(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0092965
(43) 공개일자 2017년08월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B82B 3/00 (2017.01) *B01D 46/00* (2006.01)
B82B 1/00 (2017.01) *C01G 23/047* (2006.01)
B82Y 40/00 (2017.01)
(52) CPC특허분류
B82B 3/0095 (2013.01)
B01D 46/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0014283
(22) 출원일자 2016년02월04일
심사청구일자 2016년02월04일

(71) 출원인
한국과학기술연구원
서울특별시 성북구 화랑로14길 5 (하월곡동)
(72) 발명자
정종수
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
박은석
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 아이퍼스

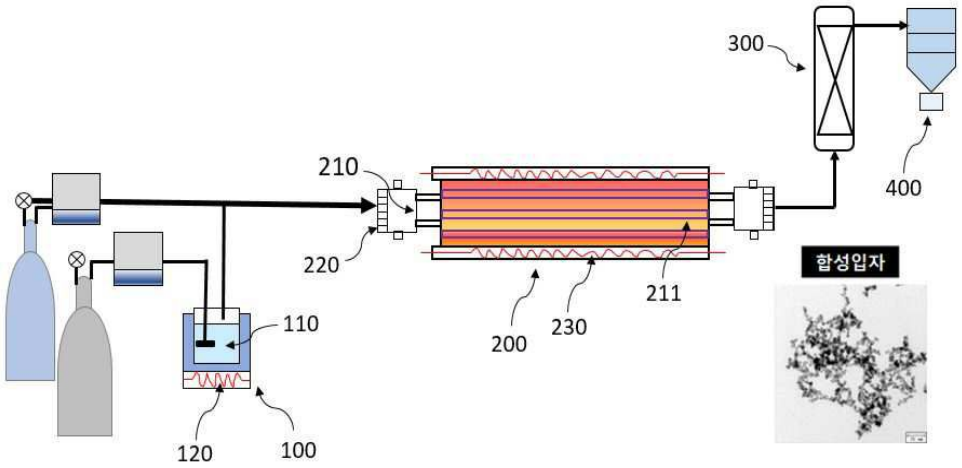
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **고효율의 다량 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치 및 그 포집방법**

(57) 요 약

본 발명은 전기로 등을 열원으로 하여 나노입자의 원재료 물질을 열분해하여 기상합성법으로 나노입자를 입자를 합성하고, 나노입자 합성시 다관을 이용하여 나노입자 합성 양을 증대시켜 생산량을 늘릴뿐 아니라 생성된 나노입자 포집시 냉각관과 Filter 방식의 자동 포집장치를 사용하여 연속적으로 생산된 나노입자의 합성량 및 회수율을 증대시키는 기술로 기상합성 공정 중 다관을 이용하여 나노입자 합성량을 늘리며 합성된 고온 입자의 냉각효율을 향상시키며 자동제어 장치를 장착한 포집장치를 이용하여 합성된 입자의 포집효율 및 회수를 크게 증대시키는 방법 및 장치를 제공하는 데 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B82B 1/008 (2013.01)
C01G 23/047 (2013.01)
B82Y 40/00 (2013.01)
C01P 2004/64 (2013.01)
(72) 발명자
김민수
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
정현덕
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
이영행
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
김진영
서울특별시 성북구 화랑로14길 5

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2015K000340
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 (재)연구성과실용화진흥원
연구사업명 기초연구성과활용지원사업
연구과제명 나노세공형 환경촉매소재 제조기술 개발 및 실내 가스상 오염물질 제거용 공기청정 시스템 상용화 기술개발
기 여 율 1/1
주관기관 한국과학기술연구원
연구기간 2015.12.01 ~ 2016.04.26

명 세 서

청구범위

청구항 1

고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치에 있어서,

전구체 물질을 기화시키는 기화기(100); 상기 기화기에서 기화된 기화물이 캐리어가스로 이송되어 열분해반응이 일어나는 복수의 관으로 이루어진 반응관(210)을 포함하는 반응로(200); 상기 반응로에서 형성된 고온의 나노입자를 응축시키는 응축기(300); 상기 응축기에서 응축된 상기 나노입자를 필터를 이용하여 회수하는 입자포집장치(400)를 포함하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 반응로는 상기 기화물의 일정한 흐름을 유도하는 분산판(220)이 상기 반응관의 소정 위치에 설치되는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 반응로는 상기 반응관을 가온하기 위해 반응로를 둘러싸거나 상기 반응관 단면의 중심에 가열매체(230)를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 반응관은 2이상의 다관으로 구성되며 상기 반응관의 단면에 균일한 간격으로 배치되거나, 상기 단면의 중심으로부터 방사상으로 간격에 차이를 가지며 배치되는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 5

제3항에 있어서, 상기 분산판은 상기 반응관의 전단, 후단 및 상기 가열매체로 둘러싸인 반응관 중 어느 하나 또는 2 이상에 설치되는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 6

제3항에 있어서, 상기 반응관 단면의 중심에는 가온 효과를 높이고 반응관의 파손을 방지하기 위하여 열전도도가 높은 금속바(211)가 추가로 설치되는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 응축기는 냉각유체가 순환되는 응축외관(310), 상기 외관에 형성된 냉각유체가 유입되는 냉각유체유입부(320), 상기 외관에 형성된 냉각유체가 배출되는 냉각유체배출부(330), 상기 냉각유체의 접촉단면적을 증가시키기위한 다각형 또는 볼형태를 갖는 응축내관(340) 및 온도제어장치(350)를 포함하는 냉각효율 상승을 위한 이중관 형태인 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 응축내관의 표면은 열전달을 증대시키기 위하여 핀 또는 주름이 선택적으로 형성되는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 입자포집장치는 포집관(410), 상기 포집관의 중단에 형성되는 백필터관(420). 상기 백필터관과 상기 포집관 사이에 형성되는 포집필터(430), 상기 포집관의 일단에 연결되며 타단은 상기 백필터관에 형성된 압축기체유입부(440), 상기 백필터관의 일단에 연결되며 상기 응축기로부터 냉각된 나노입자를 포함한 캐리어가스가 유입되는 나노입자유입부(450), 상기 나노입자유입부로 유입된 나노입자가 백필터(421)에 포집된 후 상기 캐리어가스가 배출되는 제1배기관(460) 및 상기 백필터에 포집된 나노입자를 상기 포집필터로 포집하기 위해 상기 압축기체를 배출하는 제2배기관(470)을 포함하며 상기 압축기체유입부, 상기 나노입자유입부, 상기 제1배기관 및 상기 제2배기관에는 밸브가 형성된 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 압축기체유입부는 상기 백필터의 내부로 압축기체를 분사하기 위한 분사노즐(441)을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 입자포집장치의 압축기체의 분사조건은 상기 백필터관의 내부에 설치된 백필터압력계(422)의 압력값이 소정의 압력 이상으로 상승하면 백필터에 포집된 나노입자를 제거하기 위해 분사되도록 상기 밸브를 제어하기 위한 압력제어부(480)을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 기화기는 전구체가 수용되어 기화되는 버블러(110), 상기 버블러를 가온하는 항온조(120)를 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치.

청구항 13

고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집방법에 있어서,

전구체 물질을 기화기에서 기화시키는 제1단계, 상기 기화기에서 기화된 기화물이 캐리어가스로 이송되어 복수의 관으로 이루어진 반응관을 포함하는 반응로에서 열분해반응이 일어나는 제2단계, 상기 제2단계의 반응로에서 형성된 고온의 나노입자를 응축기에서 응축시키는 제3단계, 상기 제3단계에서 응축된 상기 나노입자를 입자포집장치의 필터를 이용하여 회수하는 제4단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 제3단계는 냉각유체가 순환되는 응축외관, 상기 외관에 형성된 냉각유체가 유입되는 냉각유체유입부, 상기 외관에 형성된 냉각유체가 배출되는 냉각유체배출부, 상기 냉각유체의 접촉단면적을 증가시키기위한 다각형 또는 볼형태를 갖는 응축내관 및 온도제어장치를 포함하는 냉각효율 상승을 위한 이중관 형태

인 응축기에서 수행되는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집방법.

청구항 15

제13항에 있어서, 상기 제4단계는 포집관, 상기 포집관의 중단에 형성되는 백필터관. 상기 백필터관과 상기 포집관 사이에 형성되는 포집필터, 상기 포집관의 일단에 연결되며 타단은 상기 백필터관에 형성된 압축기체유입부, 상기 백필터관의 일단에 연결되며 상기 응축기로부터 냉각된 나노입자를 포함한 캐리어가스가 유입되는 나노입자유입부, 상기 나노입자유입부로 유입된 나노입자가 백필터에 포집된 후 상기 캐리어가스가 배출되는 제1배기관 및 상기 백필터에 포집된 나노입자를 상기 포집필터로 포집하기 위해 상기 압축기체를 배출하는 제2배기관을 포함하며 상기 압축기체유입부, 상기 나노입자유입부, 상기 제1배기관 및 상기 제2배기관에는 밸브가 형성된 입자포집장치에서 수행되는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집방법.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 제4단계는 압축기체의 분사조건은 상기 백필터관의 내부에 설치된 백필터압력계의 압력값이 소정의 압력 이상으로 상승하면 백필터에 포집된 나노입자를 제거하기 위해 분사노즐에 의해 분사되도록 상기 밸브를 제어하기 위한 압력제어부을 추가로 포함한 입자포집장치에서 수행되는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 기상합성방법에 의한 나노입자의 대량합성 및 합성된 입자의 고효율 포집회수 방법으로서, 보다 상세하게는 기상합성 공정 중 다관을 이용하여 나노입자 합성량을 늘리며 합성된 고온 입자의 냉각효율을 향상시키며 자동제어 장치를 장착한 포집장치를 이용하여 합성된 입자의 포집효율 및 회수를 크게 증대시키는 방법 및 장치를 제공하는데 그 목적이 있다.

배 경 기 술

[0003] 21세기 들어 화두가 되고 있는 나노기술이란 나노미터 (10^{-9}m) 수준에서 물질을 만들거나 조작 또는 분석하는 기술을 통칭하는 말이다. 이중 나노입자는 기존 소재나 재료에 비해 입자의 표면 대 질량의 비율이 증가, 즉 단위 질량당 표면적이 증가함으로써, 입자의 성능이 향상되며 입자의 융점이 감소하는 등의 물성이 변화되어 bulk 상태의 경우와는 다른 성질을 나타낸다. 이로 인해 최근 물질제조, 전자공학, 의학, 바이오기술, 환경 및 에너지 등의 다양한 분야로의 응용가능성을 가지며 많은 연구자들의 주요 연구주제가 되고 있다.

[0004] 나노입자를 제조하는 방법으로는 액상법, 초임계 유체를 이용하는 방법 및 기상법 등이 많이 사용되고 있다. 이중 일반적으로 나노입자를 제조하기 위한 방법으로서 크게 액상에서 화학반응을 유도하여 나노입자를 회수하는 방법이 주로 이용되고 있으며 최근엔 고속 입자빔, 플라즈마 기체 증발법 등의 기술이 행해지기도 한다. 하지만 고속 입자빔의 경우, 기체를 초음속 노즐을 통해 팽창냉각 시켜 응축함으로써 나노입자를 초음속 노즐 안에서 생성하는 방법으로 고도의 기술력이 필요하며 플라즈마 기체 증발법의 경우, 수십 nm크기의 금속 나노입자를 대량 합성하는 것이 가능한 반면 30nm 이하의 작은 금속 나노입자를 대량으로 합성하기가 어려운 한계를 가지고 있다.

[0005] 이에 따라 상기에 제시한 방법 이외에 나노입자의 전구체 물질의 기상화를 유도한 후 고온의 반응로에서 기체분자간 충돌에 의해 입자 제조 후 급속히 응축시켜 입자를 제조하는 기상합성 기술이 최근엔 각광받고 있다. 그러나 이 또한 단순 응축에 의한 입자 포집으로 인해 나노입자 회수율이 상당히 저조하며 이로 인해 생산성의 저하가 산업화에 걸림돌이 되고 있다. 한편 상기와 같은 문제점들에 대응하기 위한 다수의 공지된 문헌들을 살펴보면 아래와 같다.

[0006] 한국공개특허 제2006-0112546호에서는 철(Fe)과 실리콘(Si)을 함유한 전구체(Precursor)를 기화시키는 기화단계

와; 상기 기화단계에서 기화된 기화물을 이송가스로 이송시켜 열분해반응이 일어나는 반응로에 동시에 장입하는 동시반응단계와; 상기 동시반응단계에서 형성된 코팅나노분말을 응축시켜 회수하는 응축·회수단계를 포함하며 특히, 상기 기화단계에서 기화된 철계 기화물을 이송가스로 이송시켜 열분해반응이 일어나는 반응로에 먼저 주입하여 분말로 형성시킨 후, 상기 기화단계에서 기화된 실리콘계 기화물을 이송가스로 이송시켜 상기 반응로에 장입하는 지연반응단계와; 상기 지연반응단계에서 형성된 코팅나노분말을 응축시켜 회수하는 응축·회수단계를 포함하여 구성되며 이와 같은 구성으로 다양한 상(相)과 크기를 갖는 실리콘이 코팅된 나노금속분말을 제조할 수 있는 이점이 있는 화학기상증착법에 의한 실리카 코팅 나노철분말 합성공정을 개시하고 있다.

[0007] 한국공개특허 제2012-0054254호에서는 망간 전구체 및 티탄 전구체를 기화시키는 기화부; 상기 기화부에서 기화된 전구체 기화물을 반응부로 이송시키는 캐리어 가스를 상기 기화부에 공급하는 캐리어 가스 공급라인; 상기 반응부에 산소 공급원을 공급하는 산소 공급라인; 상기 전구체 기화물과 산소 공급원을 반응시켜 산화망간-티타니아 촉매를 합성하는 반응부; 및 상기 반응부에서 합성된 산화망간-티타니아 촉매를 응축, 회수하는 포집부를 포함하는 산화망간-티타니아 촉매의 제조장치로서 특히, 상기 전구체 기화물(망간 전구체 및 티탄 전구체의 기화물)과 산소 공급원을 반응부로 이송시키는 반응물 이송단계, 상기 반응부로 이송된 전구체 기화물과 산소 공급원을 반응시켜 산화망간-티타니아 촉매를 합성하는 반응단계; 및 상기 합성된 산화망간-티타니아 촉매를 응축시켜 회수하는 포집단계를 포함하는 산화망간-티타니아 촉매의 제조에 특징을 갖으며 공정 단계가 적고 각 공정들이 연속적으로 진행되어 촉매의 대량 생산이 가능하며, 유기화합물 등의 분해 효율이 높은 다산화망간-티타니아 촉매를 제조할 수 있는 산화망간-티타니아 촉매의 제조장치 및 제조방법이 개시되어 있다.

[0008] 한국등록특허 제10-1282142호에서는 제1전구체를 기화시켜 반응부로 공급하는 제1전구체 공급부; 제2전구체를 기화시켜 반응부로 공급하는 제2전구체 공급부; 상기 제1전구체와 제2전구체 기화물을 합성하여 복합 나노입자를 생성하는 반응부; 상기 반응부에 산소 공급원을 공급하는 산소 공급라인; 및 상기 반응부에서 생성된 복합 나노입자를 회수하는 포집부를 포함하고, 상기 반응부는, 상기 제1전구체 공급부에서 공급된 제1전구체 기화물로부터 나노입자를 생성하는 제1직선 유로와, 상기 제1직선 유로와 연통되고, 상기 제1직선 유로에서 생성된 나노입자가 제2직선 유로에 곡선 흐름으로 유입되게 하는 곡선 유로와, 상기 곡선 유로와 연통되고, 상기 곡선 유로에서 유입된 제1전구체의 나노입자와 상기 제2전구체 공급부에서 공급된 제2전구체 기화물을 합성하여 복합 나노입자를 생성하는 제2직선 유로를 가지는 U자형 반응 챔버; 상기 제2전구체 공급부로부터 공급된 제2전구체 기화물을 상기 U자형 반응 챔버의 제2직선 유로에 합류시키는 제2전구체 유입 유로; 및 상기 U자형 반응 챔버에 열을 공급하는 열 공급 수단을 포함하는 복합 나노입자의 제조장치 및 이를 이용한 제조방법으로 U자형 반응 챔버를 통해 단계별로 기상 합성되어, 응집 현상이 방지되고, 균일한 크기와 고비표면적을 가지는 복합 나노입자를 용이하게 제조할 수 있다는 것을 개시하고 있다.

[0009] 한국공개특허 제2010-0109762호에서는 공지된 잔류 케미칼 및 부산물 배기장치에 있어서, 프로세서 챔버와 진공펌프를 연결시켜 주고 있는 진공배관 상에 배기가스 내에 포함된 일정 질량이상의 입자들을 파우더 형태로 포집하되, 그 내부 컨덕턴스가 정해진 값 이하로 감소되면 배기가스의 일부가 내,외통 사이에 형성된 가스 우회배출 공간부를 통해 우회로 배출되게 하는 트랩을 설치한 것을 특징으로 하여 트랩 내부에 파우더 포집량이 증가하면서 내통과 진공배관의 컨덕턴스가 감소될 경우 그 감소량에 대응하는 가스의 일부가 내통과 외통 사이에 형성된 가스 우회배출 공간부를 통해 진공펌프 측으로 지속해서 공급되도록 함으로써 트랩 내의 파우더 포집량 증가에 따른 진공배관의 컨덕턴스 감소로 생산공정 챔버에 영향을 주거나, 트랩이 교체되기 전 원래 진공배관 내의 컨덕턴스가 낮아진 상태가 장시간 생산공정에 영향을 주게 되는 것을 미연에 방지할 수 있어 진공펌프의 펌핑 능력을 대폭 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 장비의 가동률을 대폭 향상시킬 수 있어 반도체 제조에 따른 생산비용을 대폭 절감할 수 있는 입자관성을 이용한 반도체 공정에서의 잔류 케미칼 및 부산물 포집장치에 대하여 개시하고 있다.

[0010] W.H. Cho., et al., "Intraparticle structures of composite TiO2/SiO2 nanoparticles prepared by varying precursor mixing modes in vapor phase", Journal of Materials Science, June 2003, Vol.38, Issue 12, pp 2619-2625에서는 기상합성방법을 이용하여, 반응장치 내부에 진공을 걸어 전구체 물질의 휘발을 유도한 후 고온의 반응구간에서 티타니아-실리콘 나노 복합촉매를 제조하는 기술로 다른 구조를 갖는 TiO_2-SiO_2 복합 나노 입자를 TTIP와 TEOS의 등몰의 증기 상 가수 분해 반응에서 다양한 반응물을 혼합하여 제조하였으며 이들의 구조는 티타니아 코어를 실리카 셸이 둘러싼 구조(T-S) 또는 이 반대의 경우(S-T)와 다른 T/S에 분산된 산화물 구조를 포함한다는 것이 개시되어 있다.

[0011] 그러나 기상합성 된 입자포집 방법으로 열영동에 의한 방법 및 일자형 포집관을 사용함으로서 고온 입자의 냉각

효율이 저하되며 혹은 포집관 벽면에 나노입자 일부가 첨착되는 현상을 나타내고 있어 이로 인한 포집효율이 상당히 저하되는 단점을 가지고 있다. 또한 비자동화 포집시스템으로 이루어져 있어 수시로 시스템을 멈춘 후 기상합성 된 나노입자를 포집하는 방법으로 상업화를 위한 대량 생산 및 포집의 한계점을 가지고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제2006-0112546호

(특허문헌 0002) 한국공개특허 제2012-0054254호

(특허문헌 0003) 한국등록특허 한국등록특허 제10-1282142호

(특허문헌 0004) 한국공개특허 제2010-0109762호

비특허문헌

[0014] (비특허문헌 0001) Journal of Materials Science, June 2003, Vol.38, Issue 12, pp 2619-2625

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 발명으로,

[0016] 다관을 이용한 나노입자의 다량합성 및 자동포집제어장치를 이용한 나노입자의 회수 공정은 종래 단일관 및 열영동 포집에 비해 나노입자를 단시간 다량으로 합성할 수 있으며 회수율을 크게 증가시킬 수 있다. 단일로 된 반응관 사용 시 전구체 공급 속도가 커짐에 따라 반응관 내부 열전달 효율이 떨어지는 단점이 있는 반면 다관을 이용할 경우, 반응관 내부에서의 열전달 및 열전도 효율이 증가하여 균일한 성상의 고순도 나노입자를 대량으로 합성할 수 있다. 또한 이에 따라 다량으로 제조된 나노입자는 국내/외 산업설비 배가스 내 포함된 대기유해물질을 흡착 혹은 산화시키는 대기 정화 목적으로 한다.

[0017] 따라서 전기로 등을 열원으로 하여 나노입자의 원재료 물질을 열분해하여 기상합성법으로 나노입자를 입자를 합성하고, 나노입자 합성시 다관을 이용하여 나노입자 합성 양을 증대시켜 생산량을 늘릴뿐 아니라 생성된 나노입자 포집시 냉각관과 Filter 방식의 자동 포집장치를 사용하여 연속적으로 생산된 나노입자의 합성량 및 회수율을 증대 시키는 기술로 기상합성 공정 중 다관을 이용하여 나노입자 합성량을 늘리며 합성된 고온 입자의 냉각효율을 향상시키며 자동제어 장치를 장착한 포집장치를 이용하여 합성된 입자의 포집효율 및 회수를 크게 증대시키는 방법 및 장치를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0019] 이를 위하여 본 발명에서는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치에 있어서, 전구체 물질을 기화시키는 기화기(100); 상기 기화기에서 기화된 기화물이 캐리어가스로 이송되어 열분해반응이 일어나는 복수의 관으로 이루어진 반응관(210)을 포함하는 반응로(200); 상기 반응로에서 형성된 고온의 나노입자를 응축시키는 응축기(300); 상기 응축기에서 응축된 상기 나노입자를 필터를 이용하여 회수하는 입자포집장치(400)를 포함하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치를 제공한다.

[0020] 또한, 상기 반응로는 상기 기화물의 일정한 흐름을 유도하는 분산판(220)이 상기 반응관의 소정 위치에 설치될 수 있다.

[0021] 또한, 상기 반응로는 상기 반응관을 가온하기 위해 반응로를 둘러싸거나 상기 반응관 단면의 중심에 가열매체

(230)를 추가로 포함할 수 있다.

[0022] 또한, 상기 반응관은 2이상의 다관으로 구성되며 상기 반응관의 단면에 균일한 간격으로 배치되거나, 상기 단면의 중심으로부터 방사상으로 간격에 차이를 가지며 배치될 수 있다.

[0023] 또한, 상기 분산판은 상기 반응관의 전단, 후단 및 상기 가열매체로 둘러싸인 반응관 중 어느 하나 또는 2 이상에 설치될 수 있다.

[0024] 또한, 상기 반응관 단면의 중심에는 가온 효과를 높이고 반응관의 파손을 방지하기 위하여 열전도도가 높은 금속바(211)가 추가로 설치할 수 있다.

[0025] 또한, 상기 응축기는 냉각유체가 순환되는 응축외관(310), 상기 외관에 형성된 냉각유체가 유입되는 냉각유체유입부(320), 상기 외관에 형성된 냉각유체가 배출되는 냉각유체배출부(330), 상기 냉각유체의 접촉단면적을 증가시키기위한 다각형 또는 볼형태를 갖는 응축내관(340) 및 온도제어장치(350)를 포함하는 냉각효율 상승을 위한 이중관 형태가 될 수 있다.

[0026] 또한, 상기 응축내관의 표면은 열전달을 증대시키기 위하여 핀 또는 주름이 선택적으로 형성될 수 있다.

[0027] 또한, 상기 입자포집장치는 포집관(410), 상기 포집관의 중단에 형성되는 백필터관(420). 상기 백필터관과 상기 포집관 사이에 형성되는 포집필터(430), 상기 포집관의 일단에 연결되며 타단은 상기 백필터관에 형성된 압축기체유입부(440), 상기 백필터관의 일단에 연결되며 상기 응축기로부터 냉각된 나노입자를 포함한 캐리어가스가 유입되는 나노입자유입부(450), 상기 나노입자유입부로 유입된 나노입자가 백필터(421)에 포집된 후 상기 캐리어가스가 배출되는 제1배기관(460) 및 상기 백필터에 포집된 나노입자를 상기 포집필터로 포집하기 위해 상기 압축기체를 배출하는 제2배기관(470)을 포함하며 상기 압축기체유입부, 상기 나노입자유입부, 상기 제1배기관 및 상기 제2배기관에는 밸브가 형성될 수 있다.

[0028] 또한, 상기 압축기체유입부는 상기 백필터의 내부로 압축기체를 분사하기 위한 분사노즐(441)을 추가로 포함될 수 있다.

[0029] 또한, 상기 입자포집장치의 압축기체의 분사조건은 상기 백필터관의 내부에 설치된 백필터압력계(422)의 압력값이 소정의 압력 이상으로 상승하면 백필터에 포집된 나노입자를 제거하기 위해 분사되도록 상기 밸브를 제어하기 위한 압력제어부(480)을 추가로 포함할 수 있다.

[0030] 또한, 상기 기화기는 전구체가 수용되어 기화되는 버블러(110), 상기 버블러를 가온하는 항온조(120)를 포함될 수 있다.

[0031] 상기 버블러는 직경 150㎜의 원통형으로 반응기로 내부는 1단으로 단일 전구체 물질을 함유할 수 있다. 또한 상기 오일배스는 열선이 포함할 수 있고 사용된 오일은 신에츠 KF-54 등의 내열 실리콘 오일을 이용할 수 있다.

[0032] 본 발명은 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집방법에 있어서,

[0033] 전구체 물질을 기화기에서 기화시키는 제1단계, 상기 기화기에서 기화된 기화물이 캐리어가스로 이송되어 복수의 관으로 이루어진 반응관을 포함하는 반응로에서 열분해반응이 일어나는 제2단계, 상기 제2단계의 반응로에서 형성된 고온의 나노입자를 응축기에서 응축시키는 제3단계, 상기 제3단계에서 응축된 상기 나노입자를 입자포집장치의 필터를 이용하여 회수하는 제4단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집방법일 수 있다.

[0034] 또한, 상기 제3단계는 냉각유체가 순환되는 응축외관, 상기 외관에 형성된 냉각유체가 유입되는 냉각유체유입부, 상기 외관에 형성된 냉각유체가 배출되는 냉각유체배출부, 상기 냉각유체의 접촉단면적을 증가시키기위한 다각형 또는 볼형태를 갖는 응축내관 및 온도제어장치를 포함하는 냉각효율 상승을 위한 이중관 형태인 응축기에서 수행될 수 있다.

[0035] 또한, 상기 제4단계는 포집관, 상기 포집관의 중단에 형성되는 백필터관. 상기 백필터관과 상기 포집관 사이에 형성되는 포집필터, 상기 포집관의 일단에 연결되며 타단은 상기 백필터관에 형성된 압축기체유입부, 상기 백필터관의 일단에 연결되며 상기 응축기로부터 냉각된 나노입자를 포함한 캐리어가스가 유입되는 나노입자유입부, 상기 나노입자유입부로 유입된 나노입자가 백필터에 포집된 후 상기 캐리어가스가 배출되는 제1배기관 및 상기 백필터에 포집된 나노입자를 상기 포집필터로 포집하기 위해 상기 압축기체를 배출하는 제2배기관을 포함하며 상기 압축기체유입부, 상기 나노입자유입부, 상기 제1배기관 및 상기 제2배기관에는 밸브가 형성된 입자포집장치에서 수행될 수 있다.

[0036] 또한, 상기 제4단계는 압축기체의 분사조건은 상기 백필터관의 내부에 설치된 백필터압력계의 압력값이 소정의 압력 이상으로 상승하면 백필터에 포집된 나노입자를 제거하기 위해 분사노즐에 의해 분사되도록 상기 밸브를 제어하기 위한 압력제어부을 추가로 포함한 입자포집장치에서 수행될 수 있다.

발명의 효과

[0038] 본 발명의 기상합성 반응 시 효율적인 열전달을 위한 다관을 이용함에 따라 물리/화학적 특성이 일정한 나노입자의 합성량을 증대시킬 수 있다.

[0039] 본 방법에 사용된 냉각장치에 따라 합성된 고온 입자와 냉각면과의 접촉면적을 늘려 냉각효율을 크게 향상시킬 수 있다.

[0040] 자동으로 제어되는 필터장치를 이용, 입자를 포집함으로써 나노입자 회수율을 크게 증가시킬 수 있다.

[0041] 정해진 압력 이상에서는 자동으로 나노입자포집 방향이 제어되어 공정 내 내부 압력이 과도하게 올라가는 것을 방지할 수 있다.

[0042] 진공펌프와 같은 추가 공정을 줄여 전체적 공정이 간단해진다.

[0043] 또한, 분산판을 이용하여 다관으로 들어가는 기화물의 일정한 흐름 및 각각의 반응기 내부 기체량을 균일하게 유도하여 반응관 내부 압력을 균일하게 유지하기 용이하다.

도면의 간단한 설명

[0045] 도 1은 본 발명의 일실시예인 기상합성방법에 의한 나노입자의 다량합성 및 입자포집 장치의 구성도 이다.

도 2은 본 발명의 일실시예인 다관 반응관의 그림이다.

도 3은 본 발명의 일실시예인 전구체분산장치 그림이다.

도 4는 본 발명의 일실시예인 내관이 볼형인 응축기 그림이다.

도 5는 본 발명의 일실시예인 입자포집장치의 나노입자가 백필터에 포집되는 작동 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 일실시예인 입자포집장치의 나노입자가 포집필터에 포집되는 작동 흐름도이다.

도 7은 본 발명의 일실시예 실시한 생성된 입자를 포집하는 방법에 따른 시간당 포집된 입자량 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일실시예인 휘발온도가 다른 전구체 물질로부터 합성된 나노입자의 입자발생량 그래프이다.

도 9는 본 발명의 일실시예를 통해 합성된 나노입자의 SEM사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0046] 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다. 따라서 본 명세서에 기재된 실시 예는 본 발명의 가장 바람직한 일 실시 예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

[0047] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 항균특성을 갖는 금속착물형 방충망 및 그 제조방법을 상세히 설명한다.

[0048] 도 1은 본 발명의 일실시예인 기상합성방법에 의한 나노입자의 다량합성 및 입자포집 장치의 구성도 이다.

[0049] 본 발명에 따른 기상합성방법에 의한 나노입자의 다량합성 및 합성된 입자의 고효율 포집회수 방법 및 장치는 나노입자 합성량 증대를 위한 다관 적용 기상합성 장치, 합성된 고온의 입자를 응축기, 냉각된 장치를 효과적으로 자동으로 포집하는 포집장치로 구성된다. 먼저, 다량의 나노입자제조용 기상합성 장치에 관하여 설명하면 다

음과 같다. 도 1과 같이 단일나노입자 내지 다성분 나노입자 전구체 물질은 서로 다른 입자발생기에 위치한다. 이어 각각의 전구체 물질의 휘발 온도를 고려하여 온도조절기를 이용하여 일정온도로 유지된다. 휘발된 전구체 물질은 아르곤(Ar) 혹은 공기(Air)를 통해 다관형 전기로 반응기로 공급되며 입자 합성 메카니즘에 의해 고온의 입자가 합성된다.

[0050] 이러한 고효율 기상합성 나노입자 자동제어 포집장치는 전구체 물질을 기화시키는 기화기(100); 상기 기화기에서 기화된 기화물이 캐리어가스로 이송되어 열분해반응이 일어나는 복수의 관으로 이루어진 반응관(210)을 포함하는 반응로(200); 상기 반응로에서 형성된 고온의 나노입자를 응축시키는 응축기(300); 상기 응축기에서 응축된 상기 나노입자를 필터를 이용하여 회수하는 입자포집장치(400)를 포함할 수 있다.

[0051] 상기 캐리어가스는 아르곤, 질소, 헬륨, 산소, 공기 중 어느 하나 또는 2 이상의 혼합가스를 사용할 수 있다. 전구체의 나노입자 생성에 물리 화학적 영향이 없다면 캐리어가스의 성분에 제한이 없는 것은 자명하다. 또한, 캐리어 가스는 아르곤과 공기의 혼합가스를 1:10의 비율로 사용할 수 있다.

[0052] 상기 반응관의 재질은 SUS316, 알루미나, 석영, 뮬라이트 중 어느 하나의 재질을 가질 수 있다. 또한 상기 반응관에 요구되는 온도 등의 반응조건을 수용할 수 있는 재질의 금속 또는 세라믹이라면 그 재질에 특별히 한정이 있지 않음은 자명하다. 또한, 본 발명의 일실시예에서는 다관형 반응관은 알루미나 재질로, 그 외 연결부위 및 가스 라인은 SUS316으로 적용하였다.

[0053] 도 2은 본 발명의 일실시예인 다관 반응관의 그림이다. 다관형 반응기 전단에는 유동화 분산판을 두어 휘발된 전구체 물질의 고른 흐름을 유도하여 다관형 반응기 내부로 일정한 양의 전구체 물질이 유입된다. 또한 열전달 및 열효율을 향상시키기 위해 반응관들 사이의 빈공간이 없도록 간격을 최대한 없이 배치할 수 있으며 반응관의 흐름은 한 방향으로 흐르게 배치한다.

[0054] 상기 다관의 재질은 SUS316, 알루미나, 석용, 뮬라이트 중 어느 하나의 재질을 가질 수 있다. 또한 상기 다관의 형태는 다각형 또는 원통형일 수 있다. 복수의 다관은 그 관의 직경 및 단면적은 일정하거나 차이를 가질 수 있다. 상기 다관의 배치는 반응관의 단면에 균일한 간격으로 배치되거나, 상기 단면의 중심으로부터 방사상으로 간격에 차이를 가지며 배치될 수 있다. 반응관 단면의 중심에는 가온 효과를 높이고 반응관의 파손을 방지하기 위하여 열전도도가 높은 금속바(211)가 추가로 설치할 수 있다. 상기 금속바의 상기 목적 및 효과를 달성할 수 있다면 그 재질 및 형태에 제한되지 않는다. 금속바의 재질은 알루미늄, 동, 은, 스테인레스 등 일 수 있다. 금속바의 형태는 다각형, 원통형, 복수의 금속바의 결합된 번들형일 수 있다. 또한, 반응관 내부에 원형의 다관을 삽입하고 그 내부에 다시 SiC발열체 (실리콘 카바이드, 비금속 발열체임)를 두고 가온을 할 경우, 반응관 내/외부에서 동시에 가열하는 효과를 얻을 수 있어 열전도율이나 열효율면에서 강점이 될 수 있다.

[0055] 도 3은 본 발명의 일실시예인 전구체분산장치 그림이다. 상기 기화물의 일정한 흐름을 유도하는 분산판(220)이 상기 반응관의 소정 위치에 설치될 수 있다. 상기 분산판은 상기 반응관의 전단, 후단 및 상기 가열매체로 둘러싸인 반응관 중 어느 하나 또는 2 이상에 설치될 수 있다. 상기 분산판의 재질은 SUS316, 알루미나, 석용, 뮬라이트 중 어느 하나의 재질을 가질 수 있다. 또한 상기 분산판의 형태는 다각형 또는 원통형일 수 있다. 상기 분산판에 형성된 홀의 형태는 다각형 또는 원통형일 수 있으며 설정된 반응조건의 기화된 전구체를 포함하는 캐리어가스의 선속도 조건에 따라 다면적 또는 직경은 다양하게 설계될 수 있다.

[0056] 상기 분산판은 상기 반응관의 전단, 후단 및 상기 가열매체로 둘러싸인 반응관 중 어느 하나 또는 2 이상에 설치될 수 있다. 상기 가열매체는 반응관의 온도를 승온하여 반응에 필요한 조건으로 가열할 수 있는 매체라면 한정되지 않는다. 가열매체는 SiC, 슈퍼칸탈, 저항발열체, 전기로 중 어느 하나 또는 2이상을 조합하여 사용할 수 있다. 본 발명의 일실시예인 형태는 분산판 각각의 홀을 가지며 상부에 각각의 뚜껑이 덮이는 식으로 이루어져 있어 가스가 투입되면 상부 뚜껑에 부딪혀 하단 밑 사방으로 나가는 구조일 수 있다. 가열매체는 전기로와 맞닿아 있고 히팅밴드를 감아 95℃로 유지시킬 수 있다.

[0057] 도 4는 본 발명의 일실시예인 내관이 볼형인 응축기 그림이다. 합성된 고온의 입자를 응축기 및 자동포집회수 단계를 설명하면 다음과 같다. 상기 공정에 의해 제조된 입자는 고온으로서 이로 인한 냉각장치 후단에 놓이는 필터의 수명연장 및 포집효율을 높이기 위해 합성장치와 포집장치 사이에 위치한다. 기상합성장치를 거쳐 제조된 고온의 합성가스는 가스흐름에 따라 볼(ball)모양의 냉각장치로 도입이 된다. 도입된 이후 공간확장에 의해 가스흐름이 느려지며 냉각장치 내부에서 입자의 와류가 발생한다. 이후 이중관 내부 벽면의 저온 냉각수에 의해 고온 입자의 효율적인 냉각이 이루어지며 입자포집장치로 이동한다. 따라서 상기 응축기는 냉각유체가 순환되는 응축외관(310), 상기 외관에 형성된 냉각유체가 유입되는 냉각유체유입부(320), 상기 외관에 형성된 냉각유체가

배출되는 냉각유체배출부(330), 상기 냉각유체의 접촉단면적을 증가시키기위한 다각형 또는 볼형태를 갖는 응축내관(340) 및 온도제어장치(350)를 포함하는 냉각효율 상승을 위한 이중관 형태가 될 수 있다. 상기 응축내관의 표면은 열전달을 증대시키기 위하여 핀 또는 주름이 선택적으로 형성될 수 있다. 상기 핀의 형태는 열전달을 증대시킬수 있다면 특별히 제한되지 않으며, 내관의 주름형태도 다양하게 설계될 수 있다. 응축내관의 내부 또는 외부 표면에 선택적으로 형성될 수 있음은 자명하다.

[0058] 이전 단계에서 냉각된 나노입자는 고온, 고압에서 잘 견디는 세라믹 재질의 백필터에서 효과적으로 포집이 이루어지게 된다. 백필터는 2nm 이상 입자를 90%까지 포집할 수 있는 pore size(0.3㎛)를 가지고 있으며 냉각 장치로부터 도입된 나노입자는 원형의 백필터 외부에서 내부로의 가스흐름에 따라 벽면에 입자가 포집이 이루어진다. 나노입자의 연속적인 합성 및 포집에 따라 필터 pore는 막힘 현상이 발생하며 이에 따라 내부 압력은 상승이 된다. 내부압력이 0.5 기압에 도달할 경우, 솔레노이드 밸브가 활성화되어 입자의 pulsing 단계가 이루어진다. 즉, 상부에 압축되어 있는 공기가 하부로 짧은 시간(약 0.5초) 동안 가스흐름이 반대방향으로 흐르면서 백필터에 쌓인 나노입자를 하부 평판 형태의 포집필터로 이동을 시킨 후 이곳에서 2차 포집한다. 내부압력이 정상상태로 돌아오게 되면 다시 상부 백필터에서 입자의 포집이 이루어진다. 본 장치를 통해 나노입자를 다량합성 및 연속 포집할 경우, 종래 포집 방법인 열영동 방식의 일자형 포집관 사용으로 인한 고온 가스의 냉각 효율이 저하, 포집 효율이 떨어지는 단점을 보완하여 포집회수율을 크게 증대 시킬 수 있는 장점이 있다.

[0059] 도 5는 본 발명의 일실시예인 입자포집장치의 나노입자가 백필터에 포집되는 작동 흐름도이다.

[0060] 상기 입자포집장치는 포집관(410), 상기 포집관의 중단에 형성되는 백필터관(420). 상기 백필터관과 상기 포집관 사이에 형성되는 포집필터(430), 상기 포집관의 일단에 연결되며 타단은 상기 백필터관에 형성된 압축기체유입부(440), 상기 백필터관의 일단에 연결되며 상기 응축기로부터 냉각된 나노입자를 포함한 캐리어가스가 유입되는 나노입자유입부(450), 상기 나노입자유입부로 유입된 나노입자가 백필터 포집된 후 상기 캐리어가스가 배출되는 제1배기관(460) 및 상기 백필터에 포집된 나노입자를 상기 포집필터로 포집하기 위해 상기 분사노즐을 통해 분사된 압축기체를 배출하는 제2배기관(470)을 포함하며 상기 압축기체유입부, 상기 나노입자유입부, 상기 제1배기관 및 상기 제2배기관에는 밸브가 형성될 수 있다. 본 발명의 일실시예인 백필터의 형태 및 재질은 외경 60mm, 내경 45mm 정도의 원형관 (ceramic filter, pore size-0.3㎛)으로 설치 개수는 1개이며 전체 반응공정 규모에 따라 개수를 증가시킬 수 있음은 자명하다.

[0061] 도 6은 본 발명의 일실시예인 입자포집장치의 나노입자가 포집필터에 포집되는 작동 흐름도이다. 상기 압축기체유입부는 상기 백필터의 내부로 압축기체를 분사하기 위한 분사노즐(441)을 추가로 포함될 수 있다.

[0062] 또한, 상기 입자포집장치의 압축기체의 분사조건은 상기 백필터관의 내부에 설치된 백필터압력계(422)의 압력값이 소정의 압력 이상으로 상승하면 백필터에 포집된 나노입자를 제거하기 위해 분사되도록 상기 밸브를 제어하기 위한 압력제어부(480)을 추가로 포함할 수 있다. 본 발명의 일실시예에서는 0.25bar에서 반응을 진행하고 0.5bar플러싱할 수 있다.

[0063] 또한, 상기 기화기는 전구체가 수용되어 기화되는 버블러(110), 상기 버블러를 가온하는 항온조(120)를 포함될 수 있다. 상기 버블러는 원통형, 다각통형으로 형성될 수 있으며, 1단 또는 2단 이상의 플레이트를 형성할 수 있다. 항온조는 오일배스, 보온단열재, 열선 또는 밴드히터 등이 적용될 수 있다.

[0064] 도 7은 본 발명의 일실시예 실시한 생성된 입자를 포집하는 방법에 따른 시간당 포집된 입자량 그래프이다.

[0066] [실시예 1]

[0067] 도 1의 장치를 이용하여 TiO_2 전구체인 TTIP(TTIP, $Ti[OCH(CH_3)_2]_4$, Kanto Chemical Co. Inc.)를 외부가온 형태로 95℃로 유지한다. 이때 TTIP 공급부 내부로 4.3L/min 의 아르곤(Ar) 가스를 도입하여 전구체를 휘발시켜, 41L/min의 공기가 흐르고 있는 반응기 내부로 투입시킨다. 투입된 전구체는 900℃로 유지되는 반응기에서 TiO_2 나노입자를 형성하게 되며 형성된 나노입자를 ball형태의 냉각관을 통과 시켜 자동으로 제어되는 입자포집 장치를 이용하여 생성된 입자를 포집한다. 포집장치에 따른 포집 효율을 비교하기 위하여 열영동방식, 전기집진방식, impinger방식의 포집방법을 단일로 이용하여(포집/회수된 양)을 도 7에 나타내었다.

[0068] 상기 구체적인 회수양은 표 1과 같다.

표 1

[0070]

포집형태	**Ball형 수냉식포집관**	**전기집진식 포집기**
회수양(%)	0.8~1.5g/h 10.5~13g(10%)/TTIP 500ml	1.7~1.8g/h 18~20g(15%)/TTIP 500ml
포집형태	**임핀져 포집관**	**세라믹필터 포집기**
회수양(%)	2.0~2.7g/h 25~32g(25%)/TTIP 500ml	6~7g/h 110~120g(86%)/ TTIP 500ml

[0072] 도 8은 본 발명의 일실시예인 휘발온도가 다른 전구체 물질로부터 합성된 나노입자의 입자발생량 그래프이다.

[0074] [실시예 2]

[0075] 휘발온도가 다른 전구체 물질로부터 합성된 나노입자의 입자발생량 (합성량, 포집/회수된 양)을 도 8에 나타내었다. 또한 비교 예로써 본 발명에 의해 합성, 포집된 나노입자의 발생량과 비교하기 위해 종래 기술인 열영동 방식을 통해 나노입자의 포집을 실시한다. 그래프 상에서 보면 기존 방법 및 본 발명에 의한 나노입자의 발생량은 전구체 휘발 온도가 90℃ 이상에서는 입자의 발생량이 크게 증가하지 않는 추세를 보였다. 반면 기존 방법에 비해 본 발명에서 언급한 다관을 이용한 다량합성 및 자동포집제어장치를 이용할 경우 20배 이상의 나노입자발생량이 증가함을 확인할 수 있다.

[0076] 본 발명을 첨부된 도면, 실시예 등과 함께 설명하였으나, 이는 본발명의 요지를 포함하는 다양한 실시 형태 중의 하나의 실시예에 불과하며, 당업계에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 하는 데에 그 목적이 있는 것으로, 본 발명은 상기 설명된 실시예에만 국한되는 것이 아님은 명확하다. 따라서, 본 발명의 보호범위는 하기의 청구범위에 의해 해석되어야 하며, 본 발명의 요지를 벗어나지 않는 범위 내에서의 변경, 치환, 대체 등에 의해 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함될 것이다. 또한, 도면의 일부 구성은 구성을 보다 명확하게 설명하기 위한 것으로 실제보다 과장되거나 축소되어 제공된 것임을 명확히 한다.

부호의 설명

[0078] 100: 기화기

110: 버블러

120: 항온조

200: 반응로

210: 반응관

211: 금속바

220: 분산판

230: 가열매체

300: 응축기

310: 응축외관

320: 냉각유체유입구

330: 냉각유체배출구

340: 응축내관

350: 온도제어장치

400: 입자포집장치

410: 포집관

420: 백필터관

421: 백필터

422: 백필터압력계

430: 포집필터

440: 압축기체유입부

441: 분사노즐

450: 나노입자유입부

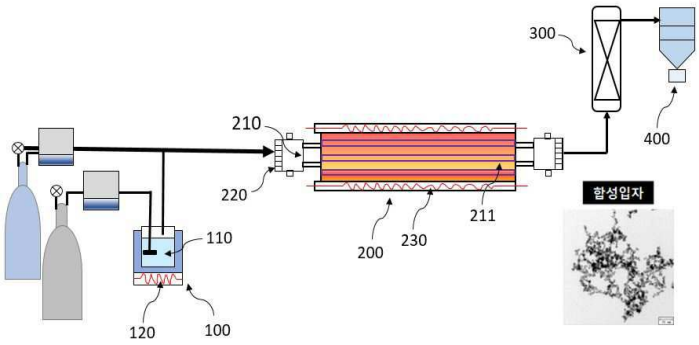
460: 제1배기관

470: 제2배기관

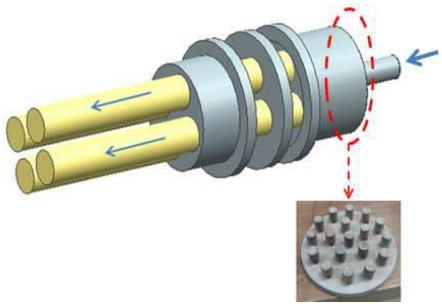
480: 압력제어부

도면

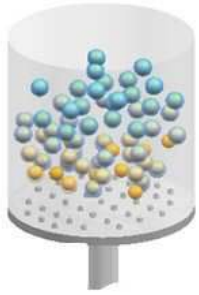
도면1



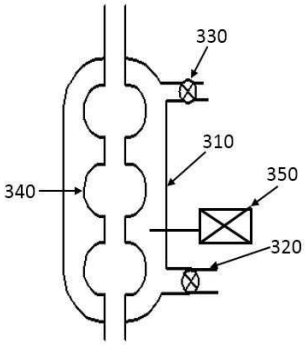
도면2



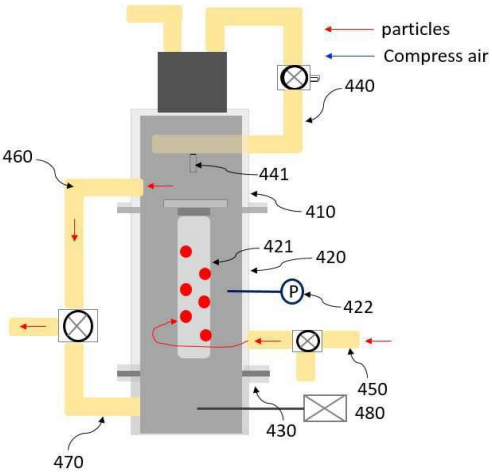
도면3



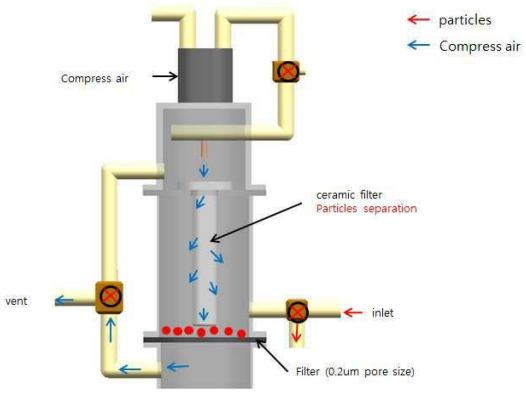
도면4


330
310
350
340
320

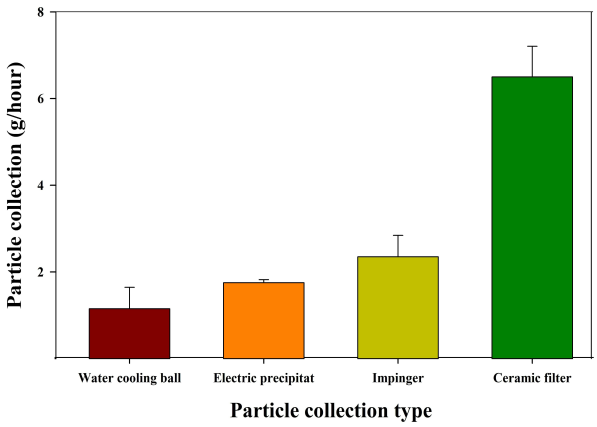
도면5


particles
Compress air
440
460
441
410
421
420
P
422
450
480
430
470

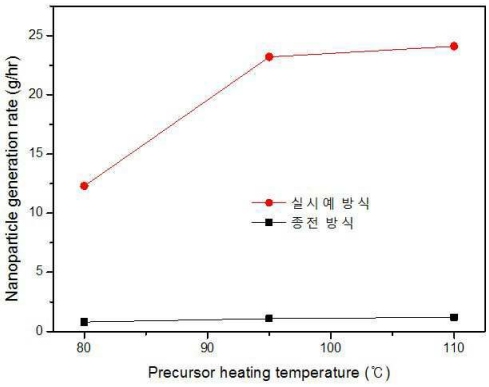
도면6


particles
Compress air
Compress air
ceramic filter
Particles separation
vent
inlet
Filter (0.2um pore size)

도면7


Particle collection (g/hour)
8
6
4
2
Water cooling ball
Electric precipitat
Impinger
Ceramic filter
Particle collection type

도면8


Nanoparticle generation rate (g/hr)
25
20
15
10
5
0
실시예 방식
종전 방식
80
90
100
110
Precursor heating temperature (℃)

도면9

