

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2012-0079503 (43) 공개일자 2012년07월13일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) B01J 19/00 (2006.01) B81B 7/00 (2006.01)		(71) 출원인 충남대학교산학협력단 대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(21) 출원번호 10-2011-0000708		(72) 발명자 김동표 대전광역시 유성구 어은로 57, 131동 905호 (어은동, 한빛아파트)
(22) 출원일자 2011년01월05일		민경익 대전광역시 유성구 가정로 65, 108동 502호 (신성동, 대림두레아파트)
심사청구일자 2011년01월05일		(74) 대리인 김종관, 권오식, 박창희

전체 청구항 수 : 총 15 항

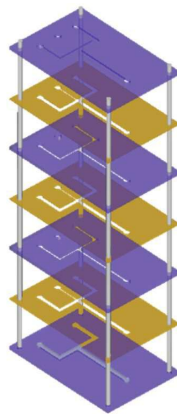
(54) 발명의 명칭 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 화학적, 열적, 기계적으로 안정한 3차원 다층 미세 채널이 형성된 필름형 마이크로 반응기를 생산비용절감 및 단순 공정을 통해 제작하는 방법에 관한 것으로 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기를 형성함에 있어서, 단일 접합공정으로 3차원 미세채널 또는 3차원 다층구조를 형성할 수 있다.

본 발명에 의해 제조되는 3차원 다층 미세채널을 가진 필름형 마이크로 반응기는 플렉서블(flexible)한 특징을 가지고 있으며, 단위 두께 당 종래의 마이크로 반응기보다 많은 양의 미세채널을 포함하여 생산량을 증가시킬 수 있으며, 일련의 반응을 연속적으로 반응할 수 있을 뿐만 아니라, 재순환 반응을 가능하게 함으로써 다양한 3차원 마이크로 반응기의 응용을 제공한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

- (a) 고분자 필름을 식각하여 1종 이상의 미세채널을 형성하는 단계;
 (b) 1종 이상의 채널이 형성된 각각의 고분자 필름 3장 이상을 금속 핀(pin)을 이용하여 적층하는 단계; 및
 (c) 적층된 고분자 필름 3장 이상을 단일 접합공정(one-step multilayered bonding process);을 포함하는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (a)단계의 고분자 필름은 레이저를 이용하여 유체가 유입되는 유체투입부, 투입된 유체가 흐르는 미세채널부 또는 유입된 유체가 배출되는 유체배출부를 식각하여 형성하는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 고분자 필름은 폴리아미드(polyimide), 폴리에틸렌(Polyethylene), 플루오르화에틸렌프로필렌(fluorinated ethylene propylene), 폴리프로필렌(Polypropylene), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene terephthalate), 폴리에틸렌 나프탈레이트(Polyethylene naphthalate) 또는 폴리설펜(polysulfone)을 포함하는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 고분자 필름은 10 ~ 200 μm 두께의 동종 또는 이종의 필름인 것을 특징으로 하는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 (a)단계의 미세채널은 고분자필름 두께의 1/5 ~ 1의 비율인 것을 특징으로 하는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 (b)단계의 적층은 미세채널이 형성된 각 고분자 필름 모서리에 동일한 위치에 구멍을 형성하여 금속핀을 이용하여 고정시키는 것을 특징으로 하는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 (c)단계의 단일 접합공정은 고분자 필름의 유리전이온도(T_g) 내지 용융점의 온도로 가온 가압시켜 적층된 필름을 일체로 접합시키는 것을 특징으로 하는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 (b)단계의 고분자 필름 적층시 최상부와 최하부에 접합공정에 사용되는 온도보다 낮은 용융점을 가진 보강필름(release layer film)을 더 적층하는 것을 포함하는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 보강필름과 미세채널이 식각된 고분자 필름 사이에 접합공정에 사용되는 온도보다 높은 용융점을 갖는 고분자 필름을 더 적층하는 것을 포함하는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

1종 이상의 유체를 유입시 전체 유입속도 1 ~ 5000 $\mu\text{l}/\text{min}$ 인 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 적층된 고분자 필름 3장 이상을 단일 접합공정을 실시함으로써 2층 이상의 다층 채널 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 반응기는 1종 이상의 유체를 유입시켜 1단계 이상의 반응을 수행할 수 있는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 반응기는 일련의 반응을 연속적으로 반응할 수 있는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 반응기는 재순환 반응이 가능한 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

청구항 15

제 1항에 있어서,

상기 반응기는 가요성을 갖는 것을 특징으로 하는 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 3차원 미세 채널이 다층으로 구성된 필름형 마이크로 반응기를 제조하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 마이크로 반응기(micro reactor)는 수 미크론 크기의 채널을 가공하여 미세유로채널을 형성한 것으로, 유체가 유로 채널을 통과하면서 혼합되도록 하고, 혼합된 유체를 배출할 수 있는 반응기를 말한다. 마이크로 반응기 제조에 사용되는 재료는 금속을 포함하여 실리콘, 유리, 폴리머 등이다. 이러한 마이크로 반응기의 제작은 전

자공학에서 유래된 방법에서부터 마이크로 식각기술, 최신의 초정밀 공정기술까지 다양하며, 실리콘, 유리의 건식 또는 습식 식각을 이용한 반도체 공정이 주로 활용되고 있다. 상기 금속, 실리콘 및 유리등의 재료는 MEMS 기술 및 그로부터 유래한 Lab-on-a-chip 기술 등에 있어서 재료 자체의 뛰어난 기계적 강도와 고신뢰성을 바탕으로 고품질의 마이크로 반응기를 제조할 수 있는 최고의 재료로 각광받고 있으나, 낮은 성형성 및 고비용 가공의 어려움 등의 문제로 인해 마이크로 반응기의 제작단가를 높이는 요인이 되고 있다. 또한 폴리메틸메타아크릴레이트 (polymethylmethacrylate (PMMA)), 폴리디메틸실록산 (polydimethylsiloxane (PDMS)) 등의 폴리머 재료는 낮은 공정비용과 제작공정이 단순하여 쉽게 제작이 가능한 반면에 유기용매에 대한 내성과 열적 안정성이 낮음으로 인해 마이크로 반응기의 가동 조건이 제한된다. 따라서 마이크로 반응기의 광범위한 응용을 위해, 기존의 폴리머 재료보다 화학적, 열적, 기계적으로 안정하고, 실리콘, 유리 등의 고신뢰성 재료보다 저비용, 단순 공정으로 쉽게 제작 가능한 마이크로 반응기의 개발이 필요하다.

[0003] 한편, 3차원 구조의 미세채널을 가진 마이크로 반응기의 응용범위는 드랍렛 마이크로장치 (droplet microdevice), 마이크로 밸브 시스템 (micro valve system), 마이크로 믹서 (micro mixer) 등 다양하게 이용되고 있다. 종래 2차원 미세채널에서 2종 이상의 유체가 미세채널을 통과할 때, 낮은 레이놀즈수의 층류유동 형성으로 인하여 혼합에 필요한 긴 미세채널이 요구되며, 이것을 해결하기 위해 마이크로 식각기술, 다층 포토리소그래피 기술을 이용하여 복잡한 형상의 마이크로 믹서구조를 미세채널 내부에 포함하거나 기존의 2차원 미세채널에 수직 방향의 흐름을 동시에 갖는 3차원 구조의 미세채널을 제조하는 연구가 보고되고 있다. 마이크로 믹서구조를 제작하는 기술은 많은 보고가 있으나, 그 방법이 고비용의 복잡한 공정을 통해 이루어지거나 낮은 성형성과 제조시간이 긴 단점이 있으며, 그중에 널리 사용되는 다층 포토리소그래피 기술은 사용되어지는 폴리머인 폴리디메틸실록산의 고유특성으로 인해 그 응용 범위가 제한된다. 이에 쉽고 빠르게 제작이 가능하면서 열적, 화학적, 기계적으로 안정한 3차원 미세채널을 가진 마이크로 반응기의 제조 연구가 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 마이크로 반응기를 제조하는데 있어서, 화학적, 열적, 기계적으로 안정하고 3차원 다층 미세채널로 구성된 필름형 마이크로 반응기를 단순 공정화로 제작하여 생산 비용을 절감하는 마이크로 반응기를 제공하는 데 그 목적이 있다.

[0005] 종래의 2차원 및 3차원 미세채널의 제조는 낮은 성형성, 고비용 가공 및 복잡한 공정 등의 문제로 인해 마이크로 반응기의 제작 단가를 높이는 요인이 되고 있으며, 폴리메틸메타아크릴레이트 (polymethylmethacrylate (PMMA)), 폴리디메틸실록산 (polydimethylsiloxane (PDMS)) 등의 폴리머 재료는 유기용매에 대한 내성과 열적 안정성이 낮음으로 인해 마이크로 반응기의 가동 조건이 제한되고 있는 실정이다.

[0006] 상기의 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 화학적, 열적, 기계적으로 안정한 3차원 다층 미세채널로 구성된 필름형 마이크로 반응기를 저비용 단순 공정으로 빠르고 쉽게 만드는 것을 목적으로 한다. 화학적, 열적, 기계적으로 안정한 3차원 구조의 미세채널 구현을 통해 다양한 마이크로 반응기의 응용을 기대할 수 있으며, 3차원 미세채널이 형성된 필름형 마이크로 반응기의 다층 적층을 통해 단위 두께 당 기존의 마이크로 반응기보다 많은 양의 미세채널을 포함하여 마이크로 반응기에서의 생산량을 늘릴 수 있도록 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명은 상기 목적을 달성하기 위하여 안출된 것으로, 화학적, 열적, 기계적으로 안정한 3차원 다층 미세채널로 구성된 필름형 마이크로 반응기를 단순공정을 통하여 생산비용절감 및 대량생산이 가능하도록 한다.

[0008] 이하, 본 발명을 보다 상세하게 설명하기로 한다.

[0009] 본 발명은 (a) 고분자 필름을 식각하여 1종 이상의 미세채널을 형성하는 단계; (b) 1종 이상의 채널이 형성된 각각의 고분자 필름 3장 이상을 금속 핀(pin)을 이용하여 적층하는 단계; 및 (c) 적층된 고분자 필름 3장 이상을 단일 접합공정(one-step multilayered bonding process)을 통해 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기의 제조방법을 제공한다.

[0010] 상기 (a)단계의 고분자 필름은 레이저를 이용하여 유체가 유입되는 유체투입부, 투입된 유체가 흐르는 미세채널부 또는 유입된 유체가 배출되는 유체배출부를 식각하여 형성한다.

[0011] 상기 고분자 필름은 폴리이미드(polyimide), 폴리에틸렌(Polyethylene), 플루오르화에틸렌프로필렌

(fluorinated ethylene propylene), 폴리프로필렌(Polypropylene), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene terephthalate), 폴리에틸렌 나프탈레이트(Polyethylene naphthalate) 또는 폴리설폰(polysulfone)을 포함한다.

- [0012] 이때, 고분자 필름은 사용목적에 따라 10 ~ 200 μm 두께의 필름을 동종 또는 이종의 고분자필름을 사용한다.
- [0013] 또한, 상기 (a)단계의 미세채널은 고분자필름 두께의 1/5 ~ 1 의 비율로 사용목적에 따라 미세채널의 깊이를 조절하여 식각하는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 상기 (b)단계의 적층은 미세채널이 형성된 각 고분자 필름 모서리에 동일한 위치에 구멍을 형성하여 금속핀을 이용하여 고정시키는 것을 특징으로 한다. 고분자 필름에 레이저를 이용하여 식각할 때, 적층을 통한 3차원 미세채널이 형성되도록 설계된 도면에 따라 각 고분자 필름에 미세채널을 형성하고, 각 고분자필름의 동일한 모서리 위치에 1mm 직경의 구멍 (hole) 4 곳을 형성하여 적층시킴으로써 미리 설계된 3차원적 구조를 유지하도록 한다.
- [0015] 상기 적층은 레이저로 식각된 고분자 필름 3장 이상의 각 고분자 필름에 동일하게 형성된 구멍에 1mm 직경의 금속핀을 이용하여 고정되어 정렬시켜 적층하는 것이 바람직하다.
- [0016] 상기 (c)단계의 단일 접합공정은 고분자 필름의 유리전이온도(T_g) 내지 용융점의 온도로 가온 가압시켜 적층된 필름을 일체로 접합시키는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 상기 (b)단계의 고분자 필름 적층시 최상부와 최하부에 접합공정에 사용되는 온도보다 낮은 용융점을 가진 보강필름(release layer film)을 더 적층하는 것을 포함한다. 또한, 보강필름과 미세채널이 식각된 고분자 필름 사이에 접합공정에 사용되는 온도보다 높은 용융점을 갖는 고분자 필름을 더 적층하는 것을 포함한다. 이는 3장 이상의 고분자 필름을 일체로 접합시키는데 접착력을 향상시켜 유용하다.
- [0018] 상기와 같은 적층으로 최상부와 최하부에 접합공정에 사용되는 온도 보다 높은 용융점을 가진 고분자필름을 보강필름과 1종이상의 채널이 식각된 고분자 필름 사이에 적층하여 단일 접합공정시 열에 의해 녹은 보강필름이 고분자필름의 미세채널로 들어오지 않게 방지할 수 있다. 또한, 상기 접합공정에 사용되는 온도 보다 낮은 용융점을 가진 열가소성 고분자필름이 보강필름(release layer film)으로 적층되어 단일 접합공정시 온도에 의해 보강필름이 녹음으로써 고분자 필름들의 계면에 형성되는 기포를 제거하게 된다.
- [0019] 상기 접합공정에 추가로 적층되는 보강필름은 고분자 필름들의 계면에 형성되는 기포를 제거하여 내압성을 향상시킴으로써 고유속 및 기체상 반응에 유리한 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기를 제조할 수 있다.
- [0020] 본 발명에 따른 필름형 마이크로 반응기는 접합공정에서 추가로 적층되는 보강필름으로 인해 반응기에 1종 이상의 유체를 유입시 전체 유입속도가 1 ~ 5000 $\mu\text{l}/\mu\text{l}/\text{min}$ 인 것을 특징으로 한다.
- [0021] 본 발명에 따른 필름형 마이크로 반응기는 적층된 고분자 필름 3장 이상을 단일 접합공정을 실시함으로써 2층 이상의 다층 채널 구조를 갖는 것을 특징으로 한다. 이로써 1종 이상의 채널이 식각된 고분자 필름을 3장 이상 적층하여 단일접합공정에 의해 다층 채널 구조를 형성하도록 접착공정을 단순화할 수 있다.
- [0022] 상기에서 3차원 미세채널이 형성된 필름형 마이크로 반응기의 다층 적층을 통해 단위 두께 당 종래의 마이크로 반응기보다 많은 양의 미세채널을 포함하여 마이크로 반응기에서의 생산량을 늘릴 수 있다.
- [0023] 상기에서 본 발명에 의해 제조된 3차원 미세채널을 다층 필름형 마이크로 반응기는 다층구조를 가짐으로써 종래의 2차원 채널보다 대량의 반응 결과물을 얻을 수 있는 장점이 있다.
- [0024] 상기에서 3차원 구조의 미세채널을 가진 다층 필름형 마이크로 반응기를 제조할 때, 화학적, 열적, 기계적으로 안정한 고분자필름을 사용함으로써 다양한 마이크로 반응기의 응용을 기대할 수 있다.
- [0025] 상기 마이크로 반응기에 1종 이상의 유체를 유입시켜 반응하는 단계는 1단계 이상의 반응을 수행하는 것을 포함한다.
- [0026] 상기 반응은 일련의 반응을 연속적으로 반응할 수 있을 뿐만 아니라, 재순환 반응을 가능하게 함으로써 다양한 마이크로 반응기의 응용을 기대할 수 있다.
- [0027] 본 발명에서 마이크로 반응기의 재료로 25 ~ 200 μm 두께의 열가소성 고분자 필름을 사용함으로써, 제조된 3차원 미세채널을 가진 다층 필름형 마이크로 반응기는 가용성이 우수하여 플렉시블(flexible)한 특징을 가지

고 있다.

발명의 효과

- [0028] 본 발명은 화학적, 열적, 기계적으로 안정한 3차원 다층 미세 채널이 형성된 필름형 마이크로 반응기를 생산 비용절감 및 단순 공정을 통해 제작하는 방법에 관한 것으로 3차원 다층 미세 채널을 가진 필름형 마이크로 반응기를 형성함에 있어서, 단일 접합공정으로 3차원 미세채널 또는 3차원 다층구조를 형성할 수 있다.
- [0029] 본 발명에 의해 제조되는 3차원 다층 미세채널을 가진 필름형 마이크로 반응기는 플렉서블(flexible)한 특징을 가지고 있으며, 단위 두께 당 종래의 마이크로 반응기보다 많은 양의 미세채널을 포함하여 생산량을 증가시킬 수 있으며, 일련의 반응을 연속적으로 반응할 수 있을 뿐만 아니라, 재순환 반응을 가능하게 함으로써 다양한 3차원 마이크로 반응기의 응용을 제공한다.

도면의 간단한 설명

- [0030] 도 1은 본 발명의 1종 이상의 미세채널이 식각된 고분자 필름을 금속 핀으로 정렬하여 적층하는 것을 나타낸 모식도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예 1에 따른 3차원 동축 흐름(coaxial flow)을 갖는 미세 유화기를 나타낸 모식도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예 1에 따른 수중유 미세 오일액적을 광학현미경으로 분석하여 나타낸 것이다.
- 도 4은 본 발명의 실시예 2에 따른 3차원 멤브레인(membrane) 마이크로 믹서 반응기의 단면을 모식도로 나타낸 것이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예 2에 따른 3차원 멤브레인(membrane) 마이크로 믹서 반응기의 미세채널 내부의 모식도를 나타낸 것이다.
- 도 6는 본 발명의 실시예 3에 따른 3차원 동축 흐름(coaxial flow)을 갖는 미세유화기를 3개 적층하여 3층 구조로 형성된 마이크로 유화기의 모식도를 나타낸 것이다.
- 도 7은 본 발명의 실시예 3에 따른 수중유 미세 오일액적을 광학현미경으로 분석하여 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 상세하게 설명하고자 한다.
- [0032] 이때, 하기의 실시예는 설명의 목적을 위한 것으로서, 본 발명이 이에 한정되지 않는다.

[0033] [실시예 1]

[0034] 본 발명에 따른 고분자 필름의 적층구조 구현을 통해 3차원 동축 흐름(coaxial flow)을 갖는 미세 유화기를 만들었다. 상기 미세 유화기는 두께 125 μm 의 제 1층 필름(Polyimide HN type, Dupont., USA)을 레이저를 이용하여 200 μm 너비, 80 μm 깊이의 미세 채널을 형성하고, 두께 25 μm 의 제 2층 필름(PIXEO BP, KANEKA., JAPAN)을 레이저를 이용하여 25 μm 너비와 25 μm 깊이 및 200 μm 너비, 25 μm 깊이의 미세 채널을 각각 형성하고, 두께 125 μm 의 제 3층 필름(Polyimide HN type, Dupont., USA)을 레이저를 이용하여 200 μm 너비, 80 μm 깊이의 미세채널을 형성한 후, 각 필름들을 적층하여 전기로 속에 4 kg 이상의 금속 추를 올려놓은 뒤 320 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 2시간 동안 필름과 필름이 접합되도록 방치한 후 냉각시켜 제작하였다.

[0035] 상기 제작된 마이크로 유화기를 알루미늄 칩 홀더(ICH-03, IMT, Japan)에 연결하여 제 1층 필름에 형성된 유체투입부에 플루오르 카본 오일 또는 헥사데칸 또는 콘 오일 또는 식용유를 1 ~ 5000 $\mu\text{l}/\text{min}$ 으로 유입하여 제 2층의 필름에 형성된 미세채널에서 흐르고, 제 1층 필름에 형성된 다른 2개의 유체투입부에 증류수를 유입하여 제 1층, 제 2층, 제 3층을 적층하여 형성된 3차원적 미세채널에서 흐르도록 하고, 유입되는 플루오르 카본 오일 또는 헥사데칸 또는 콘 오일 또는 식용유를 감싸면서 유입되는 오일을 유화하여 직경 10 ~ 100 μm 의 수중유 미세 액적을 제조하였다. 이렇게 제조된 수중유 미세 액적은 광학현미경을 이용하여 확인할 수 있었다. (도 2) (도 3)

[0036] [실시예 2]

[0037] 본 발명에 따른 방법으로 마이크로 반응기에 다수의 미세 홀을 가진 필름을 미세채널을 가진 필름과 적층하여 3차원적 유체의 흐름과 다수의 미세 홀에 의한 멤브레인 투과흐름을 갖는 3차원 멤브레인 마이크로 믹서 반응기를 제작하였다. 상기 마이크로 반응기는 두께 125 μm 의 제 1층 필름(Polyimide HN type, Dupont., USA)에 레이저를 이용하여 800 μm 너비, 80 μm 깊이의 미세 채널을 형성하고, 두께 25 μm 의 제 2층 필름(PIXEO BP, KANEKA., JAPAN)에 레이저를 이용하여 직경 25 μm 의 다수의 미세홀을 제 1층 및 제 3층의 필름에 형성된 채널에 위치 할 수 있도록 형성하고, 두께 125 μm 의 제 3층 필름(Polyimide HN type, Dupont., USA)에 레이저를 이용하여 800 μm 너비, 80 μm 깊이의 미세채널을 형성한 후, 각 필름들을 적층하여 전기로 속에 4 kg 이상의 금속 추를 올려놓은 뒤 320 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 2시간 동안 필름과 필름이 접합되도록 방치한 후 냉각시켜 제작하였다.

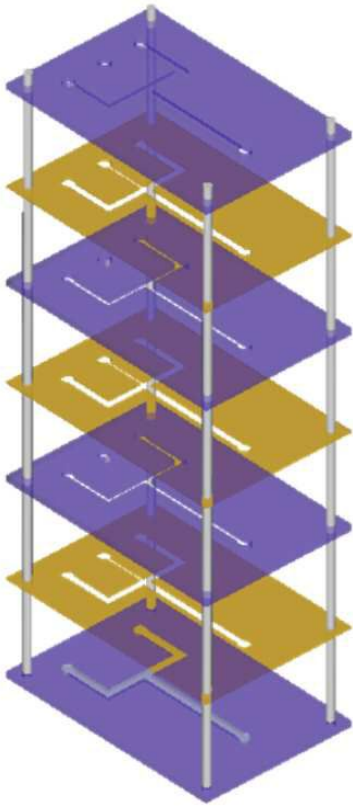
[0038] (도 4) (도 5)

[0039] [실시예 3]

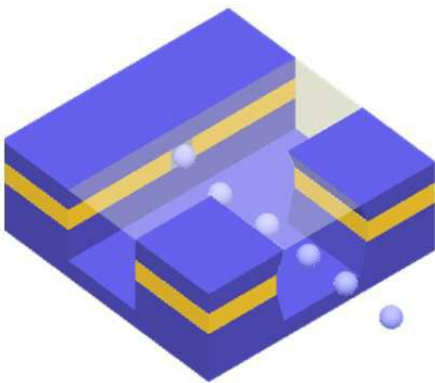
[0040] 본 발명에 따른 고분자 필름의 적층구조 구현을 통해 상기 실시예 1에서 제조한 마이크로 반응기를 3개 적층하여 3차원 미세채널이 다층으로 형성된 마이크로 유화기를 만들었다. 실시예 1에서 식각된 각 고분자 필름에 유체 투입부와 유체배출부를 각 필름에 동일하게 연결하여 하나의 유체투입부와 유체배출부를 갖는 3 층 구조의 마이크로 유화기를 제조하였다. 제작된 3층 구조의 마이크로 유화기를 알루미늄 칩 홀더(ICH-03, IMT, Japan)에 연결하여 분산상으로 제 1층 및 제 2층, 제 3층 구조에 형성된 미세채널에 플루오르 카보 오일 또는 헥사데칸 또는 콘 오일 또는 식용유가 1 ~ 5000 $\mu\text{l}/\text{min}$ 으로 유입되고, 제 1층 및 제 2층, 제 3층의 미세채널을 통해 연속상으로 증류수를 1 ~ 5000 $\mu\text{l}/\text{min}$ 으로 유입하였다. 3층 구조를 갖는 3차원 다층 마이크로 유화기에서 플루오르 카보 오일 또는 헥사데칸 또는 콘 오일 또는 식용유를 직경 10 ~ 100 μm 크기의 오일액적을 대량으로 제조하였다. 이렇게 제조된 미세 오일액적은 광학현미경을 이용하여 확인할 수 있었다(도 6) (도 7).

도면

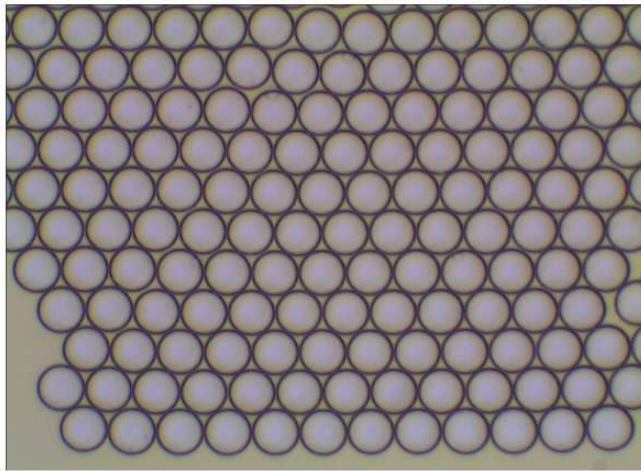
도면1



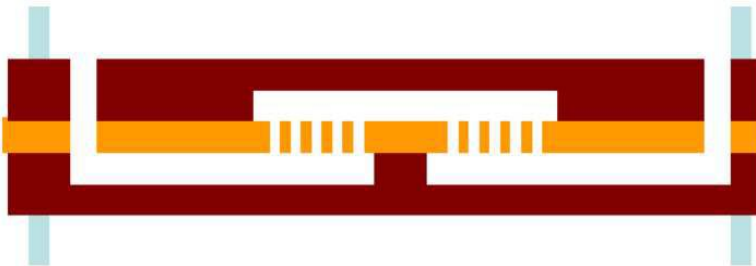
도면2



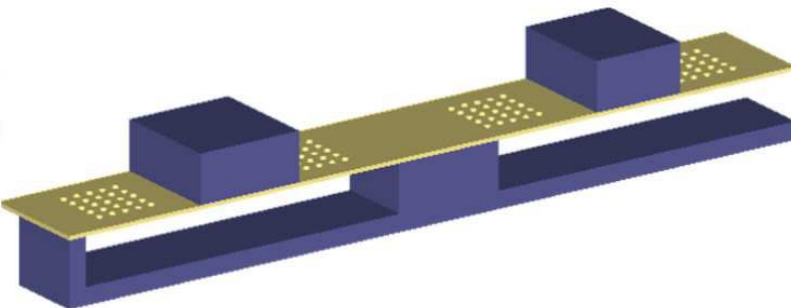
도면3



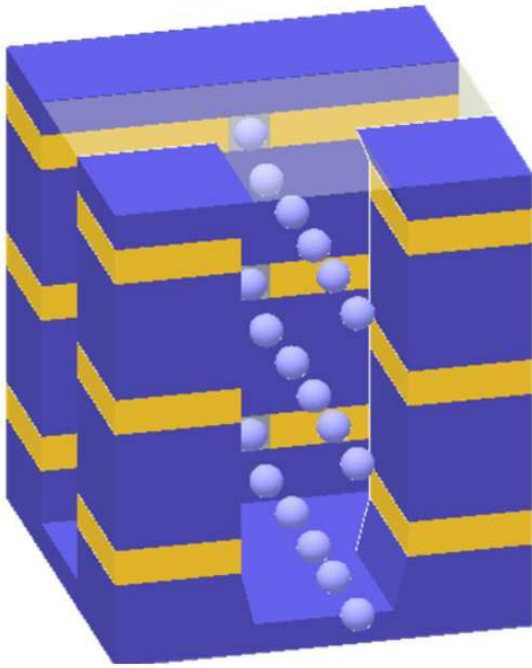
도면4



도면5



도면6



도면7

