)(등록상표) 06/6, 크리톡스(등록상표) 1506) 실리콘 오일(예를 들면, 10cSt 또는 1000cSt), 플루오로카본(예를 들면, 퍼플루오로-트라이펜틸아민, FC-70), 전단 박화(shear thinning) 유체, 전단 농화(shear thickening) 유체, 액체 중합체, 용해 중합체, 점탄성 유체 및/또는 액체 플루오로POSS를 들 수 있다. 특정한 실시양태에서, 함침 액체는 액체 금속, 유전체 유체, 액체자석, 자기 유동(MR) 유체, 전기 유동(ER) 유체, 이온성 유체, 탄화수소 액체 및/또는 불화탄소 액체이다(또는 이들을 들 수 있다). 일 실시양태에서, 함침 액체(126)를 나노 입자의 도입으로 전단 농화로 제조된다. 예를 들면, 침투를 방지하고 충돌하는 액체로부터 충돌에 저항하기 위해 전단 농화 함침 액체(126)가 바람직할 수 있다.

[0038] 표면(120)으로부터 함침 액체(126)의 증발을 최소화하기 위해, 증기압이 낮은(예를 들면, 0.1mmHg 미만, 0.001mmHg 미만, 0.00001mmHg 미만 또는 0.000001mmHg 미만) 함침 액체(126)를 사용하는 것이 일반적으로 바람직하다. 특정한 실시양태에서, 함침 액체(126)의 빙점은 -20°C 미만, -40°C 미만 또는 약 -60°C이다. 특정한 실시양태에서, 함침 액체(126)의 표면 장력은 약 15mN/m, 약 20mN/m 또는 약 40mN/m이다. 특정한 실시양태에서, 함침 액체(126)의 점도는 약 10cSt 내지 약 1000cSt이다.

[0039] 액체를 고체에 도포하기 위해 임의의 종래 기술을 이용하여 함침 액체(126)를 표면(120)에 도입할 수 있다. 특정한 실시양태에서, 함침 액체(126)를 도포하기 위해 딥 코팅, 블레이드 코팅 또는 롤러 코팅과 같은 코팅 공정을 이용한다. 대안적으로, 함침 액체(126)가 도입되고/되거나 (예를 들면, 관로에서) 표면(120)을 지나 흐르는 액체 재료로 보충될 수 있다. 함침 액체(126)가 도포된 후, 모세관력은 액체를 제자리에 보유한다. 모세관력은 피쳐 대 피쳐 거리 또는 기공 반경의 역으로 거의 크기 변경되고, 표면의 이동 및 표면 위의 공기 또는 다른 유체의 이동(예를 들면, 여기서 표면(120)이 관로 내로 또는 관로 위로 공기가 돌진하는 비행기의 외면에 있고, 오일 및/또는 다른 유체가 이를 관통하여 흐름)에도 불구하고 액체가 제자리에 보유되도록 피쳐가 설계될 수 있다. 특정한 실시양태에서, 나노 스케일 피쳐(예를 들면, 1나노미터 내지 1마이크로미터)를 사용하고, 여기서 높은 동력, 체적력, 중력 및/또는 전단력이 예를 들면 빠르게 흐르는 관로, 비행기, 풍력 터빈 블레이드 등에 사용되는 표면에 대해 액체 필름을 제거하는 위험을 부여한다. 튼튼함 및 내충격성을 제공하기 위해 소형 피쳐가 또한 유용할 수 있다.

[0040] 가스 함침 표면과 비교하여, 본 명세서에 기재되어 있는 액체 함침 표면은 여러 이점을 제공한다. 예를 들면, 액체가 넓은 범위의 압력에 걸쳐 압축될 수 없으므로, 액체 함침 표면은 침투에 일반적으로 더 저항한다. 특정한 실시양태에서, 가스 함침 표면에 의한 침투를 피하기 위해 (예를 들면, 1마이크론 미만의) 나노 스케일 텍스처가 필요할 수 있지만, 액체 함침 표면에 의한 침투를 피하기 위해 (예를 들면, 1마이크론 내지 약 100마이크론의) 마이크로 스케일 텍스처가 충분하다. 기재된 바대로, 마이크로 스케일 텍스처는 나노 스케일 텍스처보다 제조하기 훨씬 더 쉽고 더 실용적이다.

[0041] 고체 표면과 흐르는 액체 사이의 점성 항력을 감소시키기 위해 액체 함침 표면이 또한 유용하다. 일반적으로, 고체 표면 위로 흐르는 액체가 발휘하는 점성 항력 또는 전단 응력은 표면에 근접한 전단 속도 및 액체의 점도에 비례한다. 전통적인 가정은 고체 표면과 접촉하는 액체 분자가 소위 "비 미끄러움(no-slip)" 경계 조건으로

표면에 달라붙는다는 것이다. 액체와 표면 사이에 약간의 미끄러짐이 발생할 수 있고, 비 미끄러움 경계 조건은 대부분의 분야에 유용한 가정이다.

[0042] 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면과 같은 비습윤 표면이 고체 표면에서 다량의 미끄러짐을 유도하므로 바람직하다. 예를 들면, 도 1a 및 도 1c를 참조하면, 함침 액체(126) 또는 가스가 접촉 액체(102, 128)를 지탱할 때, 액체-액체 또는 액체-가스 계면은 밑에 있는 고체 재료에 대해 자유롭게 흐르거나 미끄러진다. 이 미끄러짐으로 인해 40%만큼 높은 항력 감소가 성취될 수 있다. 그러나, 기재된 바대로, 가스 함침 표면은 쉽게 침투된다. 가스 함침 표면에 의해 침투가 발생할 때, 감소된 항력 감소의 이점이 소실될 수 있다.

[0043] 본 명세서에 기재되어 있는 액체 함침 표면의 다른 이점은 이것이 성에 또는 얼음의 형성 및 부착을 최소화하는데 유용하다는 것이다. 이론상, 이전의(즉, 가스 함침) 초소수성 표면은, 얼음이 낮은 표면 에너지의 마이크로 및/또는 나노스케일 표면 텍스처 위에 있게 하여 얼음 형성 및 부착을 감소시켜 얼음이 대부분 공기와 접촉하게 한다. 그러나, 실제로는, 이 가스 함침 표면은 얼음의 형성 및 부착을 사실 증가시킬 수 있다. 예를 들면, 가스 함침 표면의 온도가 빙점 이하일 때, 가스 함침 표면은 성에를 축적하기 시작하여 초소수성으로부터 친수성으로 표면을 전환시킬 수 있다. 물이 이제 친수성 표면과 접촉할 때, 물이 친수성 텍스처로 침윤하고 얼 수 있다. 가스 함침 표면과 얼음 사이의 접촉 밴드가 얼음과 표면 텍스처 사이를 맞물려 강화될 수 있다. 유사하게, 표면 위의 핵형성이 스케일 형성, 수화물 형성, 수술 임플란트 등 위의 플라크 축적 감소와 같은 문제점을 부여하는 상황에서 본 명세서에 기재되어 있는 액체 함침 표면이 유용하다.

[0044] 고전적인 핵형성 이론에 따르면, 무작위 열 이동 하에 함께 모인 물 분자의 클러스터는 성장을 지속하기 위해 임계 크기에 도달해야 한다. 편평한 표면에 대한 임계 크기의 배아의 이질적 핵형성에 대한 자유 에너지 장벽 ( $\Delta G^*$ ) 및 상응하는 핵형성 속도는 하기 식 (1) 및 식 (2)와 같다:

[0045] 
$$\Delta G^* = \frac{\pi\sigma_{IV}r_c^2}{3}(2 - 3m + m^3) \quad (1)$$

[0046] 
$$J = J_0 \exp(\Delta G^* / kT) \quad (2)$$

[0047] 매개변수( $m$ )는 하기 식으로 표시되는 계면 에너지의 비이다:

[0048] 
$$m = \frac{(\sigma_{SV} - \sigma_{SI})}{\sigma_{IV}} \quad (3)$$

[0049] 식 중,  $\sigma_{SV}$ ,  $\sigma_{SI}$  및  $\sigma_{IV}$ 는 각각 기재-증기, 기재-얼음 및 얼음-증기 계면의 계면 에너지이다. 임계 반경( $r_c$ )의 면에서 자유 에너지를 정의하는 데 있어서, 기재 및 얼음은 등방성으로 가정되고, 조핵 입자는 구형으로 가정된다. 임계 반경( $r_c$ )은 이어서 켈빈 방정식으로 정의될 수 있다:

[0050] 
$$\ln(p / p_o) = 2\sigma_{IV} / n_i kTr_c \quad (4)$$

[0051] 고체에 대한 핵형성 실험은 핵형성에 대해 방정식 1에 의해 예상된 자유 에너지 장벽보다 훨씬 더 낮은 에너지 장벽을 나타낸다. 표면 및 나노스케일 오목부의 높은 표면 에너지 패취가 핵형성 자리로서 작용할 수 있으므로, 이는 나노스케일 이질성 및 거칠기 때문일 것이다. 그러나, 액체는 흔히 매우 매끄럽고 균일하며, 액체 위의 물의 핵형성은 실험적으로 고전적인 이론과 잘 일치된다는 것을 보여준다. 반대로, 성에 핵형성 또는 응축에 대한 에너지 장벽은 일반적으로 소수성 액체의 경우 고체에 대한 것보다 훨씬 더 높다. 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면의 텍스처 내의 함침 액체는 이 구역에서 핵형성을 방지하고, 표면 텍스처의 뾰족한 부분(예를 들면, 포스트 상부)에 우선적으로 핵형성되게 한다. 얼음 형성과 관련하여, 액체 함침 표면의 사용은 가스 함침된 초소수성 표면이 직면하는 얼음 형성 및 부착 문제점을 극복하거나 감소시킨다.

[0052] 특정한 실시양태에서, 본 명세서에 기재되어 있는 액체 함침 표면은 표면 위의 액체 또는 얼음 층의 축적을 최소화하는 유리한 액적 구름 특성을 갖는다. 얼음 형성을 방지하기 위해, 예를 들면 표면이 제2 냉각 액적(예를 들면, 어는 비)이 얼기 전에 이 액적을 없애는 것이 중요하다. 그렇지 않으면, 충분히 높은 속도의 액적(예컨대, 비 액적)이 표면의 텍스처에 침투하고 얼음이 형성되기 전까지 고정될 수 있다. 유리하게, 특정한 실시양태에서, 본 명세서에 기재되어 있는 액체 함침 표면은 낮은 구름각(즉, 표면과 접촉하는 액적이 표면으로

부터 구르거나 미끄러지는 표면의 각도 또는 기울기)을 갖는다. 액체 함침 표면과 관련된 낮은 구름각은 표면과 접촉하는 액적이, 액체가 얼고 얼음이 축적될 수 있기 전에 표면으로부터 쉽게 구르게 한다. 하기 더 자세히 기재된 바대로, 하나의 물 표면(즉, 핵사데칸이 함침된 옥타데실트라이클로로실란 처리 실리콘 포스트 표면)에 대한 구름각은  $1.7^{\circ} \pm 0.1^{\circ}$  로 측정되었다. 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면에 대한 구름각은 약  $2^{\circ}$  미만 또는 약  $1^{\circ}$  미만이다.

[0053] 도 2는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 액체 함침 표면(204) 위의 액체 액적(202)의 도식적 횡단면도이다. 일 실시양태에서, 이동도를 지배하는 액적 가장자리의 모폴로지는 함침 액체(126)의 특성에 의해 영향을 받는다. 예를 들면, 기재된 바대로, 액적은 액적 가장자리 근처에 국소로 함침 액체(126)를 "획득(pick up)"할 수 있다. 액적의 가장자리에서의 함침 액체(126)의 고임은 고정력을 발생시킨다. 액적 구름 동안, 고정력 및 점성력은 중력으로 인해 액적 이동에 저항이다. 일정 각도( $\alpha$ )로 경사진 표면의 경우, 액적 구름에 대한 힘 평형 방정식은 하기로 표시된다:

[0054] 
$$V\rho g \sin \alpha = \pi r^2(1-\phi)\mu v_o / h + 2r\sqrt{\phi}\gamma_w(\cos \theta_r - \cos \theta_a) \quad (5)$$

[0055] 식 중,  $V\rho g \sin \alpha$  는 액적 위의 중력이고,  $\pi r^2(1-\phi)\mu v_o / h$  는 점성력이며,  $2r\sqrt{\phi}\gamma_w(\cos \theta_r - \cos \theta_a)$  는 고정력이다. 이 방정식에서,  $V$ 는 액적 용적이고,  $\rho$ 는 비습윤 액체의 밀도이며,  $\phi$ 는 표면 고체 분획(비습윤 상과 직접 접촉하는 기재의 면적 분획)이고,  $\mu$ 는 함침된 액체의 동점도이며,  $v_o$ 는 액적 슬라이딩 속도(특징적인 하강 속도)이며,  $h$ 는 함침된 액체의 전단이 발생하는 특징적인 길이 스케일(예를 들면, 표면 포스트의 높이 또는 다른 표면 텍스처 높이)이고,  $\alpha$ 는 수평에 대한 기재의 각도이며,  $g$ 는 중력 가속도이고,  $r$ 은 비습윤 액적의 접촉 반경이며,  $\theta_a$  및  $\theta_r$ 은 비습윤 액적의 전진 접촉각 및 후진 접촉각이고,  $\gamma_w$ 는 증기와 평형을 이룬 비습윤 액체의 표면 에너지이다.

[0056] 도 2b 내지 2d는 기부(252) 및 포스트 상부(256)를 갖는 실질적으로 사각형인 포스트(254)의 어레이를 포함하는 비습윤 표면(250)을 도시한 것이다. 도시된 바대로, 포스트(254)는 높이( $h$ ), 측면 길이( $a$ ) 및 포스트 간격( $b$ ) (즉, 인접한 포스트 표면 사이의 거리)을 갖는다. 기부(252)는 포스트(260) 사이에 기부 구역(258)을 포함한다. 표면(250)에 대한 표면 고체 분획( $\phi$ )은  $\phi = a^2/(a + b)^2$ 로 표시된다.

[0057] 특정한 실시양태에서, 함침 액체의 선택은 액적 구름이 발생하는 속도에 영향을 미친다. 예를 들면, 액체가 고점도를 갖는 경우, 구름이 매우 천천히 발생한다.

[0058] 본 명세서에 기재되어 있는 액체 함침 표면은 많은 상이한 산업에 걸친 다양한 분야를 갖는다. 예를 들면, 특정한 실시양태에서, 액체를 발수하기 위해 액체 함침 표면을 사용한다. 고체 표면 위의 액체의 충돌을 수반하는 많은 물리적 공정이 존재한다. 예로는 스팀 터빈 블레이드와 충돌하는 물 액적, 가스 터빈 블레이드와 충돌하는 오일 액적 및 비행기 및 풍력 터빈 표면과 충돌하는 비 액적을 들 수 있다. 스팀 및 가스 터빈의 경우, 스팀 내에 비발동반된 물 액적은 터빈 블레이드에 충돌하고 이에 달라붙어, 터빈 동력 출력을 감소시킨다. 그러나, 액체 함침 표면을 터빈 블레이드에 도포하여, 액적은 블레이드에 되튀길 수 있고, 터빈 동력 출력이 유의적으로 개선될 수 있다. 일 실시양태에서, 액체 함침 표면은 응축에 높은 에너지 장벽을 제시하고, 창, 유리 및/또는 거울과 같은 표면에 대한 방담 코팅에 적합하다.

[0059] 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 얼음 혐기성을 제공하여 얼음 형성을 방지하거나 최소화하기 위해 사용된다. 비행기, 풍력 터빈, 전력 전송선 및 바람막이와 같은 많은 상황에서 표면 위에 얼음이 형성될 수 있다. 액체 함침 표면 위에 형성된 얼음은 보통의 표면에 비해 훨씬 더 낮은 부착을 나타내고, 따라서 쉽게 제거되어 유의적으로 에너지를 절약할 수 있다. 액체 함침 표면은 또한 이의 원자력적으로 매끄러운 저에너지 표면이 탈승화(착상)에 높은 에너지 장벽을 발생시킨다는 점에서 얼음 반발성이다. 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 어느 비로부터 거시적인 얼음 형성을 억제한다. 비행기의 경우, 액체 함침 표면이 얼음 및 성에 부착을 감소시키므로, 비행기에서의 방빙에 필요한 에너지상 및 환경상 해로운 화학물질이 유의적으로 감소될 수 있다. 전력 전송선에서 액체 함침 표면을 사용할 때, 얼음이 덜 형성될 수 있고, 더 쉽게 제거될 수 있다. 액체 함침 표면은 또한 풍력 터빈 위의 얼음 형성을 유의적으로 감소시켜 터빈 효율을 증가시킬 수 있다.

[0060] 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 수화물 혐기성을 제공하여 수화물 형성을 방지하거나 최소화하기 위해 사용된다. 심해 시추 및/또는 추출 동안 오일 및 가스 관로에서 수화물이 형성된다. 수화물은 관로를 막고 액체 압력을 비극적으로 증가시킬 수 있다. 적합한 함침 액체를 선택하여, 액체 함침 표면은 수화물의 핵형성에 높은

에너지 장벽을 제시하여 수화물 형성에 저항이다. 게다가, 액체 함침 표면 위에 형성된 수화물은 보통의 표면에 비해 훨씬 더 낮은 부착 강도를 나타내고, 따라서 쉽게 제거될 수 있다. 특정한 실시양태에서, 함침 액체는 보통의 코팅이 제공된 영구적 액체이다. 대안적으로, 함침 액체는 관로에 존재하는 오일이 계속해서 공급될 수 있다.

- [0061] 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 염 혐기성을 제공하여 염 또는 광물 스케일의 형성을 방지하거나 최소화하기 위해 사용된다. 발전소 및 담수 플랜트에서 열 교환기와 같은 수계 또는 스팀계 산업 시설에서 고체 표면 위에 염이 형성될 수 있다. 오일 및 가스 관로의 표면 위에 염이 또한 형성될 수 있다. 염 형성은 열 교환기의 열 성능을 감소시키고 또한 비싼 유지료 및/또는 폐쇄를 요한다. 액체 함침 표면은 염 핵형성에 대한 높은 에너지 장벽을 나타내어, 염 형성에 저항이고 보통의 표면과 비교하여 훨씬 더 낮은 부착 강도를 발생시킴으로써 용이한 제거를 수월하게 한다. 함침 액체는 보통의 코팅이 제공된 영구적 액체일 수 있고/있거나, 인접한 액상(예를 들면, 오일 또는 가스 관로에 존재하는 오일)이 계속해서 공급되거나 보충될 수 있다.
- [0062] 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 고체 표면과 흐르는 액체 사이에 점성 항력을 감소시키기 위해 사용된다. 관로 내 원유 수송과 같은 많은 엔지니어링 분야는 액체를 파이프를 거쳐 장거리로 수송할 것을 요한다. 액체와 인접한 표면 사이의 항력으로 인해, 이 액체 수송과 관련된 에너지 소비는 대개 상당하다. 액체 함침 표면의 사용은 이 분야에서 에너지 소비를 크게 감소시킬 수 있다. 함침된 액체를 적절히 선택하여, 액체 함침 표면은 점착 액체의 미끄러짐이 증대되고, 따라서 액체-고체 항력을 급격히 감소시킬 수 있다. 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 인공 동맥 및/또는 정맥에 사용하기에 효과적일 수 있다.
- [0063] 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 부식을 억제하는 데 유용하다. 내부식성 함침 액체를 사용하여, 밑에 있는 고체 재료는 부식 환경으로부터 보호될 수 있다. 추가로, 수분이 표면으로부터 더 쉽게 제거되면서, 액체 액적을 없애는 액체 함침 표면의 능력은 부식을 감소시킨다.
- [0064] 액체 함침 표면은 또한 스텐트, 인공 동맥 및/또는 다른 수술 임플란트에서 사용되어 이 위의 침착물 축적을 방지하거나 감소시킬 수 있다.
- [0065] 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 자가 윤활 관절을 제공하도록 사용된다. 예를 들면, 액체 함침 표면은 무릎 및/또는 고관절 대치 수술 동안 이식된 인공 관절에 대한 재료로서 사용될 수 있다. 액체 함침 표면은 일치하는 표면 사이의 유의적인 마찰 감소를 제공하고 또한 오래 지속되는 윤활을 제공한다. 함침 액체는 이식 동안 혼입된 영구적 액체일 수 있거나, 체내 존재하는 윤활 유체(예를 들면, 윤활액)가 계속해서 공급될 수 있다.
- [0066] 액체 함침 표면이 윤활을 제공하기 위해 사용되는 많은 다른 분야가 존재한다. 예를 들면, 인접한 이동하는 표면 사이의 마찰 감소가 유리한 베어링, 피스톤/기통 표면 및/또는 임의의 다른 자동차 또는 기계 장치 또는 설비에서 액체 함침 표면이 사용될 수 있다. 일 실시양태에서, 표면 내의 함침 액체는 장기간 윤활제 공급을 제공하고, 따라서 필요한 위치로 윤활제를 적용 시 소비된 시간 및 에너지를 감소시킨다.
- [0067] 액체 함침 표면은 또한 방오 및/또는 자가 세정을 제공하도록 사용될 수 있다. 예를 들면, 액체 함침 표면은 이의 낮은 표면 에너지에 의해 파편의 흡착에 저항하여 방오에 사용될 수 있다. 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면 위의 입자 및 화학물질은 표면으로부터 없어지는 액적에 의해 흡수되고 휩쓸려 간다. 이러한 자가 세정 특성은 (예를 들면, 창, 유리 및/또는 거울에 대한) 자가 세정 유리 및 산업용 코팅과 같은 많은 분야에 중요하다.
- [0068] 액체 함침 표면은 또한 수분의 응축을 수월하게 하도록 사용될 수 있다. 예를 들면, 액체 함침 표면은 응축물을 쉽게 없애서 응축 열 전달(예를 들면, 드롭 방식 응축)을 증대시키기 위해 사용될 수 있다. 특정한 실시양태에서, 액체 함침 표면은 스팀 콘덴서로부터 HVAC 콘덴서와 액화 천연 가스에 사용되는 천연 가스 콘덴서에 이르는 열 교환기에 적용된다.
- [0069] 특정한 실시양태에서, 본 명세서에 기재되어 있는 액체 함침 표면은 스키 유리/고글(예를 들면, 방담), 스키, 스노보드, 얼음 스케이트, 수영복 등과 같은 스포츠 장비 위의 코팅에 유용하다.
- [0070] 도 15는 충돌 상태를 비습윤 상태와 비교하는 포스트 피처의 매트릭스를 갖고 실리콘 오일이 함침된 표면 위의 물 액적의 이미지이다. 충돌 상태(극도의 비습윤 표면이 바람직한 특정한 실시양태에 바람직하지 않을 수 있음)를 보여주는 예에서, 액적은 물이고, 함침된 액체는 실리콘 오일이며, 표면은 간격이 10마이크로미터인 10마이크로미터의 사각형 포스트를 갖는 비처리 실리콘이다. 충돌 상태에서, 액체는 표면으로부터 구르지 않는다. 비습윤 상태(비습윤이 바람직한 특정한 실시양태에 바람직함)를 보여주는 예에서, 조건은 표면이 OTS(옥타데실

트라이클로로실란)로 처리된다는 점을 제외하고 동일하다. 다른 코팅을 사용할 수 있다.

[0071] 도 16은 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 6의 액체 함침 표면 습윤 상태를 나타내는 모식도이다. 6의 표면 습윤 상태(상태 1 내지 상태 6)는 도 16의 바닥에 도시된 4의 습윤 상태(상태 1 내지 상태 4)에 따라 달라진다. 대부분의 실시양태에서, 비습윤 상태가 선호된다(상태 1 내지 상태 4). 추가로, 비습윤 상태 1 및 3에서처럼 포스트 상부(또는 표면 위의 다른 피처) 위에 박막이 안정하게 형성되는 경우, 훨씬 더 바람직한 비습윤 특성(및 본 명세서에 기재되어 있는 다른 관련 특성)이 관찰될 수 있다.

[0072] 비습윤 상태를 성취하기 위해, 비습윤 액체와 비교하여 함침된 액체의 낮은 고체 표면 에너지 및 낮은 표면 에너지를 갖는 것이 바람직하다. 예를 들면, 약  $25\text{mJ}/\text{m}^2$  미만의 표면 에너지가 바람직하다. 낮은 표면 에너지 액체는 특정한 탄화수소 및 불화탄소계 액체, 예를 들면 실리콘 오일, 과불화탄소 액체, 과불화 진공 오일(예를 들면, 크리톡스 1506 또는 프롬블린 06/6), 불화 냉각제 예컨대 퍼플루오로-트라이펜틸아민(예를 들면, 3M에 의해 시판되는 FC-70 또는 FC-43), 물과 비혼화성인 불화 이온성 액체, PDMS를 포함하는 실리콘 오일 및 불화 실리콘 오일을 포함한다.

[0073] 낮은 표면 에너지 고체의 예로는 탄화수소 사슬에서 종료된 실란(예컨대, 옥타데실트라이클로로실란), 불화탄소 사슬에서 종료된 실란(예를 들면, 플루오로실란), 탄화수소 사슬에서 종료된 티올(예컨대, 부탄티올) 및 불화탄소 사슬에서 종료된 티올(예를 들면, 퍼플루오로데칸 티올)을 들 수 있다. 특정한 실시양태에서, 표면은 낮은 표면 에너지 고체, 예컨대 플루오로중합체, 예를 들면 실세스퀴옥산, 예컨대 플루오로데실 다면체 올리고머 실세스퀴옥산을 포함한다. 특정한 실시양태에서, 플루오로중합체는 테트라플루오로에틸렌(ETFE), 불화 에틸렌프로필렌 공중합체(FEP), 폴리비닐리덴 플루오라이드(PVDF), 퍼플루오로알콕시테트라플루오로에틸렌 공중합체(PFA), 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE), 테트라플루오로에틸렌, 퍼플루오로메틸비닐에터 공중합체(MFA), 에틸렌클로로트라이플루오로에틸렌 공중합체(ECTFE), 에틸렌-테트라플루오로에틸렌 공중합체(ETFE), 퍼플루오로폴리에터 또는 테크노플론(Tecnoflon)이다(또는 이들을 포함한다).

[0074] 도 16에서,  $\text{Gamma}_{\text{wv}}$ 는 증기와 평형인 비습윤 상의 표면 에너지이고;  $\text{Gamma}_{\text{ow}}$ 는 비습윤 상과 함침된 액체 사이의 계면 에너지이며;  $\text{Gamma}_{\text{ov}}$ 는 증기와 평형인 함침된 액체의 표면 에너지이고;  $\text{Gamma}_{\text{sv}}$ 는 증기와 평형인 고체의 표면 에너지이며;  $\text{Gamma}_{\text{so}}$ 는 함침 상과 고체 사이의 계면 에너지이고;  $\text{Gamma}_{\text{sw}}$ 는 고체와 비습윤 상 사이의 계면 에너지이며;  $r$ 은 투영된 표면적으로 나눈 전체 표면적이고;  $\text{Theta}_{\text{c1}}$ ,  $\text{Theta}_{\text{c2}}$ ,  $\text{theta}_{\text{c3}}$ ,  $\text{theta}_{\text{c4}}$ ,  $\text{theta}_{\text{w1}}$ ,  $\text{theta}_{\text{w2}}$ 는 각각의 습윤 상태에서 비습윤 상에 의해 만들어진 거시적 접촉각이며;  $\text{Theta}^*_{\text{os}}(\text{v})$ 는 텍스처링 기재를 둘러싼 상이 증기일 때 텍스처링 기재 위의 오일의 거시적 접촉각이고;  $\text{Theta}_{\text{os}}(\text{v})$ 는 오일 액적을 둘러싼 상이 증기일 때 동일한 화학물질의 매끄러운 고체 기재 위의 오일의 접촉각이며;  $\text{Theta}^*_{\text{os}}(\text{w})$ 는 오일 액적을 둘러싼 상이 물일 때 텍스처링 기재 위의 오일의 거시적 접촉각이고;  $\text{theta}_{\text{os}}(\text{w})$ 는 오일 액적을 둘러싼 상이 물일 때 텍스처링 표면과 동일한 화학물질의 매끄러운 기재 위의 오일의 접촉각이다.

[0075] 도 17은 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 도 16에 도시된 6의 액체 함침 표면 습윤 상태에 대한 상태를 보여주는 모식도이다.

[0076] 실험 실시예

[0077] 도 3은 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 마이크로텍스처링 표면(302)의 사진을 포함한다. 표면(302)은 실리콘으로 제조되고  $25\mu\text{m}$  떨어진  $10\mu\text{m}$  기둥(pillar)의 사각형 패턴을 포함한다. 도시된 바대로, 표면(302)의 기부(304)는 헥사데칸(함침 액체)으로 함침되고, 상부(306)는 공기(즉, 함침 액체 없음)로 함침된다. 헥사데칸의 가장자리(308)는 상부(306)와 기부(304) 사이의 경계를 획정한다. (i) 표면(302)의 기부(304)를 헥사데칸 욕 내에 침지하고 (ii) 딥 코터(coater)를 사용하여 헥사데칸으로부터 저속( $10\text{mm}/\text{분}$ )으로 기부(304)를 빼내어 헥사데칸의 함침을 성취하였다. 헥사데칸이 제자리에 있으면서 대략  $5\text{m}/\text{초}$ 의 충격 속도를 갖는 워터 제트가 살포되면서 함침은 튼튼하였다. 표면(302)의 기부(304)(즉, 표면(302)의 액체 함침부)에서  $7\mu\text{l}$  물 액적에 대한 접촉각 이력 및 구름각을 측정하였다. 접촉각 이력(CAH) 및 구름각 둘 다 극도로 낮다: CAH는  $1^\circ$  미만인 반면, 구름각은  $1.7 \pm 0.1^\circ$  에 불과했다.

[0078] 도 4a 및 도 4b는 각각 가스 함침 표면(404) 및 액체 함침 표면(406) 위의 물 액적(402)의 함침을 보여주는 연속 고속 비디오 이미지를 도시한 것이다. 도시된 바대로, 액체 액적이 표면과 충돌할 때, 이는 표면에 큰 압력을 나타낸다. 이는 약  $5\text{m}/\text{초}$  미만의 속도로 표면에 충돌하는 밀리미터 크기의 방울에서도 사실이다. 이 압력의 결과로서, 액적은 가스 함침 표면에 충돌하여 가스 함침 표면이 이의 증대된 하강 흘러내림 품질을 소실하게 할 수 있다. 액적 침투가 도 4a에 도시되어 있고, 여기서 액적이 표면으로부터 되튀기보다는 가스 함침 표면(404)

에 달라붙는 것으로 보인다. 달라붙는 것을 방지하기 위해, 가스 함침 표면에 의한 이전의 접근법은 나노 스케일에서의 텍스처링의 도입을 강조한다. 그러나, 액체 함침 표면 접근법으로, 10 $\mu$ m의 차수에서 심지어 마이크로 텍스처는 충돌하는 액적을 성공적으로 없앨 수 있었다. 이는 도 4b에 도시되어 있고, 여기서 공기가 존재할 때 물방울과 충돌하는 동일한 마이크로텍스처는 헥사데칸으로 함침될 때 액적을 완전히 받수하였다. 이 도면에서 스케일 막대(408)는 3mm였다.

[0079] 도 5는 수평에 25° 경사진 액체 함침 표면(504)과 충돌하는 액적(502)을 보여주는 연속 고속 비디오 이미지를 포함한다. 이 경우에 물 액적(502)은 미끄러지고 결국 표면(504)으로부터 되튀기며, 이는 액체 함침 표면(504)이 충돌하는 액적을 성공적으로 없애고 침투에 튼튼하다는 것을 입증한다. 물 액적은 이 경우에 직경이 2.5mm였다. 액체 함침 표면(504)은 25 $\mu$ m 떨어진 실리콘의 10 $\mu$ m 사각형 포스트의 어레이에서 헥사데칸의 함침 액체를 포함하는 마이크로텍스처링 표면이다.

[0080] 도 6a 내지 도 6d는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 가스 함침된 초소수성 표면(602) 위의 성에의 형성을 보여주는 연속 ESEM 이미지를 포함한다. 초소수성 표면(602)은 폭, 가장자리 대 가장자리 간격 및 종횡비가 각각 15 $\mu$ m, 30 $\mu$ m 및 7 $\mu$ m인 소수성 사각형 포스트(604)의 어레이를 포함한다. 도 6a는 건조 표면(즉, 성에 무)을 도시한 것이고, 도 6b 내지 도 6d는 표면 위의 성에(606)의 형성을 도시한 것이다. 포스트 위의 소수성 코팅의 고유물 접촉각은 110°이다. ESEM의 냉각 단계 액세서리에 의해 -13°C의 온도에서 표면을 유지시켰다. 실험 시작 시, 건조 표면을 보장하기 위해 포화 압력보다 훨씬 낮은 약 100Pa에서 챔버 압력을 유지시켰다. 이후, 성에 핵형성이 관찰될 때까지 챔버 내의 증기압을 서서히 증가시켰다. 표면의 균일한 고유 습윤성으로 인해 포스트 상부, 측벽 및 계곡을 포함하는 가용 면적 모두에 대해 임의의 특정한 공간 선호도 없이 성에 핵형성 및 성장이 발생했다.

[0081] 도 7a 내지 도 7c는 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 건조 및 착상 초소수성 표면에 대한 액적 충돌 시험으로부터 얻은 이미지를 도시한 것이다. 1mm의 반경을 갖고 0.7m/초의 속도로 표면에 충돌하는 물 액적을 사용하여 시험을 수행하였다. 도 7a는 폭, 가장자리 대 가장자리 간격 및 종횡비가 각각 10 $\mu$ m, 20 $\mu$ m 및 1 $\mu$ m인 대표적인 Si 포스트 어레이 표면(702)의 SEM 이미지 상면도이다. 도 7b는 건조 표면(704)에 충돌하는 액적의 연속 고속 비디오 이미지를 포함한다. 도시된 바대로, 항습윤 모세관압이 동적 습윤 압력보다 크므로 액적은 표면(704)으로부터 되튀긴다. 도 7c는 성에(706)가 덮인 표면에 대한 액적 충돌의 연속 고속 비디오 이미지를 포함한다. 결과는 성에(706)가 표면의 습윤 특성을 변경하여, 표면을 친수성으로 만들고, 충돌하는 방울이 카시에서 웬젤로(Cassie-to-Wenzel) 습윤 전이되게 하고, 후속하여 표면 위의 "웬젤" 얼음을 고정하고 형성시킨다는 것을 보여준다.

[0082] 도 8은 본 발명의 특정한 실시양태에 따라 정규화된 표면적에 대한 측정된 정규화된 얼음 부착 강도의 도면이다. 정규화된 얼음 부착 강도는 매끄러운 표면에 의해 측정된 얼음 부착 강도로 나눈 텍스처링 표면에 의해 측정된 얼음 부착 강도이다. 정규화된 표면적은 투영된 면적에 의해 정규화된 전체 표면적이다. 도면이 표시한 바대로, 정규화된 얼음 부착 강도는 정규화된 표면적에 의해 증가하는 것으로 밝혀졌고, 강한 선형 경향을 보여준다. 데이터에 대한 최고의 선형 피트(실선, 상관 계수 R2 = 0.96)는 1의 기울기를 갖고, 원점을 지나지고(점선을 사용하여 외삽), 이는 얼음이 포스트의 측면을 비롯한 모든 가용 표면적과 접촉한다는 것을 나타낸다. 얼음이 텍스처링 표면과 맞물려 부착 강도를 증가시킨다. 이 도면에서 인셋 (a) 내지 (d)는 희박 내지 치밀 간격(각각 a = 15 $\mu$ m, h = 10 $\mu$ m, b = 45, 30, 15 및 5 $\mu$ m, 여기서, a, h 및 b는 도 2c 및 도 2d에 도시된 치수임)의 대표적인 복제 PDMS 포스트 어레이의 광학 이미지 상면도이고, 훌륭한 복제 품질을 나타낸다.

[0083] 헥사데칸이 함침된 (25 $\mu$ m 포스트 간격의) 옥타데실트라이클로로실란 처리 실리콘 포스트 표면의 하강 홀러내림 특성을 측정하기 위한 경사 단을 갖는 레임-하트 고니오미터(Rame-hart Goniometer)를 사용하여 구름 실험을 수행하였다. 7 $\mu$ l 방울에 1.7° ± 0.1°의 구름각이 측정되었다. 전진 접촉각 및 후진 접촉각은 각각 98° ± 1° 및 97° ± 1°였다. 이러한 매우 낮은 구름각은 액체 함침 표면이 액체 액적을 빨리(예를 들면, 어느 비의 적용에서 이것이 열기 전에) 없애지게 한다.

[0084] 도 9 및 도 10은 액체 함침 표면 위의 물 액적 이동도의 실험 측정을 보여준다. 도 9는 표면에 함침된 4종의 상이한 유체에 대한 표면 고체 분획( $\phi$ )의 함수로서의 구름각( $\alpha$ )(또는 경사각)의 도면이다(피쳐 치수 a 및 b가 도 2D에 도시된 바와 같음). "공기" 경우가 종래 초소수성 표면(즉, 가스 함침 표면)을 나타낸다는 것에 유의한다. 이 그래프는 구름각( $\alpha$ )이 실리콘 오일의 경우 매우 작고(5° 미만), 고체 분획( $\phi$ )에 의해 유의적으로 영향을 받지 않는다는 것을 보여준다. 함침 표면을 완전히 습윤시키지 않는 이온성 액체(즉, BMI-IM)의 경우, 구름각( $\alpha$ )은 공기 경우에 거의 동일하게 비교적 더 높고, 마이크로포스트 위의 액적 고정 증가로 인해 고체 분획

( $\phi$ )에 의해 증가하였다. 이는 고체 분획( $\phi$ )의 증가가 단위 면적에서 더 많은 마이크로포스트를 의미하기 때문 일 것이다. 도 10은 1000cSt 실리콘 오일에 대한 고체 분획( $\phi$ )의 함수로서의 표면이 30° 경사진 시험에 대한 물 액적 슬라이딩 속도( $v_0$ )의 도면이다. 이 그래프는 고정 증가로 인해 고체 분획( $\phi$ )이 증가할 때 슬라이딩 속도( $v_0$ )가 감소한다는 것을 보여준다.

[0085] 도 11 및 도 12는 표면이 30° 경사질 때 점도가 다른 상이한 함침 유체에 대한 물 액적 슬라이딩 속도( $v_0$ )의 추가의 실험 측정 결과를 보여준다. 이 도면은 공기에 의한 슬라이딩 속도( $v_0$ )가 실리콘 오일보다 높지만, 슬라이딩 속도( $v_0$ )가 고정 증가로 인해 고체 분획( $\phi$ )에 의한 동일한 감소 경향을 갖는다는 것을 보여준다. 도 12는 10cSt의 실리콘 오일에 대한 고체 분획( $\phi$ )의 함수로서의 슬라이딩 속도( $v_0$ )의 그래프이다. 이 그래프는 슬라이딩 속도( $v_0$ )의 양이 1000cSt에 의한 것보다 높지만 공기보다 낮다는 것을 보여준다. 고체 분획( $\phi$ )에 의한 경향은 여전히 동일하다. 도 10 및 도 12에서의 측정은 함침 액체의 점도가 감소하면서 액적 이동도(예를 들면, 슬라이딩 속도( $v_0$ ))가 증가한다는 것을 보여준다. 이는 가장 큰 이동도가 공기와 같은 저점도 함침 유체를 성취할 것이라는 것을 제시한다.

[0086] 일 실험에서, 액적 함침에 대한 점도의 영향을 결정하기 위해 함침 액체의 점도를 변경하였다. 시험에 사용된 표면은 10 $\mu$ m의 포스트 간격으로 실리콘 마이크로포스트(10x10x10 $\mu$ m)를 포함하였다. 함침 액체의 점도가 10cSt일 때, 충돌하는 물 액적은 액체 함침 표면으로부터 되튀길 수 있다. 반대로, 함침 액체의 점도가 1000cSt일 때, 충돌하는 물 액적은 표면에 있다(즉, 이것은 표면으로부터 되튀기지 않는다). 그러나, 가스 함침 표면으로 수행된 유사한 함침 실험과 달리, 슬라이딩 속도가 낮더라도 액적은 이후 표면으로부터 구를 수 있다.

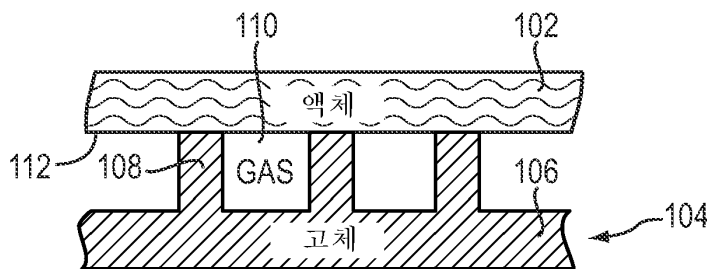
[0087] 도 13 및 도 14는 실리콘 오일이 함침된 마이크로포스트 표면 위의 성에 핵형성의 환경적 SEM(ESEM) 이미지를 포함한다. 도 13은 핵형성이 촉발되기 전 표면(1402)을 보여준다. 도 14는 핵형성 동안 표면(1404)을 보여주고, 성에(1306)가 마이크로포스트 상부에서 핵형성되는 경향을 갖는다는 것을 나타낸다.

[0088] 균등물

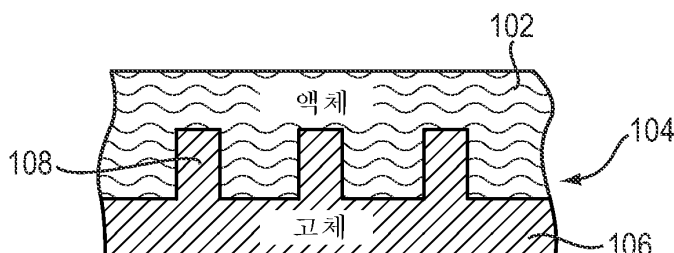
[0089] 본 발명은 특정한 바람직한 실시양태를 참조하여 특별히 도시되어 있고 기재되어 있으며, 형태 및 세부내용의 다양한 변형이 특허청구범위에 의해 정의된 바대로 본 발명의 정신 및 범위를 벗어남이 없이 본 명세서에 이루어질 수 있는 것으로 당업자가 이해해야 한다.

**도면**

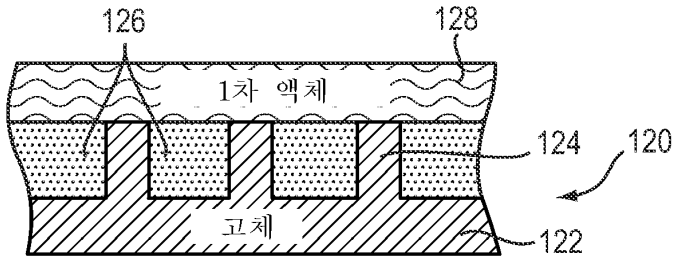
**도면1a**



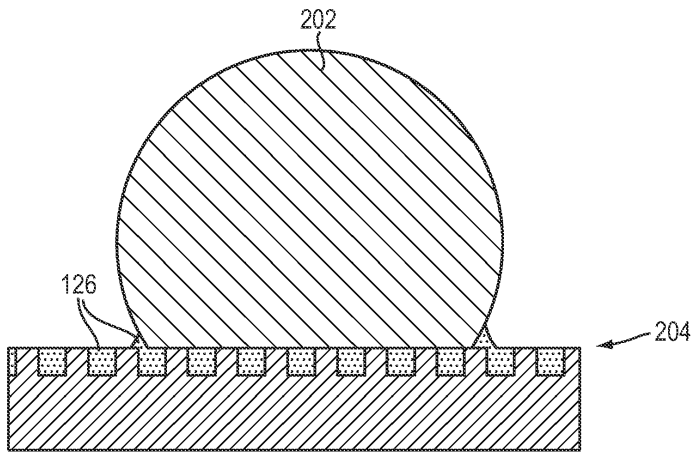
**도면1b**



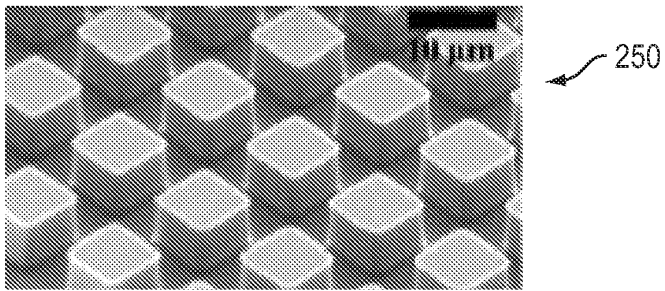
도면1c



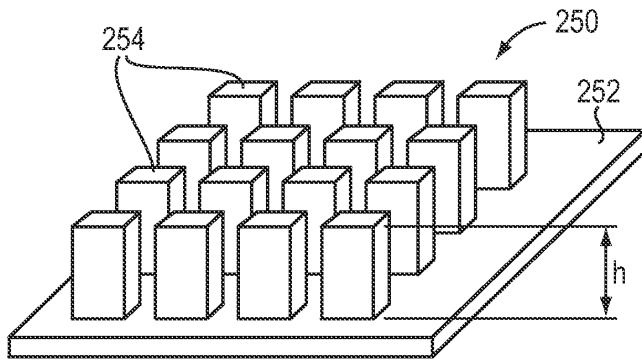
도면2a



도면2b

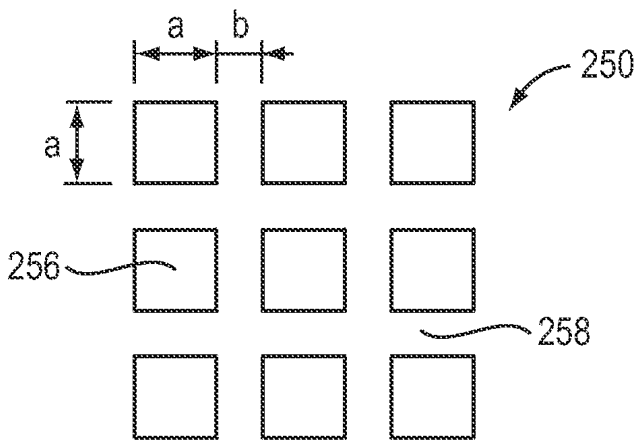


도면2c



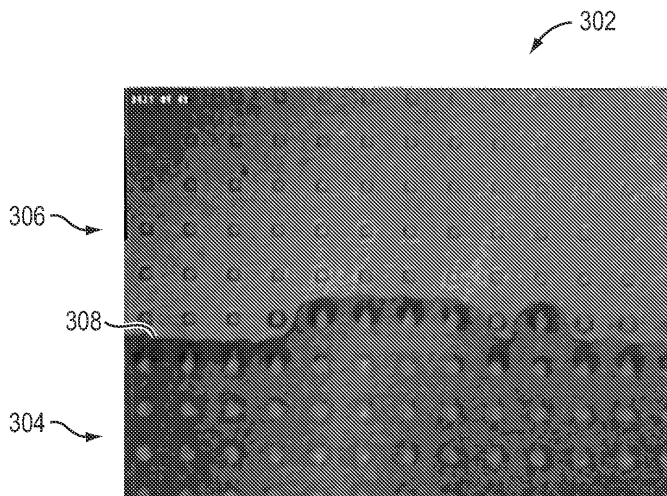
3차원 도면

도면2d

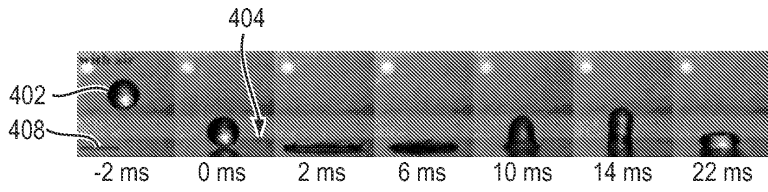


상면도

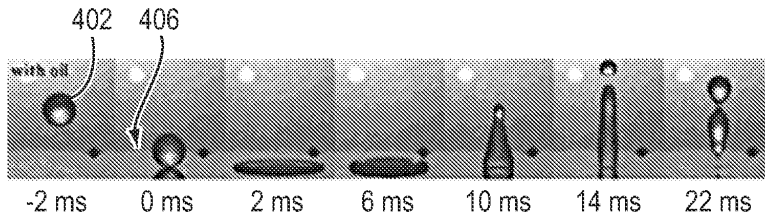
도면3



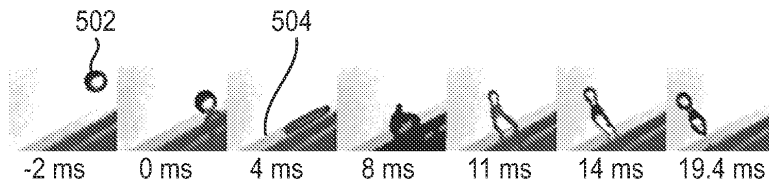
도면4a



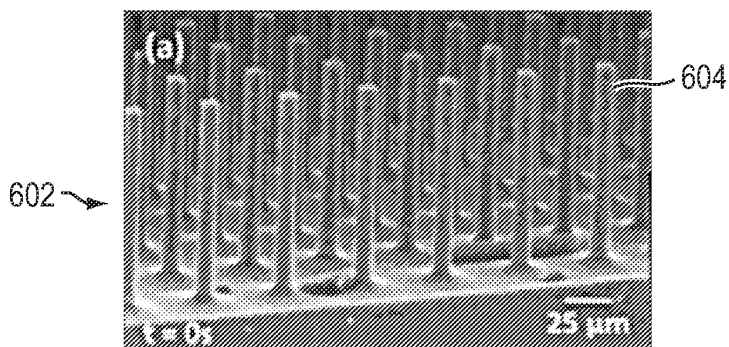
도면4b



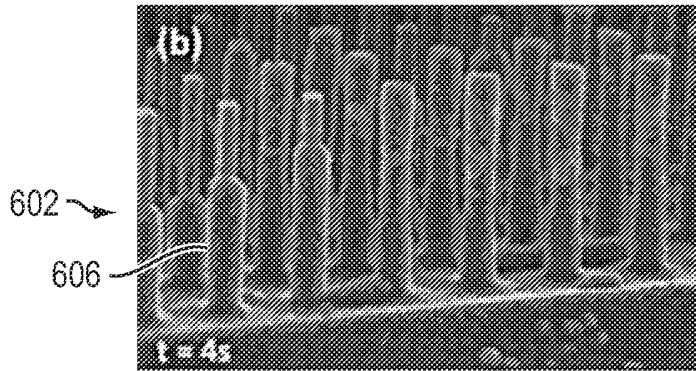
도면5



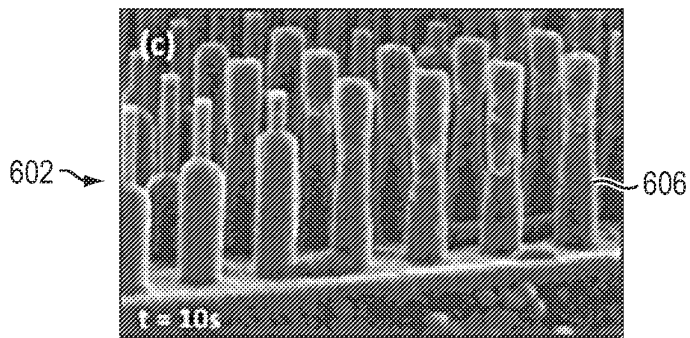
도면6a



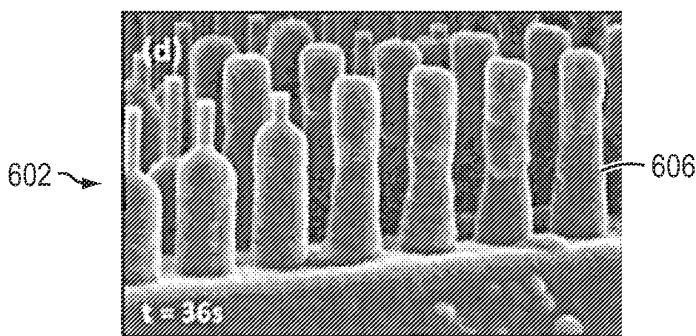
도면6b



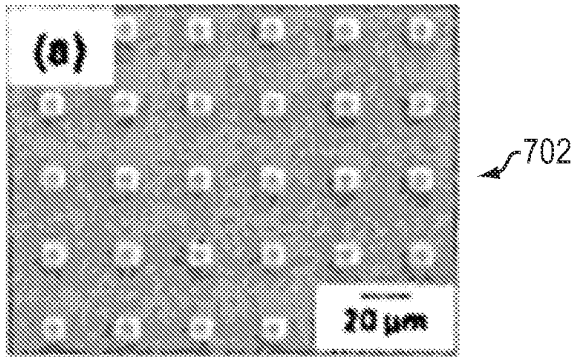
도면6c



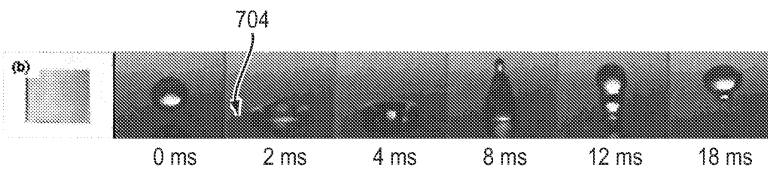
도면6d



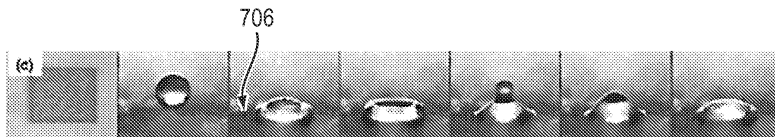
도면7a



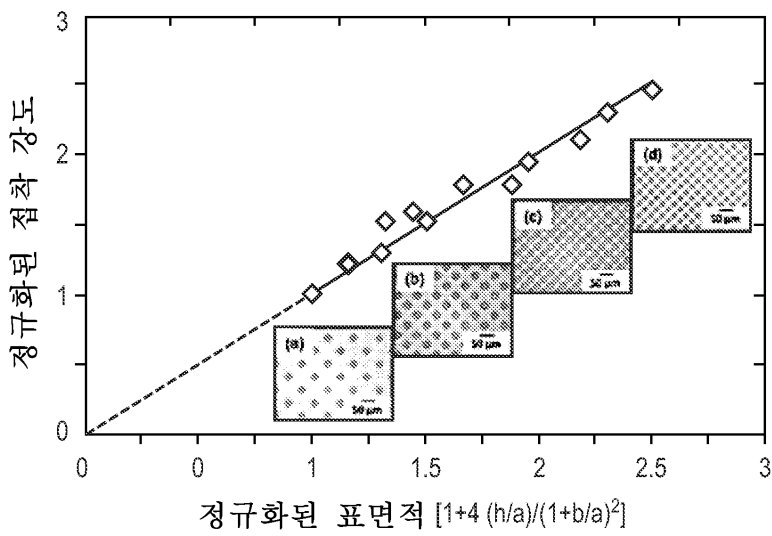
도면7b



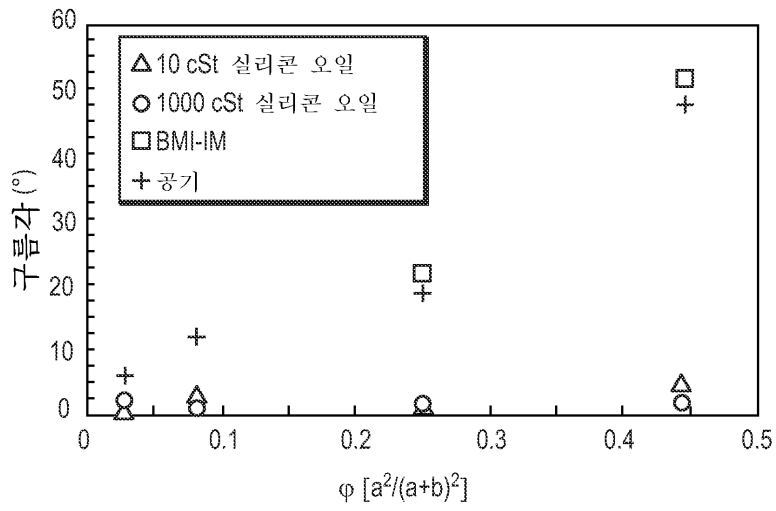
도면7c



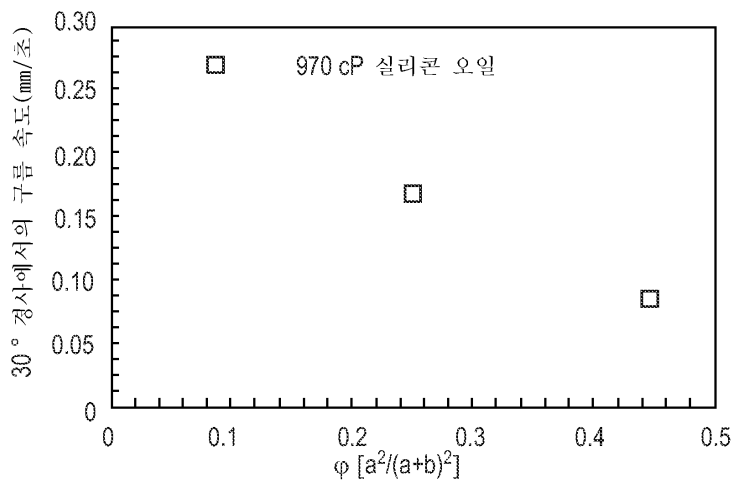
도면8



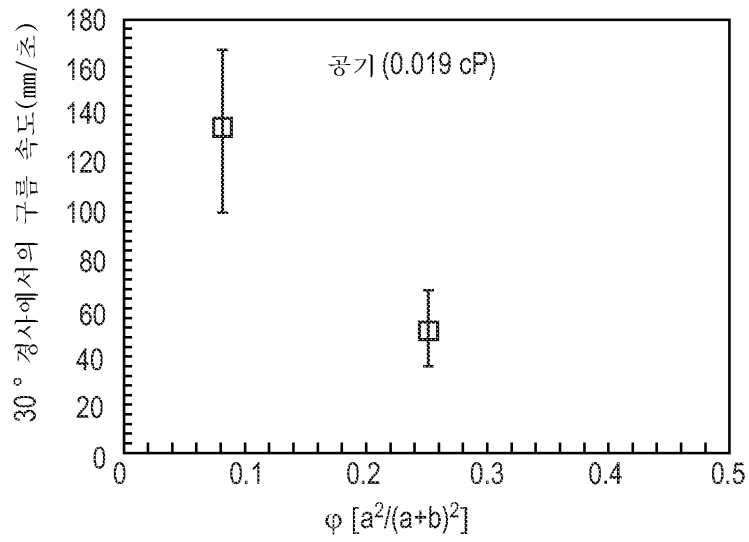
도면9



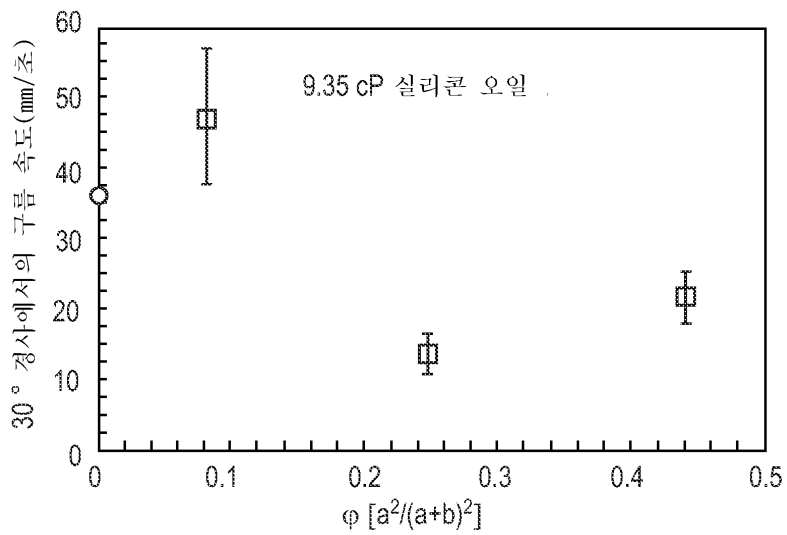
도면10



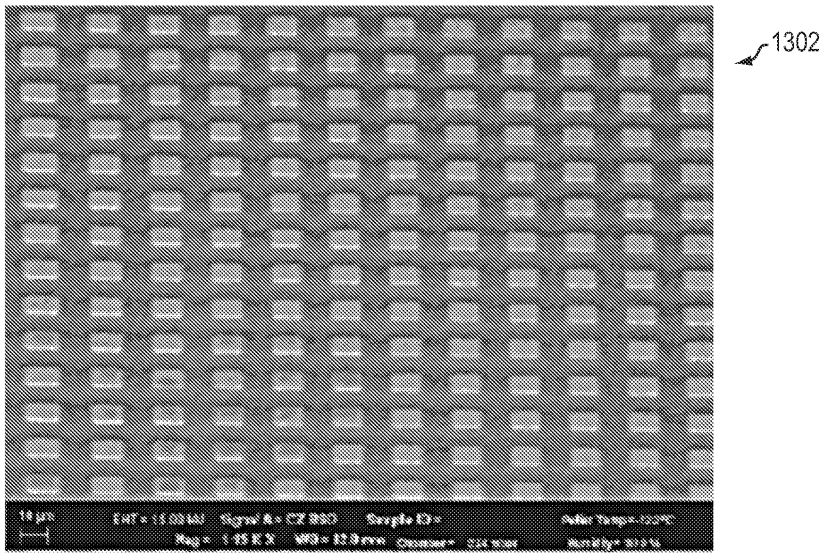
도면11



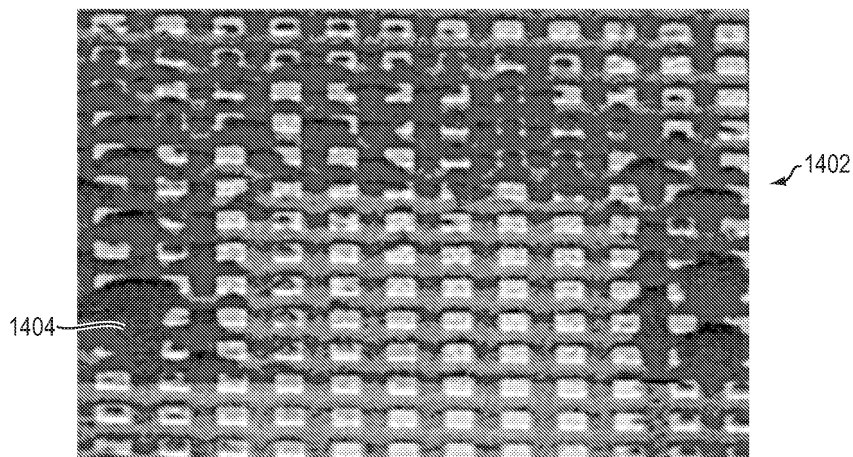
도면12



도면13



도면14

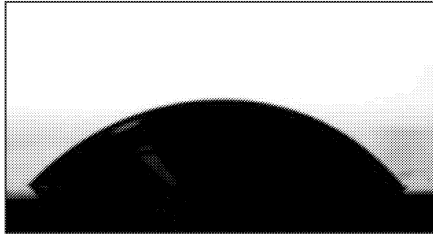


도면15

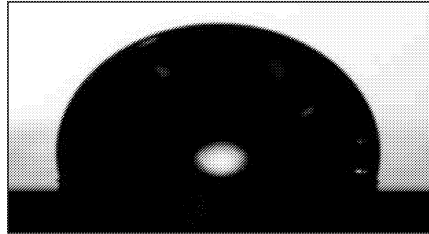
상이한 상태의 예

액적은 물이다  
 함침 액체는 실리콘 오일이다  
 표면은 10 $\mu$ m 간격의 10 $\mu$ m 사각형  
 포스트를 갖는 비처리 실리콘이다

액적은 물이다  
 함침 액체는 실리콘 오일이다  
 표면은 10 $\mu$ m 간격의 10 $\mu$ m 사각형  
 포스트를 갖는 OTC로 처리된 실리콘이다



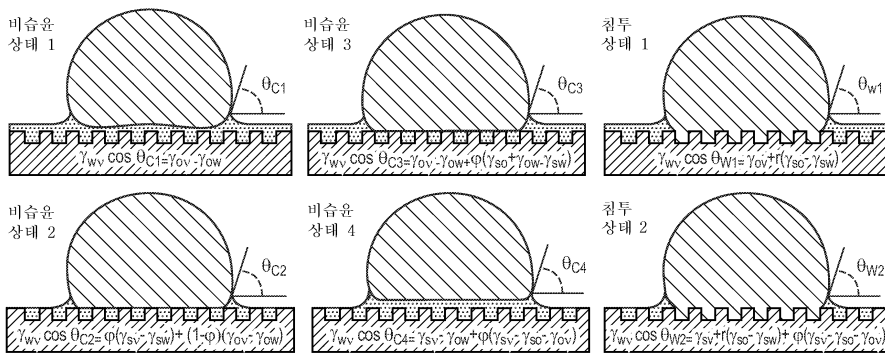
$\theta_{OS(W)} = 150^\circ$   
 침투 상태 1 - 액체는  
 표면으로부터 구르지 않는다



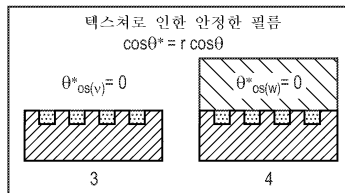
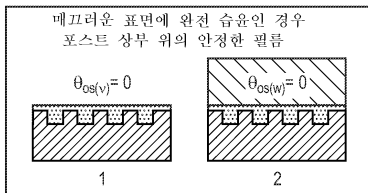
$\theta_{OS(W)} = 0^\circ$   
 비습윤 상태 1 - 구름각 약 1°

도면16

액체 함침 표면 습윤 상태



4의 습윤 조건에 의해 결정된 안정한 습윤 상태



도면17

명확성을 위해 확대된 방정식

비습윤 상태 1

$$\begin{aligned} \theta_{os(v)}^* &= 0 \\ \theta_{os(w)}^* &= 0 \\ \theta_{os(v)} &= 0 \\ \theta_{os(w)} &= 0 \end{aligned}$$

비습윤 상태 3

$$\begin{aligned} \theta_{os(v)}^* &= 0 \\ \theta_{os(w)}^* &= 0 \\ \theta_{os(v)} &= 0 \\ \theta_{os(w)} &> 0 \end{aligned}$$

침투 상태 1

$$\begin{aligned} \theta_{os(v)}^* &= 0 \\ \theta_{os(w)}^* &> 0 \\ \theta_{os(v)} &= 0 \\ \theta_{os(w)} &> 0 \end{aligned}$$

비습윤 상태 2

$$\begin{aligned} \theta_{os(v)}^* &= 0 \\ \theta_{os(w)}^* &= 0 \\ \theta_{os(v)} &> 0 \\ \theta_{os(w)} &> 0 \end{aligned}$$

비습윤 상태 4

$$\begin{aligned} \theta_{os(v)}^* &= 0 \\ \theta_{os(v)} &> 0 \\ \theta_{os(w)}^* &= 0 \\ \theta_{os(w)} &= 0 \end{aligned}$$

침투 상태 2

$$\begin{aligned} \theta_{os(v)}^* &= 0 \\ \theta_{os(v)} &> 0 \\ \theta_{os(w)}^* &> 0 \\ \theta_{os(w)} &> 0 \end{aligned}$$