(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년01월06일
(11) 등록번호 10-1582787
(24) 등록일자 2015년12월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 1/02 (2006.01) *G02B 6/13* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0144425
(22) 출원일자 2014년10월23일
심사청구일자 2014년10월23일
(56) 선행기술조사문헌
B.H. Hatton et al., Assembly of large-area, highly ordered, crack-free inverse opal films, Proceedings of The National Academy of Sciences. 2010, vol. 107, no. 23, pp. 10354-10359.*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
이승엽
서울특별시 서초구 방배중앙로7길 56 청구빌라 103호
서한복
서울 강북구 덕릉로51가길 14
(74) 대리인
지현조

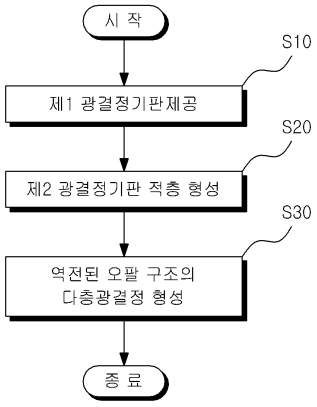
전체 청구항 수 : 총 15 항 심사관 : 손병철

(54) 발명의 명칭 **광결정 구조 및 그 제조방법**

(57) 요 약

제조 공정을 간소화할 수 있으며, 효율성을 향상 시킬 수 있는 광결정 구조 및 그 제조방법이 개시된다. 광결정 구조를 제조하는 방법은, 제1광반응 미립자를 결정 구조화하여 제공되되, 제1광반응 미립자의 사이 공극에 제1하이드로젤(first hydrogel)이 충진된 제1광결정기판을 제공하는 단계; 제2광반응 미립자를 결정 구조화하여 제공되되, 제2광반응 미립자의 사이 공극에 제2하이드로젤(second hydrogel)이 충진된 제2광결정기판을 제1광결정기판을 이용하여 제1광결정기판 상에 적층 형성하는 단계; 및 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자를 제거하여 제1하이드로젤 및 제2하이드로젤로 이루어진 역전된 오팔구조(inverse opal)의 다층광결정을 형성하는 단계;를 포함한다.

대 표 도 - 도1



명 세 서

청구범위

청구항 1

광결정 구조를 제조하는 방법에 있어서,

(1) 제1광반응 미립자를 결정 구조화하여 제공되되, 상기 제1광반응 미립자의 사이 공극에 제1하이드로젤(first hydrogel)이 충진된 제1광결정기판을 제공하는 단계;

(2) 제2광반응 미립자를 결정 구조화하여 제공되되, 상기 제2광반응 미립자의 사이 공극에 제2하이드로젤(second hydrogel)이 충진된 제2광결정기판을 상기 제1광결정기판을 이용하여 상기 제1광결정기판 상에 적층 형성하는 단계; 및

(3) 상기 제1광반응 미립자 및 상기 제2광반응 미립자를 제거하여 상기 제1하이드로젤 및 상기 제2하이드로젤로 이루어진 역전된 오팔구조(inverse opal)의 다층광결정을 형성하는 단계;를 포함하며,

(1) 상기 제1광결정기판을 제공하는 단계는,

(1-1) 제1기판, 상기 제1기판에 대향하여 이격되게 적층되어 상기 제1기판과 함께 그 사이 이격된 공간으로 채널을 형성하는 제2기판, 및 상기 제1기판과 상기 제2기판 사이의 측면을 밀봉하되 적어도 일측에 제1개구부를 제공하는 제1스페이서를 포함하는 대상체를 제공하는 단계;

(1-2) 상기 제1광반응 미립자를 포함하는 제1콜로이드 용액을 상기 채널에 제공하는 단계;

(1-3) 상기 제1광반응 미립자를 결정 구조화하는 단계;

(1-4) 상기 제1광반응 미립자의 사이 공극에 상기 제1하이드로젤을 주입하는 단계; 및

(1-5) 상기 제1하이드로젤을 경화시키는 단계;를 포함하고,

(1-4) 상기 제1광반응 미립자의 사이 공극에 상기 제1하이드로젤을 주입하는 단계는, 상기 제1기판 및 상기 제2기판을 서로 분리하기 전에, 상기 제1광반응 미립자의 사이 공극에 용매가 잔류된 상태에서 수행되되,

(1-4-1) 상기 제1광반응 미립자의 사이 공극에 잔류된 용매보다 상대적으로 높은 밀도를 갖는 상기 제1하이드로젤을 상기 채널의 일단에 공급하는 단계; 및

(1-4-2) 상기 대상체를 회전시켜 밀도차에 의해 상기 제1하이드로젤을 상기 제1광반응 미립자의 사이 공극으로 주입하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서,

(1-3) 상기 제1광반응 미립자를 결정 구조화하는 단계는,

상기 채널에 충진된 상기 제1콜로이드 용액 중 일부가 상기 제1개구부를 통해 대기에 노출됨에 따라 건조되면서 상기 제1광반응 미립자가 자기 조립(self assembly)되어 결정 구조화되는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하

는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

(1-3) 상기 제1광반응 미립자를 결정 구조화하는 단계에서,

상기 대상체는 정지 또는 회전 상태를 유지하고, 상기 대상체의 회전시에는 원심력에 의해 상기 제1광반응 미립자가 상기 채널을 따라 이동 가능한 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

(2) 상기 제1광결정기판을 이용하여 상기 제1광결정기판 상에 상기 제2광결정기판을 적층 형성하는 단계는,

(2-1) 상기 제1광결정기판, 상기 제1광결정기판에 대향하여 이격되게 적층되어 상기 제1광결정기판과 함께 그 사이 이격된 공간으로 적층채널을 형성하는 적층기판, 및 상기 제1광결정기판과 상기 적층기판 사이의 측면을 밀봉하되 적어도 일측에 제2개구부를 제공하는 제2스페이서를 포함하는 적층대상체를 제공하는 단계;

(2-2) 상기 제2광반응 미립자를 포함하는 제2콜로이드 용액을 상기 적층채널에 제공하는 단계;

(2-3) 상기 제2광반응 미립자를 결정 구조화하는 단계;

(2-4) 상기 제2광반응 미립자의 사이 공극에 상기 제2하이드로젤을 주입하는 단계; 및

(2-5) 상기 제2하이드로젤을 경화시키는 단계;에 의해 제공되는 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

(2-4) 상기 제2광반응 미립자의 사이 공극에 상기 제2하이드로젤을 주입하는 단계는, 상기 제1광결정기판 및 상기 적층기판을 서로 분리하기 전에, 상기 제2광반응 미립자의 사이 공극에 용매가 잔류된 상태에서 수행되는 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

(2-4) 상기 제2광반응 미립자의 사이 공극에 상기 제2하이드로젤을 주입하는 단계는,

(2-4-1) 상기 제2광반응 미립자의 사이 공극에 잔류된 용매보다 상대적으로 높은 밀도를 갖는 상기 제2하이드로젤을 상기 적층채널의 일단에 공급하는 단계; 및

(2-4-2) 상기 적층대상체를 회전시켜 밀도차에 의해 상기 제2하이드로젤을 상기 제2광반응 미립자의 사이 공극으로 주입하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

(2-3) 상기 제2광반응 미립자를 결정 구조화하는 단계는,

상기 적층채널에 충진되는 상기 제2콜로이드 용액이 상기 제2개구부를 통해 대기에 노출됨에 따라 건조되면서 상기 제2광반응 미립자가 자기 조립(self assembly)되어 결정 구조화되는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 11

제7항에 있어서,

(2-3) 상기 제2광반응 미립자가 결정 구조화하는 단계에서,

상기 대상체는 정지 또는 회전 상태를 유지하고, 상기 대상체의 회전시에는 원심력에 의해 상기 제2광반응 미립자가 상기 적층채널을 따라 이동 가능한 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 제2스페이서는 선택적으로 두께 조절 가능하게 제공되며,

상기 제2광결정기판은 상기 제2스페이서 및 상기 적층기판을 이용하여 형성 가능한 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 제2스페이서는 파라필름(Parafilm)으로 형성되며,

상기 제2스페이서는 가열될 시 수축되며 두께가 증가 가능한 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 제2광결정기판을 반복적으로 적층 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 제1광결정기판 및 상기 제2광결정기판은 서로 다른 격자 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 16

제1항에 있어서,

상기 제1광반응 미립자 및 상기 제2광반응 미립자는 서로 다른 사이즈로 제공되는 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 17

제1항에 있어서,

상기 제1하이드로젤 및 상기 제2하이드로젤 중 적어도 어느 하나는 폴리에틸렌글리콜(PEG; PolyEthylene Glycol)을 포함하는 것을 특징으로 하는 광결정 구조의 제조방법.

청구항 18

제1항, 제5항 내지 제17항 중 어느 하나의 제조방법에 의해 제조된 광결정 구조.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 역전된 오팔구조(inverse opal)의 광자 결정 또는 광결정 구조의 제조에 관한 것으로서, 보다 자세하게는, 제조 공정을 간소화할 수 있으며, 효율성을 향상 시킬 수 있는 광결정 구조 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 광결정(Photonic Crystal, PC)은 특정 파장의 빛을 반사할 수 있으며, 광결정 연구의 핵심 물성은 완전히 반사

시킬 수 있는 빛의 파장 영역인 광 밴드갭이라 할 수 있다. 이 광 밴드갭은 광결정 내부에 배열된 두 물질 사이의 굴절률 차이 또는 물질이 배열된 구조와 격자의 주기에 따라 변화할 수 있다.

[0003] 광결정이 1차원 배열인 경우, 주기적 구조만을 가지면 특정 광 밴드갭을 얻을 수 있다. 하지만 광결정이 2차원 또는 3차원의 구조인 경우, 각 차원에 맞는 결정 구조를 갖더라도 완전한 광 밴드갭을 구현하기가 매우 까다롭다. 예를 들어 전형적인 오팔(Opal) 구조의 경우, 3차원 광결정 구조임에도 광 밴드갭을 측정해 보면 완전한 광 밴드갭을 보이지 못한다. 즉, 3차원 광결정 구조에서는 모든 방향에 대해 반사율이 100%인 빛의 파장대가 존재하지 않으며, 다만 면심입방체(FCC) 결정에서 실리카가 가장 밀집되게 배열하고 있는 [111]평면에 수직인 [111]방향으로 투과하는 빛에 대해서만 유사 밴드갭을 보일 수 있다. 여기서 유사 밴드갭이란 특정한 방향으로 입사하는 빛에 대해서만 반사성을 보이는 경우 완전히 반사되는 빛의 파장영역대를 의미한다.

[0004] 위와 같은 오팔 구조에서 불완전한 광 밴드갭 특성을 보완하기 위한 방안 중 하나로, 미립자가 면심입방체의 결정격자로 공기의 공동이 매질 속에 배열된 인버스 오팔(Inverse Opal) 구조를 활용하는 것이 있다. 매질이 빛을 흡수하지 않는 전자기 모드가 독립적인 맥스웰(Maxwell) 방정식을 이용하여 전산모사를 하면 모든 방향에 대해 광 밴드갭을 가지는 것을 확인 가능하다.

[0005] 이와 같은 역전된 오팔 구조가 완전한 3차원 밴드갭을 갖기 위해서는 매질과 공기의 굴절률 비가 최소한 2.8이상이 되어야 하며, 이런 물질은 실제로 가시광 영역에서 빛을 흡수하지 않는 이산화티타늄(TiO_2) 등을 이용하여 제조될 수 있다. 예를 들어, 실리콘을 매질로 사용하는 경우, 광결정의 반사특성을 측정한 결과 모든 방향으로 특정파장대의 빛을 거의 99%반사시킬 수 있다.

[0006] 하지만, 역전된 오팔 구조는 가시광 영역에서 3차원 광 밴드갭을 구현할 수 있는 가능성을 갖고 있음에도 불구하고, 오팔의 광 밴드갭은 실제 광학소자로 응용되기에 밴드갭이 충분히 넓지 못하다는 단점이 있다.

[0007] 보다 넓은 광 밴드갭을 얻기 위한 연구의 결과로 구가 면심입방체의 결정격자구조로 배열된 것보다는 다이아몬드의 탄소원자가 배열된 것과 같이 사면체 구조로 배열되는 경우, 보다 넓은 밴드갭을 갖는 것으로 알려져 있다.

[0008] 광결정의 격자구조를 다이아몬드 구조로 형성하기 위한 방안 중 하나로 다양한 LiGA(Lithographie, Galvanoformung, Abformung) 기술이 이용될 수 있다. LiGA 기술은 미세가공기술인 식각법에 바탕을 두고 광결정을 제조하는 방법으로, 굴절률을 갖는 유전체의 표면 위에 점원(point circle)들을 삼각형 정렬로 배열하도록 패턴을 만든 후, 각 점원 위에서 3개의 서로 다른 방향으로 X선 리소그래피(deep x-ray lithography)로 구멍을 내어 만든다. 세 개의 X선 빔이 마주치는 부분은 공기의 공동이 크게 형성되고, 이들은 서로 연결되어 있으며, 큰 공동은 다이아몬드에서 탄소원자와 같은 격자위치에 놓이게 된다. 이때, 공동은 정확한 구가 아닌 변형된 다이아몬드 구조로 면심입방체의 실리콘 역전 오팔에 비하여 약 4배 이상 넓은 광 밴드갭을 보일 수 있다.

[0009] 또 다른 방법으로 LiGA 기술 중 적층법을 이용한 다이아몬드 구조의 광결정 제조 방법이 있다. 빔에 의한 식각이 아닌 층별로 쌓아 가면서 능동적으로 광전자기능을 발현할 수 있는 점 또는 선형공간을 한꺼번에 제조하는 방식으로, 실리콘과 같이 굴절률이 큰 유전체를 식각법을 써서 여러 개의 막대기 모양으로 만들고 일정한 간격으로 막대기를 평면 위에 나란히 배열하여 층층이 4층 구조로 쌓아 다이아몬드 구조를 만들 수 있다. 참고로, 유전체 막대기로 각 층을 쌓을 때마다 열을 가하여 막대기들이 용융상태에서 서로 접합이 되도록 한다. 또한, 일 예로 4층마다 같은 구조가 반복되도록 유전체 막대기를 반복적으로 쌓으면 다이아몬드 구조와 같은 넓은 광 밴드갭을 보일 수 있다. 여기서 밴드갭의 위치와 너비는 막대기의 굵기, 배열주기 및 굴절률에 따라 변화할 수 있다. 따라서 층별로 다른 밴드갭을 갖는 광결정의 제조가 가능하다. 또한 이 제조법은 쉽게 빛이 전파해 갈 수 있는 점 및 선형공간을 설계·제작할 수 있어서 광파 가이드와 같은 광소자의 제조가 상대적으로 용이한 장점이 있다. 그러나 공정이 복잡하고 비싸기 때문에 실용화에 어려움이 있다.

[0010] 이 외의 LiGA 기술 중 광원으로부터 조사된 빛이 만나서 만드는 간섭무늬를 감광성 고분자 감광물질(Photo Resistor, PR)에 만든 후, 중합되거나 중합되지 않는 부분을 선택적으로 녹여 내어 광결정 구조를 만들 수 있는 식각법이 있다. 4개의 광원으로부터 오는 빛은 면심입방체 구조의 간섭명암무늬를 만들고, 이를 음성 포토레지스트에 투사하면 밝은 무늬부분에서만 감광에 의한 광중합이 일어난다. 현상액으로 감광되지 않은 부분을 제거하면 고분자로 이루어진 오팔 구조의 패턴을 얻을 수 있다. 참고로, 이 고분자 오팔 사이 공간을 굴절률이 큰 실리콘이나 이산화티타늄(TiO_2)으로 채운 후 열을 가하여 고분자를 분해 제거하면 실리콘 역전오팔을 얻을 수 있다. 이 방법은 결함이 없는 단결정을 얻을 수 있고, 공정이 간단하여 실용성이 크다.

[0011] LiGA 기술 외에는 대표적으로 콜로이드 미립자를 활용한 광결정 제조 방법들이 사용될 수 있다. 콜로이드 미립자의 침강과 증발을 통한 결정화가 있는데, 매질에 분산된 일정한 크기의 콜로이드 미립자를 침강이나 증발을 통해 서서히 결정화시킴으로써 얻을 수 있는 방법이다. 콜로이드 미립자는 일반적으로 정전기적 반발력 또는 미립자 표면에 흡착된 고분자에 의하여 서로 엉기지 않고 안정화되어 있으며 브라운 운동으로 무질서하게 운동하고 있다. 크기가 균일한 미립자들로 이루어진 콜로이드는 미립자의 농도가 증가할수록 무질서한 배열에서 증가하는 엔트로피에 의해 자발적으로 점차 규칙적 결정 구조로 바뀌게 된다. 이때, 미립자의 농도가 49%에 이르면 결정화가 일어나며, 55% 일 때 결정화가 완전히 일어난다. 밀집구조를 갖는 2차원 배열을 차곡차곡 쌓는다면, 광결정 구조는 육방밀집구조나 면심입방구조를 가질 수 있다.

[0012] 뿐만 아니라, 최근에는 제조 공정이 간단하면서도 실용성이 높은 광결정을 자유롭게 형성하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명은 제공 공정을 간소화할 수 있으며, 실용성이 높은 광결정 구조 및 그 제조방법을 제공한다.

[0014] 특히, 본 발명은 역전된 오팔구조(inverse opal)를 갖는 광결정을 일체화된 다층 구조로 형성할 수 있는 광결정 구조 및 그 제조방법을 제공한다.

[0015] 또한, 본 발명은 각 층마다 다른 광학 특성을 가질 수 있는 역전된 오팔구조의 다층광결정을 형성할 수 있는 광결정 구조 및 그 제조방법을 제공한다.

[0016] 또한, 본 발명은 미리 제공된 광결정기판을 다음에 적층 형성될 광결정기판의 틀(mold)로서 사용할 수 있는 광결정 구조 및 그 제조방법을 제공한다.

[0017] 또한, 본 발명은 제조 원가를 절감하고 공정 시간을 단축할 수 있으며, 안정성 및 신뢰성을 향상 시킬 수 있는 광결정 구조 및 그 제조방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0018] 상술한 본 발명의 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, 광결정 구조를 제조하는 방법은, 제1광반응 미립자를 결정 구조화하여 제공되되, 제1광반응 미립자의 사이 공극에 제1하이드로젤(first hydrogel)이 충진된 제1광결정기판을 제공하는 단계; 제2광반응 미립자를 결정 구조화하여 제공되되, 제2광반응 미립자의 사이 공극에 제2하이드로젤(second hydrogel)이 충진된 제2광결정기판을 제1광결정기판을 이용하여 제1광결정기판 상에 적층 형성하는 단계; 및 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자를 제거하여 제1하이드로젤 및 제2하이드로젤로 이루어진 역전된 오팔구조(inverse opal)의 다층광결정을 형성하는 단계;를 포함한다.

[0019] 제1광결정기판은 요구되는 조건에 따라 다양한 방식으로 제공될 수 있다. 일 예로, 제1광결정기판은, 채널이 형성된 대상체를 제공하는 단계, 제1광반응 미립자를 포함하는 제1콜로이드 용액을 채널에 제공하는 단계, 제1광반응 미립자를 결정 구조화하는 단계, 제1광반응 미립자의 사이 공극에 제1하이드로젤을 주입하는 단계, 및 제1하이드로젤을 경화시키는 단계에 의해 제공될 수 있다.

[0020] 참고로, 본 발명에서 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자라 함은 광결정 구조를 형성할 수 있는 미립자로 이해될 수 있으며, 그 종류 및 특성에 의해 본 발명이 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 일 예로, 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자는 폴리스티렌(PS), 폴리메틸메타크릴레이트 및 실리카 미립자 중 적어도 어느 하나를 포함하여 구성될 수 있다.

[0021] 아울러, 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자의 직경은 각 입자의 재질에 따른 굴절률(reflective Index) 및 형상에 따라 광결정 제작시 가시광선 영역, 적외선 영역, 및 자외선 영역의 광결정 특성을 낼 수 있는 크기를 선택하여 사용할 수 있다. 또한, 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자는 서로 동일한 사이즈를 갖도록 제공될 수도 있으나, 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자가 서로 다른 사이즈를 갖도록 제공되는 것도 가능하다.

[0022] 제1광반응 미립자가 결정 구조화되는 동안에 대상체는 정지 또는 회전 상태를 유지할 수 있다. 아울러, 대상체의 회전시에는 원심력에 의해 제1광반응 미립자가 채널을 따라 이동할 수 있다. 마찬가지로 제2반응 미립자가 결정 구조화되는 동안에 적층대상체는 정지 또는 회전 상태를 유지할 수 있다.

[0023] 참고로, 제2광반응 미립자가 결정 구조화되는 동안 적층대상체의 회전 속도는, 제1광반응 미립자가 결정 구조화되는 동안 대상체의 회전 속도와 서로 다르게 설정될 수 있다. 이와 같은 방식에 의해, 제2광반응 미립자가 결정 구조화되는 동안 제2광반응 미립자에 작용하는 원심력과, 제1광반응 미립자가 결정 구조화되는 동안 제1광반응 미립자에 작용하는 원심력이 서로 달라질 수 있으며, 이와 같은 원심력 차이에 의해 제1광반응 미립자로 이루어진 제1광결정기판과, 제2광반응 미립자로 이루어진 제2광결정기판은 서로 다른 격자 구조를 가질 수 있다.

[0024] 제1 및 제2하이드로젤로서는 제1 및 제2광반응 미립자를 제거할 수 있는 용액에 대한 내화학성을 가지며, 자외선 또는 열에 의해 경화될 수 있는 다양한 시약이 사용될 수 있으며, 제1 및 제2하이드로젤로 사용되는 시약의 종류 및 특성에 의해 본 발명이 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 일 예로, 제1 및 제2하이드로젤로서는 하이드로젤의 일종인 폴리에틸렌글리콜(PEG; PolyEthylene Glycol)이 사용될 수 있다. 참고로, 제1 및 제2하이드로젤은 제1 및 제2콜로이드 용액의 용매보다 높은 밀도를 갖도록 제공된다.

[0025] 참고로, 제1하이드로젤은 제1기판 및 제2기판을 제거한 상태에서 제1광반응 미립자의 사이 공극에 주입하는 것도 가능하지만, 다르게는 별도의 기판 분리 과정 없이 제1광반응 미립자의 사이 공극에 용매가 잔류된 상태에서 제1하이드로젤의 주입이 이루어지도록 구성될 수 있다. 일 예로, 제1광반응 미립자의 사이 공극에 제1하이드로젤을 주입하는 단계는, 제1광반응 미립자의 사이 공극에 잔류된 용매보다 상대적으로 높은 밀도를 갖는 제1하이드로젤을 채널의 일단에 공급하는 단계, 및 대상체를 회전시켜 밀도차에 의해 제1하이드로젤을 제1광반응 미립자의 사이 공극으로 주입하는 단계에 의해 구현될 수 있다. 제2하이드로젤 역시 제1하이드로젤과 동일 또는 유사한 방식으로 제2광반응 미립자의 사이 공극에 주입될 수 있다.

[0026] 한편, 제1광결정기판을 이용하여 제1광결정기판 상에 제2광결정기판을 적층 형성할 수 있는 바, 본 발명에서 제1광결정기판을 이용하여 제1광결정기판 상에 제2광결정기판을 적층 형성한다 함은, 제1광결정기판을 제2광결정기판을 형성하기 위한 일종의 틀(mold)로서 사용할 수 있는 것으로 이해될 수 있다. 일 예로, 제1광결정기판을 이용하여 제1광결정기판 상에 제2광결정기판을 적층 형성하는 단계는, 제1광결정기판을 포함하며 적층채널이 형성된 적층대상체를 제공하는 단계, 제2광반응 미립자를 포함하는 제2콜로이드 용액을 적층채널에 제공하는 단계, 제2광반응 미립자를 결정 구조화하는 단계, 제2광반응 미립자의 사이 공극에 제2하이드로젤을 주입하는 단계, 및 제2하이드로젤을 경화시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0027] 또한, 제2광결정기판을 형성하는데 사용되는 제2스페이서는 선택적으로 두께 조절 가능하게 제공될 수 있으며, 제1광결정기판을 형성하기 위한 제1스페이서로 사용되는 것이 가능하다. 일 예로, 파라필름 재질로 이루어진 제2스페이서는 가열될 시 수축되며 두께가 증가하는 특성을 가지기 때문에, 파라필름 재질의 제2스페이서는 제1광결정기판을 형성하기 위한 제1스페이서로 사용된 후, 가열 공정을 통해 두께를 증가시켜 제2광결정기판을 형성하기 위해 다시 사용될 수 있다. 경우에 따라서는 복수개의 제1스페이서를 여러겹 적층하여 이루어진 제2스페이서를 이용하여 제2광결정기판을 형성하는 것도 가능하며, 다르게는 제1광결정기판을 형성할 시 사용된 제1스페이서와 다른 두께를 갖는 다른 제2스페이서를 이용하여 제2광결정기판을 형성하는 것도 가능하다.

[0028] 참고로, 제1광결정기판 상에는 단 하나의 제2광결정기판이 적층 형성되거나, 복수개의 제2광결정기판이 반복적으로 적층 형성될 수 있다.

[0029] 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자의 제거는 통상의 제거 처리에 의해 제거될 수 있다. 일 예로, 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자는 불산을 이용한 제거 처리 단계에 의해 제거될 수 있다. 경우에 따라서는 여타 다른 물질 또는 다른 방식으로 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자를 제거하는 것이 가능하다. 아울러, 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자는 서로 다른 사이즈를 갖는 것이 가능하기 때문에, 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자가 제거됨에 따라 제공되는 포어(pore) 역시 서로 다른 사이즈로 제공되는 것이 가능하다.

발명의 효과

[0030] 본 발명에 따른 광결정 구조 및 그 제조방법에 의하면, 제조 공정이 간단하면서도 실용성이 높은 역전된 오팔구조(inverse opal)의 광결정을 다층 구조로 형성할 수 있다.

[0031] 특히, 본 발명에 따르면 역전된 오팔구조를 갖는 광결정을 일체화된 다층 구조로 자유롭게 형성할 수 있으며, 각 층마다 다른 광학 특성을 가질 수 있는 역전된 오팔구조의 다층광결정을 형성할 수 있다.

[0032] 또한, 본 발명에 따르면 미리 제공된 광결정기판을 다음에 적층 형성될 광결정기판의 틀(mold)로서 사용할 수 있기 때문에, 구조 및 제조 공정을 간소화할 수 있으며, 제조 원가를 절감할 수 있다.

[0033] 또한, 본 발명에 따르면 별도의 기판 분리 과정 및 용매 건조 과정없이, 광반응 미립자의 사이 공극에 용매가

잔류된 상태에서 광반응 미립자의 사이 공극에 하이드로젤을 주입할 수 있기 때문에, 광결정 제조에 필요한 시간을 현저하게 단축할 수 있으며, 광결정 표면에서의 결함을 최초화할 수 있다.

[0034] 또한, 본 발명에 따르면 수~수십㎜의 매크로 스케일(macro scale)의 채널폭을 갖는 역전된 오팔구조의 광결정을 표면 결함없이 제조할 수 있으며, 안정성 및 신뢰성을 향상 시킬 수 있다.

[0035] 또한, 본 발명에 따르면 선택적으로 두께 조절 가능한 제2스페이서를 제1광결정기판 및 제2광결정기판을 형성하는데 공용으로 사용할 수 있기 때문에, 구조 및 제조 공정을 보다 간소화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0036] 도 1은 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 2 내지 도 4은 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 대상체에 콜로이드 용액을 공급한 후, 광반응 미립자를 결정 구조화하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

도 5 내지 도 7은 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 제1하이드로젤을 주입하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 제1하이드로젤을 경화하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 제1광결정기판을 설명하기 위한 도면이다.

도 10 내지 도 12는 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 제2광결정기판을 형성하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

도 13은 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자를 제거하여 역전된 오팔구조(inverse opal)의 다층광결정을 형성하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

도 14는 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 두께 가변 가능한 제2스페이서를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037] 이하 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 참고로, 본 설명에서 동일한 번호는 실질적으로 동일한 요소를 지칭하며, 이러한 규칙 하에서 다른 도면에 기재된 내용을 인용하여 설명할 수 있고, 당업자에게 자명하다고 판단되거나 반복되는 내용은 생략될 수 있다.

[0038] 도 1은 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 2 내지 도 4은 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 대상체에 콜로이드 용액을 공급한 후, 광반응 미립자를 결정 구조화하는 단계를 설명하기 위한 도면이며, 도 5 내지 도 7은 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 제1하이드로젤을 주입하는 단계를 설명하기 위한 도면이다. 또한, 도 8은 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 제1하이드로젤을 경화하는 단계를 설명하기 위한 도면이고, 도 9는 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 제1광결정기판을 설명하기 위한 도면이며, 도 10 내지 도 12는 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 제2광결정기판을 형성하는 단계를 설명하기 위한 도면이다. 또한, 도 13은 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자를 제거하여 역전된 오팔구조(inverse opal)의 다층광결정을 형성하는 단계를 설명하기 위한 도면이고, 도 14는 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법으로서, 두께 가변 가능한 제2스페이서를 설명하기 위한 도면이다.

[0039] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 광결정 구조의 제조방법은, 제1광반응 미립자(10)를 결정 구조화하여 제공되되, 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극에 제1하이드로젤(first hydrogel)(30)이 충진된 제1광결정기판(300)을 제공하는 단계; 제2광반응 미립자(20)를 결정 구조화하여 제공되되, 제2광반응 미립자(20)의 사이 공극에 제2하이드로젤(second hydrogel)(40)이 충진된 제2광결정기판(300')을 제1광결정기판(300)을 이용하여 제1광결정기판(300) 상에 적층 형성하는 단계; 및 제1광반응 미립자(10) 및 제2광반응 미립자(20)를 제거하여 제1하이드로젤(30) 및 제2하이드로젤(40)로 이루어진 역전된 오팔구조(inverse opal)의 다층광결정(400)을 형성하는 단계;를 포함한다.

[0040] 먼저, 제1광결정기판(300)을 제공한다. 상기 제1광결정기판(300)은 제1광반응 미립자(10)를 결정 구조화하여 제공되되, 상기 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극에 제1하이드로젤(first hydrogel)(30)이 충진되어 제공된다.

[0041] 상기 제1광결정기판(300)은 요구되는 조건에 따라 다양한 방식으로 제공될 수 있다. 일 예로, 상기 제1광결정기판(300)은, 채널(111)이 형성된 대상체(100)를 제공하는 단계, 상기 제1광반응 미립자(10)를 포함하는 제1콜로이드 용액을 채널(111)에 제공하는 단계, 상기 제1광반응 미립자(10)를 결정 구조화하는 단계, 상기 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극에 제1하이드로젤(30)을 주입하는 단계, 및 상기 제1하이드로젤(30)을 경화시키는 단계에 의해 제공될 수 있다.

[0042] 상기 대상체(100)는 제1기판(110), 상기 제1기판(110)에 이격되게 적층되는 제2기판(120), 및 상기 제1기판(110)과 제2기판(120) 사이의 측면을 밀봉하는 제1스페이서(130)를 포함하여 구성될 수 있으며, 상기 제1기판(110)과 제2기판(120)의 사이에는 적어도 일측에 개구부를 갖는 제한적인 내부공간(limited inner space)으로 이루어진 채널(111)이 제공된다.

[0043] 상기 제1기판(110) 및 제2기판(120)은 요구되는 조건 및 설계 사양에 따라 다양한 재질로 형성될 수 있다. 일 예로, 상기 제1기판(110) 및 제2기판(120)은 통상의 유리 재질로 형성될 수 있으며, 이외에도 사파이어, 실리콘, 질화갈륨, 비소화갈륨, 탄화실리콘 또는 산화아연 등을 사용할 수 있다.

[0044] 또한, 상기 제1기판(110)의 내면에는 제1코팅층(미도시)이 형성될 수 있고, 상기 제2기판(120)의 내면에는 제2코팅층(미도시)이 형성될 수 있다.

[0045] 상기 제1코팅층 및 제2코팅층은 광결정을 제조하는 과정에서 용매의 극성 및 각 기판의 표면 특성에 의한 기판의 미세한 휘어짐, 용매의 표면 점착 및 이동으로 인해 발생할 수 있는 광결정의 표면 결함을 제거하기 위해 제공될 수 있다. 특히, 매크로 스케일 단위의 대면적 광결정을 형성하기 위해서는, 기판과 광결정의 표면에서 발생할 수 있는 결함을 해결할 수 있어야 한다.

[0046] 이를 위해, 상기 제1코팅층 및 제2코팅층은 소수성 또는 친수성 특성, 및 가스투과성을 갖는 재질로 형성될 수 있다. 일 예로, 상기 제1코팅층 및 제2코팅층은 P 또는 PMMA 등의 소수성 표면을 갖는(낮은 표면 에너지를 갖는) 폴리머 계열 및 실리콘 계열의 재료, OTS, FOTS, SPFPE 등의 화학적 코팅 재료, 코팅 표면을 구성하고 있는 나노 구조물에 의한 소수성을 갖는 재료 등으로 형성될 수 있다.

[0047] 상기 제1코팅층 및 제2코팅층은 침지법, 도핑법, 스핀 코팅법, 화학 기상 증착법, 플라즈마 처리법 등에 의해 형성될 수 있으며, 그 형성 방법에 의해 본 발명이 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0048] 상기 제1스페이서(130)는 제1기판(110)과 제2기판(120)의 사이에 형성되는 광결정의 두께를 제한적으로 제공하고, 제1기판(110)과 제2기판(120) 간의 접착성을 유지하기 위해 제공된다.

[0049] 상기 제1스페이서(130)는 열처리 공정에 의해 제1기판(110) 및 제2기판(120)과의 구조적 결합력이 조절될 수 있도록 열에 따른 독특한 특성을 갖는 재질로 형성될 수 있다. 일 예로, 상기 제1스페이서(130)로서는 높은 신축성과 열에 따른 독특한 특성을 갖는 파라필름(Parafilm)으로 형성될 수 있으며, 제1스페이서(130)가 가열되는 동안 제1기판(110) 및 제2기판(120)에 대한 제1스페이서(130)의 접착력이 감소될 수 있다.

[0050] 참고로, 본 발명에서 제1광반응 미립자(10)라 함은 광결정 구조를 형성할 수 있는 미립자로 이해될 수 있으며, 그 종류 및 특성에 의해 본 발명이 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 일 예로, 제1광반응 미립자(10)는 폴리스티렌(PS), 폴리메틸메타크릴레이트 및 실리카 미립자 중 적어도 어느 하나를 포함하여 구성될 수 있다. 이하에서는 제1광반응 미립자(10)로서 실리카 미립자가 사용된 예를 들어 설명하기로 한다.

[0051] 아울러, 제1광반응 미립자(10)의 직경은 각 입자의 재질에 따른 굴절률(reflective Index) 및 형상에 따라 광결정 제작시 가시광선 영역, 적외선 영역, 및 자외선 영역의 광결정 특성을 낼 수 있는 크기를 선택하여 사용할 수 있다.

[0052] 다음, 도 2를 참조하면, 제1광반응 미립자(10)를 포함하는 제1콜로이드 용액을 채널(111)에 제공한다.

[0053] 상기 채널(111) 상에 제1콜로이드 용액을 제공하는 방식은 요구되는 조건 및 설계 사양에 따라 다양하게 변경될 수 있다. 일 예로, 특정 두께(T), 폭(W) 및 길이(L)를 갖는 채널(111)과 대기와 접촉할 수 있는 개구부를 포함하는 대상체(100)의 단부(일단 또는 양단)를 제1광반응 미립자(10)가 분산되어 있는 제1콜로이드 용액에 접촉시키면, 채널(111) 단면의 수력직경(Hydraulic diameter)과 관련된 모세관력에 의해 대상체(100)의 채널(111)로 제1콜로이드 용액이 채워질 수 있다. 상기 채널(111)에 제1콜로이드 용액이 가득 채워지도록 한 후, 제1콜로이

드 용액이 담겨진 용기로부터 대상체(100)의 접촉을 해제하면 대상체(100) 내부의 제1콜로이드 용액은 모세관력에 의해 외부로 유출되지 않고, 제1콜로이드 용액에 분산되어 있는 제1광반응 미립자(10)는 용매의 표면장력과 모세관력에 가로막혀 외부로 유출되지 않게 된다.

[0054] 다음, 상기 제1광반응 미립자(10)를 결정 구조화한다.

[0055] 상기 대상체(100)의 제1개구부를 대기와 접촉시켜 건조시키면 채널에 충진된 용매 중 일부가 대기와 접촉하고 있는 면으로부터 서서히 증발되기 시작한다. 용매가 증발되기 시작하면 채널(111)에 존재하는 제1콜로이드 용액의 부피가 감소하면서 이를 보상하기 위해 모세관력이 대기와의 접촉면 쪽으로 작용하게 되고 대상체(100)의 내부에서 용매와의 표면장력으로 인해 형성된 곡면이 대기 접촉면으로 함께 이동하게 된다.

[0056] 따라서, 대기와 접촉하여 증발되고 있는 방향으로 모세관력이 작용하면서 제1콜로이드 용액과 제1광반응 미립자(10)가 이동하게 된다. 결과적으로 대기와 접촉하고 있는 제1개구부가 있는 면으로 제1광반응 미립자(10)가 이동하게 되고 광반응 미립자(10)의 농도 증가와 용매가 증발하며 자기 결합에 의해 규칙적으로 결정화되어 있는 제1광반응 미립자(10)들의 적합한 다음 위치로 이동하여 서서히 순서적으로 결정이 성장하게 된다. 결정이 지속적으로 성장하는 과정이 지속되며 제1콜로이드 용액의 용매(12)가 완전히 증발하게 되면 채널(111) 내부에 특정 두께를 갖는 광결정이 제조될 수 있다.

[0057] 참고로, 상기 제1광반응 미립자(10)로서는 200~300nm의 크기를 갖는 광반응 미립자(10)가 사용될 수 있다. 예를 들어, 약 200nm 미만의 광반응 미립자를 사용하여 형성된 광결정의 경우 보라색 이후의 영역인 자외선 영역의 파장을 반사하여 가시광선 영역의 파장 반사를 기대할 수 없고, 약 300nm 이상의 크기를 사용하여 형성된 광결정의 경우 적외선 영역의 파장을 반사하여 가시광선 영역의 파장 반사를 기대할 수 없기 때문에, 제1광반응 미립자(10)는 200~300nm의 크기로 제공되는 것이 바람직하다.

[0058] 아울러, 상기 제1콜로이드 용액의 제1광반응 미립자(10)의 농도는 55 중량% 미만으로 제공되는 것이 바람직하다. 즉, 약 55% 중량% 이상의 농도에서는 제1광반응 미립자(10)가 제1콜로이드 용액의 내에서 자기 조립하며 결정화되는 특성이 있으며 높은 점성으로 인해 채널(111)에 채워지기 쉽지 않으므로 농도를 높여 채널(111)에 형성되는 광결정의 면적을 증가시키기에 한계가 있다.

[0059] 또한, 제1광반응 미립자(10)가 자기 조립되는 동안, 상기 대상체(100)에는 채널(111)에 추가적으로 제1콜로이드 용액을 공급하기 위한 콜로이드 공급부(미도시)가 연결될 수 있다. 상기 콜로이드 공급부는 제1광반응 미립자(10)가 결정 구조화하는 동안 반대쪽 단부에 있는 다른 제1 개구부를 통해서 대상체(100)의 채널(111)에 지속적으로 제1광반응 미립자(10)를 주입할 수 있다.

[0060] 아울러, 상기 콜로이드 공급부와 채널(111)에 콜로이드 용액을 채운 상태에서 대상체(100)가 대기와 접촉한 면으로부터 용매(12)를 증발시키며 선단 일부를 먼저 결정화시켜 대상체(100)의 개구부로 용매(12)가 유출되는 것을 막기 위한 벽(barrier-seed)을 형성할 수 있다. 이는 후술할 원심력에 의해 콜로이드 공급부 및 채널(111)에 존재하는 제1콜로이드 용액이 외부로 유출되는 것을 방지할 수 있게 하고, 대기 접촉면(개구부)에서부터 광결정이 순차적으로 형성될 수 있게 한다. 참고로, 상기 벽(barrier-seed)의 폭, 길이 및 두께는 이후 회전 공정에서의 회전 속도에 따라 적절히 조절될 수 있다. 경우에 따라서는 별도의 배리어 시드층을 형성하지 않고 전술한 소수성 멤브레인을 대상체의 개구부에 부착하는 것도 가능하다.

[0061] 도 3 및 도 4를 참조하면, 상기 제1광반응 미립자(10)가 결정 구조화되는 동안에 대상체(100)는 정지 또는 회전 상태를 유지할 수 있다. 아울러, 상기 대상체(100)의 회전시에는 원심력에 의해 제1광반응 미립자(10)가 채널(111)을 따라 이동할 수 있다. 이하에서는 제1광반응 미립자(10)를 결정 구조화하는 동안 대상체(100)가 회전하도록 구성된 예를 들어 설명하기로 한다.

[0062] 바람직하게, 상기 채널(111)은 폭(W) 방향이 후술할 대상체(100)의 회전축 방향을 따라 배치되도록 형성되고, 대상체(100)가 회전하는 동안 대상체(100)의 길이 방향으로 원심력이 작용할 수 있는 바, 대상체(100)가 회전함에 따른 원심력은 채널(111)의 폭을 따라 전체적으로 동일한 방향성을 갖는다. 여기서, 상기 원심력이 채널(111)의 폭을 따라 전체적으로 동일한 방향성을 갖는다 함은, 채널(111)의 폭 방향을 따른 위치에 관계없이 대상체(100)가 회전함에 따른 원심력이 항상 일정한 방향(대상체(100)의 길이 방향)으로 작용하는 것으로 이해될 수 있다.

[0063] 전술한 바와 같이, 상기 대상체(100)가 회전하게 되면, 대상체(100)의 길이 방향을 따라 원심력이 작용하며, 원심력에 의해 제1광반응 미립자(10)가 대상체(100)의 길이(L) 방향을 따라 이동할 수 있다. 이때, 제1광반응 미립자(10)에 작용하는 원심력은 채널(111)의 폭(W) 방향을 따른 위치에 관계없이 채널(111)의 폭을 따라 전체적

으로 동일한 방향성을 갖기 때문에, 원심력 방향의 차이로 인한 결함을 미연에 방지할 수 있다.

[0064] 특히, 매크로 스케일의 광결정을 제작할 경우에는 전술한 복합체 덩어리의 부피 및 질량이 상대적으로 크기 때문에 3차원적 힘의 영향성을 크게 받아 힘의 균형이 일정하지 않은 경우 결함으로 작용할 가능성이 증가하지만, 본 발명에서는 채널(111)의 폭 방향을 따라 일정한 방향성을 갖는 원심력이 작용할 수 있기 때문에 원심력 방향의 차이로 인한 결함을 방지할 수 있다. 참고로, 채널(111)은 폭에 비해 매우 얇은 두께(T)를 갖기 때문에 채널(111)의 두께 방향을 따라 원심력 방향의 차이는 무시될 수 있다.

[0065] 다음, 상기 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극에 제1하이드로젤(30)을 주입한다.

[0066] 상기 제1하이드로젤(30)로서는 제1광반응 미립자(10)를 제거할 수 있는 용액에 대한 내화학성을 가지며, 자외선 또는 열에 의해 경화될 수 있는 다양한 시약이 사용될 수 있으며, 제1하이드로젤(30)로 사용되는 시약의 종류 및 특성에 의해 본 발명이 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 일 예로, 상기 제1하이드로젤(30)로서는 하이드로젤의 일종인 폴리에틸렌글리콜(PEG; PolyEthylene Glycol)이 사용될 수 있다. 참고로, 상기 제1하이드로젤(30)은 제1콜로이드 용액의 용매(12)보다 높은 밀도를 갖도록 제공된다.

[0067] 참고로, 상기 제1하이드로젤(30)은 제1기판(110) 및 제2기판(120)을 제거한 상태에서 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극에 주입하는 것도 가능하지만, 이하에서는 별도의 기판 분리 과정 없이 제1하이드로젤(30)의 주입이 이루어지도록 구성된 예를 들어 설명하기로 한다.

[0068] 즉, 상기 제1하이드로젤(30)의 주입은 제1기판(110) 및 제2기판(120)을 서로 분리하기 전에, 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극에 용매가 잔류된 상태에서 수행될 수 있다.

[0069] 일 예로, 상기 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극에 제1하이드로젤(30)을 주입하는 단계는, 상기 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극에 잔류된 용매보다 상대적으로 높은 밀도를 갖는 제1하이드로젤(30)을 채널(111)의 일단에 공급하는 단계, 및 상기 대상체(100)를 회전시켜 밀도차에 의해 제1하이드로젤(30)을 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극으로 주입하는 단계에 의해 구현될 수 있다.

[0070] 도 5를 참조하면, 대상체(100)의 일단부에는 제1하이드로젤 공급부(200)가 연결될 수 있으며, 상기 대상체(100)에 제1하이드로젤 공급부(200)가 연결된 상태에서, 도 6과 같이 상기 대상체(100)를 회전시킴에 따라, 도 7과 같이 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극에 잔류된 용매와 제1하이드로젤(30) 간의 밀도차에 의해 가장 큰 원심력이 작용하는 부위(개구부)부터 제1하이드로젤(30)이 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극으로 주입될 수 있다.

[0071] 다음, 상기 제1광반응 미립자(10)의 사이 공극에 주입된 제1하이드로젤(30)을 경화시킨 후, 제1기판(110) 및 제2기판(120)을 분리함으로써, 제1광반응 미립자(10) 및 제1하이드로젤(30')로 이루어진 제1광결정기판(300)을 제공할 수 있다.

[0072] 일 예로, 도 8을 참조하면, 상기 제1하이드로젤(30)은 자외선 경화에 의해 경화될 수 있으며, 이와 같은 단계에 의해 제조된 제1광결정기판(300)은 도 9를 통해 확인할 수 있다. 경우에 따라서는 열 또는 여타 다른 방식에 의해 제1하이드로젤이 경화되도록 구성하는 것이 가능하다.

[0073] 그 후, 상기와 같은 단계에 의해 제공된 제1광결정기판(300)을 이용하여 제1광결정기판(300) 상에 제2광결정기판(300')을 적층 형성할 수 있다.

[0074] 참고로, 본 발명에서 제1광결정기판(300)을 이용하여 제1광결정기판(300) 상에 제2광결정기판(300')을 적층 형성한다 함은, 제1광결정기판(300)을 제2광결정기판(300')을 형성하기 위한 일종의 틀(mold)로서 사용할 수 있는 것으로 이해될 수 있다.

[0075] 상기 제2광결정기판(300')은 제1광결정기판(300)과 유사하게 제2광반응 미립자(20)를 결정 구조화하여 제공될 수 있으며, 상기 제2광반응 미립자(20)의 사이 공극에는 제2하이드로젤(second hydrogel)(40)이 충진될 수 있다.

[0076] 일 예로, 상기 제1광결정기판(300)을 이용하여 제1광결정기판(300) 상에 제2광결정기판(300')을 적층 형성하는 단계는, 상기 제1광결정기판(300)을 포함하며 적층채널이 형성된 적층대상체를 제공하는 단계, 제2광반응 미립자(20)를 포함하는 제2콜로이드 용액을 적층채널에 제공하는 단계, 제2광반응 미립자(20)를 결정 구조화하는 단계, 제2광반응 미립자(20)의 사이 공극에 제2하이드로젤(40)을 주입하는 단계, 및 제2하이드로젤(40)을 경화시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0077] 먼저, 상기 제1광결정기판(300)을 이용하여 적층대상체를 제공한다. 상기 적층대상체는 제1광결정기판(300), 상

기 제1광결정기판(300)에 이격되게 적층되는 적층기판(320), 및 상기 제1광결정기판(300)과 적층기판(320)의 사이의 측면을 밀봉하는 제2스페이서(500)를 포함하여 구성될 수 있으며, 상기 제1광결정기판(300)과 적층기판(320)의 사이에는 적어도 일측에 개구부를 갖는 제한적인 내부공간(limited inner space)으로 이루어진 적층채널이 제공된다.

[0078] 상기 적층기판(320)으로서는 전술한 제1기판(110) 및 제2기판(120)과 동일 또는 유사한 재질로 형성될 수 있으며, 상기 적층기판(320)의 재질 및 특성에 의해 본 발명이 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0079] 바람직하게는 제조 원가를 절감할 수 있도록 제1기판(110) 및 제2기판(120) 중 어느 하나를 적층기판(320)으로 사용할 수 있다. 이하에서는 상기 제1기판(110)을 제2광결정기판(300')을 형성하기 위한 적층기판(320)으로서 사용한 예를 들어 설명하기로 한다. 상기 제1기판(110)은 제1광결정기판(300)을 형성하기 위한 틀(mold)로서 사용되며, 상기 제1광결정기판(300)이 형성된 후에는 제1광결정기판(300)으로부터 일시적으로 분리되었다가, 다시 제2광결정기판(300')을 형성하기 위한 적층기판(320)으로 사용되기 위해 제1광결정기판(300)과 상호 협조적으로 적층채널을 형성하도록 배치된다.

[0080] 상기 제2스페이서(500)는 제1광결정기판(300)과 적층기판(320)의 사이에 형성되는 광결정의 두께를 제한적으로 제공하고, 제1광결정기판(300)과 적층기판(320) 간의 접착성을 유지하기 위해 제공된다.

[0081] 상기 제2스페이서(500)는 요구되는 조건 및 설계 사양에 따라 다양한 재질로 형성될 수 있다. 일 예로, 상기 제2스페이서(500)는 높은 신축성과 열에 따른 독특한 특성을 갖는 파라필름(Parafilm)으로 형성될 수 있다.

[0082] 아울러, 상기 제2스페이서(500)는 선택적으로 두께 조절 가능하게 제공될 수 있으며, 전술한 제1광결정기판(300)을 형성하기 위한 제1스페이서(130)로 사용되는 것이 가능하다. 일 예로, 파라필름 재질로 이루어진 제2스페이서(500)는 가열될 시 수축되며 두께가 증가하는 특성을 가지기 때문에, 파라필름 재질의 제2스페이서(500)는 제1광결정기판(300)을 형성하기 위한 제1스페이서(130)로 사용된 후, 가열 공정을 통해 두께를 증가시켜 제2광결정기판(300')을 형성하기 위해 다시 사용될 수 있다.(도 14 참조)

[0083] 본 발명의 실시예에서는 하나의 제2스페이서(500)를 제1광결정기판(300) 및 제2광결정기판(300')을 형성하는데 공용으로 사용한 예를 들어 설명하고 있지만, 경우에 따라서는 복수개의 제1스페이서를 여러겹 적층하여 이루어진 제2스페이서를 이용하여 제2광결정기판을 형성하는 것도 가능하며, 다르게는 제1광결정기판을 형성할 시 사용된 제1스페이서와 다른 두께를 갖는 다른 제2스페이서를 이용하여 제2광결정기판을 형성하는 것도 가능하다.

[0084] 참고로, 본 발명에서 제2광반응 미립자(20)라 함은 광결정 구조를 형성할 수 있는 미립자로 이해될 수 있으며, 그 종류 및 특성에 의해 본 발명이 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 일 예로, 상기 제2광반응 미립자(20)는 폴리스티렌(PS), 폴리메틸메타크릴레이트 및 실리카 미립자 중 적어도 어느 하나를 포함하여 구성될 수 있다. 이하에서는 제2광반응 미립자(20)로서 전술한 제1광반응 미립자(10)와 다른 사이즈를 갖는 실리카 미립자가 사용된 예를 들어 설명하기로 한다. 물론, 경우에 따라서는 제1광반응 미립자와 동일한 사이즈를 갖는 제2광반응 미립자를 사용하는 것도 가능하다.

[0085] 상기와 같이 적층대상체가 준비되면, 도 10과 같이, 제2광반응 미립자(20)를 포함하는 제2콜로이드 용액을 적층채널에 제공한다.

[0086] 상기 적층채널 상에 제2콜로이드 용액을 제공하는 방식은 요구되는 조건 및 설계 사양에 따라 다양하게 변경될 수 있다. 이하에서는 전술한 제1콜로이드 용액과 유사한 방식으로 적층채널에 제2콜로이드 용액이 제공된 예를 들어 설명하기로 한다.

[0087] 다음, 상기 제2광반응 미립자(20)를 결정 구조화한다.

[0088] 상기 적층대상체의 개구부를 대기와 접촉시켜 건조시키면 용매가 대기와 접촉하고 있는 면으로부터 서서히 증발되기 시작한다. 용매가 증발되기 시작하면 적층채널에 존재하는 제2콜로이드 용액의 부피가 감소하면서 이를 보상하기 위해 모세관력이 대기와의 접촉면 쪽으로 작용하게 되고 적층대상체의 내부에서 용매와의 표면장력으로 인해 형성된 곡면이 대기 접촉면으로 함께 이동하게 된다.

[0089] 따라서, 대기와 접촉하여 증발되고 있는 방향으로 모세관력이 작용하면서 제2콜로이드 용액과 제2광반응 미립자(20)가 이동하게 된다. 결과적으로 대기와 접촉하고 있는 면으로 제2광반응 미립자(20)가 이동하게 되고 제2광반응 미립자(20)의 농도 증가와 용매가 증발하며 자기 결합에 의해 규칙적으로 결정화되어 있는 제2광반응 미립자(20)들의 적합한 다음 위치로 이동하여 서서히 순서적으로 결정이 성장하게 된다. 결정이 지속적으로 성장하는 과정이 지속되며 제2콜로이드 용액의 용매(22)가 완전히 증발하게 되면 적층채널 내부에 특정 두께를 갖는

광결정이 제조될 수 있다.

[0090] 또한, 상기 제2광반응 미립자(20)가 자기 조립되는 동안, 상기 적층대상체에는 적층채널에 추가적으로 제2콜로이드 용액을 공급하기 위한 제2콜로이드 공급부(미도시)가 연결될 수 있다. 상기 제2콜로이드 공급부는 제2광반응 미립자(20)가 결정 구조화하는 동안 적층대상체의 적층채널에 지속적으로 제2광반응 미립자(20)를 주입할 수 있다.

[0091] 상기 제2광반응 미립자(20)가 결정 구조화되는 동안에는, 적층대상체가 정지 또는 회전 상태를 유지할 수 있다. 아울러, 상기 적층대상체의 회전시에는 원심력에 의해 제2광반응 미립자(20)가 적층채널을 따라 이동할 수 있다. 이하에서는 제2광반응 미립자(20)를 결정 구조화하는 동안 적층대상체가 회전하도록 구성된 예를 들어 설명하기로 한다.

[0092] 참고로, 상기 제2광반응 미립자(20)가 결정 구조화되는 동안 적층대상체의 회전 속도는, 전술한 제1광반응 미립자(10)가 결정 구조화되는 동안 대상체(100)의 회전 속도와 서로 다르게 설정될 수 있다. 이와 같은 방식에 의해, 상기 제2광반응 미립자(20)가 결정 구조화되는 동안 제2광반응 미립자(20)에 작용하는 원심력과, 상기 제1광반응 미립자(10)가 결정 구조화되는 동안 제1광반응 미립자(10)에 작용하는 원심력이 서로 달라질 수 있으며, 이와 같은 원심력 차이에 의해 제1광반응 미립자(10)로 이루어진 제1광결정기판(300)과, 제2광반응 미립자(20)로 이루어진 제2광결정기판(300')은 서로 다른 격자 구조를 가질 수 있다.

[0093] 다음, 도 11과 같이, 상기 제2광반응 미립자(20)의 사이 공극에 제2하이드로젤(40)을 주입한다.

[0094] 상기 제2하이드로젤(40)로서는 제2광반응 미립자(20)를 제거할 수 있는 용액에 대한 내화학성을 가지며, 자외선 또는 열에 의해 경화될 수 있는 다양한 시약이 사용될 수 있으며, 제2하이드로젤(40)로 사용되는 시약의 종류 및 특성에 의해 본 발명이 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 일 예로, 상기 제2하이드로젤(40)로서는 하이드로젤의 일종인 PEG(polyethylene glycol)가 사용될 수 있다. 참고로, 상기 제2하이드로젤(40)은 제2콜로이드 용액의 용매(22)보다 높은 밀도를 갖도록 제공된다.

[0095] 전술한 제1하이드로젤(30)과 마찬가지로, 상기 제2하이드로젤(40)은 제1광결정기판(300)과 적층기판(320)을 분리한 상태에서 제2광반응 미립자(20)의 사이 공극에 주입하는 것도 가능하지만, 제1광결정기판(300)과 적층기판(320)의 별도 분리 과정없이 제2광반응 미립자(20)의 사이 공극에 용매가 잔류된 상태에서 제2광반응 미립자(20)의 사이 공극에 주입되는 것도 가능하다. 일 예로, 상기 제2광반응 미립자(20)의 사이 공극에 제2하이드로젤(40)을 주입하는 단계는, 상기 제2광반응 미립자(20)의 사이 공극에 잔류된 용매보다 상대적으로 높은 밀도를 갖는 제2하이드로젤(40)을 적층채널의 일단에 공급하는 단계, 및 상기 적층대상체를 회전시켜 밀도차에 의해 제2하이드로젤(40)을 제2광반응 미립자(20)의 사이 공극으로 주입하는 단계에 의해 구현될 수 있다.

[0096] 다음, 도 12와 같이, 상기 제2광반응 미립자(20)의 사이 공극에 주입된 제2하이드로젤(40)을 경화시킨 후, 적층기판(320)을 제거함으로써, 제1광결정기판(300) 상에 제2광반응 미립자(20) 및 제2하이드로젤(40')로 이루어진 제2광결정기판(300')을 적층되게 제공할 수 있다.

[0097] 참고로, 본 발명의 실시예에서는 제1광결정기판(300) 상에 하나의 제2광결정기판(300')이 적층 형성된 예를 들어 설명하고 있지만, 경우에 따라서는 제1광결정기판 상에 복수개의 제2광결정기판을 반복적으로 적층 형성하는 것도 가능하다.

[0098] 그 후, 도 13과 같이, 상기 제1광결정기판(300) 및 제2광결정기판(300')에서 제1광반응 미립자(10) 및 제2광반응 미립자(20)를 제거함으로써, 상기 제1하이드로젤(30) 및 제2하이드로젤(40)로 이루어진 역전된 오팔구조(inverse opal)의 다층광결정(400)을 형성할 수 있다.

[0099] 상기 제1광반응 미립자(10) 및 제2광반응 미립자(20)의 제거는 통상의 제거 처리에 의해 제거될 수 있다. 일 예로, 상기 제1광반응 미립자(10) 및 제2광반응 미립자(20)는 불산을 이용한 제거 처리 단계에 의해 제거될 수 있다. 경우에 따라서는 여타 다른 물질 또는 다른 방식으로 제1광반응 미립자 및 제2광반응 미립자를 제거하는 것이 가능하다.

[0100] 또한, 전술한 바와 같이, 상기 제1광반응 미립자(10) 및 제2광반응 미립자(20)는 서로 다른 사이즈를 갖는 것이 가능하기 때문에, 제1광반응 미립자(10) 및 제2광반응 미립자(20)가 제거됨에 따라 제공되는 포어(pore) 역시 서로 다른 사이즈로 제공되는 것이 가능하다.

[0101] 상술한 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만 해당 기술분야의 숙련된 당업자라면 하기의 청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정

및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0102] 100 : 대상체 110 : 제1기판

111 : 채널 120 : 제2기판

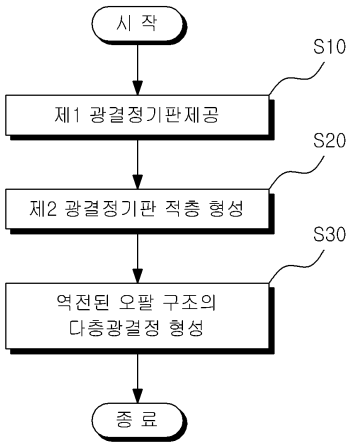
130 : 제1스페이서 300 : 제1광결정기판

300' : 제2광결정기판 320 : 적층기판

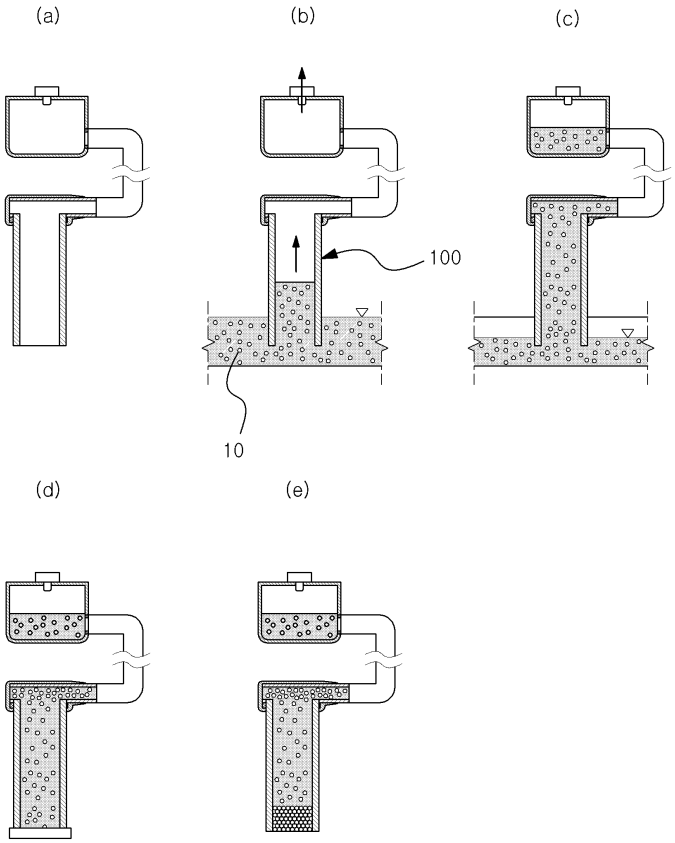
400 : 다층광결정 500 : 제2스페이서

도면

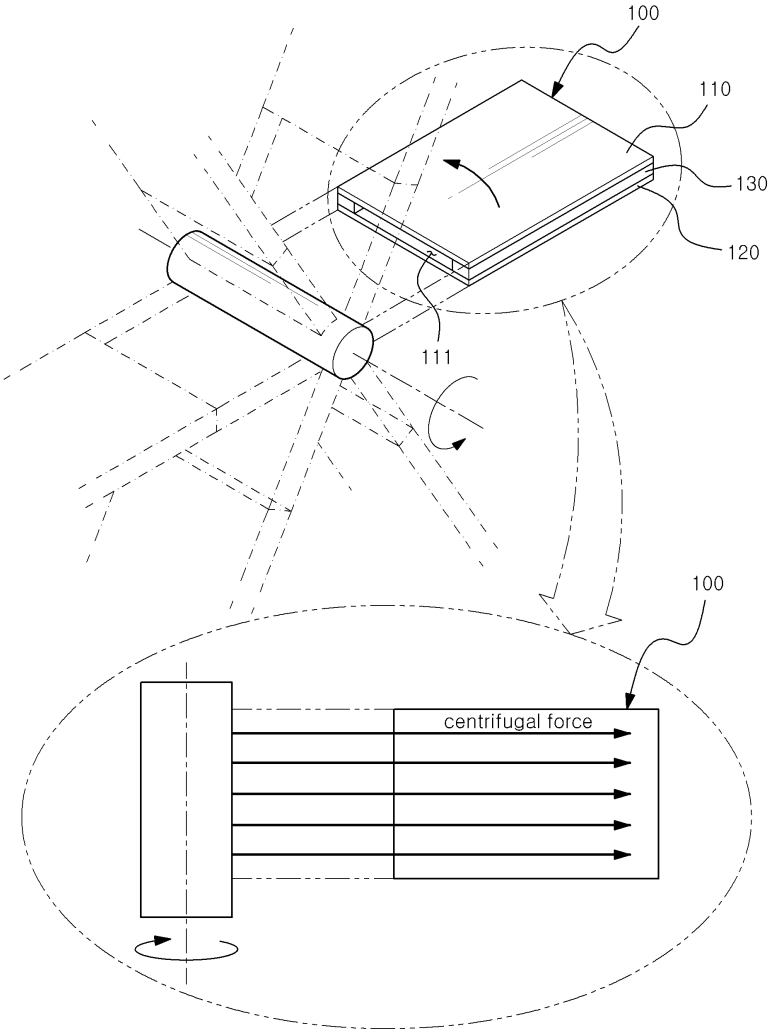
도면1



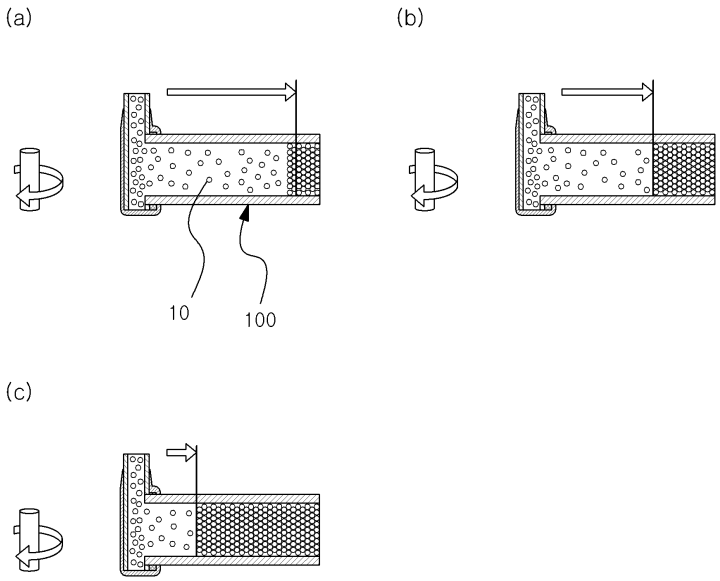
도면2



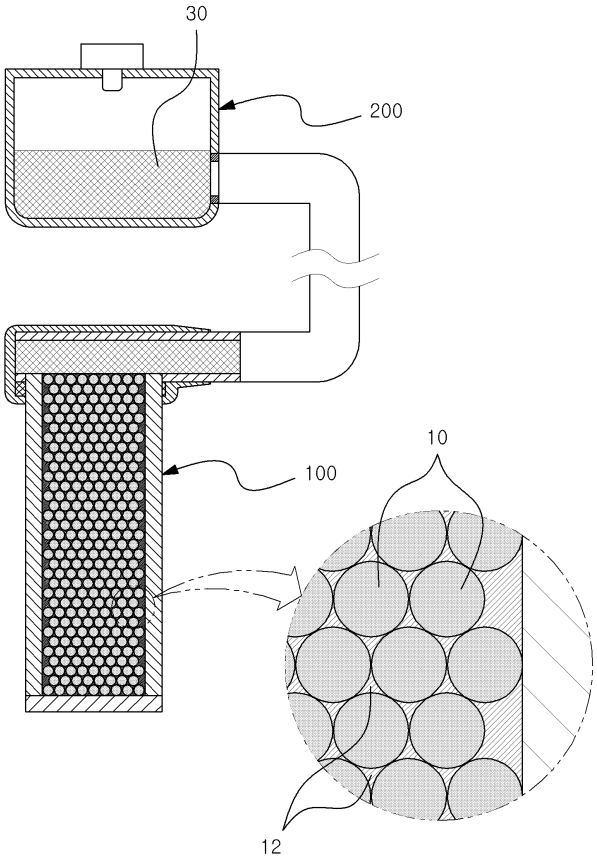
도면3



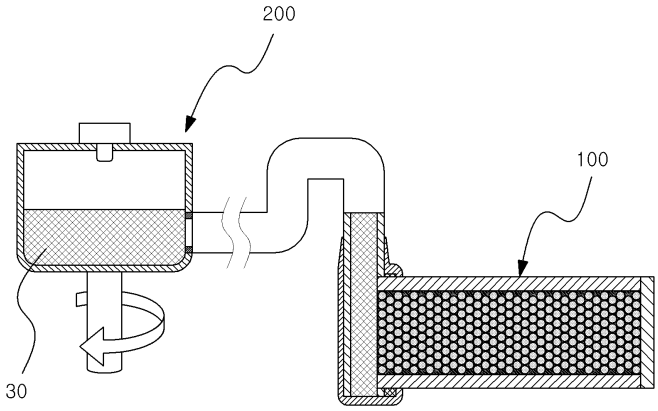
도면4



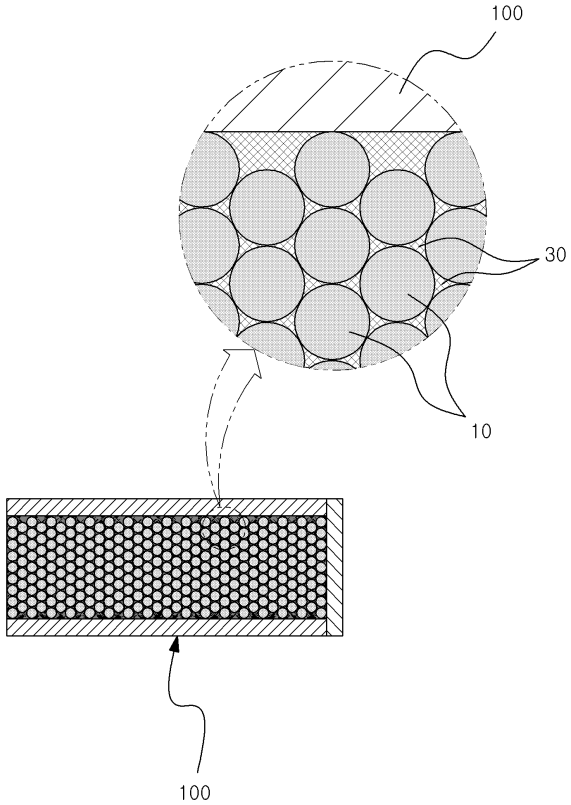
도면5



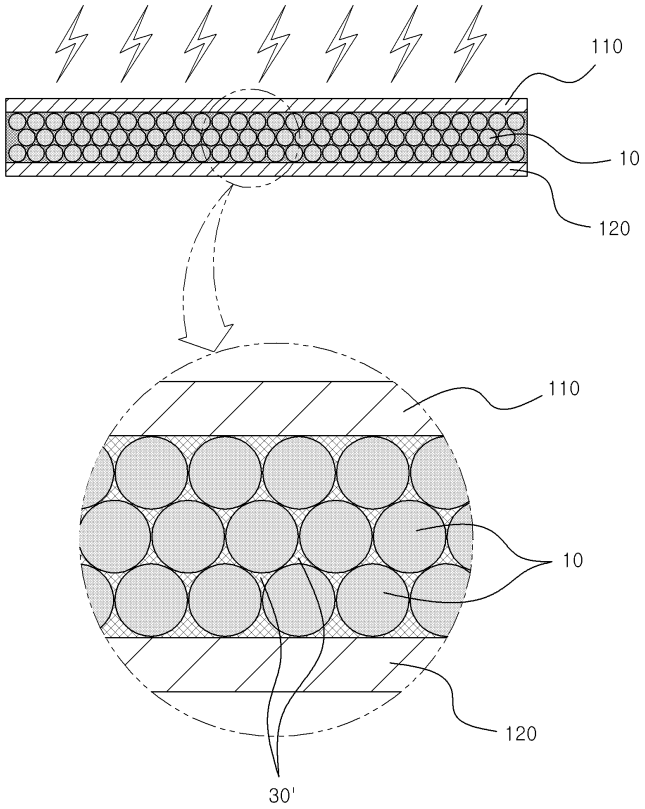
도면6



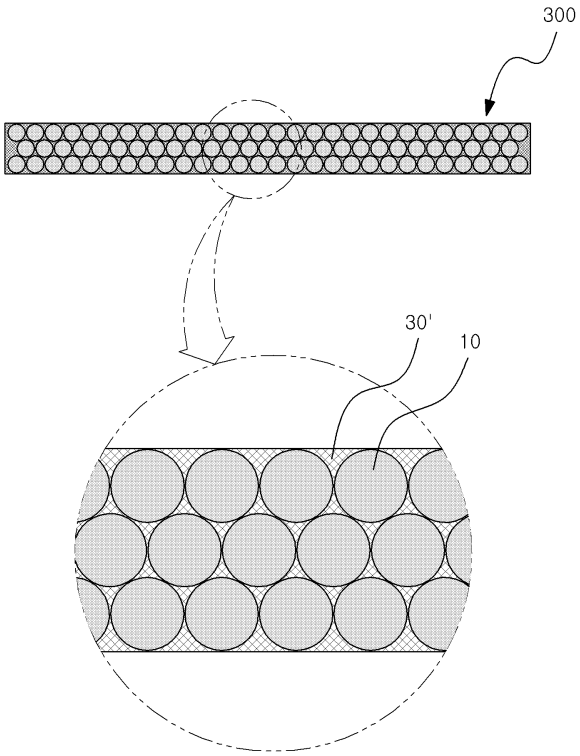
도면7



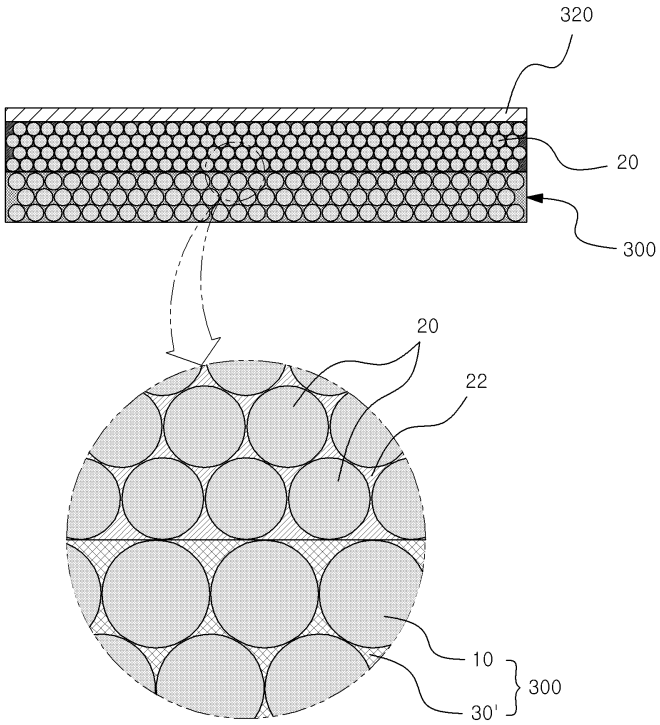
도면8



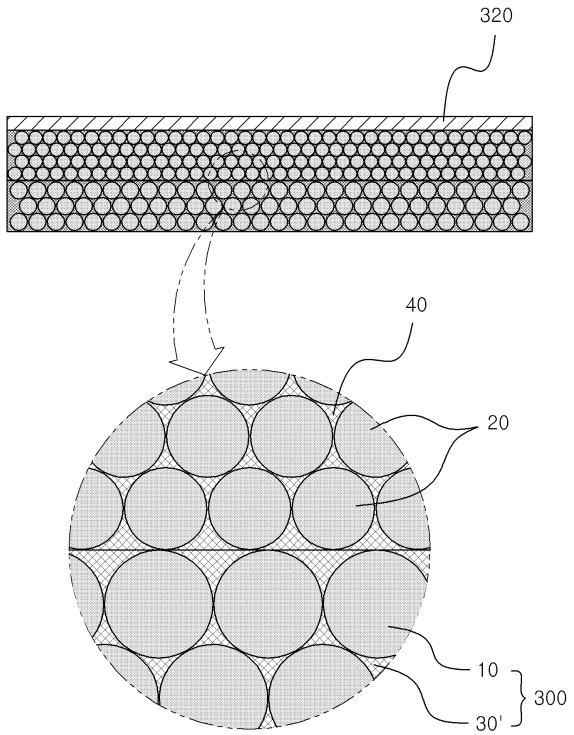
도면9



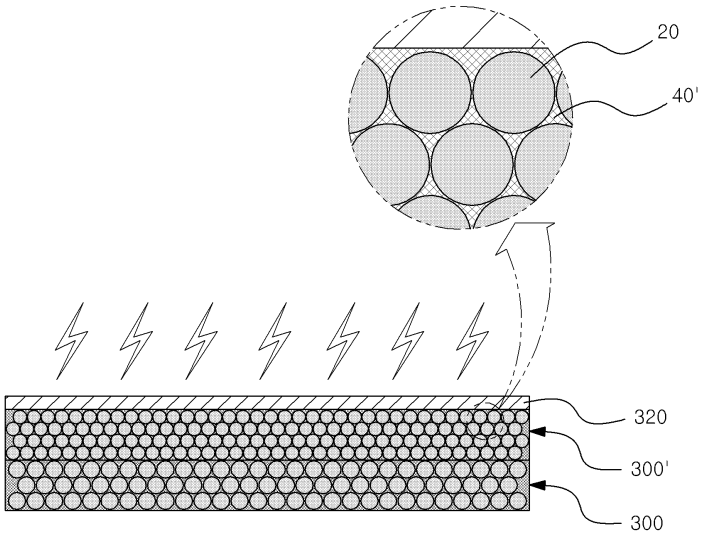
도면10



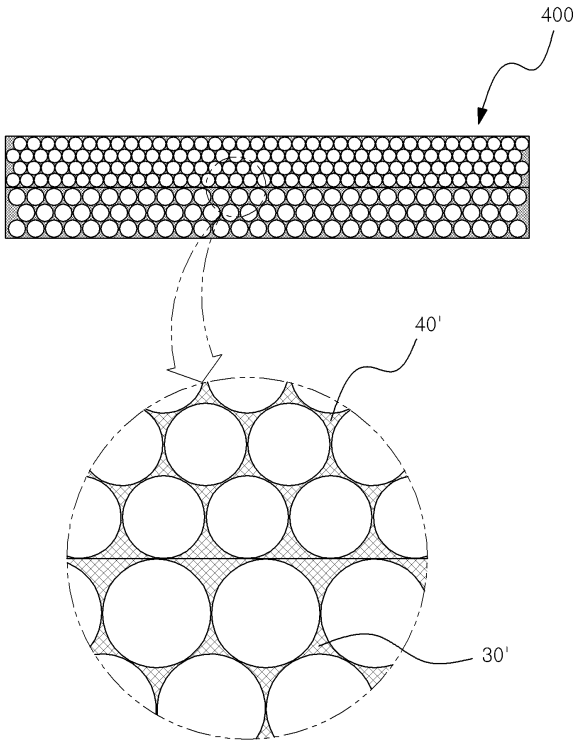
도면11



도면12



도면13



도면14

