



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0097064
(43) 공개일자 2021년08월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 15/06 (2006.01) G01N 15/02 (2006.01)
G01N 15/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 15/0656 (2013.01)
G01N 15/0266 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0038423(분할)
(22) 출원일자 2021년03월25일
심사청구일자 2021년03월25일
(62) 원출원 특허 10-2020-0010566
원출원일자 2020년01월29일
심사청구일자 2020년01월29일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
김용준
서울특별시 용산구 이촌로65길 8, 207동 1707호(이촌동, 한가람아파트)
유성재
서울특별시 마포구 마포대로20길 26, 105동 1204호(공덕동, 삼성래미안공덕2차아파트)
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

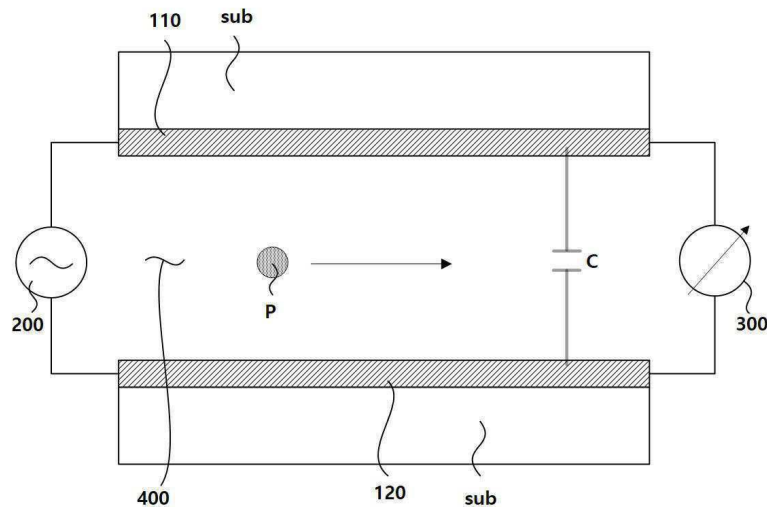
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 전기식 계수기 및 전기식 계수기를 이용하는 입자 계수기

(57) 요약

본 실시예에 의한 전기식 입자 계수기는 전기적으로 이격된 제1 전극 및 제2 전극과, 제1 전극 및 제2 전극에 교류 전력을 제공하는 교류 전원과, 타겟 입자가 유동하는 채널과, 타겟 입자가 채널을 따라 유동함에 따라 발생하는 제1 전극과 제2 전극 사이의 전기적 특성 변화를 검출하는 검출기를 포함하며, 검출기는 전기적 특성 변화로부터 타겟 입자를 계수(count)한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 15/1031 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

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

상기 액적을 계수하는 전기식 계수기를 포함하는 입자 계수기.

청구항 2

제1항에 있어서,

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

청구항 3

제1항에 있어서,

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

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 응축기와 상기 컨디셔너는 열적 배리어를 두고 서로 연결되며,

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

청구항 5

제1항에 있어서,

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

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 응축기의 외면에는 히터(heater)가 위치하고,

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

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 전기식 계수기는,

상기 액적이 유동하면서 발생하는 커패시턴스의 변화로부터 상기 액적을 계수하는 입자 계수기.

청구항 8

제1항에 있어서,
상기 전기식 계수기는,
상기 액적이 유동하면서 발생하는 인덕턴스의 변화로부터 상기 액적을 계수하는 입자 계수기.

청구항 9

제1항에 있어서,
상기 전기식 계수기는,
상기 액적이 상기 전기식 계수기와 접촉하면서 발생하는 저항의 변화로부터 상기 액적을 계수하는 입자 계수기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 기술은 전기식 계수기를 이용하는 입자 계수기와 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. 공기 중에 부유하며, 농도가 지속적으로 변화하는 다양한 환경에서 나노 입자를 정확하게 모니터링하기 위해 모니터링 네트워크를 구축해가고 있는 실정이다.

[0003] 종래 기술에 의한 입자 계수기는 입자를 계수하기 위하여 대상물에 광을 조사하여 형성된 산란광을 검출하여 입자를 계수한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 종래 기술에 의한 입자 계수기는 입자를 계수하기 위하여 대상물에 광을 조사하여 형성된 산란광을 검출하여 입자를 계수한다. 이를 위하여 광을 조사하는 광원, 조사광의 초점을 형성하는 정밀 렌즈 및 산란광을 검출하는 수광 소자 등의 복잡하고 고가의 광학 계통을 포함한다. 상술한 광학 계통은 고가이므로 입자 계수기의 제조 비용이 상승한다.

[0005] 본 실시예로 해결하고자 하는 과제 중 하나는 상기한 종래 기술의 단점을 해소하기 위한 것으로, 보다 낮은 제조 비용을 가지는 입자 계수기를 형성하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 실시예에 의한 전기식 입자 계수기는 전기적으로 이격된 제1 전극 및 제2 전극과, 제1 전극 및 제2 전극에 교류 전력을 제공하는 교류 전원과, 타겟 입자가 유동하는 채널과, 타겟 입자가 채널을 따라 유동함에 따라 발생하는 제1 전극과 제2 전극 사이의 전기적 특성 변화를 검출하는 검출기를 포함하며, 검출기는 전기적 특성 변화로부터 타겟 입자를 계수(count)한다.

[0007] 본 실시예에 의한 전기식 입자 계수기는 타겟 입자가 유동하는 채널과, 채널을 따라 형성되어 채널에 자기장을 형성하는 코일과, 코일에 구동 전력을 제공하는 교류 전원 및 타겟 입자가 자기장에 의하여 형성하는 전기적 특성 변화를 검출하는 검출기를 포함하며, 검출기는 전기적 특성 변화로부터 타겟 입자를 계수(count)한다.

[0008] 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, 컨디셔너 및 컨디셔너의

벽면에 형성되어 저장조에 저장된 동작 액체를 전달하는 복수의 친수성 Wick(hydrophilic wick)들 및 액적을 계수하는 전기식 계수기를 포함한다.

발명의 효과

[0009] 본 실시예에 의한 전기식 입자 계수기는 그 제조 비용이 저렴하여 종래의 광학식 입자 계수기에 비하여 높은 경제성을 가진다. 따라서, 전기식 입자 계수기에 의하면, 전기식 입자 계수기 및 이를 포함하는 입자 계수기의 제조 비용을 절감할 수 있다는 장점이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1 및 도 2는 전기식 계수기의 실시예들을 개요적으로 나타난 단면도들이다.

도 3(a)는 또 다른 실시예에 의한 전기식 입자 계수기의 실시예를 도시한 도면이고, 도 3(b) 제1 전극과 제2 전극이 형성된 기관의 개요를 도시한 도면이다.

도 4는 본 실시예에 의한 전기식 입자 계수기의 실시예를 개요적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 5(a) 내지 도 5(b)는 일 실시예에 의한 입자 계수기의 실시예를 설명하기 위한 도면이다. 도 5(c)는 타겟 입자에는 와전류가 형성되는 것을 예시한 도면이다.

도 6은 본 실시예에 의한 입자 계수기의 개요를 도시한 도면이다.

도 7은 본 실시예에 의한 응축 입자 계수기의 단면을 개요적으로 도시한 도면이다.

도 8은 수위 센서, 히터, 컨디셔너에 위치하는 온도 센서 및 응축기에 위치하는 온도 센서의 개요를 도시한 도면이다.

도 9는 본 실시예에 의한 입자 계수기의 동작을 개요적으로 도시한 도면이다.

도 10(a)는 응축기와 컨디셔너의 온도 분포를 나타낸 도면이고, 도 10(b)는 컨디셔너의 상대 습도 분포를 나타낸 도면이며, 도 10(c)는 응축기(300)의 상대 습도 분포를 나타낸 도면이다.

도 11은 응축기 내부의 캐빈 직경 분포를 도시한 도면이다.

도 12는 친수성 Wick의 일 구현예에 대한 현미경 사진이다.

도 13은 커패시턴스의 변화를 검출하여 입자를 계수한 실시예의 계수 결과를 나타내는 도면이다.

도 14는 인덕턴스의 변화를 검출하여 입자를 계수한 실시예의 계수 결과를 나타내는 도면이다.

도 15은 유입된 입자의 크기와 응축기에서 형성된 액적의 평균 직경 사이의 관계를 도시한 도면이다.

도 16은 염화나트륨 입자와 은 입자로 유입된 입자의 크기와 계수 확률(counting probability) 사이의 관계를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 실시예에 의한 전기식 계수기의 실시예를 설명한다. 도 1 및 도 2는 전기식 계수기의 실시예들을 개요적으로 나타난 단면도들이다. 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 실시예에 의한 전기식 계수기(500)는 제1 전극(5110) 및 제2 전극(5120)과, 제1 전극(5110) 및 제2 전극(5120)에 교류 전력을 제공하는 교류 전원(5200) 타겟 입자(P)가 유동하는 채널(5400) 타겟 입자(P)가 채널(5400)를 따라 유동함에 따라 발생하는 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120) 사이의 전기적 특성 변화를 검출하는 검출기(5300)를 포함하며, 검출기(5300)는 전기적 특성 변화로부터 상기 타겟 입자를 계수(count)한다. 도시되지 않은 실시예에서, 전기식 계수기(500)는 제1 전극(5110) 및 제2 전극(5120)을 덮는 절연층을 더 포함할 수 있다.

[0012] 채널(5400)에는 유입된 타겟 입자(P)가 유동할 수 있다. 일 실시예로, 채널(5400)은 사각형 등의 다각형 단면을 가지거나, 원형 단면을 가지며, 타겟 입자(P)가 일 단부를 통해 유입되고, 타 단부를 통해 유출될 수 있다.

[0013] 기관(sub)에는 제1 전극(5110) 및 제2 전극(5120)이 형성될 수 있다. 기관(sub)은 유리, 폴리카보네이트 등의 합성 수지로 형성될 수 있다. 제1 전극(5110) 및 제2 전극(5120)은 양호한 도전성을 가지는 금속으로 형성될 수 있으며, 일 예로, 금(gold) 및 티타늄(titanium) 중 어느 하나일 수 있다. 제1 전극(5110) 및 제2 전극은 기관

(sub)에 증착된 후, 목적하는 형태 및 목적하는 면적을 가지도록 패턴될 수 있다.

[0014] 제1 전극(5110) 및 제2 전극(5120) 사이에는 도 1 및 도 2로 예시된 것과 같이 커패시턴스(capacitance, C)가 형성될 수 있다. 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120) 사이에 형성된 커패시턴스 값은 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)의 면적과 채널(5400) 내 물질의 유전율에 비례하고, 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120) 사이의 거리에 반 비례하도록 형성될 수 있다,

[0015] 교류 전원(5200)은 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)에 교류 전류 및/또는 전압을 제공한다. 검출기(5300)는 타겟 입자(P)가 채널(5400)을 따라 유동함에 따라 발생하는 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120) 사이의 전기적 특성 변화를 검출한다. 일 실시예로, 도 1로 예시된 것과 같이 교류 전원(5200)은 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)에 교류 전류를 제공하고, 검출기(5300)는 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120) 사이에 형성된 전압을 검출하도록 연결되고, 타겟 입자(P)가 채널(5400)을 따라 이동함에 따라 변화하는 커패시턴스에 의한 전압의 변동을 검출한다.

[0016] 다른 실시예로, 교류 전원(5200)은 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)에 교류 전압을 제공하고, 검출기(5300)는 교류 전원(5200)과 직렬로 연결되어 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)을 흐르는 전류를 검출하도록 연결된다. 검출기(5300)는 타겟 입자(P)가 채널(5400)을 따라 이동함에 따라 변화하는 커패시턴스(C)에 의한 전류의 변동을 검출한다.

[0017] 이하에서는 상기한 구성을 가지는 입자 계수기의 동작을 살펴본다.

[0018] 도 1 및 도 2를 참조하면, 타겟 입자(P)가 채널(5400) 내의 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)을 유동함에 따라 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)으로 이루어지는 커패시터의 커패시턴스(C)가 변화한다. 즉, 커패시터의 두 전극(5110, 120) 사이의 유전 물질(dielectric)인 공기에 타겟 입자(P)가 혼입되어 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120) 사이의 유전율이 변화한다. 유전율의 변화는 아래의 수학식 1과 같이 표시될 수 있다.

수학식 1

$$C_m = \frac{A}{d} \times \frac{(\epsilon_d - \epsilon_a)N \times V_d + \epsilon_a \times V_m}{V_m}$$

[0019]

[0020] (C_m: 측정 정전용량, ε_d: 입자 유전율, ε_a: 공기 유전율(1.0), N: 입자 수, V_d: 입자 체적, V_m: 측정 체적, d: 제1 전극과 제2 전극 사이의 이격 거리, A: 제1 전극과 제2 전극의 면적)

[0021] 일 실시예로, 교류 전원(5200)은 커패시터를 이루는 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)에 교류 전류를 제공한다. 타겟 입자(P)가 채널(5400)을 유동함에 따라 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120) 사이의 유전 물질의 유전율이 변화한다. 유전율 변화에 기인하여 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120) 사이에 형성되는 커패시턴스의 변화가 발생하며, 커패시턴스의 변화에 의하여 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120) 사이에 형성되는 전압의 변화가 발생한다. 전압의 변화는 아래의 수학식 2와 같이 표시될 수 있다.

수학식 2

$$\Delta V = \frac{1}{\Delta C} \int_0^t i d\tau$$

[0022]

[0023] (커패시터의 초기 전압은 0, ΔC: 타겟 입자가 유동함에 따른 커패시턴스의 차이, ΔV: 타겟 입자가 유동함에 따른 검출 전압의 차이)

[0024] 따라서, 검출기(5300)는 채널(5400)에 타겟 입자(P)가 유동할 때와 그러하지 않을 때의 전압 차이를 검출하여

공기 내 타겟 입자(P)의 수, 농도를 검출할 수 있다.

[0025] 다른 실시예로, 교류 전원(5200)은 커패시터를 이루는 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)에 교류 전압을 제공하는다. 타겟 입자(P)가 채널(5400)을 유동함에 따라 발생하는 커패시턴스의 변화에 의하여 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120) 사이에 형성되는 전류의 변화가 발생한다. 전류의 변화는 아래의 수학적 식 3과 같이 표시될 수 있다.

수학적 식 3

$$\Delta i = \Delta C \frac{dV}{dt}$$

[0026]

[0027] (V: 교류 전원이 제공하는 전압, ΔC: 타겟 입자가 유동함에 따른 커패시턴스의 차이, Δi: 타겟 입자가 유동함에 따른 검출 전류의 차이)

[0028] 따라서, 검출기(5300)는 채널(5400)에 타겟 입자(P)가 유동할 때와 그러하지 않을 때의 전류 차이를 검출하여 공기 내 타겟 입자(P)의 수, 농도를 검출할 수 있다.

[0029] 도 3(a)는 또 다른 실시예에 의한 전기식 입자 계수기(500)의 실시예를 도시한 도면이고, 도 3(b) 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)이 형성된 기관(sub)의 개요를 도시한 도면이다. 도 3(a) 및 도 3(b)를 참조하면, 타겟 입자(P)가 유동하는 채널(5400)은 타겟 입자(P)가 유입되는 유입구(I)와, 타겟 입자(P)가 유출되는 유출구(O)를 포함할 수 있으며, 제1 전극(5110) 및 제2 전극(5120)은 유입구(I)와 유출구(O) 사이에 위치할 수 있다.

[0030] 제1 전극(5110) 및 제2 전극(5120)은 서로 전기적으로 접촉하지 않고 각지끼워진(interdigitated) 형태의 전극일 수 있다. 제1 전극(5110) 및 제2 전극(5120)은 기관(sub) 상에 위치할 수 있다. 도시되지 않은 실시예에서, 제1 전극(5110) 및 제2 전극(5120)의 표면에는 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)을 절연하는 절연층이 형성될 수 있다.

[0031] 상술한 실시예와 같이 교류 전원(5200)은 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)에 교류 전압을 제공하고, 검출기(5300)는 타겟 입자(P)가 채널(5400)을 따라 이동함에 따라 변화하는 커패시턴스(C)에 의한 전류의 변동을 검출한다. 또 다른 실시예와 같이 교류 전원(5200)은 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)에 교류 전류를 제공하고, 검출기(5300)는 타겟 입자(P)가 채널(5400)을 따라 이동함에 따라 변화하는 커패시턴스(C)에 의한 전압의 변동을 검출한다.

[0032] 또한, 유입구(I)를 통하여 제공된 타겟 입자(P)들은 제1 전극(5110) 및/또는 제2 전극(5120)에 충돌할 수 있다. 입자들이 제1 전극(5110) 및/또는 제2 전극(5120)에 충돌함으로써 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120) 사이의 전기 저항이 변화할 수 있다. 따라서, 전원(5200)은 제1 전극(5110)과 제2 전극(5120)에 전압 및 전류 중 어느 하나를 제공하고, 검출기(5300)는 타겟 입자(P)들이 제1 전극(5110) 및/또는 제2 전극(5120)에 충돌하여 형성하는 전기 저항의 변화에 의하여 발생하는 전류 및 전압의 변동을 검출할 수 있다.

[0033] 도 4는 본 실시예에 의한 전기식 입자 계수기(500)의 실시예를 개요적으로 설명하기 위한 도면이다. 도 4를 참조하면, 본 실시예에 의한 전기식 입자 계수기(500)는, 타겟 입자(P)가 유동하는 채널(5400)을 포함하고, 채널(5400)을 따라 형성되며 상기 채널(5400)에 자기장(B1)을 형성하는 코일(5600, coil)을 포함한다. 전원(5200)은 코일(5600)에 구동 전력을 제공하고, 검출기(5300)는 자기장에 의하여 타겟 입자(P)가 형성하는 전기적 특성 변화를 검출한다. 검출기(5300)는 전기적 특성 변화로부터 상기 타겟 입자를 계수(count)한다. 코일(5600)에 의하여 인덕턴스(inductance, L)가 형성될 수 있다.

[0034] 도 4로 예시된 것과 같이 교류 전원(5200)은 코일(5600)에 자기장이 형성되도록 교류 전압을 제공할 수 있으며, 검출기(5300)는 교류 전원(5200)과 직렬로 연결되어 타겟 입자(P)가 자기장이 형성된 채널(5400)을 유동하면서 형성하는 전류 변화를 검출한다. 검출기(5300)는 전류 변화로부터 상기 타겟 입자를 계수(count)한다.

[0035] 도시되지 않은 실시예에서, 교류 전원(5200)은 코일에 자기장이 형성되도록 교류 전류를 제공할 수 있으며, 검출기(5300)는 교류 전원과 병렬로 연결되어 타겟 입자(P)가 자기장이 형성된 채널(5400)을 유동하면서 형성하는 전압 변화를 검출한다. 검출기(5300)는 전압 변화로부터 상기 타겟 입자를 계수(count)한다.

[0036] 도 5(a) 내지 도 5(b)는 일 실시예에 의한 입자 계수기의 실시예를 설명하기 위한 도면이다. 타겟 입자(P)가 유동할 수 있는 채널(5400)이 형성된다. 채널(5400)은 도시된 것과 같이 원형 단면을 가지는 튜브 형태일 수 있으며, 다른 실시예로, 사각형 등의 다각형 단면을 가질 수 있다. 교류 전원(5200, 도 1 및 도 2 참조)은 코일(coil, 5600)에 전류(i)를 제공하여 채널(5400)에 자기장(B1)을 형성한다.

[0037] 투자율이 진공의 투자율(permeability, $\mu=1$)에 비하여 작은 타겟 입자(P)가 채널(5400)에 유입될 때, 타겟 입자(P)에는 자기장(B1)에 의하여 도 17(c)로 예시된 것과 같이 와전류(eddy current)가 형성되며, 와전류에 의하여 자기장(B1)과 반대 방향의 자기장(B2)이 형성된다. 따라서, 코일(5600) 내부의 자속 밀도 및 인덕턴스가 감소한다. 일 예로,

[0038] 그러나, 투자율이 진공의 투자율에 비하여 충분히 큰 타겟 입자(P)가 채널(5400)에 유입되면 타겟 입자(P)에는 높은 투자율에 의한 자속 밀도증가의 증가 영향이 와전류의 영향에 비하여 크며, 도 17(b)로 예시된 것과 같이 코일(5600)에 제공된 전류에 의하여 형성된 자기장(B1)의 세기가 증가한 것과 같이 파악된다. 따라서, 이러한 특성을 이용하면, 채널로 유입되는 입자를 계수할 수 있다.

[0039] 일 실시예로, 교류 전원(5200)은 인덕터를 이루는 코일(5600)에 교류 전류를 제공한다. 타겟 입자(P)가 채널(5400)을 유동함에 따라 상술한 바와 같이 인덕턴스의 변화가 발생하며, 인덕턴스의 변화에 의하여 검출기(5300)의 두 전극 사이에 형성되는 전압의 변화는 아래의 수학적 식 4와 같이 표시될 수 있다.

수학적 식 4

$$\Delta V = \Delta L \frac{di}{dt}$$

[0040]

[0041] (i: 교류 전원이 제공하는 전류, ΔL : 타겟 입자가 유동함에 따른 인덕턴스의 차이, ΔV : 타겟 입자가 유동함에 따른 검출 전압의 차이)

[0042] 따라서, 검출기(5300)는 채널(5400)에 타겟 입자(P)가 유동할 때와 그러하지 않을 때의 전압 차이를 검출하여 공기 내 타겟 입자(P)의 수, 농도를 검출할 수 있다.

[0043] 다른 실시예로, 교류 전원(5200)은 인덕터를 이루는 코일(5600)에 교류 전압을 제공한다. 타겟 입자(P)가 채널(5400)을 유동함에 따라 발생하는 인덕턴스의 변화에 의하여 코일을 흐르는 전류의 변화는 아래의 수학적 식 3과 같이 표시될 수 있다.

수학적 식 5

$$\Delta i = \frac{1}{\Delta L} \int_0^t V d\tau$$

[0044]

[0045] (인덕터의 초기 전압은 0, V: 교류 전원이 제공하는 전압, ΔL : 타겟 입자가 유동함에 따른 인덕턴스의 차이)

[0046] 따라서, 검출기(5300)는 채널(5400)에 타겟 입자(P)가 유동할 때와 그러하지 않을 때의 전류 차이를 검출하여 공기 내 타겟 입자(P)의 수, 농도를 검출할 수 있다.

[0047] 이하에서는 상술한 전기식 계수기(500)를 이용하는 입자 계수기(1)의 실시예를 설명한다. 도 6은 본 실시예에 의한 입자 계수기의 개요를 도시한 도면이고, 도 7은 본 실시예에 의한 응축 입자 계수기의 단면을 개요적으로 도시한 도면이다. 도 6 및 도 7을 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 전기식 계수기(500)를 포함한다. 일 실시예로, 입자 계수기(1)

는 열적 배리어(610) 및 제어부(700)를 더 포함할 수 있다.

- [0048] 일 실시예로, 유리, 합성 수지 및 인쇄회로기판 중 어느 한 재질의 플레이트(plate) 상부에 도전 선로(E)가 형성될 수 있다. 일 실시예로, 도전 선로(E)는 응축기(300)에 위치하는 온도 센서(360), 컨디셔너(200)에 위치하는 온도 센서(260), 수위 센서(130) 및/또는 히터(350)에 포함된 도전 선로 중 어느 하나일 수 있다.
- [0049] 일 실시예로, 컨디셔너(200) 및 컨덴서(300)는 내부에 형성된 채널(C)을 통하여 액적(droplet, 도 9 참조)을 포함하는 기체 및/또는 파티클(NP, 도 9 참조)을 포함하는 기체가 움직일 수 있으며, 채널(C)은 전기식 계수기(500)의 채널(5400)에 연결될 수 있다. 채널(C)은 사각형 등의 다각형 단면, 원형 단면을 가질 수 있다. 일 예로, 파티클(NP)은 수 ~수십 나노 미터 직경을 가지는 나노 파티클일 수 있다.
- [0050] 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.
- [0051] 저장조(100)에는 내부에 저장된 동작 액체(110)의 수위를 검출하는 수위 센서(level sensor, 130)가 위치할 수 있다. 도 6으로 예시된 실시예에서, 수위 센서(130)는 동작 액체(110)의 수위에 따라 두 전극(131, 132, 도 8 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.
- [0052] 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 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.
- [0053] 저장조(100), 컨디셔너(200) 및 응축기(300)의 내부에는 복수의 친수성 워(hydrophilic wick, 400)들이 위치한다. 일 실시예로, 워(400)은 친수성 물질로 이루어진 구조물일 수 있다. 다른 예로, 워(400)은 필라(pillar, P)와 필라(P)를 코팅하는 친수성 물질(H)을 포함할 수 있다. 일 예로, 필라는 열 전달율이 높은 물질일 수 있으며, 구리, 티타늄, 은 중 어느 하나일 수 있다. 다른 예로, 필라는 패터닝된 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.
- [0054] 저장조(100)에 저장된 동작 액체(110)는 워(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 워(400)에 의하여 증발된다.
- [0055] 도 8은 수위 센서(130), 히터(350), 컨디셔너(200)에 위치하는 온도 센서(260) 및 응축기(300)에 위치하는 온도 센서(360)의 개요를 도시한 도면이다. 도 6 내지 도 8을 참조하면, 파티클(NP, 도 9 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 상대 습도를 조절(conditioning)한다. 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.
- [0056] 일 실시예로, 컨디셔너(200)에는 쿨러(cooler, 250, 도 9 참조) 및 온도 센서(260)가 위치할 수 있으며, 쿨러(250, 도 9 참조)는 컨디셔너(200)를 목적하는 온도로 유지하여 컨디셔너(200) 내부의 채널 내의 온도를 유지하며, 온도 센서(260)는 컨디셔너(200)의 온도를 검출한다.
- [0057] 일 실시예로, 온도 센서(260)는 컨디셔너(200)에 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.
- [0058] 컨디셔너(200)를 거쳐 목적하는 온도와 상대 습도로 유지된 기체가 응축기(300)로 유입된다. 일 실시예로, 응축기(300)에는 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.
- [0059] 일 실시예로, 응축기(300)에는 응축기(300)의 온도를 검출하는 온도 센서(360)가 더 위치할 수 있다. 온도 센서

(360)는 컨디셔너(200) 벽면에 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.

- [0060] 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.
- [0061] 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.
- [0062] 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.
- [0063] 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.
- [0064] 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.
- [0065] 도 9 및 도 10(a) 내지 도 10(b)를 참조하면, 컨디셔너(200)의 기체 유입구(210, 도 6 참조)측은 외부의 기체가 유입되어 내부 온도가 대략 23℃로 유지된다. 그러나, 유입된 기체가 컨디셔너(200) 내의 채널을 통과함에 따라 쿨러(250)의 냉각 작용에 의하여 내부 온도가 14℃ ~ 5℃로 유지되며, 응축기(300)와 컨디셔너(200)의 경계에서는 5℃로 유지된다. 또한, 동작 액체(110, 도 6 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.
- [0066] 도 10(c)에 도시된 것과 같이 응축기(300) 내부는 컨디셔너(200)와의 경계에서 100%의 상대 습도로 유지된다. 응축기(300)는 컨디셔너(200)에 비하여 높은 온도를 가지므로 응축기(300) 내부의 절대 습도는 컨디셔너(200)의 절대 습도에 비하여 높다.
- [0067] 응축기(300) 내부의 동작 액체(110, 도 6 참조) 증기의 확산 계수는 열의 확산 계수에 비하여 크다. 따라서, 응축기(300)의 노즐(310)측 단부와 인접한 영역에서 응축기(300) 중심으로의 동작 액체 증기의 확산은 열의 이동보다 빠르다. 응축기(300) 채널(C)에서의 증기압은 온도 평형이 이루어지기 이전에 평형을 유지하며, 이로부터 도 10(c)에 도시된 것과 같이 응축기(300) 중앙 부위에는 동작 액체(110, 도 6 참조) 증기의 과포화 상태가 형성된다.
- [0068] 도 11은 응축기(300) 내부의 켈빈 직경 분포를 도시한 도면이다. 켈빈 직경(Kelvin diameter)은 주어진 상대 습도에 대해 액적이 성장할 수 있는 최소 직경을 의미한다. 도 11에서 도시된 것과 같이 응축기(300)내 채널(C)에서는 동작 액체(110, 도 6 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 6 참조) 증기의 응축핵으로 작용하여 액적(droplet)이 형성된다.
- [0069] 형성된 액적(droplet)은 응축기(300)내 채널(C)을 통과함에 따라 직경이 증가하고, 노즐(310)을 통하여 계수기(500)로 토출된다. 전기식 계수기(500)는 위에서 설명된 것과 같이 토출된 액적(droplet)을 계수하여 공기 중의 입자의 농도를 파악하여 출력할 수 있다.
- [0070] **평가**
- [0071] 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 워튼은 도 12로 도시된 것과 같이 40 μ m의 직경을 가지고, 서로 인접한 워튼 사이는 80 μ m로 이격되도록 형성하였다. 워튼 구리 필라(copper pillar)에 친수성을 가지는 산화 구리 나노 와이어(copper oxide nano-wire)를 코팅하여 형성하였다.

[0072] 도 13은 커패시턴스의 변화를 검출하여 입자를 계수한 실시예의 계수 결과를 나타내는 도면이다. 본 실시예에서는 수 마이크로미터의 입자를 채널로 유입시켜 계수하였다. 본 실시예에 의한 입자 계수기는 도시된 것과 같이 높은 신호대 잡음비(SNR, signal to noise ratio)를 가지고 입자를 각각 계수할 수 있었다.

[0073] 도 14는 인덕턴스의 변화를 검출하여 입자를 계수한 실시예의 계수 결과를 나타내는 도면이다. 본 실시예에서는 직경 10 μ m 크기의 입자를 채널로 유입시켜 계수하였다. 도시된 것과 같이 본 실시예에 의한 입자 계수기는 유입된 입자를 하나씩 계수 할 수 있었다.

[0074] 도 15은 유입된 입자(NP)의 크기와 응축기(300)에서 형성된 액적(droplet)의 평균 직경 사이의 관계를 도시한 도면이다. 도 15를 참조하면, 최소 4nm의 입자(NP)가 유입되었을 때 1 μ m의 액적(droplet)으로 성장하며, 유입된 입자의 크기가 증가하여 20nm 크기의 입자(NP)가 유입되었을 때에는 성장된 액적(droplet)의 직경이 2 μ m 까지 증가하는 것을 확인할 수 있다. 유입된 입자의 크기가 20nm 이상인 경우에는 형성된 액적(droplet)의 직경은 2 μ m에서 포화된다.

[0075] 도 16은 염화나트륨(NaCl) 입자와 은(silver, Ag) 입자로 유입된 입자(NP)의 크기와 계수 확률(counting probability) 사이의 관계를 도시한 도면이다. 도 16을 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.

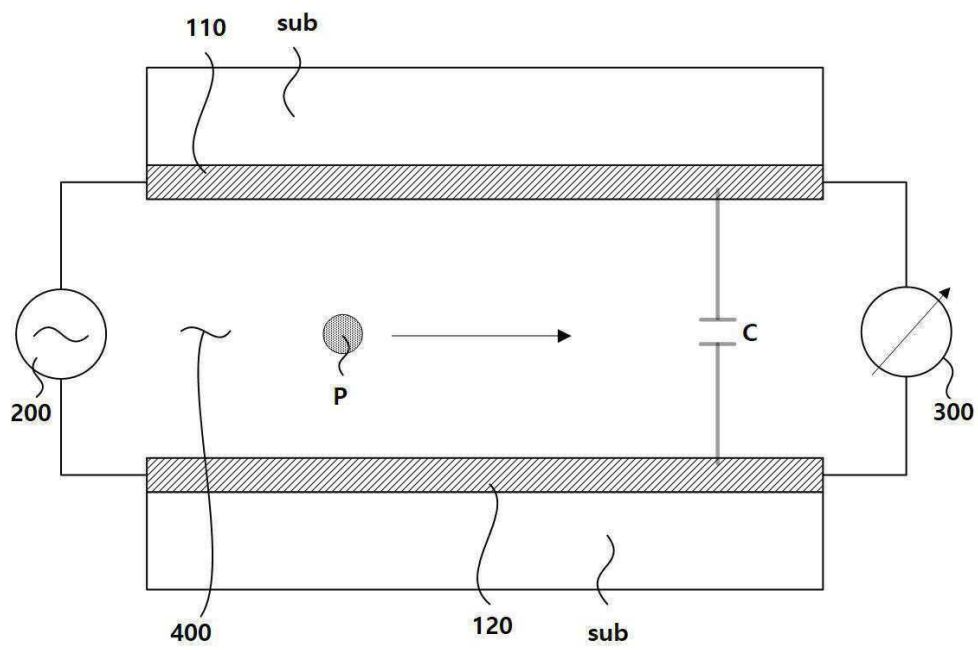
[0076] 본 발명에 대한 이해를 돕기 위하여 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나, 이는 실시를 위한 실시예로, 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

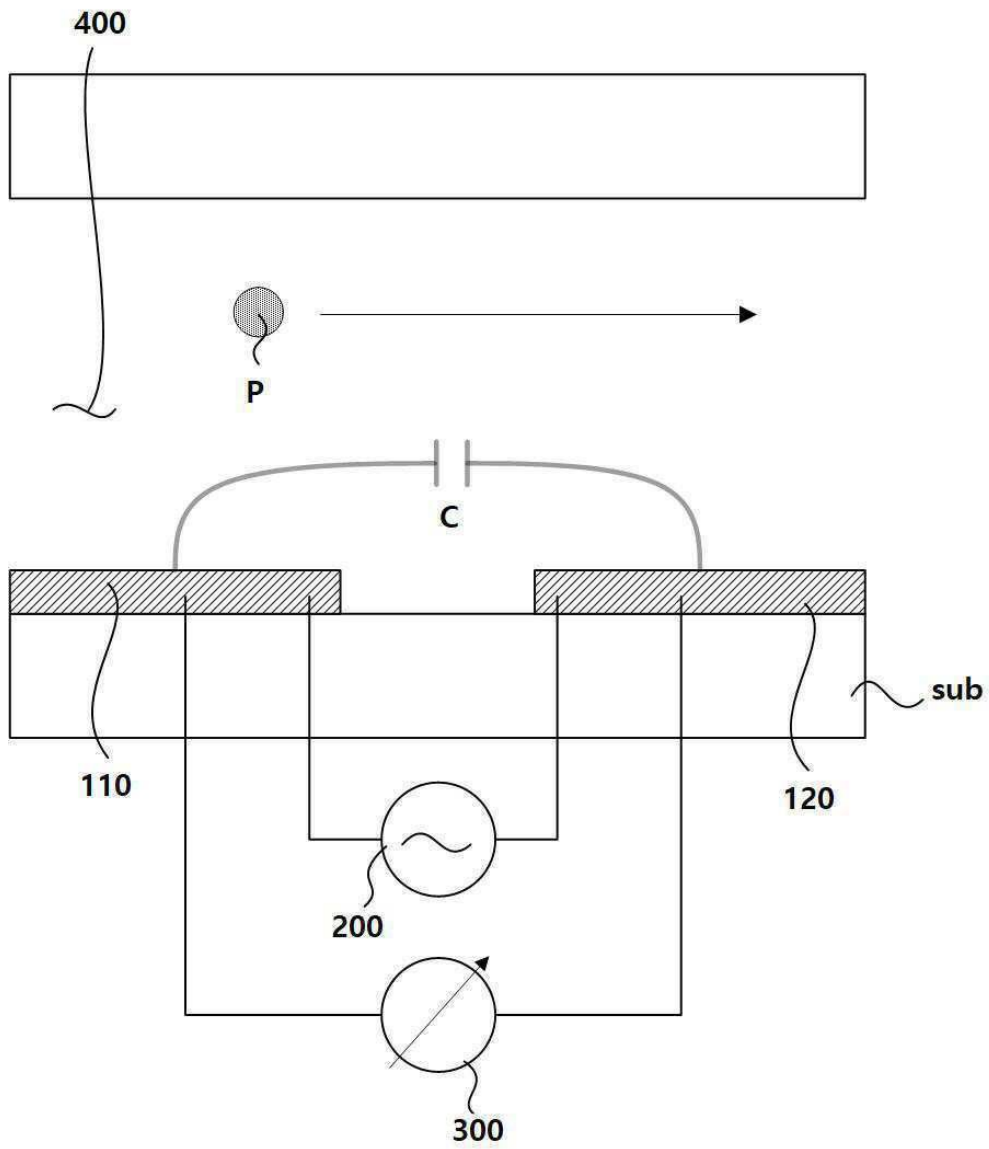
[0077] 100: 저장조 110: 동작 액체
120: 동작 액체 유입구 130: 수위 센서
131, 132: 도전 선로 200: 컨디셔너
210: 기체 유입구 250: 쿨러
260: 온도 센서 261, 262: 도전 선로
300: 응축기 310: 노즐
350: 히터 351, 352: 도전 선로
360: 온도 센서 361, 362: 도전 선로
400: 워튼 500: 전기식 계수기
610: 열적 배리어 5110: 제1 전극
5120: 제2 전극 5200: 전원
5300: 검출기 5400: 채널
5600: 코일

도면

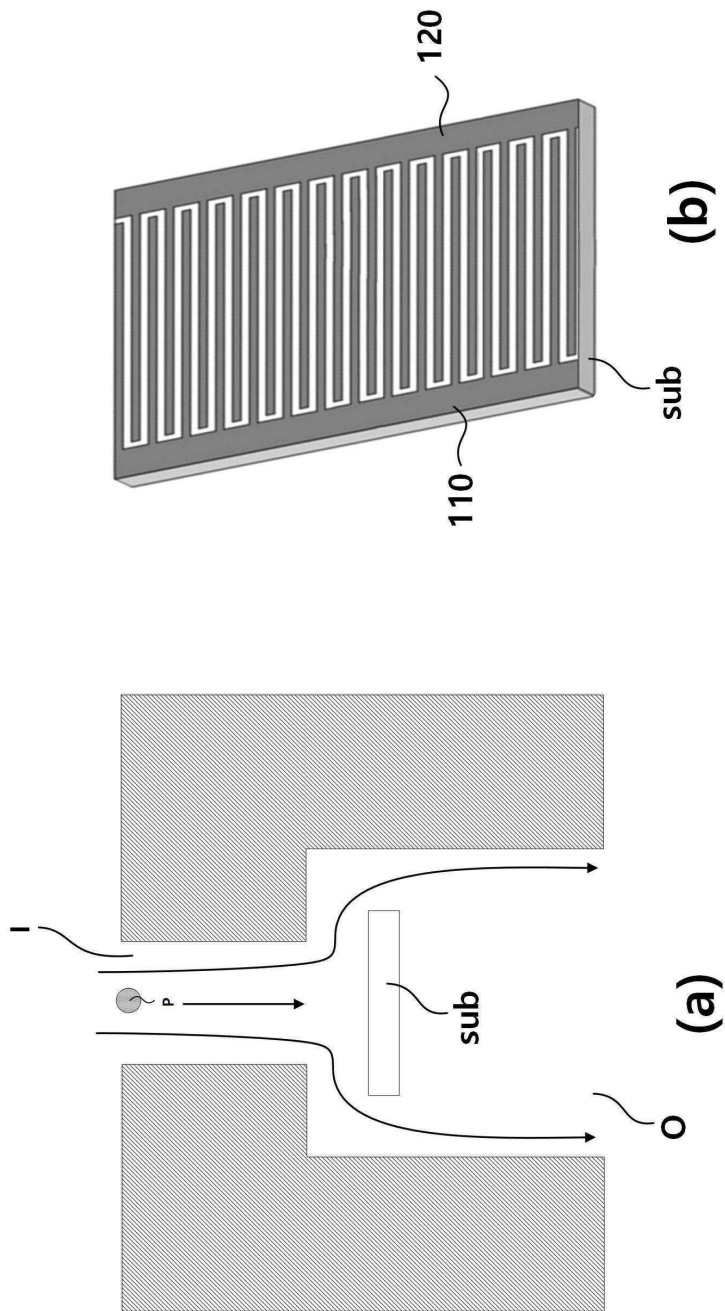
도면1



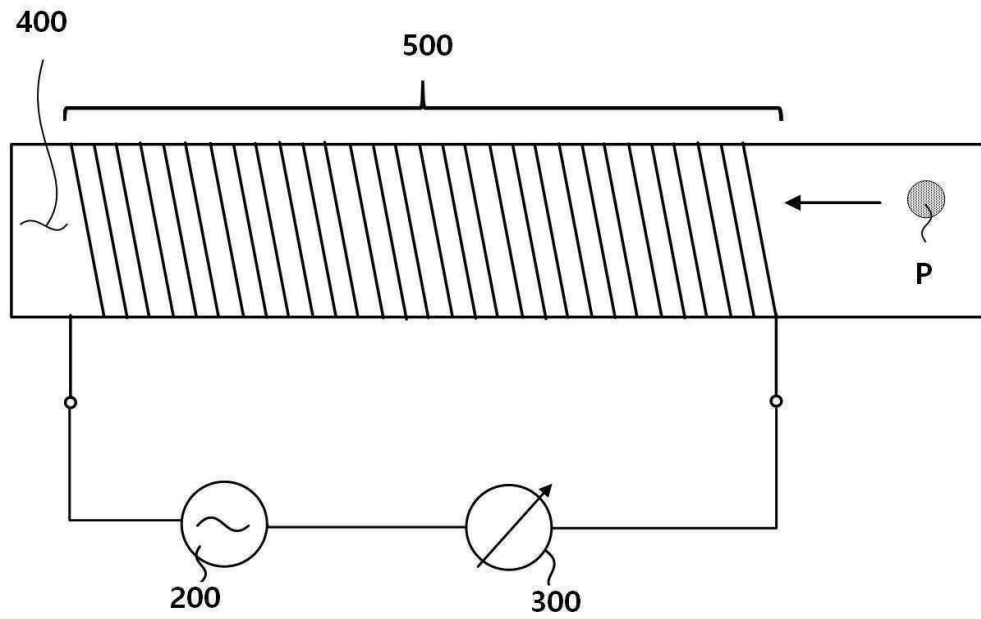
도면2



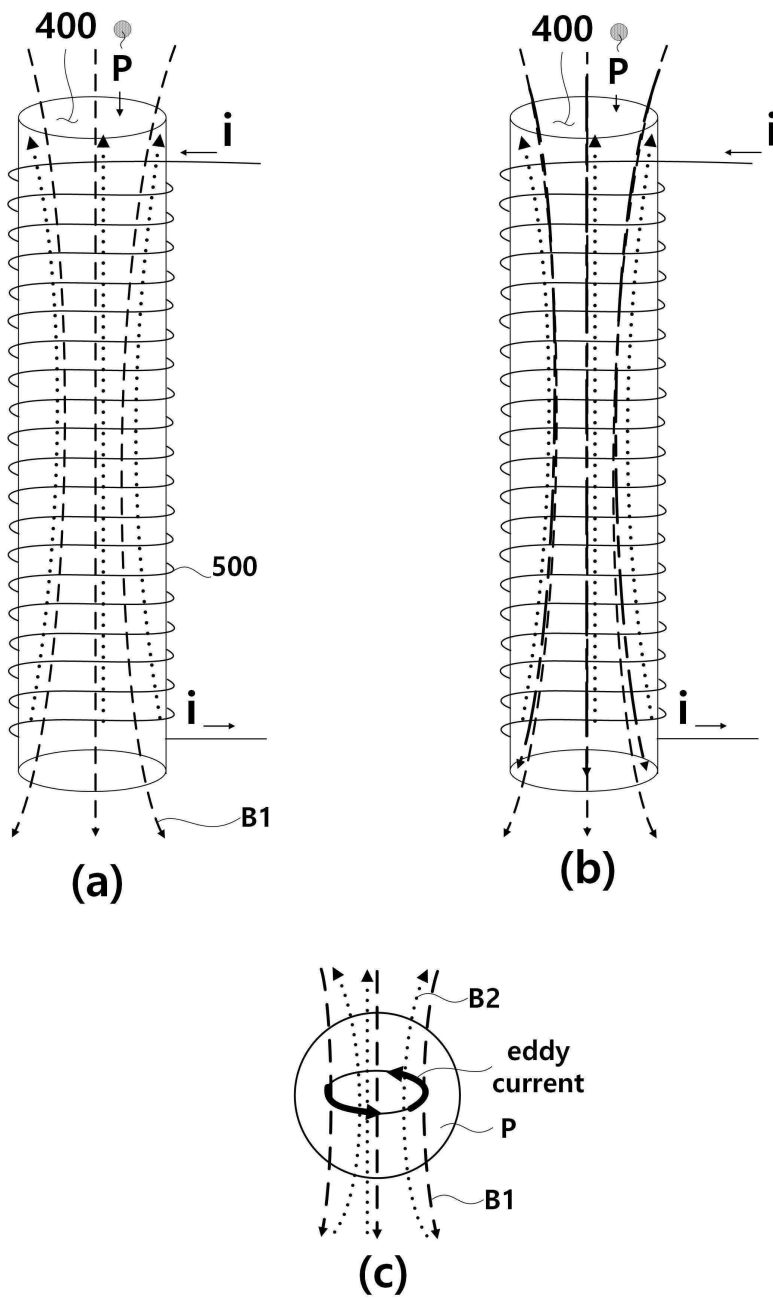
도면3



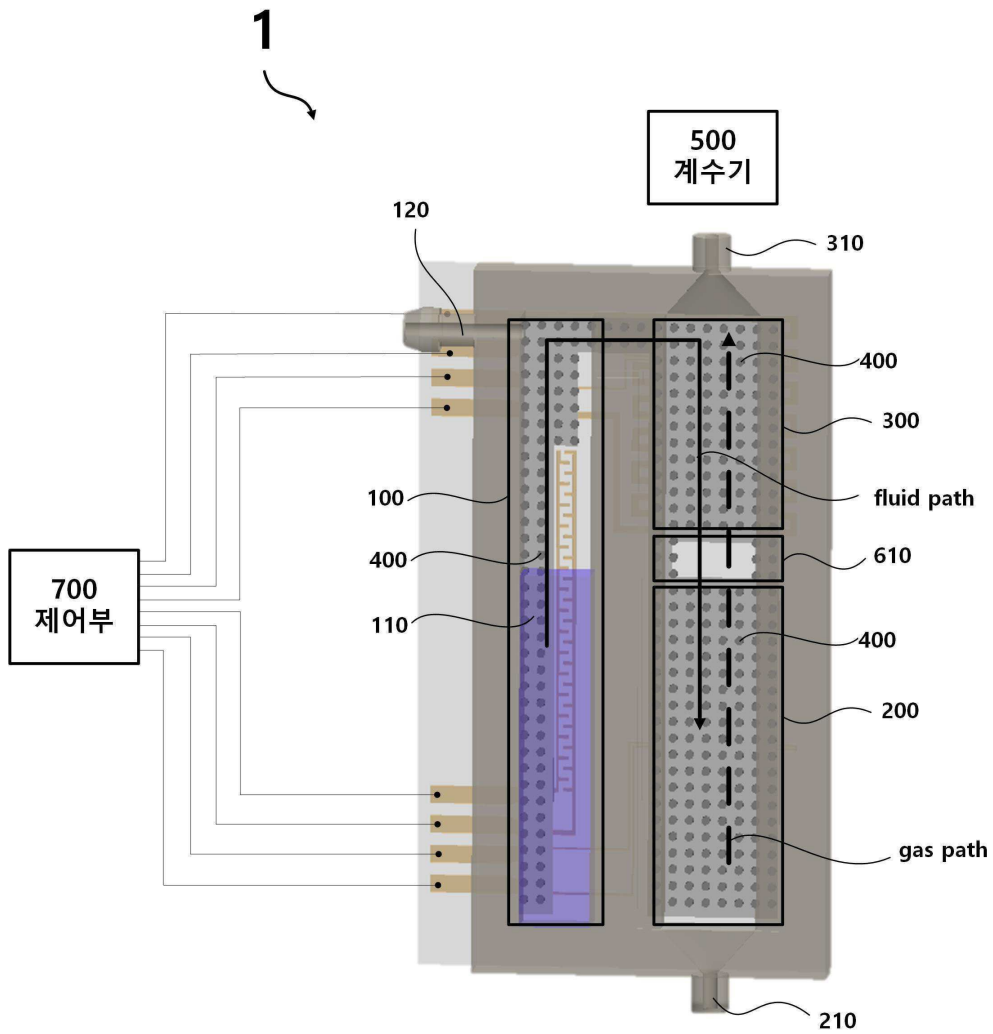
도면4



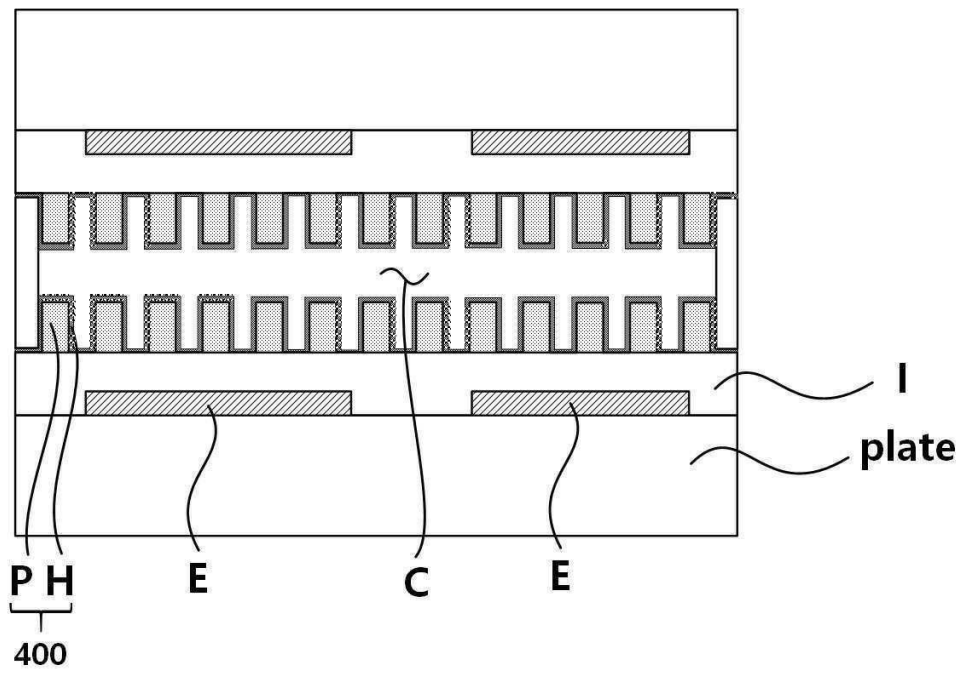
도면5



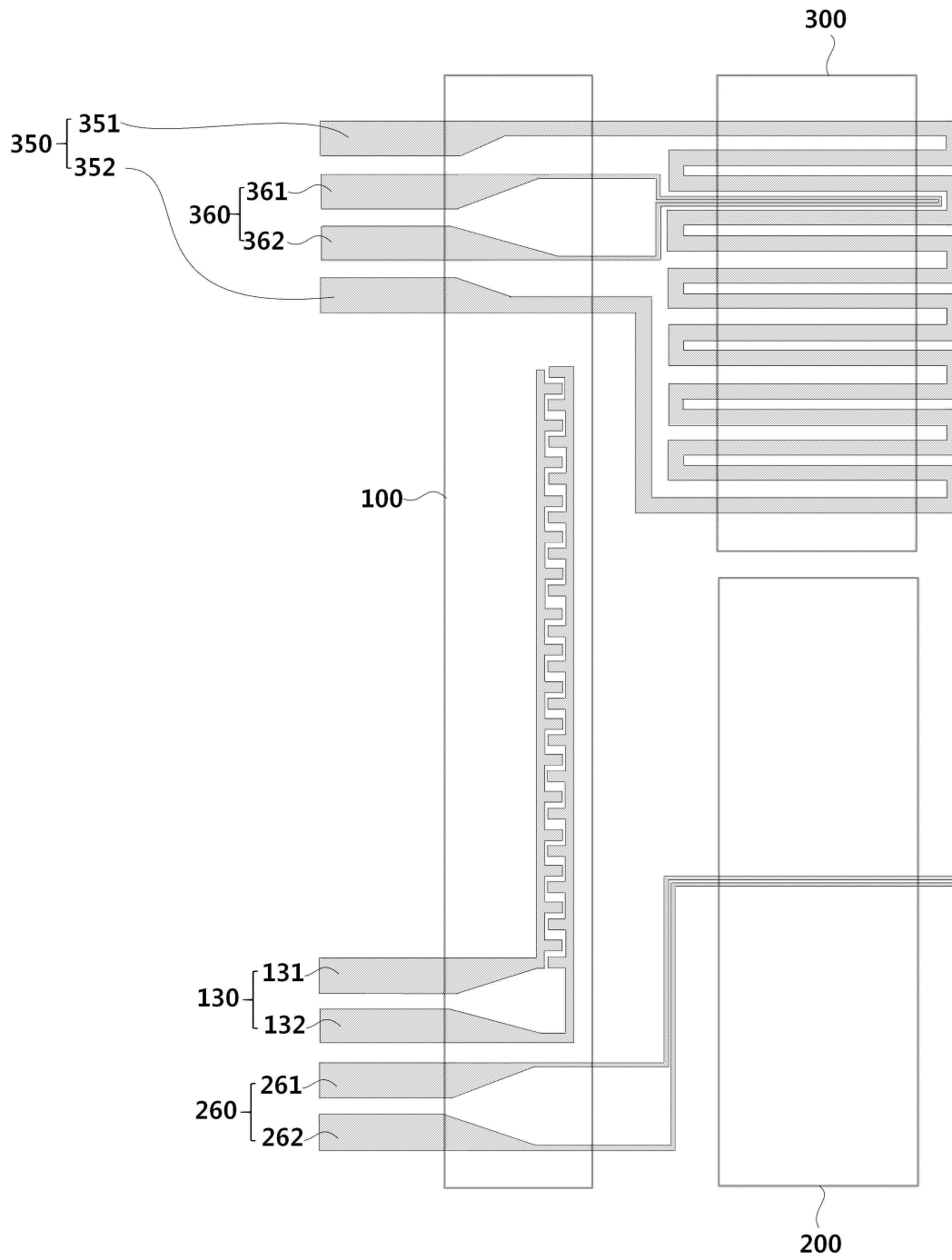
도면6



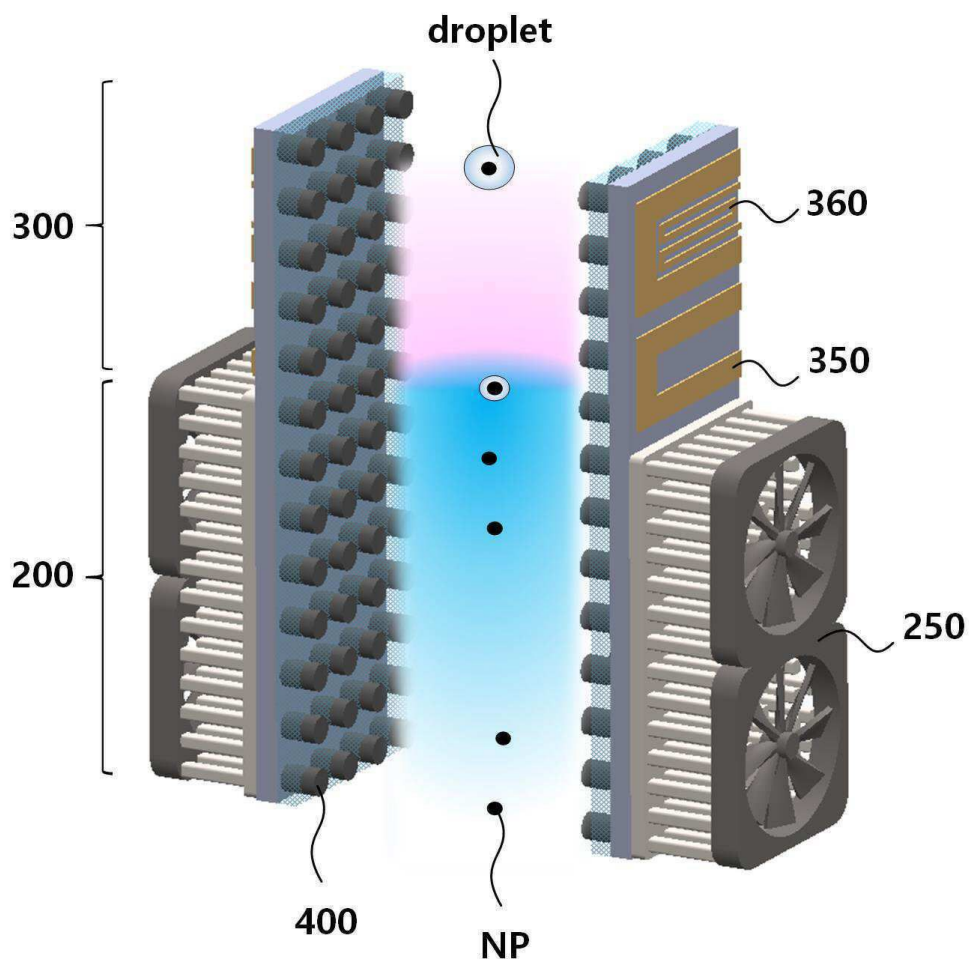
도면7



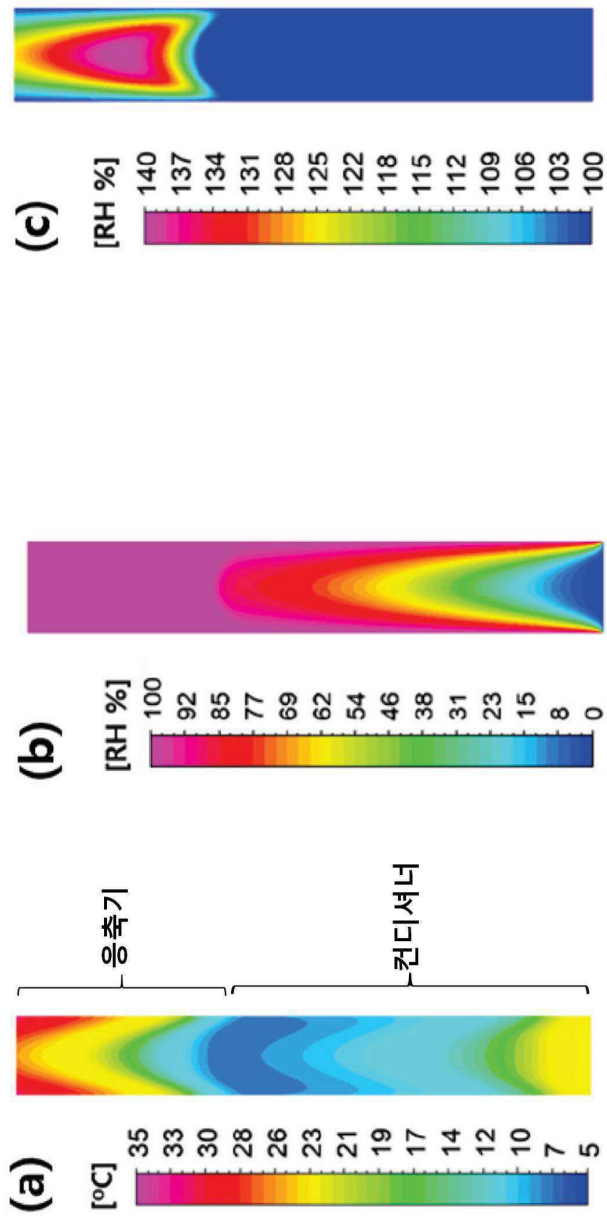
도면8



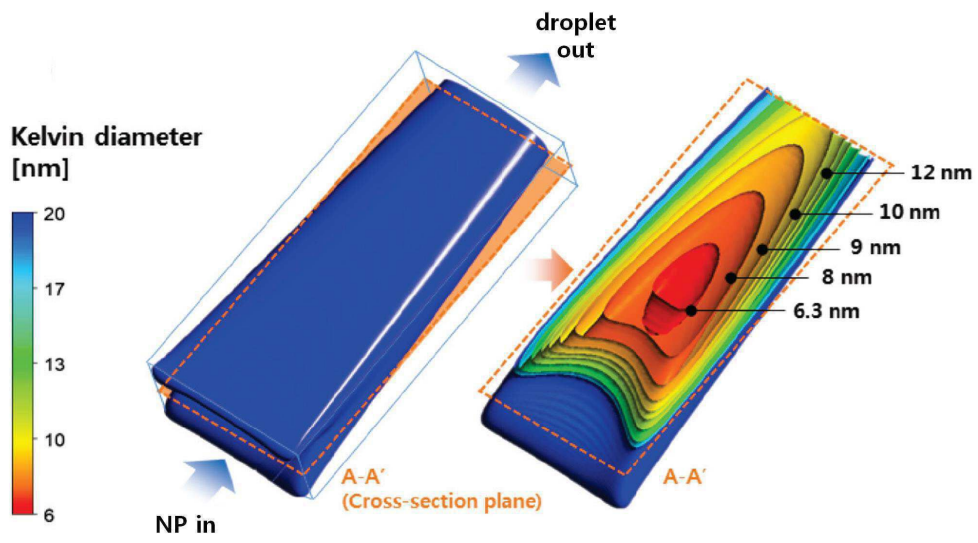
도면9



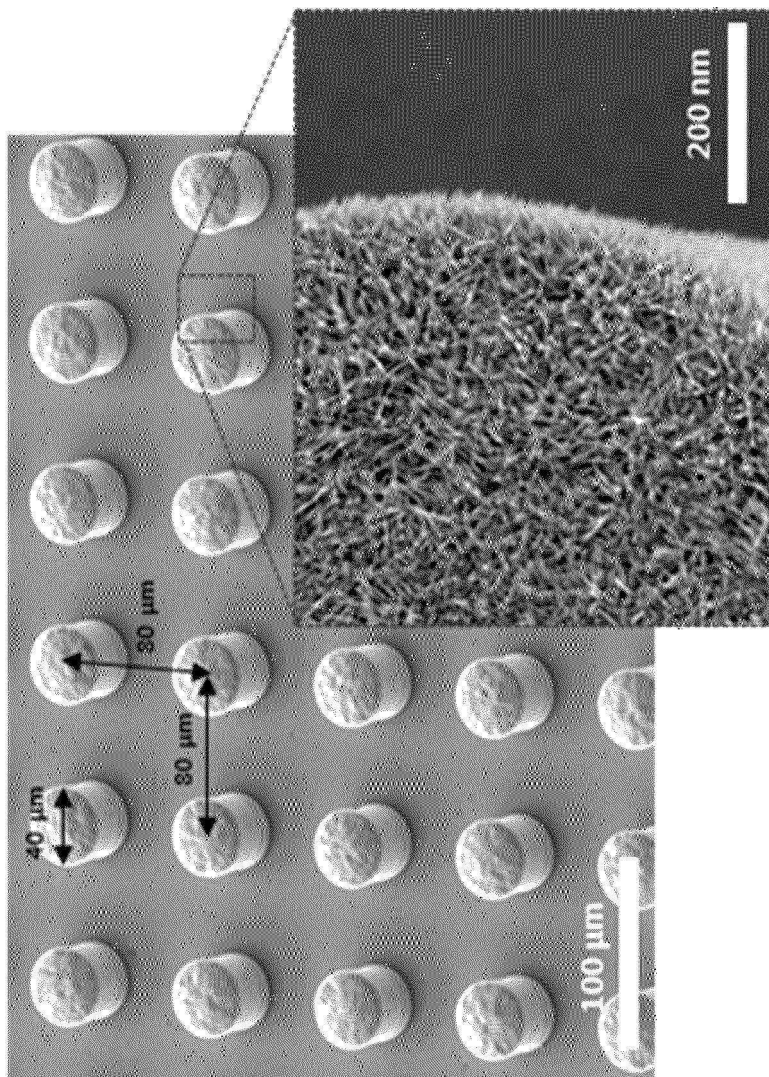
도면10



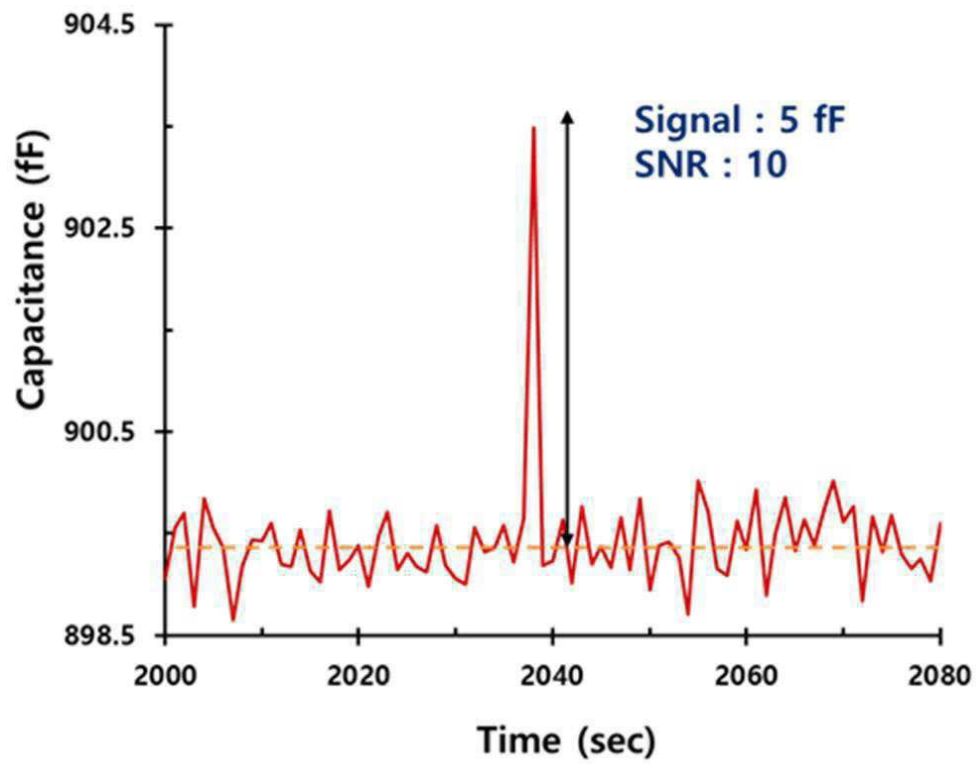
도면11



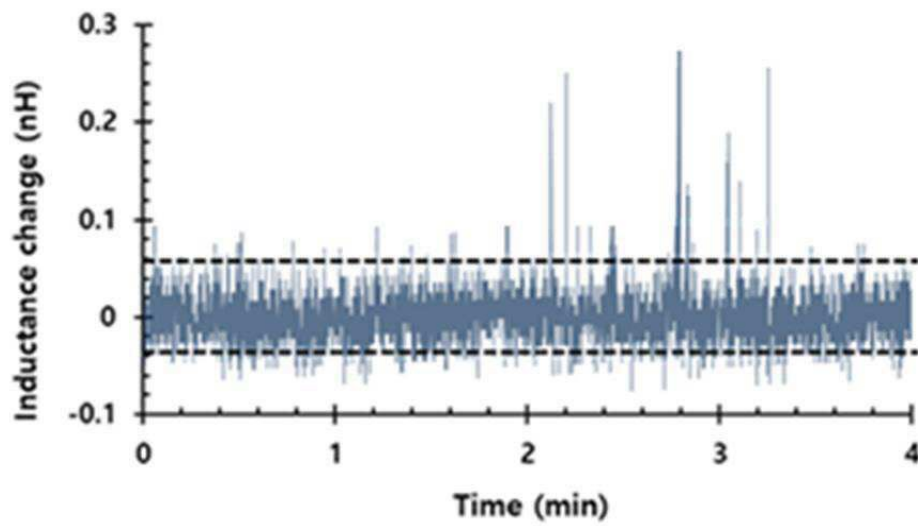
도면12



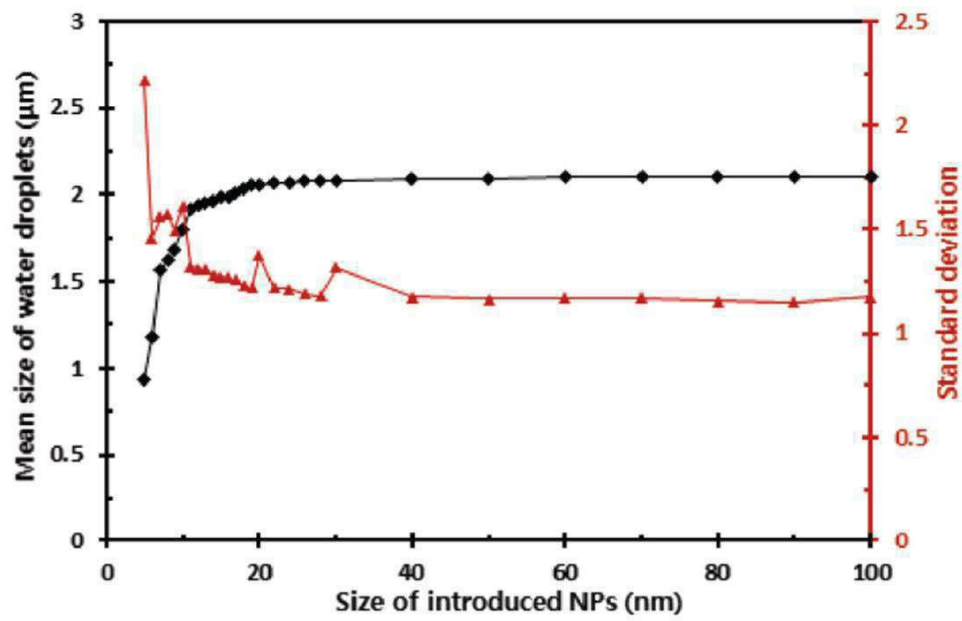
도면13



도면14



도면15



도면16

