



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0035040
(43) 공개일자 2021년03월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 57/02 (2006.01) B01D 39/16 (2006.01)
B01D 39/20 (2006.01) F24F 3/16 (2021.01)
(52) CPC특허분류
B01D 57/02 (2013.01)
B01D 39/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0096663
(22) 출원일자 2020년08월03일
심사청구일자 2020년08월03일
(30) 우선권주장
1020190117022 2019년09월23일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국과학기술연구원
서울특별시 성북구 화랑로14길 5 (하월곡동)
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
유용상
서울특별시 성북구 화랑로14길 5(하월곡동)
김상문
경기도 광명시 광명역로 26, 1307호(일직동, 광명
역파크자이)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김태현

전체 청구항 수 : 총 18 항

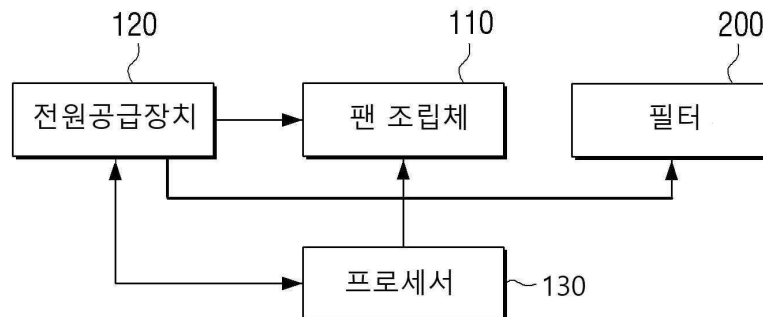
(54) 발명의 명칭 복수의 홀을 구비한 수직 나노 갭 전극을 구비한 미세먼지 포집용 필터 및 이를 구비한 공기
조화 장치

(57) 요약

공기 조화 장치가 개시된다. 본 공기 조화 장치는 제1 전도체층, 5 내지 1000 nm 범위 내의 두께를 갖는 절연층 및 제2 전도체층이 순차적으로 적층되고, 제1 전도체층, 절연층 및 제2 전도체층을 관통하는 복수의 홀을 포함하는 필터, 외부로부터 공기를 흡입하여 필터에 제공하는 팬 조립체, 제1 전도체층과 제2 전도체층 사이에 교류 전원을 제공하는 전원 공급 장치 및 필터에 제공되는 교류 전원의 주파수 또는 전압 크기를 선택적으로 가변하도록 전원 공급 장치를 제어하는 프로세서를 포함한다.

대표도 - 도18

100



(52) CPC특허분류

B01D 39/2027 (2013.01)

F24F 8/10 (2021.01)

F24F 8/108 (2021.01)

B01D 2239/12 (2013.01)

(72) 발명자

유의상

서울특별시 성북구 화랑로14길 5(하월곡동)

김태현

서울특별시 성북구 화랑로14길 5(하월곡동)

이중수

서울특별시 성북구 화랑로14길 5(하월곡동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	SRFC-TE1903-01
과제번호	2I23820
부처명	삼성 - 삼성미래기술육성사업
과제관리(전문)기관명	삼성전자 미래기술육성센터
연구사업명	삼성미래기술육성사업 지정테마
연구과제명	대기 재난 안전 개선을 위한 나노겔 전극필터 기반 실내외 공기 정화 원천 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국과학기술연구원 (KIST)
연구기간	2019.09.01 ~ 2020.08.31

명세서

청구범위

청구항 1

공기 조화 장치에 있어서,

제1 전도체층, 5 nm 내지 1000 nm 범위 내의 두께를 갖는 절연층 및 제2 전도체층이 순차적으로 적층되고, 상기 제1 전도체층, 상기 절연층 및 상기 제2 전도체층을 관통하는 복수의 홀을 포함하는 필터;

외부로부터 공기를 흡입하여 상기 필터에 제공하는 팬 조립체;

상기 제1 전도체층과 상기 제2 전도체층 사이에 교류 전원을 제공하는 전원 공급 장치; 및

상기 필터에 제공되는 상기 교류 전원의 주파수 또는 전압 크기를 선택적으로 가변하도록 상기 전원 공급 장치를 제어하는 프로세서;를 포함하는 공기 조화 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 프로세서는,

포집 물질의 크기가 선택되면, 상기 선택된 포집 물질의 크기에 대응되는 주파수 및 전압 크기의 교류 전원이 상기 필터에 제공되도록 상기 전원 공급 장치를 제어하는 공기 조화 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 공기 조화 장치의 포집 모드시에 상기 복수의 홀이 대상 물체에 대한 인력을 갖는 제1 교류 전원이 제공되도록 상기 전원 공급 장치를 제어하고,

상기 공기 조화 장치의 배출 모드시에 상기 복수의 홀이 상기 대상 물체에 대한 척력을 갖는 제2 교류 전원이 제공되도록 상기 전원 공급 장치를 제어하는 공기 조화 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

공기 중의 입자 크기를 감지하는 센서;를 더 포함하고,

상기 프로세서는,

상기 센서에서 감지된 입자 크기에 대응되는 교류 전원이 상기 필터에 제공되도록 상기 전원 공급 장치를 제어하는 공기 조화 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

포집 물질을 선택하기 위한 사용자 인터페이스 장치;를 더 포함하고,

상기 프로세서는,

상기 사용자 인터페이스 장치를 통해 선택된 포집 물질에 대응되는 교류 전원이 상기 필터에 제공되도록 상기 전원 공급 장치를 제어하는 공기 조화 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 복수의 홀은, 매트릭스 형태로 배치되고 동일한 면적을 갖는 공기 조화 장치

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 복수의 홀 각각은,

50 nm² 내지 10,000 μm²의 면적을 갖는 미세먼지 저감 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 전원 공급 장치는,

나노 캡의 두께에 따라 혹은 타겟 입자의 크기와 종류에 따라, 상기 1 V 내지 50V 내의 전압 크기를 갖는 교류 전원을 상기 필터에 제공 가능한 미세먼지 저감 장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 필터는,

상기 공기 조화 장치에 교체 가능하게 장착되는 공기 조화 장치.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 필터는,

공기의 이동 방향으로 복수개 구비되는 공기 조화 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 복수의 필터는,

복수의 홀을 포함하는 제1 필터; 및

상기 제1 필터의 복수의 홀과 일치되게 배치되거나 엇갈리게 배치되는 복수의 홀을 포함하는 제2 필터;를 포함하는 공기 조화 장치.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 복수의 필터는,

제1 크기의 복수의 홀을 포함하는 제1 필터; 및

상기 제1 크기보다 작은 복수의 홀을 포함하며, 상기 제1 필터를 통해 필터링된 공기를 2차 필터링하는 제2 필터;를 포함하는 공기 조화 장치.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 필터는,

상기 제2 전도체층에 순차적으로 적층되는 5 nm 내지 1000 nm 범위 내의 두께를 갖는 추가 절연층 및 추가 전도

체층을 더 포함하는 공기 조화 장치.

청구항 14

복수의 홀을 구비한 수직 나노 갭 전극을 구비한, 유전영동 방법에 의해 구동되는, 미세먼지 포집용 필터에 있어서,

상기 수직 나노 갭 전극은 순차적으로 적층된 제1 전도체 전극, 5 nm 내지 1000 nm 범위에서 선택되는 일정한 두께를 갖는 절연체층 및 제2 전도체 전극을 포함하며, 상기 제1 전도체 전극, 상기 제2 전도체 전극 및 절연체층은 동일한 크기와 형태로 서로 이격되어 형성된 1 개 이상의 홀을 포함하는 것인, 미세먼지 포집용 필터.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 제1 전도체 전극 및 제2 전도체 전극은 각각 독립적으로 구리(copper), 금(gold), 은(silver), 백금(platinum) 및 팔라듐(palladium)으로 구성된 군으로부터 선택되는 금속; 구리, 금, 은, 백금 및 팔라듐으로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 이상의 금속과 그래파이트, 텔루륨(tellurium), 텅스텐(tungsten), 아연(zinc), 이리듐(iridium), 루테튬(ruthenium), 비소(arsenic), 인(phosphorus), 알루미늄(aluminum), 망간(manganese), 실리콘(silicon)으로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 이상의 물질을 함유하는 합금(alloys) 또는 복합체; 그래파이트(graphite), 그래핀(graphene) 및 이들의 유도체로 구성된 군으로부터 선택되는 전도성 탄소물질; 또는 인듐 주석 산화물(indium tin oxide; ITO), 티타늄 산화물(TiO₂), 루테튬 산화물(RuO₂), 이리듐 산화물(IrO₂), 및 백금 산화물(PtO₂)로 구성된 군으로부터 선택되는 혼합 금속 산화물(mixed metal oxides)의 소재로 된 것인 미세먼지 포집용 필터.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 절연체층은 SiO₂, 폴리비닐피롤리돈(polyvinylpyrrolidone; PVP), Nb₂O₅, TiO₂, Al₂O₃, 및 MgO로 구성된 군으로부터 선택되는 소재로 된 것인, 미세먼지 포집용 필터.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 홀은 각각 독립적으로 50 nm² 내지 10,000 μm²의 면적을 갖는 것인, 미세먼지 포집용 필터.

청구항 18

제15항에 있어서,

포집 가능한 미세먼지는 평균 직경 50 nm 내지 10 μm의 크기를 갖는 입자인 것인, 미세먼지 포집용 필터.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 복수의 홀을 구비한 수직 나노 갭 전극을 구비한 미세먼지 포집용 필터 및 이를 구비한 공기 조화 장치에 관한 것으로, 구체적으로, 나노 갭을 갖는 필터를 이용하여 미세 먼지, 세균 및 박테리아 등의 포집이 가능한 미세먼지 포집용 필터 및 이를 구비한 공기 조화 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 대한민국에서 가장 주목받은 이슈는 단연코 "미세먼지(particulate matter; PM)"에 의한 대기오염이다. 산업발전이 이루어지면서 대기 중의 미세먼지 농도는 급격히 증가하였으며, 최근에는 지름 2.5 μm 이하의 초미세먼지(PM_{2.5})에 의한 오염이 특히 사회적 이슈로 부상하고 있다.

[0003] 나아가, 미세먼지가 폐기능을 약화하고 기관지질환을 유발함은 물론, 피부질환, 모세혈관을 통한 심혈관계질환,

안구질환, 뇌질환 등 다양한 질환에 밀접히 연관되어 있음이 밝혀지고 있으며, 이러한 오염은 실외에만 국한되는 것이 아니라 실내 공기 중에 존재하는 세균 및 박테리아, 이와 연계되어 발생하는 환경유해성 PM의 영향이 알려지면서 실내외 공기의 개선 및/또는 정화와 관련된 원천기술을 확보하는 것이 중요하다.

- [0004] 한편, 대기질의 문제가 대두되기 이전에는 단순히 창문 개방을 통한 환기로 실내 공기를 개선할 수 있었다. 그러나 현재에는 실외 공기가 오히려 인체에 더 큰 피해를 야기할 수 있으므로 실내외에서 질 좋은 공기를 공급하기 위한 대책 마련이 시급하다.
- [0005] 이러한 노력의 일환으로 전력발전 설비, 자동차 산업에서 그린 에너지화를 통한 오염물질의 발생을 줄여 대기 오염을 예방하고자 시도하고 있으나, 전력 및/또는 교통 수요가 감소하지 않는 상황에서 이러한 예방차원의 노력으로 기대할 수 있는 효과는 미미하므로, 발생한 공기 오염을 효과적으로 해결하고자 하는 노력이 대기질 개선에 보다 효과적일 수 있다.
- [0006] 공기의 질을 개선하기 위한 연구는, 기본적으로 i) 오염 생성원에 대한 연구와 ii) 생성된 오염물질을 검출 및/또는 저감 처리하는 방법에 대한 연구로 구분되는 크게 두 가지 방향으로 진행된다. 이 중 오염의 생성을 근본적으로 저감시키고자 하는 연구는 높은 투자비용의 문제, 산업발전에 대한 요구 및 여전히 높은 에너지에 대한 수요 등으로 인해 한계가 있다.
- [0007] 이에 발생한 오염물질을 감지하고 제거 또는 저감시키기 위한 처리 방법 및/또는 장치를 개발하는데 많은 노력이 집중되고 있다. 이와 같이 오염물질을 검출 및/또는 저감시키기 위해서는 공기 중에 미량 존재하는 매우 작은 크기 예컨대, 10 μm 이하, 나아가, 2.5 μm 이하 또는 1 μm 이하의 입자를 실시간으로 감지하고, 여과 및/또는 수집하여 제거할 수 있고, 나아가, 세척을 통해 재사용 내지는 반영구적 사용이 가능한 플랫폼을 구현하는 것이 궁극적인 목표일 수 있다.
- [0008] 예컨대, 공기질 개선을 위해 현재 시도되고 있는 공기 청정기의 정화 시스템은 크게 필터식과 정전기식으로 분류된다.
- [0009] 먼저, 필터식 정화장치는, 기계적인 구조물을 통해 물리적으로 오염물질을 여과하는 거름망 방식에 의해 작동하는 장치로서, 이러한 특성상 효율적인 공기질 개선을 위해선 필터 전과 후에서 큰 압력 소실(pressure drop, ΔP)이 불가피하며 이에 따른 기능저하가 수반되는 단점이 있다. 더불어 필터의 주기적인 교체 및 특정한 표적 크기의 PM을 선택적으로 포집하는 것이 불가능한 단점이 있다.
- [0010] 이와 관련하여, 압력 소실이 공기정화장치 성능의 70% 이상을 차지한다는 보고가 있어, 보다 넓은 필터로 보다 작은 PM을 포집하기 위한 전략 없이는 여과에 의한 미세먼지 저감에 의한 공기질 개선을 달성하기 어렵다.
- [0011] 따라서, 헤파(HEPA, high efficiency particulate air 또는 high efficiency particulate absorber) 필터로 대변되는 이 방식은 정화 가능한 입자 즉, 미세먼지의 크기가 작을수록 가격이 비싸지며, 시간당 공기정화 용량이 집진 효율에 반비례하는 단점을 갖는다.
- [0012] 이를 극복하기 위하여, 정전기력(electrostatic force)을 이용하는 전기적 흡착을 통해 입자를 대전된 거름망에 부착시키는 방식으로 미세먼지를 저감시키는 필터를 제작 및/또는 상용화하려는 노력이 있다.
- [0013] 이러한, 전기집진식/이온식(또는 정전기식) 정화장치는 여과하고자 하는 대상 입자인 먼지 및/또는 세균 입자가 대부분 음전하로 대전되어 있다는 사실로부터 기대되는 집진 효율(ΔE)의 향상에 기반한다.
- [0014] 구체적으로, 상술한 원리에 의해 필터에 정전기를 입힘으로써 포집하고자 하는 입자를 하전시키는 과정이 수반되어야 하며, 하전을 통하여 공기 중에 일시적인 과전류 방출 및/또는 방전화 과정으로부터 인체에 유해한 오존이 발생하는 치명적인 단점이 있다. 또한, 상술한 필터는 수분에 취약하여 습도에 의해 성능이 좌우되거나 급격히 저하될 수 있다.
- [0015] 그뿐만 아니라, 상술한 2개 방식 모두 집진하는 입자의 종류 및/또는 크기 구분이 불가능하며, 세척이 불가하여 필터를 재사용할 수 없어 주기적인 교체가 있어야 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0016] 본 개시는 상술한 필요성에 따른 것으로, 본 개시의 목적은 나노 캡을 갖는 필터를 이용하여 미세 먼지, 세균

및 박테리아 등의 포집이 가능한 미세먼지 포집용 필터 및 이를 구비한 공기 조화 장치를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0017] 상술한 목적을 달성하기 위한 하나의 양태로서, 본 개시는 복수의 홀을 구비한 수직 나노 갭 전극을 구비한, 유전영동 방법에 의해 구동되는, 미세먼지 포집용 필터로서, 상기 수직 나노 갭 전극은 순차적으로 적층된 제1 전도체 전극, 5 nm 내지 1000 nm 범위에서 선택되는 일정한 두께를 갖는 절연체층, 및 제2 전도체 전극을 포함하며, 상기 양측 전극 및 절연체층은 동일한 크기와 형태로 서로 이격되어 형성된 1 개 이상의 홀을 포함하는 것인, 미세먼지 포집용 필터를 제공한다.
- [0018] 다른 하나의 양태로서, 본 개시는 순차적으로 적층된 제1 전도체 전극, 절연체층, 및 제2 전도체 전극을 포함하는 필터를 하나 이상의 구비한, 미세먼지 저감 장치로서, 상기 양측 전극 및 절연체층은 동일한 크기와 형태로 서로 이격되어 형성된 1 개 이상의 홀을 포함하며, 상기 장치는 필터(들)에 의해 분리되는, 여과되지 않은 공기를 흡입하는 흡입부 및 필터에 의해 미세먼지가 감소된 공기를 배출하는 배출부를 구비한 것인, 미세먼지 저감 장치를 제공한다.
- [0019] 또 다른 양태로서, 본 개시는 기능성 필터로서 복수의 홀을 구비한 수직 나노 갭 전극을 구비하여 유전영동 방법에 의해 구동되는, 미세먼지 포집용 필터를 하나 이상의 구비한, 공기 조화 장치에 있어서, 상기 수직 나노 갭 전극은 순차적으로 적층된 제1 전도체 전극, 5 nm 내지 1000 nm 범위에서 선택되는 일정한 두께를 갖는 절연체층, 및 제2 전도체 전극을 포함하며, 상기 양측 전극 및 절연체층은 동일한 크기와 형태로 서로 이격되어 형성된 1 개 이상의 홀을 포함하고, 상기 양측 전극 및 절연체층은 동일한 크기와 형태로 서로 이격되어 형성된 1 개 이상의 홀을 포함하며, 상기 공기 조화 장치는 필터(들)에 의해 분리되는, 여과되지 않은 공기를 흡입하는 흡입부 및 필터에 의해 미세먼지가 감소된 공기를 배출하는 배출부를 구비한 것인, 공기 조화 장치를 제공할 수 있다.
- [0020] 또 다른 양태로서, 본 개시는 흡입부를 통해 미세먼지를 함유하는 공기를 흡입하여 미리 결정된 주파수의 교류가 인가되는 필터에 접촉시키는 단계, 및 필터를 통해 투과된 미세먼지가 저감된 공기를 배출부를 통해 외부로 배출하는 단계를 포함하는, 상기 미세먼지 저감 장치를 이용한 미세먼지 저감 방법을 제공한다.
- [0021] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 개시의 일 실시 예에 따른 공기 조화 장치는 제1 전도체층, 5 nm 내지 1000 nm 범위 내의 두께를 갖는 절연층 및 제2 전도체층이 순차적으로 적층되고, 상기 제1 전도체층, 상기 절연층 및 상기 제2 전도체층을 관통하는 복수의 홀을 포함하는 필터, 외부로부터 공기를 흡입하여 상기 필터에 제공하는 팬 조립체, 상기 제1 전도체층과 상기 제2 전도체층 사이에 교류 전원을 제공하는 전원 공급 장치, 및 상기 필터에 제공되는 상기 교류 전원의 주파수 또는 전압 크기를 선택적으로 가변하도록 상기 전원 공급 장치를 제어하는 프로세서를 포함한다.
- [0022] 이 경우, 상기 프로세서는, 포집 물질의 크기가 선택되면, 상기 선택된 포집 물질의 크기에 대응되는 주파수 및 전압 크기의 교류 전원이 상기 필터에 제공되도록 상기 전원 공급 장치를 제어할 수 있다.
- [0023] 한편, 상기 프로세서는, 상기 공기 조화 장치의 포집 모드시에 상기 복수의 홀이 대상 물체에 대한 인력을 갖는 제1 교류 전원이 제공되도록 상기 전원 공급 장치를 제어하고, 상기 공기 조화 장치의 배출 모드시에 상기 복수의 홀이 상기 대상 물체에 대한 척력을 갖는 제2 교류 전원이 제공되도록 상기 전원 공급 장치를 제어할 수 있다.
- [0024] 한편, 본 공기 조화 장치는 공기 중의 입자 크기를 감지하는 센서를 더 포함하고, 상기 프로세서는, 상기 센서에서 감지된 입자 크기에 대응되는 교류 전원이 상기 필터에 제공되도록 상기 전원 공급 장치를 제어할 수 있다.
- [0025] 한편, 본 공기 조화 장치는 포집 물질을 선택받기 위한 사용자 인터페이스 장치를 더 포함하고, 상기 프로세서는, 상기 사용자 인터페이스 장치를 통해 선택된 포집 물질에 대응되는 교류 전원이 상기 필터에 제공되도록 상기 전원 공급 장치를 제어할 수 있다.
- [0026] 한편, 상기 복수의 홀은, 매트릭스 형태로 배치되고 동일한 면적을 가질 수 있다.
- [0027] 한편, 상기 복수의 홀 각각은 50 nm^2 내지 $10,000\text{ }\mu\text{m}^2$ 의 면적을 가질 수 있다.
- [0028] 한편, 상기 전원 공급 장치는, 나노 갭의 두께에 따라 혹은 타겟 입자의 크기와 종류에 따라, 상기 1 V 내지

50V 내의 전압 크기를 갖는 교류 전원을 상기 필터에 제공할 수 있다.

[0029] 한편, 상기 필터는, 상기 공기 조화 장치에 교체 가능하게 장착될 수 있다.

[0030] 한편, 상기 필터는 공기의 이동 방향으로 복수개 구비될 수 있다.

[0031] 한편, 상기 복수의 필터는, 복수의 홀을 포함하는 제1 필터, 및 상기 제1 필터의 복수의 홀과 일치되게 배치되거나 엇갈리게 배치되는 복수의 홀을 포함하는 제2 필터를 포함할 수 있다.

[0032] 한편, 상기 복수의 필터는, 제1 크기의 복수의 홀을 포함하는 제1 필터 및 상기 제1 크기보다 작은 복수의 홀을 포함하며, 상기 제1 필터를 통해 필터링된 공기를 2차 필터링하는 제2 필터를 포함할 수 있다.

[0033] 한편, 상기 필터는, 상기 제2 전도체층에 순차적으로 적층되는 5 nm 내지 1000 nm 범위 내의 두께를 갖는 추가 절연층 및 추가 전도체층을 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0034] 본 개시의 미세먼지 포집용 필터 및 이를 구비한 공기 조화 장치는 유전 영동 원리를 이용하므로 종래 필터식 정화장치에서 나타나는 심한 감압으로 인한 성능저하 문제나 전기집진식 정화장치에 수반되는 포집하고자 하는 물질을 이온화하는 전처리 과정에서 인체에 유해한 오존 발생 문제없이, 보다 효율적으로 보다 넓은 크기 범위의 미세먼지 입자를 포집하여 저감시킬 수 있으며, 물로 세척하는 간단한 방법으로 재생시켜 재사용할 수 있는 필터를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 본 개시의 일 실시 예에 따른 전극 쌍을 이용한 미세먼지 포집 실험을 위한 장치 및 이의 작동 원리를 개략적으로 나타낸 도이다.

도 2는 본 개시의 일 실시 예에 따른 전극 쌍을 이용한 a) 미세먼지 포집 방법, b) 일련의 전극 쌍을 이용한 입자 크기에 따른 순차적 포집 방법, 및 c) 세척을 통한 포집된 입자의 제거 및 전극의 재사용 원리를 개략적으로 나타낸 도이다.

도 3은 (A) 본 발명의 일 실시 예에 따른 전도체층으로서 PVP로 이격된 전극 쌍(패턴된 금 및 ITO)에서의 전기장 분포 및 (B) 직경 1 μm 크기의 폴리스티렌 입자에 대해, 시뮬레이션에 의해 도출한, 주파수에 따른 클라우시우스-모소티 곡선을 나타낸 도이다.

도 4는 산출된 곡선의 클라우시우스-모소티 값이 양인 영역과 음인 영역에서 각각 선택된 10 MHz 및 100 kHz로 주파수를 변경하면서 100 mV의 교류 전압을 인가하여 입자의 포집 및 분산을 반복적으로 유도한 결과를 나타낸 도이다.

도 5는 산출된 곡선의 클라우시우스-모소티 값이 양인 영역과 음인 영역에서 각각 선택된 (A) 100 kHz 및 (B) 1 MHz로 주파수를 변경하면서 100 mV의 교류 전압을 인가하여 입자의 분산 및 포집을 유도한 결과를 나타낸 도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 100 nm 두께의 SiO₂ 층으로 이격된, 패턴화된 금-ITO 전극에 양의 유전영동력(dielectrophoretic force)에 상응하는 주파수의 교류 전압을 인가하여 직경 1 μm 크기의 폴리스티렌 입자를 포집하는 과정을 SEM으로 관찰한 결과를 나타낸 도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 100 nm 두께의 SiO₂ 층으로 이격된, 패턴화된 금-ITO 전극에 100 kHz의 주파수로 3 V의 교류 전압을 인가시 전기장 분포, 직경 1 μm 크기의 폴리스티렌 입자에 대해, 시뮬레이션에 의해 도출한, 주파수에 따른 클라우시우스-모소티 곡선, 전압에 따른 포집 범위 및 주파수에 따른 입자 거동을 관찰한 결과를 나타낸 도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 패턴화된 금-ITO 전극을 이용한 바이오 물질인 이스트균의 포집을 나타낸 도이다.

도 9는 (A) 본 개시의 일 실시 예에 따른 직경 10 μm 크기의 홀을 포함하며 100 nm 두께의 절연층으로 이격된 전극 쌍을 구비한 수직 정렬 나노 갭 전극 및 이와 동일한 규모로 제작된 직경 10 μm 크기의 홀을 갖도록 제조된 수평 정렬 전극 및 (B) 초미세먼지 전구체를 정면속도 0.1 m/s로 흘려주면서 양 전극에 10 Vpp의 전류 인가시 입자 포집 범위를 도식화하여 나타낸 도이다.

도 10은 본 개시의 일 실시 예에 직접 5 μm 크기의 흠을 포함하며 100 nm 두께의 절연층으로 이격된 전극 쌍을 구비한 수직 나노 갭 전극으로 된 필터의 갯수 및 인가 전압에 따른 미세먼지 포집 효율을 나타낸 도이다.

도 11은 (A) 미세먼지 모사체로 사용된 아리조나 더스트(Arizona dust)의 형태 및 입자분포, 및 아리조나 더스트를 포함하는 수용액 상에서 (B) 비교예인 수평 전극에 또는 (C) 본 개시의 일 실시 예에 따른 수직 나노 갭 전극의 입자 포집능을 관찰한 결과를 나타낸 도이다.

도 12는 (A) 본 개시의 일 실시 예에 따른 수직 나노 갭 전극을 필터로 구비한 미세먼지 저감효율 측정을 위한 장치 및 (B) 전극에 전압을 인가하기 전/후의 패턴화된 전극 및/또는 이에 포집된 입자의 형상을 관찰한 SEM 결과를 나타낸 도이다.

도 13은 (a) 위아래가 개구부로 뚫려있는 실리콘 기판 상의 수직 정렬 나노 갭 전극 구조, (B)는 전체 필터의 구조, (C)는 단일 유닛 수직 정렬 나노 갭 전극 구조에 대한 SEM 결과를 나타낸 도이다.

도 14는 나노 갭을 이용한 공기 중의 흐름 내에서 유전영동 방식에 의한 수직 정렬 나노 갭 전극을 통과하는 입자의 포집 원리를 설명하기 위한 도이다.

도 15는 입자 크기에 따른 선별적 포집 동작을 설명하기 위한 도이다.

도 16은 도 13과 같이 형성한 필터 상에서 아리조나 더스트(Arizona dust)를 포집 동작 전/후의 SEM 이미지이다.

도 17은 가습 환경에서 수직 나노 갭 전극의 입자 포집능을 관찰할 결과를 나타낸 도이다.

도 18은 본 개시의 일 실시 예에 따른 공기 조화 장치의 구성을 도시한 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 이하에서 설명되는 실시 예는 본 개시의 이해를 돕기 위하여 예시적으로 나타낸 것이며, 본 개시는 여기서 설명되는 실시 예들과 다르게, 다양하게 변형되어 실시될 수 있음이 이해되어야 할 것이다. 다만, 이하에서 본 개시를 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 혹은 구성요소에 대한 구체적인 설명이 본 개시의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명 및 구체적인 도시를 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 개시의 이해를 돕기 위하여 실제 축척대로 도시된 것이 아니라 일부 구성요소의 치수가 과장되게 도시될 수 있다.
- [0037] 본 명세서 및 청구범위에서 사용되는 용어는 본 개시의 기능을 고려하여 일반적인 용어들을 선택하였다. 하지만, 이러한 용어들은 당 분야에 종사하는 기술자의 의도나 법률적 또는 기술적 해석 및 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 일부 용어는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있다. 이러한 용어에 대해서는 본 명세서에서 정의된 의미로 해석될 수 있으며, 구체적인 용어 정의가 없으면 본 명세서의 전반적인 내용 및 당해 기술 분야의 통상적인 기술 상식을 토대로 해석될 수도 있다.
- [0038] 본 명세서에서, "가진다," "가질 수 있다," "포함한다," 또는 "포함할 수 있다" 등의 표현은 해당 특징(예: 수치, 기능, 동작, 또는 부품 등의 구성요소)의 존재를 가리키며, 추가적인 특징의 존재를 배제하지 않는다.
- [0039] 그리고 본 명세서에서는 본 개시의 각 실시 예의 설명에 필요한 구성요소를 설명한 것이므로, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 따라서, 일부 구성요소는 변경 또는 생략될 수도 있으며, 다른 구성요소가 추가될 수도 있다. 또한, 서로 다른 독립적인 장치에 분산되어 배치될 수도 있다.
- [0040] 나아가, 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 개시의 실시 예를 상세하게 설명하지만, 본 개시가 실시 예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.
- [0041] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 개시에 대하여 더욱 상세히 설명하도록 한다.
- [0042] 본 개시는 최근 이슈가 되고 있는 미세먼지 저감 장치를 위한 필터를 고안함에 있어서, 상용화되고 있는 필터식 정화장치와 전기집진식 정화장치의 단점을 보완한 새로운 방식의 필터를 제안하기 위한 것이다.
- [0043] 구체적으로, 필터식 정화장치는, 기계적인 구조물을 통해 물리적으로 오염물질을 여과하는 거름망 방식에 의해 작동하는 장치로서, 이러한 특성상 효율적인 공기질 개선을 위해선 필터 전과 후에서 큰 압력 소실(pressure drop, ΔP)이 불가피하며 이에 따른 기능저하가 수반되는 단점이 있다.
- [0044] 한편, 전기집진식 정화장치는 정전기력(electrostatic force)을 이용하는 전기적 흡착을 통해 입자를 대전된 거름망에 부착시키는 방식으로 집진 효율이 높고 감압이 적으나, 포집하고자 하는 입자를 이온화하는 과정이 필수

적이며, 이러한 과정 상에서 인체에 유해한 오존을 발생하는 문제가 있다. 나아가, 이들 장치는 모두 재사용이 불가능하여 주기적으로 교체해 주어야 하므로 유지비용이 발생한다. 이에, 본 개시는 이들 장치의 단점을 극복하기 위한 방법으로 유전영동의 원리를 이용하는, 선택적 입자 포집이 가능한 필터를 발명한 것에 기초한다.

- [0045] 본 개시는 복수의 홀을 구비한 수직 나노 갭 전극을 구비한, 유전영동 방법에 의해 구동되는, 미세먼지 포집용 필터를 제공한다.
- [0046] 여기서, 필터는 순차적으로 적층된 제1 전도체 전극, 5 nm 내지 1000 nm 범위에서 선택되는 일정한 두께를 갖는 절연체층, 및 제2 전도체 전극을 포함하며 양측 전극 및 절연체층은 동일한 크기와 형태로 서로 이격되어 형성된 1 개 이상의 홀을 포함하는 하는 층상형 구조물일 수 있다.
- [0047] 예컨대, 제1 전도체 전극 및 제2 전도체 전극은 각각 독립적으로 구리(copper), 금(gold), 은(silver), 백금(platinum) 및 팔라듐(palladium)으로 구성된 군으로부터 선택되는 금속, 구리, 금, 은, 백금 및 팔라듐으로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 이상의 금속과 그래파이트, 텔루륨(tellurium), 텅스텐(tungsten), 아연(zinc), 이리듐(iridium), 루테튬(ruthenium), 비소(arsenic), 인(phosphorus), 알루미늄(aluminum), 망간(manganese), 실리콘(silicon)으로 구성된 군으로부터 선택되는 1종 이상의 물질을 함유하는 합금(alloys) 또는 복합체, 그래파이트(graphite), 그래핀(graphene) 및 이들의 유도체로 구성된 군으로부터 선택되는 전도성 탄소물질, 또는 인듐 주석 산화물(indium tin oxide: ITO), 티타늄 산화물(TiO₂), 루테튬 산화물(RuO₂), 이리듐 산화물(IrO₂), 및 백금 산화물(PtO₂)로 구성된 군으로부터 선택되는 혼합 금속 산화물(mixed metal oxides)의 소재로 된 필름 형태일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 여기서 전도체 전극은 전극, 전도층, 금속층 등으로 지칭될 수도 있다.
- [0048] 절연체층은 절연 특성을 지닌 비전도성 물질을 제한 없이 이용하여 형성할 수 있다. 예컨대, 절연체층은 SiO₂, Nb₂O₅, TiO₂, Al₂O₃, 또는 MgO 등의 금속 산화물 또는 폴리비닐피롤리돈(polyvinylpyrrolidone: PVP) 등의 폴리머로 형성될 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 원하는 수준에서 균일한 두께로 형성할 수 있는 한, 소재의 종류 및 형성되는 층의 두께는 제한되지 않는다.
- [0049] 다만, 본 개시의 전극 쌍의 형태적 특징상 제조공정에 있어서 절연체층의 선택적인 식각을 필요로 하는바, 사용하고자 하는 공정에 따라 절연체층의 소재를 선택하거나, 반대로 절연체층의 소재로 특정 물질을 선택한 경우 이에 따라 제조공정을 설계할 수 있다. 예컨대, 절연체층으로 폴리머 필름을 포함하는 경우 폴리머의 종류에 따라 선택되는 부식제 예컨대, 특정 용매로 처리함으로써 손쉽게 식각하여 패턴을 형성할 수 있다.
- [0050] 절연체층의 두께가 5 nm 미만으로 얇은 경우, 이의 양면에 위치한 제1전도체 및 제2전도체 사이의 거리가 가까워져 절연체의 유무와 무관하게 전자가 전달되는 '터널링 효과'에 의해, 층상형 구조물로 된 필터 전체가 하나의 도체와 같이 거동하며 제1 전도체층과 제2 전도체층은 더이상 개별 전극으로 작동하기 어렵다.
- [0051] 따라서, 절연층의 두께는 터널링 효과를 허락하지 않는 절연체층의 특징에 따라 최소 두께로 결정되며, 이는 선택되는 각 전극 및 절연체층의 소재에 따라 상이할 수 있다. 반면, 절연체층의 두께가 나노 수준을 벗어나 마이크로미터 수준에 도달하면, 예컨대, 절연체층의 두께가 1000 nm를 초과하게 되면, 유효한 입자 포집에 요구되는 가용 전압이 커지게 되어 유체 내에 버블 또는 반응계의 과도한 발열을 유발하여 유전영동 효과 및 효율성 및/또는 민감성이 현저히 저하될 수 있다.
- [0052] 전술한 바와 같이, 유전영동 효과는 불균일한 전기장에 의해 나타나는 현상이며, 본 개시의 전극 쌍은 연속적인 평면인 하나의 전극과 nm 수준의 절연체층에 의해 서로 평행하게 이격된 홀이 형성된 다른 하나의 전극 즉, 서로 상이한 형태의 대치되는 전극에 의해 형성되는 불균일한 전기장에 의해 유전영동 효과를 나타내는 것임을 고려할 때, 절연층의 두께가 증가하면 상대적으로 홀에 의한 결합이 작아지므로 이에 따른 유전영동 효과의 감소를 유도할 수 있다.
- [0053] 따라서, 절연체층의 두께 및/또는 홀의 크기는 이에 도입되는 포집 또는 분산시키고자 하는 입자의 크기를 고려하여 상호 유기적으로 조절할 수 있음은 당업자에 자명하다.
- [0054] 구체적으로, 필터는 수 cm² 이상, 바람직하게는 서브 m² 수준의 대면적으로 제조할 수 있으며, 이에 포함되는 홀의 크기 및 홀 간의 간격을 조절하여 적게는 수 개 내지 수 백개로부터 많게는 수 백만 개 이상까지 형성된 홀을 포함하므로, 이를 이용하여 균등 및/또는 균일한 힘으로 크기에 입자를 제어 예컨대, 선택적으로 크기에 따라 포집할 수 있다.

- [0055] 예컨대, 홀은 각각 독립적으로 50 nm^2 내지 $10,000 \text{ }\mu\text{m}^2$ 의 면적을 가질 필터식 장치에서 나타나는 감압에 의한 성능저하가 나타날 수 있으며, 개별 홀의 면적이 $10,000 \text{ }\mu\text{m}^2$ 를 초과하는 경우 전기장이 미치지 않는 공동(void)이 다수 존재하여 여과 성능에 안좋은 영향을 미칠 수 있다.
- [0056] 복수의 홀은 매트릭스 형태로 배치될 수 있으며, 모두 동일한 크기를 가질 수 있다. 또한, 각 홀은 서로 다른 크기를 가질 수 있다. 예를 들어, 복수의 홀이 복수의 열과 행으로 배치되는 경우, 제1 크기의 홀이 1열에 배치되고, 다른 크기의 홀이 2열에 배치되는 등의 형태일 수 있다.
- [0057] 또한, 홀은 단면적이 원형 형태일 수 있으며, 6각형과 같은 다각형 형태일 수도 있다.
- [0058] 본 개시에서 용어, "유전영동(dielectrophoresis: DEP)"은 불균일한(nonuniform) 전기장(electric field)에 놓였을 때, 유전체(dielectric) 입자에 힘이 가해지는 현상을 의미하는 것으로, 이러한 힘은 입자의 하전이 필요하지 않으며, 모든 입자는 전기장 존재 하에 유전영동 활성을 나타낼 수 있다.
- [0059] 이때, 가해지는 힘 즉, 유전영동력(force of dielectrophoresis: FDEP)의 세기는 전기장의 주파수는 물론 입자가 담겨진 매질(medium) 및 입자 자체의 전기적 특성, 입자의 모양과 크기에 의존한다. 따라서, 특정 주파수의 전기장을 이용하여 입자를 조절, 예컨대, 입자의 배향 및/또는 거동을 조절할 수 있다.
- [0060] 유전영동을 이론적으로 살펴보면, 입자가 주파수, ω 의 교류가 인가된 매질, 예컨대, 유체에 놓였을 때 받게 되는 유전영동력(FDEP)은 아래의 수학식으로 표현될 수 있다.
- [0061] [수학식 1]
- [0062]
$$F_{DEP}(\omega) = \pi \epsilon_m R^3 \cdot \text{Re}(f_{CM}(\omega)) \nabla |E|^2$$
- [0063] 상술한 수학식에서, ω 는 유전영동 전극 쌍에 인가되는 교류의 주파수, ϵ_m 은 입자를 둘러싼 유체(매질)의 유전율, R은 입자의 반경, E는 전기장의 크기이며, $\text{Re}(f_{CM}(\omega))$ 는 인가되는 교류의 주파수에 대한 클라우시우스-모소티(Clausius-Mossotti: CM) 함수의 실수부이다. 상술한 수학식에 있어서, 입자에 가해지는 유전영동력의 부호를 결정하는 인자는 클라우시우스-모소티(Clausius-Mossotti; CM) 함수의 실수부이며, 이는 하기의 수학식 2로 계산될 수 있다.
- [0064] [수학식 2]
- [0065]
$$f_{CM}(\omega) = \frac{\epsilon_p^*(\omega) - \epsilon_m^*(\omega)}{\epsilon_p^*(\omega) + 2\epsilon_m^*(\omega)}$$
- [0066] 이때, ω 는 유전영동 전극 쌍에 인가되는 교류의 주파수, ϵ_p^* 는 포집하고자 하는 입자의 유전율, ϵ_m^* 은 유체의 유전율이다.
- [0067] 이는 주파수, ω 의 교류 하에서 입자의 유전율이 매질의 유전율보다 큰 경우, 양의 클라우시우스-모소티 값을 갖게 되므로, 즉, $\text{Re}[f_{CM}] > 0$, 이때의 DEP를 양의 DEP라 칭하고, 이러한 상태에서 입자는 전기장의 구배가 큰 쪽으로 움직이게 된다. 이와 반대로, 입자의 유전율이 매질의 유전율보다 작은 경우, 음의 클라우시우스-모소티 값을 갖게 되므로, 즉, $\text{Re}[f_{CM}] < 0$, 이때의 DEP를 음의 DEP라 칭하고, 이러한 상태에서 입자는 전기장의 구배가 적은 쪽으로 움직이게 된다.
- [0068] 전술한 바와 같이, 특정의 주파수를 갖는 교류 전원을 인가함으로써 유전영동에 의해 특정 입자의 거동을 조절할 수 있는바, 이를 미세먼지 포집에 적용하기 위하여, 본 개시의 미세먼지 포집용 필터의 제1 전도체 전극 및 제2 전도체 전극은 교류 전원공급장치와 함께 전기적으로 연결된 회로를 구비할 수 있다.
- [0069] 본 개시의 용어, "미세먼지(particulate matter: PM)"는 분진이라고도 하며 눈에 보이지 않을 정도로 작은 입자인 먼지를 지칭한다. 아황산가스, 질소 산화물, 납, 오존, 일산화탄소 등을 포함하는 대기오염 물질로 자동차, 공장 등에서 발생하여 대기 중 장기간 떠다니는 미세한 먼지를 모두 포함할 수 있다.
- [0070] 학술적으로는 에어로졸(aerosol)이라고 부르며, 부유 분진(suspended particles, 입자사 물질(particulate matter) 등 다양한 명칭으로 불리며, 명칭에 따라 약간씩 다른 의미를 가지기도 한다. 통상 $10 \text{ }\mu\text{m}$ 이하의 크기

를 갖는 입자(PM10)를 종합적으로 미세먼지로, 2.5 μm 이하의 크기를 갖는 입자(PM2.5)는 초미세먼지로, 1.0 μm 이하의 크기를 갖는 입자(PM1.0)는 극초미세먼지로, 0.3 μm 이하의 크기를 갖는 입자(PM0.3)는 울트라극미세먼지로 세분화될 수 있다.

- [0071] 이들 미세먼지는 알레르기성 결막염, 각막염, 비염 등의 다양한 알레르기성 질환, 기관지염, 폐기종, 천식 등의 호흡기질환은 물론 피부질환, 모세혈관을 통한 심혈관계질환, 안구질환, 뇌질환 등을 유발하는 것으로 보고되었으며, 약 1 μm 이상의 크기를 갖는 미세먼지는 기관지까지 침투하나 이보다 작은 0.1 μm 내지 1 μm 크기의 입자의 경우 폐포까지 이를 수 있어 인체에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 미세먼지 특히, 1 μm 이하의 극초미세먼지 및 울트라극미세먼지를 제거하는 것은 매우 중요한 이슈이다.
- [0072] 예컨대, 본 개시의 필터를 이용하여 포집 가능한 미세먼지는, 전구체 수준인, 평균 직경 50 nm 내지 10 μm 의 크기를 갖는 입자일 수 있다. 전술한 바와 같이, 필터에 인가하는 교류의 주파수를 조절함으로써 포집하는 입자의 크기에 따라 선택적으로 조절할 수 있으므로, 이를 이용하여 포집할 수 있는 입자의 크기는 매우 광범위하다. 또한, 선택된 주파수에 의해 포집 가능한 입자의 크기 범위는 다소 한정적일 수 있으나, 서로 평행하게 위치시킨 필터에 서로 다른 주파수의 교류를 독립적으로 인가함으로써 각 필터에서 서로 다른 크기 범위의 입자를 포집할 수 있도록 할 수 있으므로, 이를 구비한 장치를 이용하여 저감시킬 수 있는 미세먼지의 크기 범위는 넓다.
- [0073] 한편, 이상에서는 본 개시의 필터가 미세 먼지를 포집하는 것으로 표현하였으나, 세균, 박테리아, 곰팡이 등을 포집하는 것도 가능하다.
- [0074] 본 개시에 따른 필터는 제1 전도체층, 5 nm 내지 1000 nm 범위에서 선택되는 일정한 두께의 절연체층, 제2 전도체층, 및 원하는 패턴이 고안된 감광성 수지층을 포함하는 층상형 구조물을 준비하는 제1단계, 에칭에 의해 절연체층, 제2 전도체층, 및 감광성 수지층을 고안된 패턴에 따라 선택적으로 식각하는 제2단계, 및 잔류하는 감광성 수지층을 제거하는 제3단계를 포함하는 공정을 통해 제조할 수 있다. 예컨대, 제조방법은 당업계에 공지된 다양한 소재의 적층 및 식각 방법을 조합하여 수행할 수 있다. 각 단계를 수행하는 구체적인 방법은 선택된 각 층의 소재에 따라 선택할 수 있다.
- [0075] 예컨대, 에칭에 의해 식각하는 단계는 건식 및/또는 습식 에칭방법을 사용하여 수행할 수 있다. 각 구성 층이 기지의 소재 및 두께로 형성된 경우, 건식 에칭 방법을 선택할 수 있으며, 이때 수행 시간은 선택된 방법에 따른 각 층의 식각률(etching rate)을 고려하여 결정할 수 있다.
- [0076] 한편, 절연체층으로 PVP 등의 고분자 필름을 포함하는 경우, 특정 용매(etchant)로 처리하는 간단한 방법으로 해당 고분자 필름만을 선택적으로 제거할 수 있는 점을 고려하여, 습식 에칭방법을 선택할 수 있다. 또는 필요에 따라, 제2 전도체층은 건식 에칭방법으로, 절연체층은 습식 에칭방법으로 식각하는 복합적인 방법을 사용할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 각 구성층의 소재, 당업계에 공지된 식각 방법 및/또는 공정 수행의 편의성과 경제성을 복합적으로 고려하여 식각 방법을 선택할 수 있다.
- [0077] 또한, 본 개시에 따른 층상형 구조물 및 유전영동 전극 쌍을 제조하는 다른 방법은 원하는 패턴으로 구멍이 뚫린 기판 상에 제1 전도체층, 5 nm 내지 1000 nm 범위에서 선택되는 일정한 두께의 절연체층, 및 패턴이 고안된 감광성 수지층을 포함하는 층상형 구조물을 준비하는 제1단계, 및 층상형 구조물에 절연체층 및 감광성 수지층에 의해 제1 전도체층과 이격되도록 제2 전도체층을 형성하는 제2단계를 포함할 수 있다. 감광성 수지층을 사용하지 않는 경우, 일회적 증착을 통해 제1 전도체층을 이미 원하는 패턴으로 구멍이 뚫려있는 기판 상에 당업계에 공지된 증착 방법 및/또는 공정을 수행함으로써 편의성 및/또는 경제성을 복합적으로 고려한 전도체 증착 방식을 이용하여 달성할 수 있다.
- [0078] 이후 전술한 제조방법에서와 같은 방식으로 5 nm 내지 1000 nm 범위에서 선택되는 일정한 두께의 절연체층을 증착/도포할 수 있다. 이때 사용 가능한 증착 방법으로는 화학기상증착법(chemical vapor 본 개시의 전극-절연체-전극 구조의 전극 쌍을 구현할 수 있다.
- [0079] 또한, 본 개시는 순차적으로 적층된 제1 전도체 전극, 절연체층, 및 제2 전도체 전극을 포함하며 양측 전극 및 절연체층은 동일한 크기와 형태로 서로 이격되어 형성된 1 개 이상의 홀을 포함하는 것인, 하나 이상의 필터를 구비한, 미세먼지 저감 장치를 제공할 수 있다.
- [0080] 이때, 상술한 장치는 필터(들)에 의해 분리되는, 여과되지 않은 공기를 흡입하는 흡입부 및 필터에 의해 미세먼지가 감소된 공기를 배출하는 배출부를 구비할 수 있다.
- [0081] 나아가, 본 개시의 미세먼지 저감 장치에 구비된 필터의 제1 전도체 전극 및 제2 전도체 전극은 전원 공급 장치

와 함께 전기적으로 연결된 회로를 구비할 수 있다.

- [0082] 이때, 전원 공급 장치를 통해 인가되는 교류는, 앞서 상술한 수학적 식 2를 이용하여 포집하고자 하는 미세먼지 입자에 대한, 인가되는 교류 주파수에 따른 클라우시우스-모소티(Clausius-Mossotti: CM) 곡선을 도출하고, 도출된 곡선에서 클라우시우스-모소티의 실수부가 양의 값을 나타내는 범위에서 선택되는 주파수를 가질 수 있다.
- [0083] 예를 들어, 교류 전원은 10 kHz 내지 10 MHz 주파수 및 0.1 내지 20 V 범위의 낮은 전압일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0084] 또한, 본 개시의 미세먼지 저감 장치는 이에 포집된 균류 또는 바이러스류의 박멸할 수 있도록 필터에 높은 전압을 인가하는 수단을 추가로 구비할 수 있다.
- [0085] 나아가, 본 개시의 미세먼지 저감 장치는 필터 세척 수단을 추가로 구비할 수 있다. 예컨대, 미세먼지가 포집된 필터는 물로 용이하게 세척할 수 있고, 세척 후에는 건조시켜 재사용할 수 있다.
- [0086] 예컨대, 본 개시의 미세먼지 저감 장치는 흡입부와 배출부 사이에 서로 평행하게 위치한 2 이상의 필터를 구비할 수 있다. 예를 들어, 공기의 이동 방향으로 제1 필터와 제2 필터가 구비될 수 있으며, 제1 필터는 제1 크기의 복수의 홀을 가질 수 있으며, 제2 필터는 제1 크기보다 작은 제2 크기의 복수의 홀을 가질 수 있다. 이러한 필터들은 공기 조화 장치에 교체 가능하게 장착될 수 있다.
- [0087] 한편, 구현시에는 미세먼지 저감 장치는 동일한 크기의 홀을 갖는 복수의 필터를 이용할 수 있으며, 이때, 각 필터의 홀의 배치는 서로 다른 배치를 가질 수 있다. 즉, 제1 필터의 홀에서 통과한 공기가 바로 제2 필터의 홀로 통과되지 않는 엇갈리 배치를 갖게하여, 포집 효과를 높일 수 있다.
- [0088] 나아가, 복수의 필터는 서로 독립적으로 상이한 주파수의 교류를 인가할 수 있도록 구비된 전원 공급 장치와 연결될 수 있다. 전술한 바와 같이, 본 장치에 구비된 2 이상의 필터에 서로 상이한 주파수의 교류를 인가하고 미세먼지를 함유한 공기를 차례로 통과시킴으로써 다양한 크기 범위의 입자를 순차적으로 포집할 수 있다. 이러한 단계적인 입자 포집의 원리를 도 2에 나타내었다.
- [0089] 예를 들어, 하나의 필터 구조물에 서로 다른 크기의 홀을 배치하여 하나의 필터가 서로 포집 동작을 수행하도록 할 수 있으며, 서로 다른 크기의 홀 크기를 갖는 복수의 필터를 공기 이동방향에 대해서 순차적으로 배치하여 미세먼지, 박테리아, 세균, 곰팡이 등 서로 다른 물체를 포집할 수 있다. 이때, 전원 공급 장치는 필터별로 각 물체에 대응되는 교류 전원을 제공할 수 있다.
- [0090] 또한, 본 개시는 기능성 필터로서 복수의 홀을 구비한 수직 나노 갭 전극을 구비하여 유전영동 방법에 의해 구동되는, 미세먼지 포집용 필터를 하나 이상의 구비한, 공기 조화 장치를 제공할 수 있다.
- [0091] 구체적으로, 미세먼지 포집용 필터에 있어서, 수직 나노 갭 전극은 순차적으로 적층된 제1 전도체 전극, 5 nm 내지 1000 nm 범위에서 선택되는 일정한 두께를 갖는 절연체층, 및 제2 전도체 전극을 포함하며, 양측 전극 및 절연체층은 동일한 크기와 형태로 서로 이격되어 형성된 1 개 이상의 홀을 포함하고, 양측 전극 및 절연체층은 동일한 크기와 형태로 서로 이격되어 형성된 1 개 이상의 홀을 포함하며, 이때, 공기 조화 장치는 필터(들)에 의해 분리되는, 여과되지 않은 공기를 흡입하는 흡입부 및 필터에 의해 미세먼지가 감소된 공기를 배출하는 배출부를 구비할 수 있다.
- [0092] 제1 전도체 전극, 제2 전도체 전극 및 절연체층의 소재 및/또는 구조는 전술한 바와 같다.
- [0093] 예컨대, 본 개시의 미세먼지 포집용 필터는 공기 조화 장치에 사용되는 기능성 필터를 대신하여 사용될 수 있다. 본 개시의 미세먼지 포집용 필터를 사용함으로써 해파 필터 사용시 발생하는 필터 전/후에서의 급격한 감압문제를 해소할 수 있으며, 또는 정전식 필터 사용시 인체에 유해한 오존이 발생하는 문제를 해소할 수 있다. 또한, 이들 기존의 필터는 재사용 불가하여 주기적인 교체가 불가피하므로 높은 유지비용이 발생하는 반면, 본 개시의 미세먼지 포집용 필터는 간단히 세척 및 건조하여 재사용할 수 있으므로, 장기간 사용 가능한 장점이 있다.
- [0094] 또는, 본 개시의 공기 조화 장치는 본 개시의 미세먼지 포집용 필터와 평행하도록, 흡입부와 미세먼지 포집용 필터 사이에 위치하는 전처리 필터, 미세먼지 포집용 필터와 배출부 사이에 위치하는 탈취 필터 및 해파(high efficiency particulate air: HEPA) 필터 중 하나 이상을 추가로 구비할 수 있다.
- [0095] 이와 같이, 본 개시의 미세먼지 포집용 필터를 기존의 전처리 필터, 탈취 필터 및/또는 해파 필터와 병용함으로써 전술한 기존 필터의 단점을 극복하고 보다 효율적으로 미세먼지를 제거할 수 있는 경제적이며 고 효율적인

공기 조화 장치를 제공할 수 있다. 본 개시에 따른 필터를 이용한 공기 조화 장치의 구체적인 구성 및 동작에 대해서는 도 18을 참조하여 후술한다.

- [0096] 나아가, 본 개시는 흡입부를 통해 미세먼지를 함유하는 공기를 흡입하여 미리 결정된 주파수의 교류가 인가되는 필터에 접촉시키는 단계, 및 필터를 통해 투과된 미세먼지가 저감된 공기를 배출부를 통해 외부로 배출하는 단계를 포함하는, 장치를 이용한 미세먼지 저감 방법을 제공한다. 이때, 항균 효과를 나타낼 수 있도록, 필터에 100 nm 두께의 절연층으로 이격된 전극 쌍을 기준으로 10 V 내지 50 V의 전압을 인가하여 이에 포집된 균류 또는 바이러스류의 박멸하는 단계를 추가로 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0097] 이는 기존의 멸균 장치의 경우 통상 300 V 내지 500 V의 전압을 10 분 내지 30분 정도 인가하여 항균 활성을 나타내는 것을 고려할 때, 현저히 낮은 전압으로 보다 효율적인 멸균효과를 기대할 수 있다.
- [0098] 또한, 사용 전 또는 후 미세먼지 저감 효율을 향상시키기 위하여, 필터를 세척하는 단계를 추가로 할 수 있다. 세척을 통한 필터 재사용의 원리는 앞서 설명한 바와 같다.
- [0099] 이하에서는 상술한 필터의 제조 동작을 자세히 설명한다.
- [0100] 제조 예 1: 일면에 패터화된 홀을 갖고 양면이 SiO₂로 이격된 대면적 수직 나노 갭 어레이의 제조
- [0102] 1-1. 절연체로 SiO₂를 포함하는 수직 나노 갭 어레이
- [0103] 1 cm×1 cm 면적으로 패터닝된 유리 기판 상에 40 nm 두께로 ITO 층을 4 mm ×4 mm 면적으로 형성한 후, PECVD(plasma-enhanced chemical vapor deposition) 장치를 이용하여 100 nm 두께로 SiO₂ 층을 증착시켰다. 이후, 열증착기로 100 nm 두께의 금(Au) 층을 SiO₂ 층 상에 형성하였다. 이어서, 감광성 수지(AZ152, Microchemical)를 스핀코팅하고 가열하여 감광성 수지층을 형성하였다. 감광성 수지층이 형성된 면에 일련의 직경 10 μm의 홀이 30 μm 간격으로 배열된 어레이 형태의 패턴을 갖는 포토 마스크를 위치시키고 포토 마스크 상에 자외선을 조사한 후 현상하여 마스크된 부분을 제거하였다.
- [0104] 이상과 같이 감광성 수지로 홀 어레이 패턴이 형성된 층상형 구조물에 유도결합플라즈마(inductively coupled plasma: ICP) 에칭을 수행하여 홀 패턴의 하단에 노출된 제2 전도체층 및 절연체층을 패턴과 동일한 형태로 식각하였다. ICP 에칭을 통한 식각시 식각물은 제2 전도체층을 구성하는 금 및 절연체층을 구성하는 SiO₂에서 상이한 바, 제1 절연체층은 유지하되 제2 전도체층 및 절연체층을 선택적으로 제거할 수 있도록, 이들 각 층의 두께 및 해당 소재에 대한 식각물을 고려하여 처리 시간을 산출하였다.
- [0105] 구체적으로, ICP 에칭에 의한 SiO₂ 식각의 경우, 아르곤 가스 15 sccm, CHF₃ 가스 90 sccm 하에 4 mTorr 압력에서 ICP 2700 W, 바이어스 75 W로 헬륨 5 mTorr 압력으로 약 230 nm/초의 조건으로 식각하였다. 한편, 금(Au) 층의 경우, 아르곤 가스 8 sccm, Cl₂ 가스 4 sccm 하에 0.5 Torr 압력에서 ICP 1000 W, 바이어스 150 W로 헬륨 5 mTorr 압력으로 약 130 nm/초의 조건으로 식각하였다.
- [0107] 1-2. 절연체로 PVP를 포함하는 수직 나노 갭 어레이
- [0108] 180 nm 두께의 ITO 층이 1 cm×1 cm 면적으로 패터닝된 유리 기판 상에 폴리비닐페놀(polyvinylphenol: PVP) 용액을 스핀코팅하고 가열하여 PVP로 된 110 nm 두께의 절연체층을 형성하였다. 이어서 PVP 층 상에 감광성 수지(AZ1512)를 스핀코팅하고 가열하여 감광성 수지층을 형성하였다.
- [0109] 감광성 수지층이 형성된 면에 일련의 직경 10 μm의 홀이 30 μm 간격으로 배열된 어레이 형태의 패턴을 갖는 포토 마스크를 위치시키고 포토 마스크 상에 자외선을 조사한 후 현상하여 마스크된 부분을 제거하였다. 패턴화된 감광성 수지층을 포함하는 적층 구조물 상의 패턴화된 면에 열증착 방식으로 120 nm 두께의 금 박막을 형성하였다. 이후, 아세톤으로 처리하여 잔여 감광성 수지 패턴 및 이의 표면에 형성된 불필요한 금 박막을 제거하고 홀 어레이 형태의 패턴을 갖는 금 박막 층을 획득하였다. 나아가, 100 mTorr 압력에서 100 sccm 유속의 산소 가스를 이용한 반응성 이온 식각(reactive ion etching)을 통해 150 W로 2분 15초 동안 처리하여 패턴된 금 박막을 마스크로 사용하여 이에 의해 가려지지 않은 홀 부분에 노출된 PVP 절연체층의 부분을 선택적으로 제거하였다.

- [0111] 1-3. 수직 나노 갭 어레이의 형상분석
- [0112] 제조 예 1-1 및 1-2에 따라, 각각 수 mm^2 및 수 cm^2 면적으로 제조된, 절연체로 된 나노 갭으로 이격되고, 연속적으로 형성된 하나의 전극과 복수의 홀 어레이 패턴이 형성된 다른 하나의 전극을 포함하는 전극 쌍을 육안으로 그리고, 현미경으로 확대 관찰하였다. 나아가, 미세 홀 어레이 패턴 및 단면은 SEM으로 관찰하여 그 존재를 확인하였다.
- [0114] 제조 예 2: 볼투를 또는 나노임프린트 방식에 의해 대칭적으로 형성된 오픈홀 구조를 갖는 대면적 수직 나노 갭 어레이의 제조
- [0115] 제안하는 대면적 나노 갭 전극 필터 개발을 위하여, 기본 구조체로서 규칙적으로 마이크로 크기의 홀이 뚫려 있는 대면적의 고분자 프레임의 제작하는 공정을 우선적으로 확인하였다. 홀이 뚫려 있는 고분자 프레임 제작의 기본 원리로는 가스 투과성 고분자 구조물인 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane: PDMS)을 이용하여, UV 경화성 고분자에 함유되어 있는 산소의 농도를 국소적으로 제어함으로써, UV 경화가 지연되는 현상을 이용하였다.
- [0116] 구체적으로, UV 경화성 물질이 도포된 PDMS 마이크로 구조물과 PDMS 편평한 면을 접촉시킨 후, UV를 조사하여 경화시키되 처리 시간을 조절하여 단일 스케일의 마이크로 홀이 뚫린 고분자 프레임을 제작하였다. 또한, 동일한 원리를 이용하여, 멀티 스케일의 구조체를 제작하되, 아래쪽에 PDMS 마이크로 구조물을 위치시키고, 위쪽에는 상응하는 위치에 PDMS 나노구조물을 맞게 위치시켜 UV 경화 시간을 조절함으로써, 마이크로 구조물이 나노 홀이 뚫린 멤브레인을 지지하는 형태의 멀티 스케일 고분자 프레임을 형성하였다.
- [0117] 전술한 고분자 프레임 제조방법을 이용하여 확장 적용함으로써, 단일 스케일의 경우, 500 μm , 50 μm , 10 μm 등 폭넓은 범위에서 조절된 마이크로 크기의 홀을 갖는 멤브레인을 형성하였으며, 나노 홀이 뚫려 있는 나노 멤브레인이 마이크로 지지체에 지탱된 형태의 멀티 스케일의 프레임의 경우, 수백 nm로부터 수백 μm 범위에서 홀 크기를 조절하여 폭넓은 조합으로 구조물을 형성함으로써 목적에 맞는 원하는 형상을 설계 및 제작하여 사용하였다.
- [0118] 한편, 이상에서는 제1전도체 전극, 절연체층, 제2전도체 전극이 순차적으로 적층된 3층의 구조로 구성되는 필터를 설명하였지만, 구현시에는 제2 전도체 전극 이후에 추가 절연체층, 추가 전도체 전극을 배치시킬 수 있다. 이와 같은 구조를 통하여 복수의 필터를 적층한 효과를 낼 수 있다. 또한, 상술한 구성 이외에 전극의 부식을 방지하기 위한 절연층 또는 코팅층 등이 구비될 수도 있다.
- [0120] 실시 예 1: 유전영동법을 이용한 마이크로입자의 포집 및 분산
- [0121] 본 개시에서는 수직 나노 갭 어레이 전극 쌍을 이용하는 유전영동법에 의한 마이크로입자의 포집을 가시적으로 확인하기 위하여 일 전극면이 연속으로 형성된 제조 예 1에 따라 준비한 전극 쌍을 이용하여 주파수에 따른 입자 거동을 확인하였다.
- [0122] 먼저, 실제 실험에 앞서, 시뮬레이션을 통해 유전영동 현상을 예측하였다.
- [0123] 유전영동 현상에 의해 입자에 작용하는 힘은 입자의 이를 둘러싼 물질의 전도도, 유전율 및 인가되는 교류 전압의 주파수에 의해 결정되며, 이는 상술한 수학식 1에 따라 산출할 수 있다.
- [0124] 상술한 제조 예 1 및 2에 따라 준비된 유전영동 전극 쌍에 교류 전압을 인가하였을 때, 발생하는 전기장의 분포를 도 3(A)에, 이론적으로 도출된 10 μm 크기의 이스트 균에 대한 주파수에 따른 클라우시우스-모소티 함수를 도 3(B)에 나타내었다. 이스트 균의 경우, 문헌값을 통해 얻어진 값을 대입하여 계산한 클라우시우스-모소티 값은 1 MHz를 기준으로 그 특성이 변화하는 것으로 나타났으며, 구체적으로, 1 MHz 미만의 주파수에서 양의 수치를, 1 MHz 초과 주파수에서는 음의 수치를 나타내었다.
- [0125] 도 3(B)의 그래프로부터, 상술한 2개의 수학식을 통해 산출되는 교류 전압 인가 시 입자에 가해지는 유전영동력을 입자의 움직임과 결부시키면, 양의 유전영동력을 받는 입자는 전극을 향하여 이동하는 반면, 음의 유전영동력을 받는 입자는 전극을 등지는 방향으로 이동할 것으로 예상되었다.

- [0127] 실시 예 2: 유전영동법을 이용한 폴리스티렌 비드의 포집 및 분산
- [0128] 본 개시에서는 초미세먼지 내지 극초미세먼지 수준의 크기를 가지며, 바이러스 입자와 크기 및 성질이 유사한 직경 1 μm 의 폴리스티렌(polystyrene: PS) 입자를 사용하여, 상술한 제조 예 1에 따라 제조한 전극 쌍의 입자 포집능을 확인하였다.
- [0129] 이론적 계산으로 예측한 결과가 실제 본 개시의 유전영동 전극 쌍을 이용하여 구현 가능한지 확인하기 위하여, 제조 예 1에 따라 제조한 전극 쌍의 홀 어레이 패턴이 형성된 면에 직경 1 μm 크기의 폴리스티렌 입자를 포함하는 유체(18.2 M Ω 이상의 3차 증류수)와 접하도록 장치를 구성하고 전기적으로 연결된 전극에 교류 전원을 연결하여 유전영동 현상을 유도한 후 교류의 주파수에 따른 유체 내 입자의 거동을 비디오로 찍어 확인하였다. 구체적으로, 제조 예 1-1에 따라 제조된 전극 쌍을 구비한 장치에는 100 kHz 및 10 MHz로 주파수를 변경하면서 100mV의 전압을 인가하고, 제조 예 1-2에 따라 제조된 전극 쌍에는 0.1 V의 낮은 전압으로 100 kHz 및 1 MHz 주파수의 교류를 인가하여 입자의 거동을 측정하고, 그 결과를 각각 도 4와 5에 나타내었다.
- [0130] 도 4에 나타난 바와 같이, 양의 클라우시우스-모소티 값을 갖게 되는 100 kHz의 교류가 인가되는 경우, 입자는 전극을 향하는 방향으로 유전영동력을 받아 홀 내에 포집되어 전극과 인접하게 홀의 테두리를 따라 배열되었으나, 음의 클라우시우스-모소티 값을 갖게 되는 10 MHz의 교류가 인가된 경우에는 이와 반대 방향으로 작용하는 힘을 받아 입자들이 홀의 외부로 또는 전극과 멀어지는 홀의 중앙부로 분산 이동되는 경향을 나타내었으며, 이는 주파수를 변경함에 따라 반복적으로 관찰되었다.
- [0131] 또한, 도 5에 나타난 바와 같이, 제조 예 1-2에 따라 제조된 전극 쌍에 있어서도, 이와 유사하게 양의 클라우시우스-모소티 값을 갖게 되는 100 kHz의 교류가 인가된 경우 입자들은 전극 방향으로 이동하여 즉, 홀의 경계면으로 배열되어 홀 내에 포집되는 반면, 0에 가까운 클라우시우스-모소티 값을 갖게 되는 1 MHz의 교류를 인가한 경우에는 입자들이 분산되는 경향을 나타내었다. 이는 본 개시에 따라 제조된 전극 쌍은 낮은 전압에서 유전영동력에 의한 입자의 포집 나아가, 상술한 원리에 의해 크기 및/또는 유전율이 상이한 입자들의 혼합물로부터 특정 입자를 분리할 수 있음을 나타내는 것이다.
- [0133] 실시 예 3: 유전영동법을 이용한 탄저균 모사체의 포집
- [0134] 본 개시의 전극 쌍을, 유전영동법을 이용한 바이오 물질의 포집에 적용할 수 있는지 확인하기 위하여, 폴리스티렌 입자 대신에 탄저균 모사체인 바실러스 서브 틸리스를 함유하는 시료를 이용하여 상술한 실험예와 유사한 방법으로 시험하였다.
- [0135] 구체적으로, 직경 10 μm 의 홀 어레이를 갖는 금-ITO 전극 쌍을 구비한 장치에 37℃에서 16 시간 내지 20 시간 배양한 바실러스 서브틸리스 포자(spore)를 접촉시키고, 100 kHz 주파수의 3 V 교류 전압을 인가하고, 유체 내에서 전극 홀 내에 박테리아가 포집된 것을 SEM으로 확인하여, 그 결과를 도 8에 나타내었다. 도 8에 나타난 바와 같이, 교류 전압 인가시 바실러스 서브틸리스는 전극에 포집되어, 패턴된 홀의 경계를 따라 배열되었다. 이는 본 개시의 전극 쌍을 이용한 전기영동법에 의해 유체 중에 존재하는 실제 바이오 물질 예컨대, 박테리아의 포집 및/또는 분리가 가능함을 나타내는 것이다.
- [0137] 실시 예 4: 수직 나노 갭 전극에서 미세먼지 포집 효율 시뮬레이션
- [0138] 수평 전극에 대한 수직 나노 갭 전극의 우수한 입자 포집능을 확인하기 위하여, 10 μm 직경의 홀을 포함하며 100 nm 두께의 절연층으로 이격된 전극 쌍을 구비한 수직 나노 갭 전극 및 비교 예로서 이와 동일한 규모로 제작된 10 μm 직경의 홀을 갖도록 제조된 수평 전극에 대해 0.1 m/s 정면속도(face velocity)의 흐름 하에 10 Vpp (peak-to-peak voltage)의 전류 인가시 입자 포집 범위를 시뮬레이션하여 도 9에 함 나타내었다.
- [0139] 도 9에 나타난 바와 같이, 10 μm 직경의 동일한 크기로 형성된 홀을 포함하는 수직 및 수평 전극은 정면속도 0.1 m/s 흐름 하에 양 전극에 10 Vpp의 전류 인가시 홀의 외주로부터 각각 3.4 μm 및 2.3 μm 범위 이내에 유효하게 입자를 포집할 수 있는 것으로 확인되었으며, 이는 면적으로 환산시 동일 조건하에서 수직 나노 갭 전극이 동일한 규모의 수평 나노 갭 전극에 비해 월등한 포집 성능을 발휘함을 나타내는 것이다.
- [0140] 나아가, 병렬로 정렬한 필터의 갯수 및/또는 수직 나노 갭 전극에 인가되는 전압에 따른 미세먼지 포집 효율을 확인하고자, 필터의 갯수를 1 개 내지 5 개로 변화시키고, 각각에 대해 1 Vpp, 5 Vpp, 10 Vpp, 15 Vpp 및 20

Vpp의 전압을 인가하였을 때의 미세먼지 제거 효율을 시뮬레이션하고, 그 결과를 도 10에 나타내었다.

[0141] 이때, 필터로는 5 μm 직경의 홀을 갖는 100 nm 두께의 절연층으로 이격된 수직 나노 갭 전극을 사용하였으며, 2.5 μm 크기의 입자가 0.1 m/s 정면속도로 흐르는 것을 전제하였다.

[0142] 예를 들어, 도 10에 나타난 바와 같이, 0.1 m/s 정면속도에서 10 Vpp를 인가한 경우, 같은 100 nm 갭을 갖는 두 종류의 전극(수직 나노 갭 대 수평 나노 갭)에 대해, 수직 나노 갭 전극은 단일 필터로 투과되는 공기 중 84%의 미세입자를 저감시킬 수 있는 반면, 수평 나노 갭 전극의 경우 저감률은 30%에 불과하였다.

[0143] 이는 적층형 구조로 확장시킬 경우보다 현저하게 나타나는데, 수직 나노 갭의 경우 3개 필터를 적층하여 사용하는 경우 99%의 미세입자 저감 효과를 달성할 수 있으나, 수평 나노 갭의 경우 5개 필터를 적층하여도 저감률에 미치지 못하였다. 1 Vpp의 낮은 전압에서도 입자 포집능을 나타내기 시작하였으며, 전압을 증가시킴에 따라 포집율은 현저하게 증가하여 20 Vpp의 전압을 인가하는 경우 단일 필터만으로도 70% 이상의 포집율을 나타내었으며, 복수의 필터를 병렬 배치하여 사용하는 경우 10 Vpp로 75% 이상, 15 Vpp로 90% 이상의 포집율을 달성하였다.

[0145] 실시 예 5: 수용액 및 대기 환경에서의 미세먼지 포집

[0146] 미세먼지 모사체로서 수십 nm 내지 수십 μm 크기의 입자를 포함하는 아리조나 더스트(Arizona dust)를 사용하여 수용액 상에서 입자의 포집을 확인하고, 그

[0147] 결과를 도 11에 나타내었다. 이때 전극으로는 10 μm 간격으로 이격된 수평 전극과 10 μm 크기의 홀을 포함하며 500 nm 두께의 절연층으로 이격된 수직 나노 갭 전극을 사용하였다.

[0148] 도 11에 나타난 바와 같이, 루이즈빌 대학의 Duff의 연구결과에 따르면, 수평 전극을 사용한 경우, 공기 중에서 60 Hz 주파수로 100 V의 교류전압을 인가하였을 때 입자 포집능을 나타내는 반면, 수직 나노 갭 전극은, 0.5 V의 낮은 전압을 인가한 경우에도 입자를 포집하는 것을 확인하였다(J. D. Duff, Master's thesis, 2013).

[0149] 나아가, 공기 중의 미세먼지 제거에 적용 가능성을 확인하기 위하여 수용액상이 아닌 공기 중에서 입자 포집능을 확인하였다. 기존에 공기 또는 수용액 상에서 측정된 결과와 함께 공기 중에서 입자를 포집하기 위해 사용한 조건을 이온값 기반으로 시뮬레이션하여 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

	수평 전극	수직 전극 1	수직 전극 2	수직 전극 3
전극 갭	10 μm	500 nm	100 nm	100 nm
환경	공기 중 ($\epsilon_m = \epsilon_0$)	수용액 상 ($\epsilon_m = 80 \epsilon_0$)	수용액 상 ($\epsilon_m = 80 \epsilon_0$)	공기 중 ($\epsilon_m = \epsilon_0$)
동일 F _{DEP} 생성에 필요한 전압	42.6 V	0.50 V	0.26 V	8.00 V

[0151]

[0152] 실시 예 6: 미세먼지 모델 테스트를 통한 초미세먼지 포집

[0153] 상시 실시 예 4에서 시뮬레이션을 통해 미세먼지 저감 효과를 확인한 수직 나노 갭 전극을 구비한 필터에 실제 먼지를 모사한 미세입자를 가하여 포집 및/또는 제거 효율을 확인하였다. 미세먼지 모사체로는 수십 nm 내지 수십 μm 크기의 입자를 포함하는 아리조나 더스트(Arizona dust)를 사용하였다. 일정한 흐름 속도로 필터를 통과할 수 있도록 아리조나 더스트를 초음파 가습기를 통해 분무하여 수 증기 입자에 실어 보냈다. 이때 측정에 사용한 장치를 개략화하여 도 12(A)에 나타내었으며, 도 12(B)에는 15 kHz 주파수로 10 V의 전압을 인가하여 유전 영동을 유도하고, 전압인가 전/후 전극의 형태를 이에 포집된 입자와 함께 SEM으로 측정한 결과를 도시하였다. 이를 실험적으로 구현하기 위하여, 미세입자를 균일하게 공기 중에 분산시키기 위하여 초음파 기반의 가습기에 아리조나 더스트를 넣고 분사하여, 이로부터 형성되는 1 μm 내지 2 μm 직경의 물방울 내에 함유되어 분사되는 미세입자를 가습된 물방울이 건조되는 시점에서 포집하였다.

[0154] 도 13은 (a) 위아래가 개구부로 뚫려있는 실리콘 기판 상의 수직 정렬 나노 갭 전극 구조, (B)는 전체 필터의

구조, (C)는 단일 유닛 수직 정렬 나노 갭 전극 구조에 대한 SEM 결과를 나타낸 도이다.

- [0155] 도 13을 참조하면, 필터는 실리콘 기판 상부에 제1 전도체층, 절연층, 제2 전도체층이 순차적으로 적층된다. 여기서 제1 전도체층은 50 nm 두께를 가지며, 금(Au)으로 구성될 수 있다. 그리고 절연층은 제1 전도체층 상에 위치하며, 100 nm의 두께를 가지며 Al_2O_3 소재로 구성될 수 있다. 그리고 제2 전도체층은 절연층 상에 위치하여 50 nm 두께를 가지며, 금(Au)으로 구성될 수 있다.
- [0156] 그리고 실리콘 기판, 제1 전도체층, 절연층, 제2 전도체층을 관통하는 복수의 홀을 가질 수 있으며, 복수의 홀 각각은 직경 30 μm 를 가질 수 있다. 도 13 (b), (c)를 실리콘 기반의 지지체에 미세 홀이 형성됨을 확인할 수 있다.
- [0158] 도 14는 나노 갭을 이용한 공기 중의 입자 포집 원리를 설명하기 위한 도이다.
- [0159] 도 14를 참조하면, 나노 갭에 교류 전원이 인가되면 나노 갭 영역에 전기장이 발생하게 된다. 입자가 발생한 유속(예를 들어, 0.1 m/s 속도)으로 홀을 통과하게 되는 경우, 홀 측면에 있는 나노 갭의 유전영동력에 의하여 특정 크기의 입자는 포획될 수 있다. 이하에서는 도 15를 참조하여, 입자 크기별 선택적 포집 동작에 대해서 설명한다.
- [0161] 도 15는 입자 크기에 따른 선별적 포집 동작을 설명하기 위한 도이다.
- [0162] 도 15를 참조하면, 10 μm 의 홀에 나노 갭은 100 nm이고, 20V의 교류 전원이 인가된 경우이다. 상술한 조건에서 20 V의 교류 전원은 1 μm 크기의 입자를 포획을 위한 것으로, 도시된 바와 같이 300 nm 입자는 해당 홀을 통과하고, 1 μm 입자는 홀 측면에 있는 나노 갭의 유전 영동력에 의하여 포집될 수 있다. 이때 1 μm 입자는 부피가 큼으로 인해서, 임계값 이상의 유동영동력을 통해서 전극부의 가장 주변부로 포집할 수 있다.
- [0164] 도 16은 도 13과 같이 형성한 필터에 대한 포집 동작 전/후의 SEM 이미지이다.
- [0165] 도 16을 참조하면, 포집 동작은 20V 교류 전원을 이용하였으며, 비교적 낮은 20V 전압에 의해서도 300 nm 이하의 나노 입자를 포집함을 확인할 수 있다. 기존의 기술을 이용하여 300 nm 이하의 나노 입자를 포획하기 위해서는 대략적으로 200 V 내지 250 V의 교류 전압이 필요하다는 점을 비교하였을 때, 본 개시를 이용한 필터는 필터 동작시에 소비 전력을 줄일 수 있게 된다.
- [0167] 도 17은 가습 환경에서 수직 나노 갭 전극의 입자 포집능을 관찰할 결과를 나타낸 도이다. 구체적으로, 가습 환경에서의 포집 동작을 확인하기 위한 SEM 이미지로, 20 V의 전압 크기와 100 Hz 주파수를 갖는 교류 전원이 이용되었다.
- [0168] 도 17을 참조하면, 교류 전원이 인가되지 않는 경우, 즉 나노 갭을 이용하여 유전 영동 방식을 이용한 포획을 수행하지 않는 경우, 입자의 크기와 상관없이 홀이 배치되지 않는 영역에 입자가 시간에 따라 쌓이게 됨을 확인할 수 있다.
- [0169] 반면에, 교류 전원이 인가되는 경우, 즉 유전 영동 방식을 이용한 포획을 수행하는 경우, 홀 주변에 비교적 일정한 크기의 입자만이 시간에 따라 점차 포집 됨을 확인할 수 있다.
- [0171] 도 18은 본 개시의 일 실시 예에 따른 공기 조화 장치의 구성을 도시한 블록도이다.
- [0172] 도 18을 참조하면, 공기 조화 장치(100)는 필터(200), 팬 조립체(110), 전원 공급 장치(120) 및 프로세서(130)를 포함할 수 있다. 여기서, 공기 조화 장치(100)는 공기 조화의 목적을 달성하기 위해 필요한 장치로, 공기를 냉각, 가열, 가습, 감습, 정화하는 기능 중 적어도 하나를 수행하고, 그 종류에는 공기 청정기, 에어컨, 가습기, 진공 청소기 등이 있을 수 있다. 또한, 상술한 공기 조화 장치는 가정용뿐만 아니라, 공장의 미세먼지 등을 포집하기 위한 공기정화시설일 수도 있다.
- [0173] 필터(200)는 나노 갭을 구성하는 복수의 홀을 포함할 수 있다. 예를 들어, 필터(200)는 제1 전도체층, 5 nm 내

지 1000 nm 범위 내의 두께를 갖는 절연층 및 제2 전도층이 순차적으로 적층되고, 제1 전도층, 절연층 및 제2 전도층을 관통하는 복수의 홀을 포함할 수 있다. 이러한 필터(200)에 대해서는 앞서 미세먼지 제거용 필터로 설명하였는바, 중복 설명은 생략한다.

- [0174] 팬 조립체(110)는 공기 조화 장치 내의 공기 유동을 발생할 수 있다. 구체적으로, 팬 조립체(110)는 팬을 구비하여 외부로부터 공기를 유입받고, 유입된 공기를 필터(200)에 제공하고, 필터(200)를 통과한 공기가 외부로 유출되도록 할 수 있다. 이와 같은 팬 조립체(110)는 공기 유동의 상류측에 배치될 수 있으며, 하류 측에 배치될 수도 있다.
- [0175] 전원 공급 장치(120)는 공기 조화 장치(100) 각각에 전원을 공급할 수 있다. 그리고 전원 공급 장치(120)는 필터(200)에 교류 전원을 공급할 수 있다. 예를 들어, 전원 공급 장치(120)는 외부로부터 상용 교류 전원을 입력받아, 기설정된 DC 전원을 생성하여 프로세서(130) 등의 구성에 직류 전원을 공급할 수 있으며, 기설정된 주파수 및 기설정된 전압을 갖는 교류 전원을 생성하여 필터(200)에 제공할 수 있다.
- [0176] 또한, 전원 공급 장치(120)는 박테리아 등을 박멸할 수 있는 고전압을 생성할 수 있다.
- [0177] 여기서 생성되는 교류 전원은 후술하는 프로세서(130)의 제어에 따라 주파수 또는 전압 크기 중 적어도 하나가 가변될 수 있다.
- [0178] 프로세서(130)는 공기 조화 장치(100) 내부의 각 구성을 제어한다. 예를 들어, 프로세서(130)는 공기 조화 동작이 필요하면, 외부 공기가 필터(200)에 공급되도록 팬 조립체(110)를 제어할 수 있으며, 기설정된 주파수 및 전원을 갖는 교류 전원이 필터(200)에 제공되도록 전원 공급 장치(120)를 제어할 수 있다.
- [0179] 그리고 프로세서(130)는 포집 물질의 크기가 선택되면, 선택된 포집 물질의 크기에 대응되는 주파수 및 전압 크기의 교류 전원이 필터에 제공되도록 전원 공급 장치를 제어할 수 있다. 여기서 주파수 및 전압 크기는 앞서 설명한 수학적 1 및 2에 의하여 결정될 수 있으며, 미리 저장된 룩업 테이블(예를 들어, 포집 대상에 대응되는 주파수 및 전압 크기 정보가 저장된 테이블)을 이용할 수 있다.
- [0180] 그리고 프로세서(130)는 감지되는 미세먼지의 양에 기초하여 필터(200)에 공급되는 교류 전원의 크기를 조정할 수 있다. 예를 들어, 미세 먼지의 양이 적게 검출되는 경우, 프로세서(130)는 비교적 낮은 전압(예를 들어, 1~5V)이 인가되도록 전원 공급 장치(120)를 제어하여 소비 전력을 줄일 수 있으며, 미세 먼지의 양이 많이 감지되면 상대적으로 높은 전압(10 V ~ 20 V)이 인가되도록 전원 공급 장치(120)를 제어하여 나노 갭의 포집 범위를 넓도록 할 수 있다.
- [0181] 그리고 프로세서(130)는 공기 조화 장치의 동작 모드에 따라 필터(200)의 포집 동작을 제어할 수 있다. 예를 들어, 공기 조화 장치는 특정의 물체를 포집하는 포집 모드와 포집된 물체를 방출하는 배출 모드를 포함할 수 있으며, 포집 모드시에는 필터(200)의 복수의 홀이 대상 물체에 대한 인력을 갖는 제1 교류 전원을 공급하도록 전원 공급 장치(120)를 제어할 수 있으며, 배출 모드시에는 필터(200)의 복수의 홀이 대상 물체에 대한 척력을 갖는 제2 교류 전원을 공급하도록 전원 공급 장치(120)를 제어할 수 있다.
- [0182] 그리고 프로세서(130)는 세균, 박테리아 등의 미생물을 포집하는 모드로 동작하는 경우, 기설정된 주기 단위로 필터(200)에 세균, 박테리아 박멸이 가능한 고전압이 공급되도록 전원 공급 장치(120)를 제어할 수 있다.
- [0183] 한편, 공기 조화 장치(100)에는 추가적으로 사용자 인터페이스 장치(미도시) 더 포함할 수 있으며, 사용자 인터페이스를 통하여 사용자가 설명한 동작 모드(또는 포집 대상)를 선택받고, 선택받은 동작 모드(또는 포집 대상)를 포집하도록 하는 주파수 및 전원이 필터(200)에 제공하도록 전원 공급 장치(120)를 제어할 수 있다.
- [0184] 또한, 공기 조화 장치(100)는 공기 중의 입자 크기를 감지하는 센서(미도시)를 이용하여, 감지된 입자 크기에 대응되는 주파수 및 전원을 갖는 교류 전원이 필터(200)에 제공하도록 전원 공급 장치(120)를 제어할 수 있다.
- [0185] 이상과 같이 본 실시 예에 다른 공기 조화 장치는 미세 먼지뿐만 아니라, 세균, 박테리아, 곰팡이 등을 포집하는 것이 가능하며, 필터에 공급되는 교류 전원을 가변하여 포집 대상을 적응적으로 변경하여 포집 동작을 수행할 수 있다. 또한, 상술한 공기 조화 장치는 나노 갭을 갖는 필터를 이용함으로써, 보다 낮은 전압(예를 들어, 1 ~ 50V)으로 미세먼지, 세균 등의 포집이 가능하다.
- [0186] 이상에서는 본 개시의 바람직한 실시 예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 개시는 상술한 특정의 실시 예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 개시의 요지를 벗어남이 없이 당해 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시들은 본 개시의 기술

적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어져서는 안될 것이다.

부호의 설명

[0187]

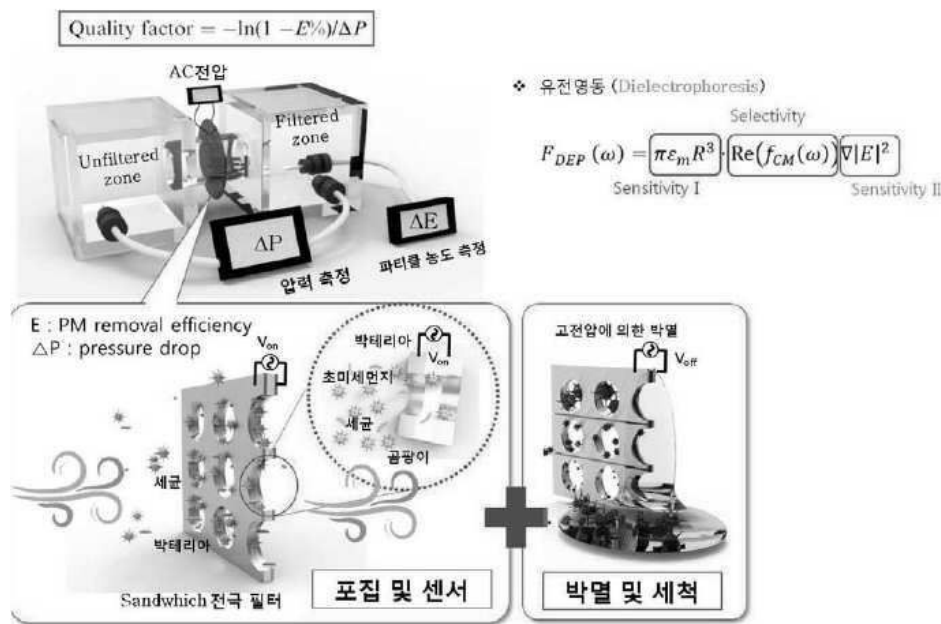
100: 공기 조화 장치 200: 필터

210: 팬 조립체 220: 전원 공급 장치

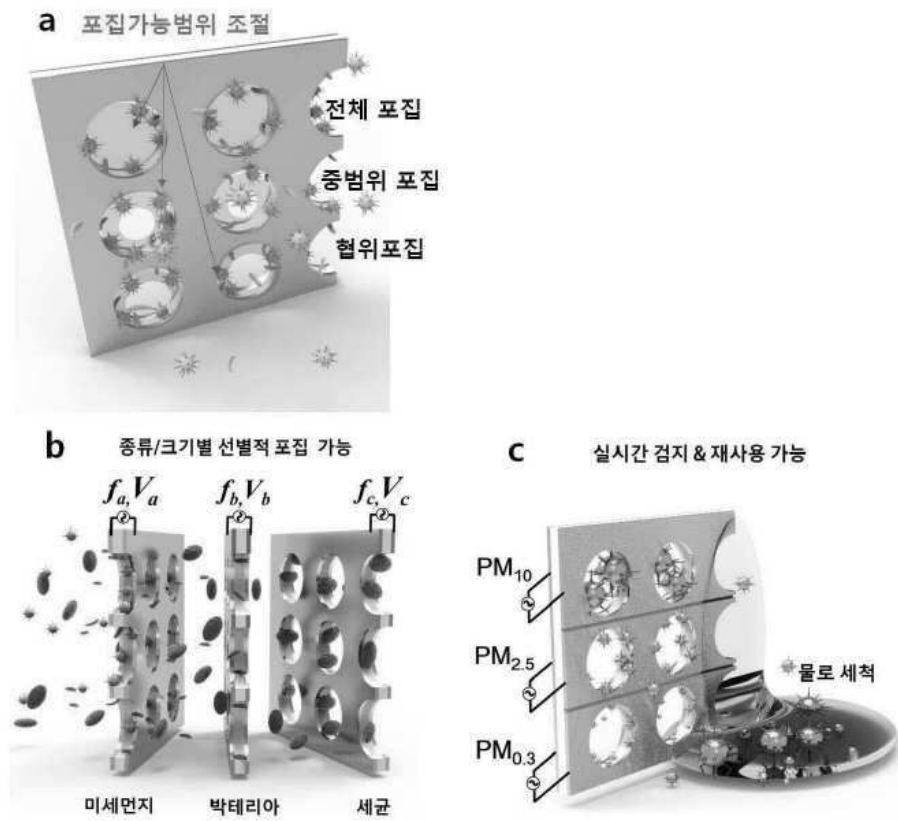
230: 프로세서

도면

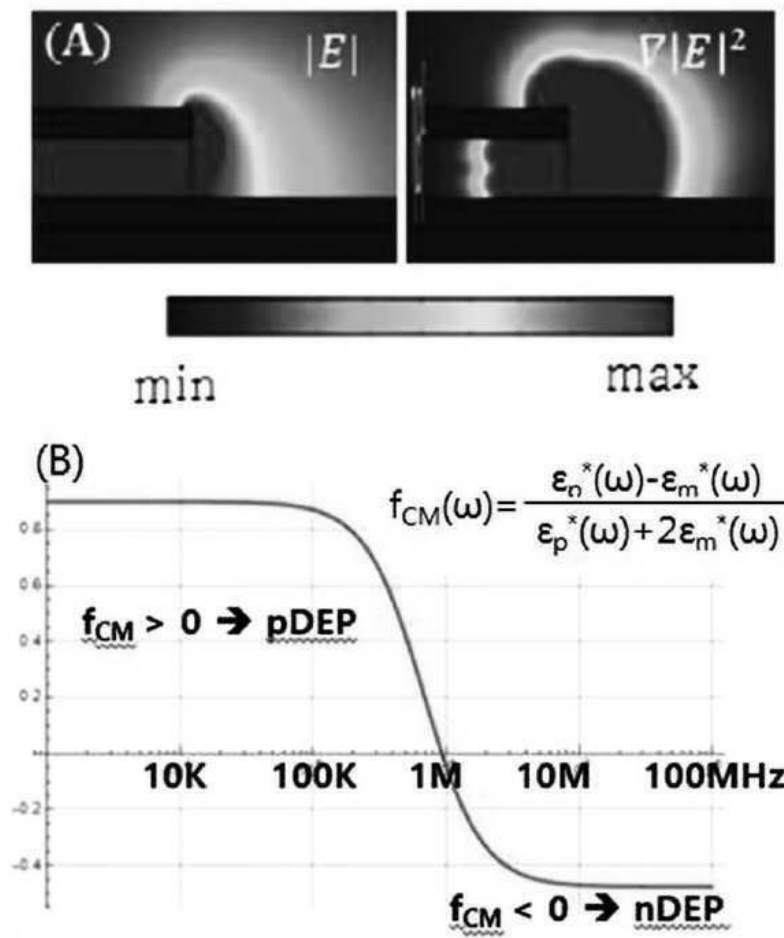
도면1



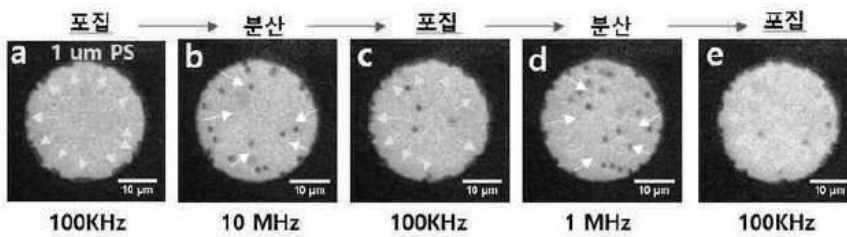
도면2



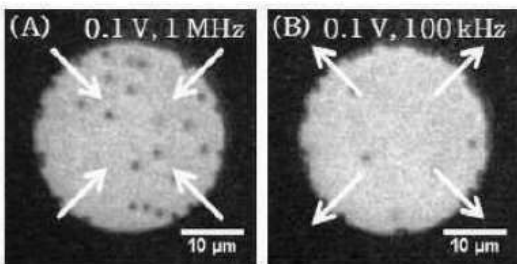
도면3



도면4



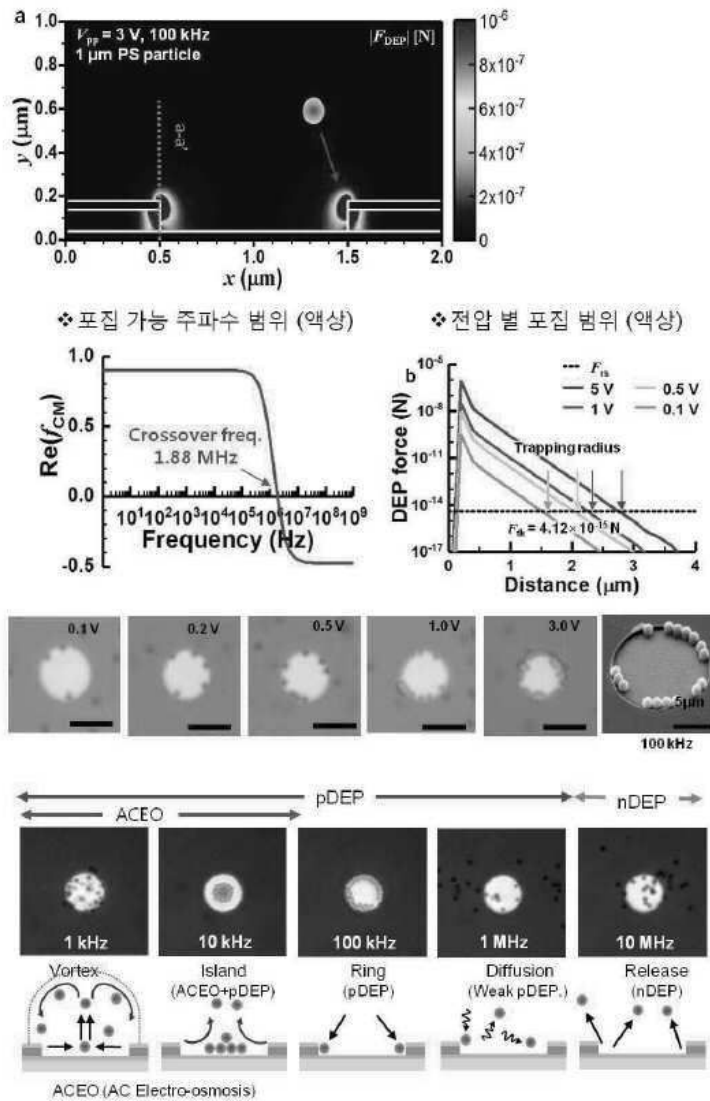
도면5



도면6

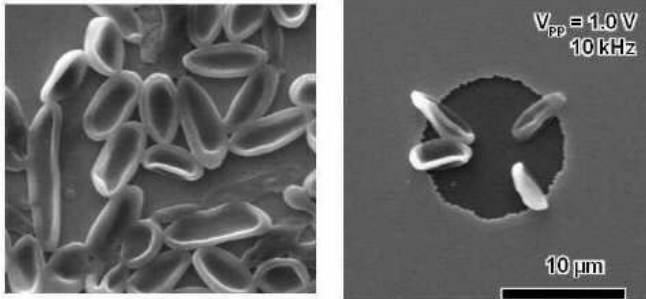


도면7

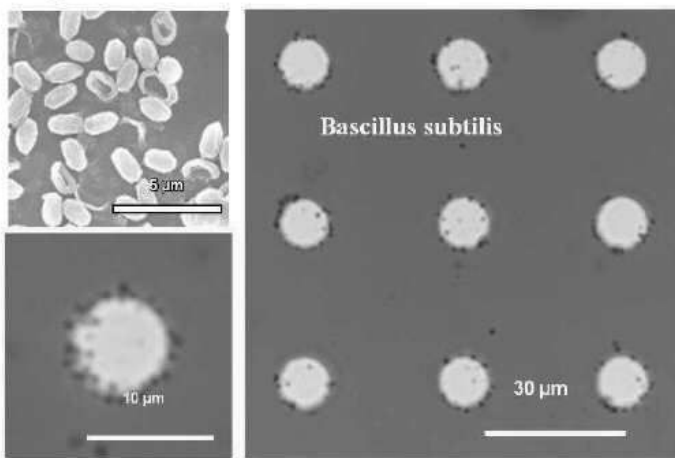


도면8

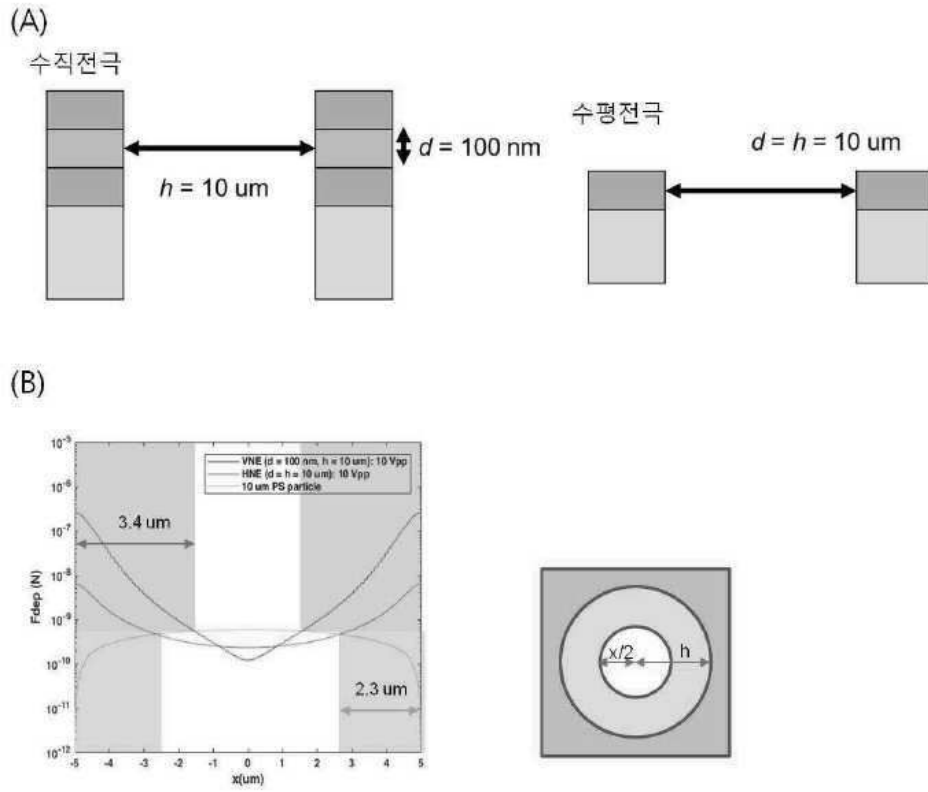
Yeast (이스트균 포집)



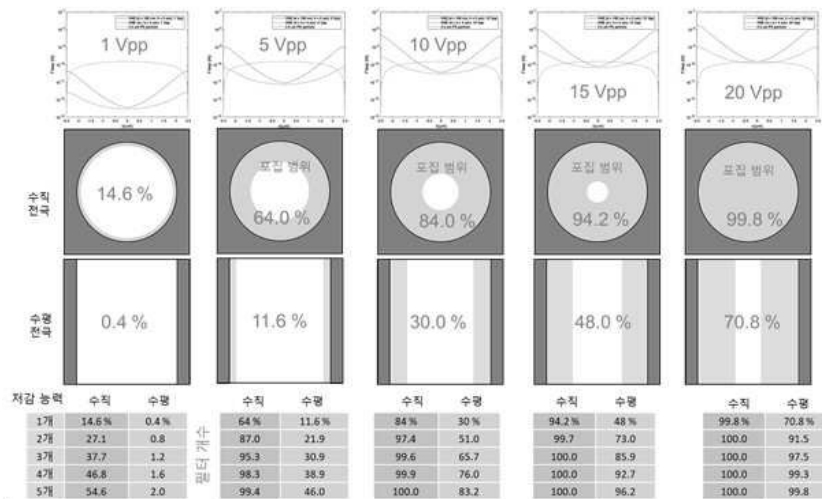
Bio particle



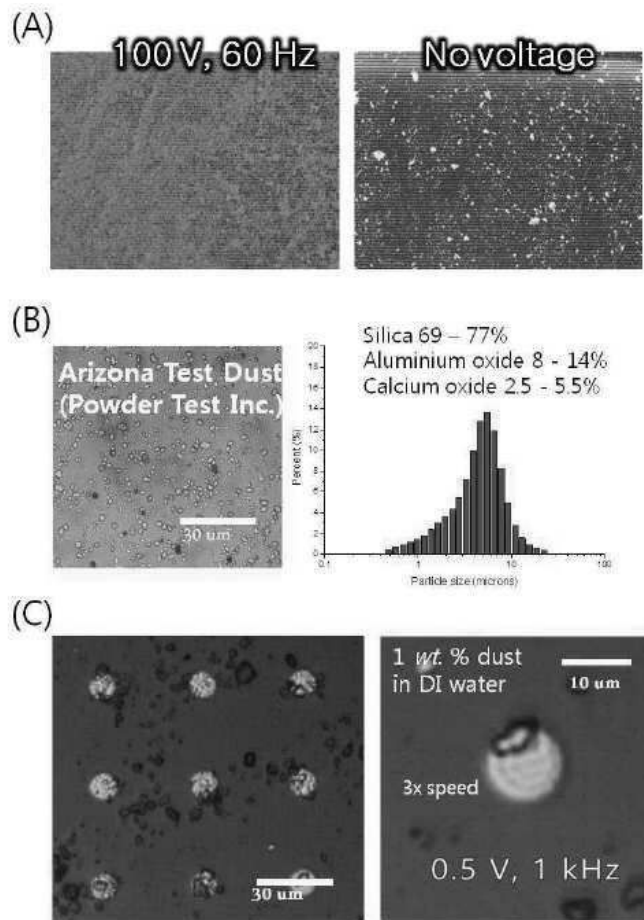
도면9



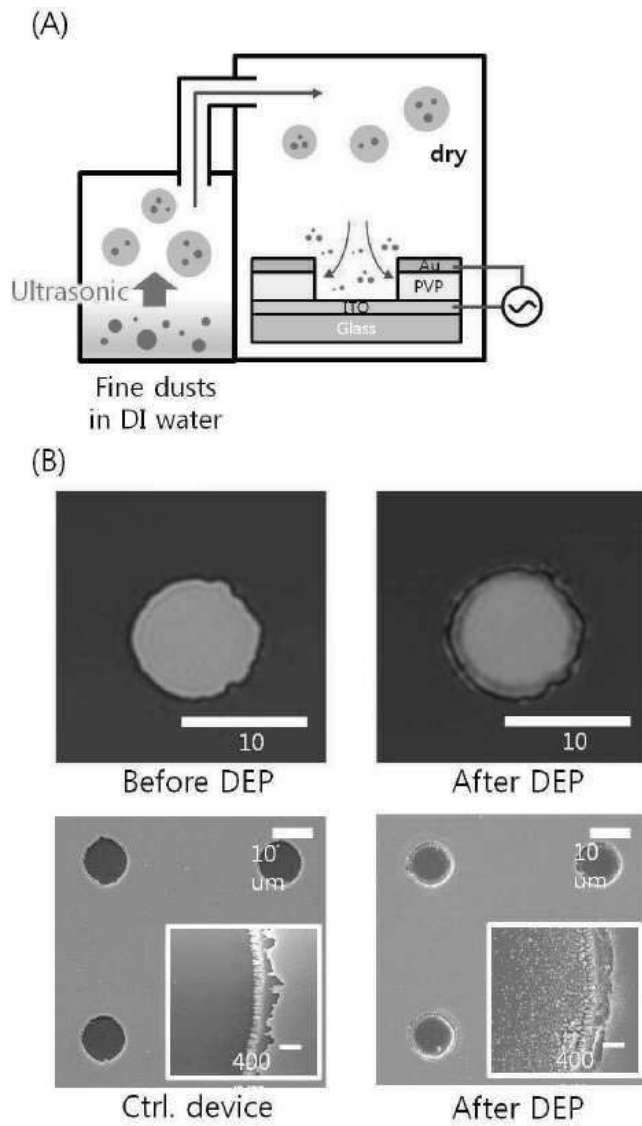
도면10



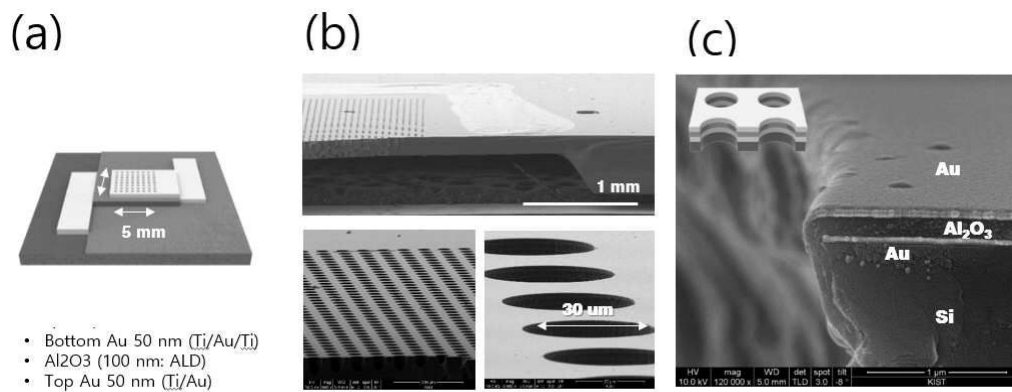
도면11



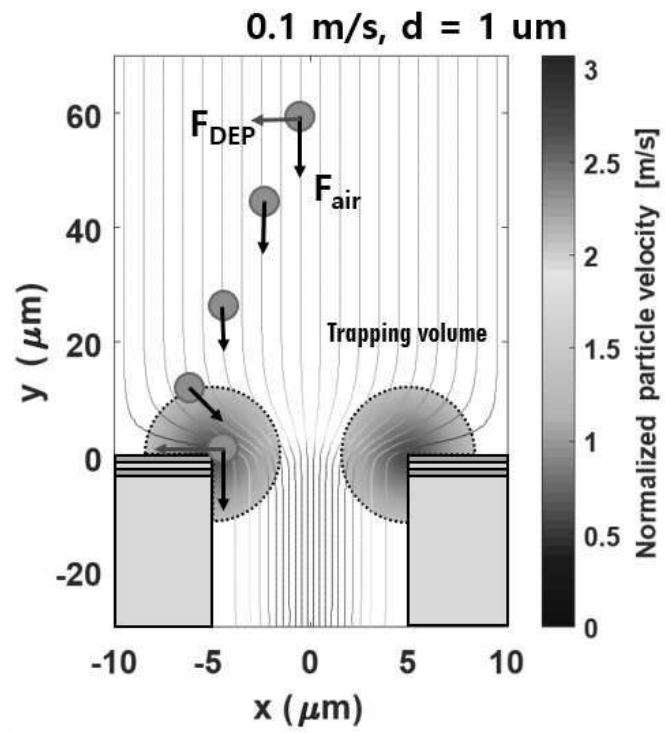
도면12



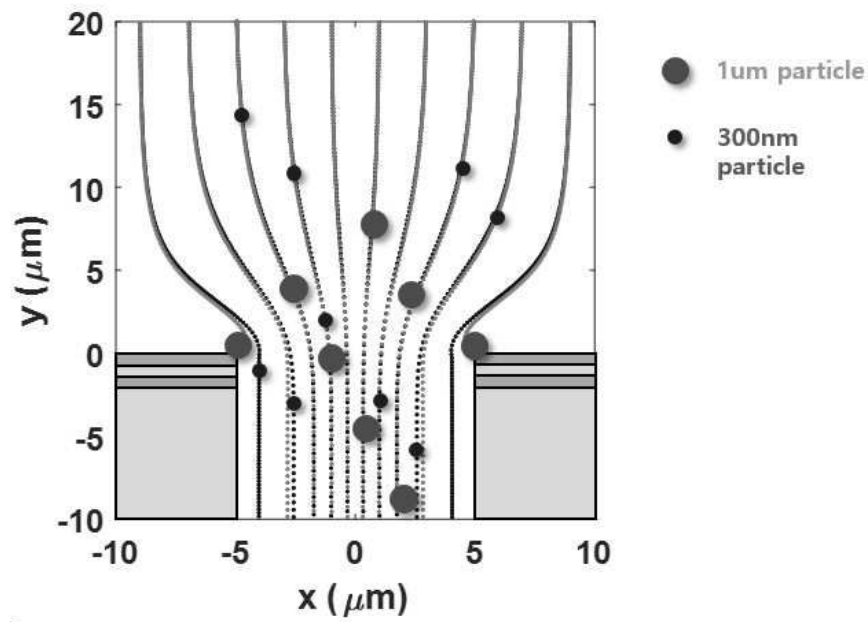
도면13



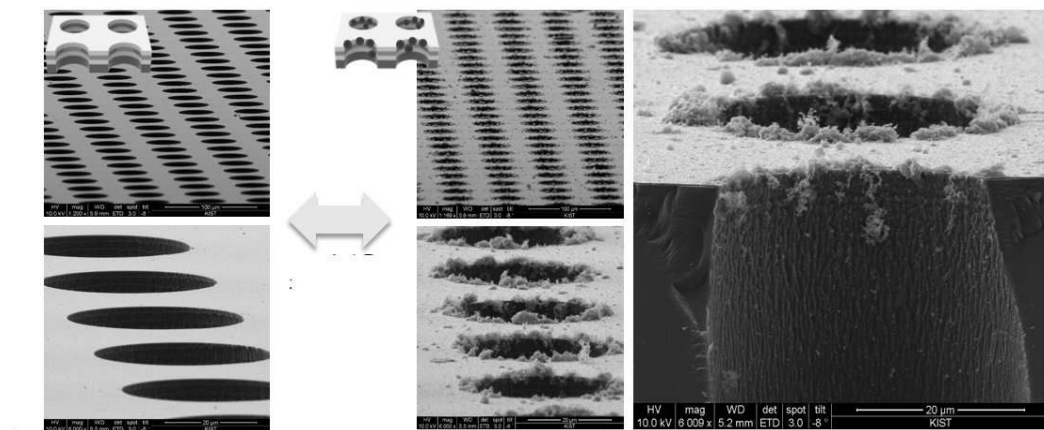
도면14



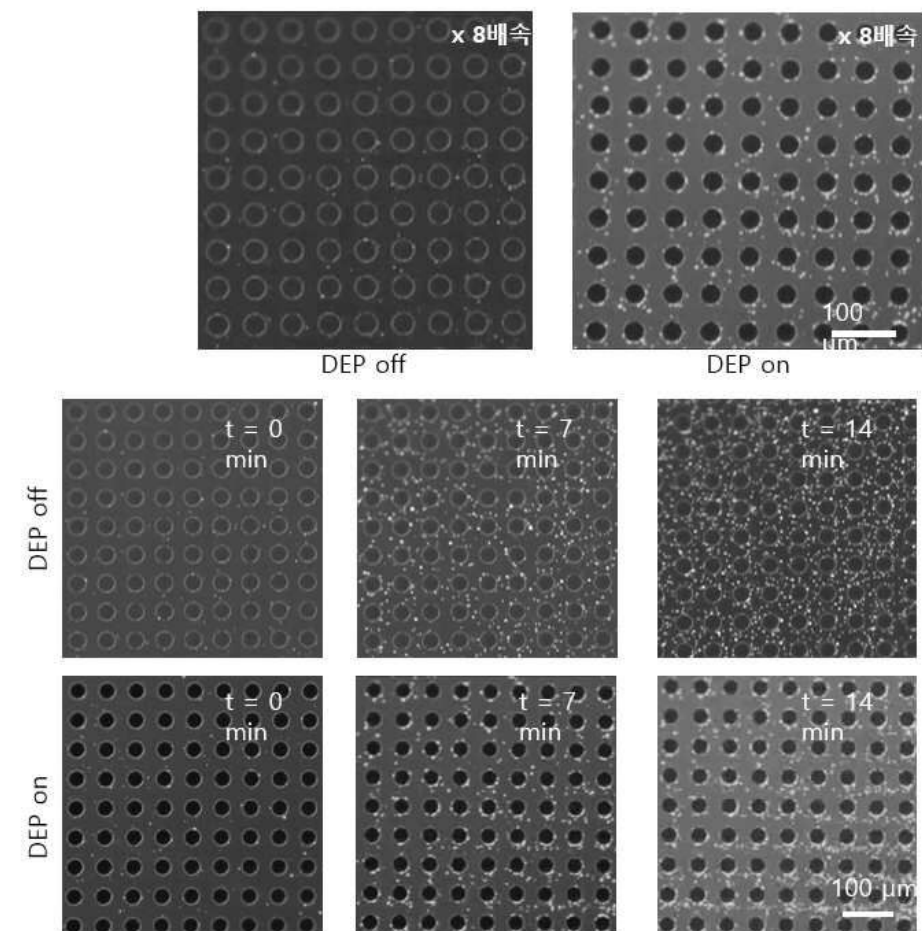
도면15



도면16



도면17



도면18

