



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년06월19일

(11) 등록번호 10-2125171

(24) 등록일자 2020년06월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 21/02 (2006.01) H01L 21/67 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 21/02203 (2013.01)

H01L 21/02164 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0087681

(22) 출원일자 2019년07월19일

심사청구일자 2019년07월19일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020170131135 A

KR1020090079819 A

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

손현철

서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제2공학관 627호

장유진

서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제2공학관 627호

김태호

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제2공학관 627호

(74) 대리인

김권석

전체 청구항 수 : 총 7 항

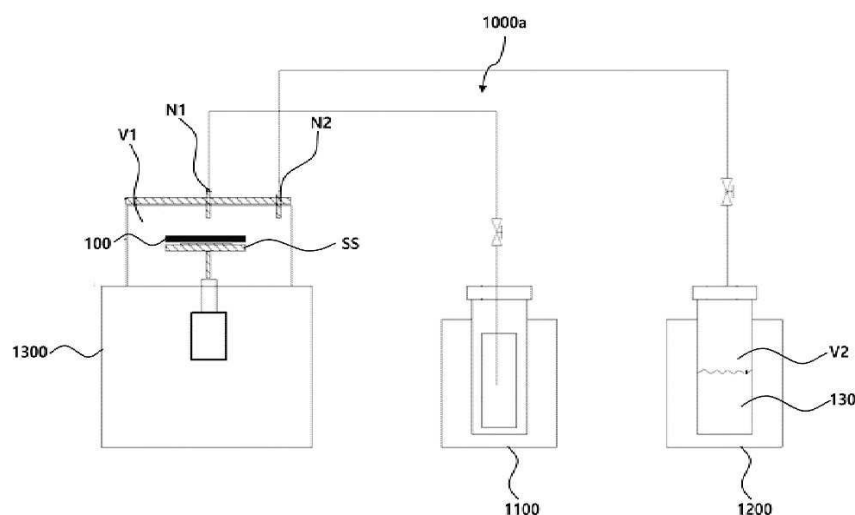
심사관 : 양진석

(54) 발명의 명칭 다공성 막의 제조 방법 및 이의 제조 장치

## (57) 요약

본 발명은 다공성 막의 제조 방법에 관한 것으로서, 일 실시예에서, 반응 챔버 내부의 기관에 다공성 막을 형성하기 위한 전구체 졸 및 상기 전구체 졸이 분산되어 있는 제 1 용매를 포함하는 전구체 용액을 제공하는 단계, 상기 전구체 용액으로부터 소정의 제 1 용매를 기화시키는 단계 및 상기 반응 챔버 내부에 상기 제 1 용매와 동일 종류의 제 2 용매의 증기를 주입함으로써 상기 반응 챔버 내부의 상기 제 1 용매의 기화 속도를 조절하는 단계를 포함할 수 있으며, 상기 전구체 용액의 이동 속도는 상기 기관 상에서 전구체 용액이 이동하여 막을 형성하고, 상기 전구체 용액의 이동 속도는 상기 제 1 용매의 기화 속도를 조절함으로써 제어될 수 있다.

대표도 - 도5a



(52) CPC특허분류

*H01L 21/02205* (2013.01)

*H01L 21/02282* (2013.01)

*H01L 21/67017* (2013.01)

*H01L 21/67098* (2013.01)

*H01L 21/6715* (2013.01)

*H01L 21/67242* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

반응 챔버 내부의 기관에 다공성 막을 형성하기 위한 전구체 졸 및 상기 전구체 졸이 분산되어 있는 제 1 용매를 포함하는 전구체 용액을 제공하는 단계;

상기 전구체 용액으로부터 소정의 제 1 용매를 기화시키는 단계; 및

상기 반응 챔버 내부에 상기 제 1 용매와 동일 종류의 제 2 용매의 증기를 주입함으로써 상기 반응 챔버 내부의 상기 제 1 용매의 기화 속도를 조절하는 단계를 포함하며,

상기 기관 상에서 전구체 용액이 이동하여 막을 형성하고, 상기 전구체 용액의 이동 속도는 상기 제 1 용매의 기화 속도를 조절함으로써 제어되는 다공성 막의 제조 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 전구체 졸은 테트라에틸 규산염(tetraethyl orthosilicate; TEOS)를 포함하는 다공성 막의 제조 방법.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 반응 챔버의 내부 온도는 상기 용매의 포화 증기압이 1.0 atm 내지 1.2 atm의 범위 내의 값을 갖도록 설정되는 다공성 막의 제조 방법.

#### 청구항 4

반응 챔버 내부의 기관에 다공성 막을 형성하기 위한 전구체 졸 및 상기 전구체 졸이 분산되어 있는 제 1 용매를 포함하는 전구체 용액을 제공하는 공급 모듈;

상기 반응 챔버 내부에 상기 제 1 용매와 동일 종류의 제 2 용매의 증기를 주입함으로써 상기 반응 챔버 내부의 상기 제 1 용매의 기화 속도를 조절하는 제어 모듈; 및

상기 전구체 용액으로부터 소정의 제 1 용매를 기화시키고, 상기 전구체 졸을 졸겔 반응시켜 상기 다공성 막을 형성하는 졸겔 반응 모듈을 포함하며,

상기 기관 상에서 전구체 용액이 이동하여 막을 형성하고, 상기 전구체 용액의 이동 속도는 상기 용매의 기화 속도를 조절함으로써 제어되는 다공성 막의 제조 장치.

#### 청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 제어 모듈은,

상기 제 2 용매를 수용하는 용매 챔버, 상기 제 2 용매가 기화되도록 상기 제 2 용매를 가열하는 히터 및 상기 제 2 용매의 증기가 상기 반응 챔버에 공급되는 중에 기체 상태를 유지하도록 가열하는 디스펜서 히터를 포함하는 다공성 막의 제조 장치.

#### 청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 졸겔 반응 모듈은,

상기 반응 챔버 내부의 상기 제 1 용매의 증기압을 측정하는 제 1 압력 센서를 더 포함하는 다공성 막의 제조

장치.

## 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제어 모듈은,

상기 제 1 압력 센서로부터 증기압 정보를 획득하여 상기 제 2 용매의 증기의 주입량을 제어하는 다공성 막의 제조 장치.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 전자 재료에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, 다공성 막의 제조 방법 및 이의 제조 장치에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 전자 장치들이 소형화됨으로써 상기 전자 장치 내부에 실장되는 집적 회로(integrated circuit; IC)도 함께 스케일링 다운되고 있다. 상기 집적 회로들의 집적도가 상승하면서 상기 집적 회로들간의 RC 지연(RC delay)에 의한 신호 지연이 문제된다.

[0003] 상기 RC delay를 감소시키기 위해서 낮은 저항을 갖는 금속을 사용하거나 낮은 커패시턴스를 갖는 유전체를 연결 부재로 사용하는 방법이 연구되고 있다. 기존에 사용되던 산화 규소( $\text{SiO}_2$ )의 유전 상수는 3.9~4.2이고, 상기 산화 규소의 대체재로 유전율이 낮은 공기를 다량 포함하고 있는 다공성 물질들이 제안되고 있다. 상기 다공성 물질을 마이크론 단위의 집적 회로에 사용하기 위해서는 공극의 크기가 작은 것이 바람직하며, 예를 들면 나노 단위 크기의 공극을 갖는 것이 적절하다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 마이크로 단위의 집적 회로를 수용할 수 있도록 상기 집적 회로의 사이즈에 상응하는 크기인 나노 스케일의 공극을 가지고, RC delay를 최소화하기 위하여 저유전율을 갖는 다공성 물질을 제공하는 것이다.

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 과제는 상기 다공성 물질을 저비용으로 대량 생산할 수 있도록 효율성을 갖는 제조 장치를 제공하는 것이다.

#### 과제의 해결 수단

[0006] 상기의 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 다공성 막의 제조 방법은 반응 챔버 내부의 기관에 다공성 막을 형성하기 위한 전구체 졸 및 상기 전구체 졸이 분산되어 있는 제 1 용매를 포함하는 전구체 용액을 제공하는 단계, 상기 전구체 용액으로부터 소정의 제 1 용매를 기화시키는 단계 및 상기 반응 챔버 내부에 상기 제 1 용매와 동일 종류의 제 2 용매의 증기를 주입함으로써 상기 반응 챔버 내부의 상기 제 1 용매의 기화 속도를 조절하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 기관 상에서 전구체 용액이 이동하여 막을 형성하고, 상기 전구체 용액의 이동 속도는 상기 제 1 용매의 기화 속도를 조절함으로써 제어될 수 있다.

[0007] 다른 실시예에서, 상기 전구체 졸은 테트라에틸 규산염(tetraethyl orthosilicate; TEOS)를 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 상기 반응 챔버의 내부 온도는 상기 용매의 포화 증기압이 1.0 atm 내지 1.2 atm의 범위 내의 값을 갖도록 설정될 수 있다.

[0008] 상기의 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 다공성 막의 제조 장치는 반응 챔버 내부의 기관에 다공성 막을 형성하기 위한 전구체 졸 및 상기 전구체 졸이 분산되어 있는 제 1 용매를 포함하는 전구체 용액을 제공하는 공급 모듈, 상기 반응 챔버 내부에 상기 제 1 용매와 동일 종류의 제 2 용매의 증기를 주입함으로써 상기 반응 챔버 내부의 상기 제 1 용매의 기화 속도를 조절하는 제어 모듈 및 상기 전구체 용액으로부터 소정의

제 1 용매를 기화시키고, 상기 전구체 졸을 졸겔 반응시켜 상기 다공성 막을 형성하는 졸겔 반응 모듈을 포함하며, 상기 기관 상에서 전구체 용액이 이동하여 막을 형성하고, 상기 전구체 용액의 이동 속도는 상기 용매의 기화 속도를 조절함으로써 제어될 수 있다. 다른 실시예에서, 상기 제어 모듈은, 상기 제 2 용매를 수용하는 용매 챔버, 상기 제 2 용매가 기화되도록 상기 제 2 용매를 가열하는 히터 및 상기 제 2 용매의 증기가 상기 반응 챔버에 공급되는 중에 기체 상태를 유지하도록 가열하는 디스펜서 히터를 포함할 수 있다.

[0009] 일 실시예에서, 상기 졸겔 반응 모듈은 상기 반응 챔버 내부의 상기 제 1 용매의 증기압을 측정하는 제 1 압력 센서를 더 포함할 수 있고, 다른 실시예에서, 상기 제어 모듈은 상기 제 1 압력 센서로부터 증기압 정보를 획득하여 상기 제 2 용매의 증기의 주입량을 제어할 수 있다.

### 발명의 효과

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 다공성 막의 제조 방법은 겔을 형성하기 위한 전구체 졸 및 용매를 포함하는 전구체 용액이 제공되는 반응 챔버 내에 상기 용매와 동일한 용매의 증기를 주입하여 상기 용매의 기화 속도를 제어함으로써 상기 전구체 용액의 점성을 제어하여 나노 스케일의 기공을 갖는 다공성 물질을 제공할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 다공성 막의 제조 장치는 상기 용매의 기화 속도를 제어하여 상기 전구체 용액의 용매의 기화 속도를 제어하는 제어 모듈 및 졸겔 반응에 의해 다공성 막을 형성하는 졸겔 반응 모듈을 가짐으로써 기화 속도를 제어하는 간단한 제어 방법에 의하여 상기 다공성 막의 공극의 크기를 나노 크기까지 감소시킬 수 있다.

[0012] 또한, 상기 반응 챔버 내부의 압력을 측정하고, 상기 압력에 따라 용매 증기의 주입량을 조절함으로써 복잡한 계산 과정 없이 나노 스케일의 다공성 에어로겔을 제조할 수 있고, 과도한 압력 증가에 의하여 상기 반응 챔버가 손상 또는 파괴되는 사고를 예방할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0013] 도 1a는 일 실시예에 따른 다공성 막의 형성 방법을 나타내는 순서도이고, 도 1b는 다른 실시예에 따른 다공성 막의 형성 방법을 나타내는 순서도이다.

도 2는 일 실시예에 따른 졸겔 반응이 일어나기 전의 전구체 용액의 구성과 졸겔 반응 이후에 다공성 막의 겔 상태를 나타낸 도면이다.

도 3a는 일 실시예에 따라 제 1 용매의 기화 속도가 조절되지 않은 경우의 막 형성 과정을 나타낸 도면이고, 도 3b는 일 실시예에 따라 제 1 용매의 기화 속도가 조절된 경우의 막 형성 과정을 나타낸 도면이다.

도 4a는 일 실시예에 따라 제 1 용매가 메탄올인 경우에 반응 챔버의 온도에 따른 제 1 용매의 포화 증기압 곡선이고, 도 4b는 다른 실시예에 따라 제 1 용매가 에탄올인 경우에 반응 챔버의 온도에 따른 제 1 용매의 포화 증기압 곡선이다.

도 5a는 일 실시예에 따른 다공성 막의 제조 장치를 나타내는 구성도이고, 도 5b는 다른 실시예에 따른 다공성 막의 제조 장치를 나타내는 구성도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0015] 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다.

[0016] 도면에서 동일 부호는 동일한 요소를 지칭한다. 또한, 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 용어 "및/또는"은 해당 열거된 항목 중 어느 하나 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다.

[0017] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예를 설명하기 위하여 사용되며, 본 발명의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다. 또한, 본 명세서에서 단수로 기재되어 있다 하더라도, 문맥상 단수를 분명히 지적하는 것이 아니라면, 복수의 형태를 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprise)" 및/또는 "포함하는(comprising)"이란 용어는 언급한 형상들, 숫자, 단계, 동작, 부재, 요소

- [0018] 및/또는 이들 그룹의 존재를 특징하는 것이며, 다른 형상, 숫자, 동작, 부재, 요소 및/또는 그룹들의 존재 또는 부가를 배제하는 것이 아니다.
- [0019] 본 명세서에서 기관 또는 다른 층 "상에(on)" 형성된 층에 대한 언급은 상기 기관 또는 다른 층의 바로 위에 형성된 층을 지칭하거나, 상기 기관 또는 다른 층 상에 형성된 중간 층 또는 중간 층들 상에 형성된 층을 지칭할 수도 있다. 또한, 당해 기술 분야에서 숙련된 자들에게 있어서, 다른 형상에 "인접하여(adjacent)" 배치된 구조 또는 형상은 상기 인접하는 형상에 중첩되거나 하부에 배치되는 부분을 가질 수도 있다.
- [0020] 본 명세서에서, "아래로(below)", "위로(above)", "상부의(upper)", "하부의(lower)", "수평의(horizontal)" 또는 "수직의(vertical)"와 같은 상대적용어들은, 도면들 상에 도시된 바와 같이, 일 구성 부재, 층 또는 영역들이 다른 구성 부재, 층 또는 영역과 갖는 관계를 기술하기 위하여 사용될 수 있다. 이들 용어들은 도면들에 표시된 방향뿐만 아니라 소자의 다른 방향들도 포괄하는 것임을 이해하여야 한다.
- [0021] 이하에서, 본 발명의 실시예들은 본 발명의 이상적인 실시예들(및 중간 구조들)을 개략적으로 도시하는 단면도들을 참조하여 설명될 것이다. 이들 도면들에 있어서, 예를 들면, 부재들의 크기와 형상은 설명의 편의와 명확성을 위하여 과장될 수 있으며, 실제 구현시, 도시된 형상의 변형들이 예상될 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예는 본 명세서에 도시된 영역의 특정 형상에 제한된 것으로 해석되어서는 아니 된다. 또한, 도면의 부재들의 참조 부호는 도면 전체에 걸쳐 동일한 부재를 지칭한다.
- [0022] 도 1a는 일 실시예에 따른 다공성 막(200)의 형성 방법을 나타내는 순서도이고, 도 1b는 다른 실시예에 따른 다공성 막(200)의 형성 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0023] 후술되는 실시예들에서, 다공성 막(200)의 제조 방법의 각 단계는, 적어도 어느 일부가 동시에 진행될 수 있고, 각각의 단계가 개별적으로 이루어질 수 있고, 각 단계의 적어도 어느 일부가 생략될 수 있고, 모순되지 않는 범위 내에서 각 단계의 순서가 바뀔 수 있다. 또한, 다공성 막(200)의 제조 방법의 각 단계는 모든 단계가 자동화 장치에 의하여 수행될 수 있고, 적어도 하나 이상의 단계가 내부 또는 외부의 프로그램 또는 애플리케이션에 의해 자동으로 수행될 수 있고, 실험자에 의하여 적어도 하나 이상의 단계가 수동으로 수행될 수도 있다.
- [0024] 도 1a를 참조하면, 먼저, 반응 챔버(V1) 내부의 기관(SS) 다공성 막(200)을 형성하기 위한 전구체 졸(110) 및 전구체 졸(110)이 분산되어 있는 제 1 용매(120)를 포함하는 전구체 용액(100)을 제공한다(S100). 전구체 졸(110)은 고체 분자가 용매에 용해되지 않고 분산되어 있는 콜로이드성 현탁액일 수 있다. 상기 고체 분자들이 서로 반응하여 연결되면 전구체 졸(110)이 겔을 형성할 수 있다.
- [0025] 상기 겔은 다수의 공극을 가지는 다공성 물질일 수 있으며, 상기 공극 내부에는 공기가 포집될 수 있다. 공기는 1.0006의 낮은 유전율을 가져 상기 겔에 많은 양의 공기가 포집되는 경우 낮은 유전율을 갖는 겔을 제공할 수 있으며, 상기 유전율일 낮은 물질은 낮은 캐패시턴스를 가짐으로써 전자 소자의 집적 회로 제작에 이용되는 경우 RC delay가 감소된 고성능의 전자 소자를 구현할 수 있다.
- [0026] 일 실시예에서, 전구체 졸(110)은 테트라에틸 규산염(tetraethyl orthosilicate; TEOS)을 포함할 수 있다. 전구체 용액(100)은 산성 및/또는 염기성 촉매를 더 포함할 수 있고, 예를 들어, 상기 촉매는 전구체 졸(110)의 가수 분해 또는 축합 반응을 일으킴으로써 전구체 졸(110)이 겔을 형성하도록 졸겔 반응을 일으킬 수 있다. 상기 촉매들은 전구체 용액(100)의 pH를 변화시킴으로써 졸겔 반응을 촉진시킬 수 있다. 다른 실시예에서, 상기 산성 촉매는 옥살산(oxalic acid)일 수 있고, 상기 염기성 촉매는 수산화 암모늄(NH<sub>4</sub>OH)일 수 있다. 전술한 물질들은 비제한적인 예시일 뿐이고, 전구체 졸(110)이 겔을 형성하도록 졸겔 반응을 일으키는 모든 종류의 물질들이 적용될 수 있다.
- [0027] 다른 실시예에서, 전구체 졸(110)은 테트라메틸 오르토실리케이트(tetramethoxy silane; TMOS), 메틸트라이메톡시실란(trimethylmethoxysilane; MTMS), 트라이메톡시실 에테인(bis(trimethoxysilyl)ethane; BTMSE) 또는 트라이메톡시프로필아민(trimethoxysilylpropyl amine; BTMSPA) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 전구체 졸(110)의 반응성 및 가수분해 비율은 전구체 용액(100)의 pH에 따라 달라질 수 있으며, 이는 전구체 졸(110)을 구성하는 물질들의 종류 및 그 구성 비율에 따라 달라질 수 있다.
- [0028] 일 실시예에서, 전구체 졸(110)의 졸겔 반응을 위하여 전구체 용액(100)으로부터 소정의 제 1 용매를 기화시킬 수 있다(S200). 예를 들면, 기관(SS)을 회전시켜 소정의 제 1 용매(120)를 기화시키면서 기관(SS) 상에서 막을 형성하도록 도포할 수 있다. 전구체 용액(100)은 기관(SS)의 중간 지점에 점적될 수 있고, 기관(SS)이 회전하는 경우, 전구체 용액(100)이 원심력에 의하여 기관(SS)의 말단 방향으로 이동할 수 있다. 상기 소정의 제 1



용매의 양은 전구체 용액(100)이 다공성 막(200)을 형성하기 위하여 적정 범위 내의 점도(viscosity)를 갖게 되는 양일 수 있다. 상기 적정 범위 내의 점도는 단위 시간 당 전구체 용액(100)의 점도의 변화량이 큰 구간인 것이 바람직할 수 있다. 상기 점도가 임계 하한값 미만인 경우에는 전구체 용액(100)이 부분적으로 다른 점도를 가져 각 부분마다 기관(SS)의 이동 속도가 다를 수 있어 균일한 막의 형성이 불가능하다. 상기 점도가 임계 상한값을 초과하는 경우에는 상기 이동 속도가 현저히 낮아져 분자들의 이동이 원활하지 못하기 때문에 다공성 막(200)에 표면 크랙이 발생할 수 있다.

[0029] 다른 실시예에서, 제 1 용매(120)의 기화 시간을 단축시키기 위하여 기관(SS)을 가열할 수 있고, 반응 챔버(V1) 내부의 온도를 상승시킬 수 있다. 또 다른 실시예에서는, 전구체 용액(100)을 제공하기 전에 소정 시간 방치하여 전구체 졸(110)을 가라앉히고, 상부에 잔류하는 제 1 용매(120)를 제거한 후에 기관(SS) 상에 제공할 수도 있다.

[0030] 제 1 용매(120)가 기화되어 전구체 용액(100)으로부터 제거되면 전구체 용액(100) 내의 전구체 졸(110)의 비율이 높아진다. 전구체 졸(110)은 TEOS와 같은 알콕사이드(alkoxide)일 수 있고, 전구체 졸(110)은 일종의 중합 반응을 포함하는 졸겔 반응을 한다. 예를 들면, 상기 TEOS가 물과 가수분해 반응을 하고, 상기 가수분해 반응에 의하여 적어도 일부가 가수분해된 단량체들이 실록산(siloxane) 결합을 갖는 중간체들이 획득된다. 이후, 제 1 용매(120)의 증발에 의하여 물과 같은 작은 분자량의 분자들이 제거되고, 상기 실록산 결합에 의한 중합에 의하여 수백 개에서 수천 개의 단량체들이 중합 반응을 하여 고분자가 획득될 수 있다. 특히, TEOS와 같은 실록산 알콕사이드의 경우, 약 4 개의 결합이 가능하기 때문에 망상 구조, 선형 구조 또는 브랜치(branched) 구조와 같은 다양한 구조를 갖는 고분자를 형성할 수 있다. 중복된 기재를 피하기 위하여 다공성 막(200)에 대한 상세한 설명은 도 2를 참조할 수 있다.

[0031] 반응 챔버(V1) 내부에 제 1 용매(120)와 동일 종류의 제 2 용매(130)의 증기를 주입함으로써 반응 챔버(V1) 내부의 상기 용매의 기화 속도를 조절할 수 있다(S200). 예를 들면, 제 1 용매(120) 및 제 2 용매(130)는 메탄올(methanol)일 수 있다. 반응 챔버(V1) 내의 제 1 용매(120)의 포화 증기압은 반응 챔버(V1) 내부의 온도에 따라 결정될 수 있고, 상기 포화 증기압에 도달할 때까지 제 1 용매(120)가 기화될 수 있다. 제 1 용매(120)의 증기압과 상기 포화 증기압의 차이가 클수록 제 1 용매(120)의 기화 속도가 빠르므로 반응 챔버(V1) 내에 제 1 용매(120)와 동일한 종류의 제 2 용매(130)의 증기를 주입하면 제 1 용매(120)의 증기압과 상기 포화 증기압의 차이가 감소함으로써 상기 기화 속도를 낮출 수 있다.

[0032] 일 실시예에서, 반응 챔버(V1)는 외부와 물질 교환이 차단된 닫힌계일 수 있다. 반응 챔버(V1)를 밀폐 상태로 유지함으로써 외부 습도에 따라 용매의 기화 속도, 전구체 용액(100)의 점성 또는 전구체 용액(100)의 표면 장력과 같은 변수들이 달라지는 것을 방지할 수 있다.

[0033] 일 실시예에서는, 제 1 용매(120)를 기화시키는 단계(S200)와 제 1 용매(120)의 기화 속도를 조절(S300)하는 단계가 동시에 수행될 수 있다. 다공성 막(200)을 형성하기 위한 전구체 졸(110)의 졸겔 반응은 소정의 제 1 용매가 기화되면 시작될 수 있다. 상기 졸겔 반응이 충분히 이루어지기 위한 반응 시간을 확보하기 위하여 기화 속도를 조절(S300)할 수 있다. 제 1 용매(120)의 기화 속도의 조절(S300)은 전구체 졸(110)의 졸겔 반응이 완료되어 다공성 막(200)을 형성할 때까지 동시에 진행될 수 있다.

[0034] 다른 실시예에서는, 전구체 용액(100)을 기관 상에 제공하고, 제 1 용매(120)의 기화 속도를 조절(S300)하여 적절한 기화 속도를 확보한 후에, 스핀 코팅과 같은 방법으로 소정의 제 1 용매를 기화(S200)시킬 수도 있다. 예를 들면, 전구체 용액(100)이 제공된 후 초기 스핀에 의하여 상당한 양의 제 1 용매(120)가 제거되면 졸겔 반응이 시작될 수 있다.

[0035] 도 1b를 참조하면, 일 실시예에서, 기관(SS)에 전구체 용액(100)을 제공하는 단계(S100)는, 다공성 막(200)을 형성하기 위한 전구체 졸(110) 및 전구체 졸이 분산되어 있는 제 1 용매(120)의 혼합물을 제공하는 단계(S110), 상기 혼합물에 산성 촉매를 제공하는 단계(S120), 산성 촉매가 제공된 혼합물에 염기성 촉매를 제공하는 단계(S130) 및 상기 혼합물에 산성 촉매 및 염기성 촉매가 혼합된 전구체 용액(100)을 기관(SS) 상에 제공하는 단계(S140)를 포함할 수 있다. 상기 혼합물은 가수 분해 반응을 진행시키기 위하여 상기 산성 촉매가 제공된 이후 실온에서 약 24 시간동안 방치될 수 있다. 이후, 상기 염기성 촉매가 제공되면 응축(condensation)이 일어날 수 있다.

[0036] 다른 실시예에서는, 반응 챔버(V1) 내에 전구체 용액(100)이 제공된 후에, 제 1 용매(120)가 소정의 속도로 기화될 수 있도록 2 용매(130)의 증기를 주입하고, 그 다음에 산성 또는 염기성 촉매가 제공되어 졸겔 반응이 시

작될 수 있다. 상기 촉매는 반응 챔버(V1)에 연결된 노즐을 통하여 전구체 용액(100) 상에 점적될 수 있고, 스프레이 형식으로 제공될 수도 있다.

[0037] 일 실시예에서, 상기 졸겔 반응이 완료된 이후에 반응 챔버(V1) 내부에 진공 상태를 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 진공 상태의 경우, 전구체 용액(100) 내부의 제 1 용매(120)가 빠른 속도로 기화될 수 있다. 이 경우, 졸겔 반응이 완료 후에 제 1 용매(120)가 기화되는 속도를 단축함으로써 빠른 시간 내에 다공성 막(200)을 제조할 수 있다.

[0038] 다른 실시예에서는, 상기 졸겔 반응이 완료된 이후에 기관(SS)을 가열하여 제 1 용매(120)의 기화 속도를 증가시킬 수 있다. 예를 들면, 기관(SS) 하부에 히터(1210)가 설치되거나 기관(SS) 자체 내부에 열선을 포함함으로써 다공성 막(200)을 가열할 수 있다. 이에 따라, 기관(SS)을 가열하면 다공성 막(200)이 건조될 수 있어 다공성 막(200)을 형성한 이후 꺼내는 과정에서 다공성 막(200)이 기관(SS)으로부터 이탈되는 것을 방지할 수 있다.

[0039] 도 2는 일 실시예에 따른 졸겔 반응이 일어나기 전의 전구체 용액(100)의 구성과 졸겔 반응 이후에 다공성 막(200)의 겔 상태를 나타낸 도면이다.

[0040] 일 실시예에서, 졸겔 반응이 일어나기 전의 전구체 용액(100)은 제 1 용매(120)에 분산되어 있는 전구체 졸(110)을 포함할 수 있고, 졸겔 반응을 촉진하기 위한 촉매들을 더 포함할 수 있다. 제 1 용매(120), 전구체 졸(110) 및 상기 촉매들에 관한 상세한 설명은 도 1에서 전술한 개시 사항들을 참조할 수 있다.

[0041] 일 실시예에서, 제 1 용매(120)에 분산되어 있던 전구체 졸(110)은 졸겔 반응에 의하여 겔을 형성하며, 상기 겔은 에어로겔(aerogel)일 수 있다. 전구체 졸(110)이 상호 결합에 의하여 망상 구조 또는 브랜치 구조와 같은 구조를 갖는 고분자를 형성하면, 상기 고분자는 전구체 졸(110)이 분산되어 존재하던 제 1 용매(120)와 열역학적 평형 상태를 이룬다. 이후, 제 1 용매(120)를 제거하는 과정에서 초임계유체를 이용하여 상기 고분자의 구조체 내에 존재하는 공극을 그대로 유지시키며 에어로겔을 형성할 수 있다. 예를 들면, 상기 고분자 구조체 내에 이산화탄소와 같은 초임계유체를 제공하여 상기 공극을 채우고, 이후에 온도와 압력을 낮춰 상기 초임계유체가 기화되면 상기 공극의 크기가 그대로 유지되는 에어로겔을 형성할 수 있다.

[0042] 다른 실시예에서, 상기 겔은 크세로겔(xerogel)일 수 있다. 제 1 용매(120)를 증발시키는 과정에서 초임계유체를 사용하지 않고 제 1 용매(120)를 그대로 증발법을 통하여 제거할 수 있다. 이 경우, 제 1 용매(120)가 증발하면서 모세관력이 작용하여 상기 고분자의 공극 구조가 파괴될 수 있다. 따라서, 본 실시예에 따르면, 상기 초임계유체를 제공하고 온도와 압력을 상승 후 하강시키는 부가적인 공정이 생략될 수 있어 다공성 막(200)의 형성의 간단하고 신속하게 이루어질 수 있다. 또한, 스핀 코팅에 의하여 다공성 막(200)을 형성하는 경우에, 부가적인 장비 없이 스핀 코터 내부에서 바로 막 형성까지 완료될 수 있다는 이점이 있다.

[0043] 또한, 상기 크세로겔은 에어로겔에 비하여 상당히 작은 크기의 공극을 갖는다. 이에 따라, 상기 크세로겔은 상당한 기계적 강도를 가질 수 있다. 또한, 상기 공극의 크기가 작은 다공성 막(200)의 경우, 집적 회로를 갖는 전자 소자들의 제조에 사용되기 적절하도록 수 나노 스케일의 공극을 갖는 이점이 있다.

[0044] 도 3a는 일 실시예에 따라 제 1 용매(120)의 기화 속도가 조절되지 않은 경우의 막 형성 과정을 나타낸 도면이고, 도 3b는 일 실시예에 따라 제 1 용매(120)의 기화 속도가 조절된 경우의 막 형성 과정을 나타낸 도면이다.

[0045] 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 일 실시예에 따른 다공성 막(200)은 스핀 코팅에 의하여 형성될 수 있다. 기관(SS) 상에 전구체 용액(100)이 제공되고, 기관(SS)이 소정의 회전 속도를 갖고 회전하면, 원심력에 의하여 전구체 용액(100)이 기관(SS)의 바깥쪽으로 이동하여 막 형상으로 도포될 수 있다. 기관(SS)이 회전하는 동안, 전구체 용액(100) 내의 제 1 용매(120)가 기화할 수 있고, 제 1 용매(120)의 기화가 완료되면 기관(SS) 상에 막 형상의 전구체 용액(100)의 건조가 완료되어 다공성 막(200)이 형성될 수 있다. 전구체 용액(100)의 졸겔 반응은 전구체 용액(100)이 기관(SS) 상에서 바깥쪽으로 이동하는 과정에서 동시에 이루어질 수 있다.

[0046] 일 실시예에서, 기관(SS)의 스핀 속도는 300rpm 내지 6000 rpm의 범위 내일 수 있고, 예를 들면, 500 rpm 내지 2000 rpm의 범위일 수 있다. 상기 스핀 속도는 전구체 용액(100)이 받는 원심력 및 전구체 용액(100) 상부의 공기의 속도와 난류에 영향을 미친다. 상기 스핀 속도가 빠를수록 상기 원심력이 증가하므로 상기 원심력은 막의 두께에 영향을 미친다. 또한, 균일한 막의 형성을 위해서는 상기 난류를 최소화하거나 일정하게 유지하는 것이 바람직하다. 상기 스핀 속도가 300 rpm 미만인 경우에는 제 1 용매(120)가 적정 시간 내에 기화되기 어렵고, 막의 두께가 균일하지 않게 형성될 수 있다. 상기 스핀 속도가 6000 rpm을 초과하는 경우에는 전구체 용액(100) 상에 의도하지 않은 난류가 형성될 수 있으며, 다공성 구조를 갖는 겔의 경우, 기관(SS)과의 점성 또는



접착력이 강하지 않아 젤이 기관(SS) 외부로 이탈할 수 있다.

[0047] 일 실시예에서, 전구체 용액(100)의 이동 속도는 상기 용매의 기화 속도를 조절함으로써 제어될 수 있다. 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 전구체 용액(100)은 기관(SS)의 회전에 의하여 발생하는 원심력을 받아 바깥쪽(R)으로 이동할 수 있다. 상기 이동 속도( $v$ )와 전구체 용액(100)의 점성률( $\eta$ ) 및 유체 밀도( $\rho$ )는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$v \propto \frac{\rho}{\eta}$$

[0048]

[0049] 상기 이동 속도는 상기 유체의 밀도에 비례하고, 상기 점성률에 반비례하므로 전구체 용액(100)이 기관(SS) 상에 도포되는 속도에 비하여 제 1 용매(120)가 빠르게 기화되는 경우, 전구체 용액(100)이 기관(SS) 상에 균일하게 막을 형성할 수 없다.

[0050]

일 실시예에서, 제 1 용매(120)의 기화 속도를 조절함으로써 전구체 졸(110)이 나노 스케일의 다공성 구조를 형성할 수 있는 충분한 겔화(gelation) 시간을 확보할 수 있다. 도 3a를 참조하면, 상기 기화 속도를 조절하지 않은 경우, 제 1 용매(120)가 빠르게 기화되어 전구체 용액(100)이 기관(SS)의 중간 지점으로부터 멀리 이동하지 못하고 중간 지점에 밀집되어 있으며, 충분한 겔화 시간을 확보하지 못하여 상기 다공성 구조가 갖는 공극의 크기가 나노 스케일의 미세한 공극이 아닌 상당한 크기를 갖는다.

[0051]

도 3b를 참조하면, 제 1 용매(120)의 기화 속도를 조절하는 경우에는, 상기 기화 속도를 조절하지 않는 경우와 달리, 전구체 용액(100)이 적절한 이동 속도를 가질 수 있다. 이에 따라, 전구체 용액(100)은 기관(SS) 상에 균일한 두께를 갖는 막 형상을 갖도록 스핀 코팅될 수 있다. 또한, 상기 기화 속도를 조절함으로써 충분한 겔화 시간을 확보할 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예에서는, 나노 스케일의 공극을 갖는 균일한 두께의 다공성 막(200)을 구현할 수 있다. 상기 나노 스케일의 공극은 전자 마이크론 단위의 집적 회로로 구성되는 전자 소자의 제조에 적합할 수 있으며, 상기 공극 내부에 포함되는 공기와 같은 기체에 의하여 RC delay가 감소된 저유전율 물질을 제공할 수 있다.

[0052]

도 4a는 일 실시예에 따라 제 1 용매(120)가 메탄올인 경우에 반응 챔버(V1)의 온도에 따른 제 1 용매(120)의 포화 증기압 곡선이고, 도 4b는 다른 실시예에 따라 제 1 용매(120)가 에탄올인 경우에 반응 챔버(V1)의 온도에 따른 제 1 용매(120)의 포화 증기압 곡선이다.

[0053]

일 실시예에서, 반응 챔버(V1)의 내부 압력은 1.0 atm 내지 1.2 atm의 범위 내일 수 있다. 도 5a에서 후술되는 다공성 막(200) 제조 장치의 내구성이나 안정성을 확보하고, 반응 챔버(V1)의 밀폐 구조가 일부 손상되더라도 폭발과 같은 사고를 방지하기 위해서 반응 챔버(V1)의 내부 압력은 대기압과 소정의 오차 범위 내에서 동일한 것이 바람직하다. 상기 내부 압력이 임계 하한 값 미만인 경우에는, 반응 챔버(V1) 내부의 기체를 빼낼 수 있는 진공 장비가 추가적으로 필요할 수 있고, 기체를 빼내는 과정에서 전구체 용액(100), 제 1 용매(120)의 증기 또는 제 2 용매(130)의 증기가 함께 유출될 수 있어 생산 수율이 낮아질 수 있다. 상기 내부 압력이 임계 상한 값을 초과하는 경우에는, 반응 챔버(V1)의 밀폐 구조가 일부 열리는 경우, 폭발과 같은 사고로 이어질 위험성이 있고, 특히, 제 1 용매(120)가 메탄올과 같은 독성 물질인 경우 큰 사고의 위험성이 높다.

[0054]

일 실시예에서, 반응 챔버(V1)의 내부 온도는 상기 용매의 포화 증기압이 1.0 atm 내지 1.2 atm의 범위 내의 값을 갖도록 설정될 수 있다. 도 4a를 참조하면, 제 1 용매(120)가 메탄올이고, 포화 증기압이 1 atm인 경우(P1)의 온도(T1)는 64.7 °C이고, 포화 증기압이 1.2 atm인 경우(P2)의 온도(T2)는 70 °C인 것을 볼 수 있다. 이에 따라, 상기 내부 압력이 전술한 범위를 갖기 위한 반응 챔버(V1) 내부의 온도는 64.7 °C 내지 70 °C인 것을 알 수 있다.

[0055]

도 4b를 참조하면, 다른 실시예에서, 제 1 용매(120)가 에탄올이고, 포화 증기압이 1 atm인 경우(P1)의 온도(T1)는 78 °C이고, 포화 증기압이 1.2 atm인 경우(P2)의 온도(T2)는 82 °C인 것을 볼 수 있다. 이에 따라, 상기 내부 압력이 전술한 범위를 갖기 위한 반응 챔버(V1) 내부의 온도는 78 °C 내지 82 °C인 것을 알 수 있다. 전술한 온도 범위는 비제한적인 예시일 뿐이고, 전구체 졸(110)을 분산시킬 수 있는 공지되어 있는 모든 종류의 용매들이 사용될 수 있다. 반응 챔버(V1) 내부의 온도 범위는, 상기 용매들의 포화 증기압이 1.0 atm 내지 1.2 atm의 범위 내의 값을 갖는 온도로 설정될 수 있다.

[0056]

도 5a는 일 실시예에 따른 다공성 막의 제조 장치(1000a)를 나타내는 구성도이고, 도 5b는 다른 실시예에 따른

다공성 막의 제조 장치(1000b)를 나타내는 구성도이다.

- [0057] 도 5a를 참조하면, 일 실시예에 따른 다공성 막의 제조 장치(1000a)는 공급 모듈(1100), 제어 모듈(1200) 및 졸겔 반응 모듈(1300)을 포함할 수 있다. 공급 모듈(1100), 제어 모듈(1200) 및 졸겔 반응 모듈(1300)은 상호간에 노즐, 파이프, 디스펜서(dispenser) 또는 호스와 같은 물질 이동 경로로 연결될 수 있다. 또한, 상기 이동 경로에는 물질의 이동을 제어할 수 있는 스위치 또는 개폐 가능한 노즐이 포함될 수 있다. 다공성 막의 제조 장치(1000a, 1000b)에 관해서는 도 1 내지 도 4b에서 전술한 다공성 막(200)의 제조 방법에 관한 모든 개시 사항이 참조될 수 있다.
- [0058] 일 실시예에서, 공급 모듈(1100)은 반응 챔버(V1) 내부의 기관(SS) 상에 겔을 형성하기 위한 전구체 졸(110) 및 상기 전구체 졸(110)이 분산되어 있는 제 1 용매(120)를 포함하는 전구체 용액(100)을 제공할 수 있다. 공급 모듈(1100)은 전구체 용액(100)을 수용할 수 있는 용매 챔버(V2)를 포함할 수 있다. 공급 모듈(1100)은 상기 탱크로부터 전구체 용액(100)을 추출하여 졸겔 반응 모듈(1300)에 주입할 수 있다. 공급 모듈(1100)은 디스펜서를 통하여 전구체 용액(100)을 보낼 수 있고, 상기 디스펜서는 전구체 용액(100)을 수송할 수 있는 유리관 또는 고무 호스와 같은 수송관일 수 있다.
- [0059] 일 실시예에서, 공급 모듈(1100)에는 압력 조절 장치(미도시)가 포함될 수 있다. 상기 디스펜서의 일 단부가 전구체 용액(100)에 잠겨 있는 경우, 상기 압력 조절 장치가 압력 조절 기체를 주입하여 상기 탱크 내부에 압력을 증가시키면, 전구체 용액(100)이 상기 디스펜서를 통하여 이동할 수 있다. 상기 압력 조절 기체는, 전구체 용액(100)과의 반응을 최소화하기 위하여 예를 들면, 질소와 같은 비활성 기체인 것이 바람직하다. 상기 디스펜서는 전구체 용액(100)의 이동을 개방 또는 폐쇄하는 개폐부를 포함할 수 있다. 상기 디스펜서의 타측 말단은 졸겔 반응 모듈(1300)의 기관(SS) 상에 배치될 수 있으며, 상기 타측 말단으로부터 전구체 용액(100)이 유출되어 기관(SS) 상에 제공될 수 있다.
- [0060] 일 실시예에서, 공급 모듈(1100)은 타겟 다공성 막(200)의 반지름에 따라 전구체 용액(100)의 제공량을 조절할 수 있다. 예를 들면, 사용자로부터 소정의 반지름 값을 획득하여 상기 반지름 값을 갖는 다공성 막(200)을 형성하기 위한 전구체 용액(100) 주입량을 산정할 수 있다. 상기 주입량은 공급 모듈(1100) 내부 또는 외부의 컴퓨팅 장치에 의하여 계산될 수 있고, 이전 실험 데이터들을 수집하여 전구체 용액(100) 주입량에 따른 다공성 막(200)의 반지름 데이터를 산출하여 이용할 수도 있다.
- [0061] 다른 실시예에서, 공급 모듈(1100)은 촉매 제공 모듈을 더 포함할 수 있다. 전구체 졸(110)의 졸겔 반응은 전구체 용액(100)의 pH에 따라 제어될 수 있으므로, 촉매를 제외한 전구체 용액(100)을 먼저 제공하고, pH를 조절하기 위한 촉매를 추가하는 경우, 졸겔 반응의 시작점을 자유롭게 제어할 수 있다. 예를 들면, 촉매가 포함되지 않은 전구체 용액(100)이 먼저 기관(SS) 상에 제공되고, 스핀 코팅에 의해 막을 형성한 후에, 상기 촉매를 제공하여 전구체 졸(110)의 졸겔 반응을 일으킬 수 있다.
- [0062] 일 실시예에서, 제어 모듈(1200)은 반응 챔버(V1) 내부에 상기 제 1 용매(120)와 동일 종류의 제 2 용매(130)의 증기를 주입함으로써 반응 챔버(V1) 내부의 제 1 용매(120)의 기화 속도를 조절할 수 있다. 제어 모듈(1200)은 상기 제 2 용매(130)의 증기를 주입하기 위한 디스펜서를 포함할 수 있다. 상기 디스펜서에 관한 상세한 설명은 전술한 공급 모듈(1100)의 디스펜서에 관한 개시 사항이 참조될 수 있다.
- [0063] 일 실시예에서, 졸겔 반응 모듈(1300)은 전구체 용액(100)으로부터 소정의 제 1 용매를 기화시키고, 전구체 졸(110)을 졸겔 반응시키는 반응 챔버(V1)를 포함할 수 있고, 다공성 막(200)이 형성되는 기관(SS)을 포함할 수 있다. 졸겔 반응 모듈(1300)은 스핀 코터를 포함하여 스핀 코팅에 의하여 다공성 막(200)을 형성할 수 있다. 이 경우, 스핀 속도를 조절하여 제 1 용매(120)의 기화 속도 및 전구체 용액(100)이 기관(SS) 상에 도포되는 속도 및 도포 면적을 조절할 수 있다. 상기 스핀 속도에 관한 상세한 설명은 도 3a 및 도 3b의 개시 사항을 참조할 수 있다. 졸겔 반응 모듈(1300)은 전구체 용액(100)이 제공되는 전구체 용액(100) 노즐(N1) 및 제 2 용매(130)의 증기가 제공되는 용매 증기 노즐(N2)을 더 포함할 수 있다.
- [0064] 다른 실시예에서, 졸겔 반응 모듈(1300)은 물리 증착(physical vapor deposition; PVD), 화학 증착(chemical vapor deposition; CVD) 또는 플라즈마 증합과 같은 박막 제조 기술을 이용하여 다공성 막(200)을 제조할 수 있다. 상기 물리 증착을 이용하는 경우, 먼저 반응 챔버(V1) 내부를 진공 상태로 만들고, 전구체 용액(100)으로 막을 형성한 후에 졸겔 반응이 진행될 수 있다. 전술한 증착 방법들은 예시에 불과하고, 박막을 형성할 수 있는 공지되어 있는 모든 종류의 기술들이 적용될 수 있다.
- [0065] 일 실시예에서, 반응 챔버(V1)는 외부와 물질 교환을 차단하기 위하여 스테인리스 강(steel type stainless)를

포함할 수 있다. 반응 챔버(V1)는 스테인리스 강 소재의 내부 볼(bowl)과 상기 볼을 둘러싸고 있는 외부 볼로 구성될 수 있다. 다른 실시예에서는, 반응 챔버(V1)의 내벽이 스테인리스 강으로 코팅될 수도 있다. 또 다른 실시예에서, 반응 챔버(V1)는 외부와 분리되도록 밀폐된 구조를 갖기 위하여 개구부 주변에 고무 또는 폴리머와 같은 탄성 재료를 포함하는 보호 링이 덧대어질 수 있다.

[0066] 도 5b를 참조하면, 일 실시예에서, 줄겔 반응 모듈(1300)은 반응 챔버(V1) 내부의 제 1 용매(120)의 증기압을 측정하는 제 1 압력 센서(PS1)를 더 포함할 수 있다. 제 1 압력 센서(PS1)는 상기 제 1 용매(120)의 증기압을 측정하여 증기압 정보를 생성하고, 상기 증기압 정보를 제어 모듈(1200)에 제공할 수 있다. 제어 모듈(1200)은 상기 증기압 정보에 따라서 제 2 용매(130)의 제공량을 제어할 수 있다. 이는, 내장 또는 외장 프로그램에 의하여 자동으로 실행될 수 있고, 예를 들면, 상기 증기압 정보가 1 atm 미만인 경우에는 제어 모듈(1200)의 디스펜서를 개방하여 제 2 용매(130)의 증기를 반응 챔버(V1) 내부에 주입할 수 있다.

[0067] 다른 실시예에서, 제 1 압력 센서(PS1)가 반응 챔버(V1) 내부의 제 1 용매(120)의 증기압 정보를 표시할 수 있다. 제어 모듈(1200)의 제 2 용매(130)의 증기의 공급량은 상기 증기압 정보에 따라서 제어될 수 있다. 예를 들면, 상기 제어 모듈(1200)의 디스펜서의 개구부의 크기를 조절하거나 개방되는 시간을 조절할 수 있다.

[0068] 일 실시예에서, 줄겔 반응 모듈(1300)은 반응 챔버(V1) 내부 압력이 소정 값을 초과하는 경우 내부 기체를 유출시킬 수 있는 유출 밸브(RV)를 더 포함할 수 있다. 전술한 것과 같이, 상기 내부 압력은 다공성 막(200) 제조 장치의 파손에 의한 폭발과 같은 사고를 방지하고, 안정성을 확보하기 위하여 1.0 atm 내지 1.2 atm의 범위를 갖는 것이 바람직하다. 상기 내부 압력이 1.2 atm을 초과하는 경우, 유출 밸브(RV)가 개방되어 반응 챔버(V1) 내부의 제 1 용매(120) 증기를 포함한 기체들이 외부로 유출되도록 하여 상기 내부 압력을 적정 범위 내로 유지할 수 있다.

[0069] 일 실시예에서, 제어 모듈(1200)은 제 2 용매(130)를 수용하는 용매 챔버(V2), 제 2 용매(130)가 기화되도록 제 2 용매(130)를 가열하는 히터(1210) 및 제 2 용매(130)의 증기가 반응 챔버(V1)에 공급되는 중에 기체 상태를 유지하도록 가열하는 디스펜서 히터(1200)를 포함할 수 있다. 히터(1210)는 용매 챔버(V2) 내부에 수용되어 제 2 용매(130)와 접촉하는 열선일 수 있고, 용매 챔버(V2) 내부에 포함된 가열기일 수 있고, 상기 가열기는 전기 에너지로 가동될 수 있다. 이 경우, 히터(1210)는 전압 또는 전류에 의해 제어될 수 있어 정량적인 제어가 용이할 수 있다.

[0070] 일 실시예에서, 용매 챔버(V2) 내의 제 2 용매(130)의 온도는 반응 챔버(V1) 내부의 온도와 동일한 온도로 설정될 수 있다. 제 2 용매(130)의 가열 온도가 반응 챔버(V1)의 온도보다 높은 경우 반응 챔버(V1) 내부의 제 1 용매(120)의 증기압을 조절하기 어려울 수 있고, 반응 챔버(V1)에서 다시 온도가 낮아지기 때문에 불필요한 전력 소모가 발생할 수 있다. 제 2 용매(130)의 가열 온도가 반응 챔버(V1)의 온도보다 낮은 경우에는 반응 챔버(V1) 내부에서 액화된 수 있고, 액화된 제 2 용매(130)가 반응 챔버(V1) 내에서 다공성 막(200) 상에 떨어지는 경우 다공성 막(200)에 결함을 발생시킬 수 있다.

[0071] 일 실시예에서, 디스펜서 히터(1210)는 용매 챔버(V2)로부터 제 2 용매(130)의 증기를 줄겔 반응 모듈(1300)에 공급하는 디스펜서를 가열할 수 있다. 디스펜서 히터(1210)는 디스펜서를 둘러싸고 있는 열선일 수 있고, 디스펜서를 가열할 수 있는 가열 커버일 수 있다. 예를 들면, 디스펜서 주위에 고온의 유체를 지속적으로 제공할 수 있는 유로를 형성할 수 있다. 이에 따라, 본 실시예에서는 용매 챔버(V2)에서 기화된 제 2 용매(130)가 상기 디스펜서를 통하여 제어 모듈(1200)에서 줄겔 반응 모듈(1300)로 이동하는 동안 다시 액화되어 상기 디스펜서의 통로를 막는 것을 방지하여 상기 디스펜서의 내구성을 향상시키고 제어 모듈(1200)의 제어 정밀도를 향상시킬 수 있다.

[0072] 일 실시예에서, 제어 모듈은 용매 챔버(V2) 내부의 제 2 용매(130)의 증기압을 측정하기 위한 제 2 압력 센서(PS2)를 더 포함할 수 있다. 제 2 압력 센서(PS2)는 제 2 용매(130)의 증기압이 소정 범위를 벗어나는 경우 디스플레이에 표시할 수 있고, 알람을 울릴 수 있고, 유출 밸브를 개방하여 기상의 제 2 용매(130)가 외부로 유출되도록 할 수 있다. 상기 소정 범위는 용매 챔버(V2)가 내부 압력에 의하여 파손 또는 폭발하지 않도록 대기압과 유사한 범위, 예를 들면, 1.0 atm 내지 1.2 atm으로 설정되는 것이 바람직하다. 이에 따라, 본 발명의 실시예에서는, 제어 모듈의 안정성을 확보할 수 있고, 높은 내구성을 가지며, 장기간의 사용이 보장되는 다공성 막의 제조 장치(1000b)를 제공할 수 있다. 특히, 제 1 용매(120) 및 제 2 용매(130)가 메탄올인 경우에는 폭발의 위험성 및 인체에 유해성이 높기 때문에 제 2 압력 센서(PS2)에 의하여 상용화 가능한 다공성 막의 제조 장치(1000b)를 제공할 수 있다.

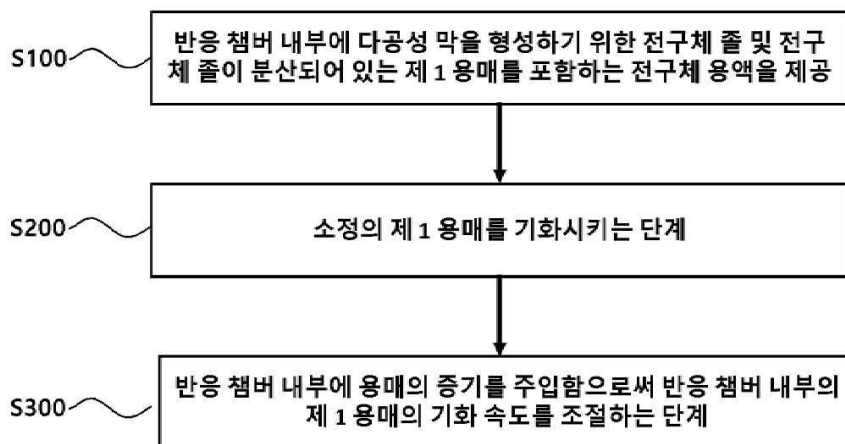
[0073] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

### 부호의 설명

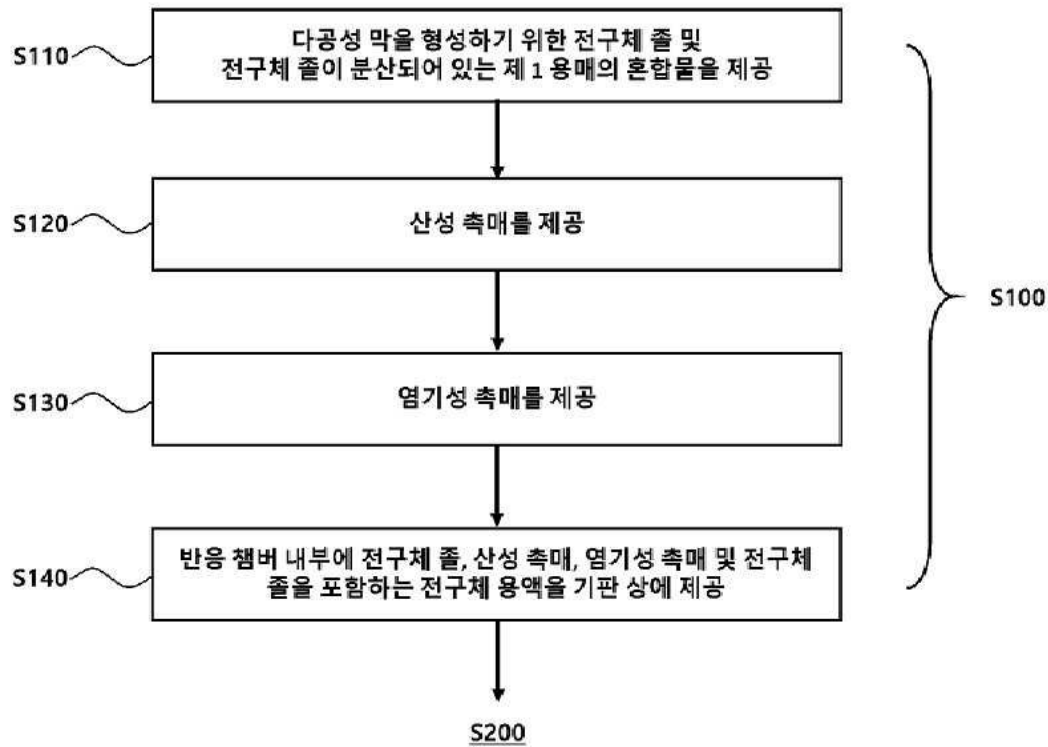
[0074] 100: 전구체 용액  
110: 전구체 졸  
120: 제 1 용매  
130: 제 2 용매  
200: 다공성 막  
SS: 기관  
1000a, 1000b: 다공성 막의 제조 장치  
1100: 공급 모듈  
1200: 제어 모듈  
1300: 졸겔 반응 모듈  
V1: 반응 챔버  
V2: 용매 챔버  
PS1: 제 1 압력 센서  
PS2: 제 2 압력 센서  
1210: 히터  
1220: 디스펜서 히터  
RV: 유출 밸브

### 도면

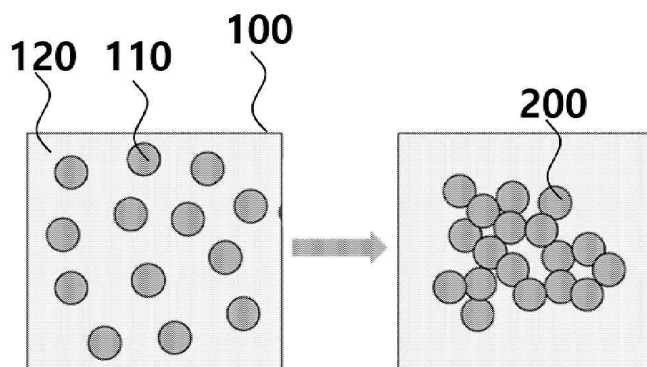
#### 도면1a



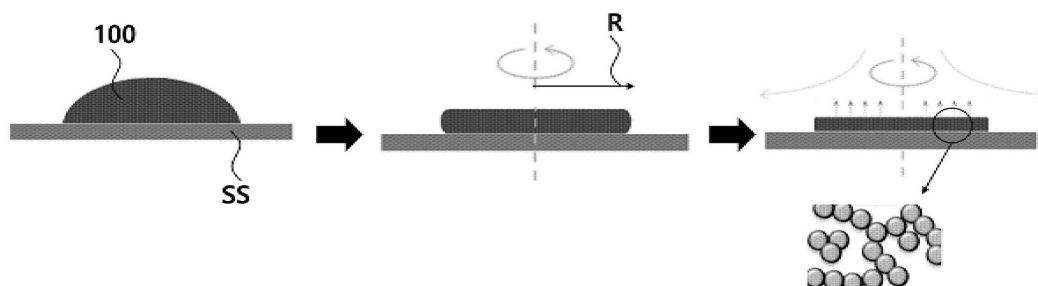
도면 1b



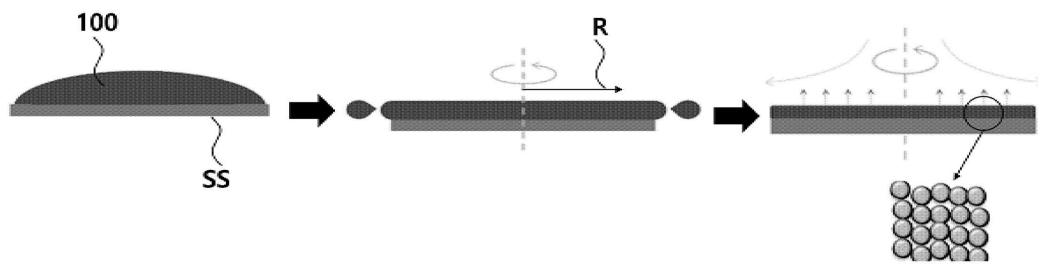
도면2



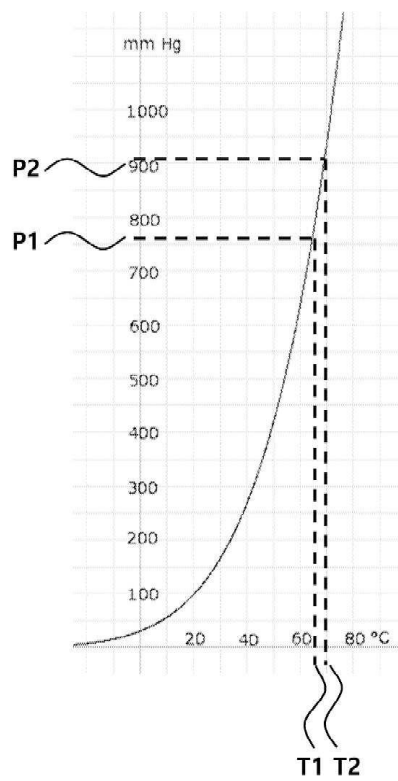
도면 3a



도면3b

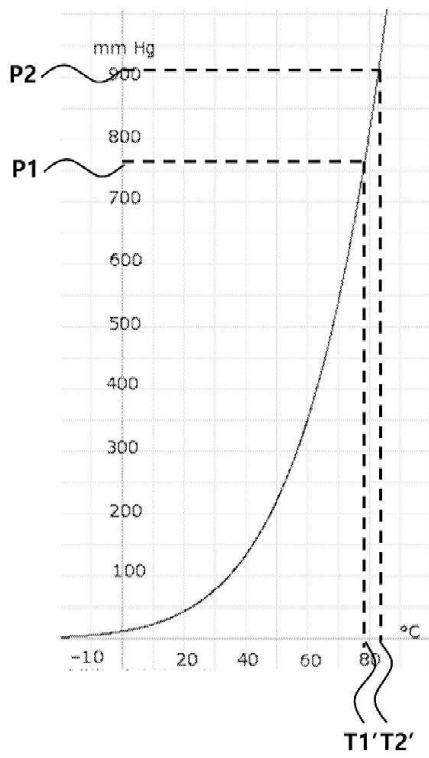


도면4a

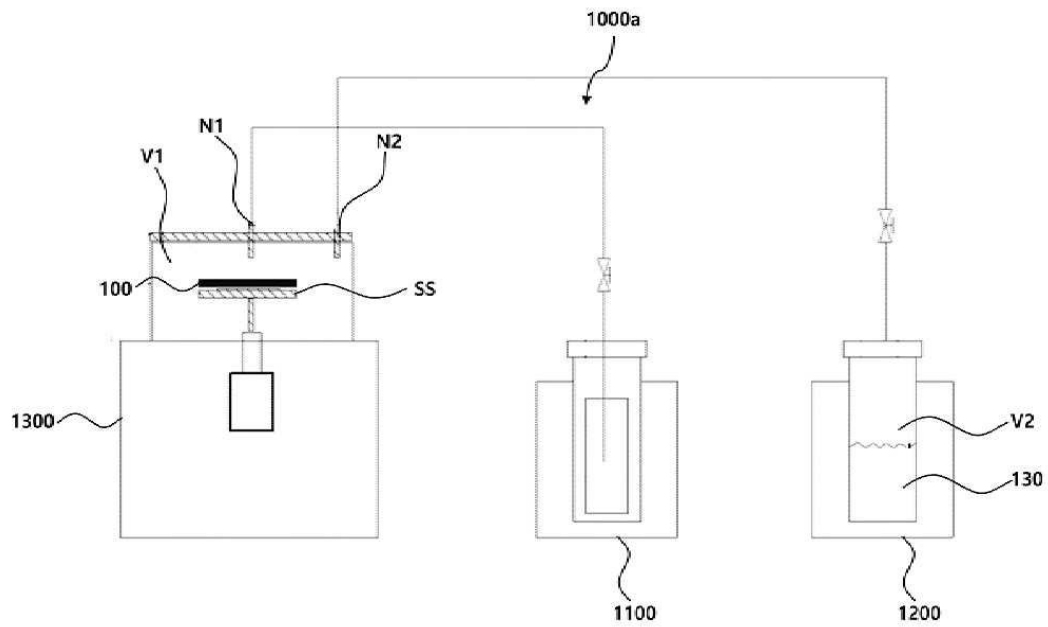




도면4b



도면5a



도면5b

