



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0060395
(43) 공개일자 2022년05월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 21/32 (2006.01) G02B 21/36 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 21/32 (2013.01)
G02B 21/361 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0146346
(22) 출원일자 2020년11월04일
심사청구일자 2020년11월04일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
박범준
경기도 수원시 영통구 봉영로 1526, 712동 303호 (영통동, 살구골 진덕,서광,성지,동아 아파트)
김우식
경기도 수원시 영통구 영통로 460, 305동 1803호 (영통동, 대우.동신아파트)
정혜원
경기도 용인시 기흥구 예현로 15, 102동 1301호 (서천동, 서그네마을에스케이아파트)
(74) 대리인
특허법인 하나

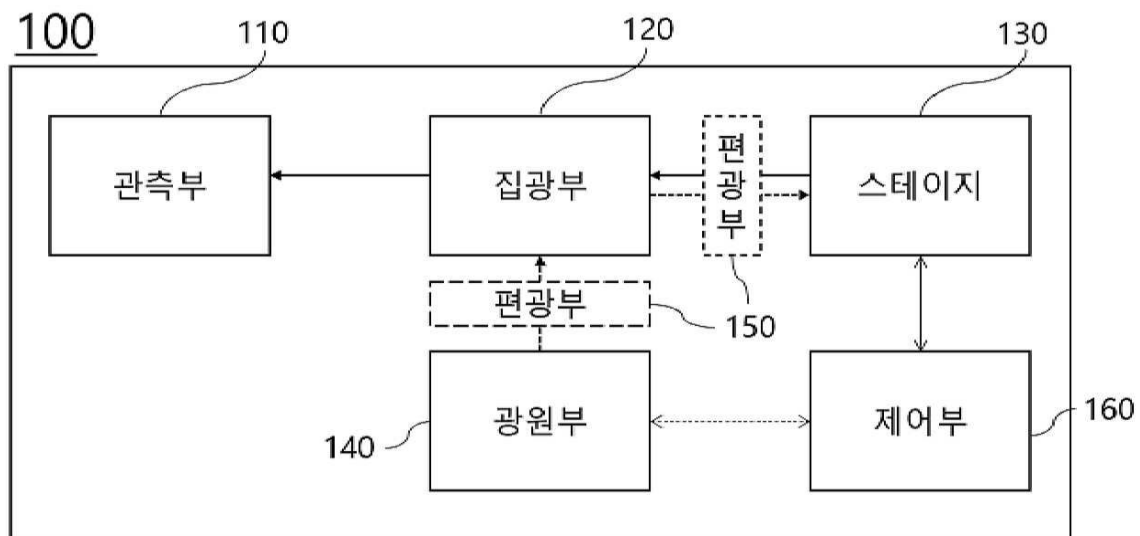
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 광학 핀셋 장치 및 그를 이용한 포획 방법

(57) 요약

일 측면에 따르면, 표본의 지지, 이송 및 온도조절을 위한 스테이지(130); 상기 표본 일부분의 확대된 상(image)을 형성하는 집광부(120); 상기 상을 관측하는 관측부(110); 상기 집광부(120)를 통과하여 상기 스테이지(130)의 방향으로 조사되는 레이저 광을 발생시키는 광원부(140); 및 상기 스테이지(130)와 연결되고, 상기 표본의 온도를 미세조절하는 제어부(160)를 포함하는, 광학 핀셋 장치(100)와 이를 이용한 포획 방법이 개시된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G02B 21/362 (2013.01)

G02B 21/365 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711115319
과제번호	NRF-2014R1A5A1009799
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공분야기초연구사업/선도연구센터지원사업/이공학분야(S/ERC)
연구과제명	ERC-결정기능화공정기술센터
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2014.05.01 ~ 2021.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711113222
과제번호	NRF-2020R1A2B5B01001949
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공분야기초연구사업/중견후속연구
연구과제명	상전이 촉매반응과 미세교반 시스템을 활용한 바이오 연료 업그레이드 반응 효율성
개선 연구	
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2020.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

표본의 지지, 이송 및 온도조절을 위한 스테이지(130);

상기 표본 일부분의 확대된 상(image)을 형성하는 집광부(120);

상기 상을 관측하는 관측부(110);

상기 집광부(120)를 통과하여 상기 스테이지(130)의 방향으로 조사되는 레이저 광을 발생시키는 광원부(140); 및

상기 스테이지(130)와 연결되고, 상기 표본의 온도를 미세조절하는 제어부(160)를 포함하는, 광학 핀셋 장치(100).

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 스테이지(130)는 상기 표본의 상부 및 하부에 접하는 가열수단을 포함하는 것인, 광학 핀셋 장치(100).

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 광학 핀셋 장치(100)는 상기 스테이지(130), 집광부(120) 및 관측부(110) 중 2 이상의 상호 간격을 조절하는 조절장치를 포함하는, 광학 핀셋 장치(100).

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 집광부(120)는 초점 거리가 상이한 2 이상의 집광수단을 포함하는, 광학 핀셋 장치(100).

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 광원부(140)에서 발생하는 레이저 광의 종류는 고체 레이저, 기체 레이저, 반도체 레이저, 색소 레이저, 펄스 레이저, 광섬유 레이저, 화학 레이저로 이루어진 군에서 선택된 하나인, 광학 핀셋 장치(100).

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 레이저 광의 진행경로에 위치한 편광부(150)를 더 포함하는, 광학 핀셋 장치(100).

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 편광부(150)는 선형 편광판 및 위상지연자(quarter-waveplate)를 포함하는, 광학 핀셋 장치(100).

청구항 8

광학 핀셋 장치(100)를 이용하는 방법에 있어서,

(a) 시료의 포화용액을 포함하는 표본을 제조하는 단계;

(b) 상기 표본을 스테이지(130)에 위치시키고, 상기 스테이지(130)의 온도를 조절하여 결정을 형성시키는 단계;

및

(c) 상기 결정에 레이저 광을 조사하여 포획 및 이송시키는 단계;를 포함하는, 광학 핀셋 장치(100)를 이용한 포획 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 시료는 결정성 물질인, 광학 핀셋 장치(100)를 이용한 포획 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 (c) 단계에서, 상기 결정의 포획 및 이송 과정을 관측부(110)를 통해 실시간으로 관측하는, 광학 핀셋 장치(100)를 이용한 포획 방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 (c) 단계에서, 상기 표본의 온도는 정압비열(C_p) 값이 소정의 값 이상이 되도록 조절되는, 광학 핀셋 장치(100)를 이용한 포획 방법.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 광학 핀셋 장치(100)는 레이저 광의 진행경로에 위치한 편광부(150)를 더 포함하고,

상기 표본은 l-형 결정 및 d-형 결정을 포함하고,

상기 (c) 단계에서, l-형 결정 또는 d-형 결정을 포획하여 l-형 결정 또는 d-형 결정에 이송시키는, 광학 핀셋 장치(100)를 이용한 포획 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 명세서는 레이저를 이용한 광학 핀셋 장치 및 그를 이용한 포획 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 결정화(crystallization)란 균일한 액상으로부터 일정한 모양과 크기를 갖는 고체입자를 형성하는 것이다. 대다수의 의약품과 유기정밀 화학제품은 결정화된 형태로 판매된다. 정제의 마무리 단계로서 결정화가 이렇게 중요한 역할을 하는 이유는 무엇보다도 결정의 순수성(purity) 때문이다. 또한, 결정화는 일정한 크기의 결정을 만들어 내기 때문에 후속하는 여과 내지 건조 등의 마무리 단계의 수행에 중요한 역할을 한다. 따라서 이러한 결정 물질의 특성을 파악하는 것은 다양한 분야에서 요구되고 있다.

[0003] 광학이성질체(enantiomer)는 광학 활성을 갖는 두 분자가 거울 대칭인 관계를 이루는 경우를 이르는 말이다. 일반적으로 거울상 이성질체와 동의어로 사용한다. 광학이성질 현상을 나타내는 분자는 거울상 분자와 회전을 통해서는 겹쳐지지 않으며, 탄소나 탄소의 화학결합, 질소, 황 등의 입체 중심을 갖고 있다. 또한, 한 분자 내에서 자신을 이등분하는 대칭면을 가지고 있다. 광학이성질체를 명명법 상에서 서로 구분하기 위해서는 4개 이상의 치환기가 서로 다른 경우, 칸-인골드-프렐로그 순위 규칙(CIP 규칙)에 의해서 R/S 지적(Rectus, Sinister)으로 구분하며, 회전 편광 현상을 일정한 조건 내에서 측정하여 d/l 지적(Dextrorotation, Levorotation)에 의해 구분하기도 한다. d/l 지적의 경우, 관찰자의 관점에서 dextrorotation은 시계 방향 또는 오른손 회전을 의미하고, levorotation은 시계 반대 방향 또는 왼손 회전을 의미한다. 비장성(achiral) 분자들이 응집하여 장성군집(chiral cluster)를 형성하고, 결과적으로 장성을 나타내는 광학이성질체 결정(crystal)으로 성장하게 된다. 이러한 광학이성질체가 동중 결정(l-형과 l-형 또는 d-형과 d-형) 또는 이중 결정(l-형과 d-형) 간의 부차

확률에 대한 연구는 이들의 혼합물인 라세미(racemic)에서의 상호 분리 또는 장성 대칭성(chiral symmetry)의 붕괴 연구 등에 중요한 역할을 할 수 있다.

[0004] 광학 핀셋(Optical tweezers)은 레이저를 특정 부분(spot)에 집중시켜 레이저 광의 경로 내에 있는 입자들에 레이저에 의한 모멘텀 차이를 발생시키고, 이로 인해 입자들이 레이저의 초점 부분으로 이끌려 오는 원리를 이용하여 입자를 포획하는 기술이다. 기존의 실험들은, 광학 핀셋을 특정 입자를 포획하거나 다수의 포획된 입자 사이의 상호작용(interaction)을 측정하는 목적으로 사용해 왔다.

[0005] 종래의 광학 핀셋을 결정 물질에 사용하면, 고집적된 레이저의 일부를 결정 물질이 흡수하여 열이 발생하고, 그 결과 용해가 발생하여 결정 물질의 포획이나 위치 제어가 어려운 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 명세서는 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 일 목적은 레이저를 결정 물질에 국부적으로 조사하여 광학 핀셋(Optical tweezers)을 이용할 시에 상기 결정 물질의 용해로 인하여 포획 또는 이송이 어려운 문제점을 해결하고, 광학현미경으로 포획된 결정을 실시간으로 관찰 가능한 광학 핀셋 장치, 그를 이용한 포획 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 일 측면에 따르면, 표본의 지지, 이송 및 온도조절을 위한 스테이지(130); 상기 표본 일부분의 확대된 상(image)을 형성하는 집광부(120); 상기 상을 관측하는 관측부(110); 상기 집광부(120)를 통과하여 상기 스테이지(130)의 방향으로 조사되는 레이저 광을 발생시키는 광원부(140); 및 상기 스테이지(130)와 연결되고, 상기 표본의 온도를 미세조절하는 제어부(160)를 포함하는, 광학 핀셋 장치(100)가 제공된다.

[0008] 일 실시예에 있어서, 상기 스테이지(130)는 상기 표본의 상부 및 하부에 접하는 가열수단을 포함하는 것일 수 있다.

[0009] 일 실시예에 있어서, 상기 광학 핀셋 장치(100)는 상기 스테이지(130), 집광부(120) 및 관측부(110) 중 2 이상의 상호 간격을 조절하는 조절장치를 포함할 수 있다.

[0010] 일 실시예에 있어서, 상기 집광부(120)는 초점 거리가 상이한 2 이상의 집광수단을 포함할 수 있다.

[0011] 일 실시예에 있어서, 상기 광원부(140)에서 발생하는 레이저 광의 종류는 고체 레이저, 기체 레이저, 반도체 레이저, 색소 레이저, 펄스 레이저, 광섬유 레이저, 화학 레이저로 이루어진 군에서 선택된 하나일 수 있다.

[0012] 일 실시예에 있어서, 상기 레이저 광의 진행경로에 위치한 편광부(150)를 더 포함할 수 있다.

[0013] 일 실시예에 있어서, 상기 편광부(150)는 선형 편광판 및 위상지연자(quarter-waveplate)를 포함할 수 있다.

[0014] 다른 일 측면에 따르면, 광학 핀셋 장치(100)를 이용하는 방법에 있어서, (a) 시료의 포화용액을 포함하는 표본을 제조하는 단계; (b) 상기 표본을 스테이지(130)에 위치시키고, 상기 스테이지(130)의 온도를 조절하여 결정을 형성시키는 단계; 및 (c) 상기 결정에 레이저 광을 조사하여 포획 및 이송시키는 단계;를 포함하는, 광학 핀셋 장치(100)를 이용한 포획 방법이 제공된다.

[0015] 일 실시예에 있어서, 상기 시료는 결정성 물질일 수 있다.

[0016] 일 실시예에 있어서, 상기 (c) 단계에서, 상기 결정의 포획 및 이송 과정을 관측부(110)를 통해 실시간으로 관측할 수 있다.

[0017] 일 실시예에 있어서, 상기 (c) 단계에서, 상기 표본의 온도는 정압비열(C_p)이 소정의 값 이상이 되도록 조절될 수 있다.

[0018] 일 실시예에 있어서, 상기 광학 핀셋 장치(100)는 레이저 광의 진행경로에 위치한 편광부(150)를 더 포함하고, 상기 표본은 l-형 결정 및 d-형 결정을 포함하고, 상기 (c) 단계에서, l-형 결정 또는 d-형 결정을 포획하여 l-형 결정 또는 d-형 결정에 이송시킬 수 있다.

발명의 효과

- [0019] 본 명세서의 일 측면에 따르면, 광학 핀셋(Optical tweezers)을 이용하여 레이저를 국부적으로 조사할 때 결정 물질의 용해로 인한 문제점을 해결하여 개개의 결정성 물질을 포획 및 이송시킬 수 있다.
- [0020] 본 명세서의 다른 일 측면에 따르면, 원형 편광된 레이저 광의 헨디니스(handedness) 제어를 통해 결정 물질의 d-형 및 l-형의 선택적 포획 및 이송이 가능하다.
- [0021] 또한, 본 명세서의 또 다른 일 측면에 따르면, 상기 포획 및 이송 과정을 실시간으로 관찰할 수 있다.
- [0022] 본 명세서 기재사항의 효과는 상기한 효과로 한정되는 것은 아니며, 본 명세서의 상세한 설명 또는 청구범위에 기재된 일 구현예의 구성으로부터 추론 가능한 모든 효과를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 명세서의 일 실시예에 따른 광학 핀셋 장치의 블록도이고;
- 도 2는 선형 편광된 빛을 위상지연자를 사용하여 원형 편광된(circular polarized) 빛으로 변환하는 방법을 나타낸 모식도이고;
- 도 3은 우원 편광(right-handed circularly polarized light) 및 좌원 편광(left-handed circularly polarized light)의 차이를 나타내는 이미지이고;
- 도 4는 레이저에 의한 결정 물질의 국부적 용해 현상을 나타낸 것이고;
- 도 5는 결정을 포함하는 연속상 물질의 온도에 따른 국부적 용해 속도 변화에 대한 실험 결과를 나타낸 것이고;
- 도 6은 l-형 및 d-형 결정을 광학 집게로 포획하여 각 결정 간의 상호작용에 대한 실험방법의 모식도를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 명세서를 설명하기로 한다. 그러나 본 명세서의 기재사항은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 따라서 여기에서 설명하는 실시예로 한정되는 것은 아니다. 그리고 도면에서 본 명세서를 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0025] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 부재를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0026] 본 명세서에서 수치적 값의 범위가 기재되었을 때, 이의 구체적인 범위가 달리 기술되지 않는 한 그 값은 유효 숫자에 대한 화학에서의 표준규칙에 따라 제공된 유효 숫자의 정밀도를 갖는다. 예를 들어, 10은 5.0 내지 14.9의 범위를 포함하며, 숫자 10.0은 9.50 내지 10.49의 범위를 포함한다.
- [0027] 이하, 첨부된 도면을 참고하여 본 명세서의 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0028] 광학 핀셋 장치(100)
- [0029] 도 1은 일 실시예에 따른 광학 핀셋 장치(100)의 블록도를 나타낸 것으로, 도 1을 참고하면, 일 측면에 따른 광학 핀셋 장치(100)는, 표본의 지지, 이송 및 온도조절을 위한 스테이지(130); 상기 표본 일부분의 확대된 상(image)을 형성하는 집광부(120); 상기 상을 관측하는 관측부(110); 상기 집광부(120)를 통과하여 상기 스테이지(130)의 방향으로 조사되는 레이저 광을 발생시키는 광원부(140); 및 상기 스테이지(130)와 연결되고, 상기 표본의 온도를 미세조절하는 제어부(160)를 포함할 수 있다.
- [0030] 상기 스테이지(130)는 상기 표본의 상부 및 하부에 접하는 가열수단을 포함할 수 있다. 상기 가열수단이 상기 표본의 상부 또는 하부의 일 측면에만 접하는 경우에는 상기 표본의 상하부가 균일하게 가열되지 않아 온도 균일성이 떨어지고, 상기 표본의 일 측면에만 열이 가해지므로 온도조절 역시 용이하지 않을 수 있다. 이에 대해, 상기 가열수단을 상기 표본의 상부 및 하부에 모두 접하는 형태로 구성하게 되면, 표본의 뛰어난 온도 균일성을 보장할 수 있고, 정밀한 온도조절능력을 가지게 되어 결정화 정도를 용이하게 제어할 수 있다.
- [0031] 또한, 상기 가열수단은 상기 제어부(160)에 연결되어 상기 표본의 온도, 특히 표본 내 결정 물질을 제외한 연속

상 영역의 온도를 정밀하게 제어할 수 있다. 상기 연속상 영역의 온도는 정압비열(C_p)이 소정의 값 이상, 예를 들어, 상기 표본이 염소산나트륨이면 0.95, 0.96, 0.97, 0.98, 0.99, 1.00, 1.01, 1.02, 1.03, 1.04, 1.05 또는 그 이상이 되도록 조절될 수 있다.

[0032] 상기 관측부(110)는 집안렌즈, 카메라 또는 둘 모두로 구성된 것일 수 있다. 상기 카메라는 필름 카메라, CMOS 카메라, CCD 카메라로 이루어진 군에서 선택된 하나일 수 있으며, 예를 들어, CCD 카메라일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0033] 상기 광학 핀셋 장치(100)는 상기 스테이지(130), 집광부(120) 및 관측부(110) 중 2 이상의 상호 간격을 조절하는 조절장치를 포함할 수 있다. 상기 조절장치를 이용하여 상기 스테이지(130), 집광부(120) 및 관측부(110) 중 2 이상의 상호 간격을 조절함으로써, 상기 집광수단에 의해 생긴 상기 표본 일부분의 확대된 실상(real image)이 상기 관측부(110)의 초점거리 안쪽의 적당한 곳에 맺히게 되고, 상기 관측부(110)는 상기 실상을 근거리 명시거리에 잘 보이는 허상(virtual image)을 만들어 이를 선명하게 관찰할 수 있다. 또한, 동일한 방법으로 상기 레이저 광을 집중시킴으로써 결정에 인력 또는 척력을 부여하여 포획하거나, 이송시킬 수 있다.

[0034] 상기 집광부(120)는 초점 거리가 상이한 2 이상의 집광수단을 포함할 수 있다. 상기 초점 거리가 상이한 2 이상의 집광수단 중 적절한 집광수단을 선택함으로써, 상기 실상 및 허상의 크기를 조절하여 상기 관측부(110)를 통해 관찰되는 이미지의 확대율을 조절할 수 있으며, 상기 레이저 광의 초점을 조절하여 레이저를 집중시킴으로써 결정을 포획하는 광학 핀셋(Optical tweezers)으로 이용할 수 있다.

[0035] 상기 광원부(140)에서 발생하는 레이저 광의 종류는 고체 레이저, 기체 레이저, 반도체 레이저, 색소 레이저, 펄스 레이저, 광섬유 레이저, 화학 레이저로 이루어진 군에서 선택된 하나인, 레이저일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0036] 상기 광학 핀셋 장치(100)는 상기 레이저 광의 진행경로에 위치한 편광부(150)를 더 포함할 수 있다.

[0037] 상기 편광부(150)는 선형 편광판 및 위상지연자(quarter-waveplate)를 포함할 수 있다. 상기 편광부(150)는 상기 레이저 광의 진행경로 상이라면 도 1에 표시된 어느 위치라도 설치될 수 있다.

[0038] 상기 편광부(150)는 선형 편광판 및 위상지연자(quarter-waveplate)를 포함할 수 있다. 상기 선형 편광판을 통과하여 선형 편광된 상기 레이저 광을 상기 위상지연자에 통과시킴으로써 원형 편광된(circular polarized) 레이저 광으로 변환 가능하다. 상기 원형 편광된 레이저 광의 헨드니스(handedness)를 제어함으로써, 광학이성질체 결정 물질의 d-형과 l-형을 선택적으로 포획 및 이송시킬 수 있다.

[0040] 광학 핀셋 장치(100)를 이용한 포획 방법

[0041] 다른 일 측면에 따른 광학 핀셋 장치(100)를 이용한 포획 방법은, 광학 핀셋 장치(100)를 이용하는 방법에 있어서, (a) 시료의 포화용액을 포함하는 표본을 제조하는 단계; (b) 상기 표본을 스테이지(130)에 위치시키고, 상기 스테이지(130)의 온도를 조절하여 결정을 형성시키는 단계; 및 (c) 상기 결정에 레이저 광을 조사하여 포획 및 이송시키는 단계;를 포함할 수 있다.

[0042] 상기 시료는 결정성 물질일 수 있다. 결정성 물질이란 원자, 원자단, 분자, 이온 등의 특정 구성단위가 일정한 규칙에 따라 반복되는 형태로 배열된 것으로, 이러한 구성단위를 격자구조(lattice structure) 내지 결정구조(crystal structure)로 지칭한다. 구체적으로, 상기 결정성 물질은 이온결정, 원자결정, 분자결정, 금속결정 및 결정성 고분자로 이루어진 군에서 선택된 하나일 수 있으며, 예를 들어, 상기 이온결정 물질은 염화나트륨(NaCl), 브로민화나트륨(NaBr), 아이오딘화나트륨(NaI), 산화나트륨(Na_2O), 염소산나트륨(NaClO_3) 황화나트륨(Na_2S), 황산나트륨(Na_2SO_4), 요오드화칼륨(KI), 황화마그네슘(MgS), 아이오딘화마그네슘(MgI_2), 염화리튬(LiCl), 염화칼슘(CaCl_2), 염화아연(ZnCl_2), 산화알루미늄(Al_2O_3), 산화칼슘(CaO), 산화마그네슘(MgO)을 포함할 수 있고, 상기 분자결정 물질은 탄화수소 등의 유기화합물, 비활성 기체, 드라이아이스, 요오드, 얼음 등일 수 있고, 상기 금속결정 물질은 금, 은, 구리, 철, 알루미늄 등의 금속일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 결정성 고분자(crystalline polymer)는 무정형 고분자(amorphous polymer)와 배치되는 개념으로, 내부의 사슬 중 적어도 일부가 규칙적으로 배열된, 예를 들어, 사슬 간의 인력에 의해 접힌 사슬이 형성하는 라멜라(lamella) 구조를 포함하는 것일 수 있다. 구체적으로, X선 회절에 의해 결정구조를 확인할 수 있는 고분자를 의미하며, 예를 들어, 폴리에틸, 폴리아크릴로니트릴, 폴리프로필렌, 폴리스티렌, 셀룰로오스, 단백질 등이 있

으나 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0043] 본 명세서의 비제한적인 일 예시에서 상기 (a) 단계는, (a-1) 원하는 온도보다 더 높은 온도에서 상기 시료의 포화용액을 제조한 뒤 원하는 온도로 낮추는 방식으로, 원하는 온도의 상기 시료의 포화용액을 제조하는 단계; (a-2) 상기 시료의 포화용액보다 높은 온도로 조정된 핫플레이트 위에 프레파라트를 위치시키는 단계; (a-3) 상기 프레파라트 중 슬라이드 글라스 위에 에폭시 접착제를 속이 빈 사각 형태로 발라준 뒤, 그 내부에 상기 (a-1) 단계에서 제조된 상기 시료의 포화용액을 떨어뜨리고 슬라이드 글라스를 덮는 단계; 및 (a-4) 핫플레이트 위에서 에폭시 접착제가 모두 굳을 때까지 기다려 표본을 제조하는 단계;를 포함할 수 있다. 시료의 포화용액 제조 시 원하는 온도는 시료의 종류에 따라 상이하하며, 일반적인 결정화에 사용되는 온도 조건을 이용할 수 있다.
- [0044] 상기 (b) 단계는, (b-1) 스테이지(130) 온도를 설정한 뒤, 스테이지(130) 안에 상기 (a) 단계에서 제조한 표본을 넣는 단계; 및 (b-2) 스테이지(130)의 온도를 서서히 낮추며 결정을 형성시키는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0045] 상기 (c) 단계는, 상기 결정에 레이저 광을 조사하여 결정과 주변의 연속상 영역 간의 상대 굴절률에 의해 인력 또는 반발력을 형성하여 상기 레이저 광이 집중되는 중심 방향으로 힘이 가해지도록 하여 포획하는 것일 수 있다.
- [0046] 상기 (c) 단계에서, 상기 레이저 광을 이용한 광학 핀셋(Optical Tweezers)으로 상기 결정 또는 그 액적(droplet)을 포획하여, 그것을 상기 레이저 광의 진행방향과 수직인 방향 중 의도하는 방향으로 이동시킬 수 있다. 이처럼 광학 핀셋(Optical tweezers)을 특정 입자를 포획하거나, 다수의 포획된 입자 사이의 상호작용을 측정하기 위해 사용할 수 있다.
- [0047] 상기 (c) 단계에서, 상기 결정의 포획 및 이송 과정을 관측부(110)를 통해 실시간으로 관측할 수 있다. 상기 과정을 육안으로 실시간 관측함에 따라 다양한 결정성 물질을 포획하여 고정된 상태에서 특성을 확인하거나, 개개의 결정성 물질을 이송시켜 각각의 상호작용을 용이하게 확인할 수 있다.
- [0048] 상기 (c) 단계에서, 상기 표본의 온도는 정압비열(C_p)이 소정의 값 이상이 되도록 조절될 수 있다. 상기 정압비열의 소정의 값은 표본의 종류에 따라 실험으로 결정될 수 있고, 예를 들어, 상기 표본이 염소산나트륨이면 정압비열 값이 0.95, 0.96, 0.97, 0.98, 0.99, 1.00, 1.01, 1.02, 1.03, 1.04, 1.05 또는 그 이상이 되도록 조절될 수 있다. 상기 표본의 정압비열(C_p) 값이 상기 범위를 만족하면 결정의 용해로 인해 포획이 불가능하거나, 목적하는 방향으로 이송이 불가능한 문제점을 해결할 수 있다.
- [0049] 일 예로, 상기 시료는 광학이성질체가 존재하는 결정성 물질일 수 있다. 구체적으로, 결정성 물질 자체의 광학이성질체가 존재하는 경우뿐만 아니라, 결정성 물질의 여러 분자가 작은 결정 핵으로 결합한 결정 형태의 광학이성질체가 존재하는 경우도 포함될 수 있다.
- [0050] 상기 광학 핀셋 장치(100)는 레이저 광의 진행경로에 위치한 편광부(150)를 더 포함하고, 상기 표본은 l-형 결정 및 d-형 결정을 포함하고, 상기 (c) 단계에서, l-형 결정 또는 d-형 결정을 포획하여 l-형 결정 또는 d-형 결정에 이송시킬 수 있다.
- [0051] 예를 들어, 상기 (c) 단계는 상기 표본에 편광된 레이저 광을 조사하여 광학이성질체 중 특정 상의 결정을 포획 및 이송시키는 것일 수 있다.
- [0052] 상기 (c) 단계에서, 상기 편광된 레이저 광을 이용한 광학 핀셋(Optical tweezers)으로 상기 결정 또는 그 액적(droplet)을 포획하여, 그것을 상기 편광된 레이저 광의 진행방향과 수직인 방향 중 의도하는 방향으로 이동시킬 수 있다.
- [0053] 상기 편광된 레이저 광은 선형 편광판 및 위상지연자를 통과하여 원형 편광된 레이저 광으로서, 상기 원형 편광된 레이저 광의 핸드드니스(handedness)를 제어할 수 있다.
- [0054] 도 2는 선형 편광된 빛을 위상지연자를 사용하여 원형 편광된(circular polarized) 빛으로 변환하는 방법을 나타낸 모식도이고, 도 3은 우원 편광(right-handed circularly polarized light) 및 좌원 편광(left-handed circularly polarized light)의 차이를 나타내는 이미지이다.
- [0055] 도 2 및 도 3을 참고하면, 상기 선형 편광판을 통과하여 선형 편광된 상기 레이저 광을 상기 위상지연자에 통과시킴으로써 원형 편광된 레이저 광으로 변환 가능하다. 예를 들어, 서로 수직하며 진폭이 같은 상기 선형 편광된 레이저 광을 $+\pi/2$ 또는 $-\pi/2$ 의 위상차를 가지도록 진행시키면, 빛이 진행하는 방향으로 관찰했을 때 시계 방향으로 회전하는 우원 편광(right-handed circularly polarized light) 또는 반시계방향으로 회전하는 좌원

편광(left-handed circularly polarized light)이 발생하도록 상기 원형 편광된 레이저 광의 헨드니스(handedness)를 제어할 수 있다. 광학이성질체가 존재하는 결정성 물질 중 d-형 및 l-형은 각각 우원 및 좌원 편광된 레이저와 상호작용하여 포획 및 이송될 수 있다.

[0056] 상기 (c) 단계에서, 상기 결정에 상기 편광된 레이저 광을 조사하여 광학이성질체 중 특정 상의 결정을 부분적으로 포획 및 이송시키는 과정을 관측부(110)를 통해 실시간으로 관측할 수 있다.

[0057] 이하, 본 명세서의 실시예에 관하여 더욱 상세히 설명하기로 한다. 다만, 이하의 실험 결과는 상기 실시예 중 대표적인 실험 결과만을 기재한 것이며, 실시예 등에 의해 본 명세서의 기재사항의 범위와 내용이 축소되거나 제한되어 해석될 수 없다. 아래에서 명시적으로 제시하지 않은 본 명세서의 여러 구현예의 각각의 효과는 해당 부분에서 구체적으로 기재하도록 한다.

[0058] 제조예: 표본의 제조-

[0059] 광학이성질체가 존재하는 결정성 물질을 이용하여 80 °C의 포화용액을 만들어 온도를 서서히 낮추는 방식으로 60 °C의 포화용액을 제조하였다. 60 °C의 포화용액으로 약 10분이 유지된 후, 교반(stirring)을 멈추었다. 프레파라트를 70 °C로 조정된 핫플레이트(hot plate) 위에 올려 두고, 상기 포화용액을 상기 프레파라트의 온도와 동일하게 맞추주었다. 5분이 지난 후, 프레파라트(Preparat) 중 슬라이드 글라스 위에 에폭시 접착체(epoxy glue)를 속이 빈 사각 형태로 발라주고, 그 내부에 20 μL의 상기 포화용액을 떨어뜨렸다. 그 후, 커버 글라스 중 상기 포화용액과 접촉하는 일면에 옥타데실트라이클로로실레인(OTS) 용액 처리를 하여 슬라이드 글라스를 덮어주었다. 그리고 핫플레이트 위에서 에폭시 접착체가 모두 굳을 때까지 기다려 표본을 제조하였다.

[0060] 실험예 1

[0061] 광학 핀셋 장치(100)의 스테이지(130) 온도를 25°C로 설정한 뒤, 스테이지(130) 안에 상기 제조예에 따른 표본을 넣고, 온도를 서서히 낮춰주면서 결정을 형성시켰다. 그리고, 평형이 된 결정의 모습을 도 4의 (a)에 나타내었다.

[0062] 상기 결정의 중앙에 3W의 레이저를 240초 동안 조사한 모습을 도 4의 (b)에 나타내었다.

[0063] 이후 레이저 조사를 중단하자 재결정화가 시작되었으며, 레이저 조사를 중단한 후 160초가 지난 후의 모습을 도 4의 (c)에, 3,300초가 지난 후의 모습을 도 4의 (d)에 나타내었다.

[0064] 이를 참고하면, 레이저가 집중되는 중앙부부터 레이저 광의 에너지로 인하여 국부적으로 온도가 상승하여 결정이 용해되며, 레이저 조사를 중단하자 재결정화가 수행되며 결정이 성장하는 것을 확인할 수 있다.

[0065] 실험예 2

[0066] 스테이지의 온도를 각각 50°C, 40°C로 설정하고, 레이저의 강도를 5W로 변경한 것을 제외하면 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 결정의 용해 및 재결정화를 수행하고 그 결과를 도 5에 나타내었다.

[0067] 도 5를 참고하면, 50°C에서의 결정의 용해 속도가 40°C 대비 느린 것을 확인할 수 있다.

[0068] 하기 식 1 및 식 2를 참고하여 상기 실험결과를 분석하면, 레이저의 강도가 동일하면 상기 결정 물질에 주어지는 에너지인 ΔH 또한 동일하다. 식 2의 내용에 따라 C_p 값을 계산하면, 주변부의 온도가 높을수록 C_p 값이 커지고, 그 결과 레이저에 의한 국부적 온도상승을 의미하는 ΔT 값이 작아지게 된다. 따라서, 높은 온도에서 레이저에 의한 결정의 용해가 느려지고, 광학 핀셋으로서 활용이 가능하다.

[0069] <식 1>

$$\Delta H = C_p \Delta T$$

[0070]

[0071] <식 2>

$$\frac{C_p}{Jg^{-1}K^{-1}} = 0.0512 + 6.09 \times 10^{-3} \left(\frac{T}{K} \right) - 1.6445 \times 10^{-5} \left(\frac{T}{K} \right)^2 + 2.023 \times 10^{-8} \left(\frac{T}{K} \right)^3$$

[0072]

[0073] 실시예 1

[0074] 상기 실험결과에 따라 상기 표본의 연속상 온도를 제어하며 광학 핀셋을 이용한 결정 물질의 포획 시험을 수행하였고, 상기 식 2에 따라 온도에 따른 C_p 값을 계산하여 아래 표 1에 나타내었다.

표 1

구분	온도 (°C)	절대온도 (K)	C_p ($Jg^{-1}K^{-1}$)	광학 핀셋 활용
실시예 1-1	25	298	0.932057	X
실시예 1-2	30	303	0.940342	X
실시예 1-3	35	308	0.948724	X
실시예 1-4	40	313	0.957219	0
실시예 1-5	45	318	0.965841	0
실시예 1-6	50	323	0.974606	0
실시예 1-7	55	328	0.983528	0
실시예 1-8	60	333	0.992624	0

[0076] 상기 표 1을 참고하면, 염소산나트륨 표본의 경우, C_p 값이 0.95 이상인 실시예 1-4 내지 1-8에서 광학 핀셋을 이용한 포획 및 결정입자의 위치 제어가 가능하였다.

[0077] 실시예 2

[0078] 편광부가 더 구비된 광학 핀셋 장치(100)를 이용하여 광학이성질체 결정을 포획한 후 다른 결정 방향으로 이송시켜 상호 부착함으로써 동종 간(d-형과 d-형, l-형과 l-형), 이종 간(d-형과 l-형) 부착되는 정도가 상이함을 확인하였다.

[0079] 이러한 실험방법의 모식도를 도 6에 나타내었다.

[0080] 선택적 광학 핀셋 장치(100')에서도 C_p 가 0.95 이상일 경우 결정입자의 위치 제어가 용이하였다.

[0081] 상기 실시예 1 및 2를 참고하면, $C_p < 0.95$ 의 조건에서는 염소산나트륨 결정 물질이 레이저 광의 에너지를 흡수하여 발생하는 열로 인하여 용해되고, 그 결과 크기가 작아지는 문제가 발생하여 광학 핀셋으로서의 작용이 어려움을 확인할 수 있다.

[0082] 전술한 본 명세서의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 명세서의 기재사항이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 명세서의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

[0083] 본 명세서의 범위는 후술하는 청구범위에 의하여 나타내어지며, 청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 명세서의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0084] 100: 광학 핀셋 장치

110: 관측부

120: 집광부

130: 스테이지

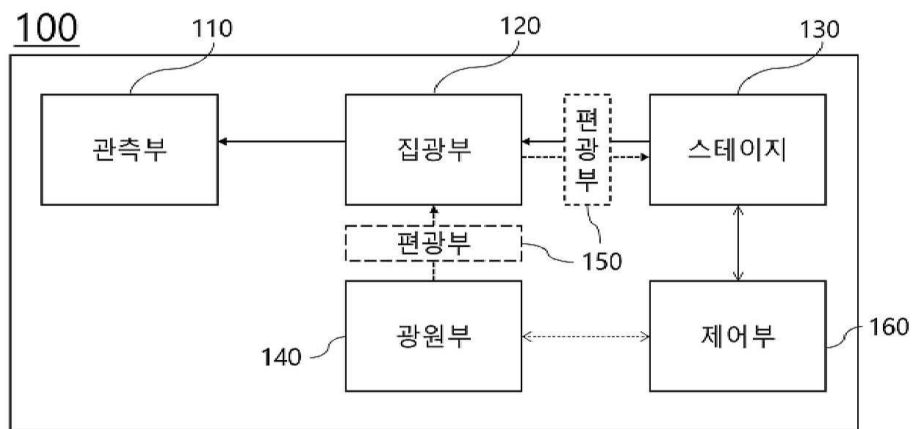
140: 광원부

150: 편광부

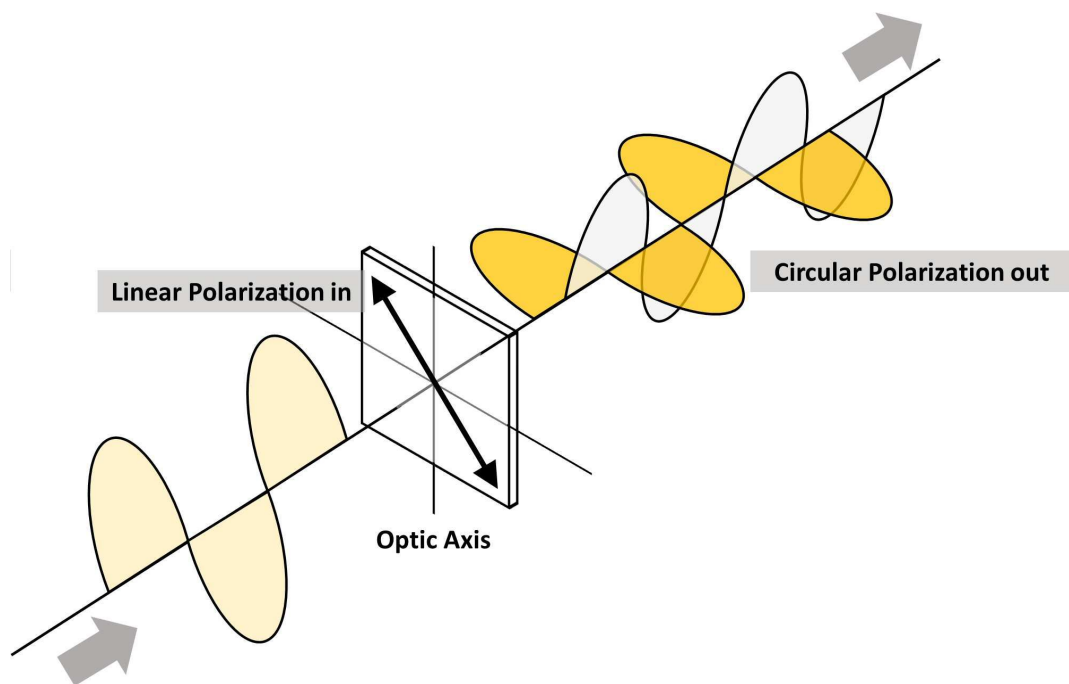
160: 제어부

도면

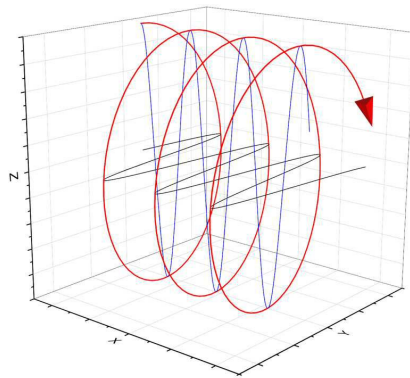
도면1



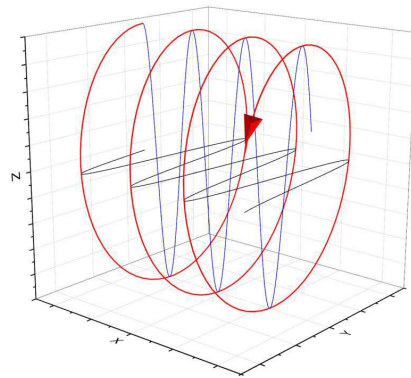
도면2



도면3

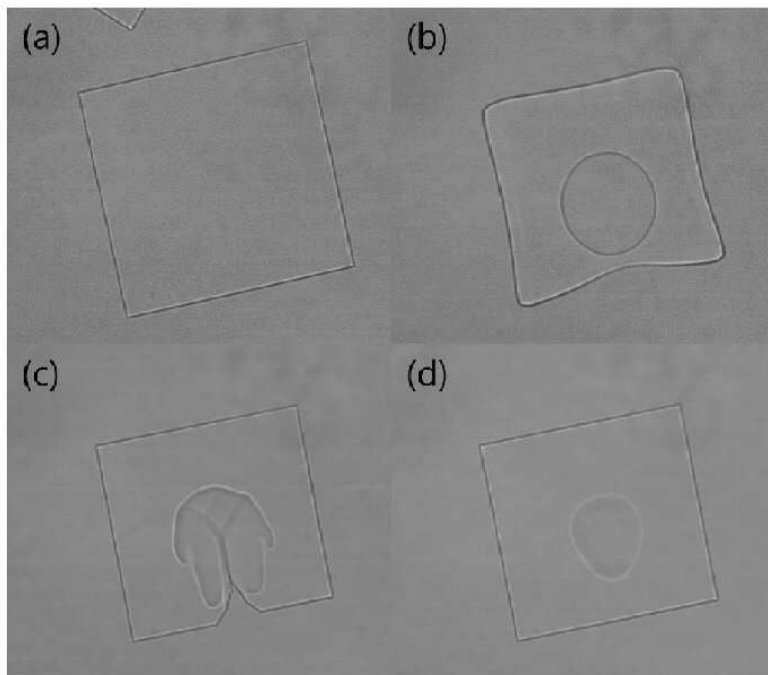


Right Circularly Polarized Light
(RCPL)



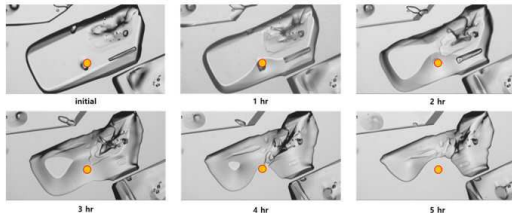
Left Circularly Polarized Light
(LCPL)

도면4

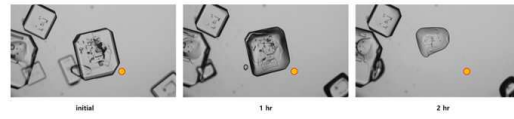


도면5

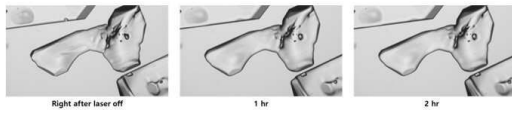
(1) - 1 : 50°C, 5W laser on



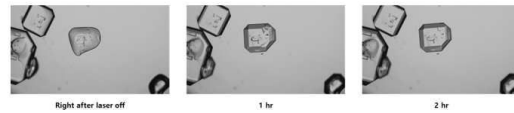
(2) - 1 : 40°C, 5W laser on



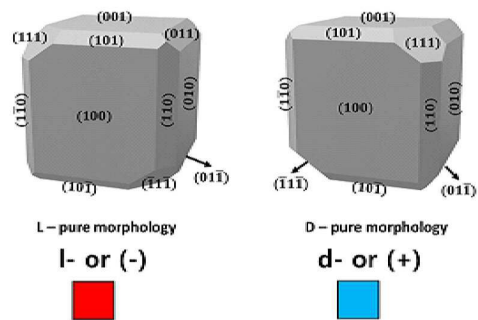
(1) - 2 : 50°C, 5W laser off



(2) - 2 : 40°C, 5W laser off



도면6



$\times \equiv$ optical trap

