



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0083137
(43) 공개일자 2021년07월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 15/06 (2006.01) G01N 15/14 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 15/065 (2013.01)
G01N 15/0656 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0010573
(22) 출원일자 2020년01월29일
심사청구일자 2020년01월29일
(30) 우선권주장
1020190175763 2019년12월26일 대한민국(KR)

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
김용준
서울특별시 용산구 이촌로65길 8, 207동 1707호(이촌동, 한가람아파트)
권홍범
서울특별시 서대문구 연희로10길 29-5, 403호(연희동)
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

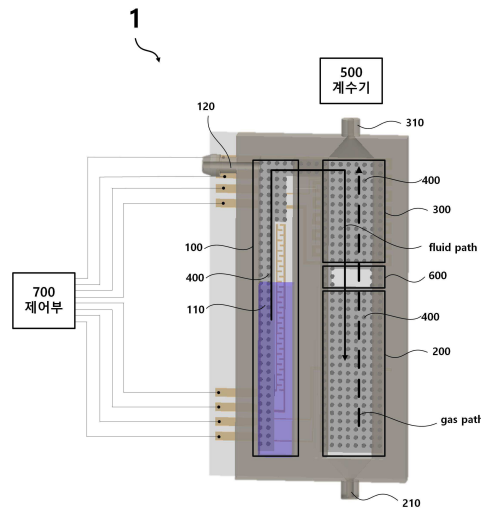
전체 청구항 수 : 총 28 항

(54) 발명의 명칭 입자 계수기

(57) 요약

본 실시예에 의한 입자 계수기는 동작 액체가 저장되는 저장조(reservoir)와, 포화 증기(saturated vapor)가 형성되며, 일단을 통하여 파티클이 유입되는 컨디셔너와, 과포화 증기(supersaturated vapor)가 형성되며, 파티클이 과포화 증기를 통과하며 형성된 액적(droplet)을 일단으로 배출하는 응축기(condenser)와, 저장조, 컨덴서 및 컨디셔너의 벽면에 형성되어 저장조에 저장된 동작 액체를 전달하는 복수의 친수성 워ick(hydrophilic wick)들 및 액적을 계수하는 계수기를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 15/14 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

동작 액체가 저장되는 저장조(reservoir);

포화 증기(saturated vapor)가 형성되며, 일단을 통하여 파티클이 유입되는 컨디셔너;

과포화 증기(supersaturated vapor)가 형성되며, 상기 파티클이 상기 과포화 증기를 통과하며 형성된 액적(droplet)을 일단으로 배출하는 응축기(condenser);

상기 저장조, 상기 컨테이너 및 상기 컨디셔너의 벽면에 형성되어 상기 저장조에 저장된 상기 동작 액체를 전달하는 복수의 친수성 Wick(hydrophilic wick)들 및

상기 액적을 계수하는 계수기를 포함하는 입자 계수기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 동작 액체는 증류수, 탈이온수(deionized water), 정수된 물(purified water) 및 수돗물(tab water)등 중 어느 하나 중 어느 하나인 입자 계수기.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 친수성 Wick은 상기 동작 액체를 상기 응축기와 상기 저장조로 전달하는 입자 계수기.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 친수성 Wick은 상기 동작 액체를 모세관 현상으로 상기 응축기와 상기 컨디셔너로 전달하는 입자 계수기.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 응축기와 상기 컨디셔너는 열적 배리어를 두고 서로 연결되며,

상기 열적 배리어는 상기 응축기와 상기 컨디셔너 사이의 열전달을 차단하는 입자 계수기.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 열적 배리어는,

상기 응축기 및 상기 컨디셔너에 형성된 상기 친수성 Wick의 개수에 비하여 적은 개수의 상기 친수성 Wick이 배열된 입자 계수기.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 응축기 내부의 온도는 상기 컨디셔너 내부의 온도에 비하여 높게 유지되는 입자 계수기.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 응축기 내부의 온도는 20℃ 이상 60℃ 이하의 중 어느 한 온도로 유지되고, 상기 컨디셔너 내부의 온도는 0℃ 내지 20℃ 중 어느 한 온도로 유지되는 입자 계수기.

청구항 9

제1항에 있어서,
상기 응축기에는 히터(heater)가 위치하고,
상기 컨디셔너에는 쿨러(cooler)가 위치하는 입자 계수기.

청구항 10

제9항에 있어서,
상기 히터 및 상기 쿨러는 제어부에 의하여 제어되는 입자 계수기.

청구항 11

제1항에 있어서,
상기 응축기 및 상기 컨디셔너 중 어느 하나 이상에는 온도 센서가 배치된 입자 계수기.

청구항 12

제9항에 있어서,
상기 히터는 상기 응축기 내부의 온도를 20℃ 이상 60℃ 이하의 중 어느 한 온도로 유지하고,
상기 쿨러는 상기 컨디셔너 내부의 온도를 0℃ 내지 20℃ 중 어느 한 온도로 유지하는 입자 계수기.

청구항 13

제1항에 있어서,
상기 친수성 막은,
구리 필라(copper pillar)와,
상기 구리 필라를 코팅하는 산화 구리(copper oxide)를 포함하는 입자 계수기.

청구항 14

제1항에 있어서,
상기 친수성 막은,
친수성 폴리머인 입자 계수기.

청구항 15

제1항에 있어서,
상기 계수기는,
상기 액적에 광을 제공하는 광원과,
상기 액적에서 산란되는 광을 검출하여 전기적 신호를 형성하는 수광 소자 및
상기 전기적 신호를 통하여 상기 액적을 계수하는 계수부를 포함하는 입자 계수기.

청구항 16

제1항에 있어서,
상기 저장조는,

상기 동작 액체의 수위(level)를 검출하는 수위 센서가 형성된 입자 계수기.

청구항 17

제1 플레이트에 전극을 형성하는 단계와,

상기 전극이 형성된 상기 플레이트에 절연층을 형성하는 단계와,

상기 절연층 상에 필라를 형성하는 단계와,

적어도 상기 필라에 친수성 물질층을 형성하는 단계 및

상기 필라에 친수성 물질층이 형성된 제1 플레이트에 스페이서를 형성하여 상기 필라에 친수성 물질층이 형성된 제2 플레이트를 결합하여 내부에 채널을 형성하는 단계를 포함하는 입자 계수기 제조 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 절연층 상에 필라를 형성하는 단계는,

포토 레지스트를 패터닝하여 필라를 형성하여 수행하는 입자 계수기 제조 방법.

청구항 19

제17항에 있어서,

상기 절연층 상에 필라를 형성하는 단계는,

상기 절연층 상에 시드층을 형성하는 단계,

상기 시드 층 상에 필라가 형성될 부분을 개방하는 몰드 패턴을 형성하는 단계 및

전기 도금을 수행하여 필라를 생성하는 단계를 포함하는 입자 계수기 제조 방법.

청구항 20

제17항에 있어서,

상기 친수성 물질층을 형성하는 단계는,

친수성 폴리머 단량체를 형성하여 수행하는 입자 계수기 제조 방법.

청구항 21

제17항에 있어서,

상기 친수성 물질층을 형성하는 단계는,

상기 필라를 산화하여 산화물을 형성하여 수행하는 입자 계수기 제조 방법.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 필라는 구리이고,

상기 친수성 물질은 산화구리인 입자 계수기 제조 방법.

청구항 23

동작 액체가 저장되는 저장조(reservoir);

파티클을 포함하는 공기를 목적하는 온도와 상대 습도를 가지도록 컨디셔닝하는 컨디셔너;

과포화 증기(supersaturated vapor)가 형성되며, 상기 파티클이 상기 과포화 증기를 통과하여 액적(droplet)을 형성하는 응축기(condenser);

상기 저장조, 상기 컨덴서 및 상기 컨디셔너의 벽면에 형성되어 상기 저장조에 저장된 상기 동작 액체를 전달하는 복수의 친수성 Wick(hydrophilic wick)들 및

상기 액적을 계수하는 계수기를 포함하는 입자 계수기.

청구항 24

제23항에 있어서,

상기 동작 액체는 증류수, 탈이온수(DI water), 정수된 물, 수돗물 중 어느 하나인 입자 계수기.

청구항 25

제23항에 있어서,

상기 친수성 Wick은 상기 동작 액체를 모세관 현상으로 상기 응축기와 상기 컨디셔너로 전달하는 입자 계수기.

청구항 26

제23항에 있어서,

상기 응축기와 상기 컨디셔너는 열적 배리어를 두고 서로 연결되며,

상기 열적 배리어는 상기 응축기와 상기 컨디셔너 사이의 열전달을 차단하는 입자 계수기.

청구항 27

제23항에 있어서,

상기 응축기 내부의 온도는 35℃ 내지 60℃ 중 어느 한 온도로 유지되고, 상기 컨디셔너 내부의 온도는 0℃ 내지 20℃ 중 어느 한 온도로 유지되는 입자 계수기.

청구항 28

제23항에 있어서,

상기 응축기의 외면에는 히터(heater)가 위치하고,

상기 컨디셔너의 외면에는 쿨러(cooler)가 위치하는 입자 계수기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 기술은 입자 계수기에 관련된다.

배경 기술

[0002] 수 나노 미터에서 수십 마이크로 미터까지 다양한 크기를 가지는 입자가 대기 중에 부유하고 있으며, 이들의 유해성에 관심이 모아지고 있다. 역학 조사에 따르면 이러한 입자를 흡입하면 폐 염증, 심혈관 질환 및 심지어 암이 발생할 수 있다는 연구 결과가 발표된 바 있으며, 이러한 입자는 크기가 작기 때문에 인간의 폐에 더 깊이 침투하고 다른 기관에 더 쉽게 이동할 수 있어서 큰 크기의 입자에 비하여 상대적으로 더 해로운 것으로 보고되었다.

[0003] 공기 중에 부유하며, 농도가 지속적으로 변화하는 다양한 환경에서 나노 입자를 정확하게 모니터링하기 위해 모니터링 네트워크를 구축해가고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 종래 기술에 의한 휴대용 나노 입자 센서는 입자 대전 원리에 기초한다. 나노 입자는 이온과 충돌하여 전기적으로 충전되어 이 때 발생하는 전류를 감지한다. 그러나, 이러한 시스템은 하전된 나노 입자의 작은 크기로 인해

운반하는 전하량이 적고, 전하 상태는 유전 상수를 포함하는 물질 특성에 크게 의존하기 때문에 종종 감도 및 정확성이 낮다. 나아가, 이온 발생 과정에서, 예를 들어, 오존 등의 유해한 산화제가 불가피하게 발생하는 문제점이 있다.

[0005] 또한, 높은 정밀도를 가지는 산업용 미세 입자 계수기는 동작 액체로 부탄올 또는 이소프로필알코올을 사용하나, 이들은 알코올 계열로 흡입 또는 인체에 노출될 때 폐 및/또는 각막에 손상을 일으킬 수 있는 유해한 액체이며, 가연성이 높아 위험하다. 나아가, 높은 정밀도를 가지는 산업용 나노 입자 계수기는 무겁고, 큰 부피를 가지며, 높은 비용을 가진다는 문제가 있다.

[0006] 따라서, 본 실시예에 의한 입자 계수기로 해결하고자 하는 과제 중 하나는 상기한 종래 기술이 가지는 문제점을 해소하여 가볍고, 작은 부피를 가지며, 낮은 비용으로 제조할 수 있는 입자 계수기를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 실시예에 의한 입자 계수기는 동작 액체가 저장되는 저장조(reservoir)와, 포화 증기(saturated vapor)가 형성되며, 일단을 통하여 파티클이 유입되는 컨디셔너와, 과포화 증기(supersaturated vapor)가 형성되며, 파티클이 과포화 증기를 통과하며 형성된 액적(droplet)을 일단으로 배출하는 응축기(condenser)와, 저장조, 컨덴서 및 컨디셔너의 벽면에 형성되어 저장조에 저장된 동작 액체를 전달하는 복수의 친수성 워ick(hydrophilic wick)들 및 액적을 계수하는 계수기를 포함한다.

[0008] 본 실시예에 의한 입자 계수기 제조 방법은 제1 플레이트에 전극을 형성하는 단계와, 전극이 형성된 플레이트에 절연층을 형성하는 단계와, 절연층 상에 필라를 형성하는 단계와, 적어도 필라에 친수성 물질층을 형성하는 단계 및 필라에 친수성 물질층이 형성된 제1 플레이트에 스페이서를 형성하여 필라에 친수성 물질층이 형성된 제2 플레이트를 결합하여 내부에 채널을 형성하는 단계를 포함한다.

[0009] 본 실시예에 의한 입자 계수기는 동작 액체가 저장되는 저장조(reservoir)와, 파티클을 포함하는 공기를 목적하는 온도와 상대 습도를 가지도록 컨디셔닝하는 컨디셔너와, 과포화 증기(supersaturated vapor)가 형성되며, 파티클이 과포화 증기를 통과하여 액적(droplet)을 형성하는 응축기(condenser)와, 저장조, 컨덴서 및 컨디셔너의 벽면에 형성되어 저장조에 저장된 동작 액체를 전달하는 복수의 친수성 워ick(hydrophilic wick)들 및 액적을 계수하는 계수기를 포함한다.

발명의 효과

[0010] 본 실시예에 의한 입자 계수기는 종래 응축 입자 계수기에 비하여 소형이며, 가벼우며, 물을 사용하므로 인체에 무해하며, 경제적이라는 장점을 가진다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 실시예에 의한 응축 입자 계수기의 개요를 도시한 도면이다.
 도 2는 전극 구조의 개요를 도시한 도면이다.
 도 3은 계수기의 일 실시예를 도시한 도면이다.
 도 4는 입자 계수기의 동작을 설명하기 위한 개요도이다.
 도 5(a)는 컨디셔너와 응축기 내부의 온도 분포를 도시한 도면이고, 도 5(b)는 컨디셔너 내부의 상대 습도 분포를 도시한 도면이며, 도 5(c)는 응축기 내부의 상대 습도 분포를 도시한 도면이다.
 도 6은 응축기 내부의 채널 직경 분포를 도시한 도면이다.
 도 7 내지 도 12는 입자 계수기를 형성하는 과정을 개요적으로 도시하는 공정 단면도들이다.
 도 13은 친수성 워ick을 촬영한 현미경 사진이다.
 도 14는 유입된 입자의 크기와 응축기에서 형성된 액적의 평균 직경 사이의 관계를 도시한 도면이다.
 도 15는 유입된 염화나트륨 입자와 은 입자의 크기에 따른 계수 확률 사이의 관계를 도시한 도면이다.
 도 16은 본 실시예에 의한 입자 계수기의 구현예를 촬영한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 실시예에 의한 입자 계수기를 설명한다. 도 1은 본 실시예에 의한 응축 입자 계수기의 개요를 도시한 도면이다. 도 1을 참조하면, 본 실시예에 의한 응축 입자 계수기(1)는 저장조(reservoir, 100)와, 컨디셔너(200)와, 응축기(condenser, 300) 및 저장조(100), 컨디셔너(200) 및 복수의 친수성 Wick(hydrophilic wick, 400)들 및 액적을 계수하는 계수기(500)를 포함한다. 일 실시예로, 입자 계수기(1)는 열적 배리어(600) 및 제어부(700)를 더 포함할 수 있다.
- [0013] 일 실시예로, 컨디셔너(200) 및 컨덴서(300)는 내부에 형성된 채널(C, 도 12 참조)을 통하여 액적(droplet, 도 4 참조)을 포함하는 기체 및/또는 파티클(NP, 도 4 참조)을 포함하는 기체가 움직일 수 있으며, 채널(C)은 사각형 등의 다각형 단면, 원형 단면을 가질 수 있다. 일 예로, 파티클(NP)는 수 ~수십 나노 미터 직경을 가지는 나노 파티클일 수 있다.
- [0014] 저장조(100)에는 동작 액체(110)가 저장된다. 일 예로, 동작 액체(110)는 물일 수 있으며, 일 예로, 탈이온수(deionized water), 증류수, 정수된 물(purified water) 및 수도물(tab water)등 중 어느 하나일 수 있다.
- [0015] 저장조(100)에는 내부에 저장된 동작 액체(110)의 수위를 검출하는 수위 센서(level sensor, 130)가 위치할 수 있다. 도 1로 예시된 실시예에서, 수위 센서(130)는 동작 액체(110)의 수위에 따라 두 전극(131, 132, 도 2 참조) 사이에 형성되는 커패시턴스(capacitance)가 변화하는 정전 용량식 수위 센서이다. 도시되지 않은 실시예로, 수위 센서(130)는 동작 액체(110)의 수위에 따라 전극 사이에 형성되는 전기 저항이 변화하는 저항식 수위 센서이다.
- [0016] 수위 센서(130)에 의하여 검출된 수위에 따라 동작 액체 유입구(120)를 통해 동작 액체(110)가 공급된다. 일 예로, 동작 액체 유입구(120)는 펌프(미도시)와 연결될 수 있다. 제어부(700)는 수위 센서(130)를 통해 검출한 동작 액체(110)의 수위를 검출하고, 검출한 수위에 따라 펌프(미도시)를 구동하여 동작 액체 유입구(120)를 통해 동작 액체(110)를 공급할 수 있다.
- [0017] 저장조(100), 컨디셔너(200) 및 응축기(300)의 내부에는 복수의 친수성 Wick(hydrophilic wick, 400)들이 위치한다. 일 실시예로, Wick(400)은 친수성 물질로 이루어진 구조물일 수 있다. 다른 예로, Wick(400)은 필라(pillar, P, 도 12 참조)와 필라(P)를 코팅하는 친수성 물질(H, 도 12 참조)을 포함할 수 있다. 일 예로, 필라는 열 전달율이 높은 물질일 수 있으며, 구리, 티타늄, 은 중 어느 하나일 수 있다. 다른 예로, 필라는 패턴된 포토 레지스트일 수 있다. 친수성 물질(H)은 필라를 코팅하는 물질로, 친수성을 가진다. 일 예로, 필라(P)를 코팅하는 친수성 물질(H)은 나노 와이어 형태의 산화구리(copper oxide)일 수 있다. 다른 예로, 친수성 물질은 친수성 폴리머인 폴리아크릴릭산(polyacrylic acid), 아크릴아미드(acrylamide)중 어느 하나의 단량체일 수 있다.
- [0018] 저장조(100)에 저장된 동작 액체(110)는 Wick(400)에 의하여 실선으로 도시된 액체 경로(fluid path)를 따라 모세관 현상(capillary action)으로 응축기(300) 및 컨디셔너(200)로 이동한다. 컨디셔너(200)와 응축기(300)로 제공된 동작 액체(110)는 벽면에 형성된 Wick(400)에 의하여 증발된다.
- [0019] 도 2는 수위 센서, 히터, 컨디셔너의 외측에 위치하는 온도 센서 및 응축기 외측에 위치하는 온도센서의 개요를 도시한 도면이다. 도 1 및 도 2를 참조하면, 파티클(NP, 도 4 참조)을 포함하는 공기 등의 기체는 기체 유입구(210)를 통하여 컨디셔너(200)의 내부로 유입된다. 컨디셔너(200)는 기체 유입구(210)를 통하여 유입된 기체의 온도 및 습도 상태를 조절한다. 일 실시예로, 컨디셔너(200)의 외측벽에는 쿨러(cooler, 250, 도 4 참조) 및 온도 센서(260)가 위치할 수 있으며, 쿨러(250, 도 4 참조)는 컨디셔너(200)의 외측벽을 목적하는 온도로 유지하여 컨디셔너(200) 내부의 채널 내의 온도를 유지하며, 온도 센서(260)는 컨디셔너(200)의 온도를 검출한다.
- [0020] 일 실시예로, 온도 센서(260)는 컨디셔너(200)의 외측벽에 위치하여 온도에 따라 전기 저항이 변화하는 도전 선로(261, 262)일 수 있다. 제어부(700)는 온도 센서(260)에 포함된 도전 선로(261, 262)의 전기 저항을 측정하여 컨디셔너(200)의 온도를 검출할 수 있다.
- [0021] 컨디셔너(200)를 통과하면서 파티클(NP)을 포함하는 기체는 목적하는 온도와 목적하는 상대 습도로 조절(conditioning)된다. 일 예로, 파티클(NP)을 포함하는 기체는 컨디셔너(200)를 거치면서 0℃ 초과 20℃ 이하의 어느 한 온도와 80% 내지 100%의 상대 습도를 가지도록 조절된다.
- [0022] 컨디셔너(200)를 거쳐 목적하는 온도와 상대 습도로 유지된 기체가 응축기(300)로 유입된다. 일 실시예로, 응축기(300)의 외측벽에는 히터(heater, 350)가 위치할 수 있으며, 히터(350)는 응축기(300)를 20℃ 이상 60℃ 이하의 어느 한 온도로 유지하여 응축기(300) 내부 채널(C)의 온도와 상대 습도를 제어한다. 일 실시예로, 히터

(350)는 제어부(700)가 제공하는 전류에 따라 발열하는 도전 선로(351, 352)를 포함할 수 있다.

- [0023] 일 실시예로, 응축기(300)에는 응축기(300)의 온도를 검출하는 온도 센서(360)가 더 위치할 수 있다. 온도 센서(360)는 컨디셔너(200)의 외측벽에 위치하여 온도에 따라 전기 저항이 변화하는 도전선로(361, 362)일 수 있다. 제어부(700)는 도전 선로의 전기 저항을 측정하여 응축기(300)의 온도를 검출할 수 있다.
- [0024] 응축기(300)의 내부에는 과포화 공기(supersaturated air)가 형성되며, 응축기(300)에 유입된 기체에 포함된 파티클(NP)은 응축핵(condensation core)으로 기능하여 동작 액체의 액적(droplet)을 형성한다. 동작 액체의 액적은 응축기(300)를 거치면서 직경이 성장하여 노즐(310)로 토출된다.
- [0025] 일 실시예로, 입자 계수기는 응축기(300)와 컨디셔너(200) 사이에는 위치하는 열적 배리어(thermal barrier, 600)가 형성될 수 있다. 열적 배리어(600)는 컨디셔너(200)와 응축기(300) 사이의 열 교환을 막는다. 일 실시예로, 열적 배리어(600)는 컨디셔너(200)에 위치하는 워(400)의 개수와 컨디셔너(200)에 위치하는 워의 개수보다 적은 개수의 워(400)이 배치되어 형성될 수 있다. 다만, 열적 배리어(600)에는 응축기(300)에서 컨디셔너(200)로 모세관 현상을 통해 동작 액체를 전달할 수 있을 정도의 워(400)들이 배치될 수 있다.
- [0026] 일 실시예로, 수위 센서(130)의 두 도전 선로(131, 132)는 제어부(700)와 연결된다. 제어부(700)는 두 도전 선로(131, 132)의 커패시턴스 또는 전기 저항을 측정하여 동작 액체(110)의 수위를 검출할 수 있다.
- [0027] 히터(350)의 도전 선로(351, 352)는 제어부(700)와 연결되어 제어부(700)가 제공하는 구동 전력을 히터(350)에 제공할 수 있다. 응축기(300) 외측에 위치하는 온도 센서(360)의 도전 선로(361, 362)는 제어부(700)와 연결된다. 제어부(700)는 도전 선로(361, 362)의 전기 저항을 측정하여 응축기(300) 외측 온도를 검출할 수 있다. 컨디셔너(200) 외측에 위치하는 온도 센서(260)의 도전 선로(261, 262)는 제어부(700)와 연결된다. 제어부(700)는 도전 선로(261, 262)의 전기 저항을 측정하여 컨디셔너(200) 외측 온도를 검출할 수 있다. 도시되지 않았지만, 제어부(700)는 쿨러(250)에 구동 전력을 제공하여 쿨러 구동을 제어할 수 있다.
- [0028] 제어부(700)는 응축기 외측의 온도 센서(360) 및 컨디셔너(200) 외측에 위치하는 온도 센서(260)에 의하여 응축기 외측의 온도와 컨디셔너 외측의 온도를 검출한다. 제어부(700)는 검출한 온도에 따라 히터(350)를 구동하거나, 동작하지 않도록 제어하여 응축기(300)를 목적하는 온도로 제어하고, 쿨러(250)를 구동하거나, 동작하지 않도록 제어하여 컨디셔너(200)를 목적하는 온도로 제어한다.
- [0029] 도 3은 계수기(500)의 일 실시예를 도시한 도면이다. 도 1 및 도 3을 참조하면, 계수기(500)는 액적(droplet)에 광을 제공하는 광원(510)과, 액적에 광이 조사되어 형성된 산란광을 검출하여 전기 신호로 출력하는 수광 소자(540) 및 수광 소자(540)가 출력한 전기 신호로부터 액적의 개수를 계수하는 계수부(미도시)을 포함한다. 일 예로, 광원(510)이 조사하는 광은 레이저 광일 수 있으며, 적색, 녹색 등의 가시광 레이저, 자외선 레이저 등의 레이저일 수 있다. 또한 수광 소자(540)는 산란광을 검출하여 전기 신호로 출력하는 포토 다이오드(photo diode)일 수 있다. 계수부(550)는 수광 소자(540)에서 제공한 스파이크 형태의 검출 신호를 제공받고, 피크를 검출하여 액적(droplet)의 개수를 계수하는 피크 검출기(peak detector)를 포함할 수 있다.
- [0030] 계수기(500)는 일 실시예에서, 광원(510)이 제공하는 광을 액적에 초점을 맞추는 렌즈(520)를 포함하며, 광원이 제공하는 광이 목적하지 않게 산란되어 수광 소자(540)에 제공되는 것을 방지하도록 광을 흡수하거나, 광을 산란하는 광 트랩(522)을 포함한다. 계수기(500)는 일 실시예로, 액적(droplet)에 광이 제공되어 형성된 산란광을 수광 소자(540)에 제공하는 반사경(530)을 포함할 수 있다.
- [0031] 이하에서는 상기한 구성을 가지는 입자 계수기의 동작을 설명한다. 도 4는 입자 계수기의 동작을 설명하기 위한 개요도이다. 도 5(a)는 컨디셔너(200)와 응축기(300) 내부의 온도 분포를 도시한 도면이고, 도 5(b)는 컨디셔너(200) 내부의 상대 습도 분포를 도시한 도면이며, 도 5(c)는 응축기(300) 내부의 상대 습도 분포를 도시한 도면이고, 도 6은 응축기(300) 내부의 캐빈 직경 분포를 도시한 도면이다.
- [0032] 도 4 및 도 5(a) 내지 도 5(b)를 참조하면, 컨디셔너(200)에서 기체 유입구(210, 도 1 참조)측은 외부의 기체가 유입되어 내부 온도가 대략 23℃로 유지된다. 그러나, 유입된 기체가 컨디셔너(200) 내의 채널을 통과함에 따라 쿨러(250)에 의한 냉각 작용에 의하여 내부 온도가 14℃ ~ 5℃로 유지되며, 응축기(300)와 컨디셔너(200)의 경계에서는 5℃로 유지된다. 또한, 동작 액체(110, 도 1 참조)는 워(400)에 의한 모세관 작용에 의하여 컨디셔너(200)로 이동하여 증발하며, 컨디셔너(200)와 응축기(300)의 경계에서는 내부 온도에 대하여 100%의 상대 습도로 유지된다.
- [0033] 도 5(c)에 도시된 것과 같이 응축기(300) 내부는 컨디셔너(200)와의 경계에서 100%의 상대 습도로 유지된다. 응

축기(300)는 컨디셔너(200)에 비하여 높은 온도를 가져 응축기(300) 내부의 절대 습도는 컨디셔너(200)의 절대 습도에 비하여 높다.

- [0034] 응축기(300) 내부의 채널(C)을 따라 공기가 이동함에 따라 동작 액체(110, 도 1 참조) 증기의 확산 계수는 열의 확산 계수에 비하여 크므로 응축기(300)의 노즐(310)측 단부와 인접한 영역에서 응축기(300) 중심으로의 동작 액체 증기의 확산은 열의 이동보다 빠르다. 따라서, 응축기(300) 채널(C)에서의 증기압은 온도 평형이 이루어지기 이전에 평형을 유지하며, 이로부터 도 5(c)에 도시된 것과 같이 응축기(300) 중앙 부위에는 동작 액체(110, 도 1 참조) 증기의 과포화 상태가 형성된다.
- [0035] 도 6은 응축기(300) 내부의 캐빈 직경 분포를 도시한 도면이다. 캐빈 직경(Kelvin diameter)은 주어진 상대 습도에 대해 액적이 성장할 수 있는 최소 직경을 의미한다. 도 6에서 도시된 것과 같이 응축기(300)내 채널(C)에서는 동작 액체(110, 도 1 참조) 증기의 과포화 상태에 기인하여 이론상 최소 6.3nm 직경을 가지는 입자(NP)가 응축기(300)로 유입되면 입자(NP)는 동작 액체(110, 도 1 참조) 증기의 응축핵으로 작용하여 액적(droplet)이 형성된다.
- [0036] 형성된 액적(droplet)은 응축기(300)내 채널(C)을 통과함에 따라 직경이 증가하고, 노즐(310)을 통하여 계수기(500)로 토출된다. 계수기(500)는 토출된 액적을 계수하여 공기 중의 입자의 농도를 파악하여 출력할 수 있다.
- [0037] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 실시예에 의한 입자 계수기의 제조 방법을 설명한다. 도 7 내지 도 12는 입자 계수기를 형성하는 과정을 개요적으로 도시하는 공정 단면도이다.
- [0038] 도 7을 참조하면, 플레이트(plate) 상에 전극(E) 패턴을 형성한다. 전극(E) 패턴은 위에서 설명된 바와 같이 온도 센서, 히터 및 쿨러와 제어부를 연결하는 전극일 수 있다. 전극 패턴(E)은 양호한 전도성(electrical conductivity)을 가지는 금속층을 형성한 후, 포토 리소그래피(photo lithography)를 수행하여 목적하는 패턴으로 패터닝하여 형성될 수 있다. 일 예로, 플레이트(plate)는 유리, 폴리카보네이트 등의 합성 수지, 인쇄회로기판 중 어느 하나일 수 있다. 전극 패턴(E)은 금(gold), 티타늄(titanium)중 어느 하나로 형성할 수 있다.
- [0039] 도 8을 참조하면, 전극(E) 패턴이 형성된 플레이트(plate)상에 절연층(I)을 형성한다. 일 실시예로, 절연층을 형성하는 단계는 실리콘 산화막, 실리콘 질화막 및 절연성 폴리머층 중 어느 하나를 형성하여 수행될 수 있다. 일 실시예로, 실리콘 산화막, 실리콘 질화막은 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition) 등의 화학적 기상 증착법(CVD, chemical vapor deposition)과 스퍼터(sputtering), 증착(evaporation) 등의 물리적 기상 증착법(PVD, physical vapor deposition) 중 어느 하나로 형성될 수 있다. 절연성 폴리머층은 스핀코팅(spin coating) 등의 방법으로 형성될 수 있다.
- [0040] 도 9를 참조하면, 절연층(I) 상부에 복수의 필라(pillar, P)들을 형성한다. 일 실시예로, 필라(P)는 패터닝되어 경화된 포토 레지스트(PR)일 수 있으며, 포토 레지스트(PR)층을 형성하고, 목적하는 패턴을 가지도록 포토 리소그래피를 수행하여 형성될 수 있다.
- [0041] 다른 실시예로, 필라(P)는 상술한 바와 같이 구리, 티타늄, 은 등의 열 전달율이 높은 물질일 수 있다. 일 예로, 필라(P)를 형성하는 과정은 아래와 같이 도금법(plate)으로 수행될 수 있다. 절연층(I) 상부에 도전성 금속층인 시드층(seed layer)를 형성하고, 시드층 상에 필라(P)가 형성될 부분을 개방하는 몰드 패턴을 형성한다. 일 예로, 몰드 패턴은 포토 리소그래피 공정에 의하여 패터닝된 포토 레지스트일 수 있다. 이어서 전기 도금을 수행하여 필라(P)를 성장시킬 수 있다. 필라(P)의 높이는 전기 도금을 수행하는 시간을 제어하여 제어될 수 있다.
- [0042] 도 10을 참조하면, 친수성 물질 층(H)을 형성한다. 일 실시예로, 친수성 물질층(H)을 형성하는 과정은 필라(P)가 형성된 상부에 친수성 물질을 형성하여 수행될 수 있다. 일 실시예로, 친수성 물질층(H)을 형성하는 과정은 폴리아크릴릭 산(polyacrylic acid), 아크릴아미드(acrylamide)중 어느 하나의 단량체를 도포하여 수행될 수 있다.
- [0043] 다른 실시예로, 친수성 물질층(H)을 형성하는 과정은 금속 필라(P) 및 시드층(미도시)을 산화시켜 수행될 수 있다. 일 예로, 필라(P) 및 시드층(미도시)를 구리로 형성하는 경우에는 구리를 산화시켜 산화구리층의 친수성 물질층(H)을 형성할 수 있다. 구리를 산화시키는 과정은 필라(P)가 형성된 결과물을 알칼리 용액(3.75 % NaClO_2 , 5 % NaOH , and 10 % $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)에 침지시켜 수행될 수 있으며, 그 결과로 산화 구리 나노와이어 층이 형성된다.
- [0044] 도 11을 참조하면, 스페이서(S)를 형성한다. 스페이서(S)는 추후 공정에서 채널(C, 도 12 참조)을 형성하기 위하여 플레이트(plate)를 이격시킨다. 일 예로, 스페이서(S)는 인젝션 몰딩, 캐스팅으로 형성되어 친수성 물질층

(H)이 형성된 상태의 결과물에 부가될 수 있다. 다른 예로, 스페이서(S)는 잉크젯 프린팅, 3D 프린팅 등의 방법을 통해 친수성 물질층(H)이 형성된 상태의 결과물에 형성될 수 있다.

[0045] 도 12를 참조하면, 스페이서(S)가 형성된 결과물과 친수성 물질층(H)이 형성된 상태의 결과물을 부착한다. 스페이서(S)에 의하여 두 플레이트(plate)에 형성된 구조물들 사이는 이격되어 채널(C)을 형성한다. 채널(C)을 통하여 파티클(NP, 도 3 참조)을 포함하는 공기 및/또는 액적(droplet, 도 3 참조)을 포함하는 공기가 컨디셔너(200, 도 1 참조) 및 응축기(300)을 흐를 수 있다.

[0046] 일 실시예로, 플레이트(plate)를 관통하는 비아를 형성하여 전극(E)과 히터(350, 도 4 참조), 전극(E)과 쿨러(250, 도 4 참조), 전극과 온도 센서(360, 도 4 참조)를 전기적으로 연결할 수 있다.

[0047] **평가**

[0048] 구현된 입자 계수기는 동작 액체(110)로 증류수를 사용하였으며, 컨디셔너(200)와 응축기(300)는 동일한 형상(너비 8mm, 높이 3mm)의 직사각형 단면으로 형성하였고, 길이를 각각 30mm와 20mm로 형성하였다. 컨디셔너(200)와 응축기(300) 내의 친수성 워은 도 13로 도시된 것과 같이 40um의 직경을 가지고, 서로 인접한 워 사이는 80um로 이격되도록 형성하였다. 워은 구리 필라(copper pillar)에 친수성을 가지는 산화 구리 나노 와이어(copper oxide nano-wire)를 코팅하여 형성하였다.

[0049] 도 14는 유입된 입자(NP)의 크기와 응축기(300)에서 형성된 액적(droplet)의 평균 직경 사이의 관계를 도시한 도면이다. 도 14를 참조하면, 최소 4nm의 입자(NP)가 유입되었을 때 1um의 액적(droplet)으로 성장하며, 유입된 입자의 크기가 증가하여 20nm 크기의 입자(NP)가 유입되었을 때에는 성장된 액적(droplet)의 직경이 2um 까지 증가하는 것을 확인할 수 있다. 유입된 입자의 크기가 20nm 이상인 경우에는 형성된 액적(droplet)의 직경은 2um에서 포화된다.

[0050] 도 15는 염화나트륨(NaCl) 입자와 은(silver, Ag) 입자로 유입된 입자(NP)의 크기와 계수 확률(counting probability) 사이의 관계를 도시한 도면이다. 도 15를 참조하면, 16nm 직경의 은 입자가 유입되었을 때 이를 입자 계수기가 계수할 확률은 대략 50%에 인접하며, 42 nm의 은 입자가 유입되었을 때, 계수할 확률은 대략 100%에 인접하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 직경 9.6nm의 염화나트륨 입자가 유입되었을 때 입자 계수기가 계수할 확률은 50%에 인접하며, 직경 22nm의 염화나트륨 입자가 유입되었을 때 입자 계수기가 계수할 확률은 100%에 인접하는 것을 확인할 수 있다.

[0051] 도 16은 본 실시예에 의한 입자 계수기의 구현예를 촬영한 도면이다. 종래의 휴대용 상용 응축 입자 계수기인 HANDHELD CONDENSATION PARTICLE COUNTER (CPC) ?? MODEL 3800의 크기인 120mm * 280mm * 130mm의 크기로 그 부피는 4,368,000mm³에 이르며, 1,500g의 무게를 가진다. 그러나, 도 13로 예시된 본 실시예에 의한 입자 계수기는 70mm * 90mm * 130mm의 크기를 가져 819,000mm³의 부피를 가지고, 무게는 420g에 불과하다. 즉, 종래의 휴대용 입자 계수기 부피의 18%에 불과하며, 무게는 28%에 불과한 것을 알 수 있다.

[0052] 본 발명에 대한 이해를 돕기 위하여 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나, 이는 실시를 위한 실시예로, 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위에 의해 정해져야 할 것이다.

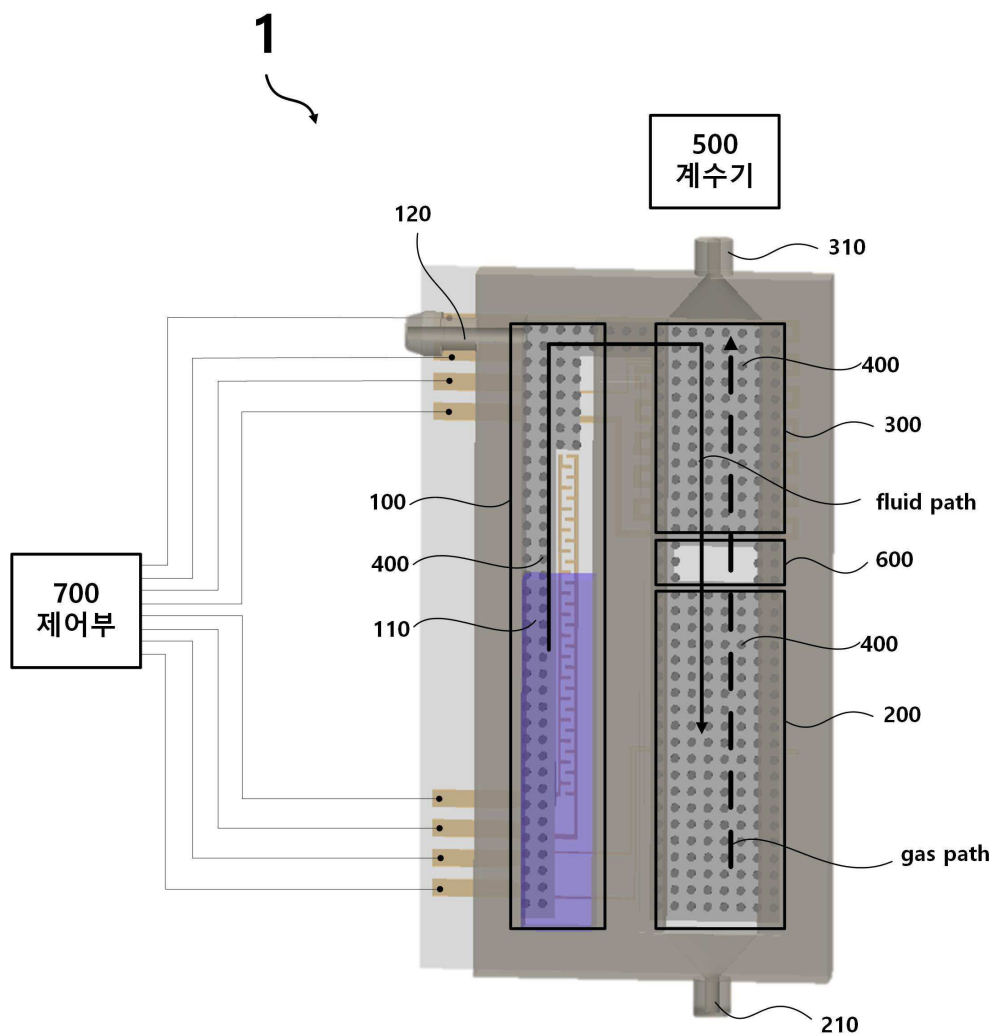
부호의 설명

[0053] 1: 입자 계수기 100: 저장조
110: 동작 액체 120: 동작 액체 유입구
130: 수위 센서 200: 컨디셔너
210: 기체 유입구 250: 쿨러
300: 응축기 310: 노즐
350: 히터 360: 온도 센서
400: 워 500: 계수기

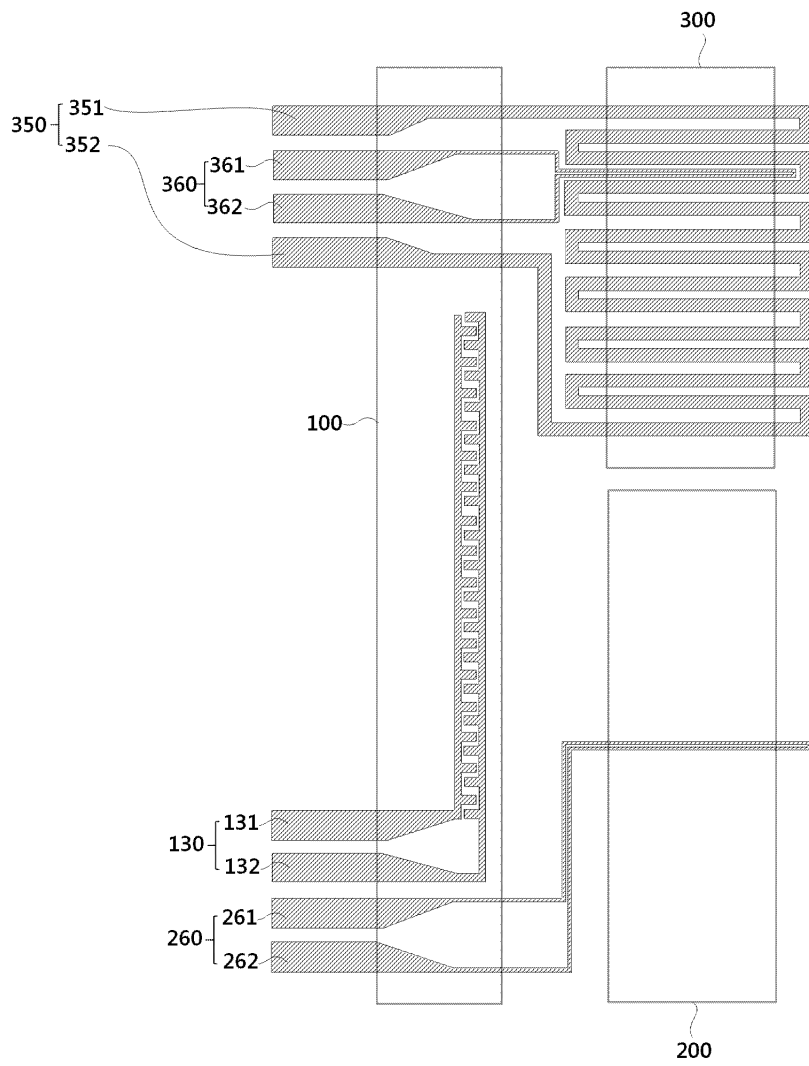
510: 광원 520: 렌즈
 522: 광 트랩 530: 반사경
 540: 수광 소자 550: 계수부
 plate: 플레이트 E: 전극
 I: 절연층 P: 필라
 H: 친수성 물질 S: 스페이서
 C: 채널

도면

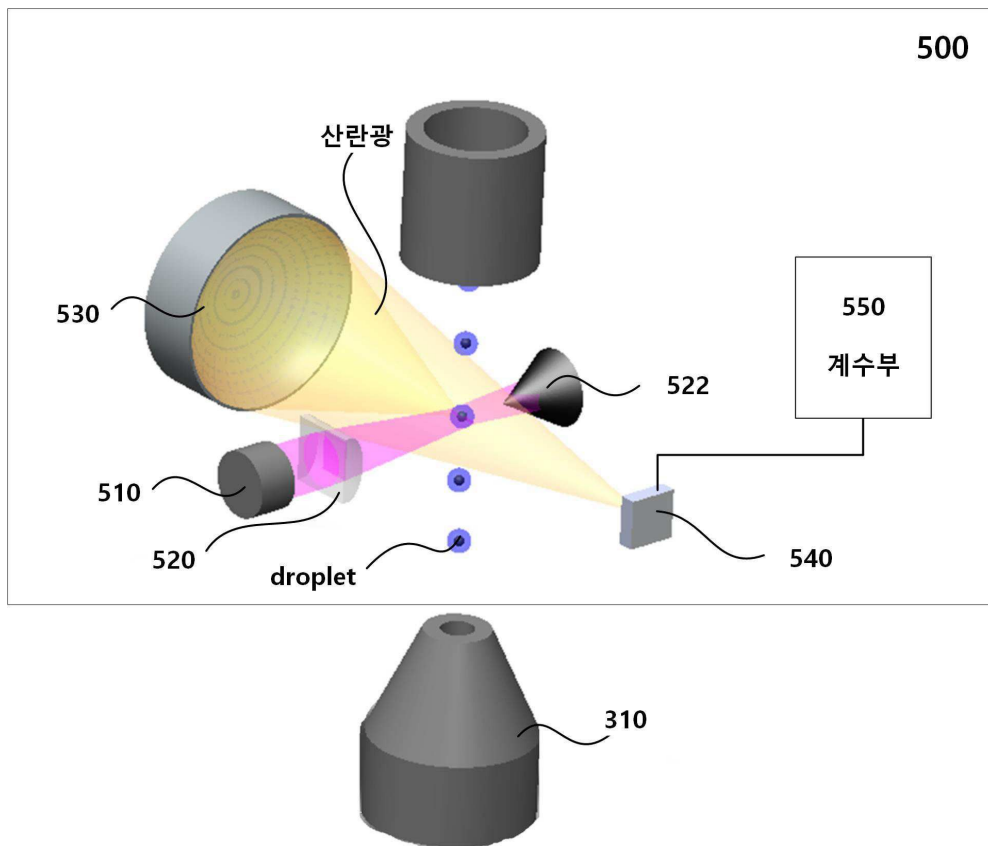
도면1



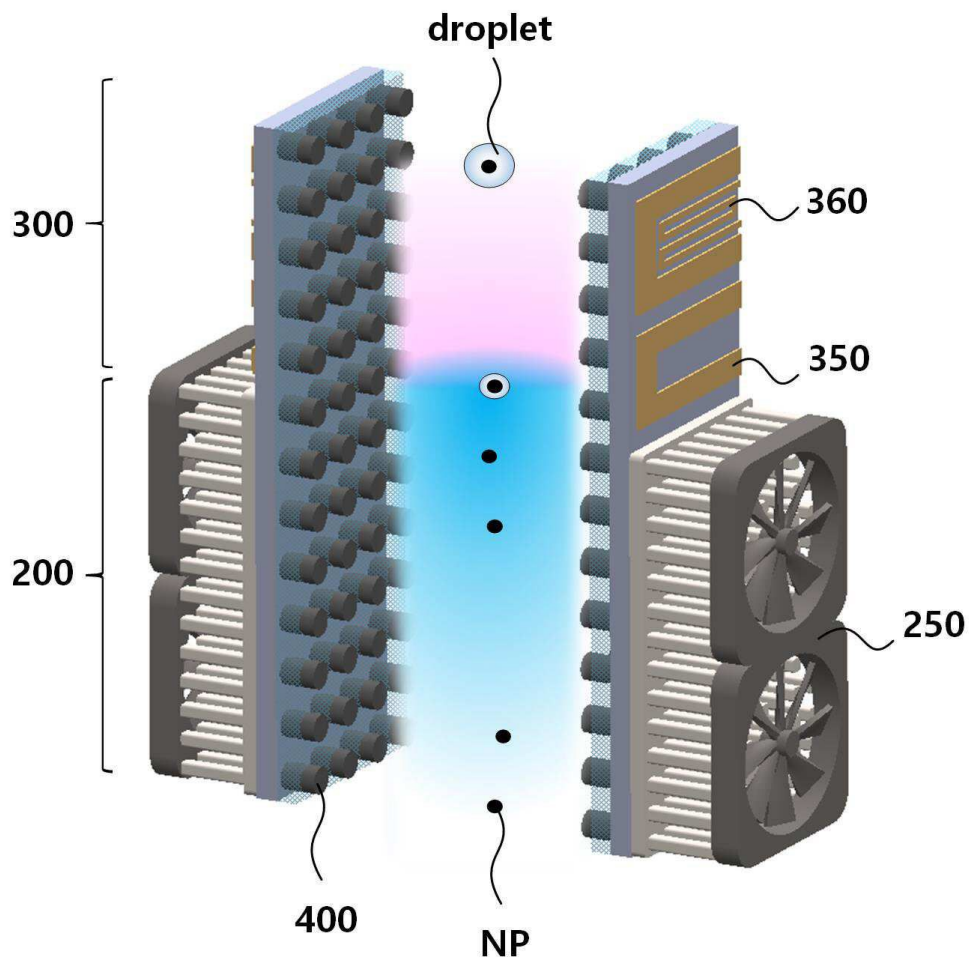
도면2



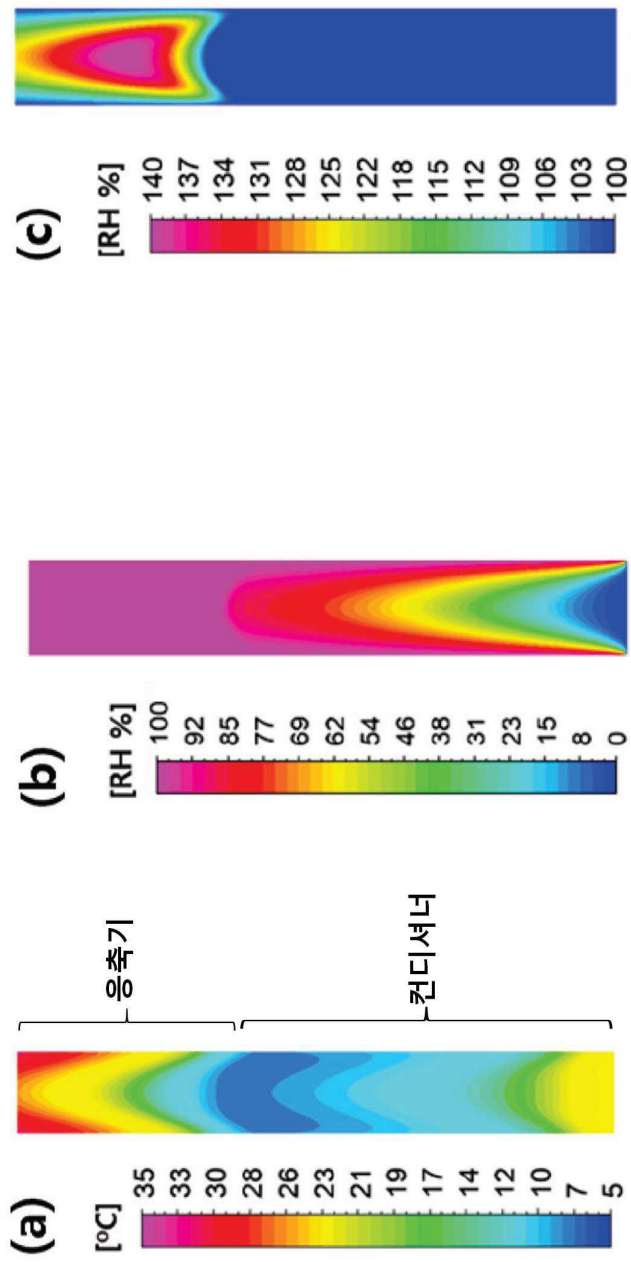
도면3



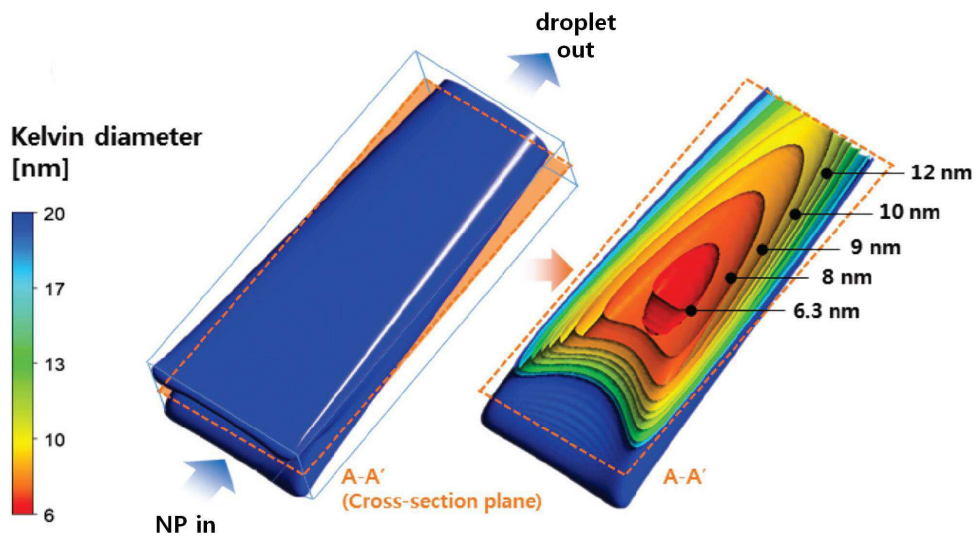
도면4



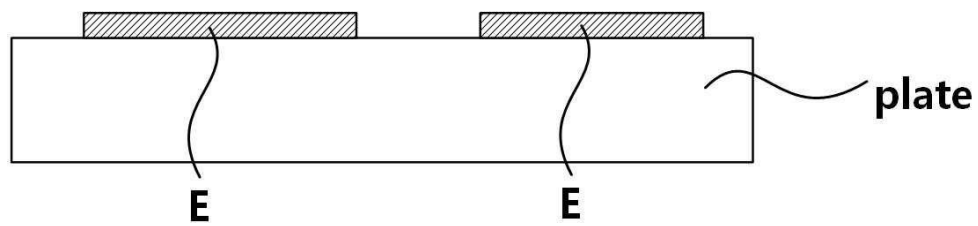
도면5



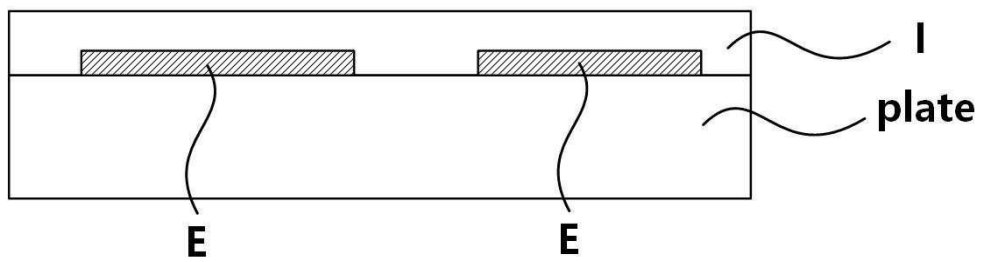
도면6



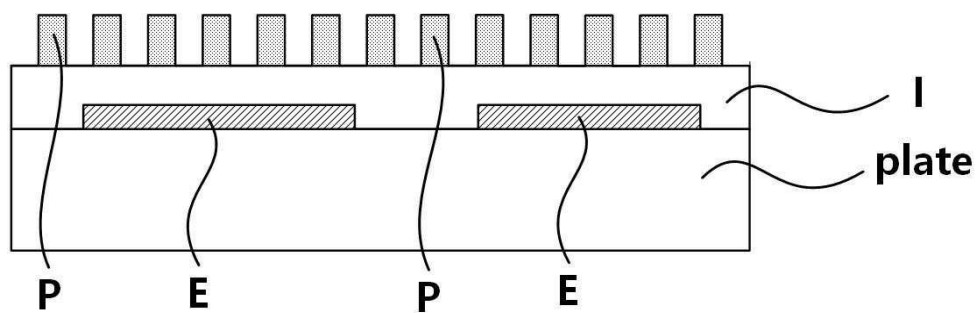
도면7



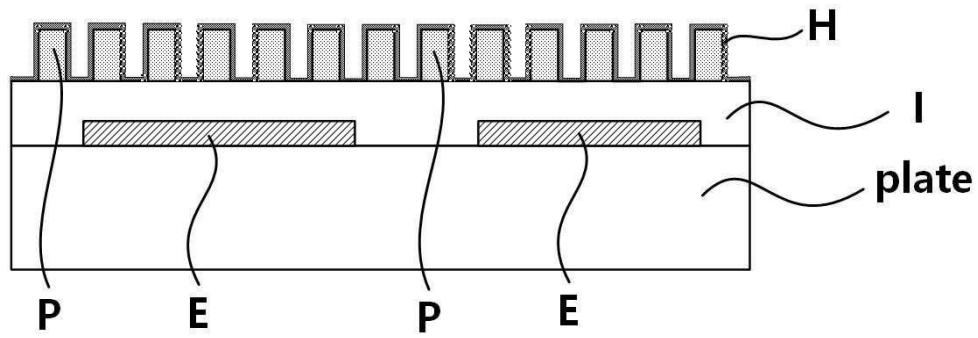
도면8



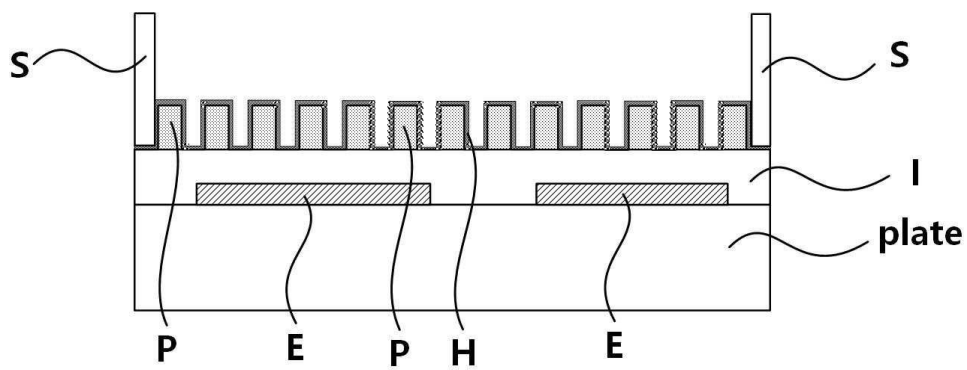
도면9



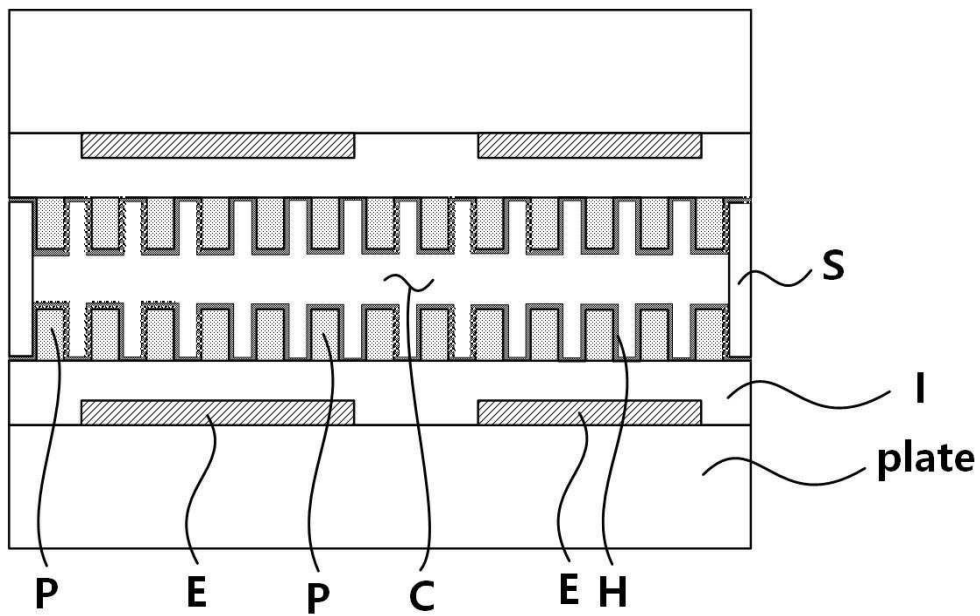
도면10



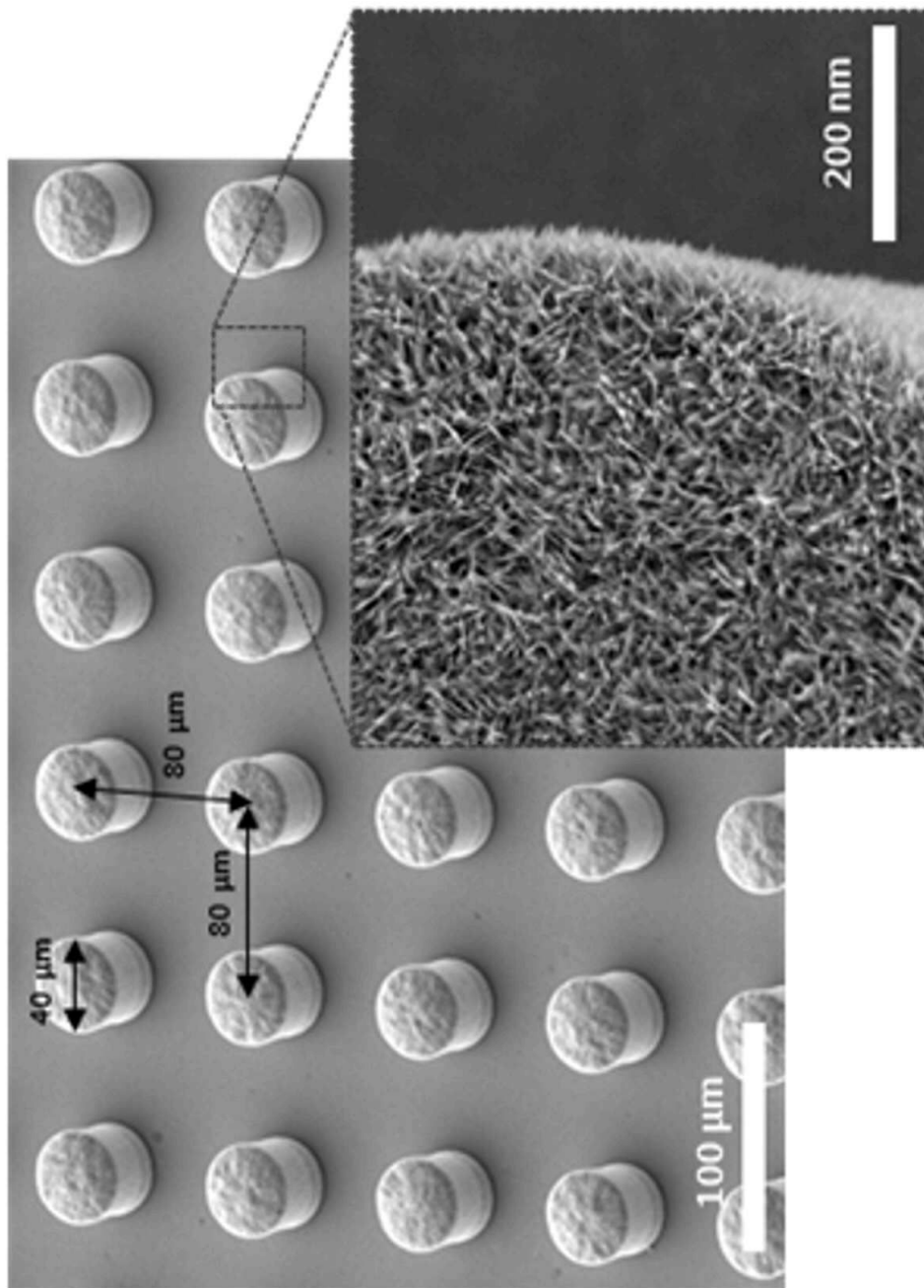
도면11



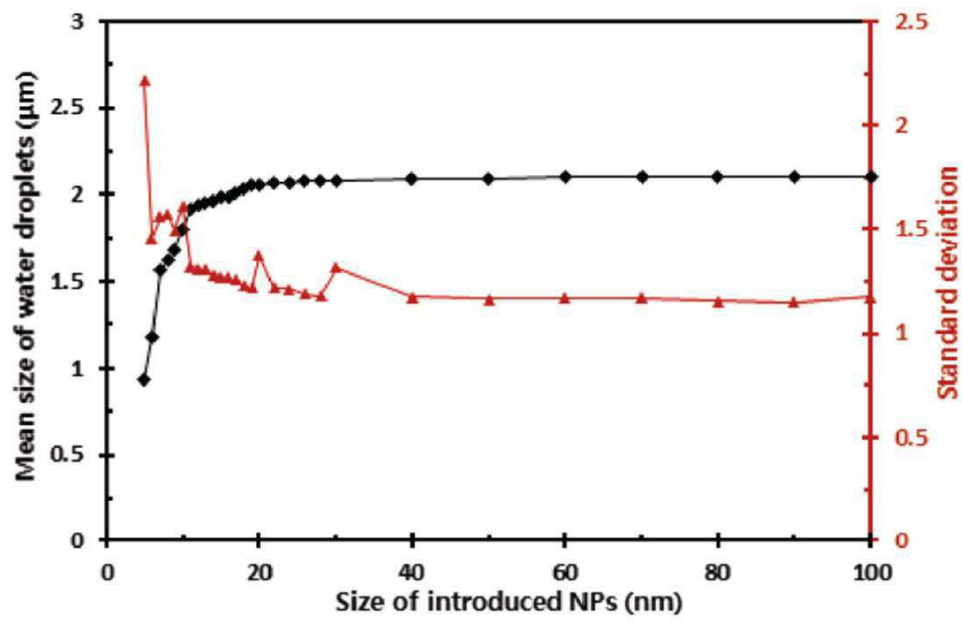
도면12



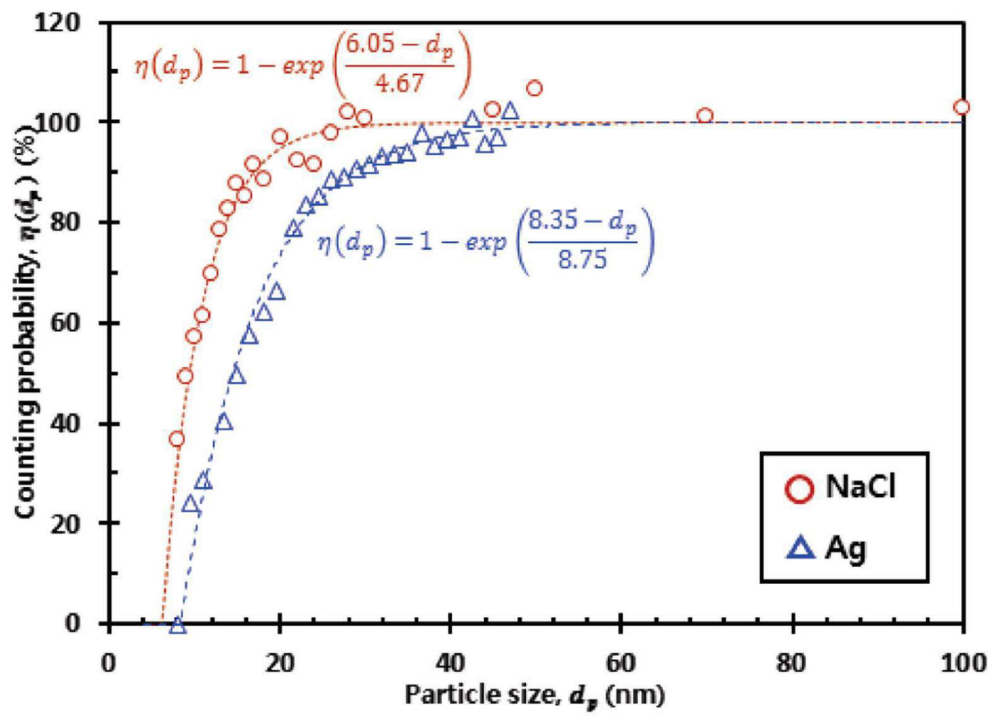
도면13



도면14



도면15



도면16

