



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0073247
(43) 공개일자 2020년06월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 7/499 (2006.01) G01S 17/89 (2020.01)
G01S 17/93 (2020.01) G02B 5/30 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 7/499 (2013.01)
G01S 17/89 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7013470
(22) 출원일자(국제) 2018년10월12일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2020년05월11일
(86) 국제출원번호 PCT/US2018/055708
(87) 국제공개번호 WO 2019/139656
국제공개일자 2019년07월18일
(30) 우선권주장
62/571,986 2017년10월13일 미국(US)

(71) 출원인
더 리젠츠 오브 더 유니버시티 오브 미시간
미국 미시간 48109-2590 앤아버, 휴런 파크웨이
1600, 세컨드플로어, 오피스 오브 테크놀로지 트
랜스퍼
(72) 발명자
코토브 니콜라스 에이
미국, 미시간 48197, 입실란티, 3233 안도라 드라
이브
글로처 샤론
미국 미시간 48188, 첼시, 4000 샌드힐 포인트
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한)유일하이스트

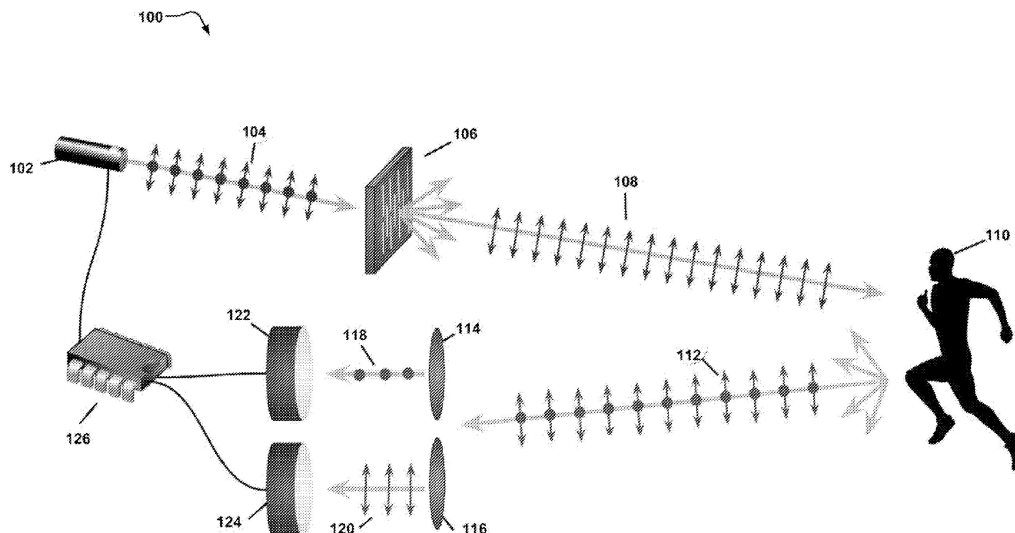
전체 청구항 수 : 총 23 항

(54) 발명의 명칭 재질-센싱 광 이미징, 디텍션 및 레인징(LIDAR) 시스템

(57) 요약

LIDAR(Material-Sensing Light Imaging, Detection and Ranging) 시스템들은 선택적으로 광 펄스를 발생시키도록 구성된 레이저, 물체를 향하여 방출되는 편광-조정된 광 펄스를 생성하도록 구성된 빔 조향기, 물체로부터 되돌아온 반사, 산란 또는 방출된 광을 편광시키도록 구성된 적어도 하나의 편광기 및 편광된 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광의 강도 및 편광에 기초하여 물체의 적어도 하나의 재질을 검출하도록 구성된 프로세서를 포함한다. 빔 조향기는 키리가미 나노복합소재를 포함할 수 있다. 또한, 예를 들어, 광 펄스를 발생시키는 단계, 물체를 향하여 방출되는 편광-조정된 광 펄스를 생성하기 위해 상기 광 펄스의 편광을 조정하는 단계, 물체로부터 되돌아온 반사, 산란 또는 방출된 광을 편광시키는 단계 및 편광된 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광의 강도 및 편광에 기초하여 물체의 적어도 하나의 재질을 검출하는 단계를 포함하는 방법들이 제공된다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01S 17/93 (2013.01)

G02B 5/3025 (2013.01)

(72) 발명자

샤바지안 브라이언

미국, 캘리포니아 94952, 페탈루마, 3022 미들 투
락 로드

브랜치 라이언

미국, 인디애나 46202, 인디애나폴리스, 408 캐널
뷰 웨이 아파트 에이

쑤 리치

미국, 미시간 94952, 안 아버, 3502 버뱅크 드라이
브

최 원진

미국, 미시간 48105, 안 아버, 스톤 로드, 노스우
드 브이 2439

차 민정

미국, 미시간 48105, 안 아버, 아파트먼트 307,
1327 나탈리 레인

스펠링스 매튜

미국, 테네시 38392, 머서, 57 하치 스테이션 로드

명세서

청구범위

청구항 1

광 펄스(light pulse)를 발생시키도록 구성된 레이저(laser);

물체(object)를 향하여 방출되는 편광-조정된(polarization-adjusted) 광 펄스를 생성하도록 구성된 빔 조향기(beam steerer);

상기 물체로부터 되돌아온(returned) 반사, 산란 또는 방출된(reflected, scattered, or emitted) 광을 편광시키도록 구성된 적어도 하나의 편광기(polarizer); 및

상기 편광된 상기 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광의 강도(intensity) 및 편광에 기초하여 상기 물체의 적어도 하나의 재질(material)을 검출하도록 구성된 프로세서(processor)를 포함하는, 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 빔 조향기는 키리가미(kirigami) 나노복합소재(nanocomposite)를 포함하는, 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 편광기는 키리가미 나노복합소재를 포함하는, 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 프로세서는 상기 물체의 상기 검출된 적어도 하나의 재질에 기초하여 상기 물체를 분류하도록 추가로 구성되는, 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 프로세서는 기계-학습 알고리즘(machine-learning algorithm)을 적용하여 상기 물체의 상기 검출된 적어도 하나의 재질에 기초하여 상기 물체를 분류하도록 구성되는, 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 기계-학습 알고리즘은 인공 신경망 알고리즘(artificial neural network algorithm)을 포함하는, 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 빔 조향기는 상기 편광-조정된 광 펄스를 생성하기 위해 상기 광 펄스의 편광을 조정하도록 구성되는, 시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 빔 조향기는 비편광된(unpolarized) 광 펄스에 편광을 부여(imparting)하는 것 및 편광된 광 펄스의 편광을 변화(changing)시키는 것 중 적어도 하나에 의해 상기 광 펄스의 편광을 조정하도록 구성되는, 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 빔 조향기는 다음의 편광 타입들(types): 선형 편광(linear polarization), 원형 편광(circular polarization) 및 타원형 편광(elliptical polarization) 중 적어도 하나를 적용하여 상기 광 펄스의 편광을 조정하도록 구성되는, 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

선형 편광을 적용하는 것은 s-타입 선형 편광 및 p-타입 선형 편광 중 적어도 하나를 적용하는 것을 포함하는, 시스템.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 편광기는 다음의 편광 타입들: 선형 편광, 원형 편광 및 타원형 편광 중 적어도 하나를 적용(applying)하여 상기 물체로부터 되돌아온 상기 반사, 산란 또는 방출된 광을 편광시키도록 구성되는, 시스템.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 적용(applying)은 s-타입 선형 편광 및 p-타입 선형 편광 중 적어도 하나를 적용하는 것을 포함하는 선형 편광을 적용하는 것인, 시스템.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 편광기는 복수의 편광기들을 포함하는, 시스템.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 편광기와 상기 프로세서에 연결된 적어도 하나의 편광 검출기(polarization detector)를 더 포함하고, 상기 적어도 하나의 편광 검출기는 상기 편광된 상기 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광의 강도를 검출하도록 구성되는, 시스템.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 편광 검출기는 복수의 편광 검출기들을 포함하는, 시스템.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 편광 검출기는 상기 편광된 상기 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광과 관련된 입사각(angle of incidence)을 검출하도록 구성되는, 시스템.

청구항 17

제16 항에 있어서,

상기 프로세서는 상기 편광된 상기 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광과 관련된 상기 입사각에 기초하여 상기 물체의 적어도 하나의 재질을 검출하도록 추가로 구성되는, 시스템.

청구항 18

광 펄스(light pulse)를 발생(generating)시키는 단계;

물체(object)를 향하여 방출되는 편광-조정된(polarization-adjusted) 광 펄스를 생성하기 위해 상기 광 펄스의 편광을 조정(adjusting)하는 단계;

상기 물체로부터 되돌아온(returned) 반사, 산란 또는 방출된(reflected, scattered, or emitted) 광을 편광(polarizing)시키는 단계; 및

상기 편광된 상기 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광의 강도(intensity) 및 편광에 기초하여 상기 물체의 적어도 하나의 재질(material)을 검출(detecting)하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 광 펄스의 편광을 조정하는 단계는 키리가미(kirigami) 나노복합소재(nanocomposite)를 포함하는 빔 조향기(beam steerer)에 의해 수행되는, 방법.

청구항 20

제 18 항에 있어서,

상기 키리가미 나노복합소재는 VAF(vacuum-assisted filtration) 프로세스(process) 또는 LBL(layer-by-layer) 증착 프로세스(deposition process)을 통해 제조되는, 방법.

청구항 21

제 18 항에 있어서,

상기 검출된 상기 물체의 적어도 하나의 재질에 기초하여 상기 물체를 분류(classifying)하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 물체를 분류하는 단계는 기계-학습 알고리즘(machine-learning algorithm)을 적용하여 상기 물체를 분류하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 기계-학습 알고리즘은 인공 신경망 알고리즘(artificial neural network algorithm)을 포함하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 미국국립과학재단(National Science Foundation)에 의해 수여된 1240264 하의 정부 지원으로 이루어졌다. 정부는 본 개시에서 특정 권리를 가진다.
- [0002] 본 출원은 2017년 10월 13일에 출원된 미국 가출원 제62/571,986호의 이익을 주장한다. 상기 출원의 전체 개시 내용은 본 명세서에 레퍼런스로 포함된다.
- [0003] 본 개시는 LIDAR(Light Imaging, Detection, and Ranging) 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 재질-센싱(materials-sensing) LIDAR 시스템 및 그 제조 및 사용 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0004] 이 섹션은 반드시(necessarily) 종래 기술이 아닌 본 개시와 관련된 배경 정보를 제공한다.
- [0005] LIDAR는 펄스 레이저 광(pulsed laser light)으로 물체(object)를 조명하고 센서로 반사된 펄스들을 측정함으로써 물체까지의 거리를 측정하는 측량(surveying) 방법이다. 레이저 반환 시간과 파장의 차이는 감지된 물체의 디지털 3D 표현을 위해 사용될 수 있다. LIDAR는 측지학(geodesy), 지형학(geomatics), 고고학(archaeology), 지리학(geography), 지질학(geology), 지형학(geomorphology), 지진학(seismology), 임학(forestry), 대기 물리학(atmospheric physics), 레이저 유도(laser guidance), ALSM(Airborne Laser Swath Mapping) 및 레이저 고도계(laser altimetry)에 적용할 수 있는 고해상도 지도 제작에 사용될 수 있다. LIDAR 기술은 자율 주행 차량의 제어 및 운행(navigation)에도 사용될 수 있다.
- [0006] 종래의 LIDAR 장치는 다음과 같이 동작할 수 있다. 레이저 소스(laser source)는 특정 파장에서 편광 또는 비편광(polarized or unpolarized light)의 펄스를 생성한다. 광(light)이 처음 방출될 때 전파 시간(time-of-flight) 센서는 초기 시간을 기록한다. 전파 시간은 광의 이동 속도를 사용하여 광이 광원에서 감지기로 이동하는 총 거리를 결정하는 데 사용된다.
- [0007] 방출된 광은 이후 주어진 각도로 "조향(steered)"된다. 이 "조향"은 또한 광 펄스를 다양한 각도들에서 조준된(aimed) 다중의 펄스 성분(multiple pulse components)으로 분할(splitting)시키는 것을 포함할 수 있다. 조향각(steering angle)(들)은 환경(environment)의 포괄적 매핑(comprehensive mapping)을 위한 특정 시야(field of view)를 얻기 위해 시간에 따라 변할 것이다. 조준된 후에, 광은 방출 전후에 선형 편광 광학계(linear polarization optics)를 통과할 수 있다. 이러한 타입의 LIDAR들은 편광 LIDAR로 알려져 있으며, 등록 단계(registration step)에서 편광 광학계를 사용할 수 있다.

- [0008] 종래의 LIDAR 장치들은 전형적으로 부피가 크고 비싼 광학 렌즈들을 사용한다. 또한, 종래의 LIDAR 장치에 사용되는 광학 렌즈들은 습기에 대한 민감성으로 인해 광범위한 보호 패키징(extensive protective packaging)을 필요로 하는데, 이는 이러한 광학 렌즈들이 사용되는 LIDAR 장치들의 중량, 크기 및 복잡성을 증가시킨다. 자율주행 차량들 및 로봇들에 회전 광학계(rotational optics)(예를 들어, Velodyne-HDL64TM 모델)가 있는 LIDAR 시스템들을 구현할 때 잘 알려진 문제 중 하나는 그들의 큰 크기와 높은 비용이다. 레이저 빔들을 조향하기 위한 전체 장치의 회전은 신뢰성을 줄이고, 소형화를 제한하며, 에너지 소비를 증가시킨다. 솔리드-스테이트(solid-state) 빔 조향에 기반한 LIDAR 시스템들은 이 문제를 해결하지만, 불충분한 정확도와 범위에 의해 구현이 지연된다. 또 다른 문제는 좋지 못한 날씨에서의 LIDAR들 및 기타 모든 센서의 성능이다. 현재 활용되는 약 900-940 nm의 파장을 가진 레이저 빔은 비, 안개 및 눈에 의해 강하게 산란될 수 있으므로, 그러한 조건들에서 그들의 판독 값(read-outs)이 매우 불확실해질 수 있다.
- [0009] 또한, 종래의 LIDAR 장치들 및 그 장치 분석 시스템들은 물체 인식을 정확하게 수행하는 능력이 제한적인 것으로 입증되었다. 예를 들어, LIDAR 포인트 클라우드(point clouds)는 오로지(solely) 레이저 소스에서 물체까지의 거리 판독을 기반으로 하는 것으로 알려져 있다. 이러한 인간 세계의 표현에서, 벤치에 앉아있는 사람과 그와 같은 조각상(statue)은 동일(identical)하다. 잠자는 아기와 그와 비슷한 크기의 플라스틱 인형이 옆에 누워 있거나, 포장도로(pavement)와 멀리 떨어진 검은 차를 구별하려고 할 때도 문제가 된다. 이러한 물체들을 구별하고 주변을 해독하는 부담(burden)은 이러한 3D 맵들의 전산 처리(computational processing)에 의해 수행된다.
- [0010] 그들의 기하학적 구조들(geometries)에 기초한 물체들의 적절한 분류는 사소한 문제가 아니며, 특히 다양한 환경의 높은 동적 특성(highly dynamic nature)을 고려하여, 복잡한 알고리즘 및 큰 전산 능력(computational power)을 필요로 한다. 더욱이, 전형적인 LIDAR 하드웨어는 현재 빔 조향 방법들이 LIDAR 클라우드에서 포인트들의 클러스터링(clustering) 및 밴딩(banding)을 야기하여, 3D 이미지들 및 그들의 개별 포인트들의 모호한 해석을 야기하기 때문에, 적절한 물체 인식 및 분류를 더욱 어렵게 만든다. 결과적으로, 환경에 대한 기하학적 구조-기반 인식(geometry-based perception)은 높은 계산 비용, 큰 에너지 소비, 및 긴 처리 시간을 요구한다.
- [0011] 따라서, 개선된 LIDAR 시스템들 및 방법들, 특히 물체가 형성되는 재질(material)을 식별하는 능력을 제공하는 LIDAR 시스템들 및 방법들이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 개시에 따른 실시예들은 재질-센싱 광 이미징, 디텍션 및 레인징 시스템을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0013] 이 섹션은 본 개시의 일반적인 요약을 제공하며, 그것의 전체 범위 또는 모든 특징들에 대한 포괄적인 개시는 아니다.
- [0014] 특정 측면에서, 본 개시는 광 펄스를 발생(generate)시키도록 구성된 레이저, 물체를 향해 방출된 편광-조정된(polarization-adjusted) 광 펄스를 생성하도록 구성된 빔 조향기(beam steerer), 물체로부터 되돌아온 반사, 산란 또는 방출된(reflected, scattered, or emitted) 광을 편광시키도록 구성된 적어도 하나의 편광기(polarizer), 및 편광된 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광의 강도(intensity) 및 편광(polarization)에 기초하여 물체의 적어도 하나의 재질을 검출하도록 구성된 프로세서(processor)를 포함하는 시스템을 제공한다.
- [0015] 일 측면에서, 빔 조향기는 키리가미(kirigami) 나노복합소재(nanocomposite)를 포함한다.
- [0016] 일 측면에서, 하나 이상의 편광기는 키리가미 나노복합소재를 포함한다.
- [0017] 일 측면에서, 프로세서는 검출된 물체의 적어도 하나의 재질에 기초하여 물체를 분류하도록 추가로 구성된다.
- [0018] 다른 측면에서, 프로세서는 기계-학습 알고리즘(machine-learning algorithm)을 적용함으로써 검출된 물체의 적어도 하나의 재질에 기초하여 물체를 분류하도록 구성된다.
- [0019] 다른 측면에서, 기계-학습 알고리즘은 인공 신경망 알고리즘(artificial neural network algorithm)을 포함한다.

- [0020] 일 측면에서, 빔 조향기는 편광-조정된 광 펄스를 생성하기 위해 광 펄스의 편광을 조정하도록 구성된다.
- [0021] 일 측면에서, 빔 조향기는 비편광된(unpolarized) 광 펄스에 편광을 부여(imparting)하는 것 및 편광된 광 펄스의 편광을 변화(changing)시키는 것 중 적어도 하나에 의해 광 펄스의 편광을 조정하도록 구성된다.
- [0022] 일 측면에서, 빔 조향기는 다음의 편광 타입들(types): 선형 편광(linear polarization), 원형 편광(circular polarization) 및 타원형 편광(elliptical polarization) 중 적어도 하나를 적용하여 광 펄스의 편광을 조정하도록 구성된다.
- [0023] 다른 측면에서, 선형 편광을 적용하는 것은 s-타입 선형 편광 및 p-타입 선형 편광 중 적어도 하나를 적용하는 것을 포함한다.
- [0024] 일 측면에서, 적어도 하나의 편광기는 다음의 편광 타입들: 선형 편광, 원형 편광 및 타원형 편광 중 적어도 하나를 적용(applying)하여 물체로부터 되돌아온 반사, 산란 또는 방출된 광을 편광시키도록 구성된다.
- [0025] 다른 측면에서, 상기 적용(applying)은 s-타입 선형 편광 및 p-타입 선형 편광 중 적어도 하나를 적용하는 것을 포함하는 선형 편광을 적용하는 것이다.
- [0026] 일 측면에서, 적어도 하나의 편광기는 복수의 편광기들을 포함한다.
- [0027] 일 측면에서, 시스템은 적어도 하나의 편광기와 프로세서에 연결된 적어도 하나의 편광 검출기(polarization detector)를 더 포함하고, 적어도 하나의 편광 검출기는 편광된 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광의 강도를 검출하도록 구성된다.
- [0028] 다른 측면에서, 적어도 하나의 편광 검출기는 복수의 편광 검출기를 포함한다.
- [0029] 다른 측면에서, 적어도 하나의 편광 검출기는 상기 편광된 상기 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광과 관련된 입사각(angle of incidence)을 검출하도록 구성된다.
- [0030] 다른 측면에서, 프로세서는 편광된 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광과 관련된 입사각에 기초하여 물체의 적어도 하나의 재질을 검출하도록 추가로 구성된다.
- [0031] 또 다른 변형들(variations)에서, 본 개시는 광 펄스(light pulse)를 발생(generating)시키는 단계, 물체(object)를 향하여 방출되는 편광-조정된(polarization-adjusted) 광 펄스를 생성하기 위해 광 펄스의 편광을 조정(adjusting)하는 단계, 물체로부터 되돌아온(returned) 반사, 산란 또는 방출된 광을 편광(polarizing)시키는 단계, 및 편광된 물체로부터의 반사, 산란 또는 방출된 광의 강도(intensity) 및 편광에 기초하여 물체의 적어도 하나의 재질(material)을 검출(detecting)하는 단계를 포함하는 방법을 제공한다.
- [0032] 일 측면에서, 광 펄스의 편광을 조정하는 단계는 키리가미(kirigami) 나노복합소재(nanocomposite)를 포함하는 빔 조향기(beam steerer)에 의해 수행된다.
- [0033] 일 측면에서, 키리가미 나노복합소재는 VAF(vacuum-assisted filtration) 프로세스(process)를 통해 제조된다.
- [0034] 일 측면에서, 키리가미 나노복합소재는 또는 LBL(layer-by-layer) 증착 프로세스(deposition process)를 통해 제조된다.
- [0035] 일 측면에서, 상기 방법은 검출된 물체의 적어도 하나의 재질에 기초하여 물체를 분류(classifying)하는 단계를 더 포함한다.
- [0036] 일 측면에서, 물체를 분류하는 단계는 기계-학습 알고리즘(machine-learning algorithm)을 적용하여 물체를 분류하는 것을 포함한다.
- [0037] 일 측면에서, 기계-학습 알고리즘은 인공 신경망 알고리즘(artificial neural network algorithm)을 포함한다.
- [0038] 추가의 적용 분야는 본원에 제공된 설명으로부터 명백해질 것이다. 이 요약의 설명 및 특정 예시들은 단지 예시의 목적을 위한 것이며 본 개시의 범위를 제한하려는 것은 아니다.

발명의 효과

- [0039] 본 개시에 따르면 재질-센싱 광 이미징, 디텍션 및 레인징 시스템을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0040]

본 명세서에 기술된 도면들은 선택된 실시예의 예시적인 목적을 위한 것이며 모든 가능한 구현이 아니며, 본 개시의 범위를 제한하려는 것은 아니다.

도 1은 본 개시의 특정 측면들에 따른 M-LIDAR 시스템을 도시한 기능도이다.

도 2a 및 도 2b는 본 개시의 특정 측면들에 따른 M-LIDAR 시스템에서 사용하도록 구성된 나노-키리가미(nano-kirigami) 나노복합소재(nanocomposite) 시트들의 주사 전자 현미경(scanning electron microscope; SEM) 이미지들이다.

도 3a 내지 도 3c는 본 개시의 특성의 측면들에 따른 다양한 변형 수준들(strain levels)(도 3a에서 0 %, 도 3b에서 50 %, 및 도 3c에서 100 %)에 대한 나노-키리가미-기반 그래핀 복합소재들(graphene composites)로부터의 레이저 회절 패턴들(laser diffraction patterns)을 묘사하는 이미지들이다.

도 4의 4a 내지 4d는 본 개시의 특정 측면들에 따른 나노-키리가미-기반 광학 요소들을 제조하기 위한 대표적인 단순화된 프로세스(process)를 도시한다.

도 5a 내지 도 5c는 본 개시의 특정 측면들에 따른 웨이퍼(wafer) 상에 제조된 나노-키리가미 나노복합소재 광학 요소(nano-kirigami nanocomposite optical element)를 도시한다. 본 개시의 특정 측면에 따라 도 5a는 나노-키리가미 나노 복합소재 광학 요소의 사진을 도시하고, 도 5b는 0 % 변형률(strain) 하에서 도 5a의 나노-키리가미 나노복합소재 광학 요소의 SEM 이미지를 도시하고, 도 5c는 100 % 변형률 하에서 도 5a의 나노-키리가미 나노 복합소재 광학 요소의 SEM 이미지를 도시한다.

도 6은 본 개시의 특정 측면들에 따른 인공 지능 알고리즘(artificial intelligence algorithm) 및 편광 정보(polarization information)를 사용하는 MST에 대한 혼동 행렬(confusion matrix)을 도시한다.

도 7은 본 개시의 특정 측면에 따른 다른 재질들과 비교하여 모의 블랙 아이스(simulated black ice)의 검출을 위한 혼동 행렬을 도시한다.

도 8은 본 개시의 특정 측면들에 따른 M-LIDAR 시스템을 통합한 블랙 아이스 검출 유닛의 일 예를 도시한다.

도 9는 본 개시의 특정 측면들에 따른 M-LIDAR 시스템을 사용하여 물체 분류를 수행하는 방법을 도시하는 흐름도이다.

도 10은 내부에 선형 패턴으로서 형성된 대표적인 복수의 키리가미 컷들(kirigami cuts)을 가지는 평면 복합 재질(planar composite material)의 개략도이다.

도 11은 본 개시의 특정 측면들에 따른 차량에 장착하기 위한 M-LIDAR 시스템을 도시한 도면이다.

대응하는 참조 번호들은 도면들의 여러 뷰들에 걸쳐 대응하는 부분을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0041]

예시적인 실시예들은 본 개시가 통상의 기술자에게 철저하고, 범위를 완전히 전달할 수 있도록 제공된다. 본 개시의 실시예들의 이해를 제공하기 위해 특정 조성물들(compositions), 구성요소들(components), 디바이스들 및 방법들의 예시들과 같은 다수의 특정 세부 사항들이 설명된다. 특정 세부 사항들이 이용될 필요가 없고, 예시적인 실시예들이 많은 다른 형태들로 구현될 수 있고 본 개시의 범위를 제한하도록 해석되어서는 안 된다는 것이 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 일부 예시적인 실시예들에서, 잘 알려진 프로세스, 잘 알려진 장치 구조 및 잘 알려진 기술은 상세히 설명되지 않는다.

[0042]

본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. "a", "an", 및 "the" 등의 단수의 표현은 문맥 상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다. "포함하다(comprises)", "포함하는(comprising)", "포함하는(including)" 및 "갖는(having)"이라는 용어는 포괄적인 것이며, 따라서 언급된 특징들(features), 요소들(elements), 조성물들(compositions), 단계들(steps), 정수들(integers), 동작들(operations), 및/또는 구성요소들(components)의 존재를 명시하지만, 하나 이상의 다른 특징들, 정수들, 단계들, 동작들, 요소들, 구성요소들, 및/또는 이들의 그룹들의 추가 또는 존재를 배제하지는 않는다. 개방형 용어 "포함하는(comprising)"은 본 명세서에 설명된 다양한 실시예들을 기술하고 청구하는데 사용되는 비-제한적인 용어로 이해되어야 하고, 특정 측면들에서, 그 용어는 대안적으로 "구성되는(consisting of)" 또는 "본질적으로 구성되는(consisting essentially of)"과 같은 보다 한정적이고 제한적인 용어인 것으로 이해될 수 있다. 따라서, 조성물들, 재질들, 구성요소들, 요소들, 특

징들, 정수들, 동작들 및/또는 프로세스 단계들을 언급하는 임의의 주어진 실시예에 대해, 본 개시는 또한, 구체적으로 이러한 언급된 조성물들, 재질들, 구성요소들, 요소들, 특징들, 정수들, 동작들 및/또는 프로세스 단계들의 구성되거나, 본질적으로 구성되는 실시예들을 포함한다. "구성되는(consisting of)"의 경우에, 대안적인 실시예는 임의의 추가적인 조성물들, 재질들, 구성요소들, 요소들, 특징들, 정수들, 동작들, 및/또는 프로세스 단계들을 배제하는 한편, "본질적으로 구성되는(consisting essentially of)" 경우, 기본적으로 신규의 특성들에 실질적으로 영향을 미치는 임의의 추가적인 조성물들, 재질들, 구성요소들, 요소들, 특징들, 정수들, 동작들, 및/또는 프로세스 단계들로 이러한 실시예에서 제외되지만, 기본적으로 신규의 특성들에 실질적으로 영향을 미치지 않는 임의의 조성물들, 재질들, 구성요소들, 요소들, 특징들, 정수들, 동작들 및/또는 프로세스 단계들은 실시예에 포함될 수 있다.

[0043] 본 명세서에 기술된 임의의 방법 단계들, 프로세스들, 및 동작들은, 실행(performance)의 순서로 구체적으로 식별되지 않는 한, 논의되거나 도시된 특정 순서로 반드시 그들의 실행을 요구하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 달리 지시되지 않는 한, 추가적인 또는 대안적인 단계들이 사용될 수 있다고 이해되어야 한다.

[0044] 구성요소, 요소, 또는 층(layer)이 다른 요소, 또는 층의 "위(on)"에 위치하거나, "결합(engaged to)"되거나, "연결(connected to)"되거나, 또는 "결합/연결(coupled to)"되는 것으로 언급되는 경우, 다른 구성요소, 요소, 또는 층에 직접적으로(directly) 위에(on) 위치하거나, 결합(engaged)되거나, 연결(connected)되거나, 또는 결합/연결(coupled)될 수 있고, 또는 중간에(intervening) 요소들 또는 층들이 존재할 수도 있다. 대조적으로, 어떤 요소가 다른 요소 또는 층에 직접적으로 위에(directly on) 위치하거나, 직접 결합(directly engaged)되거나 직접 연결(directly connected)되거나, 또는 직접 결합/연결(directly coupled)된다고 하는 경우, 중간에(intervening) 요소들 또는 층들이 존재하지 않을 수 있다. 요소들 사이의 관계를 설명하는 데 사용되는 다른 단어는 유사한 방식(예: "사이(between)"와 "직접 사이(directly between)", "인접한(adjacent)"과 "직접 인접한(directly adjacent)" 등)으로 해석되어야 한다. 본 명세서에 사용된 용어 "및/또는(and/or)"은 관련되어 열거된 항목들 중 하나 이상의 임의의 및 모든 조합을 포함한다.

[0045] 본 명세서에서 제1(first), 제2(second), 제3(third) 등의 용어는 다양한 단계들, 요소들, 구성요소들, 영역들(regions), 층들 및/또는 섹션들(sections)을 설명하기 위해 사용될 수 있지만, 별도의 지시가 없는 한, 이들 단계들, 요소들, 구성요소들, 영역들, 층들 및/또는 섹션들은 이들 용어에 의해 제한되지 않아야 한다. 이들 용어는 하나의 단계, 요소, 구성요소, 영역, 층 또는 섹션을 다른 단계, 요소, 구성요소, 영역, 층 또는 섹션과 구별하기 위해서 사용될 수 있다. 본 명세서에서 사용될 때 "제1", "제2" 및 다른 숫자 용어와 같은 용어는 문맥 상 명확하게 표시되지 않는 한 연속(sequence) 또는 순서(order)를 의미하지는 않는다. 따라서, 이하에서 논의되는 제1 단계, 요소, 구성요소, 영역, 층 또는 섹션은 예시적인 실시예들의 교시를 벗어나지 않고 제2 단계, 요소, 구성요소, 영역, 층 또는 섹션으로 지칭될 수 있다.

[0046] "이전(before)", "이후(after)", "내부(inner)", "외부(outer)", "아래(beneath)", "아래(below)", "낮은(lower)", "위(above)", "높은(upper)"등과 같은 공간적 또는 시간적으로 상대적인 용어는, 도면에 도시된 바와 같이, 하나의 요소 또는 특징이 다른 요소(들) 또는 특징(들)과의 관계를 설명하기 위해 설명의 편의를 위해 사용될 수 있다. 공간적 또는 시간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시된 방향 외에 사용 또는 동작 중인 장치 또는 시스템의 상이한 방향을 포함하도록 의도될 수 있다.

[0047] 본 개시 전반에 걸쳐, 수치들은 주어진 값들(given values) 및 언급된 값들(value mentioned)은 물론 정확히 언급된 값들(exactly the value mentioned)을 갖는 실시예로부터의 작은 편차를 포함하는 범위에 대한 대략적인 측정 또는 한계를 나타낸다. 상세한 설명의 말미에 제공된 실시예 이외의, 첨부된 청구 범위를 포함하여, 본 명세서에서 파라미터들(예를 들어, 수량 또는 조건)의 모든 수치들은 모든 경우에서 용어 "약(about)"에 의해 실제로 "약(about)"이 수치 앞에 나타나는지 여부에 따라 수정되는 것으로 이해되어야 한다. "약(about)"은 언급된 수치가 약간의 부정확성(값의 정확성에 대한 접근, 대략 또는 합리적으로 값에 거의 근접함)을 허용하는 것을 나타낸다. "약(about)"에 의해 제공된 부정확성이 일반적인 의미로 당업계에서 달리 이해되지 않는다면, 본 명세서에 사용된 "약(about)"은 그러한 파라미터들을 측정하고 사용하는 통상적인 방법으로부터 발생할 수 있는 변동들(variations)을 나타낸다. 예를 들어, "약(about)"은 5 % 이하, 선택적으로 4 % 이하, 선택적으로 3 % 이하, 선택적으로 2 % 이하, 선택적으로 1 % 이하, 선택적으로 0.5 % 이하, 및 특정 측면들에서, 선택적으로 0.1 % 이하의 변동을 포함할 수 있다.

[0048] 또한, 범위들의 개시는 범위들에 대해 주어진 종점들 및 하위-범위들을 포함하여, 전체 범위 내에서 모든 값들 및 추가로 분할된 범위들의 개시를 포함한다.

- [0049] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 예시적인 실시예들을 상세하게 설명한다.
- [0050] 본 개시는 물체의 거리뿐만 아니라 물체의 재질 조성(material composition)을 검출하도록 구성된 LIDAR 시스템들 및 방법들을 제공한다. 일부 예들에 따르면, 재질 조성 분류는 기계 학습 알고리즘들을 사용하여 처리된 편광 분석의 이점에 의해 달성될 수 있다.
- [0051] 본 명세서에 기술된 시스템의 광학 요소들은 광원(light source)(예를 들어, 레이저)으로부터 방출된 모든 광을 공지된 편광 상태로 가져 오도록 구성될 수 있어서, 편광 시프트는 나중에 정확하게 측정될 수 있다. 이후 이 광은 물체 인터페이스(하나 이상의 재질들로 구성된 물체)에 도달할 때까지 이동하고, 이 시점에서 광의 일부가 확산 반사(diffusely reflected back)된다.
- [0052] 본 개시는 무엇보다도 LIDAR 클라우드의 각 포인트에서 재질 및 표면 텍스처(materials and surface texture; MST) 분류를 추가하여 3D 공간의 시맨틱 맵들을 생성함으로써 주변 환경을 인식하는 새로운 방법을 기술한다. 되돌아온 광자들(photons)의 편광 시그니처(polarization signature)로부터 추론된 MST 분류는 3D 포인트 클라우드의 모호성을 감소시키고 다양한 물체들(금속 포인트들, 유리 포인트들, 거친 유전체 포인트들 등)의 인식을 용이하게 할 수 있다. 편광 분류는 표면 탄젠트 평면 추정(surface tangent plane estimation)에 앞서서, 유사한 편광 시그니처들로 포인트들을 그룹화함으로써 물체를 사전-식별(pre-identify)할 수 있다. MST 분류가 장착된 LIDAR들은 본 명세서에서 M-LIDAR로 지칭될 것이다.
- [0053] 본 개시의 일 예에 따르면, M-LIDAR 기술은 근적외선 광학계(near-infrared optics) 등과 같은 종래의 부피가 큰 광학계 대신에, 키리가미 광학계(kirigami optics)의 사용을 통하여 경량(lightweight) 및 적합(conformable)하게 되도록 구성될 수 있다. 일 예에 따르면, 본 명세서에 설명된 M-LIDAR 시스템들 및 방법들은 상이한 정도의 자동화를 갖는 차량들에 대한 블랙 아이스의 검출에 사용될 수 있다.
- [0054] 이제 도 1을 참조하면, 대표적인 단순화된 M-LIDAR 시스템(100)이 제공된다. M-LIDAR 시스템(100)은 레이저(laser, 102), 빔 조향기(beam steerer, 106), 제1 편광기(polarizer, 114), 제2 편광기(116), 제1 편광 검출기(polarization detector, 122), 제2 편광 검출기(124) 및 프로세서(processor, 126)를 포함할 수 있다. 도 1은 제1 및 제2 편광기(114, 116) 및 제1 및 제2 편광 검출기(122, 124)를 도시하고 있지만, 일부 구현들에 따라, 오직 단일 편광기(예를 들어, 제1 편광기(114)) 및 단일 편광 검출기(예를 들어, 제1 편광 검출기(122))가 본 개시의 교시를 벗어나지 않으면서 시스템(100)의 일부로서 포함될 수 있다. 또한, 특정 예들에 따르면, 본 명세서의 교시를 벗어나지 않고 시스템(100)의 일부로서 2 개보다 많은 편광기 및/또는 2 개보다 많은 편광 검출기가 포함될 수 있다.
- [0055] 간략화 및 예시를 위해, 본 개시의 나머지 부분에 걸쳐, 제1 편광기(114)는 s-편광 선형 편광기(s-polarization linear polarizer, 114)로 취급될 것이다. 유사하게, 간략화 및 예시를 위해, 제2 편광기(116)는 p-편광 선형 편광기(p-polarization linear polarizer, 116)로 취급될 것이다. 또한, 제1 편광 검출기(122)는 p-편광 검출기(122)로 취급될 것이고 제2 편광 검출기는 s-편광 검출기(124)로 취급될 것이다.
- [0056] 그러나, 통상의 기술자에게 이해될 바와 같이, 편광기들(114, 116)은 본 명세서의 교시를 벗어나지 않으면서 다양한 상이한 타입들의 편광을 위해 구성될 수 있다. 예를 들어, 주어진 편광기는 선형 편광(예를 들어, s 또는 p 타입 선형 편광), 우측-원형(right-circular) 편광, 좌측-원형(left-circular) 편광, 타원형(elliptical) 편광, 또는 당 업계에 공지된 임의의 다른 적합한 타입의 편광을 수행하도록 구성될 수 있다. 유사하게, 주어진 검출기는 선형으로-편광된 광(linearly-polarized light)(예를 들어, s 또는 p 타입 선형으로 편광된 광), 우측-원형으로 편광된 광, 좌측-원형으로 편광된 광, 타원형으로-편광된 광, 또는 당업계에 공지된 임의의 다른 타입의 편광된 광을 검출하도록 구성될 수 있다. 일부 예들에 따르면, 광 빔(light beam)의 편광(즉, 2 개 이상의 광 펄스들의 조합)은 고려되는 하나 이상의 물체들에 대한 추가 정보를 얻기 위해 펄스마다 변조될 수 있다.
- [0057] 아래에 더 상세히 설명되는 바와 같이, 시스템(100)은 물체(110)를 구성하는 하나 이상의 재질들을 검출하고, 검출된 재질들에, 적어도 부분적으로 기초하여, 물체(110)를 분류하도록 구성될 수 있다. 일부 예들에 따르면, 물체 분류는 신경망-기반 인공 지능(neural network-based artificial intelligence)을 포함하지만, 이에 제한되지 않는 하나 이상의 인공 지능 알고리즘들을 사용하여 수행될 수 있다.
- [0058] 동작 시에, 시스템(100)은 다음과 같이 기능할 수 있다. 레이저(102)는 하나 이상의 편광된(polarized) 또는 비편광된(unpolarized) 광 펄스들을 발생(generate)(즉, 방출(emit))하도록 구성될 수 있으며, 하나 이상의 편광된 또는 비편광된 광 펄스들은 함께 편광된/비편광된 광 빔(104)을 형성한다. 도 1에 도시된 예에 따르면, 각각의 펄스는 s-편광 성분(s-polarization component)(도 1에서 빔(104)을 따라 도트들(dots)에 의해 표시됨) 및

형 방향 p-편광 성분(transverse p-polarization component)(도 1에서 빔(104)을 통해 수직 방향으로 진행하는 양면 화살표에 의해 표시됨)을 포함한다. 대안적으로(및 편광된 광의 상이한 타입들에 대한 상기 논의와 관련하여), 펄스들은, 예를 들어, 좌측 및 우측 원형으로 편광된 시퀀스들(sequences), 타원형으로 편광된 시퀀스들, 전술한 것의 임의의 조합, 또는 임의의 다른 적절한 편광된 시퀀스들을 포함할 수 있다.

[0059] 일부 예들에 따르면, 레이저(102)는 초당 1 개에서 백만 개가 넘는 펄스들을 발생시키도록 구성될 수 있다. 또한, 일부 구현들에 따르면, 레이저(102)는 본 개시의 교시를 벗어나지 않으면서 550 나노 미터(nm), 808 nm, 905 nm 또는 1550 nm 펄스 레이저-또는 임의의 다른 적절한 파장의 레이저-를 구성할 수 있다. 예를 들어, 가정 용 로봇 공학, 자율 주행 차량들 및 머신 비전(machine vision)을 위한 구현들은 800 nm 이상의 눈-안전(eye-safe) 주파수들을 갖는 레이저들을 사용할 수 있다. 실외 용도의 경우, 수 투명성 윈도우들(water transparencies windows)-예를 들어, 약 900 nm 내지 1550 nm-에서의 광 빔들이 적합하게 사용될 수 있다. 일부 구현들에 따르면, 주어진 펄스가 레이저(102)에 의해 발생될 때, 프로세서(126)-실행 가능한 명령어들을 실행하는-는 펄스가 발생하는 초기 시간(initial time)을 기록할 수 있다. 이 "전파 시간(time-of-flight)" 정보는 이후에 광속을 사용하여 물체(110)까지의 거리를 계산하기 위해 이용될 수 있다.

[0060] 빔(104)은 빔 조향기(106)를 통해 레이저(102)에 의해 지향(directed)될 수 있다. 빔 조향기(106)는 편광-조정된(polarization-adjusted) 광 펄스를 생성하도록 구성될 수 있다. 특정 측면들에서, 편광된/비 편광된 광 빔(104)의 각각의 편광된/비편광된 펄스의 편광은 빔 조향기(106)에 의해 조정된다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 편광을 조정하는 것은 편광(imparting)을 부여하거나 편광을 변경(changing)하는 것을 포함할 수 있다. 따라서, 빔 조향기(106)는 하나 이상의 선형으로 편광된 광 펄스들(선형으로 편광된 광 빔(108)을 집합적으로(collectively) 형성하는 선형으로 편광된 광 펄스들)를 생성하도록 편광된/비편광된 광 빔(104)의 각각의 편광된/비편광된 펄스의 편광을 조정할 수 있다. 전술한 예는 선형 편광을 고려하지만, 일부 실시예들에 따르면, 빔 조향기(106)는 빔(104)을 원형으로(예를 들어, 왼쪽 또는 오른쪽) 또는 타원형으로 편광시킬 수 있다. 다른 예에 따르면, 빔 조향기(106)는 빔에 전혀 어떠한 편광도 적용하지 않을 수 있다. 예를 들어, 빔(104)이 빔 조향기(106)에 진입함에 따라 이미 편광된 경우, 빔 조향기(106)는 생성된(예를 들어, 펄스들을 분할(split) 또는 변조(modulate)) 편광-조정된 광 펄스의 속성들(properties)을 추가로 수정할 수 있지만, 이미 편광된 광 펄스의 극성(polarity)을 조정할 필요는 없다. 또한, 일부 예들에 따르면, 빔 조향기(106)는 제1 타입의 편광에 따라 빔의 제1 펄스를 편광시키고, 제2의 상이한 타입의 편광에 따라 동일한 빔의 제2 펄스를 편광시킬 수 있다. 빔(104)의 편광을 수행하는 것에 추가하여, 또는 대안으로서, 빔 조향기(106)는 또한 그로부터 방출된 임의의 빔(예를 들어, 빔(108))의 방향을 제어할 수 있다. 또한, 빔 조향기(106)는 빔(예를 들어, 빔(104))을 여러 개의 상이한 빔들로 분할할 수 있고, 그에 따라 하나 이상의 빔이 정해진 각도들로 방출되어, 한 번에 다수의 빔들을 조향할 수 있다. 이 개념은 빔 조향기(106)로부터 나오는 다수의 발산 화살표들(diverging arrows)과 관련하여 도 1에 도시되어있다.

[0061] 추가적으로, 또는 대안적으로, 일부 예들에서, 빔 조향기(106)는 선형으로 편광된 광 빔(108)을 변조하도록 구성될 수 있다. 일 예에서, 빔 조향기(106)는 키리가미 나노복합소재(kirigami nanocomposite) 빔 조향기 등을 포함할 수 있다. 이 예에 따르면, 아래에서 추가로 상세하게 논의되는 바와 같이, 빔 조향기(106)는 키리가미 나노복합소재 빔 조향기에 적용되는 변형량(amount of strain)을 증가 또는 감소시킴으로써 선형으로 편광된 광 빔(108)을 선형으로 편광 및/또는 변조하도록 구성될 수 있다.

[0062] 또한, 일 예에 따르면, 빔 조향기(106)는 p-편광을 위해 비편광된 광 빔(104)의 각각의 비편광된 펄스를 선형으로 편광시킴으로써 비편광된 광 빔(104)의 각각의 비편광된 펄스를 선형으로 편광하도록 구성될 수 있다. 빔(104)은, 빔 조향기(106)를 통과한 후에는, 더 이상 임의의 s-편광 성분을 포함하지 않는다(즉, 빔(104)에 도시된 "도트(dot)"성분들은 선형으로 편광된 광 빔(108)에는 없음)는 것을 볼 수 있는 이 예는 도 1에 도시된다. 대안적인 측면들에서, 선형으로 편광된 광 빔(108)은 대신 p-편광될 수 있다. 또한, 특정 측면들에서, 빔 조향기(106)는 본 명세서에서 더 논의되는 바와 같이, 물체(110)를 향해 방출되는 선형으로 편광된 광 빔(108)을 수정, 제어, 및 조향할 수 있다. 빔 조향기(106)는 동적인 전자기파들(electromagnetic waves)의 파장-의존적(wavelength-dependent) 빔 조향 및 진폭 변조를 가능하게 할 수 있다.

[0063] 계속해서 도 1을 참조하면, 선형으로 편광된 광 빔(108)은 물체(110)에서 확산 반사(diffusively reflected)될 수 있다. 광의 하나 이상의 펄스들은 선형으로 편광된 광 빔(108)의 반사 버전(reflected version)을 구성하는 빔(112)을 집합적으로 형성한다. 일부 예들에 따르면, 반사된 선형으로 편광된 광 빔(112)은 선형으로 편광된 광 빔(108) (즉, 물체(110)의 빔 사전 반사(beam pre-reflection))과는 다른 편광을 가질 수 있다. 이러한 상태의 차이는 p-편광 및 s-편광 성분들(각각 빔(112)의 경로를 따라 도트들과 양방향 화살표로 반사됨)을 포함하

는 빔(112)에 의해 도시되지만, 빔(108)은 단지 p-편광 성분들을 포함하는 것으로 도시된다. 또한, 물체(110)는 검출이 요구되는 하나 이상의 상이한 재질들로 구성된 임의의 적절한 물체(또는 목표(target))를 포함할 수 있다. 위에서 및 이 섹션들에서 반사된 "선형으로" 편광된 광 빔(112)에 따라 설명되지만, 특정 예들에 따르면, 반사된 빔(112)은 본 명세서의 교시를 벗어나지 않고, 원형으로 또는 타원형으로 포함하여, 다양한 상이한 방식들로 편광될 수 있다.

[0064] 반사된 선형으로 편광된 광 빔(112)은 물체(112)에 의해 확산 반사(diffusively reflected)되거나, 산란(scattered)되거나, 또는 그렇지 않으면 방출(emitted)되어 시스템(100)의 s-편광 선형 편광기(114) 및/또는 p-편광 선형 편광기(116)를 통과할 수 있다. 특정 양상들에서, 반사, 산란 또는 그렇지 않으면 방출된 선형으로 편광된 광 빔(112)의 각각의 부분들은 시스템(100)의 s-편광 선형 편광기(114) 및/또는 p-편광 선형 편광기(116) 둘 모두를 통과한다. s-편광 선형 편광기(114)는 하나 이상의 반사된 s-편광 광 펄스들(반사된 s-편광 광 빔(118)을 집합적으로 형성하는 하나 이상의 반사된 s-편광 광 펄스들)을 생성하기 위하여 s-편광을 위한 빔(112)을 구성하는 하나 이상의 광 펄스들을 선형으로 편광시키도록 구성된다. 유사하게, p-편광 선형 편광기(116)는 하나 이상의 반사된 p-편광 광 펄스들(반사된 p-편광 광 빔(120)을 집합적으로 형성하는 하나 이상의 반사된 p-편광 광 펄스들)을 생성하기 위하여 p-편광을 위한 빔(112)을 구성하는 하나 이상의 광 펄스들을 선형으로 편광시키도록 구성된다. 일부 예들에 따르면, s-편광 선형 편광기(114) 및/또는 p-편광 선형 편광기(116)는 빔 조향기(106)와 관련하여 위에서 논의된 및/또는 이하의 도 4의 4a 내지 4d 및 도 5a 내지 도 5c와 관련된 타입들의 키리가미 나노 복합소재들과 같은 키리가미 나노 복합소재 등을 포함할 수 있다. 그러나, 통상의 기술자라면, 본 명세서의 교시를 벗어나지 않으면서, 일부 예들에 따라, 비-키리가미 나노복합소재 또는 다른 광학 장치들이 시스템(100)의 일부로서 사용될 수 있음을 인식할 것이다.

[0065] 일부 예에 따르면, 물체(110)로부터 반사, 산란 또는 그렇지 않으면 방출된 좌측 및 우측 원형으로 편광된 또는 타원형으로 편광된 광을 위해, 편광기(114, 116)들의 유사한 방식들이 이용될 수 있다.

[0066] s-편광 검출기(122)는 반사된 s-편광 광 빔(118)을 형성하는 하나 이상의 반사된 s-편광 광 펄스들 각각의 강도(intensity)를 검출하도록 구성될 수 있다. 추가적으로, 일부 구현들에 따르면, s-편광 검출기(122)는 반사된 s-편광 광 빔(118)과 관련된 입사각(angle of incidence)을 검출하도록 구성될 수 있다. 반사된 s-편광 광 빔(118)을 형성하는 하나 이상의 반사된 s-편광 광 펄스들의 검출된 세기 및/또는 반사된 s-편광 광 빔(118)과 관련된 검출된 입사각은, 아래에서 더 상세히 설명되는 바와 같이, 재질 타입 검출(예를 들어, MST 분류를 사용하여)을 수행하기 위해 프로세서(126)에 의해 이용될 수 있다.

[0067] 유사하게, p-편광 검출기(124)는 반사된 p-편광 광 빔(120)을 형성하는 하나 이상의 반사된 p-편광 광 펄스들 각각의 강도를 검출하도록 구성될 수 있다. 추가적으로, 일부 구현들에 따르면, p-편광 검출기(124)는 반사된 p-편광 광 빔(120)과 관련된 입사각을 검출하도록 구성될 수 있다. 반사된 p-편광 광 빔(120)을 형성하는 하나 이상의 반사된 p-편광 광선 펄스들의 검출된 세기 및/또는 반사된 p-편광 광 빔(120)과 관련된 검출된 입사각은, 아래에서 더 상세히 설명되는 바와 같이, 재질 타입 검출을 수행하기 위해 프로세서(126)에 의해 이용될 수 있다.

[0068] 프로세서(126)는 (i) 빔들(118 및/또는 120)을 형성하는 하나 이상의 광 펄스들의 검출된 강도들 및/또는 (ii) 반사된 s-편광 광 빔(118) 및/또는 반사된 p-편광 광 빔(120)과 관련된 검출된 입사각들에 기초하여 물체(110)의 적어도 하나의 재질을 검출하도록 구성된다. 보다 구체적으로, 일부 예들에 따르면, 프로세서(126)는 물체(110)를 구성하는 하나 이상의 재질들을 검출하기 위해 기계-학습 알고리즘들(machine-learning algorithms)을 적용하도록 구성된다. 본 명세서에서 사용되는 것과 같이, "기계-학습 학습 알고리즘을 적용하는 것"은 메모리에 저장되고 프로세서에 의해 액세스 가능한 실행 가능한 명령들을 실행하는 것을 포함할 수 있지만, 이에 제한되지는 않는다. 추가적으로, 일 예에 따르면, 재질 검출에 사용되는 특정 기계-학습 알고리즘은 인공 신경망을 포함할 수 있다. 그러나, 당업계에 공지된 다른 기계-학습 알고리즘들이 본 개시의 교시를 벗어나지 않으면서 적합하게 사용될 수 있다.

[0069] 또한, 일부 예들에 따르면, 프로세서(126)는 기계-학습 알고리즘을 적용함으로써 물체(110)의 검출된 재질(들)에 기초하여 물체(110)를 분류하도록 구성될 수 있다. 또한, 물체 분류에 사용되는 기계 학습 알고리즘은 인공 신경망을 포함할 수 있다. 그러나, 당업계에 공지된 다른 기계-학습 알고리즘이 본 개시의 교시를 벗어나지 않으면서 적합하게 사용될 수 있다.

[0070] 도 2를 참조하기 전에, 다음은 도 1에 도시된 시스템(100)과 같은, M-LIDAR 시스템을 이용하는 물체의 재질(들)을 검출하기 위한 프로세스의 개요를 반영한다.

- [0071] 전술한 바와 같이, 본 개시의 일 목적은 포인트 클라우드 내의 각 포인트에서 더 많은 데이터를 획득함으로써 물체 재질들의 검출을 가능하게 하고 최신 LIDAR 장치들에 필요한 데이터 처리를 감소시키는 것이다. 기계 학습 알고리즘들과 결합되는 경우, 재질 검출을 가능하게 하는, 이 추가적인 편광 데이터는 자율 주행 차량들, 머신 비전, 의료 애플리케이션(예를 들어, 시각 장애인을 지원하는 장치들), 및 고급 로봇 공학을 포함하지만, 이에 국한되지 않는, 다양한 애플리케이션들에 대한 물체 인식을 단순화한다.
- [0072] 본 개시의 실시예들에 따른 M-LIDAR 시스템은 다음과 같이 동작할 수 있다. 수직으로 배향된 선형 편광기들(예를 들어, 편광기들(114, 116))을 갖는 한 쌍의 검출기들(예를 들어, 검출기들(122, 124))은 복귀 광(return light)(예를 들어, 선형으로 편광된 광 빔(112)의 반사된 버전을 구성하는 광의 하나 이상의 펄스들)을 측정하는데 사용될 수 있다. 확산되어 후방 산란된(diffusely backscattered) 광(예를 들어, 반사된 광(112)) 중 일부는 검출기들(예를 들어, 검출기(122, 124))를 향하고 각각의 검출기 쌍(예를 들어, 검출기 쌍(122/124)) 앞에 배치된 협대역 간섭 필터들(narrow band interference filters)(예를 들어, 선형 편광기들(114, 116))을 통과할 수 있다. 협대역 간섭 필터들은 오직 작은 범위의 파장들(예를 들어, 1-2nm)만 통과하도록 할 수 있어, 주변 조명 또는 외부 소스들로부터의 원하지 않는 노이즈를 줄일 수 있다.
- [0073] 전술한 시스템의 다른 예들에 따르면, 시스템은 물체에 의해 반사, 산란 또는 그렇지 않으면 방출되는 원형으로 및/또는 타원형으로 편광된 광을 검출하고, 기계-학습 처리를 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0074] 이 선택성으로 인해, 본 개시에 따른 M-LIDAR 시스템(예를 들어, 시스템(100))은 다수의 파장들을, 완전히 독립적으로, 동시에 측정하도록 구성될 수 있다. 코히런트(coherent) 광은, 예를 들어, 공동-편광기(co-polarizer) 및/또는 교차-편광기(cross-polarizer)를 사용하여 편광될 수 있다. 물체(예를 들어, 물체(110))로부터 반사될 때 편광의 시프트에 따라, 광의 강도는 편광기들을 통과할 때 어느 정도 감소할 수 있다. 빔 포커싱 광학계(bean focusing optics)(예를 들어, 편광기들(114, 116))는 코히런트되고, 편광된 광(예를 들어, 빔들(118, 120))을 검출 표면(예를 들어, 검출기들(122, 124)의 표면들)을 향해 지향시킬 수 있고, 그리고 되돌아온 광이 이동한 각도(즉, 입사각(들))는 검출 스크린(detection screen)에서 광이 충돌하는 위치에 기초하여 검출될 수 있다.
- [0075] 검출기들이 광을 식별하면, 전파 시간 센서(time-of-flight sensor)(예를 들어, 프로세서(126)에 구현된 전파 시간 센서)는 그 광 펄스의 이동 시간을 기록할 수 있다. 각각의 광 펄스는 공동-편광된 검출기 및 교차-편광된 검출기 모두에 대해 측정된 강도를 가질 수 있으며, 이 두 값들의 조합은 반사 동안 야기된 편광 효과가 정량화될 수 있게 한다.
- [0076] 이 프로세스에 이어, 다음의 파라미터들이 검출될 수 있다: (i) 빔이 조향된 초기 각도(들); (ii) 후방 산란된(backscattered) 광이 복귀하는 각도(들); (iii) 방출에서 검출까지의 전파 시간; 및 (iv) 각 검출기에서의 강도.
- [0077] 검출기들이 상이한 위치들에 있기 때문에, 광의 단일 펄스는 각각의 검출기에 도달하기 위해 약간 상이한 시간이 걸릴 수 있음에 주목한다. 강도와 거리 사이의 관계뿐만 아니라 시스템 기하학적 구조(geometry)를 이해하면, 이 차이는 검출기의 정확하게 조정된 강도에 대하여 보상될 수 있다. 전파 시간 데이터는 소스(예를 들어, 레이저(102))와 물체(예를 들어, 물체(110)) 사이의 거리를 결정하는데 사용되고, 그리고-초기 및 복귀 각도와 관련하여-M-LIDAR 시스템과 관련된, 공간에서 포인트의 특정 위치가 결정될 수 있다. 이러한 보상된 강도 값은 광 펄스가 반사된 재질을 나타내는 정보를 포함할 수 있다. 이러한 값을 사용하여 기계 학습 알고리즘들은 강력하고 포괄적인 재질 인식 능력들을 제공할 수 있다.
- [0078] 광의 펄스를 방출, 물체에서 확산 반사되는 광, 검출기들에 의해 측정되는 반사된 광, 및 소스와 관련된 물체의 결정된 위치의 전술한 프로세스는 초당 1에서 수백만 번의 순서로 반복될 수 있다. 포인트는 매번 생성되며, 이 포인트들은 포인트 클라우드를 생성하기 위하여 동일한 좌표계에 매핑된다.
- [0079] 포인트 클라우드가 생성되면, 하나 이상의 기계 학습 알고리즘들은 포인트들을 물체들로 클러스터링(cluster)하고, (예를 들어, 복수의 물체가 검출되는 경우) 각 물체의 각각의 재질(들)을 궁극적으로 특성화하는데 사용될 수 있다. 포인트들은, 예를 들어, 측정된 강도들의 하나 이상의 값들에 기초하여, 또한, 일부 예들에서, 유사한 포인트들의 근접성(proximity)에 기초하여 클러스터될 수 있다.
- [0080] 클러스터(cluster)가 강도 값들을 사용하여 결정되면, 기계 학습 알고리즘은 포인트들의 해당 클러스터의 재질을 분류하기 위하여 측정된 값을 알려진 재질의 데이터베이스와 상관시키는데 사용될 수 있다. 이 프로세스는 시스템의 모든 클러스터들에 대해 반복될 수 있다. 주변 재질들에 대한 이해는 시스템(예를 들어, 자동차,

로봇, 드론 등에서 구현되는 것과 같은)이 물체들 자체에 대한 보다 빠르고 교육적인 결정을 내릴 수 있게 한다. 여기에서 관련된 위험과 같은 팩터들(factors)은 평가될 수 있고, 이어서 결정들이 내려질 수 있다(예를 들어, 차량보다 먼저 블랙 아이스를 감지하는 시스템의 경우). 시간이 지남에 따라 프로세스가 계속되면, 인식된 변화들 및 개발된 환경들에 대한 더 나은 이해도로부터 더 많은 정보가 추출될 수 있다.

[0081] MST 분류 기술은 또한, 예를 들어, LIDAR에 의한 빠른 MST 분류에 적합한 특정 광학 응답을 갖는 반사된 빔을 생성하기 위하여 매크로 스케일(macroscale), 마이크로 스케일(microscale), 나노 스케일(nanoscale) 또는 분자(molecular) 패턴으로 페인트 또는 텍스처링되는, 검출을 향상시키기 위해 표면이 변형된 물체의 검출에도 적용될 수 있다. 이러한 표면 처리의 예들은 특정 선형, 원형, 또는 타원형 편광으로 반사, 산란 또는 그렇지 않으면 방출된 광을 생성하는 첨가제들(additives)을 함유한 페인트들을 포함한다. 일 예로, 금속 나노/마이크로/매크로 와이어들(wires) 또는 축방향 탄소 나노재료들(axial carbon nanomaterials)이 베이스 페인트에 첨가된다. 정렬 패턴(alignment pattern)은 랜덤, 선형, 나선형(spiral), 헤링-본(herring-bone) 또는 특정 물체의 빠른 식별을 가능하게 하는 특정 편광 시그니처를 생성하는 임의의 다른 패턴일 수 있다. 제한되지 않는 예로서, 이것은 도로들, 도로 표지판들, 장벽들(barriers), 첩다들(pylons), 가드 레일들, 차량들, 자전거들, 의류 및 기타 물체들에 마커들(markers)을 생성하는데 사용될 수 있다.

[0082] MST 분류를 용이하게 하는 표면 처리의 다른 구현은 도로 마커들, 차량들, 자전거들, 의복 등과 같은, 전술한 이러한 물체를 코팅하는데 사용되는 베이스 페인트에 키랄 무기 나노입자들(chiral inorganic nanoparticles)의 첨가를 포함할 수 있다. 키랄 나노입자들은 LIDAR들에 의해 사용되는 빔들에 대해 구체적이고 매우 강한 원형 편광 반응을 나타낼 수 있다. 특정 물체들에 대한 편광 시그니처들(예를 들어, "바-코드들(bar-codes)")을 생성하기 위하여 키랄 나노입자들은 페인트에 특정 비율로 혼합될 수 있다.

[0083] 물체의 편광 태깅(polarization tagging)의 다른 예는 특정 편광 응답을 생성하는 표면 텍스처링을 사용하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 텍스처링의 일 예는 특정 기하학적 특성들을 갖는 금속, 반도체, 절연 또는 세라믹 나노입자들의 나노 스케일 패턴들을 생성하여 LIDAR들에서 레이저에 대해 정의된 편광 응답을 생성하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 패턴의 두 가지 예들은 (a) 물체에서 반사, 산란 또는 방출된 광의 선형 편광을 초래하는 선형 나노 스케일 또는 마이크로 스케일 표면 특징들 및 (b) 결과적으로 특정 키랄성이 발생하는 금속 표면들의 평면 외 돌출 키랄 패턴들 및 물체에서 반사, 산란 또는 방출된 광의 원형 편광을 포함한다.

[0084] 일부 예들에 따르면, 전술한 시스템 및 방법은 자율 주행 차량들, 기계 학습, 의료 응용들, 및 첨단 로봇 공학에 사용하기 위한 재질들을 정확하게 인식하기 위해 사용될 수 있다.

[0085] 기존의 종래의 LIDAR 시스템들은 일반적으로 전파 시간 데이터 또는 위상 편이들(phase shifts)을 사용하여 물체와 레이저 소스 사이의 거리의 측정을 통해 주로 동작한다. 이러한 경우들에 있어서, 물체들은 클라우드 내의 포인트들의 배열에서 기하학적 구조들과 패턴들을 기반으로 분류된다. 일부 보다 진보된 LIDAR 포인트 클라우드 분류 방법들은 추가적인 파라미터: 전체 강도(overall intensity)를 사용한다.

[0086] 복귀하는 광 펄스의 신호가 얼마나 강한지에 기초하여, 시스템은 컬러의 차이를 효과적으로 검출할 수 있다. 이 추가적인 데이터의 조각은 포인트 클라우드들 내에서 물체 경계들을 보다 쉽게 인식하여, 모든 포인트들을 분류하는데 필요한 처리량을 줄일 수 있게 한다. 그러나, 자율 주행 차량들과 같은 응용들은 높은 수준의 확실성을 요구할 수 있고, 전체 강도(overall intensity)는 달성할 수 없다. 더욱이, 장거리에서 물체들의 검출은 종래의 LIDAR 시스템들에서 사용되는 타입의 다중 포인트 검출 및 처리보다는 MST 분류의 이점을 이용하는 단일 포인트 검출로 달성될 수 있다.

[0087] 따라서, 본 명세서에 기술된 방법은 현재 물체 인식을 향한 근접 머신 비전을 변경시킨다. 물체의 아이덴티티를 결정하기 위해 기하학 구조, 움직임 및 색상에만 의존하는 대신에, 본 명세서에서 설명된 시스템은 또 다른 파라미터: 편광을 고려한다. 재질 인터페이스에서 반사되면, 광은 편광에 있어서 약간의 변화를 경험한다. 이 편광 변화는 공동-편광된 필터와 교차-편광된 필터 모두를 통과한 후 광의 강도들을 측정함으로써 정량화된다. 이 추가 데이터는 기계 학습 접근 방식들과 쌍을 이루어 클러스터링과, 더 확장하여, 물체 인식 능력들을 크게 향상시킬 수 있다. 전통적인 물체 인식 방법들은 계산 비용이 많이 든다. 본 명세서에 기술된 접근법은 현재의 기하학 구조-기반 접근법보다는 재질-기반 접근법을 사용함으로써 LIDAR에 의해 요구되는 처리 파워(processing power)를 상당히 감소시킬 수 있다.

[0088] 전통적인 거리 측정들에 더하여, 본 시스템에 의해 수집된 편광 데이터는 기계 학습 알고리즘들이 물체가 구성되는 재질(들)을 결정할 수 있게 한다. 현재 LIDAR 시스템들은 주변 환경의 재질들에 대한 인식이나 정보가 부

족하다. 달성되는 경우, 그러한 정보는 상황에 대한 이해를 높이고 보다 스마트한 결정을 내릴 수 있는 맥락(context)을 제공한다. 자율 주행 차량의 경우, 정확하고 시기 적절한 잠재적인 위험들의 감지는 향상된 의사 결정 능력들을 제공하기 때문에 환경에 대한 이러한 향상된 이해는 승객들의 안전을 향상시킬 수 있다.

[0089] 이제 도 2a 및 도 2b로 넘어가면, M-LIDAR 시스템에 통합된 나노-키리가미 나노복합소재 광학 구성요소들(nano-kirigami nanocomposite optic components)을 형성하는데 사용될 수 있는 나노-키리가미 시트들(nano-kirigami sheets)의 주사 전자 현미경(scanning electron microscope; SEM) 이미지들이 도시되어 있다. 도 2a 및 도 2b에 도시된 것과 같은, 광학적으로 활성화된 키리가미 시트들은 본 개시의 일부 예들에 따라, 0.5-5 μ m 길이의 컷 패턴들(cut patterns)을 갖는 초강력 나노스케일 복합소재들(ultra-strong nanoscale composites)로 제조될 수 있다. 특정 측면들에서, 복합소재 재질들(고전도성(highly conductive) 복합소재 재질들을 포함하는)은 "키리가미(kirigami)"로 알려진 고대 일본의 종이 절단(paper cutting) 기술로부터의 개념을 사용하여 수정될 수 있다. 따라서, 본 개시는 복합소재 또는 나노복합소재 재질과 같은, 평면 중합체 재질(planar polymeric material) 상에 네트워크를 생성하는 복수의 컷들(cuts) 또는 노치들(notches)을 사용함으로써 탄성(elasticity)을 설계하기 위한 키리가미 접근법을 제공한다. 이러한 컷들(예를 들어, 중합체 또는 복합소재 재질에서 재질의 한 측면에서 다른 측면으로 연장하는)은, 포토리소그래피(photolithography)와 같은, 하향식 패터닝(top-down patterning) 기술에 의해 중합체 또는 나노 복합소재 재질 내에서 응력들(stresses)을 균일하게 분배하고 제어되지 않은 높은-응력 특이성들(uncontrolled high-stress singularities)을 억제할 수 있다. 이러한 접근법은 예측할 수 없는 국부적인 고장을 방지 할 수 있고, 비-제한적인 예의 방법(by way of non-limiting example)으로서, 경질 시트들(rigid sheets)의 최종 변형률(ultimate strain)을 4 %에서 370 %로 증가시킨다.

[0090] 마이크로스케일 키리가미 패터닝을 사용함으로써, 강성 나노복합소재(stiff nanocomposite sheet) 시트는 높은 신장성(extensibility)을 얻을 수 있다. 또한, 키리가미 컷-패턴 복합소재 시트들은 대부분의 신축성 전도성(stretchable conductive) 재질들과는 대조적으로, 전체 변형 영역에서 전기 전도성(electrical conductance)을 유지한다. 키리가미 구조는 나노복합소재와 같은, 복합소재를 포함할 수 있다. 특정 측면들에서, 키리가미 구조는 적어도 두 개의 층들을 갖는 다층 구조(multilayered structure)일 수 있으며, 적어도 하나의 층은 중합체 재질이다. 중합체 재질은 복합재질 또는 나노복합소재 재질일 수 있다. 복합재질은, 중합체, 고분자 전해질(polyelectrolyte), 또는 다른 매트릭스(matrix)(예를 들어, 셀룰로오스 페이퍼)와 같은, 매트릭스 재질, 및 그 안에 분포된 적어도 하나의 강화(reinforcement) 재질을 포함한다. 특정 측면들에서, 나노복합소재는 특히, 나노입자들(nanoparticles)과 같은, 강화 나노재질을 포함하는 복합소재 재질인, 키리가미 구조에 사용하기에 적합하다. 복합소재는 특정 변형들에서 시트 또는 필름의 형태일 수 있다.

[0091] "나노입자(nanoparticle)"는 다양한 형상들 또는 형태들을 가질 수 있는 고체(solid) 또는 반-고체(semi-solid) 물질이지만, 입자가 약 10 μ m(10,000 nm) 이하인 적어도 하나의 공간 치수(spatial dimension)를 갖는 것을 의미하는 것으로 통상의 기술자에 의해 일반적으로 이해된다. 특정 측면들에서, 나노입자는 약 100 이하, 선택적으로 약 50 이하의, 선택적으로 약 25 이하, 선택적으로 약 20 이하, 선택적으로 약 15 이하, 선택적으로 약 10 이하, 선택적으로 약 5 이하, 및 일부 변형들에서, 약 1과 같은, 상대적으로 낮은 종횡비(aspect ratio; AR)(가장 긴 축의 길이를 성분(component)의 직경으로 나눈 것으로 정의되는)를 가진다. 다른 측면들에서, 튜브 또는 섬유 형상을 갖는 나노입자는 약 100 이상, 선택적으로 약 1,000 이상, 특정 변형들에서, 선택적으로 약 10,000 이상의, 상대적으로 높은 종횡비(AR)를 가진다.

[0092] 특정 변형들에서, 나노입자의 가장 긴 치수는 약 100 nm 이하이다. 특정 실시예들에서, 나노복합소재에 포함시키기 위해 선택된 나노입자들은 전기 전도성 나노복합소재 재질을 생성하는 전기 전도성 나노입자들이다. 나노입자들은 실질적으로 둥근-형상의(round-shaped) 나노입자들일 수 있고, 전술한 것과 같이 낮은 종횡비들을 가지며, 구형(spherical), 회전타원체형(spheroidal), 반구형(hemispherical), 원반형(disk), 구상형(globular), 환형(annular), 토로이드형(toroidal), 원통형(cylindrical), 원판형(discoïd), 돔형(domical), 난형(egg-shaped), 타원형(elliptical), 원형(orbed), 타원형(oval) 등을 포함하는 형태 또는 형상을 갖는다. 특정 바람직한 변형들에서, 나노입자의 형태는 구형(spherical shape)을 갖는다. 대안적으로, 나노입자는, 필라멘트(filament), 섬유(fiber), 막대(rod), 나노튜브(nanotube), 나노스타(nanostar) 또는 나노셸(nanoshell)과 같은, 대안적인 형상을 가질 수 있다. 나노복합소재는 또한 임의의 이러한 나노입자들의 조합들을 포함할 수 있다.

[0093] 또한, 특정 측면들에서, 본 개시에 따라 사용하기에 특히 적합한 나노입자는 약 10 nm 이상 내지 약 100 nm 이하의 입자 크기(존재하는 복수의 나노입자들에 대한 평균 직경)를 갖는다. 전도성 나노입자들은 복수의 형상들을 갖는 금속성(metallic), 반도체성(semiconducting), 세라믹(ceramic) 및/또는 중합체성(polymeric) 나노스

케일 입자들을 포함하는 다양한 전도성 재질들로 형성될 수 있다. 나노입자들은 자성(magnetic) 또는 상자성(paramagnetic) 특성들을 가질 수 있다. 나노입자들은, 탄소(carbon), 그래핀/흑연(graphene/graphite), 산화 그래핀(graphene oxide), 금(gold), 은(silver), 구리(copper), 알루미늄(aluminum), 니켈(nickel), 철(iron), 백금(platinum), 실리콘(silicon), 카드뮴(cadmium), 수은(mercury), 납(lead), 몰리브덴(molybdenum), 철(iron) 및 이들의 합금(alloys) 또는 화합물(compounds)과 같은, 전도성 물질을 포함할 수 있다. 따라서, 적합한 나노입자들은, 산화 그래핀, 그래핀, 금, 은, 구리, 니켈, 철, 탄소, 백금, 실리콘, 시들링 금속들(seedling metals), CdTe, CdSe, CdS, HgTe, HgSe, HgS, PbTe, PbSe, PbS, MoS₂, FeS₂, FeS, FeSe, WO_{3-x} 및 기타 통상의 기술자에게 공지된 다른 유사한 재질들의 나노입자들로 예시될 수 있지만, 이에 제한되지는 않는다. 산화 그래핀은 복합소재에서 보강재(reinforcement)로 사용하기에 특히 적합한 전도성 재질이다. 특정 변형들에서, 나노입자들은 예를 들어, 단일 벽 나노튜브(single walled nanotube; SWNT)들 또는 다중-벽 나노튜브(multi-walled nanotube; MWNT)들과 같은, 탄소 나노튜브들을 포함할 수 있다. SWNT들은 흑연 또는 그래핀의 단일 시트로부터 형성되는 반면, MWNT들은 동심 방식(concentric fashion)으로 배열된 다수의 실린더들(cylinders)을 포함한다. SWNT의 전형적인 직경은 약 0.8 nm 내지 약 2 nm의 범위일 수 있는 반면, MWNT는 100 nm를 초과하는 직경을 가질 수 있다.

[0094] 특정 변형들에서, 나노복합소재는 나노복합소재에서 나노입자들의 총량의 약 1 중량 %(% by weight) 이상 내지 약 97 중량 % 이하, 선택적으로 약 3 중량 % 이상 내지 약 95 중량 % 이하, 선택적으로 약 5 중량 % 이상 내지 약 75 중량 % 이하, 선택적으로 약 7 중량 % 이상 나노복합소재 내 총량의 나노입자의 약 60 중량 % 이하, 선택적으로 약 10 중량 % 이상 내지 약 50 중량 % 이하의 복수의 나노입자들의 총량을 포함할 수 있다. 물론, 복합소재 재질 내의 적절한 양의 나노입자들은 재질 특성들, 여과 임계값들(percolation thresholds), 및 특정 매트릭스 재질 내의 특정 타입의 나노입자에 대한 다른 파라미터들에 의존한다.

[0095] 특정 변형들에서, 나노복합소재는 나노복합소재 내의 매트릭스 재질의 총량의 약 1 중량 % 이상 내지 약 97 중량 % 이하, 선택적으로 약 10 중량 % 내지 약 95 중량 % 이하, 선택적으로 약 15 중량 % 이상 내지 약 90 중량 % 이하, 선택적으로 약 25 중량 % 이상 약 85 중량 % 이하, 선택적으로 약 35 중량 % 이상 내지 약 75 중량 % 이하, 선택적으로 약 40 중량 % 이상 약 70 중량 % 이하의 중합체 매트릭스 재질(polymeric matrix material)의 총량을 포함할 수 있다.

[0096] 특정 변형들에서, 나노복합소재 재질은 복수의 전기 전도성 나노입자들을 포함하고 약 1.5×10^3 S/cm 이상의 전기 전도성을 갖는다. 특정 다른 측면들에서, 나노복합소재 재질은 강화 나노재질로서 복수의 전기 전도성 나노입자들을 포함할 수 있고, 따라서 약 1×10^{-4} Ohm·m 이하의 전기 저항을 가질 수 있다. 특정한 다른 변형들에서, 복수의 나노입자들을 포함하는 전기 전도성 나노복합소재의 임피던스(Z)는 약 1×10^4 Ohms 이하일 수 있다(예를 들어, 1 kHz 주파수에서 측정된 임피던스 값들로 진폭 25 mV의 AC 정현파 신호를 사용하여 측정된).

[0097] 중합체 또는 나노복합소재 재질은 초기 상태(컷 (cut)되기 이전)에서, 시트와 같은, 평면 형태 일 수 있지만, 3차원 구조로 접히거나 형태화되어 커팅 프로세스(cutting process) 후에 구조적 구성요소로서 사용될 수 있다. 예로서, 테셀레이트된 컷 패턴(tessellated cut pattern)을 갖는 표면을 갖는 예시적인 나노복합소재 재질 시트(230)의 일부를 포함하는 구조(220)가 도 10에 도시되어 있다. 시트(230)는 불연속 컷들(discontinuous cuts, 242) 사이의 제1 언컷(uncut) 영역(252)을 정의하는 패턴으로(시트(230)를 통해 연장되어 개구(opening)를 생성하는) 제1 불연속 컷들(242)의 제1 열(232)을 포함한다. 불연속 컷은 시트에 형성된 부분 또는 이산된 컷(discrete cut)으로, 전체 시트가 별도의 작은 시트들 또는 부분들로 분할되지 않고, 원래 치수들(dimensions)로 그대로 유지된다. 다수의 불연속 컷들(242)이 존재하는 경우, 이들 중 적어도 일부는 불연속적이고 서로 연결되어 있지 않으므로, 적어도 하나의 언컷 영역이 불연속 시트들 사이의 브릿지(bridge)로서 시트 상에 유지된다. 많은 컷 패턴들이 가능하지만, 도 10에 도시된 바와 같이 중심 사각형 배열로 직선들의 단순한 키리가미 패턴이 예시적인 패턴으로서 본 명세서에서 사용된다. 제 1 언컷 영역(252)은 길이 "x"를 갖는다. 각각의 불연속 컷 (242)은 길이 "L"을 갖는다.

[0098] 특정 측면들에서, 각각의 불연속 컷(예를 들어, 불연속 컷(242))의 길이는 마이크로-(micro-), 메소-(meso-), 나노-(nano-) 및/또는 매크로(macro) 스케일들일 수 있다. 매크로스케일은 전형적으로 약 500 μ m(0.5 mm) 이상의 치수를 갖는 것으로 간주되는 반면, 메소스케일은 약 1 μ m(1,000 nm) 이상 내지 약 500 μ m(0.5 mm) 이하일 수 있다. 마이크로스케일은 전형적으로 약 100 μ m(0.5 mm) 이하인 것으로 간주되는 반면, 나노 스케일은 전형적으로 약 1 μ m(1,000 nm) 이하이다. 따라서, 종래의 메소스케일, 마이크로 스케일 및 나노스케일 치수들(dimensions)은 중첩되는 것으로 간주될 수 있다. 특정 측면들에서, 각각의 불연속 컷의 길이는

마이크로 스케일, 예를 들어, 약 100 μm (즉, 100,000 nm) 미만, 선택적으로 약 50 μm (즉, 50,000 nm) 미만, 선택적으로 약 10 μm 미만(즉, 10,000 nm), 선택적으로 약 5 μm 이하(즉, 5,000 nm), 및 특정 측면들에서 약 1 μm 이하(즉, 1,000 nm)의 길이일 수 있다. 특정 측면들에서, 불연속 컷(42)은 약 50 μm 미만(즉, 50,000 nm), 선택적으로 약 10 μm 미만(즉, 10,000 nm), 및 선택적으로 약 1 μm 미만(즉, 약 1,000 nm 미만)의 길이를 가질 수 있다.

[0099] 특정 다른 변형들에서, 이들 치수들(dimensions)은 나노 스케일, 예를 들어 약 1 μm (1,000 nm) 이하, 선택적으로 약 500 nm 이하, 및 임의의 변형에서, 선택적으로 약 100 nm 이하의 길이를 갖는 컷으로 적어도 100 배 이상 감소될 수 있다.

[0100] 바람직한 측면들에서, 이들 치수들은 일정하게 유지되지만, "x" 및 "L"은 형성된 패턴에 따라 행들(rows) 내에서 변할 수 있음에 유의해야 한다.

[0101] 제2 불연속 컷들(244)의 제2 열(234)이 또한 시트(230) 상에 패턴화된다. 제2 불연속 컷들(244)은 그들 사이에 제2 언컷 영역(254)을 형성한다. 제3 불연속 컷들(246)의 제3 열(236)도 시트(230) 상에 패턴화된다. 제3 불연속 컷들(246)은 그들 사이에 제3 언컷 영역(256)을 형성한다. 제1 행(232), 제2 행(234) 및 제3 행(236)은 예시적이고 명목상의 목적들로 사용되지만, 알 수 있는 바와 같이, 시트(230) 표면의 테셀레이트된 패턴은 3 개의 별개의 행들(distinct rows)을 초과하는 것에 유의해야 한다. 명칭 "y"에 의해 도시된 바와 같이, 제1 행(232)은 제2 행(234)과 이격되어 있다. 제2 행(234)은 마찬가지로 제3 행(236)과 이격되어 있다. "y"는 행들 사이에서 변할 수 있지만, 특정 양상들에서는, 행들 사이에서 일정하게 유지되는 것을 유의해야 한다. 행들 사이의 이러한 간격(spacing)은 전술한 바와 같이, 마이크로-, 메소-, 나노- 및/또는 매크로 스케일 상에 있을 수 있다.

[0102] 특히, 제1 열(232)의 제1 불연속 컷들(242)은 제2 열(234)의 제2 불연속 컷들(244)로부터("x"로 나타낸 치수/축을 따라) 측면 방향으로 오프셋되어, 테셀레이트된 패턴을 형성한다. 마찬가지로, 제2 열(234)의 제2 불연속 컷들(244)은 제3 열(236)의 제3 불연속 컷들(246)로부터 측면 방향으로 오프셋된다. 따라서, 각각의 각 행의 제1 언컷 영역(252), 제2 언컷 영역(254) 및 제3 언컷 영역(256)은 제1 열(232)로부터, 제2 열(234)을 가로 질러, 제3 열(236)까지 연장되는 구조적 브리지(260)를 형성하도록 협력한다.

[0103] 이와 관련하여, 복수의 불연속 컷들(예를 들어, 242, 244 및 246)를 갖는 패턴화된 테셀레이트된 표면을 갖는 시트(230)는 적어도 하나의 방향으로(예를 들어, "y"또는 "x"로 표시된 치수/축을 따라) 신장될 수 있다. 나노 복합소재로 형성된 시트(230)는 따라서 향상된 변형률(strain)을 포함하여, 특정 유리한 특성들을 나타낸다.

[0104] 다양한 측면들에서, 키리가미 프로세스에 의해 형성된 신축성 다층 중합체 또는 복합소재 재질을 포함하는 광학 장치가 고려된다. "신축성(stretchable)"은 재질들, 구조들, 구성요소들 및 장치들이 파단(fracturing) 또는 다른 기계적 고장 없이 변형을 견딜 수 있음을 의미한다. 신축성 재질들은 신장 가능하므로, 손상, 기계적 고장 또는 성능의 현저한 저하 없이, 적어도 어느 정도, 신장(stretching) 및/또는 압축(compression)될 수 있다.

[0105] "영률(Young 's modulus)"은 주어진 재질에 대한 응력 대 변형의 비(ratio of stress to strain)를 지칭하는 기계적 특성이다. 영률은 다음 식으로 제공될 수 있다:

$$E = \frac{(\text{stress})}{(\text{strain})} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{L_0}{\Delta L} \times \frac{F}{A}$$

[0106]

[0107] 여기서 엔지니어링 응력(engineering stress)은 σ , 인장 변형률(tensile strain)은 ϵ , E는 영률, L_0 는 평형 길이(equilibrium length), ΔL 는 적용된 응력 하의 길이 변화(length change under the applied stress), F는 적용된 힘(force), A는 힘이 적용되는 영역(area)이다.

[0108] 특정 측면들에서, 신축성 복합소재 재질들, 구조들, 구성요소들 및 장치들은 파단(fracturing)없이 약 50 % 이상, 선택적으로 파단없이 약 75 % 이상, 선택적으로 파단없이 약 100 % 이상, 선택적으로 파단없이 약 150 % 이상, 선택적으로 파단없이 약 200 % 이상, 선택적으로 파단없이 약 250 % 이상, 선택적으로 파단없이 약 300 % 이상, 선택적으로 파단없이 약 350 % 이상, 및 특정 실시예들에서, 파단없이 약 370 % 이상의 최대 인장 변형률(maximum tensile strain)을 겪을 수 있다.

[0109] 신축성 재질들은 또한, 신축성에 추가하여, 플렉서블(flexible)일 수 있고, 따라서 하나 이상의 축들을 따라 상당한 신장(elongation), 굴곡(flexing), 굽힘(bending) 또는 다른 변형(deformation)이 가능하다. "플렉서블

(flexible)"이라는 용어는, 재질, 구조 또는 구성요소의 파괴점(failure point)을 나타내는 변형과 같은, 상당한 변형을 유발하는 영구 변형(permanent transformation)을 거치지 않고, 재질, 구조 또는 구성요소가 변형(예를 들어, 구부러진 형태)될 수 있는 능력을 지칭할 수 있다.

[0110] 따라서, 본 개시는 특정 측면들에서, 신축성 중합체 재질을 제공한다. 추가의 측면들에서, 본 개시는 중합체 및 복수의 나노입자들 또는 다른 강화 재질들을 포함하는 신축성 복합소재 재질을 제공한다. 중합체는 탄성중합체의(elastomeric) 또는 열가소성의(thermoplastic) 중합체일 수 있다. 하나의 적합한 중합체는, 비-제한적인 예로서, 폴리 비닐 알콜(PVA)을 포함한다.

[0111] 예를 들어, 특정 재질들의 경우, 본 개시의 특정 측면들에 따라 패턴화된 키리가미 컷들을 갖는 표면을 생성하는 것은 초기 강성 시트들(initially rigid sheets)의 최종 변형(ultimate strain)을 임의의 커팅(cutting) 전 초기의 최종 변형(initial ultimate strain)보다 약 100 % 이상, 선택적으로 약 500 % 이상, 선택적으로 약 1,000 % 이상, 및 특정 변형들에서, 선택적으로 약 9,000 % 이상 증가시킬 수 있다.

[0112] 특히, 사용된 컷 패턴의 기하학적 구조(geometry)에 기초하여 최대 도달 가능 변형률(maximum attainable strains) 또는 팽창 수준(expansion levels)의 광범위가 달성될 수 있다. 따라서 최종 변형은 기하학적 구조에 의해 결정된다. 최종 변형률(% strain)은 최종 달성 가능한 길이 사이의 비율이며, 구조가 파손되기 전의 포인트까지 원래 또는 초기 길이(L_i)에 걸쳐, 늘어난다:

$$\% \text{ strain} = \frac{\Delta L}{L_i} = \frac{L_c - x - 2y}{2y}$$

[0113]

[0114] 여기서 L_c는 컷의 길이이고, x는 불연속 컷들 사이의 간격이며, y는 불연속 컷들의 개별 열들 사이의 거리이다. 따라서, 특정 변형들에서, 본 개시의 특정 측면들에 따라 패턴화된 컷들을 갖는 표면을 가지는, 나노복합소재들과 같은, 중합체 재질들은, 약 100 % 이상, 선택적으로 150 % 이상, 선택적으로 약 200 % 이상, 선택적으로 약 250 % 이상, 선택적으로 약 300 % 이상, 선택적으로 약 350 % 이상, 및 일부 변형들에서, 선택적으로 약 370 % 이상 최종 변형(ultimate strain)을 증가시킬 수 있다. 키리가미 복합소재 재질들 및 이의 제조 방법들에 대한 추가 논의는 관련 부분이 본원에 레퍼런스로 포함된 “Kirigami Patterned Polymeric Materials and Tunable Optic Devices Made Therefrom”의 명칭의 Kotov et al.로 2016 년 4 월 7 일에 출원된 미국출원 일련 번호 15/092,885로서 출원된 미국 공개 번호 2016/0299270에 기재되어있다.

[0115] 특정 측면들에서, 키리가미 나노복합소재는 100 % 신장(stretching) 하에서도 거시적(macroscopic) 길이 스케일에 걸쳐 안정한 주기성(periodicity)을 유지할 수 있는 조정 가능한 광학 격자 구조들(tunable optical grating structures)을 형성할 수 있다. 회절 패턴들(diffraction patterns)에서의 횡 방향 간격(lateral spacing)은 신장량과 음의 상관 관계를 나타내며, 이는 회절 패턴의 치수들(dimensions)과 대응하는 격자의 간격 사이의 상호 관계와 일치한다. 회절 패턴들에서의 종 방향 간격(longitudinal spacing)은 횡 방향 스트레치(stretch)에 의한 종 방향 주기성에서의 비교적 작은 변화들로 인해, 스트레치 양에 대한 의존성이 적다. 회절 패턴들은 또한 들어오는 레이저의 파장에 상당한 의존성을 보인다. 중합체성 신축성 조정 가능한 광학 격자 구조들(polymeric stretchable tunable optic grating structures)은 신축성을 갖는 탄성 거동을 나타내고, 신축성이 주기적 기계적 작동(cyclic mechanical actuation) 하에서 제거됨에 따라 이완된(relaxed, 즉, 비-신장된(un-stretched)) 기하학적 구조로 자연스롭게(spontaneously) 회복(recover)된다. 회절된 빔들은 중합체성 신축성 조정 가능한 광학 격자 구조들의 변형과 일치하여(consistently) 변화하는 명확한 패턴들을 형성한다. 이 동작은 동적의(dynamic), 파장-의존적(wavelength-dependent) 빔 조향에 탁월한 성능을 나타낸다.

[0116] 따라서, 3 차원(3D) 키리가미 나노복합소재는 도 2a 및 도 2b에 도시된 바와 같이, 평면 외 표면 특징들(out-of-plane surface features)로 인해 전통적인 반사 및 굴절 광학계(reflective and refractive optics)에 새로운 차원을 제공한다. 예를 들어, 재구성 가능한 핀들(fins) 및 슬릿들(slits)은 키리가미 컷 시트들의 가역적 팽창(reversible expansion)(또는 변형 수준)에 의해 광을 효율적으로 변조(modulation)할 수 있도록 하는 도 2a 및 도 2b에 도시된 나노-키리가미 시트들에 도시된 컷들에 의해 형성된다. 결과적으로, 도 2a 및 도 2b에 도시된 것과 같은 나노-키리가미 시트들은 여기에 설명된 M-LIDAR 시스템의 하나 이상의 광학 구성요소들에 통합될 수 있다. 보다 구체적으로, 이들 광, 얇고 저렴한 광학 구성요소들(light, thin and inexpensive optical components)은, 예를 들어, 빔 조향 및/또는 편광 변조를 달성하기 위해 광 스펙트럼의 적색 및 적외선 부분에

사용될 수 있다. 일부 구현들에 따르면, 도 2a 및 도 2b에 도시된 타입의 키리가미 나노복합소재들은 도 1에서 설명된 시스템의 빔 조향기(106), s-편광 선형 편광기(114) 및/또는 p-편광 선형 편광기(116)를 형성하는데 이용될 수 있다.

[0117] 특정 변형들에서, 키리가미 나노복합소재들은 울트라스트롱(ultrastrong) LbL(layer-by-layer) 조립된 나노복합소재들로 제조된 키리가미 광학 모듈들을 형성할 수 있다. 이러한 나노복합소재 재질들은, 예를 들어, 약 650 MPa의 강도 및 약 350 GPa의 탄성 계수(elastic modulus, E)를 가지며, 예를 들어, 탁월한 기계적 특성들, 환경 견고성(environmental robustness) 및 동작들의 넓은 온도 범위(예를 들어, -40° 에서 $+40^{\circ}$ C까지), 및 입증된 확장성(scalability)을 제공한다. LbL 복합소재들의 높은 탄성은 재구성(reconfigurable)이 가능하게 하고, 그들의 고온 복원력(high temperature resilience)은 다양한 타입의 액추에이터들 및 CMOS 호환성(compatibility)을 통합할 수 있다. 특정 측면들에서, 나노복합소재 재질은, 예를 들어, 레이저 소스가 1550 nm의 파장을 갖는 1550 nm 광자들(photons)인, 광자들의 목표 파장과 상호 작용을 향상시키기 위해 티타늄 질화물(titanium nitride), 금 등과 같은 플라즈몬(plasmonic) 필름들(films)로 코팅될 수 있다.

[0118] 특정 다른 변형들에서, 키리가미 나노복합소재 시트들은 그 안에 분포되거나 그 위에 코팅된 자성 재질들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 니켈 층은 울트라-스트롱(ultra-strong) 복합소재 상에 증착(deposited)될 수 있다. 니켈 층은 자성 및 반사 층으로서 작용할 수 있어서, 마젠토액티브(magentaactive) 키리가미 요소를 제공한다. 따라서, 키리가미 유닛들은 LIDAR 구성요소들과 직접적으로 통합될 수 있고 빔 조향기들(예를 들어, 1 차 및 2 차 회절 빔들을 사용하여) 또는 편광기들(예를 들어, 1 차 회절 빔들을 사용하여)로서 기능할 수 있다.

[0119] 이제 도 3a 내지 도 3c를 참조하면, 나노-키리가미-기반(nano-kirigami-based) 그래핀 복합소재들로부터의 레이저 회절 패턴들을 나타내는 이미지들이 도시되어 있다. 참고로, 도 3a 내지 도 3c의 우측 상단 코너들에 도시된 스케일 바들(scale bars)은 25 mm를 나타낸다. 도 3a는 0 % 변형률(이완된 상태)에 대한 나노-키리가미-기반 그래핀 복합소재들에 대한 레이저 회절 패턴을 도시한다. 도 3b는 50 % 변형률에 대한 나노-키리가미-기반 그래핀 복합소재들에 대한 레이저 회절 패턴을 도시한다. 마지막으로, 도 3c는 100 % 변형률에 대한 나노-키리가미-기반 그래핀 복합소재들로부터의 레이저 회절 패턴을 도시한다.

[0120] LIDAR 빔들의 편광 변조 및 되돌아온 광자들의 편광 분석은, 예를 들어, 자동차 안전 및 로봇 비전 장치들에 현재 부족한 물체 재질에 관한 정보의 획득을 가능하게 한다. 기계 학습(Machine Learning; ML) 알고리즘들은 다양한 재질들을 인식하도록 훈련될 수 있으며, 고유한 편광 시그니처들에 기반한 MST 분류가 달성될 수 있다. 재질에 의한 물체들의 MST 분류는, 다른 장점들 중에서도, 물체 인식을 가속화하고 주변의 기계 인식 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0121] 도 4의 4a 내지 4d의 세부 사항으로 돌아가기 전에, 본 개시의 일부 예들에 따라, 비-나노-키리가미 광학 요소들(non-nano-kirigami optical elements)을 이용하여, 재질 검출 및 물체 분류의 방법들이 수행될 수 있는 도 1의 시스템(100)과 대응하는 방법들에 주목한다. 실제로, 이러한 비-나노-키리가미 광학 요소-기반 M-LIDAR 시스템들은 특정 응용(예를 들어, 크기 및 무게가 주요 관심사가 아닌 경우)에 적합할 수 있다. 따라서, 나노-키리가미 광학 요소들이 이용되지 않는 현재 개시된 M-LIDAR 시스템의 구현들, (i) IR 편광기들; (ii) 빔 스플리터들(beam splitters); (iii) CdS, ZnS, 실리콘으로 제조된 렌즈들; 및/또는 (iv) 유사하게 적합한 광학 요소들과 같은 다른 전통적 광학 구성 요소들은 본 명세서의 교시를 벗어나지 않으면서 동일하게 사용될 수 있다. 그러나, 나노-키리가미 광학 요소들은 일반적으로 가볍고 작은 이점이 있는 M-LIDAR 시스템들에 선호된다.

[0122] 이를 배경으로 하여, 도 4의 4a 내지 4d는 빔 스플리터 또는 선형 편광기와 같은, 나노-키리가미-기반 광학 요소를 제조하기 위한 단계별 리소그래피-타입(lithographic-type) 프로세스를 도시한다. 일 예에 따르면, 도 4의 4a 내지 4d에 도시된 나노-키리가미-기반 광학 요소를 제조하기 위한 프로세스는 진공 보조 여과(vacuum assisted filtration; VAF)를 사용하는 것을 포함할 수 있으며, 이에 의해 나노복합소재 재질은 리소그래피 패터닝에 적합한 강성(stiff)(예를 들어, 플라스틱) 기판(substrate) 상에 층으로서 증착(deposited)될 수 있다. 전술한 바와 같이, 미국 공개 번호 2016/0299270은 진공 보조 여과(VAF) 및 층별(LBL) 증착 프로세스 기술들을 포함하여, 이러한 나노복합소재 재질들을 제조하는 방법을 기술한다. 이 프로세스에 따라 제조된 나노 복합소재들은 높은 인성(toughness)과 강한 광 흡수(absorption)를 나타내는 것으로 알려져 있다.

[0123] 도 4의 4a는 나노복합소재 층(404a)이 VAF, 층별 증착(LBL), 또는 당 업계에 공지된 임의의 다른 적절한 증착 방법을 통해 기판(402) 상에 증착되는 프로세스(400)의 제1 단계의 단순화된 예시이다. 도 4의 4b는 도 4의 나노복합소재(404a) 이후, 예를 들어, 기판(402) 위에, 포토리소그래픽 커팅(photolithographic cutting) 프로세스를 통해, 나노복합소재 층(404a)의 선택된 영역들을 통해 패턴화된 키리가미 나노복합소재(404b)를 생성하도

록 패턴화되는 프로세스(400)의 제2 단계를 도시한다. 도 4c는 컷 또는 패턴화된 키리가미 나노복합소재(404b)가 기관(402)으로부터 방출(released)(예를 들어, 들어 올림(lifted))되는 프로세스(400)의 제3 단계를 도시한다. 도 4d는 패턴닝된 키리가미 나노복합소재(408)의 적어도 일부가, 다른 것들 중, 빔 조향 및/또는 변조를 위해, 구성된 서브어셈블리(subassembly)에 통합된 프로세스(400)의 최종 단계를 도시한다.

[0124] 도 4의 4d에 도시된 서브어셈블리는 패턴닝된 키리가미 나노복합소재 부분(408), 미세가공된(microfabricated) 실리콘 층(406) 하우징, 및 하나 이상의 구부러진 빔 액추에이터들(beam actuators, 410)을 포함한다. 양면 화살표들(412)은 액추에이터(410) 운동의 잠재적인 방향을 도시한다. 아래에 추가로 상세하게 논의되는 바와 같이, 굽은 빔 액추에이터들(410)은, 예를 들어, 키리가미 나노복합소재 부분(408)의 패턴을 구성하는 다양한 슬릿들(slits) 및/또는 핀들(fins)의 크기 및/또는 배향을 조정하기 위해, 키리가미 나노복합소재 부분(408)에 가역적 변형(reversible strain)을 가하도록 구성될 수 있다. 따라서, 키리가미 나노복합소재 부분(408)은 0 % 내지 100 % 범위의 변형 레벨에서 가역적으로 신장될 수 있다.

[0125] 도 4의 4a 내지 4d에 도시된 프로세스(400)의 패턴닝 측면(patterning aspect)에 대한 보다 상세한 논의는 다음과 같다. 키리가미 투과성 광학 모듈들의 제조는 도 4의 4a 내지 4d에 도시된 단계별 다이어그램을 따를 수 있다. 가시 및 IR 범위에서 LIDAR 레이저 빔들의 변조는, 예를 들어, 0.1-1cm 폭으로 생성된 3 μ m의 피쳐 크기(feature sizes)를 요구할 수 있다. 이러한 패턴들의 실현 가능성은 이미 입증되었다. 패턴들의 2D 기하학적 구조(geometry)는 신장되거나 변형될 때 2D 내지 3D 재구성의 컴퓨터 시뮬레이션들에 기초하여 선택될 수 있다. 3D 기하학적 구조는 광학 특성들, 예를 들어, 바람직한 파장 범위의 편광 변조를 위해 모델링될 수 있다. 포토리소그래피(Photolithography)는 전술한 VAF 복합체들(VAF composites)의 화학적 성질(chemistry)에 의해 가능하게 되는, 프라이머리 패턴닝 툴(primary patterning tool)일 수 있다. 패턴닝 프로토콜(patterning protocol)은 현재 대규모 미세제조(microfabrication)에 사용되는 것과 실질적으로 유사할 수 있다. 예를 들어, 유리 기판들 상의 VAF 복합체들은 상업적인 종래의 마스크 정렬기(mask aligner)를 사용하여 포토 패턴닝 후에 표준 SU8 포토레지스트(photoresist)에 의해 코팅될 수 있다. 제조된 키리가미 패턴들의 예는 도 5a 내지 도 5c에 도시되고, 이하에서 보다 상세히 설명된다.

[0126] 키리가미 광학 요소들은, 예를 들어, 도 4의 4d에 도시된 것과 같이, 키리가미 나노복합소재 시트들을 상업적인 마이크로전자기계 액추에이터들(commercial microelectromechanical actuators)과 통합함으로써 제조될 수 있다. 마이크로전자기계 시스템들(microelectromechanical systems; MEMS) 키리가미 유닛들은 LIDAR 구성 요소들과 직접적으로 통합될 수 있고 빔 조향기들(예를 들어, 1 차 및 2 차 회절 빔들을 사용하여) 및/또는 편광기들(예를 들어, 1 차 회절 빔들을 사용하여)로서 작용할 수 있다. 거의 무한한 수의 키리가미 패턴들과 다양한 2D에서 3D로의 재구성들을 고려하여, 빔 조향 및 편광 기능들을 갖는 키리가미 광학 요소들, 및 다른 광학 기능들이 본 명세서의 교시 내에서 고려된다.

[0127] 도 5a 내지 도 5c를 간략히 참조하면, 예시적인 키리가미 광학 요소들의 다양한 이미지들이 도시되어 있다. 예를 들어, 도 5a는 본 명세서에 기술된 키리가미 광학 요소들과 같은, 도 4의 4a 내지 4d와 관련하여 전술한 프로세스(400)에 따라 웨이퍼 인 라인(wafer in line) 상에서 제조되는, 키리가미 광학 요소의 이미지이다. 도 5b는 0 % 변형률 미만(under)에서 도 5a의 키리가미 광학 요소의 SEM 이미지이다. 마지막으로, 도 5c는 100 % 변형률 미만에서 도 5a의 키리가미 광학 요소의 SEM 이미지이다. 도 5b 및 도 5c의 우측 상단 코너에 도시된 스케일 바들은 50 μ m이다.

[0128] 키리가미 투과성(transmissive) 또는 반사성 광학 모듈들/요소들을 제조하기 위해 포토리소그래피 기술들이 사용될 수 있다. 예로서, 약 1550 nm의 파장을 갖는 LIDAR 레이저 빔들의 변조는, 도 5a 내지 도 5c의 전류 패턴들에 의해 예시된 약 0.1 cm 이상 내지 약 1 cm 이하의 폭 범위에 걸쳐 생성된, 약 1 μ m 이상 내지 약 2 μ m 이하의 피쳐 크기(feature sizes)를 가질 수 있다. 패턴들의 2차원(2D) 기하학적 구조는, 신장되는 경우, 2D에서 3차원(3D) 재구성에 대한 컴퓨터 시뮬레이션들을 기반으로 선택될 수 있다. 3D 기하학적 구조는 광학 특성들, 예를 들어, 바람직한 파장 범위의 편광 변조를 위해 모델링될 수 있다.

[0129] 포토리소그래피는 키리가미 광학 요소들을 형성하기 위해 LbL 복합체들과 조합하여 사용될 수 있는 주요 패턴닝 기술이다. 일 예에서, 패턴닝 프로토콜은 상업적인 마스크 정렬기(commercial mask aligner)(UM Lurie Nanofabrication Facility, LNF)를 사용하여 포토 패턴닝 후 표준 SU-8 포토레지스트(photoresist)로 코팅된 유리 기판 상에 LbL 복합체를 제공하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 프로세스는 도 5a 내지 도 5c에 도시된 것과 같은 키리가미 요소들을 형성할 수 있다..

[0130] 자율 주행 차량과 같은, 차량에 사용하기 위한 다른 대표적인 단순화된 소형(compact) M-LIDAR 시스템(300)이,

도 11에 제공된다. M-LIDAR 시스템(300)의 구성요소들이 도 1의 M-LIDAR 시스템(100)의 구성요소와 유사한 정도까지는, 간략화를 위해, 그들의 기능은 여기서 반복되지 않을 것이다. M-LIDAR 시스템(300)은 레이저(310), 빔 조향기(312), 하나 이상의 편광기들(도시되지는 않았지만, 도 1과 관련하여 설명된 제1 편광기(114) 및 제2 편광기(116)와 유사함), 및 프로세서(도시되지는 않았지만, 도 1에 도시된 프로세서(126)와 유사함)를 포함할 수 있다. M-LIDAR 시스템(300)에서, 펄스 발생기(pulse generator, 312)는 레이저(310)에 연결되고 편광 또는 비편광된 제1 광 펄스(314) 및 편광 또는 비편광된 제2 광 펄스(316)를 발생시킨다. 펄스 발생기(312)는 오실로스코프(324)에 연결된다. 레이저(310)에 의해 발생된 제1 광 펄스(314) 및 제2 광 펄스(316)는 빔 조향기(318)를 향하여 지향되고, 특정 측면들에서, 전술한 것과 같은 키리가미-기반 빔 조향기일 수 있다. 빔 조향기(318)는 서보-모터/아두이노(servo-motor/Arduino, 352)에 연결되고 제어된다. 서보-모터/아두이노(352)는, 비-제한적인 예로서, MATLAB™ 제어할 수 있는 제어기(controller, 350)에 연결된다. 전술한 바와 같이, 빔 조향기(318)는 전술한 것과 같이, 비-제한적인 예로서 제1 광 펄스(314) 및 제2 광 펄스(316) 중 하나 또는 둘 다를 편광, 수정(modify), 분할(split) 및/또는 변조할 수 있다. 이어서, 제1 광 펄스(314) 및 제2 광 펄스(316)는 검출될 물체(340)를 향해 지향된다.

[0131] 제1 광 펄스(314) 및 제2 광 펄스(316)는 물체(110)로부터 확산 반사될 수 있다. 하나 이상의 광의 펄스들은 집합적으로 제1 광 펄스(314) 및 제2 광 펄스(316)의 반사 버전(reflected version)을 구성하는 제1 반사 빔(reflected beam, 342) 및 제2 반사 빔(344)을 형성한다. 일부 예들에 따르면, 제1 반사 빔(342) 및 제2 반사 빔(344)은 제1 광 펄스(314) 및 제2 광 펄스(316)와 상이한 편광을 가질 수 있다(즉, 물체(314)에서 반사 전에). 물체(340)로부터 반사된 후, 제1 반사 빔(342) 및 제2 반사 빔(344)은 제1 반사 빔(342) 및 제2 반사 빔(344)을 빔 스플리터(360)를 향하여 재지향(redirect)시키는 축외 포물선 반사기/미러(330)를 지향될 수 있다.

[0132] 따라서, 제1 반사 빔(342)은 제1 검출기(362) 및 제2 검출기(364) 둘 모두로 분할되고 지향된다. 제1 검출기(362) 및 제2 검출기(364)는 오실로스코프(324)에 연결될 수 있다. 제1 검출기(362)는 제1 반사 광 빔(342)을 형성하는 하나 이상의 반사된 s-편광 광 펄스들의 강도를 검출하도록 구성된 s-편광 검출기일 수 있다. 마찬가지로, 제2 검출기(364)는 제1 반사 광 빔(342)을 형성하는 하나 이상의 반사된 p-편광 광 펄스들의 강도를 검출하도록 구성된 p-편광 검출기일 수 있다. 빔 스플리터(360)를 통과 한 후, 제2 반사된 광 빔(344)은 제1 검출기(362) 및 제2 검출기(364) 모두로 지향되고, 여기서 s-편광 광 펄스들 및/또는 p-편광 광 펄스들의 세기는 제2 반사된 광 빔(344)으로부터 검출될 수 있다. 제1 검출기(362) 및 제2 검출기(364)는 또한, 전술한 것과 같이 그로부터 수신된 정보를 분석하는 프로세서(도시되지는 않음)에 연결될 수 있다. M-LIDAR 시스템(300)은 콤팩트하고, 비-제한적인 예로서, 약 7 인치 x 12 인치의 면적(dimensions)을 가질 수 있어, 차량에 장착하기에 특히 적합하다.

[0133] 전술한 바와 같이, MST 분류는 포인트 클라우드들(point clouds)에 추가된 편광 분류기들(polarization classifiers)과 함께 광원-기반 MST 분류의 사용을 통하여 본 개시의 예들에 따라 실현될 수 있다. 일 예에서, 포인트 클라우드의 각각의 3D 범위 측정에 대해, 반환된 광자들의 선형/원형 편광이 획득될 수 있다. 또한, 표면 특성들과 편광 상태 사이의 관계는, 어떠한 경우에, 표면 거칠기(surface roughness)로 인해 잡음이 있을 수 있지만, 국소 곡률(local curvature) 및 국소 산란 조건들(local scattering conditions)은 반환된 광자들의 편광 상태에 기초하여 직접 이루어질 수 있다.

[0134] 이제 도 6을 참조하면, 반사된 레이저 광의 MST 편광 분석은 도 6의 혼동 행렬(confusion matrix)을 생성하기 위하여 신경망 알고리즘으로 AI 데이터 처리를 사용하여 수행된다. 보다 구체적으로, 혼동 행렬은 s 및 p-편광된 광 빔들(도 1에 도시된 s 및 p-편광된 광 빔들(118, 120)과 같은)의 분석에 기초하여 생성된다. x-축을 따라, 본 명세서에 설명된 M-LIDAR 시스템 및 처리 방법들에 적용되는 테스트 물체를 위한 예측된 타입들의 재질들이 식별된다. y 축을 따라, 테스트 물체의 실제 타입들의 재질들이 식별된다. 다양한 재질 타입들에 대한 AI 알고리즘의 다양한 예측 정확도는 예측된 재질 타입들과 실제 재질 타입들의 교차점들(intersections)에 반영된다. 도시된 바와 같이, M-LIDAR 시스템의 재질들 검출 기능은 이들 편광된 광 빔들을 사용하여 높은 정확도(일부 경우 99 % 이상 포함)로 달성될 수 있다.

[0135] 이제 도 7을 참조하면, 다른 재질들과 비교하여 모의 블랙 아이스의 검출을 위한 혼동 행렬이 도시되어 있다. 다시, M-LIDAR 시스템의 재질들 검출 기능은 높은 정확도(일부 경우 100 % 포함)로 달성될 수 있다.

[0136] 도 8은, 예를 들어, 블랙 아이스 검출(예를 들어, 차량등에 설치될 때)에 사용하기 위한 M-LIDAR 장치(800)의 일례를 도시한다. 본 예는 블랙-아이스 검출 용도에 초점을 맞추고 있지만, 통상의 기술자는 장치(800)가 블랙 아이스 검출에 제한되지 않으며, 자율 주행 차량들을 포함하여, 광범위한 재질 감지 및 물체 분류 용도들에 적

합하게 사용될 수 있음을 인식할 것이다. 장치(800)는 하우징(802), 이미터(emitter, 804)(즉, 레이저 광 빔을 구성하는 광 펄스들을 방출하기 위한 이미터), 제1 검출기(806a), 및 제2 검출기(806b)를 포함한다. 일 예에 따르면, 검출기들(806a, 806b) 중 하나 이상은 직교 편광 분석기들(orthogonal polarization analyzers)을 포함한다. 또한, 일 예에 따르면, 이미터(804), 검출기(806a) 및/또는 검출기(806b) 중 하나 이상은 키리가미 광학 요소들로 제조될 수 있다. 장치의 주요 예는 자동차 내에서 사용되지만, 장치는, 예를 들어, 드론 등과 같은, 항공기 내에서도 사용될 수 있다.

[0137] 이제 도 9를 참조하면, M-LIDAR 시스템을 사용하여 물체 분류를 수행하는 방법(900)을 나타내는 흐름도가 제공된다. 방법(900)은 비편광된 광 펄스가 생성되는 902에서 시작한다. 904에서, 선형으로 편광된 광 펄스를 생성하기 위하여 비편광된 광 펄스가 선형으로 편광된다. 선형으로 편광된 광 펄스는 반사된 선형으로 편광된 광 펄스를 생성하기 위하여 물체를 향해 방출되고 물체에서 반사될 수 있다. 906에서, 반사된 선형으로 편광된 광 펄스는 반사된 s-편광 광 펄스를 생성하기 위해 s-편광에 대해 선형으로 편광될 수 있다.

[0138] 908에서, 반사된 선형으로 편광된 광 펄스는 p-편광 광 펄스를 생성하기 위해 p-편광에 대해 선형으로 편광될 수 있다. 910에서, 반사된 s-편광 광 펄스의 세기가 검출될 수 있다. 912에서, 반사된 p-편광 광 펄스의 세기가 검출될 수 있다. 914에서, 반사된 s-편광 광 펄스의 강도 및 반사된 p-편광 광 펄스의 강도에 기초하여 물체의 적어도 하나의 재질이 검출될 수 있다. 마지막으로, 916에서, 물체는 검출된 적어도 하나의 재질에 기초하여 분류될 수 있다. 916 이후에, 방법(900)은 종료된다.

[0139] 마지막으로, 일부 예들에 따르면, 키리가미 패턴들은 물체들의 편광-기반 검출을 위한 MST 태그들로서 사용될 수 있다. 대량-생산된 키리가미 구성요소들을 도로 표지판들(road signs), 의류(clothing), 마커들(markers), 차량들, 가정용품(household items) 또는 기타 적합한 물체들에 특정 편광 반응을 부여하기 위하여 패턴트들에 추가될 수도 있다.

[0140] 특정 변형들에서, 본 개시의 LIDAR 시스템들은 투과 및 반사된 빔들의 변조(modulation)를 제공할 수 있다. Kirigami-기반 광학 요소들은 LIDAR의 이미터 측에 추가되어 빔 조향기들로서 역할을 하므로, 기존의 부피가 큰 회전 또는 액정 위상 어레이 빔 조향기들을 대체할 수 있다. 자기 작동 모듈들은 1550nm 레이저 소스와 통합될 수 있다. 빔 조향기들의 벌크를 줄이기 위해, 광섬유(fiber optics)가 모듈과 직접적으로 연결될 수 있다.

[0141] 특정 변형들에서, 본 개시에 의해 제공되는 LIDAR 시스템들은 강수 및/또는 습한 대기 조건들에서 강화된 검출을 제공할 수 있다. 예를 들어, 본 개시에 의해 고려되는 LIDAR 시스템들은, 비-제한적인 예로써, 약 1550 nm의 파장을 갖는 레이저를 사용함으로써 낮은 가시성 조건들에서 사용하기에 특히 적합 할 수 있으며, 이는 안개, 비 및 눈에 동반되는 낮은 가시성 조건들을 포함하는, 악천후 조건들 동안 향상된 검출 및 성능을 제공한다. 이러한 LIDAR 시스템들은, 예를 들어, 최대 200 미터의 장거리 경고(long-range warnings)를 가능하게 하며, 이는 고속도로 주행 조건들에 특히 유용하다. 종래의 LIDAR들은 약 900nm의 파장을 갖는 레이저를 사용하는데, 이는 실리콘-기반 검출기들에 편리하다. 그러나, 이러한 종래의 레이저 빔들은 습한 대기 조건들에서 비교적 강한 산란을 경험한다. 1550nm로 작동하는 LIDAR들은 습한 공기의 높은 투명성(transparency)을 이용할 수 있으며, 이는 근접 경고에서 보조 운전 및 완전 자율 주행 방식(full autonomous ride modality)에 이르기까지 모든 수준의 자율성에 유리하다. 그러나, 이러한 LIDAR들은 근적외선 광학계(near-infra-red optics)의 높은 중량 및 비용으로 인해 부피가 크고 비쌀 수 있다. 본 개시의 특정 측면들에 따르면, 키리가미-기반 광학 요소들은, 예를 들어, 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 패턴화된 키리가미 시트들에 대해 가능한 공간-전하(space-charge) 및 서브 파장(subwavelength) 효과의 이점을 이용하여 이 문제를 해결할 수 있다. 도 3a 및 3b에 도시된 것과 같이, 이러한 키리가미 시트들은 재구성 가능한 키리가미 시트들의 평면 외(out-of-plane) 패턴들을 사용하여 근적외선 광 레이저들을 효과적으로 변조 및 빔 조향할 수 있다. 이러한 키리가미-기반 광학 요소들을 통합한 1550nm 빔 조향 장치는 얇고, 가벼우며, 저렴한 고체(solid-state) LIDAR로 사용될 수 있다. 또한, 키리가미 기술의 다양성은, 예를 들어, 특정 차량들에 맞게 LIDAR 시스템을 커스터마이징(customizing) 및/또는 자동차 부품들의 상이한 곡률의 표면들에 적용하는 등 특정 응용 분야들에 맞게 적합한 패턴들을 조정하도록 할 수 있다.

[0142] 특정 측면들에서, 본 개시는 지연속도(latency)에 대한 정확도를 희생시키지 않으면서 2- 단계 물체 제안 및 검출 방법들을 사용함으로써, 비교적 빠른 검출을 갖는 LIDAR 시스템들을 제공할 수 있다. 예를 들어, 분류 모델들(classification models)에 대한 개선된 모델 정확도(accuracy) 및 일반화가능성(generalizability)은 데이터에 재질 차원(material dimension)을 추가하여 정적 물체 분류기들을 향상시키는 것을 포함할 수 있다. 플라 스틱, 목재 및 벽돌(brick)이 포함된 재질 지문(material fingerprints)이 있는 물체들은 움직일 가능성이 거의 없지만, 금속 또는 식물 지문이 있는 물체들은 보행자들과 차량들일 가능성이 높다. 또한, 재질 차원이 시나리

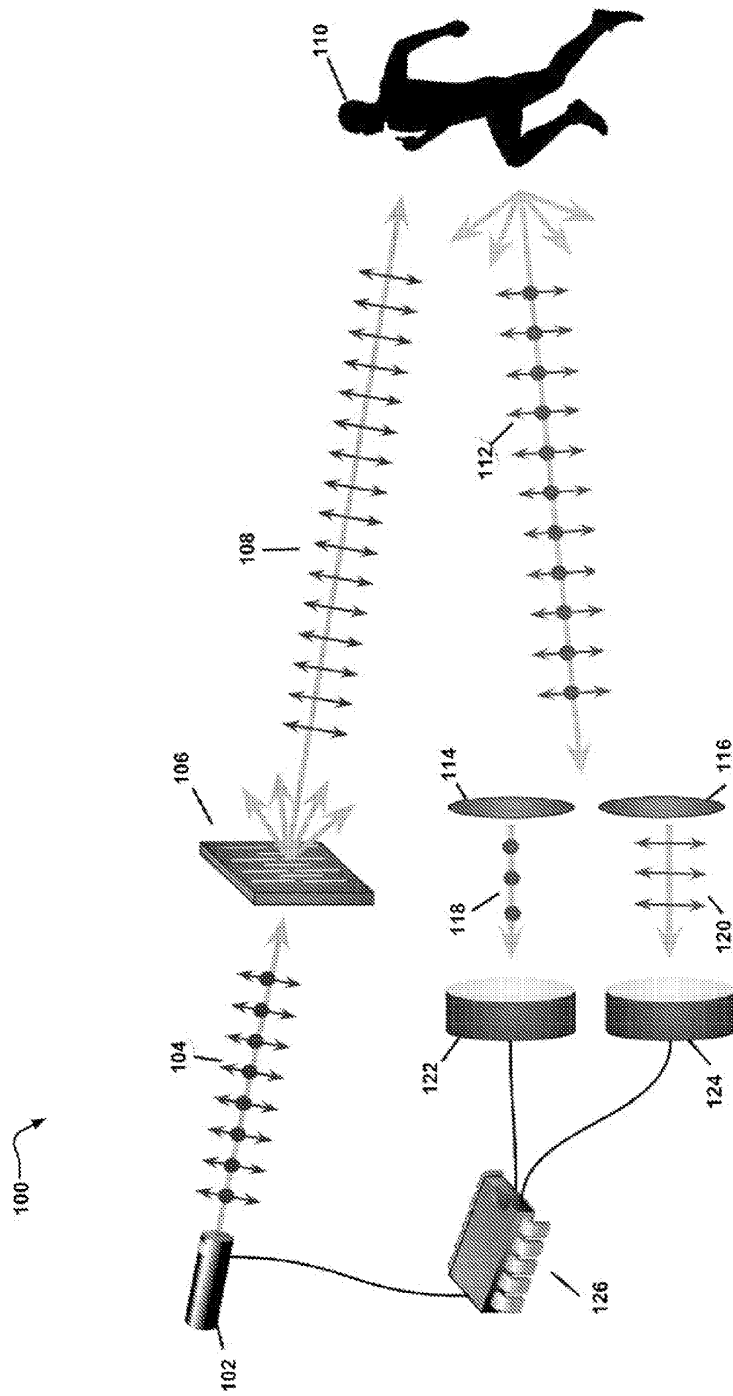
오 변형들에 대해 보다 강력하기 때문에, 이 모델들은 복잡한 축제 장식들이 있는 거리들 및 건설 현장들과 같이, 희귀하고 복잡한 경우들에 더 잘 일반화된다. 따라서, 재질 지문은 트래킹(tracking) 및 자율 주행 차량 맵들에 영향을 주는 포인트 클라우드 연관 모델들의 모델 정확도를 크게 향상시킨다. 예를 들어, 보행자의 직물 또는 피부 특징들과 함께 아래 쪽에 금속 재질들을 갖는, 자전거를 타는 보행자가 포인트 클라우드들로 픽업(picked up)될 수 있기 때문에, 포인트 클라우드들의 재질 차원은 탐지 및 분류를 훨씬 더 안정적으로 만들 수 있다. 그러면 자율 주행 시스템들이 순수한 보행자로부터 이를 쉽게 식별할 수 있다. 또한, 물체의 재질 지문은 시스템이 점 포인트 클라우드들을 올바른 물체 분류와 쉽게 연결하여, 정확하고 일관된 복합소재-물체(composite-object) 분류를 유지하는 데 도움이 된다.

[0143] 따라서 본 개시는 재질 타입들을 구별하는 능력을 포함하여, 개선된 물체 인식을 갖는 저렴하고 컴팩트한 LIDAR 시스템들을 제공하고, 다른 이점들 중에서도, 밀리 초 이내에 물체를 식별하는 능력, 및 낮은 가시성 조건들에 서의 높은 효능을 포함하고, 조기 검출 및 경고 시스템들을 제공한다

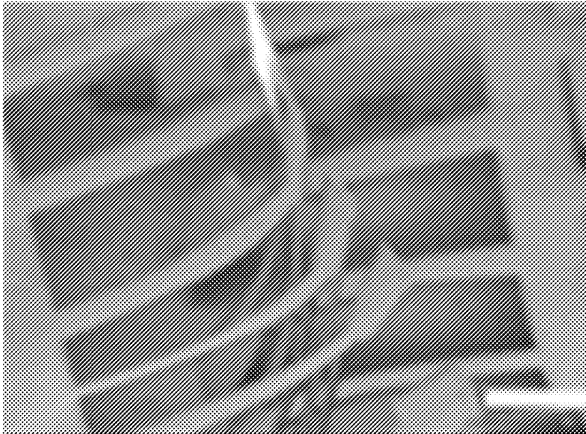
[0144] 전술한 실시예들의 설명은 예시 및 설명의 목적으로 제공된다. 전술한 실시예들의 설명은 본 개시의 전부(exhaustive)이거나 본 개시를 제한하려는 것이 아니다. 특정 실시예의 개별 요소들 또는 특징들은 일반적으로 그 특정 실시예로 제한되지 않지만, 적용 가능한 경우, 구체적으로 도시되거나 설명되지 않더라도, 상호 교환 가능하고 선택된 실시예에서 사용될 수 있다. 특정 실시예의 개별 요소들 또는 특징들은 여러 방식으로 다양하게 변경될 수도 있다. 이러한 변형들(variations)은 본 개시으로부터 벗어난 것으로 간주되지 않으며, 그러한 모든 수정들(modifications)은 본 rot1의 범위 내에 포함되는 것으로 의도된다.

도면

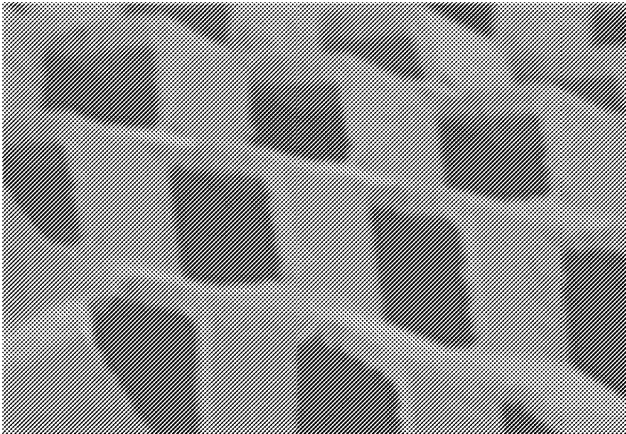
도면1



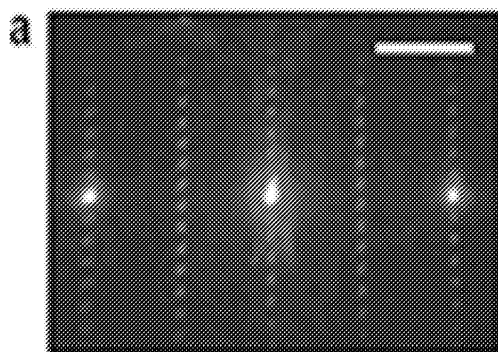
도면2a



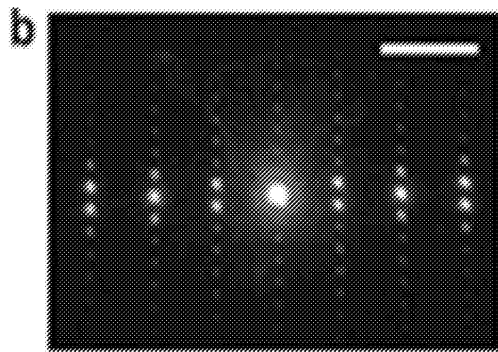
도면2b



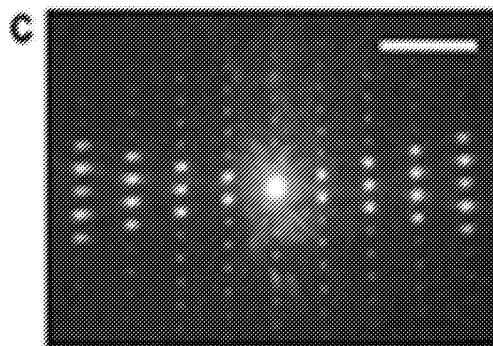
도면3a



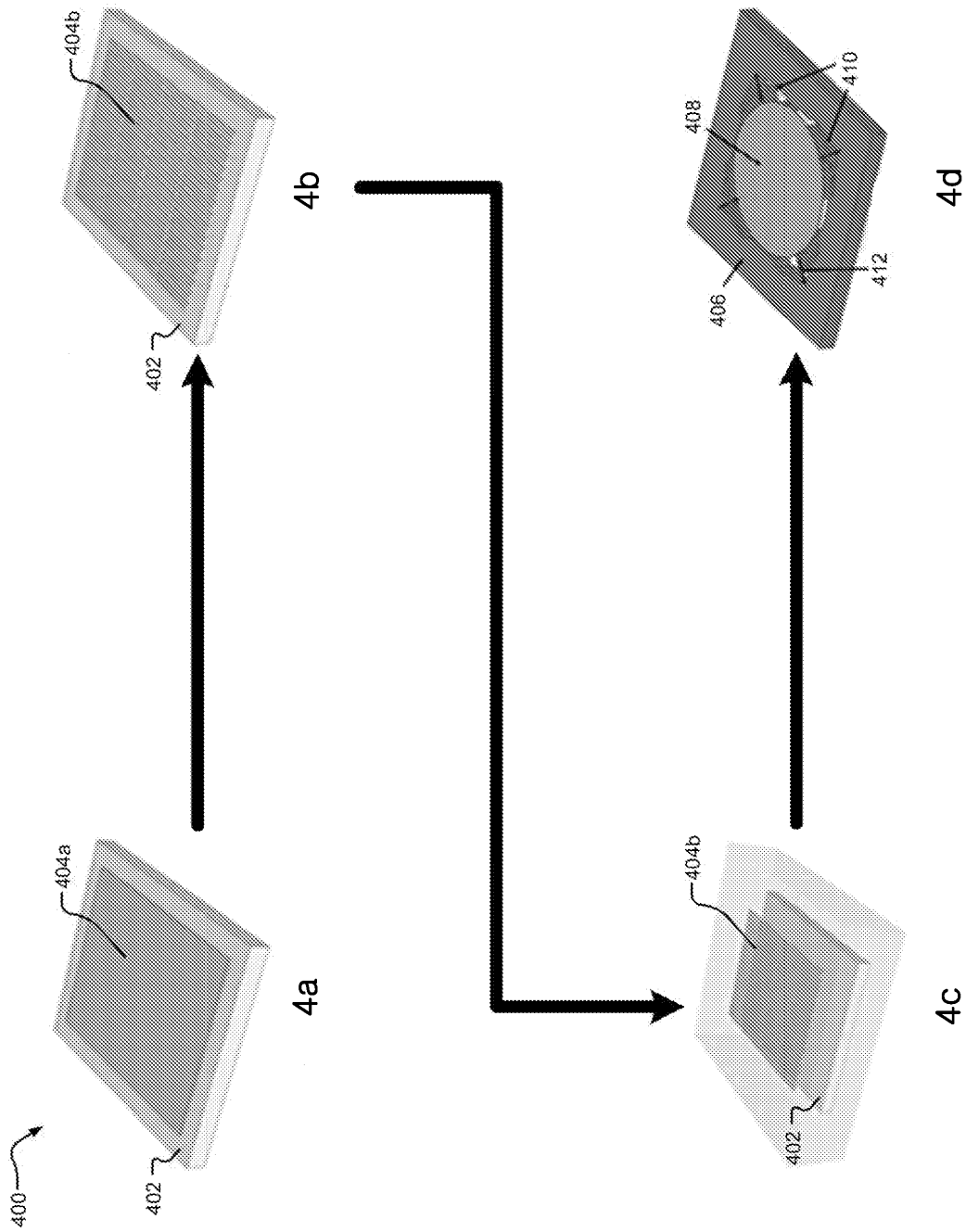
도면3b



도면3c



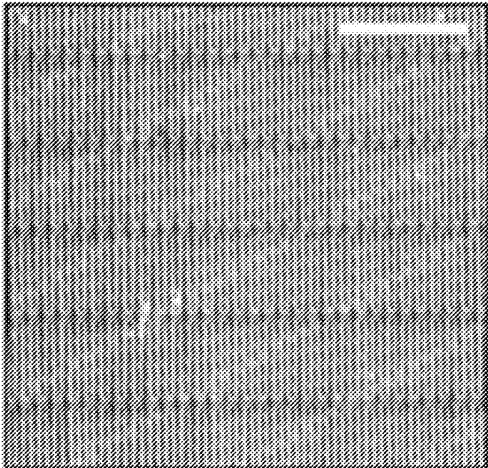
도면4



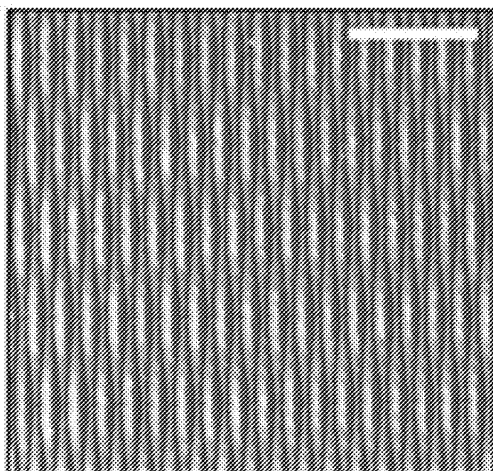
도면5a



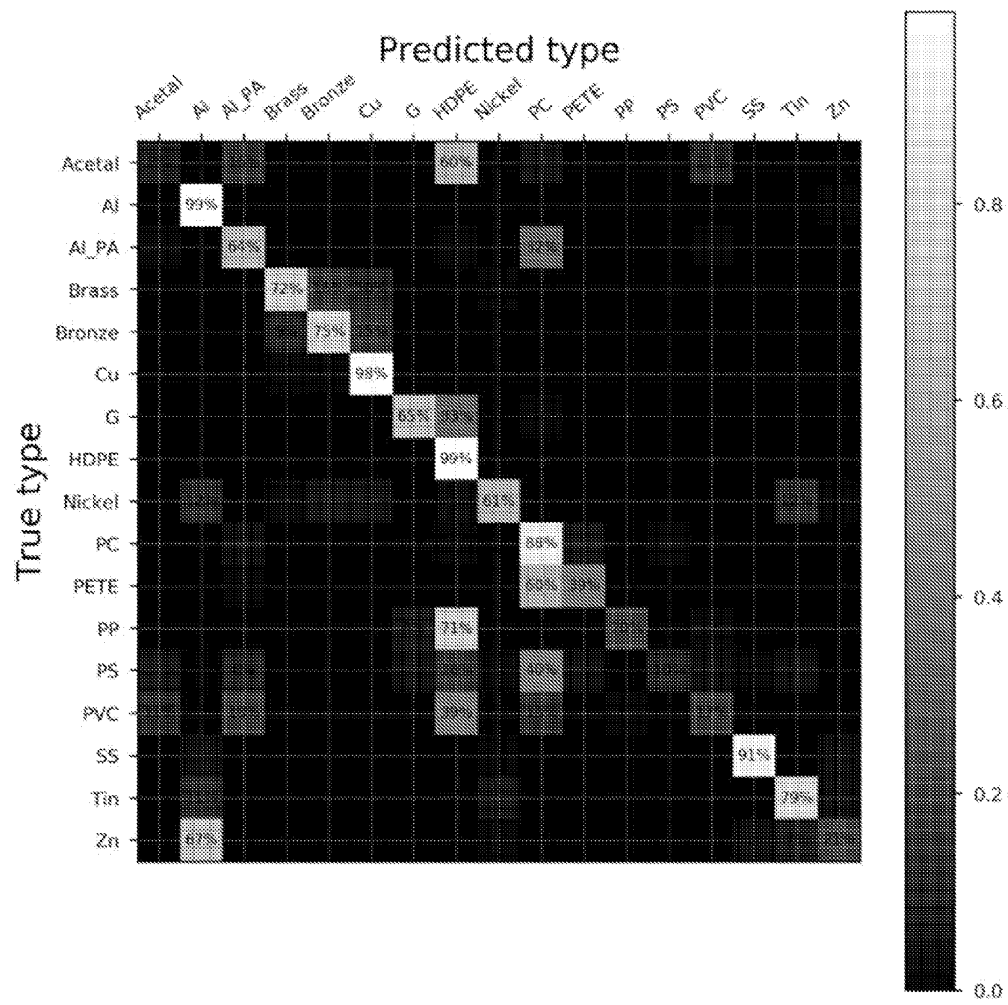
도면5b



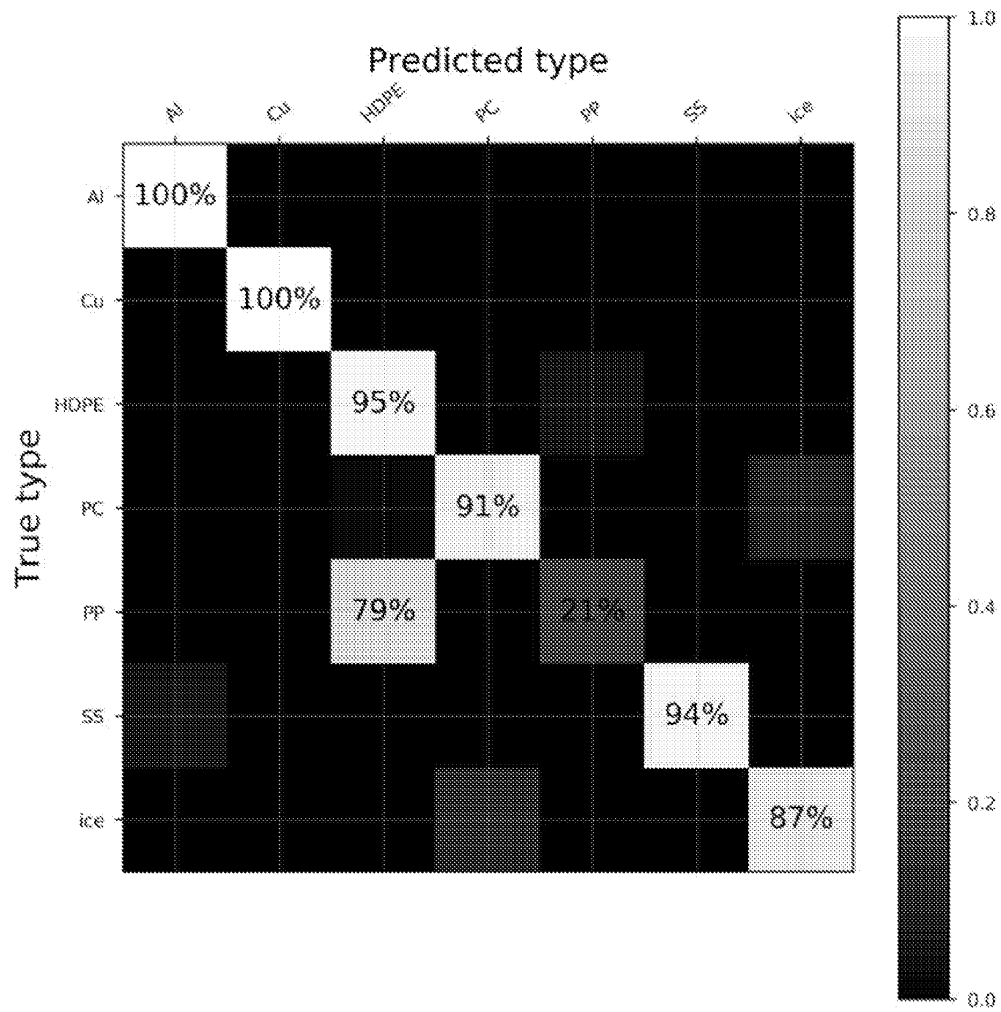
도면5c



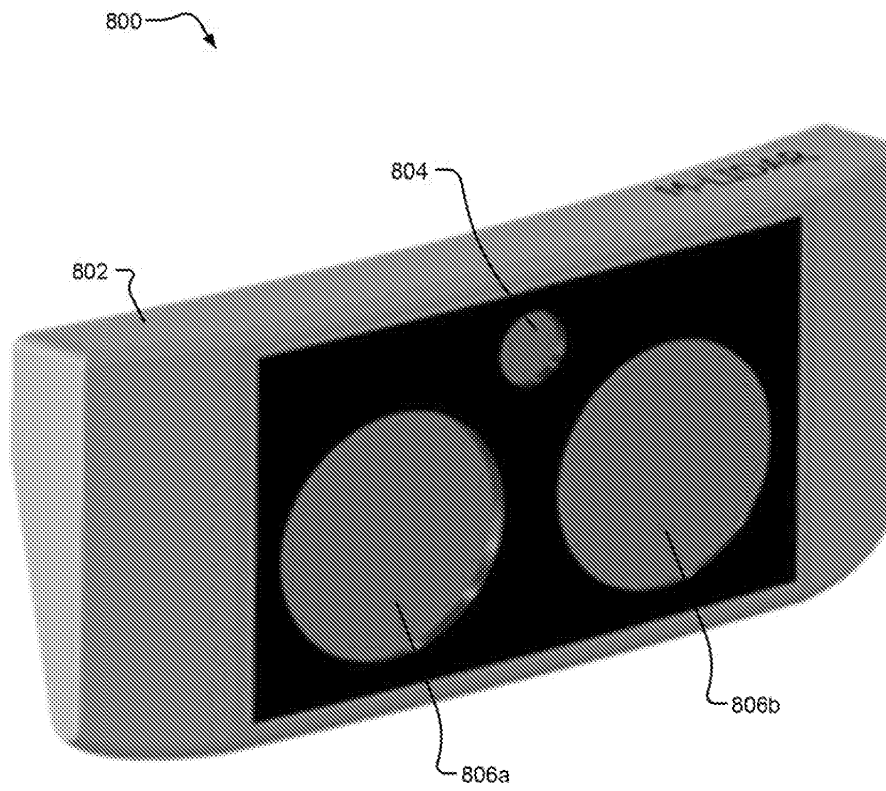
도면6



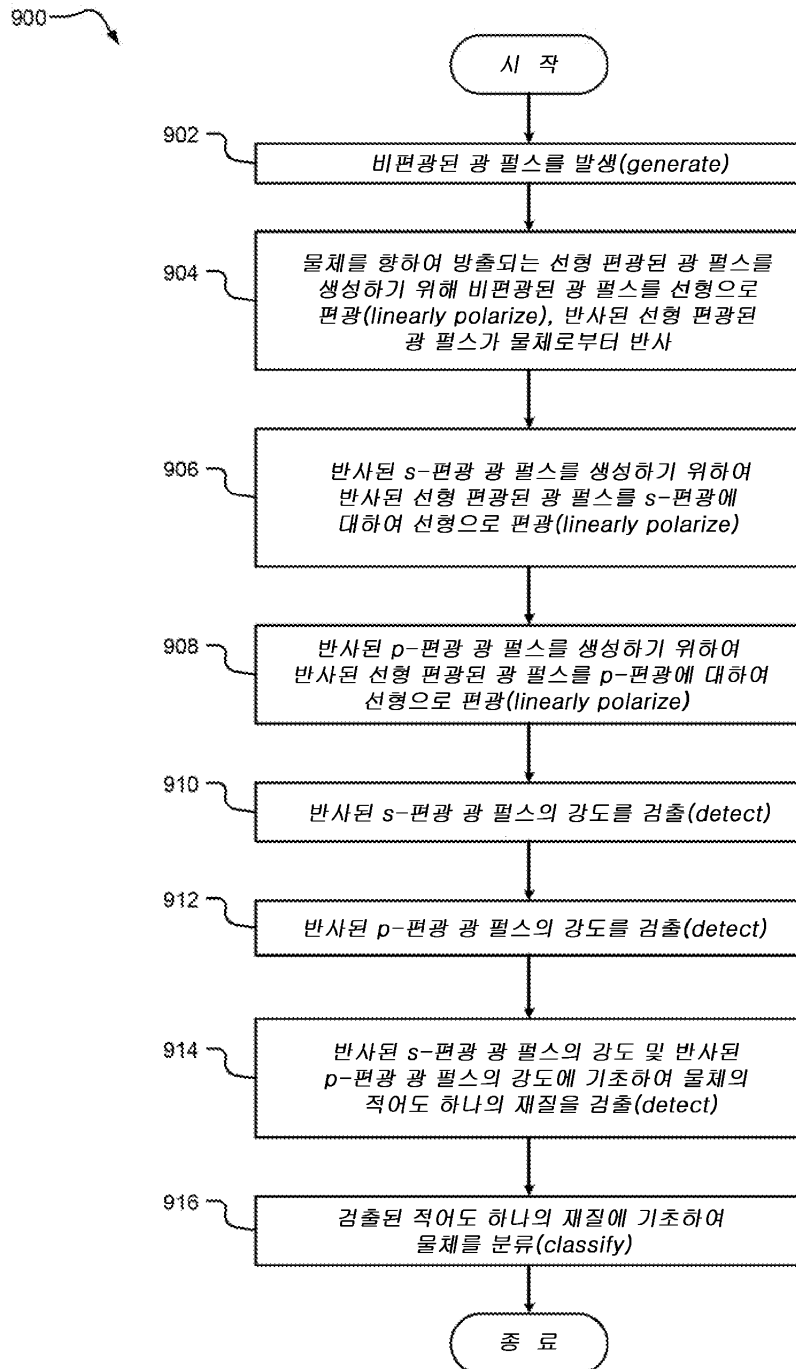
도면7



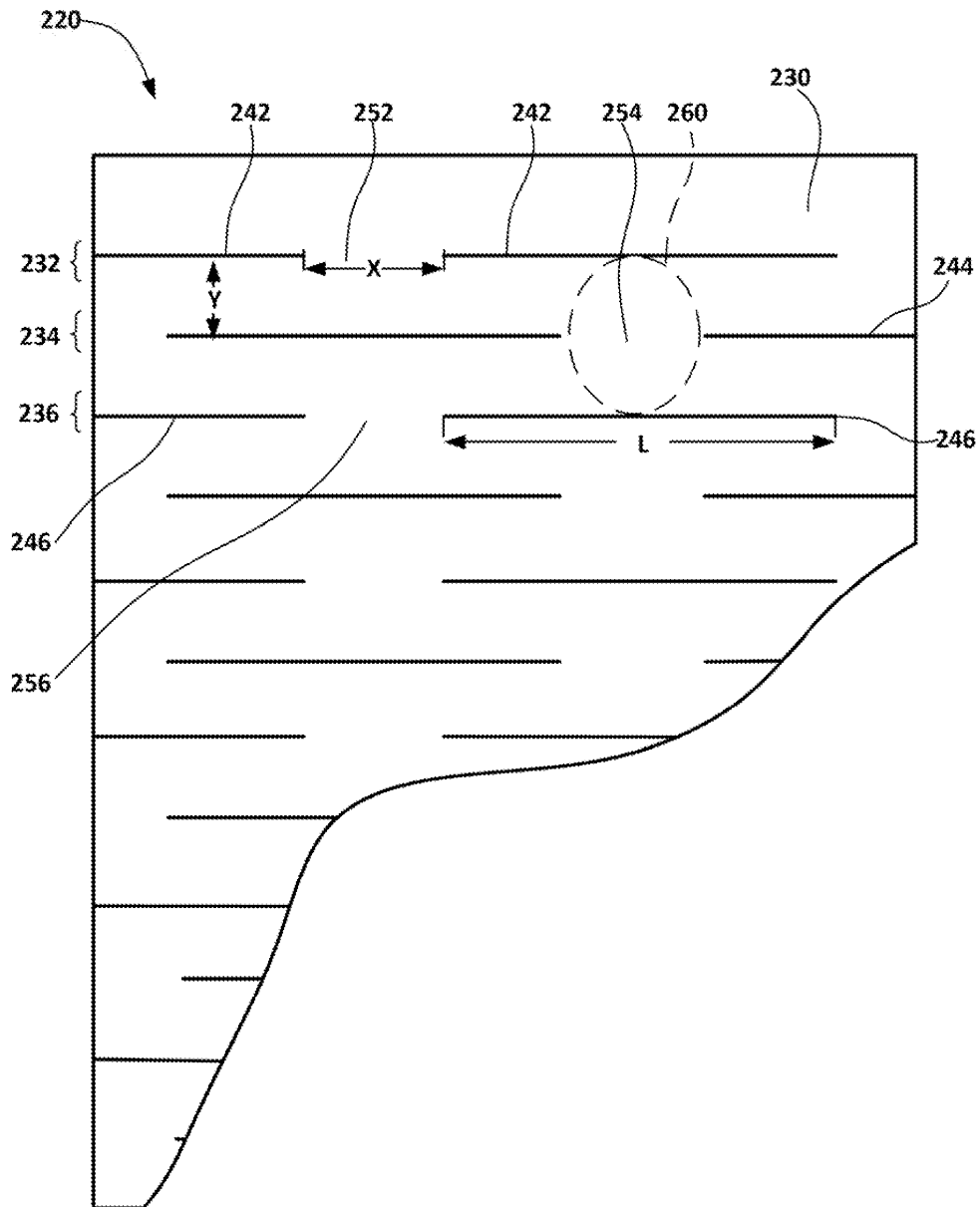
도면8



도면9



도면10



도면11

