

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(43) 국제공개일
2011년 10월 6일 (06.10.2011)

PCT

(10) 국제공개번호
WO 2011/122883 A2

- (51) 국제특허분류:
G01N 33/52 (2006.01) G01N 21/25 (2006.01)
G01N 33/48 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2011/002239
- (22) 국제출원일: 2011년 3월 31일 (31.03.2011)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2010-0029614 2010년 3월 31일 (31.03.2010) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): 서울대학교산학협력단 (SNU R&DB FOUNDATION) [KR/KR]; 서울 관악구 신림동 산 56-1, 151-919 Seoul (KR).
- (72) 발명자: 권
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): 권성훈 (KWON, Sunghoon) [KR/KR]; 서울특별시 관악구 봉천7동 산 4-2 교수아파트 1221-104 호, 151-057 Seoul (KR). 이호원 (LEE, Howon) [KR/KR]; 서울특별시 관악구 인현동 180-396 번지 301 호, 151-061 Seoul (KR). 김준희 (KIM, Junhoi) [KR/KR]; 서울특별시 마포구 공덕2동 마포현대아파트 1동 605 호, 121-022 Seoul (KR). 김지윤 (KIM, Ji Yun) [KR/KR]; 경기도 군포시 산본동 세종아파트 637-902 호, 435-040 Gyeonggi-do (KR).

- (74) 대리인: 남정길 (KWAK, Hyun Kyu); 서울 강남구 역삼동 607-12 한진빌딩 2층 아이시스 국제특허사무소, 135-080 Seoul (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

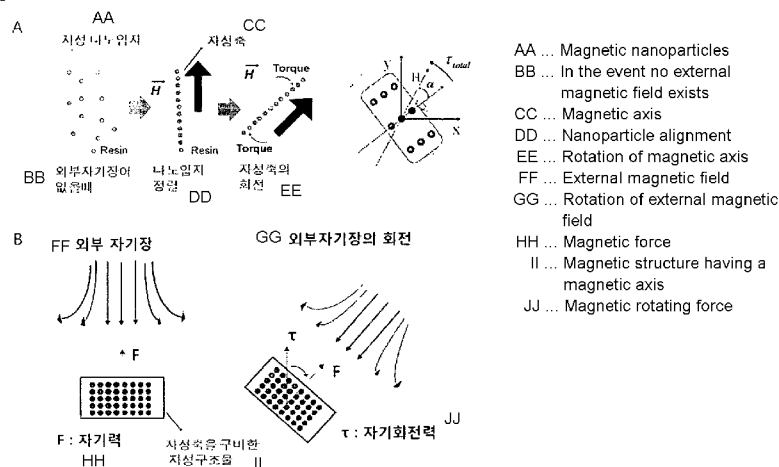
공개:

- 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

(54) Title: METHOD FOR MAGNETICALLY CONTROLLING A MAGNETIC STRUCTURE

(54) 발명의 명칭 : 자성 구조물을 자기적으로 제어하는 방법

【도 3】



(57) Abstract: Provided is a method for magnetically controlling a magnetic structure, comprising: a step of providing a solution containing a magnetic structure having a magnetic axis along which magnetic nanoparticles are aligned; and a step of applying an external magnetic field to the solution so as to control the motion of the magnetic structure.

(57) 요약서: 자성 나노입자들이 정렬된 자성축을 구비한 자성 구조물을 함유한 용액을 제공하는 단계; 및 상기 용액에 대해 외부 자기장을 인가하여 상기 자성 구조물의 움직임을 제어하는 단계를 포함하는 자성 구조물의 자기적 제어방법이 제공된다.

WO 2011/122883 A2

【명세서】**【발명의 명칭】**

자성 구조물을 자기적으로 제어하는 방법

【기술분야】

- <1> 본 명세서에 개시된 기술은 일반적으로 자성 구조물을 자기적으로 제어하는 방법에 관한 것이다.

【배경기술】

- <2> 코드화된 입자 기반의 복합 분석 방법은 그 방식이 가지는 확장성과 빠른 반응성 덕분에 신약발굴 및 임상진단과 같은 고효율 바이오분자 검사 분야에서 많은 주목을 받고 있다. 복합 분석 방법은 타겟 분석물을 함유하는 마이알 내에 많은 코드화된 탐침 입자들을 함께 혼합함으로써 달성될 수 있다.
- <3> 다양한 샘플들에 있어서, 높은 분석 효율을 위해 많은 수의 구분되는 코드들을 사용하는 것이 필요하다. 충분히 많은 수의 코드를 확보하기 위해 양자점 또는 형광체를 이용한 스펙트럴 코드화 방식과 미세입자 표면 상에 광학적으로 측정가능한 요소를 패터닝하는 것에 기초한 그래피컬 코드화 방식이 제안되어 왔다.
- <4> 하지만, 스펙트럴 코드화 방식은 코드를 구현할 여러 물질을 다루는 것과 관련하여 스펙트럼의 겹침, 한정적인 물질 수, 고비용 및 미세한 양의 지시 물질 로딩을 정교하게 제어함에 있어 한계가 있다. 또한 2진 바코드와 같은 그래피컬 코드화 방식의 경우 해상도의 한계가 있어 충분한 수의 코드를 구현하기 위해 보다 넓은 면적을 필요로 하여 결국 입자의 크기에 의해 코드 수가 한정된다. 따라서, 2진 이상의 멀티레벨 코딩방식이 제안되었으나 그 공정이 매우 복잡하고 스펙트럴 코드화 방식의 경우와 같이 여러 종류의 지시 물질의 정확한 로딩이 요구된다.
- <5> 또한, 코드화된 입자 기반 복합 분석방법에서 코드를 읽어내기 위해 미세 입자들을 적절하게 핸들링하는 방법이 필요하다. 예를 들어 미세 입자들을 혼합용액으로부터 선택적으로 분리해 내는 것은 그리 간단하지 않다.
- 【발명의 상세한 설명】**
- <6> 개시된 기술의 일 측면에 의하면, 자성 나노입자들이 정렬된 자성축을 구비한 자성 구조물을 함유한 용액을 제공하는 단계; 및 상기 용액에 대해 외부 자기장을 인가하여 상기 자성 구조물의 움직임을 제어하는 단계를 포함하는 자성 구조물의 자기적 제어방법이 제공된다.
- <7> 상기 움직임은 상기 자성축이 갖는 자성 토크에 의한 회전 또는 상기 외부 자기장의 밀도가 밀해지는 방향의 힘에 의한 이동일 수 있다.

- <8> 상기 자성 구조물의 표면에 탐침 분자가 존재하며, 상기 외부 자기장의 회전에 따라 상기 자성 구조물이 회전되어 상기 용액 내의 목적 분자와의 반응을 촉진할 수 있다.
- <9> 개시된 기술의 다른 측면에 의하면, 자성 나노입자들의 정렬에 의해 컬러 코딩화된 자성 구조물을 함유한 용액을 용기에 도입하는 단계; 상기 용액에 외부 자기장을 인가하여 상기 컬러 코딩화된 자성 구조물들을 용기의 벽면으로 수집하는 단계; 및 상기 컬러 코딩의 정보를 분석하는 단계를 포함하되, 상기 자성 구조물 중 컬러 코드가 위치하는 면이 상기 용기의 벽면에 대해 이차원적으로 배열되도록 하는 자성 구조물의 자기적 제어방법이 제공된다.
- <10> 개시된 기술의 또 다른 측면에 의하면, 고체 매트릭스; 및 상기 고체 매트릭스 내에 고정된 자성축을 포함하되, 상기 자성축은 일정 간격을 두고 일축 방향으로 정렬된 자성 나노입자들의 정렬구조를 가지며, 외부 자기장의 변화에 따라 상기 자성축이 갖는 자성 토크에 의해 힘을 받아 움직이는 자성 구조물이 제공된다.
- <11> 상기 고체 매트릭스의 표면에 탐침 분자가 고정될 수 있다.
- <12> 개시된 기술의 또 다른 측면에 의하면, 고체 매트릭스; 상기 고체 매트릭스의 일 부분에 위치하며 고정된 자성축을 구비한 제1 영역; 및 상기 제1 영역과 연결되면서 상기 고체 매트릭스의 다른 부분에 위치하며 고정된 자성축을 구비한 제2 영역을 포함하되, 상기 제1 영역의 자성축과 상기 제2 영역의 자성축의 배향이 서로 다르며, 외부 자기장의 인가에 따라 상기 제1 영역의 자성축과 상기 제2 영역의 자성축이 각각 가지는 이중 자기 이방성에 의하여 상기 제1 영역과 상기 제2 영역이 서로 다른 움직임을 갖는 자성 구조물이 제공된다.
- <13> 상기 고체 매트릭스의 적어도 한 부분이 외부 물체에 고정될 수 있다.
- <14> 개시된 기술의 또 다른 측면에 의하면, 경화성 매질에 분산된 자성 나노입자 조성물을 비혼화성 용매 중에 분산시켜 에멀전을 형성하는 단계; 상기 에멀전에 자기장을 인가하고 광조영하여 자성축이 내재된 미세구체 형태의 자성 구조물을 제조하는 단계; 상기 자성 구조물의 표면에 탐침 분자를 고정화하는 단계; 상기 자성 구조물을 목적 분자를 함유한 용매에 혼합하는 단계; 및 외부 자기장을 인가하여 상기 탐침 분자가 고정된 상기 자성 구조물을 회전 또는 이동시킴으로써 목적 분자와의 반응을 촉진시키는 단계를 포함하는 자성 구조물의 자기적 제어방법이 제공된다.
- <15> 상기 자기적 제어방법은 상기 반응 후 세기에 기울기가 있는 외부 자기장을 인가함으로써 상기 자성 구조물을 상기 용매로부터 분리해 내는 단계를 더 포함할

수 있다.

<16> 개시된 기술의 또 다른 측면에 의하면, 탐침 분자를 구비하면서 자성 나노입자들의 정렬에 의해 컬러 코드화된 자성 구조물을 제공하는 제1 원료 공급부; 목적 분자를 함유한 용액을 제공하는 제2 원료 공급부; 상기 탐침 분자와 상기 목적 분자가 반응할 수 있도록 상기 자성 구조물과 상기 용액이 혼합되는 원료 혼합부; 및 상기 자성 구조물을 상기 용액 중에서 회전시키거나 이동시키도록 상기 용액에 자기장을 가하는 자기장 인가부를 포함하는 자성 구조물의 자기적 제어장치가 제공된다.

<17> 상기 자기적 제어장치는 상기 탐침 분자와 상기 목적 분자가 결합한 상기 자성 구조물을 관측하고 디코드화하기 위한 디코더부를 더 포함할 수 있다.

【도면의 간단한 설명】

<18> 도 1은 컬러 코드화를 위한 조성물의 일 실시예를 나타낸 도면이다.

<19> 도 2는 자성 나노입자들이 자기장의 방향에 따라 정렬되는 원리를 나타내는 도면이다.

<20> 도 3은 정렬된 자성 나노입자들로 이루어진 자성축이 받는 힘의 종류와 그 원리를 나타낸 도면이다.

<21> 도 4는 다중컬러 코드화된 자성 구조물의 생성과정을 나타낸 개략도이다.

<22> 도 5는 다양한 형태로 컬러 코드화된 자성 구조물들의 예들을 나타낸 사진이다.

<23> 도 6은 컬러 코드화된 자성 구조물들을 자기적으로 분리하고 용액 교환하는 과정을 나타낸다.

<24> 도 7은 자석 회전 셋업을 이용한 자성 미세 입자의 자기적 제어를 나타낸 개략도 및 실제 입자의 현미경 사진을 나타낸다.

<25> 도 8은 컬러 코드화된 자성 구조물을 제어하여 DNA 혼성화의 탐지 및 식별 실험을 한 예이다.

<26> 도 9는 생화학적 분석을 위한 자성 구조물의 자기적 제어장치의 일 실시예를 나타낸다.

<27> 도 10은 다중 방향성 자성축들을 포함하는 고분자 미세 구조물을 제작하는 과정을 나타낸 도면이다.

<28> 도 11은 다양한 형태로 여러 방향으로 정렬된 자성 나노입자를 가진 미세 구조물의 예들을 나타낸 사진이다.

<29> 도 12는 다양한 방향의 자성축들을 포함한 미세 구조물에 균일한 자기장을

결어주어 다양한 움직임을 구현한 결과를 나타낸다.

【발명의 실시를 위한 형태】

- <30> 이하, 도면을 참조하여 본 명세서에 개시된 기술의 실시예들에 대해 상세히 설명하고자 한다. 다음에 소개되는 실시예들은 당업자에게 개시된 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되어지는 것이다. 따라서 개시된 기술은 이하 설명된 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 그리고 도면들에 있어서, 구성요소의 폭, 길이, 두께 등은 편의를 위하여 과장되어 표현될 수도 있다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다. 전체적으로 도면 설명시 관찰자 시점에서 설명하였고, 일 구성요소가 다른 구성요소 “위에” 있다고 할 때, 이는 다른 구성요소 “바로 위에” 있는 경우 뿐 아니라, 그 중간에 또 다른 구성요소가 있는 경우도 포함한다.
- <31> 일 실시예에 따르면, 컬러 코드화는 이하의 방식으로 수행될 수 있다. 먼저 액체 매질 및 상기 액체 매질에 분산된 자성 나노입자들을 포함하는 조성물을 제공한다. 상기 액체 매질은 경화성 물질일 수 있다. 또한 상기 자성 나노입자들은 초상자성 물질을 포함할 수 있다. 다음 상기 조성물에 자기장을 인가하여 상기 자성 나노입자들을 정렬시킨다. 동시에 패턴화된 에너지원을 조사하여 상기 조성물을 고체화시킨다. 이때, 자기장의 세기를 변화시키면서 상기 조성물의 여러 부분들을 순차적으로 고체화시켜 복수의 컬러 영역들을 고정시킴으로써 컬러 코드화된 구조물이 제조될 수 있다. 고체화를 위해 적절한 상기 패턴화된 에너지원은 열, 자외선, 가시광선, 적외선 및 전자빔을 제한 없이 포함할 수 있다.
- <32> 상기 패턴화된 자외선의 조사는 DMD에 의해 수행될 수 있다.
- <33> 상기 자성 나노입자들의 정렬에 의해 상기 일차원적 사슬 구조가 만들어질 수 있으며, 상기 사슬 구조를 이루는 상기 자성 나노입자들 사이의 간격에 따라 구조색이 결정될 수 있다.
- <34> 예를 들어, 상기 패턴화된 에너지원의 인가를 위해 마스크를 사용하여 패턴화된 자외선(UV)을 조사할 수 있다. 중합 도중에 자유 라디칼의 확산을 막고 고해상도의 마이크로 스케일 패턴을 생성하기 위해 광유체적 무마스크 리소그래피(OFML)와 같은 기술을 사용할 수도 있다.
- <35> 도 1은 컬러 코드화를 위한 조성물의 일 실시예를 나타낸 도면이다. 도 1을 참조하면, 컬러 코드화를 위한 조성물(100)은 경화성 물질(110) 및 경화성 물질(110) 내에 분산되어 있는 자성 나노입자들(120)을 포함할 수 있다.
- <36> 자성 나노입자(120)는 자성 나노결정들의 클러스터(122)를 포함할 수 있다.

자성 나노입자(120)의 크기는 수십 내지 수백 nm의 크기를 가질 수 있으며, 상기 자성 나노결정은 수 내지 수십 nm의 크기를 가질 수 있다. 상기 자성 나노결정의 예로 자성 물질(magnetic material) 또는 자성 합금(magnetic alloy)이 포함될 수 있다. 상기 자성 물질 또는 상기 자성 합금은 Co, Fe₃O₄, CoFe₂O₄, MnO, MnFe₂O₄, CoCu, CoPt, FePt, CoSm, NiFe, 및 NiFeCo로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상일 수 있다.

<37> 자성 나노입자(120)는 초상자성 물질(superparamagnetic material)을 포함할 수 있다. 초상자성 물질은 자기장이 제거되어도 자성이 유지되는 강자성 물질(ferromagnetic material)과 달리 외부 자기장이 존재할 때에만 자성을 갖게 된다. 대체로 강자성 물질의 입자 크기가 수 내지 수백 nm가 되면 초상자성 물질로 상전이될 수 있다. 예를 들면 산화철의 경우 10nm 정도의 크기에서 초상자성을 가질 수 있다.

<38> 또한 자성 나노입자(120)는 도시한 바와 같이, 자성 나노결정들의 클러스터(122)로 된 코어를 둘러싼 셸 층(124)을 구비할 수 있다. 셸 층(124)은 자성 나노입자들(120)이 경화성 물질(110) 내에서 잘 분산되도록 한다. 또한 후술하겠지만, 셸 층(124)은 자성 나노입자들(120) 사이의 강력한 자성 인력을 상쇄하도록 각각의 자성 나노입자(120) 표면에 용매화 반발을 촉진할 수 있다. 셸 층(124)은 예를 들어, 실리카를 포함할 수 있다. 셸 층(124)으로서 실리카를 사용하여 표면개질할 경우, 공지된 졸-겔 공정을 사용할 수 있다.

<39> 컬러 코드화를 위한 조성물(100)은 또한 수소결합 용매를 더 포함할 수 있다. 상기 수소결합 용매로서 에탄올, 이소프로필알코올, 에틸렌 글리콜 등의 다양한 알칸올 용매가 사용될 수 있다. 이때 자성 나노입자(120)를 둘러싼 용매화 층(126)이 형성될 수 있다. 예를 들어, 실리카를 갖는 셸 층(124) 표면의 실란올(Si-OH) 작용기의 영향으로 용매화 층(solvation layer, 126)이 형성됨으로써 자성 나노입자들(120) 간에 척력을 유도할 수 있다. 일 실시예에 의하면, 자성 나노입자(120)에 셸 층(124) 및/또는 용매화 층(126)이 존재하지 않을 수도 있다. 이 경우, 자성 나노입자(120) 표면의 정전기적 힘이 척력으로 작용할 수 있다.

<40> 자성 나노입자(120)를 경화성 물질(110)에 혼합하여 기계적인 교반 또는 초음파 처리를 함으로써 컬러 코드화를 위한 조성물(100)을 제조할 수 있다. 자성 나노입자(120)는 경화성 물질(110) 내에 부피율(volume fraction)로 예를 들어 0.01% 내지 20%가 포함될 수 있다. 자성 나노입자(120)가 부피율 0.01% 미만이면 반사율이 떨어질 수 있으며 부피율이 20%를 초과하면 반사율이 더 이상 증가하지 않을 수

있다.

<41> 경화성 물질(110)은 광결정을 이루는 자성 나노입자들(120)을 안정적으로 분산시키는 분산매의 역할을 한다. 또한 가교결합에 의해 자성 나노입자들(120)간의 간격을 고정함으로써, 자기장이 제거된 이후에도 일정한 구조색을 지속적으로 발현하도록 할 수 있다.

<42> 경화성 물질(110)은 경화반응을 위해 가교결합가능 부위를 함유하는 액상의 단량체 또는 올리고머를 포함할 수 있다. 경화성 물질(110)은 하이드로젤을 형성할 수 있는 액상의 친수성 고분자를 포함할 수 있다. 친수성 고분자는 친수성 그룹을 가지고 있어서 자성 나노입자(120)의 분산에 적합한 고분자로서, 적절한 에너지원에 의해 가교되어 3차원 망상구조를 갖는 하이드로젤을 형성하게 되면 자성 나노입자들(120)을 고정시킬 수 있다.

<43> 하이드로젤을 형성할 수 있는 경화성 물질(110)의 예는 실리콘함유 고분자, 폴리아크릴아마이드, 폴리에틸렌옥사이드, 폴리에틸렌 글리콜 디아크릴레이트, 폴리프로필렌 글리콜 디아크릴레이트, 폴리비닐피롤리돈, 폴리비닐알코올, 폴리아크릴레이트 및 이들의 공중합체일 수 있다. 예를 들어, 경화성 물질(110)인 폴리에틸렌 글리콜 디아크릴레이트(PEGDA)는 폴리에틸렌글리콜(PEG) 양 말단에 아크릴레이트 작용기가 있어서 자유라디칼 중합이 일어날 경우 3차원 구조의 하이드로젤로 가교될 수 있다. 기타, 경화성 물질(110)은 액체에서 고체로 변할 수 있는 어떠한 형태의 매질도 포함할 수 있다.

<44> 경화성 물질(110)은 개시제를 더 포함할 수 있으며 외부의 에너지원에 의해 자유라디칼 중합을 유발할 수 있다. 개시제는 아조계 화합물 또는 과산화물이 될 수 있다. 경화성 물질(110)은 적당한 가교제를 더 포함할 수 있으며, 예를 들면, N,N'-메틸렌비스아크릴아마이드, 메틸렌비스메타크릴아마이드 및 에틸렌글리콜디메타크릴레이트 등을 들 수 있다. 자성 나노입자(120)는 자기장의 인가시 경화성 물질(110) 내에서 정렬되어 구조색을 발현할 수 있다. 자성 나노입자(120)는 자기장의 인가시 경화성 물질(110) 내에서 정렬되어 구조색을 발현할 수 있다.

<45> 도 2는 자성 나노입자들이 자기장의 방향에 따라 정렬되는 원리를 나타내는 도면이다. 경화성 물질(110) 중에 랜덤하게 분산되어 있는 자성 나노입자(120)가 주위의 자석(magnet)에 의해 자기장(magnetic field)이 인가될 경우, 자기장의 방향과 나란히 정렬되어 사슬 모양의 방향성을 가지는 구조를 형성한다. 자기장에 의해 정렬된 자성 나노입자(120)은 자기장을 제거하면 다시 정렬되지 않은 상태로 돌아갈 수 있다. 콜로이드 상태로 존재하는 자성 나노입자(120)들은 외부에서 자기장

을 인가하면 경화성 물질(110) 내에 존재하는 자성 나노입자들(120) 간에 자성에 의한 인력이 작용함과 동시에 정전기적 힘 및 용매화 힘에 기인한 척력이 작용할 수 있다. 상기 인력과 상기 척력의 균형으로 자성 나노입자(120)들이 자기장 방향을 향해 정렬하면서 자성축을 이루게 된다. 자성축이란 단위부피에서 가장 강한 유도자기를 보일 수 있는 공간상 축을 의미한다. 하나의 자성 나노입자(120)는 자기장에 노출될 경우 투자율(permeability)에 따른 유도자기를 형성한다. 각각의 자성 나노입자(120)는 유도자기 모멘트의 상호작용 결과 계의 에너지가 최소가 되는 방향으로 정렬이 되려고 한다. 이 방향이 바로 자기장의 방향과 나란한 방향이 되며, 자성축이 된다.

<46> 자성축을 이루는 자성 나노입자들(120) 간의 거리 d 는 자기장의 세기에 의존할 수 있다. 예를 들어, 자기장의 세기가 강할수록 자기장 방향에 따라 정렬된 자성 나노입자들(120) 간의 거리 d 가 작아질 수 있다. 거리 d 는 자기장의 세기에 따라 수 nm 내지 수백 nm이 될 수 있다. 즉 광결정의 격자 간격이 바뀌므로 브래그 법칙에 따라 반사되는 광의 파장이 변경될 수 있다. 결국 특정 자기장의 세기에 따라 반사광 파장이 결정될 수 있다. 일정한 파장에서만 반사되는 종래의 광결정과는 달리 상기 광결정은 외부 자기장에 대해 빠르고, 폭넓으며, 가역적인 광감응(optical response)을 나타낼 수 있다. 주위의 자기장 변화에 따라 격자 간격이 변화함에 의해 외부 입사광으로부터 특정 파장의 반사광을 유발할 수 있다.

<47> 일 실시예에 따르면, 자성축을 포함하는 자성 구조물이 제공된다. 여기서, 상기 자성축은 고체 매트릭스 내에 고정되어 있다. 상기 자성축은 일정 간격을 두고 일축 방향으로 정렬된 자성 나노입자들의 정렬구조를 가진다. 이때 상기 자성 구조물에 외부 자기장이 인가되면 자기력선의 방향에 따라 자성축이 나란한 방향으로 정렬되도록 이동하는 힘을 받게 된다. 결국 자성 구조물은 자성축이 나란한 방향으로 정렬될 수 있도록 회전할 수 있다.

<48> 도 3은 정렬된 자성 나노입자들로 이루어진 자성축이 받는 힘의 종류와 그 원리를 나타낸 도면이다. 도 3A는 자성 나노입자가 외부 자기장이 걸린 환경에 놓였을 때, 외부 자기장을 따라 정렬하는 성질을 보여주는 도면이고, 도 3B는 완전히 균일하지는 않은 외부 자기장이 걸린 환경에 자성축을 가지는 구조물이 놓였을 때 받는 두 가지 종류의 힘을 보여주는 도면이다. 자성 나노 입자들은 외부 자기장의 방향에 따라 정렬되어 있을 때 전체 자성 에너지가 가장 낮아 안정한 상태가 된다. 이 상태에서 외부 자기장의 방향이 바뀌면 전체 자성 에너지를 낮추기 위해 변화된 방향을 따라 자성축이 회전하려 하고 그에 따라 자성 회전력이 발생한다. 하나의

자성 구조물 내에 N개의 사슬이 존재할 때 총 자성 토크(τ_{total})는 각 단일 사슬의 토크(τ_i)의 N 배가 되며, 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다. 이때 미세 입자의 회전력은 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$\tau_{\text{total}} = N\tau_i = N \frac{3\mu_0 m^2}{4\pi} \sin(2\alpha) \frac{n^2}{d^3} = N \frac{4\mu_0 n^2 \chi^2 R^6 \pi}{3d^3} H^2 \sin(2\alpha)$$

여기서 N은 한 자성 구조물 내에 들어간 사슬 구조의 개수, χ 는 초상자성 나노입자의 초기 매스 자화율, R은 초상자성 나노입자의 반지름, d는 입자간 거리, 및 n은 단일 사슬 내에 존재하는 초상자성 나노입자들의 개수이다. μ_0 는 진공에서의 투자율, m은 자성 나노입자의 자화도, H는 외부 자기장의 세기를 의미한다. α 는 회전시 미세입자의 자성축과 외부 자기력선이 이루는 각도이다. 최대 토크값은 α 가 45도일 때이다.

이와 동시에, 만약 외부 자기장이 완전히 균일하지 않은 상태라면, 자성 나노입자들은 스스로의 자성 때문에 외부 자기장의 밀도가 밀해지는 방향으로 끌려가는 힘(병진력)을 함께 받게 된다. 이 힘(F_m)은 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$\vec{F}_m = V_p \frac{1}{\mu_0} (\chi_p - \chi_f) (\vec{B} \cdot \nabla) \vec{B}$$

여기서 V_p 는 미세입자의 부피이고 χ_p 는 자기 나노입자의 초기 매스 자화율, χ_f 는 외부 환경의 초기 매스 자화율이다. 자성 구조물은 균일하지 않은 자기장 내에서 위에서 나타낸 두 가지 힘을 동시에 받을 수 있다.

자성 나노입자들을 구비한 자성 구조물은 여러 가지 방법으로 제조될 수 있다.

일 실시예에 따르면, OFML 기술을 이용한 컬러 코드화된 자성 구조물의 제조 방법이 제공된다. 상기 제조방법은 경화성 물질 및 상기 경화성 물질에 분산된 자성 나노입자들을 포함하는 조성물로 미세유체 채널을 채우는 단계; 상기 미세유체 채널 내의 상기 조성물에 자기장을 인가하여 상기 자성 나노입자들의 일차원적 사슬구조를 형성하는 단계; 및 상기 조성물에 패턴화된 자외선을 조사하여 상기 일차원적 사슬 구조가 고정된 자유부유 입자를 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 미세유체 채널 속을 흐르는 상기 조성물에 대해 마스크 패턴을 변경하며 순차적으로 상기 패턴화된 자외선을 조사함에 따라 다중 컬러로 코드화할 수 있다. 구조색을 발현하는 상기 자유부유 입자 각각은 복수의 컬러 도트들을 구비할 수 있다. 상기 복수의 컬러 도트들 각각은 경화 당시 상기 자기장의 세기에 따라 컬러가 결정

될 수 있다. 상기 경화시 자기장의 세기에 따라 상기 자유부유 입자의 컬러가 결정되며, 상기 자외선의 패턴에 의해 자유부유 입자의 형태 및 컬러 패턴이 고정될 수 있다.

<56> 도 4는 다중컬러 코드화된 자성 구조물의 생성과정을 나타낸 개략도이다. 자기장 조절과 공간적으로 제어된 UV 노출의 협동 작용을 포함하는 순차적인 공정이 사용된다. 먼저 광경화성 수지 및 상기 광경화성 수지에 분산된 초상자성 나노입자들을 포함하는 조성물을 준비한다. 다음 상기 조성물로 폴리디메틸실록산(PDMS) 채널을 채운다. 이어 외부 자기장을 조절함으로써 상기 조성물의 색상이 튜닝된다. 상기 자기장의 세기에 따라 초상자성 나노입자들에 의한 1D 사슬구조의 주기가 변하면서 상당하는 파장의 빛을 반사시키게 된다. 일단 외부 자기장에 의해 특정 컬러 코드가 도입되면 상기 조성물의 일부 영역에 국소적으로 패턴화된 UV를 조사한다. 상기 패턴화된 UV의 조사를 위해 물리적인 마스크가 아닌 디지털 마이크로미러 장치(DMD)가 사용될 수 있다. DMD는 컴퓨터로 제어되는 공간적 광조절기(computer controlled spatial light modulator)의 역할을 한다. 도 4에서, UV가 DMD로부터 반사되어 나오면서 패턴화된 UV가 만들어진다. 상기 패턴화된 UV의 조사에 의해 일부 영역은 특정 컬러로 코드화된다. 다음 단순히 자기장의 세기를 바꾸고 DMD의 패턴을 변경시키는 방식을 순차적으로 적용하면 연속하여 다음 코드 비트들을 생성할 수 있다. 이러한 컬러 튜닝 및 고정화 공정은 각 비트를 생성하는 데 대략 수십분의 일초가 걸리므로 신속하게 수행될 수 있다. 또한 각 컬러의 도입마다 일반적인 마스크를 사용한 공정에 필요한 제정렬과정이 필요없어 공정이 간단하다. 더욱이, PDMS 채널 내부의 산소 윤활층(oxygen lubricant layer), 즉 금지층(inhibition layer)은 라디칼 광중합에 의해 생성된 미세입자들이 채널 벽에 들러붙지 않고 플로우 스트림을 따라 움직일 수 있게 한다.

<57> 이러한 성질을 이용함으로써, 광유체적 무마스크 리소그래피(OFML)를 사용하여 패턴화된 UV와 함께 여러 가지 레벨의 자기장의 세기 하에 다양한 색상과 모양으로 코드화된 자성 구조물들이 생성될 수 있다. 즉, 광결정을 함유한 액체 경화성 수지를 미세유체 채널에 주입시키고 여러 가지 자기장 하에 패턴화된 UV에 의해 유도되는 인-시투 광중합에 의해 자성 구조물들이 제조될 수 있다. 상기 자성 구조물들은 다각형 모양에만 국한되지 않으며, 임의의 소망하는 모양으로 디자인될 수 있다. 작은 컬러 도트들을 구비한 이중의 코드화된 자성 구조물들이 여러 가지 자기장 하에서 순차적인 UV 노출에 의해 제조될 수 있다. 이 경우, 그래픽컬 코드의 표현은 색상 및 모양의 유연성 때문에 제한이 없다.

- <58> 일 실시예에 따르면, 고체 매질 및 상기 고체 매질 내에 자성 나노입자들이 일정 간격으로 정렬된 자성축을 포함하는 컬러 코드화된 자성 구조물이 제공된다. 상기 컬러 코드화된 자성 구조물은 상기 정렬된 일정 간격의 크기에 따라 빛의 회절에 의한 구조색을 발현하는 코드 영역을 구비함으로써 멀티레벨로 코드화된 컬러 코드화될 수 있다.
- <59> 도 5는 다양한 형태로 컬러 코드화된 자성 구조물들의 예들을 나타낸 사진이다. 스케일 바는 각각 A 및 B는 200 μm , C는 500 μm , D 및 E는 250 μm 이다. 도 5의 A, C 및 D에서 보듯이 여러 가지 모양과 여러 가지 컬러를 가진 자성 구조물들이 제조될 수 있다. 도 5에서, B 및 E는 각각 A 및 D에 해당하는 샘플의 투과형 현미경 사진이다. 컬러풀한 반사 이미지를 갖는 A 및 D와 달리 B 및 E는 갈색의 투과 이미지를 가지는데 이는 자성 구조물의 색상이 착색에 의한 것이 아니라 초상자성 나노물질의 구조에 기인한 것임을 보여준다.
- <60> 상술한 방식으로 인한 컬러 코드화의 경우 여러 색이 독립적으로 분리된 국소 공간에 배치되어 있다. 또한, 그 국소 공간에서 구조색의 스펙트럼은 단일 피크 값을 가진다. 따라서 저렴한 전하결합소자(CCD) 카메라를 사용하면 픽셀의 위치정보와 RGB 정보로부터 각 코드의 위치 및 색상 정보를 동시에 얻을 수 있다.
- <61> 상기 컬러 코드화된 자성 구조물은 내부에 자성축들을 구비하며, 외부 자기장에 의해 자기적으로 제어가 가능하다. 일 실시예에 따르면, 자성 나노입자들이 정렬된 자성축을 구비한 자성 구조물을 함유한 용액을 제공한다. 다음 상기 용액에 대해 외부 자기장을 변화시켜 상기 자성 구조물의 움직임을 제어한다. 이때, 상기 움직임은 상기 자성축이 갖는 자성 토크에 의한 회전력 또는 상기 외부 자기장의 밀도가 밀해지는 방향의 힘에 의한 병진력에 기인할 수 있다. 상기 자성 구조물의 표면에 탐침 분자가 존재할 경우, 상기 용액 내의 목적 분자와의 반응을 촉진시키기 위해 상기 외부 자기장을 회전시킬 수 있다. 이때 상기 자성 구조물이 함께 회전하여 상기 탐침 분자와 상기 용액 내의 목적 분자와의 충돌 빈도가 높아지므로 반응이 촉진될 수 있다.
- <62> 또한 컬러 코드화된 자성 구조물을 자기적 제어를 통해 용이하게 컬러 코드의 정보를 분석할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 자성 나노입자들의 정렬에 의해 컬러 코드화된 자성 구조물을 함유한 용액을 용기에 도입하는 단계; 상기 용액에 외부 자기장을 인가하여 상기 컬러 코드화된 자성 구조물들을 용기의 벽면으로 수집하는 단계; 및 상기 컬러 코드의 정보를 분석하는 단계를 포함하되, 상기 자성 구조물 중 컬러 코드가 위치하는 면이 상기 용기의 벽면에 대해 이차원적으로 배열

되도록 하는 자성 구조물의 자기적 제어방법이 제공된다.

<63> 도 6은 컬러 코드화된 자성 구조물들을 자기적으로 분리하고 용액 교환하는 과정을 나타낸다. 도 6A를 참조하면, 컬러 코드화된 자성 구조물들을 함유하는 용액 A가 담긴 바이알 근처에 자석을 수 초간 위치시켜 자성 구조물 입자들을 자기력에 의해 바이알 벽에 모은 다음, 용액 A를 용액 B로 교환하는 과정을 나타내고 있다. 수력학적 끌기 힘(hydrodynamic drag force)과 자기력을 고려하면, 자성 구조물들의 최종 속도는 약 4 mm/초가 될 수 있다. 전체 용액 교환 시간 스케일에 대해 최종 속도에 도달하는 데 걸리는 시간은 무시할 만한 수준이다.

<64> 도 6B를 참조하면, 외부 자기장을 인가한 후 시간에 따른 자성 구조물의 거동을 볼 수 있다. 자기장의 인가에 의해 자기력선과 나란한 방향으로 자성축들이 배열되고, 자성 구조물들이 바이알 벽 쪽으로 자기적으로 끌릴 수 있다. 자성축들은 평판 형태의 자성 구조물들의 두께 방향으로 배향되므로 코드화된 영역이 바이알 벽의 표면에 대해 이차원적으로 전시될 수 있다. 그리하여 바이알 표면을 카메라가 단순히 포커싱함으로써 코드들을 쉽게 판독할 수 있다.

<65> 도 7은 자석 회전 셋업을 이용한 자성 미세 입자의 자기적 제어를 나타낸 개략도 및 실제 입자의 현미경 사진을 나타낸다. 도 7A는 마이크로 채널이나 바이알에 수평하게 부착된 미세 입자들에 대해 코드 판독하거나 용매 교환할 경우의 미세 입자들의 움직임상을 나타낸다. 도 7B는 미세 입자들의 플립핑을 나타낸다. Y 축 (그림의 XZ 평면에 수직인 방향)에 대한 자석의 회전이 미세 입자들을 가로질러 수직하게 자기력선의 방향을 변화시킨다. C는 Z 축에 대한 자석 회전에 의해 미세입자들이 회전하는 움직임을 나타낸다.

<66> 도 7A 및 7B에 있어서, Y 축 회전은 코드 판독 또는 용매 교환을 위해 마이크로 채널 등에 미세입자들이 부착되거나 반응을 촉진하기 위해 플로우에 대해 미세 입자들이 수직하게 바로 서도록 결정할 수 있다. 한편, 도 7B 및 도 7C에 있어서, Z 축 회전은 미세 입자들이 Z 축 주위로 빙글빙글 돌게(tumble around)하여 반응 영역을 효율적으로 증대시키도록 할 수 있다. 다음 새로운 반응을 위한 다른 용액으로 기존 용액을 교환한 후 다시 외부 자기장을 회전시켜 반응을 활성화시키고 반응 종결 후 미세 입자들을 바이알 표면에 편평하게 부착하여 코드를 판독하는 과정을 반복적으로 할 수 있다.

<67> 도 7D는 수직한 자기력선 하에 놓인 코드화된 입자들의 반사형 현미경 사진이다. 도 7E는 코드화된 입자들이 회전하는 모습을 나타낸 사진이다.

<68> 외부 자기력선의 방향에 따라, 컬러 코드화된 미세 입자들은 바이알 표면에

대해 도 7D와 같이 수평하게 또는 도 7E와 같이 바로 설 수 있다. 미세 입자들이 바이알 표면에 수평하게 위치할 경우 코드화된 컬러를 판독하기 쉽게 된다. 도 7E에서, 회전하는 수평형 외부 자기력선은 수직하게 정렬된 코드화된 입자들을 그 자신의 수직 축 주위로 회전시켜서, 용액 내에서 탐침과 타겟 사이의 반응을 최대화한다. 도 7E에서 회전하지 않는 미세 입자는 의도적으로 제조된 무작위로 분산된 자성 나노입자들을 함유한 미세입자이다. 회전하지 않는 미세 입자는 구조색을 발현하지 않고 본래의 갈색을 띠고 있다. 반면, 회전을 하고 있는 미세 입자들은 일차원적 사슬구조를 갖는 자성 나노입자들을 함유하고 있다. 결국 자성 나노입자들로 이루어진 자성축은 이를 함유한 미세 입자의 회전을 가능하도록 한다.

<69> 상술한 바와 같이 통상적인 자성 비드들에 비해 자성축을 구비한 자성 구조물들은 플립핑 및 회전을 포함하는 다중축 제어가 가능하다.

<70> 도 8은 컬러 코드화된 자성 구조물을 제어하여 DNA 혼성화의 탐지 및 식별 실험을 한 예이다. 도 8C에 도시한 바와 같이, 컬러 코드화된 입자는 코드 영역 및 올리고뉴클레오티드 탐침 영역을 구비할 수 있다. 혼성화의 탐지를 위한 형광 시그널과 컬러 코드화를 위한 구조색 시그널 스펙트럼의 겹침을 피하기 위해 올리고뉴클레오티드 탐침 영역을 코드 영역으로부터 분리하였다. 코드 영역은 컬러 코드화된 자성 구조물 제조용 조성물로부터 합성되었으며, 탐침 영역은 PEG-DA와 아크릴레이트 개질된 DNA 올리고머 탐침의 버퍼 용액의 혼합물로부터 형성되었다.

<71> 도 8A에 도시한 바와 같이, 여러 가지 뉴클레오티드 시퀀스를 갖는 12.5 μM 의 DNA 탐침들(탐침 1: 5'-ACA CTC TAC AAC TTC-3', 탐침 2: 5'-ATC AGA TTG GTT AGT-3' 및 대조 표준으로서 DNA 탐침이 없는 것)을 여러 색상으로 코드화된 미세 입자들에 도입하였다. 형광물질로 라벨링된 1 μM 의 DNA 올리고머 타겟들을 도입하여 10 분간 배양하였다. T1 및 T2는 각각 탐침 1 및 탐침 2에 상보적인 타겟이며, (+)표시는 타겟의 존재를 나타내고, (-)표시는 타겟의 부재를 나타낸다. 그 결과 DNA 올리고머 타겟들에 상보적인 DNA 탐침을 갖는 입자들만이 형광을 나타내었다.

<72> 종래의 자성 비드들은 내부에 무작위로 분산된 자성 물질들을 함유하므로 이러한 움직임의 제어에 한계가 있을 수 있다. 구체적으로는 무작위로 분산된 자성 물질들을 함유한 자성 비드의 경우, 자기력선에 끌려가는 힘만을 받고 각 자성 물질의 자화 방향을 외부 자기장의 방향으로 돌리려는 힘이 평균화되어 사라질 수 있다. 반면, 자성축을 구비한 미세 입자들의 경우 일차원적 사슬 구조가 형성되어 각 자성 나노입자의 자화 방향이 외부 자기장과 같은 방향으로 가도록 하는 힘들이 합쳐져서 전체 입자를 그 방향으로 움직이게 하는 힘으로 작용할 수 있다. 이러한 성

질을 이용해 입자들의 움직임을 제어할 수 있다. 예를 들어, 자성축을 구비한 미세 입자들은 수백만 개의 마이크로 스케일 회전 교반기들로서 서로 협동하여 작동될 수 있다. 도 8B에 도시한 바와 같이, 실제로 이렇게 자성 미세 입자 자체를 자기적 제어를 통한 회전을 이용해 반응을 시켰을 경우, 미세 입자의 회전으로 인해 주위 물질과의 접촉이 증가해 생체물질 반응의 반응성이 증가하는 것을 관찰했다. 자성 미세 입자의 회전 없이 미세 입자와 DNA를 10분 간 반응시켰을 경우의 미세 입자 탐침 영역의 경계 부분의 형광 세기는 회전을 주어 10분 간 반응시켰을 경우에 비해 4배가 넘게 증가하였다. 이러한 반응성의 증가는 회전 없이 30분 간 반응시켰을 때보다 훨씬 크게 나타났다.

<73> 상술한 예는 DNA 혼성화의 탐지 및 식별에 관한 것이나 다양한 복합 생체분자들에 대해서도 가능하다.

<74> 일 실시예에 따르면, 에멀전 형태의 자성 구조물에 있어서 탐침 분자와 목적 분자의 반응을 통한 생화학적 분석방법도 자성 구조물을 자기적으로 제어함으로써 달성될 수 있다. 이를 위해 먼저 경화성 매질에 분산된 자성 나노입자 조성물을 비혼화성 용매 중에 분산시켜 에멀전을 형성한다. 다음 상기 에멀전에 자기장을 인가하고 광조영하여 자성축이 내재된 미세구체 형태의 자성 구조물을 제조한다. 생화학적 분석을 위해 상기 자성 구조물의 표면에 탐침 분자를 고정화한다. 상기 자성 구조물을 목적 분자를 함유한 용매에 혼합한다. 외부 자기장을 인가하여 상기 탐침 분자가 고정된 상기 자성 구조물을 회전 또는 이동시킴으로써 목적 분자와의 반응을 촉진시킨다. 반응이 끝난 후에, 세기에 기울기가 있는 외부 자기장을 인가함으로써 상기 자성 구조물을 수집하는 방식으로 상기 용매로부터 분리할 수 있다.

<75> 일 실시예에 따르면, 자성 구조물을 자기적으로 제어하여 생화학적 분석을 할 수 있는 자기적 제어장치가 제공된다.

<76> 도 9는 생화학적 분석을 위한 자성 구조물의 자기적 제어장치의 일 실시예를 나타낸다. 도 9를 참조하면, 자성 구조물의 자기적 제어장치(900)는 제1 원료 공급부(910), 제2 원료 공급부(920), 원료 혼합부(930), 자기장 인가부(940) 및 디코더부(950)를 포함한다.

<77> 제1 원료 공급부(910)는 자성 구조물을 원료로 보관 및 제공하는 역할을 한다. 상기 자성 구조물은 자성 나노입자들의 정렬에 의해 컬러 코드화되어 있으며 탐침 분자를 구비한다.

<78> 제2 원료 공급부(920)는 목적 분자를 함유한 용액을 보관 및 제공하는 역할을 한다.

- <79> 원료 혼합부(930)는 상기 탐침 분자와 상기 목적 분자가 반응할 수 있도록 상기 자성 구조물과 상기 용액이 혼합되는 공간이다.
- <80> 자기장 인가부(940)는 상기 자성 구조물을 상기 용액 중에서 회전시키거나 이동시키도록 상기 용액에 자기장을 가한다. 자기장 인가부(940)는 다양한 자기장 변화를 위해 이동할 수 있고 세기가 조절될 수 있는 자석을 구비한다. 자기장의 인가를 통해 상기 원료들 간의 반응을 촉진시킬 수 있다.
- <81> 디코더부(950)는 상기 탐침 분자와 상기 목적 분자가 결합한 상기 자성 구조물을 관측하고 디코드화한다. 디코더부(950)는 전하결합소자(CCD) 카메라를 구비하여 촬영을 통해 얻은 픽셀의 위치정보와 RGB 정보로부터 각 코드의 위치 및 색상 정보를 동시에 얻을 수 있다. 디코더부(950)에서의 측정을 위해 자기장 인가부(940)는 반응이 이루어진 자성 구조물을 수집하기 위해 자기장을 인가할 수 있다.
- <82> 자성축을 갖는 자성 구조물은 상기 컬러 코드화된 미세입자 외에도 다중 방향성 자성축을 갖는 구조물일 수 있다.
- <83> 일 실시예에 따르면, 고체 매트릭스; 상기 고체 매트릭스의 일 부분에 위치하며 고정된 자성축을 구비한 제1 영역; 및 상기 제1 영역과 연결되면서 상기 고체 매트릭스의 다른 부분에 위치하며 고정된 자성축을 구비한 제2 영역을 포함하는 자성 구조물이 제공된다. 여기서 상기 제1 영역의 자성축과 상기 제2 영역의 자성축의 배향이 서로 다르다. 또한 외부 자기장의 인가에 따라 상기 제1 영역의 자성축과 상기 제2 영역의 자성축이 각각 가지는 이종 자기 이방성에 의하여 상기 제1 영역과 상기 제2 영역은 서로 다른 움직임을 가질 수 있다. 상기 고체 매트릭스는 고분자 재질로 이루어질 수 있다. 상기와 같이 자성 구조물이 영역별로 방향이 다른 자성축들을 구비함으로써 균일한 자기장 내에서 서로 다른 방향으로 움직이는 마이크로 액츄에이터를 구현할 수 있다.
- <84> 상기 고체 매트릭스의 적어도 한 부분이 외부 물체에 고정될 수 있다. 예를 들어 상기 고체 매트릭스의 적어도 한 부분은 미세유체 채널 내벽에 고정될 수 있다. 이 경우 캔틸레버 형태의 마이크로 액츄에이터를 구현할 수 있다.
- <85> 도 10은 다중 방향성 자성축들을 포함하는 고분자 미세 구조물을 제작하는 과정을 나타낸 도면이다. 각 과정에서 왼쪽은 정면도이고 오른쪽은 측면에서 바라본 단면도이다. 실험 장비는 먼저 다양한 모양의 고분자 미세 구조물의 제작을 가능하게 하는 마스크를 사용하지 않는 OFML 장비와 외부 자기장을 생성하고 조절하기 위한 영구 자석으로 이루어진다. 이 장비로, 순차적인 과정이 진행된다. 먼저, 유리 기판이 미세 구조물의 일부분을 기판에 붙지 않도록 해주는 금지층

(inhibition layer)을 만들어 주는 고분자 물질로 얇게 코팅된다. 이렇게 고분자 물질이 코팅된 유리 기판에 미세 구조물의 일부가 붙게 만들기 위해 원하는 부분의 코팅 물질을 제거한다. 그리고 그 위에 미세유체 채널이 부착되고 그 안으로 경화성 물질과 자성 나노 입자들이 섞인 액체가 채워진다. 균질한 자기장이 이 미세유체 채널을 가로질러 형성이 되면, 자성 나노입자들은 생성된 자기력선 방향을 따라 나노 입자의 사슬을 형성하게 된다. 이 상태에서 마스크를 사용하지 않는 OFML 시스템을 통해 유체의 일부 안에 이 사슬들을 고정하면서 짧은 시간 안에 원하는 모양으로 광경화하여 원하는 방향으로 자성축이 고정된 제1 영역을 형성한다. 경화 후에 자기장의 방향을 원하는 방향으로 바꾸고 새로 부여한 자기장의 방향으로 자성축을 갖는 액체를 새로 광경화시켜 제2 영역을 형성한다. 이러한 반복적인 자기력선 방향의 재설정과 고분자 광경화를 통한 고정 과정이 미세 구조물을 완성할 때까지 반복된다. 구조물의 제작이 완료되면 남은 액체는 미세 구조물을 제어하기 적합한 액체 환경으로 바꾸어 준다. 이 방법은, 열경화법에 비해 매우 빠른 시간 내에 이루어지므로 다양한 방향으로 자기 조립된 나노 입자들의 상태를 고해상도로 고분자 내에 고정시킬 수 있고, 그러므로 다중 방향성 자성 나노입자를 포함한 마이크로 구조물의 완전한 제작까지 걸리는 시간은 매우 짧다.

<86> 도 11은 다양한 형태로 여러 방향으로 정렬된 자성 나노입자를 가진 미세 구조물의 예들을 나타낸 사진이다. 스케일 바는 모두 200 μm 이다. 도 11의 A, B, C 및 D에서 볼 수 있듯이 한 구조물 내에 다양한 자성축들을 가지는 고분자 미세 구조물을 매우 다양한 모양으로 용이하게 제작할 수 있다. 이러한 방법으로 만든 고분자 미세 구조물은 기존의 고분자 미세 구조물이 가지고 있던 제어의 한계를 뛰어넘어 복잡한 움직임을 갖도록 자기적으로 제어할 수 있다.

<87> 도 12는 다양한 방향의 자성축들을 포함한 미세 구조물에 균일한 자기장을 걸어주어 다양한 움직임을 구현한 결과를 나타낸다. 도 12A의 미세 구조물은 서로 수직한 네 방향의 자기 나노입자 사슬을 포함하고 있고, 외부 자기장을 걸어주었을 때 각 부분이 서로 다른 방향으로 회전력을 받기 때문에 기존의 미세 구조물에서는 관찰하기 어려웠던 새로운 움직임을 보여준다. OFML을 이용하여 다양한 모양으로 만드는 것이 가능하고 자기 나노입자 사슬의 방향도 자유롭게 설정할 수 있기 때문에 도 12B와 12C에서 보이는 바와 같이 2D 혹은 3D에 상관없이 다양한 움직임을 연출할 수 있다.

<88>

<89>

이상에서 개시된 기술의 실시예들에 대해 상세히 기술하였지만, 해당 기술분

야에 있어서 통상의 지식을 가진 사람이라면, 개시된 기술의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 개시된 기술을 여러 가지로 변형하여 실시할 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

【청구의 범위】**【청구항 1】**

자성 나노입자들이 정렬된 자성축을 구비한 자성 구조물을 함유한 용액을 제공하는 단계; 및

상기 용액에 대해 외부 자기장을 인가하여 상기 자성 구조물의 움직임을 제어하는 단계를 포함하는 자성 구조물의 자기적 제어방법.

【청구항 2】

제1 항에 있어서,

상기 움직임은 상기 자성축이 갖는 자성 토크에 의한 회전 또는 상기 외부 자기장의 밀도가 밀해지는 방향의 힘에 의한 이동인 자성 구조물의 자기적 제어방법.

【청구항 3】

제1 항에 있어서,

상기 자성 구조물의 표면에 탐침 분자가 존재하며, 상기 외부 자기장의 회전에 따라 상기 자성 구조물이 회전되어 상기 용액 내의 목적 분자와의 반응을 촉진하는 자성 구조물의 자기적 제어방법.

【청구항 4】

자성 나노입자들의 정렬에 의해 컬러 코드화된 자성 구조물을 함유한 용액을 용기에 도입하는 단계;

상기 용액에 외부 자기장을 인가하여 상기 컬러 코드화된 자성 구조물들을 용기의 벽면으로 수집하는 단계; 및

상기 컬러 코드의 정보를 분석하는 단계를 포함하되,

상기 자성 구조물 중 컬러 코드가 위치하는 면이 상기 용기의 벽면에 대해 이차원적으로 배열되도록 하는 자성 구조물의 자기적 제어방법.

【청구항 5】

고체 매트릭스; 및 상기 고체 매트릭스 내에 고정된 자성축을 포함하되,

상기 자성축은 일정 간격을 두고 일축 방향으로 정렬된 자성 나노입자들의 정렬구조를 가지며, 외부 자기장의 변화에 따라 상기 자성축이 갖는 자성 토크에 의해 힘을 받아 움직이는 자성 구조물.

【청구항 6】

제5 항에 있어서,

상기 고체 매트릭스의 표면에 탐침 분자가 고정된 자성 구조물.

【청구항 7】

고체 매트릭스; 상기 고체 매트릭스의 일 부분에 위치하며 고정된 자성축을 구비한 제1 영역; 및 상기 제1 영역과 연결되면서 상기 고체 매트릭스의 다른 부분에 위치하며 고정된 자성축을 구비한 제2 영역을 포함하되,

상기 제1 영역의 자성축과 상기 제2 영역의 자성축의 배향이 서로 다르며,

외부 자기장의 인가에 따라 상기 제1 영역의 자성축과 상기 제2 영역의 자성축이 각각 가지는 이종 자기 이방성에 의하여 상기 제1 영역과 상기 제2 영역이 서로 다른 움직임을 갖는 자성 구조물.

【청구항 8】

제7 항에 있어서,

상기 고체 매트릭스의 적어도 한 부분이 외부 물체에 고정되는 자성 구조물.

【청구항 9】

경화성 매질에 분산된 자성 나노입자 조성물을 비혼화성 용매 중에 분산시켜 에멀전을 형성하는 단계;

상기 에멀전에 자기장을 인가하고 광조영하여 자성축이 내재된 미세구체 형태의 자성 구조물을 제조하는 단계;

상기 자성 구조물의 표면에 탐침 분자를 고정화하는 단계;

상기 자성 구조물을 목적 분자를 함유한 용매에 혼합하는 단계; 및

외부 자기장을 인가하여 상기 탐침 분자가 고정된 상기 자성 구조물을 회전 또는 이동시킴으로써 목적 분자와의 반응을 촉진시키는 단계를 포함하는 자성 구조물의 자기적 제어방법.

【청구항 10】

제9 항에 있어서,

상기 반응 후 세기에 기울기가 있는 외부 자기장을 인가함으로써 상기 자성 구조물을 상기 용매로부터 분리해 내는 단계를 더 포함하는 자성 구조물의 자기적 제어방법.

【청구항 11】

탐침 분자를 구비하면서 자성 나노입자들의 정렬에 의해 컬러 코드화된 자성 구조물을 제공하는 제1 원료 공급부;

목적 분자를 함유한 용액을 제공하는 제2 원료 공급부;

상기 탐침 분자와 상기 목적 분자가 반응할 수 있도록 상기 자성 구조물과 상기 용액이 혼합되는 원료 혼합부; 및

상기 자성 구조물을 상기 용액 중에서 회전시키거나 이동시키도록 상기 용액에 자기장을 가하는 자기장 인가부를 포함하는 자성 구조물의 자기적 제어장치.

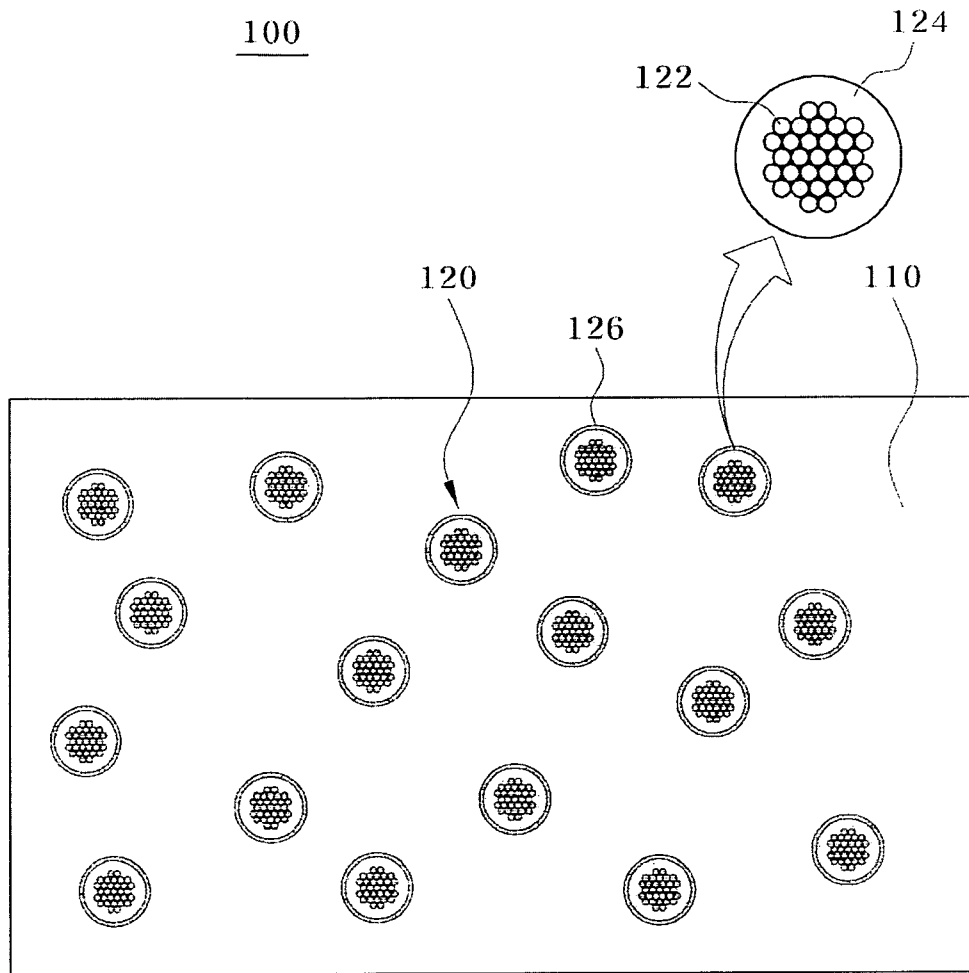
【청구항 12】

제11 항에 있어서,

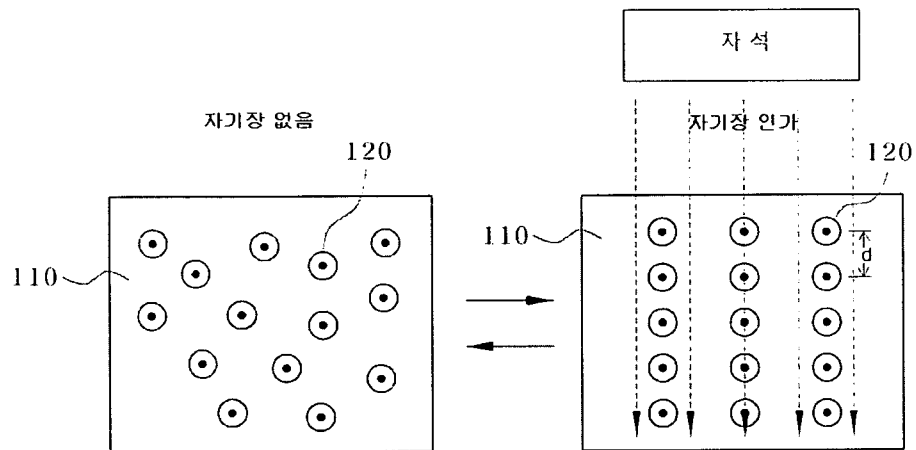
상기 탐침 분자와 상기 목적 분자가 결합한 상기 자성 구조물을 관측하고 디코드화하기 위한 디코더부를 더 포함하는 자성 구조물의 자기적 제어장치.

【도면】

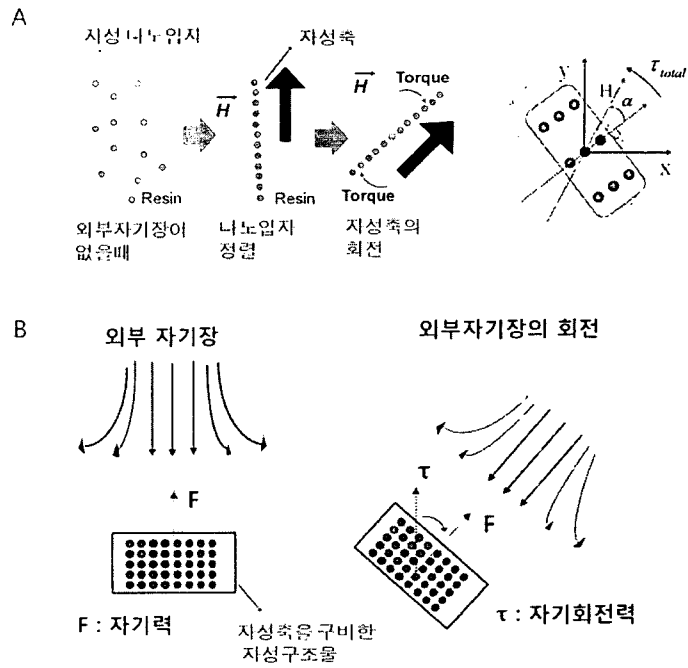
【도 1】



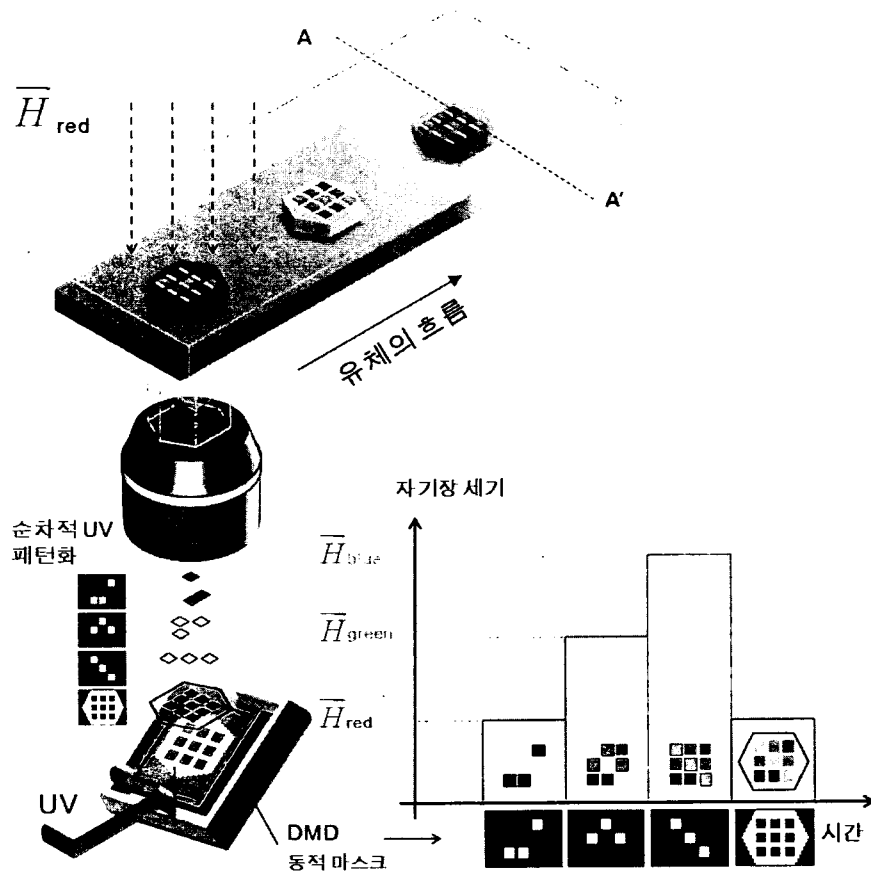
【도 2】



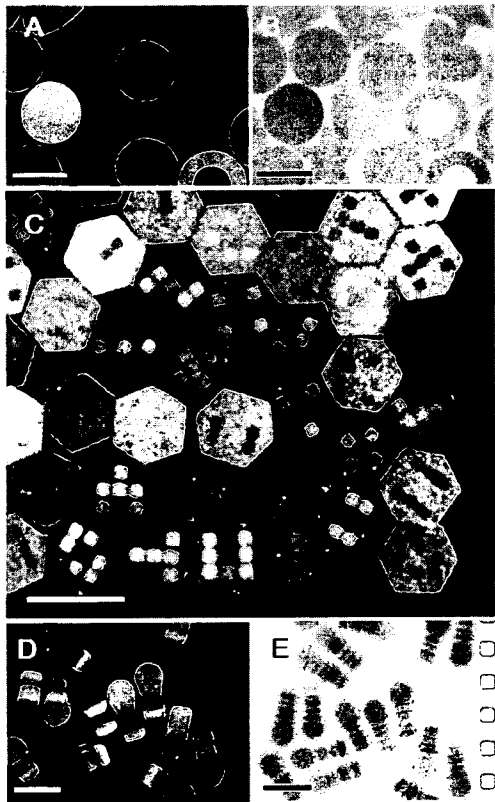
【도 3】



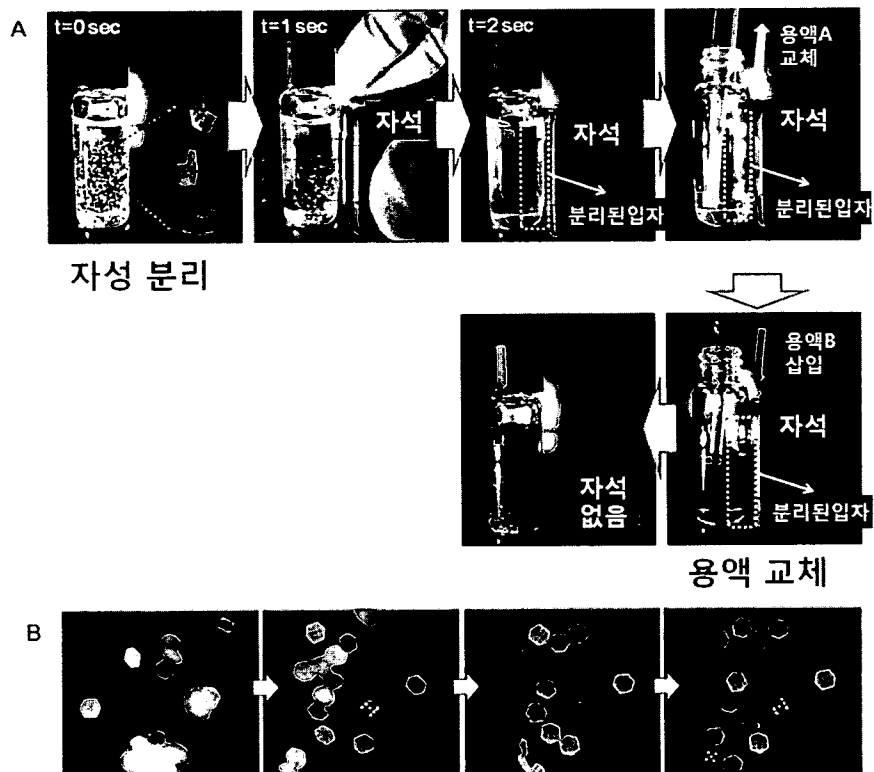
【도 4】



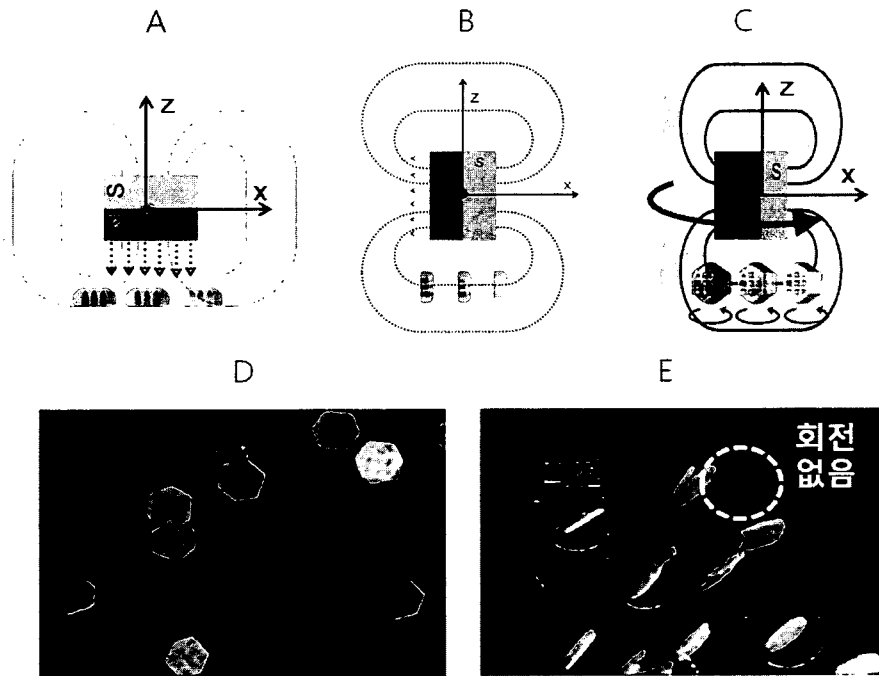
【도 5】



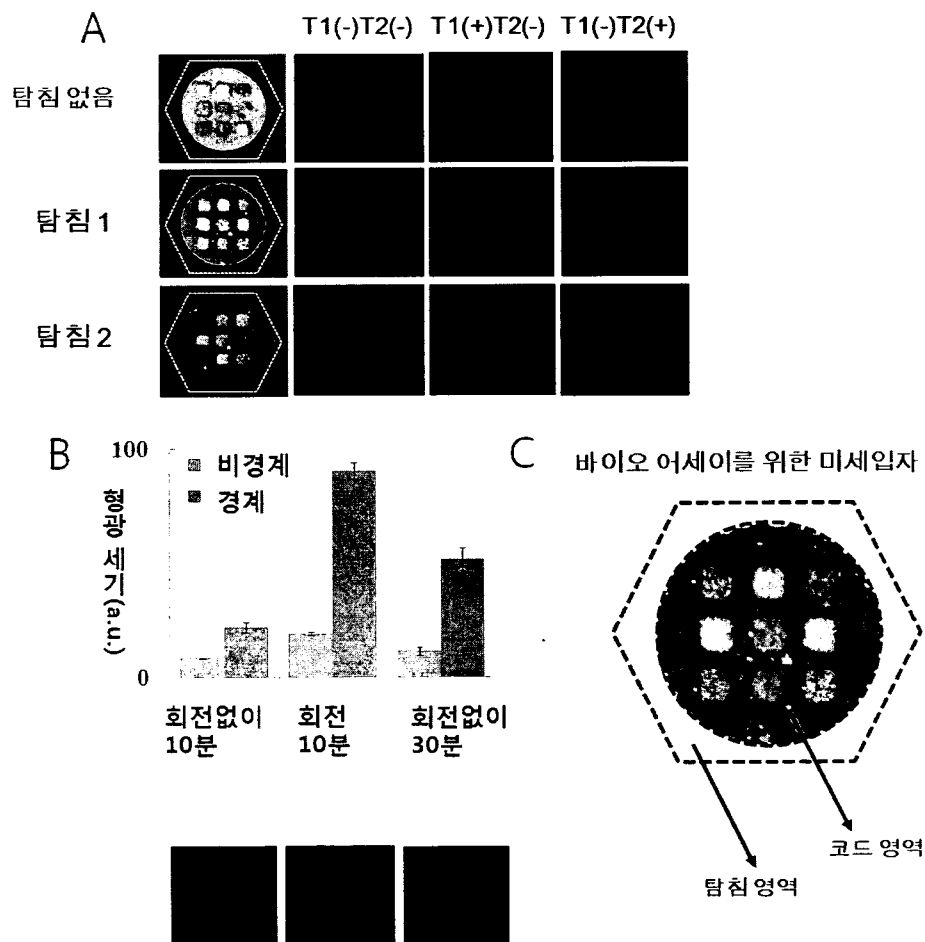
【도 6】



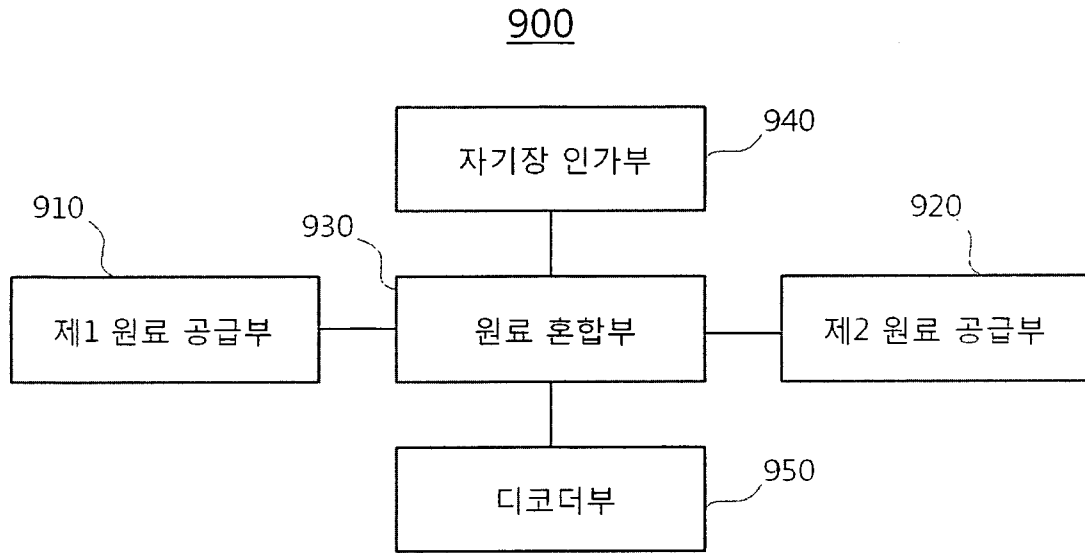
【도 7】



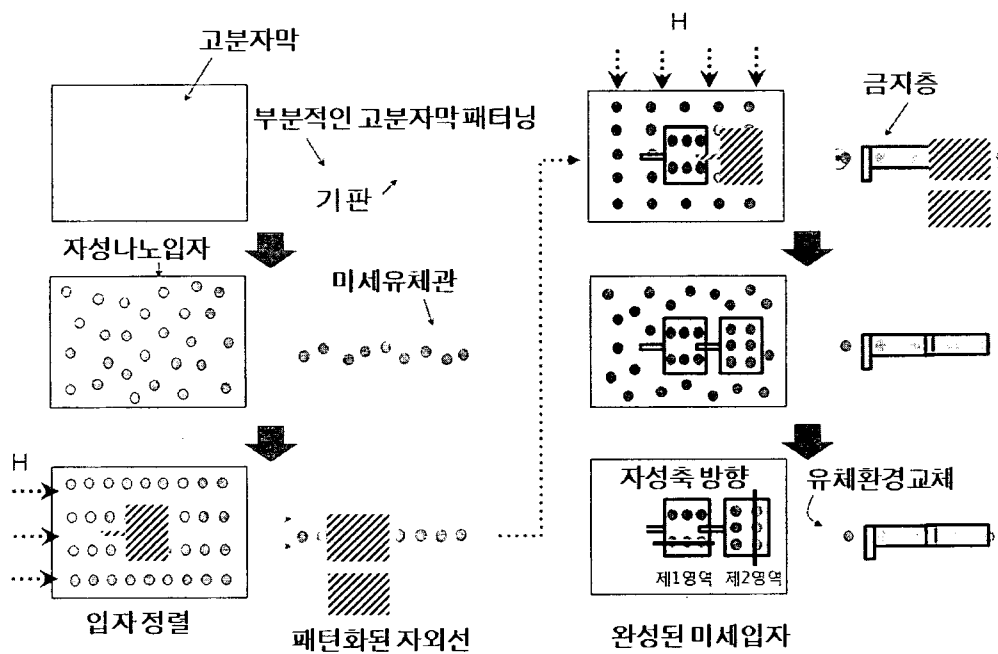
【도 8】



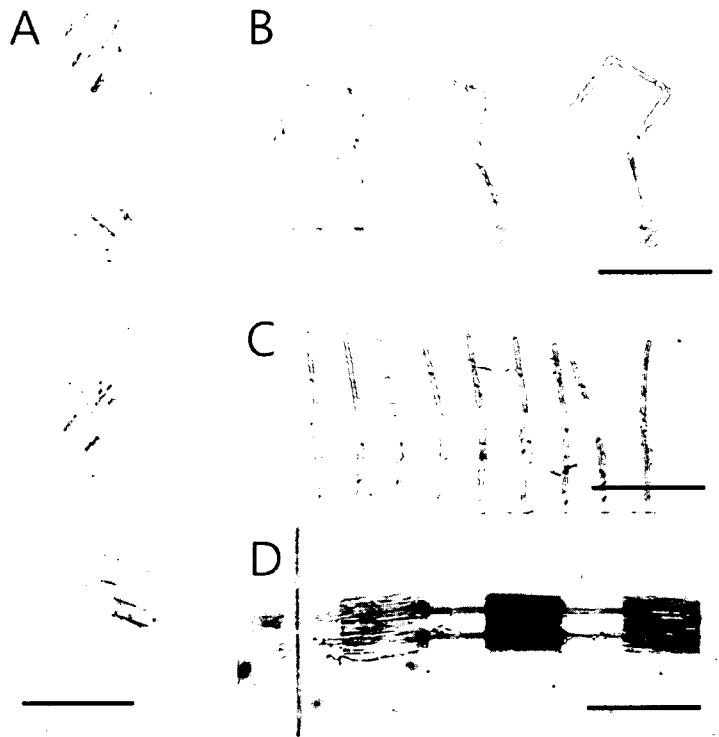
【도 9】



【도 10】



【도 11】



【도 12】

