



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년06월13일

(11) 등록번호 10-2543392

(24) 등록일자 2023년06월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04N 13/271 (2018.01) G06T 3/40 (2006.01)

H04N 13/128 (2018.01) H04N 13/257 (2018.01)

(52) CPC특허분류

H04N 13/271 (2018.05)

G06T 3/4015 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-7019134

(22) 출원일자(국제) 2018년12월05일

심사청구일자 2021년11월25일

(85) 번역문제출일자 2020년07월02일

(65) 공개번호 10-2020-0112825

(43) 공개일자 2020년10월05일

(86) 국제출원번호 PCT/CA2018/051554

(87) 국제공개번호 WO 2019/109182

국제공개일자 2019년06월13일

(30) 우선권주장

62/594,718 2017년12월05일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020110036844 A

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 20 항

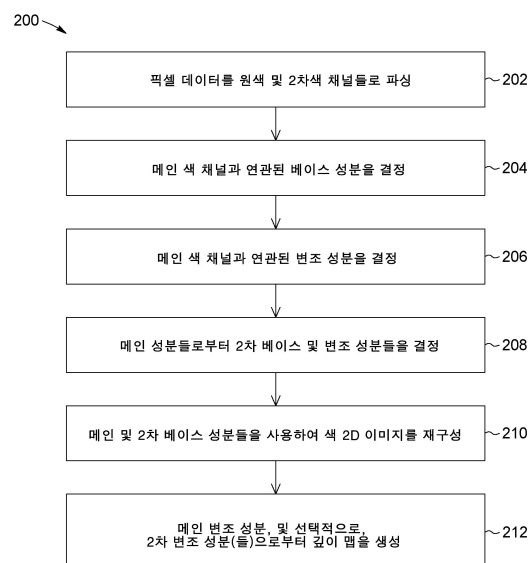
심사관 : 진민숙

(54) 발명의 명칭 깊이 획득을 위한 명시야 이미지 처리 방법

## (57) 요약

3D 이미징 응용 분야들에서 장면의 3-차원 이미지 데이터를 캡처하고 광 파면 센서에 의해 획득되는 라이트 필드 이미지 데이터를 처리하기 위한 기술들이 제공된다. 개시된 방법들은 장면으로부터 방사하는 광 파면에 대한 라이트 필드 정보로부터 관찰 가능한 장면의 깊이 맵을 제공하고, 원색 및 하나 이상의 2차색을 정의하는 색 모자이크를 형성하는 색 필터들, 및 공간-스펙트럼으로 샘플링된 픽셀 데이터로부터의 객체 거리 정보를 제공하도록 캘리브레이트된 색 방사상 전달 함수들을 이용한다.

## 대표도 - 도9



(52) CPC특허분류

*H04N 13/128* (2021.08)

*H04N 13/257* (2018.05)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020080083712 A

US20030067460 A1

WO2007031992 A1

US20140313368 A1

US20150138402 A1

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

장면 3-차원 이미지 데이터를 캡처하는 방법으로서,

- a) 격자 축을 따라 격자 주기를 갖는 회절 격자 패턴에 따라 상기 장면으로부터 유래하는 광 파면을 회절시켜, 회절 광 파면을 생성하는 단계;
- b) 색 필터와 각각 연관된 복수의 감광성 픽셀을 포함하는 픽셀 어레이를 사용하여 근접장 영역에서 상기 회절 광 파면을 검출하는 단계로서, 이에 의해 픽셀 데이터를 획득하고, 상기 색 필터들은 원색 및 상기 원색과 연관된 상이한 인접 픽셀들이 상기 회절 광 파면의 전체 사이클에 걸쳐 상기 회절 광 파면의 상이한 공간 부분들을 검출하도록 배열된 하나 이상의 2차색을 정의하는 색 모자이크를 형성하는, 상기 회절 광 파면을 검출하는 단계;
- c) 상기 원색 및 2차색들에 따라 상기 픽셀 데이터를 대응하는 원색 채널 및 2차색 채널들로 파싱하는 단계;
- d) 상기 원색 채널과 연관된 상기 회절 광 파면의 강도 프로파일의 메인 베이스 성분 및 메인 변조 성분을 결정하는 단계;
- e) 상기 2차색 채널들 각각과 연관된 상기 회절 광 파면들의 강도 프로파일들의 2차 베이스 성분 및 2차 변조 성분을 결정하는 단계;
- f) 상기 메인 베이스 성분들 및 상기 2차 베이스 성분들을 사용하여 상기 장면의 2D 이미지를 재구성하는 단계; 및
- g) 상기 원색 채널 및 2차색 채널들의 개별 색 채널과 연관되고, 상기 원색 채널 및 2차색 채널들 중 연관된 색 채널의 상기 메인 변조 성분 또는 2차 변조 성분으로부터의 객체 거리 정보를 제공하도록 캘리브레이트된, 적어도 하나의 색 방사상 전달 함수를 사용하여 상기 장면의 깊이 맵을 생성하는 단계;를 포함하는,

장면 3-차원 이미지 데이터를 캡처하는 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 각 색 방사상 전달 함수는 연관된 상기 색 채널의 상기 회절 광 파면의 상기 강도 프로파일을 상기 검출하는 단계에 사용되는 이미지 캡처 디바이스의 대응하는 초점면에 관계시키는, 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 단계 e)의 상기 2차 베이스 성분 및 2차 변조 성분을 결정하는 단계는 상기 픽셀들의 인접 벡터들에 대한 상기 원색 채널과 연관된 상기 회절 광 파면의 상기 강도 프로파일을 사용하여 상기 인접 벡터들이 보강 또는 상쇄 간섭 오프셋을 갖는지를 결정하는 단계를 포함하는, 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 단계 g)의 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는 상기 메인 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수를 사용하여 대략적인 깊이 맵(coarse depth map)을 생성하는 단계를 포함하는, 방법.

#### 청구항 5

제4항에 있어서, 대략적인 깊이 맵을 생성하는 단계는:

- 상기 원색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 깊이 정보를 획득하는 단계; 및
- 상기 원색 채널과 연관된 상기 색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 깊이 정보의 비교로부터 상기 원색 채널에 대한 절대적 깊이 정보를 획득하는 단계를 포함하는, 방법.

## 청구항 6

제1항에 있어서, 상기 원색 채널은 녹색 채널이고, 상기 2차색 채널들은 적색 채널 및 청색 채널이며, 연관된 상기 색 방사상 전달 함수들은 각각 녹색 방사상 전달 함수(GRTF), 적색 방사상 전달 함수(RRTF) 및 청색 방사상 전달 함수(BRTF)를 정의한, 방법.

## 청구항 7

제6항에 있어서, 상기 색 모자이크는 베이어 패턴(Bayer pattern)인, 방법.

## 청구항 8

제1항에 있어서, 상기 픽셀 어레이는 상기 격자 축을 따라 상기 격자 주기보다 작은 픽셀 피치를 갖는, 방법.

## 청구항 9

제8항에 있어서, 상기 격자 주기 대 픽셀 피치의 비는 실질적으로 2와 같은, 방법.

## 청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 메인 베이스 성분 및 상기 메인 변조 성분을 결정하는 단계는 각각 원색과 연관된 인접 픽셀 뱅크로부터 강도 픽셀 데이터를 합산 및 감산하는 단계를 포함하는, 방법.

## 청구항 11

광 파면으로부터 장면의 3-차원 이미지 데이터를 획득하기 위한 컴퓨터 실행 가능한 명령들을 저장한 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체로서,

상기 광 파면은 상기 장면으로부터 유래하고, 격자 축을 따라 격자 주기를 갖는 회절 격자 패턴에 따라 회절되어 회절 광 파면을 생성하며,

상기 회절 광 파면은, 색 필터와 각각 연관된 복수의 감광성 픽셀을 포함하는 픽셀 어레이를 사용하여 근접장 영역에서 검출된 것으로, 이에 의해 픽셀 데이터를 획득하고, 상기 색 필터들은 원색 및 상기 원색과 연관된 상이한 인접 픽셀들이 상기 회절 광 파면의 전체 사이클에 걸쳐 상기 회절 광 파면의 상이한 공간 부분들을 검출하도록 배열된 하나 이상의 2차색을 정의하는 색 모자이크를 형성하고,

상기 컴퓨터 실행 가능한 명령들은, 상기 픽셀 데이터를 수신한 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 프로세서로 하여금 다음 단계들:

- 상기 원색 및 2차색들에 따라 상기 픽셀 데이터를 대응하는 원색 채널 및 2차색 채널들로 파싱하는 단계;
- 상기 원색 채널과 연관된 상기 회절 광 파면의 강도 프로파일의 메인 베이스 성분 및 메인 변조 성분을 결정하는 단계;
- 상기 2차색 채널들 각각과 연관된 상기 회절 광 파면의 강도 프로파일들의 2차 베이스 성분 및 2차 변조 성분을 결정하는 단계;
- 상기 메인 베이스 성분들 및 상기 2차 베이스 성분들을 사용하여 상기 장면의 2D 이미지를 재구성하는 단계; 및
- 상기 원색 채널 및 2차색 채널들의 개별 색 채널과 연관되고, 상기 원색 채널 및 2차색 채널들 중 연관된 색 채널의 상기 메인 변조 성분 또는 2차 변조 성분으로부터의 객체 거리 정보를 제공하도록 캘리브레이트된, 적어도 하나의 색 방사상 전달 함수를 사용하여 상기 장면의 깊이 맵을 생성하는 단계;를 수행하게 하는,

비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체.

## 청구항 12

제11항에 있어서, 각 색 방사상 전달 함수는 연관된 상기 색 채널의 상기 회절 광 파면의 상기 강도 프로파일을 상기 검출하는 단계에 사용되는 이미지 캡처 디바이스의 대응하는 초점면에 관계시키는, 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체.

### 청구항 13

제11항에 있어서, 단계 c)의 상기 2차 베이스 성분 및 2차 변조 성분을 결정하는 단계는 상기 픽셀들의 인접 बैं크들에 대한 상기 원색 채널과 연관된 상기 회절 광 파면의 상기 강도 프로파일을 사용하여 상기 인접 बैं크들이 보강 또는 상쇄 간섭 오프셋을 갖는지를 결정하는 단계를 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체.

### 청구항 14

제11항에 있어서, 단계 e)의 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는 상기 메인 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수를 사용하여 대략적인 깊이 맵(coarse depth map)을 생성하는 단계를 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체.

### 청구항 15

제14항에 있어서, 대략적인 깊이 맵을 생성하는 단계는:

- 상기 원색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 깊이 정보를 획득하는 단계; 및
- 상기 원색 채널과 연관된 상기 색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 깊이 정보의 비교로부터 상기 원색 채널에 대한 절대적 깊이 정보를 획득하는 단계를 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체.

### 청구항 16

제11항에 있어서, 상기 원색 채널은 녹색 채널이고, 상기 2차색 채널들은 적색 채널 및 청색 채널이며, 연관된 상기 색 방사상 전달 함수들은 각각 녹색 방사상 전달 함수(GRTF), 적색 방사상 전달 함수(RRTF) 및 청색 방사상 전달 함수(BRTF)를 정의한, 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체.

### 청구항 17

제16항에 있어서, 상기 색 모자이크는 베이어 패턴(Bayer pattern)인, 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체.

### 청구항 18

제11항에 있어서, 상기 픽셀 어레이는 상기 격자 축을 따라 상기 격자 주기보다 작은 픽셀 피치를 갖는, 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체.

### 청구항 19

제18항에 있어서, 상기 격자 주기 대 픽셀 피치의 비는 실질적으로 2와 같은, 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체.

### 청구항 20

제11항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 메인 베이스 성분 및 상기 메인 변조 성분을 결정하는 단계는 각각 원색과 연관된 인접 픽셀 बैं크로부터 강도 픽셀 데이터를 합산 및 감산하는 단계를 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체.

### 청구항 21

삭제

### 청구항 22

삭제

### 청구항 23

삭제

### 청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] 개괄적 기술분야는 이미징 시스템들 및 방법들, 보다 구체적으로는 깊이 획득 및 3-차원(3D) 이미징을 위한 라이트 필드 이미징 디바이스 및 이미지 처리 방법에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0002] 기존의 이미징 하드웨어는 복잡한 3-차원(3D) 장면들을 단순화된 2-차원(2D) 평면들에 투영시켜, 입사광에 내재된 차원을 무시하는 것을 수반한다. 이러한 정보의 손실은 다음과 같이 입사광의 시간-평균 강도(I)만 직접 측정할 수 있고 그것의 위상( $\phi$ ) 또는 파동 벡터(k) 또는 각 주파수( $\omega$ )는 측정할 수 없는 전하-결합 소자들(CCD, charge-coupled devices) 또는 상보형 금속-산화물-반도체(CMOS, complementary metal-oxide-semiconductor) 센서 어레이들과 같은 자승 검파기들(square-law detectors)의 특성으로 인한 직접적인 결과이다:

[0003]  $I \sim \langle E(t) \rangle$ ; 여기서  $E(t) = E_0 \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \phi)$ . (1)

[0004] 플렌옵틱 카메라들(plenoptic cameras)이 이러한 제약 내에서 작용하려면, 동시에 획득된 다수의 이미지의 비교 분석, 복잡한 기계 학습 및/또는 재구성 기술들 또는 능동 조명기들 및 센서들의 사용 중 어느 하나를 통해 깊

이 정보를 복구해야 한다.

[0005] 플렌옵틱 카메라들은 일반적으로 다음에 의해 관찰자 또는 지점 상에 충돌하는 라이트 필드를 파라미터로 나타내는 "플렌옵틱 기능(plenoptic function)"을 통해 장면을 묘사하며:

[0006] 
$$P = P(x, y, \lambda, t, V_x, V_y, V_z, p) \quad (2)$$

[0007] 여기서  $x$  및  $y$  좌표들은 위치( $V_x, V_y, V_z$ )의 관찰자가 볼 때, 파장( $\lambda$ ) 및 편광각( $p$ )에 대해, 시간( $t$ )에서 특정 이미지 평면을 정의한다. 그것들이 단일- 또는 다중-센서 기반 시스템들일 수 있지만, 현재의 플렌옵틱 카메라들은 최소, 센서 어레이의 임의의 주어진 픽셀에 의해 검출되는 광의 강도에만 의존할 수 있다. 보다 실제적으로, 입체시(stereovision) 또는 미소 렌즈화(microlensing)와 같은 기존 솔루션들은 깊이를 식별하는데 필요한 다양한 시야를 수용하기 위해 다수의 센서 또는 센서 세분화를 채용함으로써 전체 이미지 품질 및 센서 풋프린트를 희생시킨다.

[0008] 랜덤 이진 오클루전 마스크들 및 코드화된 애퍼처들은 패키징 또는 전체 풋프린트에 미치는 영향을 최소화하면서 단일-센서 솔루션들을 제공하는 기존의 다른 접근법들이다. 그러나, 압축 감지 및 비선형 재구성 기술들의 발전에도 불구하고, 이러한 솔루션들은 수반되는 방대한 이미지 사전 및 계산 비용에 의해 여전히 제약을 받는다.

[0009] 비행 시간 및 구조-광 기반 기술들은 펄스, 패턴 또는 변조 연속과 적외선을 이용하여 장면에 능동적으로 조사하고 조사된 광 패턴의 미묘한 변화 또는 전체 왕복 이동 시간을 통해 깊이를 결정한다. 이러한 기술들은 이미지 분할에 영향을 받지 않지만, 일반적으로 전체 디바이스 풋프린트뿐만 아니라 전력 소비를 증가시키는 추가적인 능동 적외선 이미터들 및 검출기들을 필요로 한다. 유사하게, 이러한 기술들은 간섭 신호들, 정반사 및 주변 적외선에 민감한 경향이 있음에 따라, 실외에서의 실행 가능성을 제한한다.

[0010] 상술한 다양한 이미지 캡처 하드웨어의 기술적 한계들 및 복잡성은 라이트 필드 캡처 기술의 확산에 커다란 장벽이 되지만, 라이트 필드 이미지들을 처리하는 것의 복잡성은 여전히 중요한 제어 요인이다. 시작을 위해, 최신 카메라 해상도들에서 미가공 및 압축되지 않은 전통적인 2-차원( $x, y$ ) 이미지는 크기가 약 50 메가바이트가 될 수 있다. 등가의 4-차원( $x, y, u, v$ ) 라이트 필드 이미지는 몇 자리수 커져, 기가 바이트에 달할 것이다. 그러한 데이터 크기는 순수 저장 공간 가용성뿐만 아니라 버스 대역폭 및 메모리 전달을 측면들에서 기존 컴퓨팅 및 휴대 전화 시스템들의 한계들을 뛰어 넘는다. 따라서, 실제 라이트 필드 디바이스들은 모바일 디바이스들의 전형적인 최신 시스템 온 칩 아키텍처들을 사용하여 작동하려면 막대하고 효율적인 압축이 필요하다.

[0011] 입체시 접근법들은 본질적으로 라이트 필드 장면들이 재구성될 수 있기 전에 특정 매칭 및 교정을 포함한 복잡한 계산 단계들을 필요로 한다. 이미지의 하드웨어로 인한 다운-샘플링 특성으로 인해 미소 렌즈화 접근법들에는 기본 카메라 해상도로 이미지를 반환하기 위해 이미지에서의 픽셀 수에 따라 계산 비용이 기하 급수적으로 증가하는 집중 비선형 재구성 알고리즘들이 필요하다. 전파 시간 및 다른 능동 조사 접근법들은 보통 강도 이미지를 캡처하지 않고 2차 모노 또는 컬러 캡처 디바이스가 필요하다. 그 다음 캡처된 깊이 맵은 라이트 필드 장면들이 처리될 수 있기 전에 강도 이미지로 스티칭되어야 한다. 적외선 카메라 시스템들은 보통 강도 캡처 디바이스에 비해 해상도가 매우 낮다. 이러한 하드웨어 제한은 깊이 맵 공간 해상도를 강도 이미지의 공간 해상도와 매칭시키기 위해 추가적인 소프트웨어 기반 업-샘플링을 필요로 한다.

[0012] 따라서 직접적인 하드웨어 압축 및 효율적인 계산 재구성 알고리즘들을 조합할 수 있는 3D 라이트 필드 이미지들을 획득하고 처리하기 위한 기술들의 개발에 대한 과제들이 남아 있다.

## 발명의 내용

[0013] 본 설명은 개괄적으로 깊이 매핑 및 다른 3D 매핑 응용 분야들에 대한 라이트 필드 이미징 기술들에 관한 것이다.

[0014] 본 설명은 3D 이미징 응용 분야들에서 광 파면 센서에 의해 획득되는 라이트 필드 이미지 데이터를 처리하기 위한 방법들을 제공한다. 보다 구체적으로, 개시된 방법은 장면으로부터 방사하는 광 파면에 대한 라이트 필드 정보로부터 관찰 가능한 장면의 3D 또는 깊이 이미지를 생성 또는 구축하기 위해 사용될 수 있다.

[0015] 일 양태에 따르면, 장면의 3-차원 이미지 데이터를 캡처하는 방법이 제공되며, 상기 방법은:

[0016] a) 격자 축을 따라 격자 주기를 갖는 회절 격자 패턴에 따라 상기 장면으로부터 유래하는 광 파면을 회절시켜,



회절 광 파면을 생성하는 단계;

- [0017] b) 색 필터와 각각 연관된 복수의 감광성 픽셀을 포함하는 픽셀 어레이를 사용하여 근접장 영역에서 상기 회절 광 파면을 검출하는 단계로서, 이에 의해 픽셀 데이터를 획득하고, 상기 색 필터들은 원색 및 상기 원색과 연관된 상이한 인접 픽셀들이 상기 회절 광 파면의 전체 사이클에 걸쳐 상기 회절 광 파면의 상이한 공간 부분들을 검출하도록 배열된 하나 이상의 2차색을 정의하는 색 모자이크를 형성하며, 상기 픽셀 어레이는 상기 격자 축을 따라 상기 격자 주기보다 작은 픽셀 피치를 갖는, 상기 회절 광 파면을 검출하는 단계;
- [0018] c) 상기 원색 및 2차색들에 따라 상기 픽셀 데이터를 대응하는 원색 채널 및 2차색 채널들로 파싱하는 단계;
- [0019] d) 상기 원색 채널과 연관된 상기 회절 광 파면의 강도 프로파일의 메인 베이스 성분 및 메인 변조 성분을 결정하는 단계;
- [0020] e) 상기 2차색 채널들 각각과 연관된 상기 회절 광 파면들의 강도 프로파일들의 2차 베이스 성분 및 2차 변조 성분을 결정하는 단계;
- [0021] f) 상기 메인 베이스 성분들 및 상기 2차 베이스 성분들을 사용하여 상기 장면의 2D 이미지를 재구성하는 단계; 및
- [0022] g) 상기 색 채널들 중 연관된 색 채널의 상기 변조 성분으로부터의 객체 거리 정보를 제공하도록 캘리브레이트된 적어도 하나의 색 방사상 전달 함수를 사용하여 상기 장면의 깊이 맵을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0023] 이러한 방법의 일부 구현 예에서, 각 색 방사상 전달 함수는 연관된 상기 색 채널의 상기 회절 광 파면의 상기 강도 프로파일을 상기 검출하는 단계에 사용되는 이미지 캡처 디바이스의 대응하는 초점면에 관계시킨다. 상기 객체 거리 정보는  $\text{Object}(z) \sim 2D \text{ 이미지} \times \text{CRTF}$ 와 같도록 관계로부터 획득될 수 있으며, 여기서  $z$ 는 상기 이미지 캡처 디바이스의 상기 초점면으로부터 상기 장면에서 주어진 객체의 상기 거리이고, 2D Image는 단계 f)에서 재구성된 상기 2D 이미지이며, CRTF는 상기 초점면으로부터의 극좌표들( $r$ ,  $\phi$ ,  $\theta$ ), 픽셀 수( $n$ ) 및 입사 파장( $\lambda$ )의 적합 5D 함수로부터 획득되는 상기 방사상 전달 함수들이다.
- [0024] 이러한 방법의 일부 구현 예에서, 단계 e)의 상기 2차 베이스 성분 및 2차 변조 성분을 결정하는 단계는 상기 픽셀들의 인접 बैं크들에 대한 상기 원색 채널과 연관된 상기 회절 광 파면의 상기 강도 프로파일을 사용하여 상기 인접 बैं크들이 보강 또는 상쇄 간섭 오프셋을 갖는지를 결정하는 단계를 포함한다.
- [0025] 이러한 방법의 일부 구현 예에서, 단계 f)의 상기 2D 이미지를 재구성하는 단계는 상기 메인 베이스 성분들을 사용하여 상기 2차 베이스 성분들을 정규화하는 단계를 포함한다.
- [0026] 이러한 방법의 일부 구현 예에서, 단계 f)의 상기 2D 이미지를 재구성하는 단계는:
- [0027] - 상기 메인 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수를 사용하여 상기 객체 거리 정보를 획득하는 단계; 및
- [0028] - 상기 객체 거리 정보를 고려하여 상기 2차 변조 성분들 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수들을 사용하여 상기 2D 이미지에서 상기 광 파면의 상기 회절로부터의 아티팩트들을 보상하는 단계를 포함한다.
- [0029] 이러한 방법의 일부 구현 예에서, 단계G)의 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는 상기 메인 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수를 사용하여 대략적인 깊이 맵(coarse depth map)을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0030] 이러한 방법의 일부 구현 예에서, 상기 대략적인 깊이 맵을 생성하는 단계는:
- [0031] - 상기 원색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0032] - 상기 원색 채널과 연관된 상기 색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 원색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함한다.
- [0033] 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는 또한 상기 하나 이상의 2차 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수들을 사용하여 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0034] 이러한 방법의 일부 구현 예에서, 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계는:
- [0035] - 각 2차색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0036] - 연관된 상기 2차색 채널과 연관된 상기 색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 각 2차색

채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함한다.

- [0037] 이러한 방법의 일부 구현 예에서, 상기 색 모자이크는 상기 2차색들 중 2색을 정의한다.
- [0038] 이러한 방법의 일부 구현 예에서, 상기 원색 채널은 녹색 채널이고, 상기 2차색 채널들은 적색 채널 및 청색 채널이며, 연관된 상기 색 방사상 전달 함수들은 각각 녹색 방사상 전달 함수GRTF, 적색 방사상 전달 함수RRTF 및 청색 방사상 전달 함수BRTF를 정의한다. 상기 색 모자이크는 베이어 패턴(Bayer pattern)일 수 있다. 단계G)의 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는:
- [0039] i. 다음에 의해 대략적인 깊이 맵을 생성하는 단계:
- [0040] - 상기 녹색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0041] - 상기 녹색 방사상 전달 함수GRTF와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 녹색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0042] ii) 다음에 의해 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계:
- [0043] - 상기 적색 채널 및 상기 청색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그것들에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0044] - 상기 적색 방사상 전달 함수RRTF 및 상기 청색 방사상 전달 함수BRTF와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 적색 채널 및 상기 청색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0045] 다른 양태에 따르면, 격자 축을 따라 격자 주기를 갖는 회절 격자 패턴에 따라 상기 장면으로부터 유래하고 회절되는 회절 광 파면으로부터 장면의 3-차원 이미지 데이터를 획득하기 위한 컴퓨터 실행 가능한 명령들을 저장한 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체가 제공되며, 상기 회절 광 파면은 색 필터와 각각 연관된 복수의 감광성 픽셀을 포함하는 픽셀 어레이를 사용하여 근접장 영역에서 검출된 것으로서, 이에 의해 픽셀 데이터를 획득하고, 상기 색 필터들은 원색 및 상기 원색과 연관된 상이한 인접 픽셀들이 상기 회절 광 파면의 전체 사이클에 걸쳐 상기 회절 광 파면의 상이한 공간 부분들을 검출하도록 배열된 하나 이상의 2차색을 정의하는 색 모자이크를 형성하고, 상기 픽셀 어레이는 상기 격자 축을 따라 상기 격자 주기보다 작은 픽셀 피치를 가지며, 상기 컴퓨터 실행 가능한 명령들은, 상기 픽셀 데이터를 수신한 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 프로세서로 하여금 다음 단계들:
- [0046] a) 상기 원색 및 2차색들에 따라 상기 픽셀 데이터를 대응하는 원색 채널 및 2차색 채널들로 파싱하는 단계;
- [0047] b) 상기 원색 채널과 연관된 상기 회절 광 파면의 강도 프로파일의 메인 베이스 성분 및 메인 변조 성분을 결정하는 단계;
- [0048] c) 상기 2차색 채널들 각각과 연관된 상기 회절 파면의 강도 프로파일들의 2차 베이스 성분 및 2차 변조 성분을 결정하는 단계;
- [0049] d) 상기 메인 베이스 성분들 및 상기 2차 베이스 성분들을 사용하여 상기 장면의 2D 이미지를 재구성하는 단계; 및
- [0050] e) 상기 색 채널들 중 연관된 색 채널의 상기 변조 성분으로부터의 객체 거리 정보를 제공하도록 캘리브레이트된 적어도 하나의 색 방사상 전달 함수를 사용하여 상기 장면의 깊이 맵을 생성하는 단계를 수행하게 한다.
- [0051] 일부 구현 예에서, 각 색 방사상 전달 함수는 연관된 상기 색 채널의 상기 회절 광 파면의 상기 강도 프로파일을 상기 검출하는 단계에 사용되는 이미지 캡처 디바이스의 대응하는 초점면에 관계시킨다. 상기 객체 거리 정보는  $Object(z) \sim 2D \text{ 이미지} \times CRTF$ 와 같도록 관계로부터 획득되며, 여기서  $z$ 는 상기 이미지 캡처 디바이스의 상기 초점면으로부터 상기 장면에 주어진 객체의 상기 거리이고, 2D Image는 단계 d)에서 재구성된 상기 2D 이미지이며, CRTF는 상기 방사상 전달 함수들이다. 상기 CRTF의 값은 상기 초점면으로부터의 극좌표들( $r$ ,  $\phi$ ,  $\theta$ ), 픽셀 수( $n$ ) 및 입사 파장( $\lambda$ )의 적합 함수로부터 획득된다.
- [0052] 일부 구현 예에서, 단계 c)의 상기 2차 베이스 성분 및 2차 변조 성분을 결정하는 단계는 상기 픽셀들의 인접 뱅크들에 대한 상기 원색 채널과 연관된 상기 회절 광 파면의 상기 강도 프로파일을 사용하여 상기 인접 뱅크들이 보강 또는 상쇄 간섭 오프셋을 갖는지를 결정하는 단계를 포함한다.
- [0053] 일부 구현 예에서, 단계 d)의 상기 2D 이미지를 재구성하는 단계는 상기 메인 베이스 성분을 사용하여 상기 2차

베이스 성분들을 정규화하는 단계를 포함한다.

[0054] 일부 구현 예에서, 단계 d)의 상기 2D 이미지를 재구성하는 단계는:

[0055] - 상기 메인 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수를 사용하여 상기 객체 거리 정보를 획득하는 단계; 및

[0056] - 상기 객체 거리 정보를 고려하여 상기 2차 변조 성분들 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수들을 사용하여 상기 2D 이미지에서 상기 광 파면의 상기 회절로부터의 아티팩트들을 보정하는 단계를 포함한다.

[0057] 일부 구현 예에서, 단계 e)의 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는 상기 메인 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수를 사용하여 대략적인 깊이 맵(coarse depth map)을 생성하는 단계를 포함한다. 상기 대략적인 깊이 맵을 생성하는 단계는:

[0058] - 상기 원색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및

[0059] - 상기 원색 채널과 연관된 상기 색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 원색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0060] 일부 구현 예에서, 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는 상기 하나 이상의 2차 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수를 사용하여 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계를 포함한다. 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계는:

[0061] - 각 2차색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및

[0062] - 연관된 상기 2차색 채널과 연관된 상기 색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 각 2차색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0063] 일부 구현 예에서, 상기 색 모자이크는 상기 2차색들 중 2색을 정의한다.

[0064] 일부 구현 예에서, 상기 원색 채널은 녹색 채널이고, 상기 2차색 채널들은 적색 채널 및 청색 채널이며, 연관된 상기 색 방사상 전달 함수들은 각각 녹색 방사상 전달 함수GRTF, 적색 방사상 전달 함수RRTF 및 청색 방사상 전달 함수BRTF를 정의한다. 상기 색 모자이크는 베이어 패턴(Bayer pattern)일 수 있다. 단계 e)의 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는:

[0065] i. 다음에 의해 대략적인 깊이 맵을 생성하는 단계:

[0066] - 상기 녹색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및

[0067] - 상기 녹색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 녹색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및

[0068] ii. 다음에 의해 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계:

[0069] - 상기 적색 채널 및 상기 청색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그것들에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및

[0070] - 상기 적색 방사상 전달 함수 및 상기 청색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 적색 채널 및 상기 청색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0071] 다른 양태에 따르면, 장면의 3-차원 이미지 데이터를 캡처하는 방법이 제공되며, 상기 방법은:

[0072] a) 격자 축을 따라 격자 주기를 갖는 회절 격자 패턴에 따라 상기 장면으로부터 유래하는 광 파면을 회절시켜 회절 파면을 생성하는 단계;

[0073] b) 색 필터와 각각 연관된 복수의 감광성 픽셀을 포함하는 픽셀 어레이를 사용하여 근접장 영역에서 상기 회절 광 파면을 검출하는 단계로서, 이에 의해 픽셀 데이터를 획득하고, 상기 색 필터들은 원색 및 하나 이상의 2차색을 정의하는 색 모자이크를 형성하는, 상기 회절 광 파면을 검출하는 단계;

[0074] c) 상기 원색 및 2차색들에 따라 상기 픽셀 데이터를 대응하는 원색 채널 및 2차색 채널들로 파싱하는 단계;

[0075] d) 상기 원색 채널과 연관된 상기 회절 광 파면의 강도 프로파일의 메인 베이스 성분 및 메인 변조 성분을 결정하는 단계;

- [0076] e) 상기 2차색 채널들 각각과 연관된 상기 회절 파면의 강도 프로파일들의 2차 베이스 성분 및 2차 변조 성분을 결정하는 단계;
- [0077] f) 상기 색 채널들 중 연관된 색 채널의 상기 변조 성분으로부터의 객체 거리 정보를 제공하도록 캘리브레이트된 적어도 하나의 색 방사상 전달 함수를 사용하여 상기 장면의 깊이 맵을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0078] 일부 구현 예에서, 상기 픽셀 어레이는 상기 격자 축을 따라 상기 격자 주기와 같거나 큰 픽셀 피치를 가지며, 상기 방법은 색채 의존적 포커싱 광학계를 사용하여 상기 장면으로부터 유래하는 상기 광 파면을 포커싱하는 예비 단계를 더 포함한다.
- [0079] 일부 구현 예에서, 각 색 방사상 전달 함수는 연관된 상기 색 채널의 상기 회절 광 파면의 상기 강도 프로파일을 상기 검출하는 단계에 사용되는 이미지 캡처 디바이스의 대응하는 초점면에 관계시킨다.
- [0080] 일부 구현 예에서, 단계 f)의 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는 상기 메인 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수를 사용하여 대략적인 깊이 맵(coarse depth map)을 생성하는 단계를 포함한다. 대략적인 깊이 맵을 생성하는 단계는:
- [0081] 상기 원색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0082] 상기 원색 채널과 연관된 상기 색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 원색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0083] 일부 구현 예에서, 깊이 맵을 생성하는 단계는 상기 하나 이상의 2차 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수를 사용하여 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계를 포함한다. 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계는:
- [0084] 각 2차색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0085] 연관된 상기 2차색 채널과 연관된 상기 색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 각 2차색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0086] 일부 구현 예에서, 상기 원색 채널은 녹색 채널이고, 상기 2차색 채널들은 적색 채널 및 청색 채널이며, 연관된 상기 색 방사상 전달 함수들은 각각 녹색 방사상 전달 함수GRTF, 적색 방사상 전달 함수RRTF 및 청색 방사상 전달 함수BRTF를 정의한다. 상기 색 모자이크는 베이어 패턴(Bayer pattern)일 수 있다. 단계 f)의 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는:
- [0087] 다음에 의해 대략적인 깊이 맵을 생성하는 단계:
- [0088] 상기 녹색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0089] 상기 녹색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 녹색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0090] 다음에 의해 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계:
- [0091] 상기 적색 채널 및 상기 청색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그것들에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0092] 상기 적색 방사상 전달 함수 및 상기 청색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 적색 채널 및 상기 청색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0093] 또 다른 양태에 따르면, 격자 축을 따라 격자 주기를 갖는 회절 격자 패턴에 따라 상기 장면으로부터 유래하고 회절되는 회절 광 파면으로부터 장면의 3-차원 이미지 데이터를 획득하기 위한 컴퓨터 실행 가능한 명령들을 저장한 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체가 제공되며, 상기 회절 광 파면은 색 필터와 각각 연관된 복수의 감광성 픽셀을 포함하는 픽셀 어레이를 사용하여 근접장 영역에서 검출된 것으로서, 이에 의해 픽셀 데이터를 획득하고, 상기 색 필터들은 원색 및 하나 이상의 2차색을 정의하는 색 모자이크를 형성하며, 상기 컴퓨터 실행 가능한 명령들은, 상기 픽셀 데이터를 수신한 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 프로세서로 하여금 다음 단계들:
- [0094] 상기 원색 및 2차색들에 따라 상기 픽셀 데이터를 대응하는 원색 채널 및 2차색 채널들로 파싱하는 단계;
- [0095] 상기 원색 채널과 연관된 상기 회절 광 파면의 강도 프로파일의 메인 베이스 성분 및 메인 변조 성분을 결정하

는 단계;

- [0096] 상기 2차색 채널들 각각과 연관된 상기 회절 파면의 강도 프로파일들의 2차 베이스 성분 및 2차 변조 성분을 결정하는 단계;
- [0097] 상기 색 채널들 중 연관된 색 채널의 상기 변조 성분으로부터의 객체 거리 정보를 제공하도록 캘리브레이트된 적어도 하나의 색 방사상 전달 함수를 사용하여 상기 장면의 깊이 맵을 생성하는 단계를 수행하게 한다.
- [0098] 일부 구현 예에서, 상기 픽셀 어레이는 상기 격자 축을 따라 상기 격자 주기와 같거나 큰 픽셀 피치를 가지며, 상기 방법은 색채 의존적 포커싱 광학계를 사용하여 상기 장면으로부터 유래하는 상기 광 파면을 포커싱하는 예비 단계를 더 포함한다.
- [0099] 일부 구현 예에서, 각 색 방사상 전달 함수는 연관된 상기 색 채널의 상기 회절 광 파면의 상기 강도 프로파일을 상기 검출하는 단계에 사용되는 이미지 캡처 디바이스의 대응하는 초점면에 관계시킨다.
- [0100] 일부 구현 예에서, 단계 d)의 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는 상기 메인 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수를 사용하여 대략적인 깊이 맵(coarse depth map)을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0101] 일부 구현 예에서, 대략적인 깊이 맵을 생성하는 단계는:
- [0102] 상기 원색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0103] 상기 원색 채널과 연관된 상기 색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 원색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함한다.
- [0104] 일부 구현 예에서, 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는 상기 하나 이상의 2차 변조 성분 및 연관된 상기 색 방사상 전달 함수를 사용하여 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계를 포함한다. 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계는:
- [0105] 각 2차색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0106] 연관된 상기 2차색 채널과 연관된 상기 색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 각 2차색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0107] 일부 구현 예에서, 상기 원색 채널은 녹색 채널이고, 상기 2차색 채널들은 적색 채널 및 청색 채널이며, 연관된 상기 색 방사상 전달 함수들은 각각 녹색 방사상 전달 함수GRTF, 적색 방사상 전달 함수RRTF 및 청색 방사상 전달 함수BRTF를 정의한다. 상기 색 모자이크는 베이어 패턴(Bayer pattern)일 수 있다.
- [0108] 일부 구현 예에서, 단계 d)의 상기 깊이 맵을 생성하는 단계는:
- [0109] 다음에 의해 대략적인 깊이 맵을 생성하는 단계:
- [0110] 상기 녹색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0111] 상기 녹색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 녹색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0112] 다음에 의해 상기 대략적인 깊이 맵을 보정하는 단계:
- [0113] 상기 적색 채널 및 상기 청색 채널과 연관된 상기 메인 변조 성분으로부터 그것들에 대한 상대적 위상 정보를 획득하는 단계; 및
- [0114] 상기 적색 방사상 전달 함수 및 상기 청색 방사상 전달 함수와 상기 상대적 위상 정보의 비교로부터 상기 적색 채널 및 상기 청색 채널에 대한 절대적 위상 정보를 획득하는 단계를 포함한다.
- [0115] 일 양태에 따르면, 깊이 획득을 위한 이미지 처리 방법이 제공된다. 상기 방법은 관찰 가능한 장면으로부터 입사되는 연속 라이트 필드 또는 파면의 이산화된 샘플링을 나타내는 라이트 필드 이미지 데이터를 처리할 수 있게 한다. 라이트 필드 이미지 데이터는 회절 격자 어셈블리에 의해 회절되고, 선택적으로 후속하여 이미지 데이터 픽셀들의 어레이에 매핑된 모자이크 색 패턴에 따른 스펙트럼 필터링된 입사 파면의 공간 분포를 나타내는 이미지 데이터 픽셀들의 어레이를 형성한다. 회절 격자 어셈블리는 입사 파면의 곡률 및 확산율과 관련된 각도 의존적 회절 패턴을 갖는 회절 파면을 생성하는데 사용되며, 이는 회절 격자 어셈블리 앞에 제공된 포커싱 광학 소자에 의해 야기될 수 있다. 색 응용 분야들에서, 회절 파면은 하지의 색 필터 어레이에 의해 두 개 이상의 개



별 스펙트럼 성분으로 추가 스펙트럼 필터링될 수 있다. 이렇게 스펙트럼 필터링된 회절 파면의 강도는 최종적으로 하지의 픽셀들에 의해 측정되어 라이트 필드 이미지 데이터를 제공하며, 통상적으로 데이터 픽셀들의 로우들과 컬럼들의 이미지 프레임으로 배열된다. 이러한 라이트 필드 이미지 데이터는 일반적으로 픽셀 레벨에서 샘플링된 원래 파면에 대한 강도, 스펙트럼 및 각도 정보의 집합일 것이다. 본 이미지 처리 방법은 이러한 라이트 필드 이미지 데이터를 처리하여 깊이 맵을 획득하고 관찰된 장면의 라이트 필드 이미지를 재구성할 수 있다.

- [0116] 일부 구현 예에서, 이미지 처리 방법은 다음 단계들 중 적어도 일부를 포함할 수 있다:
- [0117] 모자이크 색 패턴에 따라, 이미지 데이터 픽셀들을 복수의 개별 스펙트럼 또는 색 채널로 분할하는 단계. 색 채널들은 적어도 하나의 메인색 채널 및 적어도 하나의 2차색 채널을 포함할 수 있으며, 각 색 채널은 이미지 데이터 픽셀들의 일 부분을 포함한다. 메인색 채널은 2차색 채널과 달리, 전체 사이클에 걸쳐 회절 파면의 상이한 공간 부분들(즉, 위상 성분들)을 샘플링하는 픽셀들을 포함한다. 예로서, 하나의 가능한 구현 예에서, 이미지 데이터 픽셀들은 녹색, 적색 및 청색 채널들로 분할될 수 있으며, 여기서 녹색 채널은 적색 및 청색 채널들과 비교하여 두 배로 샘플링되고(베이어 패턴) 메인 채널로서 작용하는 한편 적색 및 청색 채널들 중 어느 하나 또는 양자가 2차 채널로서 작용한다.
- [0118] 메인색 채널과 연관된 베이스 성분 및 변조 성분을 결정하는 단계. 일반적으로, 라이트 필드 이미지 데이터는 베이스 성분 및 변조 성분을 포함하는 변조 함수로 표현될 수 있다. 베이스 성분은 장면의 기존 2D 이미지가 획득될 수 있는 비위상-의존적 광 파면을 나타내고, 변조 성분은 회절 격자 어셈블리에 의해 생성된 입사 파면에 대한 위상-의존적 교란으로부터 발생한다.
- [0119] 메인 채널의 것들로부터 적어도 하나의 2차 채널의 베이스 성분 및 변조 성분을 결정하는 단계.
- [0120] 메인 베이스 성분을 정규화 기준 세트로 사용하여, 메인 및 2차 베이스 성분들을 사용하여 장면의 전체 색 2D 이미지를 재구성하는 단계.
- [0121] 메인 변조 성분 및 선택적으로 2차 변조 성분(들)으로부터 깊이 맵을 생성하는 단계.
- [0122] 일부 구현 예에서, 변조 성분들은 깊이 맵이 생성될 수 있는 입사 광 파면에 대한 각도 또는 위상 정보를 제공할 수 있다. 보다 구체적으로, 변조 성분들 및 깊이에 포함되는 각도 위상은 이미지 캡처 디바이스의 렌즈 시스템에 의해 야기되는 파면의 전파 또는 경사율을 통해 링크될 수 있다. 그에 따라, 일부 구현 예에서, 이미지 캡처 디바이스의 초점 위치에 대한 지식은 절대적 깊이 매핑에는 필요하지만, 상대적 깊이 매핑에는 필요하지 않다.
- [0123] 변조 성분들에 포함된 파면 전파 정보는 사전 캘리브레이트된 센서-특정 색채 방사상 전달 함수들(CRTF, chromaticRadial transfer functions)과 비교되어 변조 성분들에 의해 제공된 상대적 위상 정보로부터 절대적 위상 정보를 획득할 수 있다. 일부 구현 예에서, 변조 성분들에 의해 제공되는 상대적 위상 정보는 CRTF들을 사용하여 파면 전파에 매핑될 수 있으며, 이러한 파면은 그 자체가 이미지 캡처 디바이스의 초점면에 관한 객체 위치에 대응하여 확산된다. 일부 구현 예에서, 대략적인 깊이 맵은 메인 변조 성분들에 의해 제공될 수 있으며, 이 대략적인 깊이 맵은 2차 변조 성분들에 의해 보정 또는 강화될 수 있다.
- [0124] 일부 종래 기술에서, 깊이 매핑은 스테레오 카메라와 매우 유사하게, 각 평면에서의 두 개의 상이한 라이트 필드 뷰 간의 격차를 생성함으로써 달성될 수 있다. 즉, 그러한 종래 기술들은 자연적으로 깊이를 제공하는 것이 아니라, 이를테면 두 개 이상의 평면 간 격차 또는 시차로부터, 깊이 라이트 필드 정보를 계산한다. 그에 반해, 본 기술들의 일부에서는, 극좌표들에서의 객체의 파면의 각 전파가 극좌표들로 측정되며, 이는 라이트 필드 비교를 통한 격차를 생성하지 않고도 각 전파를 깊이에 직접 매핑할 수 있지만, 또한 그렇게 하는 것이 배제되는 것은 아니다. 다시 말해, 본 기술들 중 일부는 본질적으로 깊이 정보를 캡처한 다음, 이러한 깊이 정보를 사용하여 라이트 필드 이미지들을 구성한다.
- [0125] 다른 방법 및 프로세스 단계들이 상술한 단계들 이전, 동안 또는 이후에 수행될 수 있다는 것이 주의되어야 한다. 또한 응용에 따라, 단계들 중 하나 이상의 단계의 순서가 상이할 수 있고, 단계들 중 일부는 생략, 반복 및/또는 조합될 수 있다.
- [0126] 다른 양태에 따르면, 컴퓨터 프로그램이 저장된 비 일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체가 제공되며, 여기서 컴퓨터 프로그램은 라이트 필드 이미지 데이터를 처리 및/또는 특성화하도록 작동할 수 있으며, 여기서 컴퓨터 프로그램은 하나 이상의 프로세서에 여기에 개시된 방법들의 다양한 단계를 수행할 것을 지시한다.
- [0127] 본 설명의 다른 특징들 및 이점들은 첨부 도면들을 참조하여 단지 예로서 주어진 다음의 특정 실시 예들의 비

제한적인 설명을 읽을 때 더 명백해질 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0128]

도 1은 본 기술들을 사용하여 처리될 라이트 필드 이미지 데이터를 획득하는데 사용될 수 있는 라이트 필드 캡처 디바이스의 일례의 개략적인 사시도이다.

도 2는 도 1의 라이트 필드 캡처 디바이스의 개략적인 부분 분해 조립 사시도이다.

도 3은 본 기술들을 사용하여 처리될 라이트 필드 이미지 데이터를 획득하는데 사용될 수 있는 전면 조사 구성의 라이트 필드 캡처 디바이스의 다른 예의 개략적인 측면도이다.

도 4는 본 기술들을 사용하여 처리될 라이트 필드 이미지 데이터를 획득하는데 사용될 수 있는 후면 조사 구성의 라이트 필드 캡처 디바이스의 다른 예의 개략적인 측면도이다.

도 5는 본 기술들을 사용하여 처리될 라이트 필드 이미지 데이터를 획득하는데 사용될 수 있는 라이트 필드 캡처 디바이스의 일례의 개략적인 부분 분해 조립 측면도이며, 여기서 디바이스를 통한 광의 파면의 전파가 개략적으로 도시된다.

도 6a 및 도 6b는 본 기술들을 사용하여 처리될 라이트 필드 이미지 데이터를 획득하는데 사용될 수 있는 라이트 필드 캡처 디바이스의 두 다른 예의 개략적인 부분 투명 상면도들이며, 여기서 회절 격자의 격자 축은 픽셀 축들 중 어느 하나와 정렬되지 않는다.

도 7은 본 기술들을 사용하여 처리될 라이트 필드 이미지 데이터를 획득하는데 사용될 수 있는 라이트 필드 캡처 디바이스의 일례의 개략적인 부분 분해 조립 측면도이며, 여기서, 회절 격자 어셈블리는 로우들 및 컬럼들 양자가 번갈아 나와 체크보드 패턴을 정의하도록 배열된 직교로 배향된 회절 격자들의 두 집합을 포함한다.

도 8은 본 기술들을 사용하여 처리될 라이트 필드 이미지 데이터를 획득하는데 사용될 수 있는 라이트 필드 캡처 디바이스의 다른 예의 개략적인 측면도이다. 라이트 필드 캡처 디바이스는 회절 격자 어셈블리의 앞에 배치되고 장면으로부터 유래하는 광 파면이 회절 격자 어셈블리에 도달하기 전에 그것을 공간-스펙트럼으로 전파시키는 포커싱 광학계를 포함한다.

도 9는 가능한 실시 예에 따른, 이미지 처리 방법의 흐름도이다.

도 10은 일 변형 예에 따라 색 방사상 전달 함수들을 구축하기 위한 데이터의 획득을 도시한 도해이다.

도 11a 내지 도 11d는 도 10 상에 도시된 각 픽셀 상에서 측정된 픽셀 전압의 예를 도시한다.

도 12a 및 도 12b는 색 방사상 전달 함수의 대표적인 표현들이다.

도 13은 측정할 균일한 광의 강도 및 2차색 채널 변조의 지식으로부터 2차색 방사상 전달 함수들을 각도 또는 거리의 함수로서 획득하기 위한 기술을 도시한다.

도 14는 2차색 방사상 전달 함수들을 내비게이트하기 위해 원색 방사상 전달 함수를 사용하여 정규화된 장면에 독립적인 값을 획득하는 기술을 도시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0129]

본 설명에서, 도면들에서의 유사한 특징들에는 유사한 참조 번호들이 주어졌고, 도면들에 과도하게 번호를 매기지 않기 위해, 일부 구성요소들 수행하는 도면에서 이미 식별 되었다면 그것들은 일부 도면에 표시되지 않을 수 있다. 또한, 본 실시 예들의 요소들 및 구조들을 명확하게 도시하기 위해 강조하기 때문에, 도면들의 요소들이 반드시 축적대로 도시되어 있는 것은 아니라는 것을 이해해야 한다.

[0130]

본 명세서에서, 달리 언급되지 않는 한, 용어 "연결된(connected)" 및 "결합된(coupled)" 뿐만 아니라 이의 어미 변화 및 파생어들은 둘 이상의 요소 사이의 직접 또는 간접 중 어느 하나의 임의의 연결 또는 결합을 지칭한다. 요소들 사이의 연결 또는 결합은 기계적, 광학적, 전기적, 작동상 또는 이들의 조합일 수 있다. 또한, 하나의 요소의 다른 요소에 대한 위치 또는 배향을 나타내는 위치 기술어 및 다른 유사한 용어들은 여기서 설명의 용이 및 명료성을 위해 사용되고 달리 표기되지 않는 한, 도면들과 관련하여 취해져야 하며 제한적인 것으로 간주되어서는 안 된다. 그러한 공간적으로 상대적인 용어들은 도면들에 예시된 배향들 외에 본 실시 예들의 사용 또는 동작시 상이한 배향들을 포함하는 것으로 의도된다. 보다 구체적으로, 본 설명에서, 두 요소의 상대적인 공

간 관계를 특정할 때 "~ 위" 및 "~ 아래"라는 용어들은 두 요소가 서로 직접 접촉하거나 하나 이상의 개입 요소에 의해 서로 분리될 수 있음을 나타낸다는 것이 주의되어야 한다. 본 명세서에서, 용어들 "한", "하나" 및 "하나의"는 "적어도 하나"를 의미하도록 정의되며, 즉, 특별한 언급이 없는 한, 이러한 용어들은 복수의 항목을 배제하지 않는다.

[0131] 본 설명은 개괄적으로 3D 이미징 응용 분야들에서 장면의 3-차원 이미지 데이터를 캡처하고 광 파면 센서에 의해 획득되는 라이트 필드 이미지 데이터를 처리하기 위한 기술들에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 설명은 장면으로부터 방사하는 광 파면에 대한 라이트 필드 정보로부터 관찰 가능한 장면의 3D 또는 깊이 이미지 또는 조합된 2D 이미지 및 깊이 맵을 생성 또는 구축하기 위한 기술들을 개시한다.

[0132] 본 명세서에서, "제공하는"이라는 용어는 광범위하게 사용되고 사용, 획득, 획득, 액세스, 공급, 수신, 할당 및 검색을 위해 이용 가능하게 하는 것을 의미하지만, 이에 제한되지는 않는다. 예로서, 일부 구현 예에서, 처리될 라이트 필드 이미지 데이터의 제공은 라이트 필드 캡처 디바이스를 사용하여 라이트 필드 이미지 데이터를 직접 획득하고 그에 따라 획득된 라이트 필드 이미지 데이터를 이용 가능하게 하는 동작을 수반할 수 있다. 그러나, 다른 구현 예들에서, 라이트 필드 이미지 데이터의 제공은 예를 들어 데이터베이스 또는 저장 매체로부터 이전에 획득된 라이트 필드 이미지 데이터를 검색하거나 수신하는 동작을 수반할 수 있다.

[0133] 일부 구현 예에서, 본 기술들은 적절한 색채 인코딩 메커니즘과 쌍을 이루는 하나 이상의 회절 광학 소자 및 3D 이미징에서의 그것의 사용에 의한 회절의 색채 의존성의 특정 조작 및 비교를 수반한다. 일부 구현 예에서, 3D 이미지로 처리될 라이트 필드 이미지 데이터는 회절 격자에 의한 회절 및 모자이크 색 패턴에 따른 스펙트럼 필터링 이후 라이트 필드의 공간-스펙트럼 분포를 나타내는 이미지 데이터 픽셀들의 어레이를 형성한다

[0134] 일부 구현 예에서, 여기에 개시된 기술들은 관찰 가능한 장면으로부터 유래하는 광 파면의 강도뿐만 아니라, 생성된 간섭 또는 회절 격자 패턴의 특정 공간-스펙트럼 서브 샘플링을 통한 파장에도 민감하여, 회절의 색채 의존성, 입사각, 위상 및 광 파면의 편광의 직접 측정이 가능하다. 그에 따라, 라이트 필드 이미징 디바이스들, 예를 들어 깊이 카메라들은 통상적으로 광 강도만을 레코딩하는 전통적인 카메라들보다 더 많은 정보를 획득할 수 있다. 라이트 필드 캡처 디바이스들에 의해 캡처된 미가공 이미지 데이터는 3D 깊이 맵 추출, 3D 표면 재구성, 이미지 리포커싱(imageRefocusing) 기타 같은 종류의 것을 포함하지만 이에 제한되지 않는 다수의 기능을 제공하기 위해 다양한 방식으로 사용 또는 처리될 수 있다. 응용에 따라, 관찰 가능한 장면의 라이트 필드 이미지 데이터는 하나 이상의 정지 이미지 또는 비디오 스트림으로서 획득될 수 있다. 즉, 각 개별 캡처된 프레임은 일반적으로 개별 라이트 필드 장면을 생성하기 위한 모든 관련 정보를 포함한다. 이러한 프레임들, 그리고 그에 따른 라이트 필드 장면들은 비디오 스트림처럼 작동하도록 순차적으로 조합 및 재생될 수 있다.

[0135] 본 기술들은 예를 들어 사용자가 장면의 캡처된 이미지의 초점, 시점 및/또는 피사계 심도를 변경할 수 있게 하기 위해, 강화된 깊이 감지 및 다른 3D 이미징 기능들을 필요로 하거나 또는 그것들로부터 이점을 가질 수 있는 이미징 응용 분야들에 사용될 수 있다. 비제한적인 전형적인 관찰 가능한 장면의 예들은 다음을 포함할 수 있다: 휴대 전화 상의 전면 카메라를 사용하여 셀피를 찍는 사람, 횡단 보도와 교차로에 접근하는 차 및 정지 신호, 타이트한 주차 장소에 주차하려고 하는 자동차, 가상 또는 증강 현실 장면과 상호 작용하기 위해 몸짓하는 개인의 손 기타 같은 종류의 것.

[0136] 본 기술들은 제한 없이, 플렌옵틱 기술들을 사용하는 라이트 필드 이미징 응용 프로그램들, 회절의 색채 의존도의 비교 분석을 통한 거리 측정 응용 프로그램들 및 단일 센서 단일 이미지 깊이 획득 응용 프로그램들을 포함하는 다양한 유형의 3D 이미징 시스템 및 방법에 적용 또는 구현될 수 있다. 본 기술들의 특정 구현 예들의 비전면 장점들 및 이점들은 다음을 포함할 수 있다: 기능들을 수행하는데 전력을 덜 채용하는 수동 감지 모달리티들과의 호환성; 풋프린트가 감소된 단일 센서 아키텍처들과의 호환성; 2D 성능을 보존하면서 깊이 매핑 기능들을 가능하게 함; 기존 이미지 센서 하드웨어 및 제조 공정들에의 간단하고 저렴한 통합; 기존 CMOS 및 CCD 이미지 센서들과의 호환성; 및 깊이 검출을 위한 능동 조명 시스템들이 장착된 카메라들 또는 듀얼 카메라들과 같이 다수의 구성요소에 대한 필요의 제거.

[0137] 본 명세서에서, 용어 "광/라이트(light)" 및 "광학(optical)"은 전자기 스펙트럼의 임의의 적절한 영역에서의 방사선을 지칭하기 위해 사용된다. 보다 구체적으로, 용어 "광/라이트" 및 "광학"은 가시광으로 제한되지 않고, 제한 없이, 테라헤르츠(THz), 적외선(IR) 및 자외선(UV) 스펙트럼 대역들을 포함하는 비가시 영역들의 전자기 스펙트럼을 포함할 수도 있다. 일부 구현 예에서, 용어 "광/라이트" 및 "광학"은 범위가 원 자외선(deep ultraviolet)에서의 약 175 나노미터(nm) 내지 테라헤르츠 범위에서의 약 300 마이크로미터( $\mu\text{m}$ ), 예를 들어 가시 스펙트럼의 청색 끝의 약 400 nm 내지 통신 파장들의 약 1550 nm, 또는 전형적인 적색-녹색-청색(RGB) 색 필



터들의 스펙트럼 범위와 매칭되는 약 400 nm 내지 약 650 nm인 파장을 갖는 전자기 방사를 포함할 수 있다. 그러나, 해당 기술분야의 통상의 기술자들은 이러한 파장 범위들은 단지 예시를 위해 제공되고 본 기술들은 이러한 범위들을 넘어서 작동할 수 있다는 것을 이해할 것이다.

[0138] 본 명세서에서, 용어들 "색(color)" 및 "색채(chromatic)" 및 이의 어미 변화 및 파생어들은 가시 전자기 방사선(예를 들어, 적색, 녹색 및 청색)에 대한 인간의 인식의 일반적인 맥락에서 사용될뿐만 아니라 보다 광범위하게, 전자기 스펙트럼의 임의의 적절한 영역에 대한 스펙트럼 특성들(예를 들어, 회절, 투과, 반사, 분산, 흡수)을 기술하기 위해 사용된다. 이와 관련하여, 달리 명시되지 않는 한, 용어들 "색" 및 "색채" 및 이들의 파생어들은 "스펙트럼" 및 그 파생어들과 상호 교환적으로 사용될 수 있다.

[0139] 본 기술들은 다양한 유형의 라이트 필드 캡처 디바이스로 캡처된 미가공 라이트 필드 이미지 데이터를 처리하는데 사용될 수 있다. 그러한 디바이스들의 비제한적 예들이 후술되고 도 1 내지 도 11에 도시되어 있다. 여기에 설명된 이미지 처리 기술들을 사용하여 처리될 수 있는 라이트 필드 이미지 데이터를 획득할 수 있는 라이트 필드 캡처 디바이스의 다른 비제한적 예들은 공동 양수된 국제 PCT 특허 출원 제PCT/CA2017/050686호에 개시되어 있으며, 이 내용은 그 전문이 여기에 참고로 통합된다.

[0140] 본 발명의 다른 양태에 따르면, 컴퓨터에 의해 실행될 때, 여기에 개시된 이미지 처리 방법의 다양한 단계를 수행할 수 있는 컴퓨터 실행 가능한 명령들을 저장하는 컴퓨터 판독 가능한 메모리가 제공된다.

[0141] 여기서 사용될 때, "컴퓨터 판독 가능한 메모리"라는 용어는 여기에 개시된 이미지 처리 방법의 다양한 단계의 구현을 위한 실행 가능한 명령들을 저장 및 전달할 수 있는 비일시적인 유형의 컴퓨터 제품을 지칭하는 것으로 의도된다. 컴퓨터 판독 가능한 메모리는 예를 들어: 랜덤 액세스 메모리(RAM) 또는 동적RAM과 같은 임시 저장 유닛; 하드 디스크와 같은 영구 저장소; CD 또는 DVD(재기록 가능 또는 1회 기록/판독 전용)와 같은 광학 저장 디바이스; 플래시 메모리; 및/또는 다른 비일시적 메모리 기술들을 포함하여 임의의 컴퓨터 데이터 저장 디바이스 또는 그러한 디바이스들의 어셈블리일 수 있다. 해당 기술분야의 통상의 기술자들에 의해 이해될 수 있는 바와 같이, 복수의 그러한 저장 디바이스가 제공될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 메모리는 컴퓨터와 연관된 다양한 기능과 관련하여 컴퓨터 판독 가능한 메모리에 저장된 명령들을 실행하도록 구성된 컴퓨터와 연관되거나, 그것에 결합 또는 포함될 수 있다.

[0142] 여기서 사용될 때, "컴퓨터"라는 용어는 여기에 개시된 이미지 처리 방법의 다양한 단계를 수행하는데 필요한 명령들을 적어도 부분적으로 제어 및 실행할 수 있는 전자 회로를 포함하는 임의의 컴퓨팅 또는 처리 유닛 또는 디바이스를 광범위하게 지칭한다. 컴퓨터는 범용 컴퓨터, 중앙 처리 유닛(CPU), 마이크로 프로세서, 마이크로 컨트롤러, 처리 코어 또는 총괄하여 처리 유닛으로 작동하도록 구성된 임의의 다른 처리 자원 또는 그러한 컴퓨터 또는 처리 자원들의 임의의 조합에 의해 구현될 수 있다. 예를 들어, 일부 구현 예에서, 여기에 설명된 이미지 처리 방법을 구현하는 처리 유닛은 이미지 처리 프로세서(ISP) 또는 시스템 온 칩(SoC) 상에서 실행되는 디지털 신호 프로세서(DSP), 그래픽 처리 유닛(GPU), 필드-프로그램 가능한 게이트 어레이(FPGA) 또는 이들의 조합일 수 있다.

[0143] 일부 구현 예에서, 여기에 개시된 처리 방법의 모든 단계는 단일 프로세서에 의해 실현될 수 있는 반면, 다른 구현 예들에서 그러한 방법의 단계들 중 하나 이상은 상이한 프로세서들 상에서 또는 상이한 물리적 위치들에서 수행될 수 있다는 것이 쉽게 이해될 것이다. 또한, 일부 구현 예에서 이미지 데이터의 처리는 또한 라이트 필드의 획득을 수행하는 동일한 디바이스, 예를 들어 전화 또는 태블릿에 의해 수행될 수 있지만, 다른 구현 예에서 라이트 필드 이미지 데이터는 상이한 위치 또는 디바이스로 송신되고 별개로 처리될 수 있다.

[0144] 일부 구현 예에서, 관찰 가능한 장면으로부터 입사되는 연속 광 파면의 이산화된 샘플링을 나타내는 라이트 필드 이미지 데이터를 처리하거나 그 외 작동하는 방법이 제공된다. 라이트 필드 이미지 데이터는 회절 격자 어셈블리에 의한 회절, 그리고 선택적으로 후속하여 이미지 데이터 픽셀들의 어레이에 매핑된 모자이크 색 패턴에 따른 스펙트럼 필터링 이후 광 파면의 공간 분포를 나타내는 이미지 데이터 픽셀들의 어레이로서 제공될 수 있다.

[0145] 도 1 및 도 2를 참조하면, 일부 실시 예에 따른 장면의 3-차원 데이터를 캡처하는 방법과 관련하여 사용될 수 있는, 관찰 가능한 장면(22)에 대한 미가공 라이트 필드 또는 깊이 이미지 데이터를 캡처하기 위한 라이트 필드 캡처 디바이스(20)의 일례의 개략도가 제공된다. 본 명세서에서, "라이트 필드 캡처 디바이스(light field capture device)"라는 용어는 장면으로부터 방사하는 라이트 필드 또는 파면을 나타내고 이미지 평면에서의 광 강도뿐만 아니라 예를 들어 광선들이 디바이스에 진입하는 방향 및 라이트 필드의 스펙트럼과 같은 다른 라이트

필드 파라미터들에 대한 정보를 포함하는 미가공 이미지 데이터를 캡처할 수 있는 임의의 이미지 캡처 디바이스를 광범위하게 지칭한다.

[0146] 라이트 필드 캡처 디바이스(20)는 장면(22)으로부터 유래하는 광 파면(26)을 수용하도록 구성된 회절 격자 어셈블리 또는 구조(24)를 포함한다. 회절 격자 어셈블리(24)는 각각 격자 축(30)을 갖는 적어도 하나의 회절 격자(28) 및 격자 축(30)을 따라 격자 주기(34)를 갖는 회절 격자 패턴 또는 굴절률 변조 패턴(32)을 포함할 수 있다. 도 1 및 도 2에서, 회절 격자 어셈블리(24)는 단일 회절 격자(28)를 포함하지만, 후술될 바와 같이, 다른 디바이스들에는 하나보다 많은 회절 격자가 제공될 수도 있다. 회절 격자(28)는 도입 광 파면(incoming optical wavefront)(26)을 회절시키도록 구성되어, 회절 광 파면(diffracted optical wavefront)(36)을 생성한다.

[0147] 계속해서 도 1 및 도 2를 참조하면, 라이트 필드 캡처 디바이스(20)는 또한 회절 격자 어셈블리(24) 아래에 배치되고 장면(22)에 대한 라이트 필드 이미지 데이터로서 회절 광 파면(36)을 검출하도록 구성된 복수의 감광성 픽셀(40)을 포함하는 픽셀 어레이(38)를 포함한다. 라이트 필드 캡처 디바이스(20)는 또한 픽셀 어레이(38) 위에 배치되는 색 필터 어레이(42)를 포함할 수 있다. 색 필터 어레이(42)는 각각 감광성 픽셀들 중 하나와 연관되는 복수의 색 필터(44)를 포함한다. 색 필터들은 모자이크 색 패턴으로 배열되고 각 색 필터는 파장에 의해 입사광을 필터링하여 색 필터 어레이(42)에서의 각각의 위치에서 색 정보를 캡처한다. 색 필터 어레이(42)는 회절 파면(36)을 복수의 감광성 픽셀(40)에 의한 회절 파면(36)의 검출 이전 모자이크 색 패턴에 따라 공간적으로 그리고 스펙트럼으로 필터링하도록 구성된다. 아래에서 더 설명될 바와 같이, 픽셀 어레이에 의해 회절 격자 어셈블리에 의해 생성된 회절 파면의 검출 이전 그것의 직접 공간-색체 서브 샘플링을 수행하기 위해 색 필터 어레이를 제공함으로써, 라이트 필드 캡처 디바이스는 그것의 스펙트럼 내용뿐만 아니라, 입사광 파면의 각도 및 강도에 민감할 수 있다.

[0148] 적용 또는 사용에 따라, 라이트 필드 캡처 디바이스는 다양한 이미지 센서 아키텍처 및 픽셀 어레이 구성을 사용하여 구현될 수 있다. 예를 들어, 라이트 필드 캡처 디바이스는 픽셀 어레이 및 색 필터 어레이를 포함하는 기존의 이미지 센서 위에 회절 격자 어셈블리를 추가 또는 결합함으로써 간단하게 구현될 수 있다. 예를 들어, 기존 이미지 센서는 통상적 2D CMOS 또는 CCD 이미지일 수 있다. 그러나, 다른 구현 예들에서, 라이트 필드 캡처 디바이스는 그 구성요소들 전부 또는 대부분(예를 들어, 회절 격자 어셈블리, 픽셀 어레이, 색 필터 어레이)을 통합하는 별도의 전용 및/또는 맞춤형 설계 디바이스로서 구현되고 일체로 패키징될 수 있다.

[0149] 예를 들어, 도 3 및 도 4를 참조하면, 일부 구현 예에서, 라이트 필드 캡처 디바이스(20)는 전면 조사 구성에서 회절 격자 어셈블리와 픽셀 어레이 사이에(도 3) 또는 후면 조사 구성에서 픽셀 어레이(38) 아래에(도 4) 배치되는 픽셀 어레이 회로(86)를 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 회절 격자 어셈블리(24)는 전면 조사 아키텍처의 경우 바로 상부 실리콘 층들로 에칭되거나(도 3), 후면 조사 아키텍처의 경우 마이크로 렌즈 어레이(64) 및 색 필터 어레이(42) 바로 위에 배치될 수 있다(도 4). 마이크로 렌즈 어레이(64)는 픽셀 어레이(38) 위에 배치되고 복수의 마이크로 렌즈(66)를 포함한다. 각 마이크로 렌즈(66)는 감광성 픽셀들(40) 중 대응하는 픽셀에 광학적으로 결합되고 그것 위로 입사되는 회절 파면(36)의 공간적 부분을 그것의 대응하는 감광성 픽셀(40) 상에 포커싱하도록 구성된다.

[0150] 전면 조사 기술에서, 픽셀 어레이 회로(86)는 색 필터들(44)을 그것들의 대응하는 감광성 픽셀들(40)에 연결하는 금속 배선 어레이(예를 들어, 복수의 금속 상호 연결 층을 호스팅하는 실리콘 층)를 포함한다. 한편, 후면 조사 기술은 회절 격자 어셈블리(24)에 의한 광 파형(26)의 회절에 의해 생성된 회절 파면(36)을 바로 샘플링할 수 있는 기회들을 제공한다. 광이 픽셀 어레이(38)에 도달하기 전에 그렇지 않다면 광 손실을 초래했을 픽셀 어레이 회로(86)의 금속 배선 어레이를 통과할 필요가 없기 때문에, 주기성이 증가된 보다 적극적인 회절 격자 설계들이 구현될 수 있다. 또한, 보다 짧은 광학 스택 구성은 도 2에 도시된 바와 같이, 회절 격자 어셈블리(24)가 픽셀 어레이(38)의 수광면(68)에 훨씬 더 근접하게 위치될 수 있게 함으로써, 픽셀 뱅크들 간에 바람직하지 않은 크로스-토크를 유발할 수 있는 보다 고차원 회절 효과의 위험을 감소시킨다. 유사하게, 픽셀 크기 감소는 기존 이미징 웰들에 의한 회절 격자의 직접 서브 샘플링을 가능하게 할 수 있다.

[0151] 전술한 단락들에서 소개된 구성요소들 뿐만 아니라 라이트 필드 캡처 디바이스의 다른 가능한 구성요소들의 구조, 구성 및 동작에 관한 보다 세부 사항은 후술될 것이다.

[0152] 도 1 및 도 2로 돌아가, 회절 격자(28)는 색 필터 어레이(42) 위에 연장되는 격자 기관(46)을 포함한다. 격자 기관(46)은 주기적인 굴절률 변조 패턴(32)이 형성되어 있는 상면(48), 및 하면(50)을 갖는다. 격자 기관(46)은 회절 파면(36)이 투과될 수 있도록 스펙트럼 작동 범위에서 투명하거나 충분히 투명한 재료로 만들어진다. 그러한 재료의 비제한적인 예들은 산화 규소(SiO<sub>x</sub>), 중합체들, 콜로이드 입자들, SU-8 포토레지스트 및 유리들을 포

함한다. 예를 들어, 일부 구현 예에서, 회절 격자(28)는 약 400 nm 내지 약 1550 nm 범위의 파장 대역에서 광 파면(26)을 회절시키도록 구성될 수 있다.

[0153] 회절은 전자기든 아니든 파면이 물리적 객체 또는 굴절률 섭동을 만났을 때 발생한다. 파면은 객체의 가장자리 들 주위에서 구부러지는 경향이 있다. 파면이 주기적이든 아니든 다수의 객체를 만나면, 해당 파형 요소들은 영(Young)의 이중 슬릿 실험에 의해 입증된 바와 같이 처음 만난 곳으로부터 일정 거리가 떨어져 간섭될 수 있다. 이러한 간섭은 원래의 만난 곳으로부터의 거리의 함수로서 "회절 격자 패턴" 또는 "회절 패턴" 또는 "간섭 패턴"으로 불리는 뚜렷한 패턴을 생성하는데, 이는 파면의 입사각 및 스펙트럼 함량, 및 만난 객체들의 일반적인 크기, 형상 및 상대적인 공간 관계들에 민감하다. 이러한 간섭은 하위헌스-프레넬(Huygens-Fresnel) 원리에 의해 설명된 바와 같이, 각 대응하는 파형 요소의 진전하는 상대적 전방을 통해 설명될 수 있다.

[0154] 본 명세서에서, "회절 격자(diffractionGrating)"또는 간단히 "격자"라는 용어는 일반적으로 입사되는 광 파면 의 진폭 및/또는 위상을 공간적으로 변조시키는 주기적으로 변조된 광학적 속성들(예를 들어, 굴절률 변조 패턴)을 갖는 주기적 구조를 지칭한다. 회절 격자는 투과 회절 마스크(TDM, Transmission Diffraction Mask)로 지칭될 수도 있다. 회절 격자는 공간 주기 - 격자 주기 - 가 광의 파장과 거의 같거나 약간 더 긴(예를 들어, 몇 배 이하로 더 긴) 회절 요소들의 주기적인 배열(예를 들어, 릿지들 및 홈들이 번갈아 나오는)을 포함할 수 있다. 회절 격자 상에 입사하는 파장 범위를 포함하는 광 파면은 회절시, 그것의 진폭 및/또는 위상이 변형될 것이고, 그 결과 공간- 및 시간-의존적 회절 파면이 생성된다. 일반적으로, 회절 격자는 스펙트럼으로 분산되어 입력 광 파면의 각 파장이 상이한 방향을 따라 출력되게 될 것이다. 그러나, 작동 스펙트럼 범위에 걸쳐 실질적 으로 무채색 반응을 보이는 회절 격자가 존재하고 일부 구현 예에서 사용될 수 있다. 예를 들어, 일부 구현 예 에서, 회절 격자는 관심 스펙트럼 범위에서 무채색일 수 있고 관심 스펙트럼 범위의 중심 파장에 대해 설계될 수 있다. 보다 구체적으로, 베이어 패턴 색 필터 어레이의 경우, 회절 격자는 녹색 채널, 즉 약 532 nm의 중심 파장 주위에 최적화될 수 있다. 회절 격자가 무채색일 때, 그것은 회절 파면의 회절 패턴의 색채 서브-샘플링을 제공하는 것이 색 필터 어레이의 모자이크 색 패턴이라는 점이 주의되어야 한다.

[0155] 회절 격자를 형성하는 회절 요소들이 투과성인지 반사성인지에 따라, 회절 격자는 "투과 격자" 또는 "반사 격자"로 지칭될 것이다. 여기에 설명된 회절 격자들은 투과 격자들이지만, 반사 격자들의 사용이 선행적으로 배 제되지는 않는다. 회절 격자들은 또한 회절 요소들의 특성에 따라, "진폭 격자들" 또는 "위상 격자들"로서 분류 될 수 있다. 진폭 격자들에서, 격자에 의해 야기된 초기 파면에 대한 섭동은 직접 진폭 변조의 결과인 한편, 위 상 격자들에서, 이러한 섭동은 격자 재료의 굴절률의 주기적인 변동에 의해 야기되는 광의 상대적 군-속도의 특 정 변조의 결과이다. 여기에 설명된 회절 격자들은 위상 격자들이지만, 다른 구현 예들에서는 진폭 격자들이 사 용될 수도 있다.

[0156] 도 1 및 도 2에서, 회절 격자(28)는 위상 격자, 보다 구체적으로는 굴절률 변조 패턴(32)이 격자 주기(34)로 주 기적으로 이격된 일련의 릿지(52)를 포함하고, 또한 격자 주기(34)로 주기적으로 이격된 일련의 홈(54)이 끼워 넣어진 이진 위상 격자이다. 그에 따라 굴절률 변조 패턴(32)의 공간 프로파일은 격자 주기(34)가 격자 축(30) 을 따라 하나의 릿지(52) 및 하나의 인접한 홈(54)의 폭의 합에 대응하는 2-레벨 계단 함수 또는 구형파 함수를 보인다. 격자 주기(34)는 약 1  $\mu\text{m}$  내지 약 20  $\mu\text{m}$  범위일 수 있지만, 다른 값들도 가능하다. 도 1 및 도 2에서, 홈들(54)은 비어 있지만(즉, 그것들이 공기로 채워져 있다), 대안적으로 릿지 재료의 굴절률과 상이한 굴절률을 갖는 재료로 채워질 수도 있다. 또한, 응용에 따라, 회절 격자(28)는 50%와 실질적으로 동일하거나 상이한 듀티 사이클을 가질 수 있으며, 듀티 사이클은 릿지 폭 대 격자 주기(34)의 비로 정의된다. 회절 격자(28)의 다른 파 라미터는 단차 높이(56), 즉 릿지들(52)과 홈들(54) 간 레벨 차이이다. 예를 들어, 단차 높이(56)는 약 0.2  $\mu\text{m}$  내 지 약 1  $\mu\text{m}$  범위일 수 있다. 일부 상황에서, 단차 높이(56)는 회절 격자(28)가 인접한 릿지들(52)과 홈들(54) 간에 미리 결정된 광로 차를 야기하도록 선택될 수 있다. 예를 들어, 단차 높이(56)는 광 파면의 주어진 파장 및 입사각(예를 들어, 그것의 중심 파장)에서, 릿지들과 홈들 간에 반파장 광로 차를 제공하도록 제어될 수 있 다. 물론, 다른 적용 예들에서는 다른 광로 차 값들이 사용될 수도 있다.

[0157] 도 1 및 도 2에서의 회절 격자(28)는 구형파 굴절률 변조 패턴(32)을 형성하는 평행한 릿지들(52) 및 홈들(54) 이 번갈아 나오는 세트들로 이루어지는 선형 또는 1-차원 이진 위상 격자이지만, 다른 라이트 필드 캡처 디바이 스는 상이한 유형들의 회절 격자들, 이를테면: 격자 주기, 듀티 사이클 및 단차 높이 중 적어도 하나가 가변적 인 회절 격자들; 격자 축에 수직인 비직선형 특징부들을 갖는 회절 격자들; 보다 정교한 굴절률 프로파일들을 갖는 회절 격자들; 2D 회절 격자들; 기타 같은 종류의 것을 채용할 수 있다는 것이 주의되어야 한다.

[0158] 계속해서 도 1 및 도 2를 참조하면, 픽셀 어레이(38)는 그 자체가 회절 격자 어셈블리(24) 아래에 배치되는 색



필터 어레이(42) 아래에 배치되는 복수의 감광성 픽셀(40)을 포함한다. 본 기술들에서, 감광성 픽셀들(40)에 의해 라이트 필드 이미지 데이터로서 검출되는 전자기 방사선은 픽셀 어레이(38)에 도달하기 전에 회절 및 공간-색채 필터링된, 장면(22)으로부터 입사된 광 파면(26)에 대응한다. 픽셀 어레이(38)는 CMOS 또는 CCD 이미지 센서에 의해 구현될 수 있지만, 대안적으로 다른 유형들의 광 검출기 어레이들이 사용될 수도 있다. 상술한 바와 같이, 픽셀 어레이(38)는 스펙트럼의 임의의 적절한 영역에서 전자기 방사선을 검출하도록 구성될 수 있다. 픽셀 어레이(38)의 각 감광성 픽셀(40)은 그것 상으로 입사되는 회절 파면(36)의 공간 부분을 축적된 전하로 변환할 수 있으며, 이 양은 픽셀(40)에 의해 집광 및 정합된 광량에 비례한다. 각 감광성 픽셀(40)은 픽셀 레벨에서 신호들을 처리하고 판독 유닛과 같은 다른 전자 기기들과 통신하기 위한 감광성 표면 및 관련 픽셀 회로를 포함할 수 있다.

[0159] 계속해서 도 1 및 도 2를 참조하면, 감광성 픽셀들(40)은 두 직교하는 픽셀 축(58, 60)에 의해 확정되는 로우들 및 컬럼들의 직사각형 그리드로 배열될 수 있다. 로우들 및 컬럼들의 수는 픽셀 어레이(38)의 해상도를 정의한다. 예를 들어, 일부 구현 예에서, 픽셀 어레이(38)는 적어도 16 픽셀의 해상도를 가질 수 있지만, 다른 적용 예들에서는 최대 40 메가 픽셀 이상을 포함하는 광범위한 다른 해상도 값들이 사용될 수도 있다. 감광성 픽셀들(40)이 도 1 및 도 2에서 2D 어레이로 편성되지만, 그것들은 다른 적용 예들에서 선형 어레이로서 구성될 수도 있다는 것이 주의되어야 한다.

[0160] 또한 픽셀 어레이(38)는 픽셀 피치(62)로 특징지어질 수도 있다. 본 명세서에서, "픽셀 피치(pixel pitch)"라는 용어는 일반적으로 개별 픽셀들(40) 간 간격을 지칭하고 통상적으로 인접한 픽셀들(40) 간 중심 간 거리로 정의된다. 픽셀 어레이(38)의 물리적 배열에 따라, 두 직교하는 픽셀 축(58, 60)에 따른 픽셀 피치(62)는 동일할 수도 그렇지 않을 수도 있다. 또한 픽셀 피치는 임의의 축을 따라, 예를 들어 두 직교하는 픽셀 축(58, 60)에 대하여 45°로 배향된 대각 축을 따라 정의될 수 있다는 것이 주의되어야 한다. 또한 본 기술들에서, 관련 픽셀 피치(62)는 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 상부 회절 격자(28)의 격자 축(30)을 따르는 것이라는 것이 주의되어야 한다. 아래에 더 상세히 설명될 바와 같이, 일부 실시 예에서, 회절 격자(28)의 격자 주기(34)는 격자 축(30)을 따라 픽셀 어레이(38)의 픽셀 피치(62)보다 더 크게 선택되거나, 다르게 말해, 격자 축(30)을 따라 픽셀 피치(62)가 격자 주기(34)보다 더 작다. 예를 들어, 일부 구현 예에서 격자 축(30)에 따른 픽셀 피치(62)는 1  $\mu\text{m}$  이하 내지 10  $\mu\text{m}$  범위일 수 있지만, 다른 구현 예들에서는 상이한 픽셀 피치 값들이 사용될 수도 있다.

[0161] 본 명세서에서, "픽셀 데이터(pixel data)"라는 용어는 각 개별 픽셀에 의해 캡처되는 이미지 정보를 지칭하고 통합 기간 동안 각 개별 픽셀에 의해 흡수된 총 광 에너지 양을 나타내는 강도 데이터를 포함할 수 있다. 모든 픽셀(40)로부터의 픽셀 데이터를 조합하면 장면(22)에 대한 "미가공" 라이트 필드 이미지 데이터가 생성된다. 본 기술들에서, 장면(22)으로부터 입사된 광 파면(26)은 검출 전에 회절되고 공간적으로 그리고 스펙트럼으로 필터링되기 때문에, 라이트 필드 이미지 데이터는 입사 파면(26)의 강도뿐만 아니라, 그것의 입사각, 위상 및 스펙트럼 함량과 같은 다른 라이트 필드 파라미터들에 대한 정보도 제공한다. 보다 구체적으로, 본 기술들은 아래에 더 설명될 바와 같이, 픽셀 어레이(38)에 의해 캡처되는 광-기반 회절 패턴으로부터 깊이 또는 다른 라이트 필드 정보의 복구 또는 추출을 가능하게 할 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0162] 계속해서 도 1 및 도 2를 참조하면, 색 필터 어레이(42)는 픽셀 어레이(38)와 공간적으로 정합되어, 각 색 필터(44)가 감광성 픽셀들(40) 중 대응하는 픽셀에 광학적으로 결합된다. 즉, 각 색 필터(44)가 단일 감광성 픽셀(40)을 커버하여, 색 필터들(44)과 감광성 픽셀들(40) 간에 일대일 관계, 또는 매핑이 존재하게 된다. 그러나, 다른 구현 예들에서, 각 색 필터는 복수의 감광성 픽셀 중 적어도 두 대응하는 픽셀에 광학적으로 결합될 수도 있다. 그러나, 양 구성 모두에서, 색 필터 어레이(42) 및 픽셀 어레이(38)는 함께 아래에 상세하게 설명될 바와 같이, 상부 회절 격자 어셈블리(24)에 의해 생성되는 회절 파면의 직접 공간-색채 샘플링을 가능하게 한다.

[0163] 도 1 및 도 2에서, 색 필터(44)는 모자이크 색 패턴 또는 구성에 따라 물리적으로 편성된다. 색 필터들은 원색 및 원색과 연관된 상이한 인접 픽셀들이 회절 광 파면의 전체 사이클에 걸쳐 회절 광 파면의 상이한 공간 부분들을 검출하도록 배열된 하나 이상의 2차색을 정의하는 색 모자이크를 형성한다. 일부 구현 예에서, 각 색 필터(44)는 적색 통과 필터, 녹색 통과 필터 및 청색 통과 필터 중 하나이다. 예를 들어, 도 1 및 도 2에서, 색 필터 어레이(42)의 모자이크 색 패턴은 색 필터들이 적색(R) 및 녹색(G) 필터들의 로우들에 녹색(G) 및 청색(B) 필터들이 번갈아 나오는 로우들이 끼워 넣어진 체크무늬 패턴으로 배열되는 베이어(Bayer) 패턴이다. 베이어 패턴은 적색 또는 청색 필터들보다 두 배 많은 녹색 필터를 포함하여, 모자이크 색 패턴의 녹색 성분이 메인 원색으로 또는 "조밀하게 샘플링된" 성분으로 지칭될 수 있게 되고, 적색 및 청색 성분들 양자는 2차색들 또는 "산발적으로 샘플링된" 성분들로 지칭될 수 있다. 다른 적용 예들에서, 모자이크 색 패턴은 보다 정교한 베이어-타입 패턴들, 예를 들어 n이 4보다 큰 정수인 n-픽셀 단위 셀을 갖는 바이어-타입 패턴들로 구현될 수도 있다.

물론, 본 기술은 베이어-타입 패턴들로 제한되지 않고, RGB, RGB-IR, RGB-W, CYGM, CYYM, RGBE, RGBW #1, RGBW #2, RGBW #3 및 단색을 포함하지만 이에 제한되지는 않는 임의의 적절한 모자이크 색상 패턴에 적용될 수 있다. 일부 구현 예에서, 색 필터 어레이(42)는 표준 가시 베이어 패턴을 넘어 하이퍼스펙트럴 이미징 및 필터링 기술들 또는 간섭 측정 필터링 기술들을 포함하도록 확장될 수 있다는 것이 주의되어야 한다. 그러한 경우들에서, 회절 격자(28)(예를 들어, 격자 주기(34))의 설계는 증가된 스펙트럼 샘플링 범위를 수용하도록 조정될 수 있다.

[0164] 이제 도 5를 참조하면, 단색 이미징 적용 예들에 적합한 라이트 필드 캡처 디바이스(20)의 개략적인 부분 분해 조립 측면도가 도시되어 있다. 라이트 필드 캡처 디바이스(20)는 감광성 픽셀들(40)의 픽셀 어레이(38) 및 관련 색 필터 어레이(42) 위에 배치되는 회절 격자(28)를 포함한다는 점에서, 도 1 및 2에 도시된 것과 유사점들을 공유한다. 회절 격자(28)는 듀티 사이클이 50%이고 및 릿지들(52) 및 홈들(54)이 번갈아 나오는 세트들로 이루어지는 주기적인 굴절률 변조 패턴(32)을 갖는 이진 위상 투과 격자이다. 도 5는 또한 디바이스(20)를 통한 광의 전파를 개략적으로 도시한다. 작동시, 라이트 필드 캡처 디바이스(20)는 관찰 가능한 장면(22)을 포함하는 시야를 갖는다. 회절 격자(28)는 그것의 입력측 상에서 장면(22)으로부터 입사하는 광 파면(26)(실선)을 수용하고, 광 파면(26)을 회절시켜 그 출력측 상에 그렇게 함으로써 검출을 위해 색 필터 어레이(42)를 통해 픽셀 어레이(38)를 향해 전파하는 회절 광 파면(36)(실선)을 생성한다. 간단히 하기 위해, 도 5에서의 도입 광 파면(26)은 회절 격자(28) 상에 수직 입사로 충돌하는 평면파의 파면에 대응한다. 그러나, 본 기술들은 라이트 필드 캡처 디바이스의 시야 내에서 임의의 각도로 회절 격자(28) 상에 입사하는 임의의 형상의 광 파면에 대해 구현될 수 있다.

[0165] 계속해서 도 5를 참조하면, 회절 파면(36)은 그 형태가 회절 격자(28)의 기하학적 구조, 광학 파면(26)의 파장 및 입사각, 및 픽셀 어레이(38)의 수광면(68)에 대응하는 찰면의 위치의 함수인 회절 패턴으로 특징지어질 수 있다. 관찰면에서, 회절 파면(36)의 회절 패턴은 픽셀 어레이(38)의 수광면(68)에서 격자 축(30)을 따라 공간적으로 변화하는 강도 프로파일(70)로 특징지어질 수 있다. 도 5에서, 격자 축(30)은 픽셀 축(58)에 평행하다는 것이 주의되어야 한다.

[0166] 회절 격자(28) 및 픽셀 어레이(38)는 공동 양수된 국제 PCT 특허 출원 번호 PCT/CA2017/050686에 설명된 바와 같이, 픽셀 어레이(38)의 수광면(68)이 회절 격자(28)의 근접장 회절 영역, 또는 간단히 근접장에 위치되도록 서로에 관해 배치된다. 근거리 회절 영역에서, 회절 격자를 통과하는 파들의 회절 패턴을 계산하는데 프레넬(Fresnel) 회절 이론이 사용될 수 있다. 원거리장 프라운호퍼(Fraunhofer) 회절 이론과 달리, 프레넬 회절은 파면 곡률을 고려하여, 간섭파들의 상대적 위상을 계산할 수 있다. 근접장에서 회절 파면(36)을 검출하기 위해, 본 기술들은 굴절률 변조 패턴(32)이 형성되고 회절이 발생하는 회절 격자(28)의 상면(48)과 회절 파면(36)이 검출되는 하지의 픽셀 어레이(38)의 수광면(68) 간에 충분히 작은 분리 거리(72)를 유지하는 것을 수반할 수 있다. 일부 구현 예에서, 이는 광 파면(26)의 중심 파장의 약 10배 미만이 되도록 분리 거리(72)를 선택하는 것을 수반할 수 있다.

[0167] 근접장 회절 영역에서, 주기적 회절 격자(28)에 의해 생성되는 회절 파면(36)의 강도 프로파일(70)은 일반적으로 회절 격자(28)의 격자 주기(34)와 실질적으로 매칭되는 공간 주기(74) 뿐만 아니라 회절 격자(28)의 굴절률 변조 패턴(32)과 실질적으로 매칭되는 형상을 갖는다. 예를 들어, 도 5에서, 픽셀 어레이(38)의 감광성 픽셀들(40)에 의해 검출되는 회절 파면(36)의 회절 패턴은 이진 위상 회절 격자(28)의 굴절률 변조 패턴(32)의 강도 프로파일과 실질적으로 매칭되는 구형파, 또는 2-계단 강도 프로파일(70)을 갖는다. 본 명세서에서, "매치(match)" 및 파생어들은 검출된 회절 파면(36)의 세기 프로파일(70)과 회절 격자(28)의 주기적인 굴절률 변조 패턴(32) 간 "정확한(exact)" 또는 "완벽한(perfect)", 뿐만 아니라 "실질적인(substantial)", "대략적인(approximate)" 또는 "실체적인(subjective)" 매치도 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, "매치"라는 용어는 여기서 두 개의 특징부가 서로 동일하거나 미리 결정된 허용 오차 내에 있는 상태를 지칭하는 것으로 의도된다. 주기적 회절 격자에 의한 근접장 회절의 또 다른 특징은 회절 격자(28) 상의 도입 광 파면(26)의 입사각(76) 변화시, 회절 파면(36)의 강도 프로파일(70)이 격자 축(30)을 따라 측면으로 이동되나, 도 5에서의 실선과 파선의 파면들 간 비교로부터 알 수 있듯이, 그것의 주기(74) 및 형상을 실질적으로 유지한다는 것이다.

[0168] 도 5에 도시된 실시 예에서, 색 필터 어레이(42)는 베이어 패턴을 가지며, 이 중 도 5는 녹색(G) 및 청색(B) 필터들이 번갈아 나오는 로우를 도시한다. 도 5는 또한 디바이스(20)를 통한 광의 전파를 개략적으로 도시한다. 작동시, 회절 격자(28)는 상술한 바와 같이, 장면(22)으로부터 유래하는 광 파면(26)을 수신 및 회절시켜 회절 광 파면(36)을 생성한다. 색 필터 어레이(42)는 하지의 픽셀 어레이(38)에 의한 검출 이전에 회절 광 파면(36)을 수용하고 공간-스펙트럼 필터링한다. 그에 따라, 라이트 필드 캡처 디바이스(20)의 작동은 색 필터 어레이

(42) 및 하지의 픽셀 어레이(38)를 포함하는 센서 구조 위에 배치되는 주기적 회절 격자(28)의 제공에 의해 가능해지는 직접 공간 및 색채 샘플링된 회절 파면(36)에 기초한다.

[0169] 하지의 픽셀 어레이(38)에 광학적으로 결합될 시, 회절 격자(28)는 광 위상 정보를 표준 2D 이미지와 컨볼빙해서, 검출된 회절 파면(36)의 회절 패턴의 강도 프로파일(70)이 일반적으로 변조 성분( $I_{mod}$ ) 및 베이스 성분( $I_{base}$ )을 포함하는 변조된 함수  $I \sim I_{mod}(\text{깊이 정보}) > I_{base}$ (2D 이미지)로서 기록될 수 있게 된다. 베이스 성분( $I_{base}$ )은 앞에 회절 격자(28)가 없었다면 픽셀 어레이(38)에 의해 검출되었을 비위상-의존적 광 파면을 나타낸다. 다시 말해, 베이스 성분( $I_{base}$ )만을 검출하면 장면(22)의 기존 2D 이미지가 획득될 수 있을 것이다. 한편, 베이스 성분( $I_{base}$ )과 비교하여 일반적으로 작은(예를 들어, 약 0.1 내지 약 0.3 범위의  $I_{mod}$  대  $I_{base}$ 의 비) 변조 성분( $I_{mod}$ )은 입사 광 파면(26)의 위상의 직접적인 결과이므로, 입사각의 임의의 에지 또는 약간의 차이는 픽셀 어레이(38)에 걸쳐 공간적으로 샘플링된 주기적 전기 응답으로서 발현하게 될 것이다. 입사각에 대한 감도, 그리고 그에 따른 각도 분해능은 회절 격자(28)의 특정 설계에 의존한다.

[0170] 색 필터 어레이(42)에 의한 공간-스펙트럼 필터링 이후 픽셀 어레이(38)에 의해 검출되는 회절 파면(36)의 강도 프로파일(70)은 적색 필터들에 의해 필터링된 회절 파면(36)의 부분들, 녹색 필터들에 의해 필터링된 회절 파면(36)의 부분들 및 청색 필터들에 의해 필터링된 회절 파면(36)의 부분들의 조합 또는 중첩이라는 것이 이해될 것이다. 그에 따라, 표준 RGB 베이어 패턴을 예로서 사용하면, 강도 프로파일(I)의 변조 성분( $I_{mod}$ ) 및 베이스 성분( $I_{base}$ )은 다음과 같이 그것들 각각의 색 성분들로 분할될 수 있다:

[0171] 
$$I_R \sim I_{mod,R}(\text{깊이 정보}) * I_{base,R}(2D \text{ 이미지}), \quad (3)$$

[0172] 
$$I_G \sim I_{mod,G}(\text{깊이 정보}) * I_{base,G}(2D \text{ 이미지}), \quad (4)$$

[0173] 
$$I_B \sim I_{mod,B}(\text{깊이 정보}) * I_{base,B}(2D \text{ 이미지}). \quad (5)$$

[0174] 도 5에서, 강도 프로파일( $I_G$  및  $I_B$ )은 각각 파선 및 점선으로 도시되어 있다. 일부 구현 예에서, 이러한 개별 색 채널들은 독립적으로 취급되어 개별 색 채널 라이트 필드 장면들을 생성할 수 있다. 이미지는 그 자체의 각각의 파일로 각각 개별 색 채널들로 전달될 수 있기 때문에, 이러한 개별 장면들은 이미지 압축뿐만 아니라 깊이 및 장면 분석을 위한 또 다른 큐를 제공하기 위해 비교될 수 있다.

[0175] 계속해서 도 5를 참조하면, 상술한 바와 같이, 일부 실시 예에서, 픽셀 어레이(38)는 격자 축(30)을 따라 회절 격자(28)의 격자 주기(34)보다 작은 픽셀 피치(62)를 갖는다. 이는 픽셀 어레이(38)의 수광면(68)이 회절 격자(28)의 근접장에 있을 때, 격자 축(30)에 따른 픽셀 어레이(38)의 픽셀 피치(62)가 또한 검출된 회절 파면(36)의 격자 축(30)에 따른 강도 프로파일(70)의 공간 주기(74)보다 작다는 것을 의미한다. 이러한 조건이 충족될 때, 검출된 회절 파면(36)의 강도 프로파일(70)의 완전한 주기가 픽셀 어레이(38)의 적어도 두 인접한 픽셀 뱅크에 의해 샘플링될 것이며, 이러한 픽셀 뱅크들의 각각은 전체 사이클에 걸쳐 강도 프로파일(70)의 상이한 공간 부분을 샘플링한다. 본 명세서에서, "픽셀 뱅크(pixel bank)"라는 용어는 상부 회절 격자의 격자 축에 수직인 선을 따라 배열되는 픽셀 어레이의 감광성 픽셀 그룹을 지칭한다. 즉, 두 인접한 픽셀 뱅크는 격자 축을 따라 픽셀 피치에 대응하는 거리만큼 서로 분리된다. 예를 들어, 도 5에서, 픽셀 어레이(38)의 각 픽셀 뱅크는 페이지의 평면에 수직으로 연장된다.

[0176] 응용에 따라, 격자 축(30)에 따른 회절 격자(28)의 격자 주기(34) 대 픽셀 어레이(38)의 픽셀 피치(62)의 비(R)는 몇 가지 값을 취할 수 있다. 일부 구현 예에서, 비(R)는 2 이상(즉,  $R \geq 2$ )일 수 있거나; 또는 1보다 큰 양의 정수와 같거나(즉,  $R = (n + 1)$ , 여기서  $n = \{1, 2, \dots\}$ ); 또는 2의 정수 곱과 같거나(즉,  $R = 2n$ , 여기서  $n = \{1, 2, \dots\}$ ); 또는 기타 같은 종류의 것일 수 있다. 일부 구현 예에서, 격자 주기(34)는 격자 축(30)을 따라 픽셀 피치(62)보다 클뿐만 아니라 픽셀 피치(62)에 너무 근접하지 않는 것이 유리하거나 요구될 수 있다. 예를 들어, 일부 구현 예에서, 격자 주기(34)는 각 인접한 픽셀 뱅크 쌍이 그에 따라 변조 회절 파면(36)을 충분히 서브 샘플링할 수 있게 하기 위해 하지의 픽셀 뱅크 피치(62)의 적어도 약 2배인 것이 바람직할 수 있으며, 그 공간 변조율은 거의 또는 나이퀴스트(Nyquist)율에서, 회절 격자(28)의 속성들에 의해 좌우된다. 이러한 나이퀴스트 또는 거의 나이퀴스트 서브 샘플링은 표준 신호 처리 기술들에 의해 측정된 신호(I)로부터 변조 성분( $I_{mod}$ )을 직접 제거할 수 있다. 제거되면, 변조 신호( $I_{mod}$ )는 베이스 성분( $I_{base}$ )과 독립적으로 조작될 수 있다.

- [0177] 예를 들어, 도 5에서, 격자 축(30)에 따른 격자 주기(34) 대 픽셀 피치(62)의 비(R)는 실질적으로 2와 같다. 그러한 경우에, 인접한 픽셀 बैं크들은 검출된 회절 파면(36)의 강도 프로파일(70)의 상보적인 공간 위상들, 즉, 서로 약  $180^\circ$  만큼 위상 편이되는 강도 프로파일(70)의 공간 부분들을 샘플링할 것이라는 것이 이해될 것이다. 이는 수학적으로 다음과 같이 표현될 수 있으며:  $|\phi_{\text{bank},n+1} - \phi_{\text{bank},n}| = \pi$ , 여기서  $\phi_{\text{bank},n+1}$  및  $\phi_{\text{bank},n}$ 은 각각 픽셀 어레이(38)의  $(n + 1)$ 번째 및  $n$ 번째 픽셀 बैं크들에 의해 측정된 강도 프로파일(70)의 공간 위상들이다. 그러한 구성은 입사 파면들의 상호 작용으로 인한 간섭 패턴의 서브 샘플링을 통한 변조 성분( $I_{\text{mod}}$ ) 및 베이스 성분( $I_{\text{base}}$ )의 직접 디컨볼루션을 가능하게 할 수 있다.
- [0178] 
$$I_{\text{base}} = 1/2[I(\text{bank}_n) + I(\text{bank}_{n+1})], \quad (6)$$
- [0179] 
$$I_{\text{mod}} = 1/2[I(\text{bank}_n) - I(\text{bank}_{n+1})]. \quad (7)$$
- [0180] 식 (6) 및 식 (7)에서  $I(\text{bank}_n) \pm I(\text{bank}_{n+1})$ 은 일반적으로 관련 픽셀 बैं크에서 모든 로우의 픽셀들에 의해 측정된 강도들을 합산함으로써 획득된다는 것이 주의되어야 한다.
- [0181] 계속해서 도 5를 참조하면, 회절 격자(28)는 50%(즉, 릿지들(52) 및 홈들(54)이 동일한 폭을 가짐)의 듀티 사이클을 갖고, 각 감광성 픽셀(40)은 릿지들(52) 중 대응하는 릿지 또는 홈들(54) 중 대응하는 홈 중 어느 하나 아래에 그것과 수직 정렬로 위치된다. 그러나, 다른 응용 예들에서는 다른 배열들이 사용될 수도 있다.
- [0182] 표준 RGB 베이어 패턴에서, 적색 및 청색 필터들은 항상 인접한 픽셀 बैं크들에 위치되기 때문에, 산발적으로 샘플링된 적색 및 청색 성분들과 연관되는 신호들( $I_R$  및  $I_B$ )은 서로에 관해 역위상이 될 것이다. 한편, 녹색 필터들은 모든 픽셀 बैं크에 존재하기 때문에, 조밀하게 샘플링된 녹색 성분들과 연관되는 신호( $I_G$ )는 동상 및 이상 기여분들 양자를 모두 포함할 것이다.
- [0183] 도 5에서, 회절 격자(28)는 하지의 픽셀 어레이(38)에 대해 격자 축(30)이 두 직교하는 픽셀 축(58, 60) 중 하나에 평행하도록 배향된다. 도 6a 및 도 6b에 도시된 바와 같이, 다른 응용 예들에서 격자 축(30)은 대신 직교하는 픽셀 축들(58, 60)에 대해 경사질 수 있다. 그러한 구성들에서, 격자 축(30)에 따른 픽셀 피치(62)는 격자 주기보다 작게 유지될 수 있다는 것이 주의되어야 한다. 또한 위에서 정의된 것과 같은 픽셀 बैं크들, 즉, 상부 회절 격자(28)의 격자 축(30)을 가로 지르는 선을 따라 배열되는 픽셀 그룹들은 경사 구성들로 정의될 수도 있다는 것이 주의되어야 한다. 예를 들어, 도 6a는 릿지(52) 아래에 위치되는 제1 픽셀 बैं크에 속하는 제1 픽셀 그룹( $40_1$ ) 및 인접한 홈(54)에 위치되는 제2 픽셀 बैं크에 속하는 제2 픽셀 그룹( $40_2$ )을 포함한다.
- [0184] 지금까지 설명된 예들에서, 회절 격자 어셈블리는 단일 회절 격자를 포함하였다. 그러나, 도 7을 참조하면, 다른 경우들에, 회절 격자 어셈블리(24)는 복수의 회절 격자(28a, 28b)를 포함하며, 여기서 회절 격자들(28a, 28b)은 색 필터 어레이(42) 위에 배치되는 2차원 격자 어레이로 배열된다. 도 7에서, 회절 격자 어셈블리(24)는 열여섯 개의 회절 격자를 포함하지만, 이러한 수는 다른 응용 예들에서 달라질 수 있다. 예를 들어, 응용에 따라, 회절 격자 어셈블리(24)에서의 회절 격자들(28a, 28b)의 수는 1에서 수백만까지의 범위일 수 있다(예를 들어, 20-메가픽셀 픽셀 어레이(38)는 그 위에 2.8 백만개까지의 회절 격자를 가질 수 있다). 그것들의 격자 축 배향 외에, 도 7에서의 회절 격자(28)는 동일하지만, 이것이 본 기술들의 요구 사항은 아니라는 것이 주의되어야 한다.
- [0185] 도 7에서, 회절 격자들(28)은 회절 격자들(28)의 제1 세트(80a) 및 회절 격자들(28)의 제2 세트(80b)를 포함하며, 제1 세트(80a)의 회절 격자들(28)의 격자 축들(30a)은 제2 세트(80b)의 회절 격자들(28)의 격자 축들(30b)에 실질적으로 수직으로 연장된다. 도 7에서, 제1 세트(80a) 및 제2 세트(80b)의 회절 격자들(28)은 로우들 및 컬럼들 양자 모두에서 번갈아 나오도록 배열되어, 체크무늬 패턴을 생성한다. 물론, 다른 응용 예들에서는 직교로 배향된 격자들의 임의의 다른 적합한 규칙적 또는 불규칙적인 배열, 패턴 또는 모자이크가 구상될 수도 있다.
- [0186] 일부 응용 예에서, 라이트 필드 캡처 디바이스는 회절 격자 앞에 파면 조정 광학계를 포함할 수 있다. 파면 조정 광학계는 그것이 회절 격자 어셈블리에 도달하기 전에 장면으로부터 입사되는 광 파면 상에 수집, 직사, 투과, 반사, 굴절, 분산, 회절, 시준, 포커싱 또는 다른 방식으로 작용하도록 구성될 수 있다. 파면 조정 광학계는 렌즈, 미러, 필터, 광섬유 및 임의의 다른 적절한 반사, 굴절 및/또는 회절 광학 구성요소들 기타 같은 종류의 것을 포함할 수 있다.



- [0187] 이제 도 8을 참조하면, 라이트 필드 캡처 디바이스(20)의 다른 가능한 예가 도시되어 있고 장면과 회절 격자 어셈블리(24) 사이의 광 파면(26)의 광로에 배치된 분산 광학계(84)를 포함한다. 분산 광학계(84)는 도입 광 파면(26)을 수용 및 분산하도록 구성된다. 분산 광학계(84)는 전자기 빔들이 통과할 때 그것들이 파장의 함수로서 공간 확산되는(예를 들어, 색수차에 의해) 임의의 광학 구성요소 또는 광학 구성요소들의 조합에 의해 구현될 수 있다. 도 8에서, 분산 광학계(84)는 간략화를 위해 포커싱 렌즈이다. 그러나, 다른 실시 예들에서, 분산 광학계(84)는 광 파면(26)이 회절 격자 어셈블리(24)상에 충돌하기 전에 그것을 함께 분산시키도록(예를 들어, 그것들 고유의 색수차로 인해) 작용하는 더 많은 수의 광학 구성요소(예를 들어, 포커싱 및 디포커싱 광학계)를 포함하는 광학 스택으로서 제공될 수도 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0188] 대표적인 목적들로, 도 8에서 장면(22)으로부터 유래하는 광 파면(26)은 다중 파장의 광, 예를 들어 녹색 성분(점선) 및 청색 성분(점선)을 포함하는 파들의 중첩 인 것으로 가정된다. 광 파면(26)의 각 색 성분은 그것의 분산 광학계(84)와의 에너지-의존적 상호 작용 특성에 의해, 약간 상이한 광로를 따라, 회절 격자(28)에 의해 도입되는 위상 편이에 색채 의존성을 초래할 것이다. 다시 말해, 광 파면(26)의 색도 확산은 회절 격자(28)에 의해 초래되는 각도 의존적 회절을 통해 샘플링되는 바에 따라, 광 파면(26)에 대한 대략적인 깊이 정보를 제공하는데 이용될 수 있다. 그러한 상황들에서는, 후술될 바와 같이, 색 필터 어레이(42)에 의해 샘플링되는 바에 따라, 변조 성분들( $I_{mod,R}$  및  $I_{mod,B}$ )의 광로 차이로 인해 서로에 관해 위상 편이되는 그것들의 비교 분석으로부터 깊이 정보의 더 상세한 세부 사항들이 획득될 수 있다. 즉, 적색 및 청색 광들이 색수차로 인해 분산 광학계(84)에 의해 상이하게 포커싱되기 때문에, 이러한 차이가 깊이 획득에 대한 더 미세한 세부 사항을 제공할 수 있다.
- [0189] 도 9를 참조하면, 장면으로부터의 라이트 필드에 대응하는 라이트 필드 이미지 데이터를 처리하기 위한 방법(200)의 일 실시 예의 흐름도가 도시되어 있다. 라이트 필드 이미지 데이터는 상술한 디바이스들(예를 들어, 도 8에서의 디바이스)과 같은 라이트 필드 캡처 디바이스(20), 또는 다른 라이트 필드 캡처 디바이스로, 예를 들어 롤링 또는 글로벌 서터형 프로세스를 통해 획득될 수 있다.
- [0190] 도 10의 라이트 필드 캡처 디바이스(20)에 의해 캡처된 이미지 데이터는 관찰 가능한 장면(22)으로부터 입사되는 연속라이트 필드 또는 파면(26)의 이산화된 샘플링을 나타낸다. 이러한 이산화는 다음 다양한 광학 프로세스 및 상호 작용을 통해 일어날 수 있다: 디바이스(20)의 유한 애퍼처 크기로 인한 시야 제한, 어떤 정보가 포커싱 또는 송신될 수 있는지에 관해 렌즈들에 의해 부과되는 제한, 픽셀들의 크기로 인한 서브-샘플링 해상도에 관한 제한 등. 도 7의 디바이스(20)에서, (X, Y, Z)에서의 완전 연속 라이트 필드(26)가 이산화된(X, Y) 평면으로 투영되고 픽셀 어레이(38)의 픽셀들(40)에 의해 색상 및 공간 강도에 대해 서브 샘플링된다. 회절 격자 어셈블리(24)의 제공으로 인해 위상 성분(Z)이 또한 측정될 수 있다. 이러한 위상 측정은 또한 전체 라이트 필드(26)의 이산화된 서브 샘플링이며, 이러한 이산화는 회절 격자 어셈블리(24)의 격자 설계 및 배열에 의해 제어된다. 도 7의 디바이스(20)는 이미징에 본질적으로 수반되는 이산화 프로세스를 통해 손실된 일부 정보를 유지하는 것을 목표로 한다. 보다 구체적으로, 회절 격자 어셈블리(24)의 위상-기반 특성은 그렇지 않으면 측정 불가능할 파면의 위상 상에 알려져 있는 섭동을 일으키는데 사용되며, 이는 각도 의존적이 될 것이다. 이는 측정된 라이트 필드 이미지 데이터를 기술하는데 사용될 수 있는 추가의 독립 변수를 추가한다.
- [0191] 계속해서 도 7을 참조하면, 이미지 캡처 디바이스(20)에 입사된 광(26)은 먼저 도입 광(26)을 수광 및 포커싱하도록 작용하는 거시적 광학 소자(도 7에 도시되지 않음-도 8 참조, 여기서 디바이스는 회절 격자 어셈블리 앞에 배치된 포커싱 광학계를 포함한다)를 만날 수 있다. 이러한 광학 소자는 투과형 또는 반사형 렌즈, 거울 또는 광섬유 케이블일 수 있다. 이러한 광학 소자는 또한 적외선 및 자외선을 배제함으로써 가시광선들에 대해 광을 스펙트럼으로 필터링할 수 있거나, 이러한 스펙트럼 영역들은 광학 스택에서의 다른 지점에서 별도의 거시적 필터에 의해 대략적으로 필터링될 수 있다.
- [0192] 이러한 광학 소자의 입사 광(26)을 포커싱시키는 능력은 광학 소자의 초점면으로부터의 광의 원점 거리 및 광학 소자의 초점력과 관련된다. 입사광이 초점 또는 과초점 거리들, 또는 광학 무한대로부터 방사할 때, 그것의 파면은 일반적으로 거의 소수의 픽셀(40) 상에만 효과적으로 타이트하게 포커싱될 것이다.. 불충분하게 포커싱되거나 너무 강하게 포커싱된 광은 계속해서 픽셀 어레이(38)에 걸쳐 확산되어, 다수의 픽셀(40) 위에 곡선 파면을 확장시킬 것이다.
- [0193] 그 다음 포커싱된 광은 이미징 시스템(즉, 색 필터 어레이(42) 및 픽셀 어레이(38)) 위에 배치된 회절 격자 어셈블리(24)를 만난다. 도 7에서, 회절 격자 어셈블리(24)는 로우들 및 컬럼들 양자가 번갈아 나오도록 배열된 두 세트의 직교로 배향된 회절 격자들(28a 28b)로 이루어진 투과성 회절 구조이다(체크무늬 패턴). 회절 격자



어셈블리(24)는 포커싱 광학 소자 이후 형성되는 파면의 곡률 및 확산율과 관련된 각도 의존적 회절 패턴을 갖는 회절 파면(36)을 생성하는데 사용된다.

[0194] 회절 파면(36)은 하지의 색 필터 어레이(40)에 의해 두 개 이상의 개별 스펙트럼 성분으로 추가 스펙트럼 필터링될 수 있다. 이렇게 스펙트럼 필터링된 회절 파면의 강도는 최종적으로 하지의 픽셀들(40)에 의해 측정되고 픽셀들(40)에 의해 캡처된 광의 강도를 나타내는 전기 신호들로 변환된다. 그 다음 전기 신호들은 통상적으로 데이터 픽셀들의 로우들과 컬럼들의 이미지 프레임으로 배열 또는 포매팅되는 "미가공(raw)" 라이트 필드 이미지 데이터로 디지털화될 수 있다. 이러한 라이트 필드 이미지 데이터는 일반적으로 픽셀 레벨에서 샘플링된 원래 파면에 대한 강도, 스펙트럼 및 각도 정보의 집합일 것이며, 이는 다음과 같이 요약될 수 있다:  $I = \text{각도 정보(파장, 회절 격자 어셈블리 위치)} + 2D(\text{파장, 픽셀 위치})$ . 본 명세서는 이러한 라이트 필드 이미지 데이터가 처리되어 관측된 장면(22)의 라이트 필드 이미지를 재구성하는 이미지 처리 기술들을 개시한다. 응용에 따라, 본 기술들은 캡처된 라이트 필드 이미지 데이터로부터의 전해상도 2D 이미지, 3D 점군, 깊이 맵/이미지 및/또는 선형으로 재구성된 라이트 필드 이미지를 제공할 수 있다.

[0195] 도 9로 돌아가, 일부 구현 예에서, 이미지 처리 방법(200)은 원색 및 적어도 하나의 2차색에 따른 픽셀 데이터를 대응하는 원색 및 2차색 채널들로 파싱하는 단계(202)를 포함할 수 있다. 미가공 라이트 필드 이미지 데이터를 복수의 개별 스펙트럼 또는 색 채널로 분할 또는 파싱하면 개별 서브-이미지들이 형성된다. 이러한 단계(202)는 일반적으로 하드웨어 판독 레벨에서 일어난다. 개별 픽셀들은 판독되고, 색 필터 모자이크는 알려져 있다. 예를 들어, 표준 베이어 패턴을 사용하는 12-메가픽셀 카메라의 경우, 6-메가픽셀 녹색 채널, 3-메가픽셀 청색 채널 및 3-메가픽셀 적색 채널이 있을 것이다.

[0196] 상술한 바와 같이, 각 색 채널에서의 미가공 라이트 필드 이미지 데이터는 변조 성분( $I_{\text{mod}}$ ) 및 베이스 성분( $I_{\text{base}}$ )을 포함하는 변조된 함수  $I \sim I_{\text{mod}}(\text{깊이 정보}) + I_{\text{base}}(2D \text{ 이미지})$ 로서 표현될 수 있다. 베이스 성분( $I_{\text{base}}$ )은 장면의 기존 2D 이미지가 획득될 수 있는 비위상-의존적 광 파면을 나타낸다. 변조 성분( $I_{\text{mod}}$ )은 회절 격자 어셈블리(24)에 의해 생성된 입사 파면에 대한 위상-의존적 교란으로부터 발생한다. 따라서, 표준 RGB 베이어 패턴의 경우, 각 색 채널의 강도 프로파일은 다음과 같이 기록될 수 있다  $I_N \sim I_{\text{mod},N}(\text{깊이 정보}) + I_{\text{base},N}(2D \text{ 이미지})$ , 여기서  $N = \text{색 또는 스펙트럼 채널}$ , 예를 들어 적색(R), 초록(G) 및 청색(B)) - 식 (3) 내지 식 (5) 참조. 상술한 바와 같이, 본 기술은 베이어-타입 패턴들로 제한되지 않고, 임의의 적절한 모자이크 색상 패턴에 적용될 수 있다.

[0197] 회절 격자 어셈블리(24)가 다수의 세트의 회절 격자들(28a, 28b)(예를 들어, 도 7에서와 같이 다른 배향들을, 다른 격자 주기들 또는 다른 다른 속성들을 갖는)을 포함하는 응용 예들에서, 도 9의 방법(200)은 다수의 세트의 회절 격자들(28a, 28b)이 배열된 2D 격자 어레이의 패턴에 따라 스펙트럼 채널들을 파싱 또는 분할하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 7에서, 파싱된 적색, 녹색 및 청색 채널들의 각 색 채널은 제1 세트의 회절 격자들(28a)과 연관된 제1 서브-채널 및 제2 세트의 회절 격자들(28b)과 연관된 제2 서브-채널로 다시 한 번 더 파싱될 것이다. 이러한 단계는 수직으로 배향된 격자들(28a)의 데이터 픽셀들이 수평으로 배향된 격자들(28b)과 독립적으로 분리 및 처리될 것을 보장한다. 이는 수직 및 수평으로 배향된 격자들의 응답들이 서로 독립적으로 처리될 수 있게할 수 있어, 처리 속도를 향상시킬 수 있다.

[0198] 단계(202)의 일부 구현 예에서, 라이트 필드 이미지 데이터가 파싱되는 색 채널들은 메인색 채널 및 하나 이상의 2차 또는 보조색 채널을 포함한다. 본 설명에서, 메인색 채널은 모든 픽셀 뱅크에 픽셀들을 갖는 색 채널이므로, 인접한 픽셀 뱅크들에서의 메인색 채널의 픽셀들이 전체 사이클에 걸쳐 회절 파면(36)의 강도 프로파일의 상이한 공간 부분들을 샘플링하게 된다. 상술한 바와 같이, 픽셀 뱅크는 여기서 상부 회절 격자(28a, 28b)의 격자 축(30a, 30b)에 수직인 선을 따라 배열되는 픽셀 어레이(38)의 픽셀들의 그룹(40)을 지칭한다. 일부 구현 예에서, 모든 픽셀 뱅크들에 픽셀들을 갖는 하나보다 많은 색이 있는 경우 둘 이상의 메인 채널이 있을 수 있다.

[0199] 도 7의 디바이스(20)에서, 녹색 픽셀들이 모든 픽셀 뱅크에 존재하기 때문에 녹색 채널은 메인색 채널이다. 이는  $n$ 번째 픽셀 뱅크에서의 녹색 픽셀들이  $(n \pm 1)$ 번째 픽셀 뱅크에서의 녹색 픽셀들에 의해 샘플링된 공간 위상에 관해  $180^\circ$  만큼 위상 편이되는 회절 파면(36)의 강도 프로파일의 공간 위상을 샘플링할 것임을 의미한다. 그 결과, 더 조밀하게 샘플링된 녹색 픽셀들과 연관된 신호( $I_g$ )는 동상 및 이상 기여분들 양자를 모두 포함하게 된다. 다시 말해, 회절 파면(36)의 강도 프로파일의 보상 위상들이 번갈아 나오는 픽셀 뱅크들에서의 녹색 픽셀들에 의해 샘플링될 것이다. 한편, 모든 적색 픽셀은 회절 파면(36)의 강도 프로파일의 동일한 제1 공간 위상을

샘플링하고 모든 청색 픽셀은 회절 파면(36)의 강도 프로파일의 동일한 제2 공간 위상을 샘플링하기 때문에 적색 및 청색 채널들은 2차색 채널들이며, 제1 및 제2 공간 위상들은 서로에 관해 180° 만큼 위상 편이된다. 이는 인접한 픽셀 뱅크들에서의 신호들  $I_R$  및  $I_B$ 가 서로에 관해 역위상이라는 것을 의미한다. 물론, 다른 모자이크 색 패턴들은 상이한 색 채널들을 메인 및 2차 채널들로 사용할 수도 있다.

[0200] 계속해서 도 9를 참조하면, 방법(200)의 일부 구현 예는 또한 메인색 채널을 사용하여 대략적인 미가공 베이스 성분을 제공하거나 추출하는 단계(204)를 포함할 수 있으며, 이로부터 회절 격자 어셈블리(24)에 의해 신호에 부여되는 변조의 국부적 영향이 제거된다.

[0201] 도 7의 예에서, 메인색 채널은 더 조밀하게 샘플링되는 녹색 채널이며, 이는 하지의 회절 패턴의 변조 성분이 상쇄될 수 있는 주요 위상 성분들 양자를 모두 샘플링할 수 있다. 수학적으로, 이러한 단계는 다음 식을 사용하여  $I_{mod,G}$ 를 상쇄함으로써,  $I_G \sim I_{mod,G} \times I_{base,G}$ 에서  $I_{base,G}$ 를 추출하는 단계를 수반할 수 있다:

$$I_{base,G} = 1/2[I_G(bank_n) + I_G(bank_{n+1})]. \quad (8)$$

[0203] 대안적으로, 변조 성분( $I_{mod,G}$ )은 푸리에 필터링에 의해 제거될 수 있다.

[0204] 방법(200)은 또한 메인색 채널을 사용하여 대략적인 미가공 변조 성분을 제공하거나 추출하는 단계(206)를 포함할 수 있으며, 이는 장면(22)에 대한 대략적인 위상/깊이 정보를 획득하는데 사용될 것이다.

[0205] 다시, 도 7의 예에서, 메인색 채널은 더 조밀하게 샘플링되는 녹색 채널이다. 수학적으로, 이러한 단계는 다음 식을 사용하여  $I_{base,G}$ 를 상쇄함으로써,  $I_G \sim I_{mod,G} \times I_{base,G}$ 에서  $I_{mod,G}$ 를 추출하는 단계를 수반할 수 있다:

$$I_{mod,G} = 1/2[I_G(bank_n) - I_G(bank_{n+1})]. \quad (9)$$

[0207] 변조 성분( $I_{mod,G}$ )은 입사 광 파면에 대한 대략적인 각도 또는 위상 정보를 제공할 수 있으며, 이로부터 라이트 필드 이미지들 및/또는 깊이 맵들이 생성될 수 있다. 상술한 바와 같이, 변조 성분( $I_{mod,G}$ )은 픽셀 단위로 파면의 위상차를 나타내므로,  $I_{mod,G}$ 는 장면(22)으로부터의 입사 광 파면(26)의 위상 또는 확산에 대한 정보를 포함한다. 보다 구체적으로, 변조 성분( $I_{mod,G}$ )은 입사 파면(26)의 녹색 성분의 기울기/각도 확산(예를 들어, 회절 격자(24) 어셈블리 앞의 포커싱 광학계에 의해 야기되는-도 8 참조) 및 회절 격자 어셈블리(24)에 의해 야기되는 위상 오프셋의 결과이다.

[0208] 계속해서 도 9를 참조하면, 방법(200)은 미가공 베이스 성분들( $I_{base,R}$  및  $I_{base,B}$ )을 결정하는 단계(208)를 더 포함할 수 있고, 이차 청색 및 적색 채널들의  $I_{base,G}$  및  $I_{mod,G}$ 를 사용하여 각각  $I_R \sim I_{mod,R} \times I_{base,R}$  및  $I_B \sim I_{mod,B} \times I_{base,B}$ 로부터 미가공 변조 성분들( $I_{mod,R}$  및  $I_{mod,B}$ )이 획득될 수 있다.

[0209] 일부 구현 예에서,  $I_G(bank_n)$ 과  $I_G(bank_{n+1})$  간 차는 회절 격자에 의해 부여되는 변조 패턴의 부호를 제공할 수 있다. 즉,  $I_G(bank_n) < I_G(bank_{n+1})$ 인 경우,  $bank_n$ 은 상쇄 간섭을 받고  $bank_{n+1}$ 은 보강 간섭을 받는다고 결론지어질 수 있으며,  $I_G(bank_n) > I_G(bank_{n+1})$ 인 경우 그 반대도 마찬가지이다. 그에 따라,  $I_G(bank_n) < I_G(bank_{n+1})$ 이며,  $bank_n$ 에 청색 픽셀들이 있고  $bank_{n+1}$ 에 청색 픽셀들이 있는 상황에서,  $I_R(bank_n) < I_{base,R}$  및  $I_B(bank_{n+1}) > I_{base,B}$ 이며, 그에 따라  $I_{base,R} = I_R(bank_n) + I_{mod,R}$  및  $I_{base,B} = I_B(bank_{n+1}) - I_{mod,B}$ 가 되는 것으로 추론될 수 있다. 따라서  $[I_G(bank_n) - I_G(bank_{n+1})]$ 의 부호에 대한 지식은 ( $I_{base,R}$ ,  $I_{mod,R}$ ) 및 ( $I_{base,B}$  및  $I_{mod,B}$ )를 획득하기 위해  $I_R(bank_n)$  및  $I_B(bank_{n+1})$ 에 보강 위상 오프셋을 적용할지 또는 상쇄 위상 오프셋을 적용할지 결정할 수 있게 할 수 있다.

[0210] 적색광에 대한 위상 오프셋의 진폭, 즉  $I_{mod,R}$ 을 획득하기 위해, 이미지 캡처 디바이스에서 녹색광의 파면 확산과 적색광의 파면 확산(예를 들어, 회절 격자 및 포커싱 광학계에 의한) 간 관계를 사용하여  $I_{mod,G}$ 로부터  $I_{mod,R}$ 을 유도할 수 있다. 유사하게, 청색광에 대한 위상 오프셋의 진폭, 즉  $I_{mod,B}$ 를 획득하기 위해, 이미지 캡처 디바이스에서 녹색광의 파면 확산과 청색광의 파면 확산(예를 들어, 회절 격자 및 포커싱 광학계에 의한) 간 관계를 사용하여  $I_{mod,G}$ 로부터  $I_{mod,B}$ 를 유도할 수 있다. 일부 구현 예에서, 파면 확산에 관한 미세한 각도 정보는 후술될 바

와 같이, 위상 편이된 적색 및 청색 2차 변조 성분들( $I_{mod,R}$  및  $I_{mod,B}$ )로부터 획득될 수 있다. 마지막으로, 적색 및 청색 베이스 성분들은  $I_{base,R} = I_R(bank_n) + I_{mod,R}$  및  $I_{base,B} = I_B(bank_{n+1}) - I_{mod}$ 를 사용하여 획득될 수 있다.

[0211] 계속해서 도 9를 참조하면, 방법은 미가공 베이스 성분들( $I_{base,G}$ ,  $I_{base,R}$  및  $I_{base,B}$ )을 사용하여 전통적인 디모자 이싱 알고리즘들에 의해 사용되는 유사한 방식들로, 예를 들어 녹색베이스 성분( $I_{base,G}$ )을  $I_{base,R}$  및  $I_{base,B}$ 에 대한 정규화 기준 세트로 사용함으로써 장면(22)의 전체 색 2D 이미지를 재구성하는 단계(210)를 포함할 수 있다. 이러한 전체 색 2D 이미지는 그 앞에 회절 격자 어셈블리(24)가 없을 때 픽셀 어레이(38)에 의해 캡처될 위상 독립적 미가공 이미지를 나타낸다. 이러한 2D 이미지의 생성은 다음의 비제한적 이유들 중 하나 이상으로 수행될 수 있다: 압축 목적으로 깊이 정보를 2D 정보로부터 분리하는 것; 디스플레이 목적으로 기대되는 바와 같이, 이미지 신호 프로세서(ISP)에 2D 이미지를 제공할 수 있는 것; 그리고 2D 이미지가 라이트 필드 구성요소들 중 하나인 것.

[0212] 계속해서 도 9를 참조하면, 일부 구현 예에서, 방법(200)은 메인색 채널의 변조 성분( $I_{mod,G}$ )으로부터, 그리고 선택적으로 2차색 채널들의 변조 성분들( $I_{mod,R}$  및  $I_{mod,B}$ )로부터 장면의 깊이 맵을 생성하는 단계(212)를 포함할 수 있다. 이러한 단계는 또한 색 채널들 중 연관된 색 채널의 변조 성분으로부터의 객체 거리 정보를 제공하도록 캘리브레이트된 적어도 하나의 색 방사상 전달 함수를 수반할 수 있다.

[0213] 일부 구현 예에서, 색 방사상 전달 함수들(CRTF들, color radial transfer functions)은 객체의 거리가 카메라로부터 떨어져 있는 거리에 각도의 함수로서 회절 격자의 회절 격자 패턴을 관계시킨다. 다시 말해, CRTF들은 장면에 대한 사전 지식 없이 회절 격자의 두 개의 위상 성분(phase0 및 phase180)에 대해 부여된 변조를 정량화할 수 있게 할 수 있다.

[0214] 단지 설명을 위해 그리고 본 설명의 범위를 제한하지 않고, 카메라가 카메라로부터 거리가 떨어지면서 미리 결정된 간격들로 백색 점광원의 이미지들을 캡처하는 상황을 고려한다. 회절 격자가 없는 카메라의 경우, 센서는 도 10에도 도시된 바와 같이, 하지의 베이어 패턴의 함수로서 백색광의 전체 강도를 공간-색채 샘플링할 수 있다. 백색 광원의 이러한 공간-색채 샘플링은 주어진 색 필터 어레이 구성요소의 프젝트럼 의존적 투과에 의해 필터링된 백색광의 스펙트럼 강도에 대략 비례하는 각 픽셀에 의해 전압이 측정되게 한다:

[0215] 
$$\text{픽셀}_{\text{적색}} \propto \text{강도}(\lambda) \times \text{투과}(\lambda) \quad (10.1)$$

[0216] 또는 
$$\text{픽셀}_{\text{적색}} = 2D(\text{적색}) \quad (10.2)$$

[0217] TDM의 변조 위상 성분은 또한 픽셀 뱅크마다 달라질 것이다:

[0218] 
$$\text{픽셀}_n \propto \text{강도}(\lambda) \times \text{투과}(\lambda) \times \text{변조}_{\text{Phase0}}(\lambda, z) \quad (11.1)$$

[0219] 
$$\text{픽셀}_{n+1} \propto \text{강도}(\lambda) \times \text{투과}(\lambda) \times \text{변조}_{\text{Phase180}}(\lambda, z) \quad (11.2)$$

[0220] 하지의 색 필터들이 회절 격자에 의해 야기된 섭동 주파수보다 큰 비율로 광을 시공간-색채 샘플링하는 베이어 패턴 센서의 경우(즉, 격자 축을 따라 격자 주기보다 작은픽셀 피치를 갖는 픽셀 어레이)에서, 3색 채널들은 도 10에 도시된 바와 같이, 다음이 된다:

[0221] 
$$\text{픽셀}_{\text{적색}} = 2D(\text{적색}) \times \text{변조}_{\text{Phase0}}(\lambda, z) \quad (12.1)$$

[0222] 
$$\text{픽셀}_{\text{녹색1}} = 2D(\text{녹색}) \times \text{변조}_{\text{Phase180}}(\lambda, z) \quad (12.2)$$

[0223] 
$$\text{픽셀}_{\text{녹색2}} = 2D(\text{녹색}) \times \text{변조}_{\text{Phase0}}(\lambda, z) \quad (12.3)$$

[0224] 
$$\text{픽셀}_{\text{청색}} = 2D(\text{청색}) \times \text{변조}_{\text{Phase180}}(\lambda, z) \quad (12.4)$$

[0225] 또는, 위에서 전개된 공식을 사용하여:

$$[0226] \text{픽셀}_{\text{적색}} = I_{\text{BaseR}}(z) \times I_{\text{ModRPhase0}}(\lambda, z) \quad (13.1)$$

$$[0227] \text{픽셀}_{\text{녹색1}} = I_{\text{BaseG1}}(z) \times I_{\text{ModRPhase180}}(\lambda, z) \quad (13.2)$$

$$[0228] \text{픽셀}_{\text{녹색2}} = I_{\text{BaseG2}}(z) \times I_{\text{ModRPhase0}}(\lambda, z) \quad (13.3)$$

$$[0229] \text{픽셀}_{\text{청색}} = I_{\text{BaseB}}(z) \times I_{\text{ModRPhase180}}(\lambda, z) \quad (13.4)$$

[0230] 식 12.1 내지 식 12.4 및 식 13.1 내지 식 13.4의 함수 형식들은 도 11a 내지 도 11d에 도시되며, 여기서 전체 선은 회절 격자가 없는 도 10에 설명된 카메라를 나타내고 점선들은 회절 격자를 갖는 동일한 카메라를 나타낸다.

[0231] 베이어 패턴 센서의 경우, 하나의 색 채널이 두 위상 성분을 샘플링함으로써, 이미지에 미치는 회절 격자의 영향을 제거하거나, 다시 말해 깊이 정보를 추출할 수 있다.

$$[0232] \text{픽셀}_n = \text{강도}(n) \times \text{phase0}(z) \quad (14.1)$$

$$[0233] \text{픽셀}_{n+1} = \text{강도}(n+1) \times \text{phase180}(z) \quad (14.2)$$

[0234] 이는 함수 형식이 도 12a 및 도 12b에 도시된 간략화된 메인(원)색 채널 방사상 전달 함수의 정의를 가져온다:

$$[0235] \Delta\alpha(z) = \text{픽셀}_n - \text{픽셀}_{n+1} = \Delta\text{phase}(z) \quad (15)$$

[0236] 색채 방사상 전달 함수는 두 개의 메인색 채널 변조 성분 간 차를 사용하여 이미지에서 강도를 제거하여, 정규화된 깊이 양자의 위상 성분을 갖지 않고 그에 따라 강도들이 양자의 2D 이미지에 따라 가변인 다른 두 색 채널 뿐만 아니라 회절 격자 변조 또는 깊이 정보를 관계시킬 수 있게 한다.

[0237] 도 10에 이미징된 것과 유사한 실험이 이차색 채널에 대해 수행될 수 있다. 이 경우, 각도 또는 거리의 함수로서 2차색 채널 변조를 측정하기 위해 광의 알려져 있는 균일한 강도를 사용할 수 있다. 이는 도 13에 도시된 바와 같이, 이차색 방사상 전달 함수들을 제공할 것이다.

[0238] 도 14를 참조하면, 2차색 방사상 전달 함수들을 내비게이트하기 위해 장면에 대한 사전 지식 없이 작용하는 원색 방사상 전달 함수를 사용하여 정규화된 장면에 독립적인 값을 획득할 수 있다. 2차색 채널들에 대한 적절한 변조 값이 알려져 있으면, 2D 이미지에서 회절 격자의 효과가 보정될 수 있고 2차 및 원 방사상 전달 함수들의 값들 및 그것들 각각의 픽셀 값들의 차들이 비교되어 깊이 성능을 더 향상시킬 수 있다.

[0239] 이러한 개념은 또한 동일한 처리 방법을 통해 렌즈 시스템 및 그것의 무채색 수차 및 색채 의존 초점 차이들로 확장될 수도 있다.

[0240] 일부 실시 예에서, 변조 성분( $I_{\text{mod,G}}$ )에 포함된 미가공 파면 확산 정보가 장면(22)의 대략적인 깊이 맵을 생성하기 위해 적절한 녹색 방사상 전달 함수(GRTF)와 비교될 수 있다. 보다 구체적으로,  $I_{\text{mod,G}}$ 는 상대적 위상 정보를 제공할 수 있고 캘리브레이트된 센서-특정 GRTF와의 비교를 통해  $I_{\text{mod,G}}$ 에 의해 제공되는 상대적 위상 정보로부터 절대적 위상 정보를 획득할 수 있다. 다시 말해, 이는  $I_{\text{mod,G}}$ 에 의해 제공되는 상대적 위상 정보가 GRTF들을 사용하여 파면 전파에 매핑될 수 있으며, 이러한 파면은 그 자체가 초점면에 관한 객체 위치에 대응하여 확산됨을 의미한다.

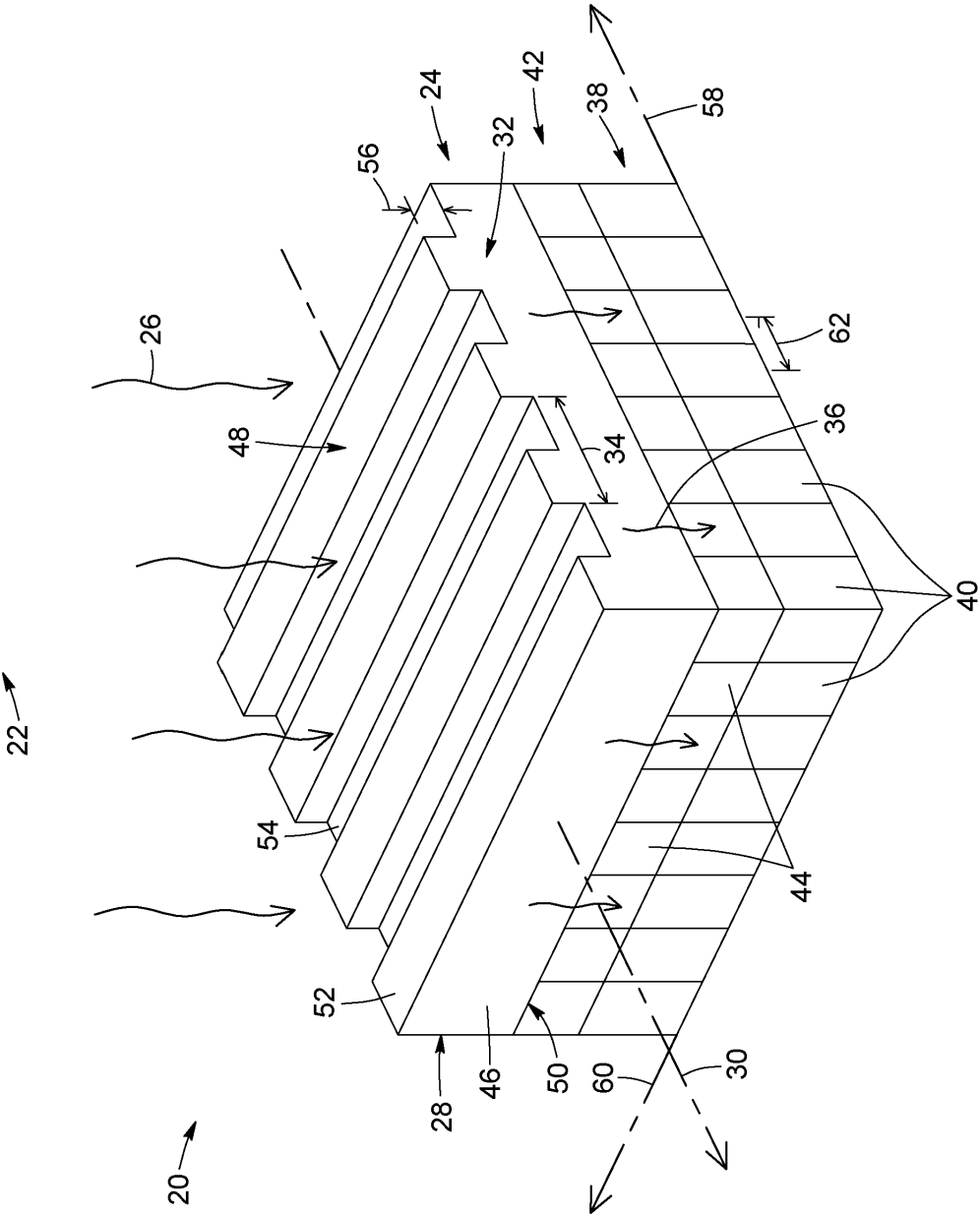
[0241] 선택적으로,  $I_{\text{mod,G}}$  및 GRTF로부터 획득되는 대략적인 깊이 맵은 2차색 채널들(예를 들어,  $I_{\text{mod,R}}$ ,  $I_{\text{mod,B}}$  및 그것들의 연관된 적색 및 청색 방사상 전달 함수들(RRTF 및 BRTF들)로부터의 데이터를 사용하여 보정 또는 강화될 수 있다. 이는 3색 채널들에 대한 변조 성분들( $I_{\text{mod,G}}$ ,  $I_{\text{mod,R}}$  및  $I_{\text{mod,B}}$ )의 직접 비교가 객체 거리를 설정하기 위해 각 색 채널에 대해 측정된 CRTF들을 통해 이루어짐을 의미한다.

- [0242] 상술한 바와 같이, 각각의 CRTF들은 이미지 캡처 디바이스(20)의 초점면의 함수로서 직접 측정된 파면 확산의 경험적 적합을 제공한다. 초점면으로부터 다양한 거리에서 캡처된 캘리브레이션 이미지들의 이러한 산발적인 데이터-세트들의 수집은 카메라로부터의 그것들의 거리의 함수로서 적합되고 이미지의 변조 성분들( $I_{mod,G}$ (메인) 및  $I_{mod,R}$  및  $I_{mod,B}$ (2차))에 의해 측정되고 회절 격자 어셈블리(24)에 의해 샘플링되어, 초점면으로부터의 거리의 함수로서 파면의 방사상으로 확장되는 확산의 직접적인 경험적 측정을 제공한다. 이러한 함수들은  $I_{mod,G}$ ,  $I_{mod,R}$  및  $I_{mod,B}$ 로부터 주어지는 측정된 상대적 위상/파면 확산 정보를 이미지 센서로부터의 절대적 객체 거리에 직접 매핑하기 위한 방법을 제공하고, 그에 따라 깊이( $z$ )는 다음과 같다:
- [0243] 객체( $z$ )  $\sim$  RGB 2D 이미지  $\times$  CRTF( $r, \phi, \Theta, n, \lambda$ ), (10)
- [0244] 여기서  $z$ 는 장면(22)에 주어진 객체의 이미지 캡처 디바이스의 검출면으로부터의 거리이고, RGB 2D 이미지는  $I_{base,G}$ ,  $I_{base,R}$  및  $I_{base,B}$ 에 의해 주어지는 미가공 2D 이미지이며, CRTF는 이미지의 초점면으로부터의 극좌표들( $R, \phi, \Theta$ ), 픽셀 번호( $n$ )(그리고 그에 따른 픽셀 어레이(38) 상의 공간 위치), 및 입사 파장( $\lambda$ )의 적합 5D 함수이다. CRTF들은 단일 이미지에서 회절 요소들 및 이미징 디바이스들에 의해 샘플링된 바와 같은 모든 스펙트럼 요소에 대해 샘플링될 수 있다. 즉, 모든 CRTF는 백색광을 사용하여 한 번에 캡처되고 색 필터 어레이에 의해 직접 서브 샘플링될 수 있다. 이러한 함수들은 회절 격자 어셈블리(24)의 설계를 통해 맞춤화될 수 있다. CRTF들은 회절 격자 어셈블리(24)의 회절 격자들(28)의 배열로 인한 회절 패턴의 마이크로 샘플링에 대한 거시적 설명을 제공할 수 있다. 절대적 깊이 구현 예들에서는 일반 RTF를 사용하거나 색상별 CRTF들을 사용하여 깊이 정확도를 높일 수 있다.
- [0245] 상술된 구현 예들은 픽셀 샘플링 주파수가 격자 패턴의 주기보다 큰 상황들에 적용되지만, 여기에 설명된 처리 방법은 일부 예에서 샘플링 주파수가 격자 주기 이하인(또는 다시 말해, 픽셀 어레이가 격자 축을 따라 격자 주기와 동일하거나 그보다 큰 픽셀 피치를 갖는) 유사한 이미징 디바이스들과 관련하여 유용할 수 있다는 것이 쉽게 이해될 것이다. 그러한 경우들에서, 양 위상 성분이 각 격자에 이미 포함되는-격자의 작용에 의해 2D 이미지에서 생성되는 색채 의존적인 블러 패턴이 생성되지 않기 때문에, 2D 이미지를 재구성하는 단계는 생략될 수 있다. 그러한 실시 예들에서, 신호 및 관련의 극소-색채 의존성은 상실되지만, 거시-색채 의존성은 깊이 정보를 제공하는데 여전히 유용할 수 있다. 다시 말해, 연관된 색 방사상 전달 함수들과 조합되는 상이한 색 채널들의 제공은 상이한 색 채널들의 비교를 통해 깊이 정보를 제공하여 초점 위치에서 그것들의 상대적 차이를 획득할 수 있다.
- [0246] 물론, 본 설명의 범위를 벗어나지 않으면서 상술한 실시 예들에 대한 많은 수정이 이루어질 수 있다.

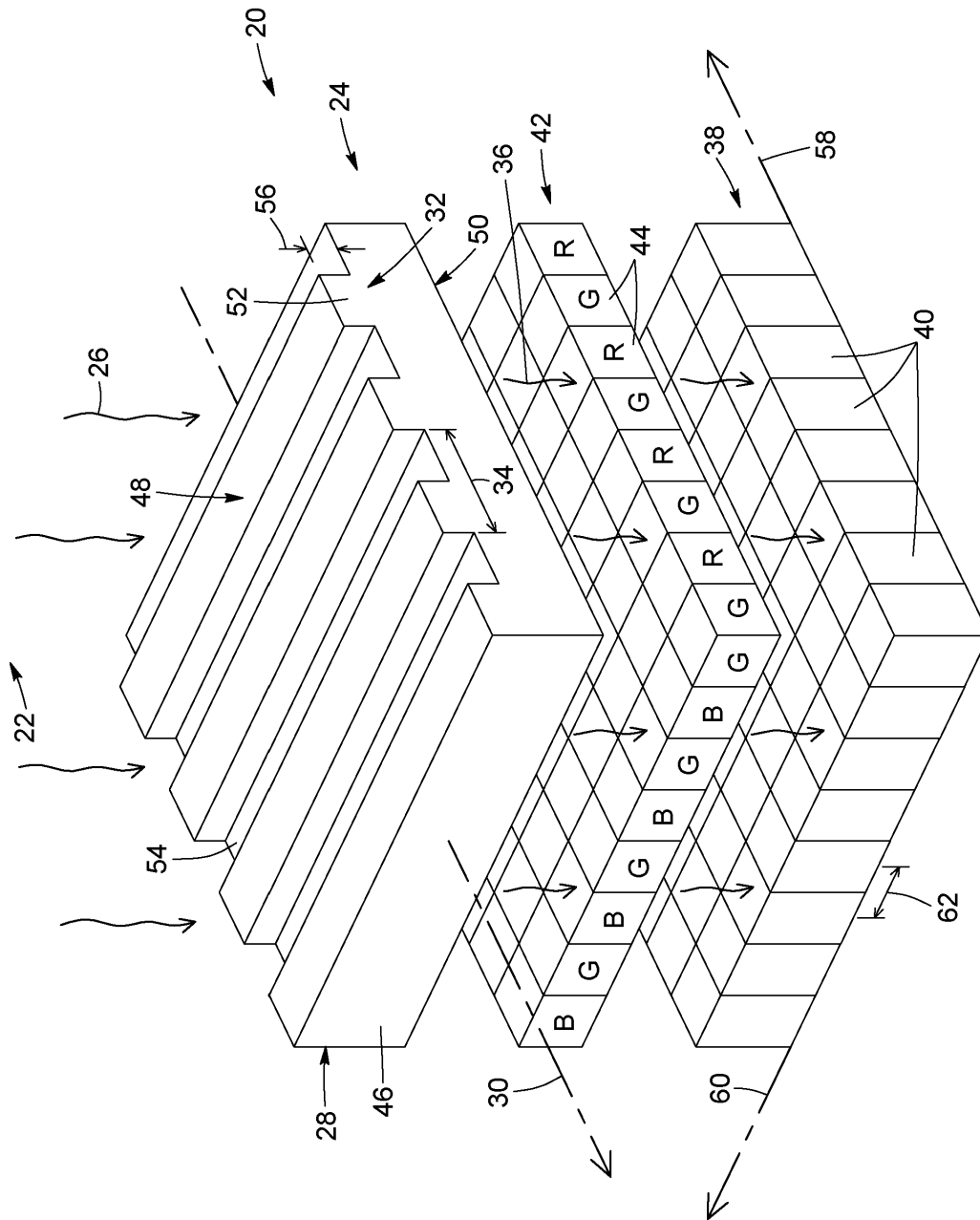


도면

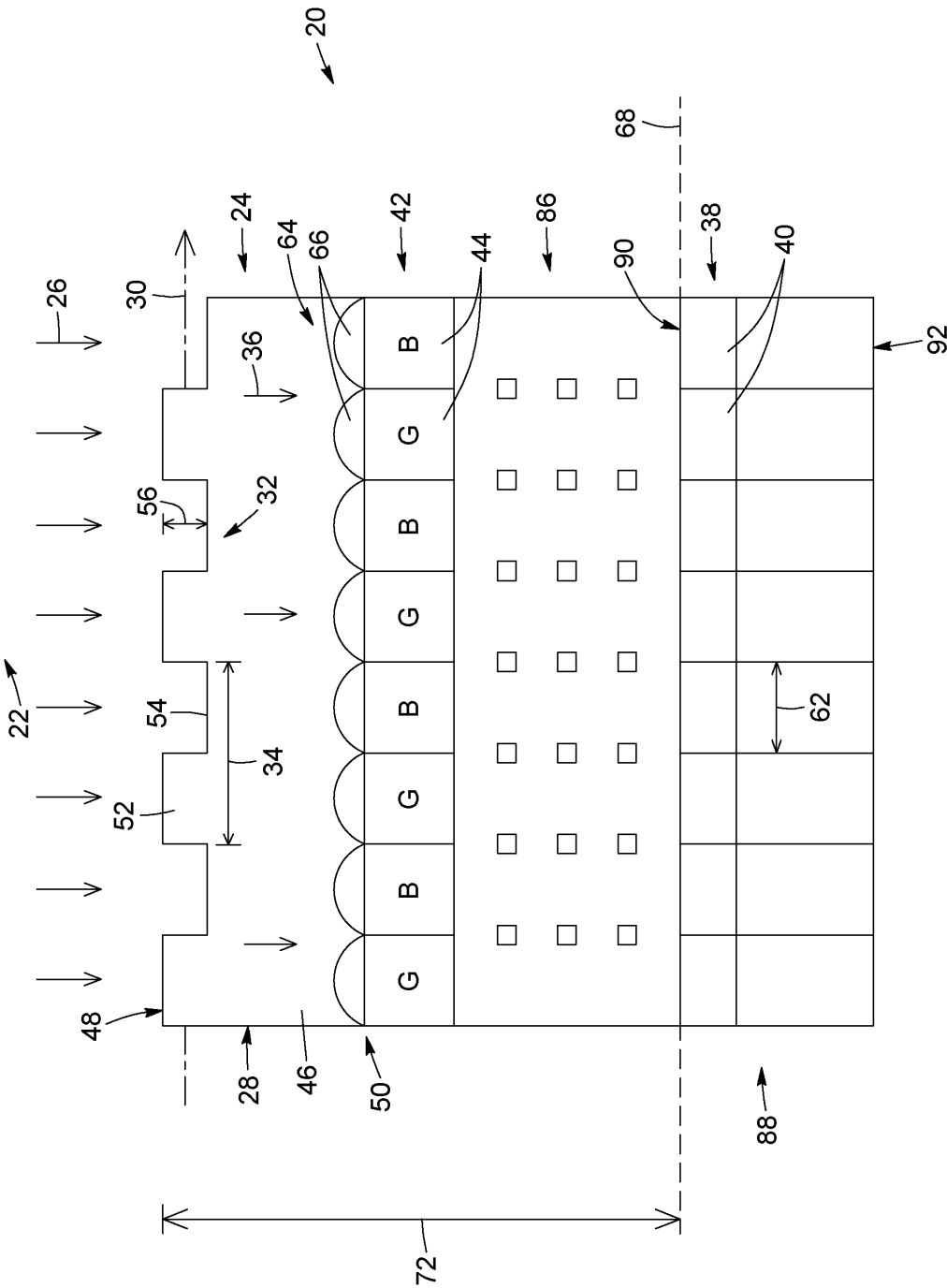
도면1



도면2

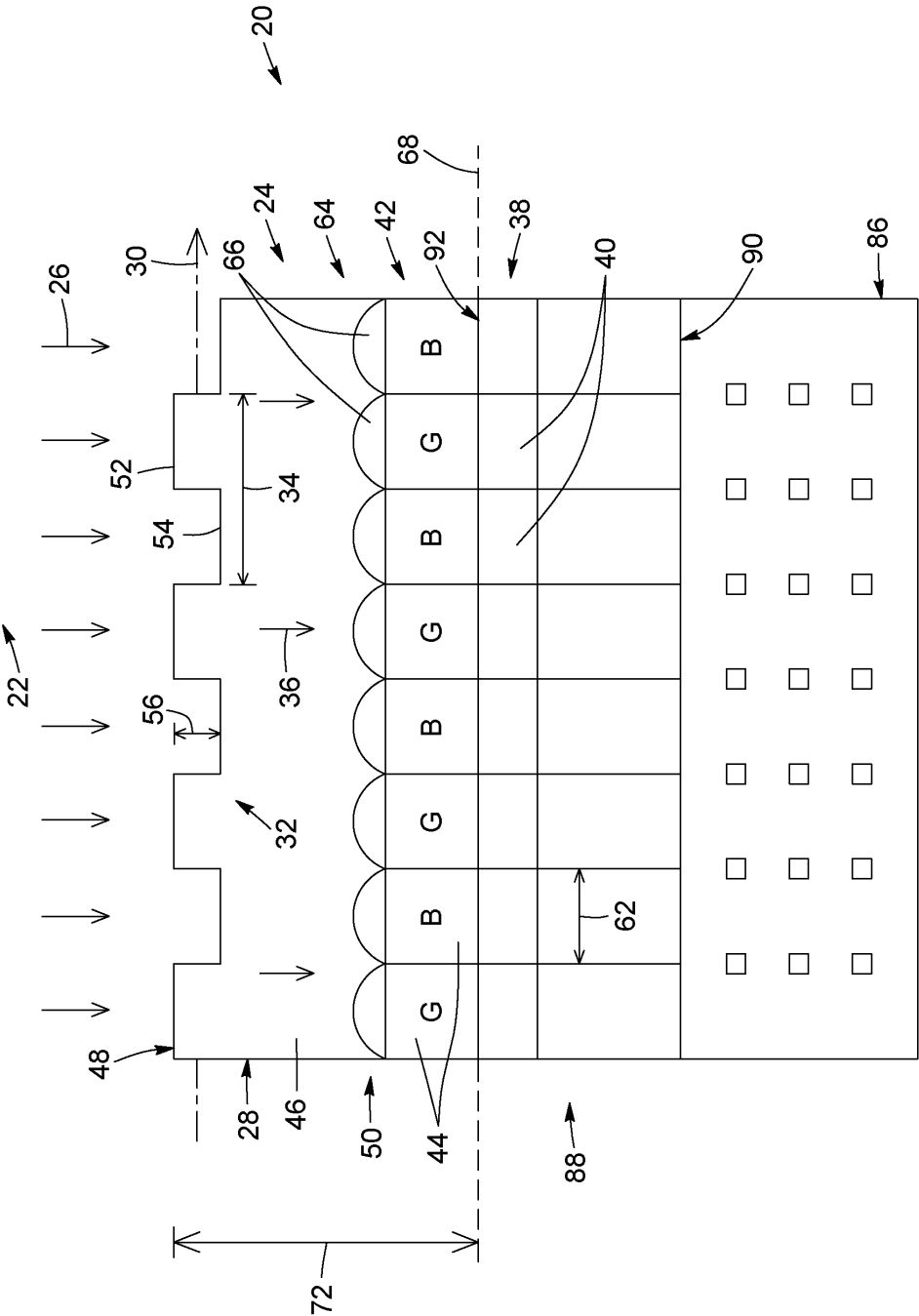


도면3

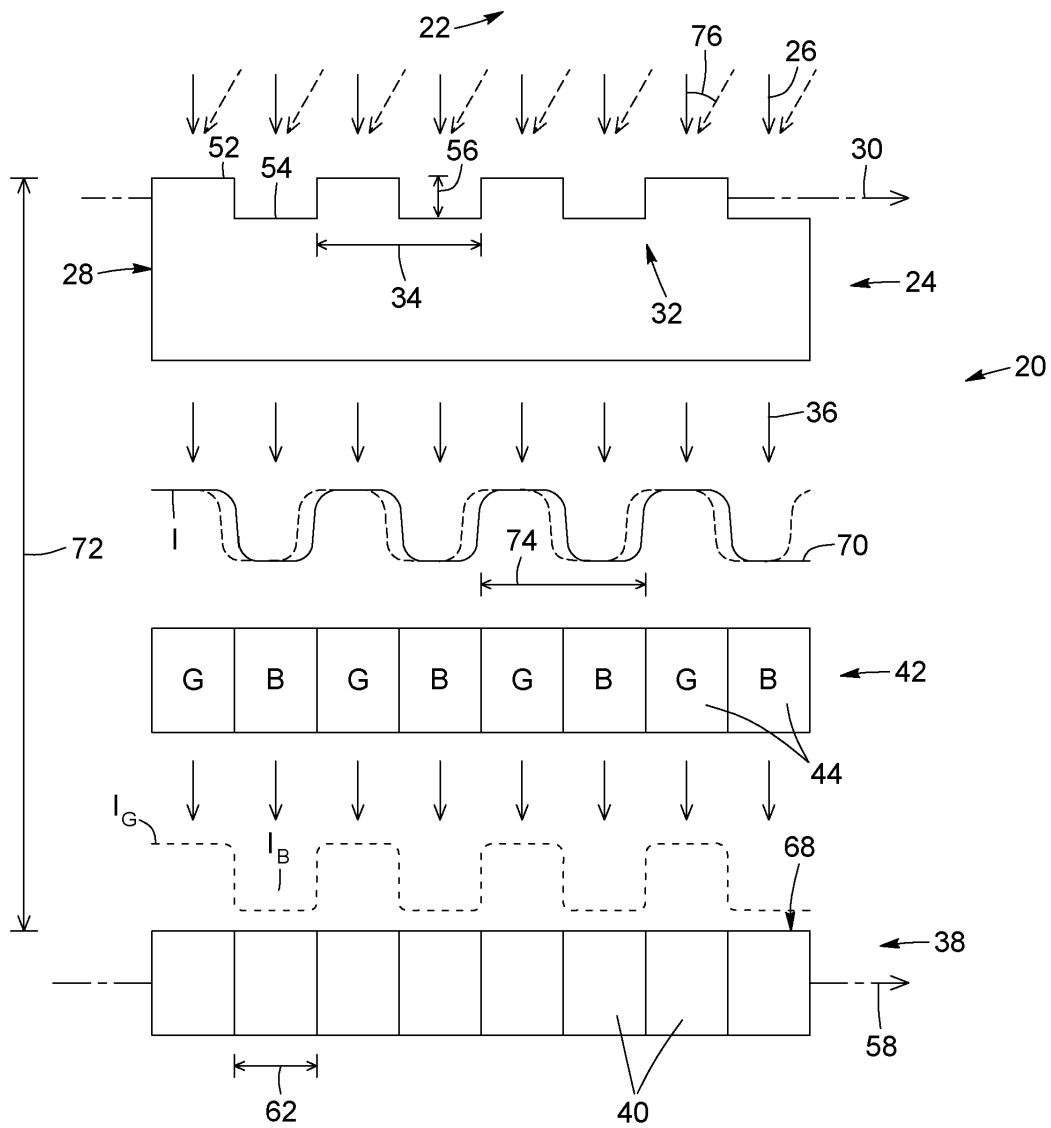




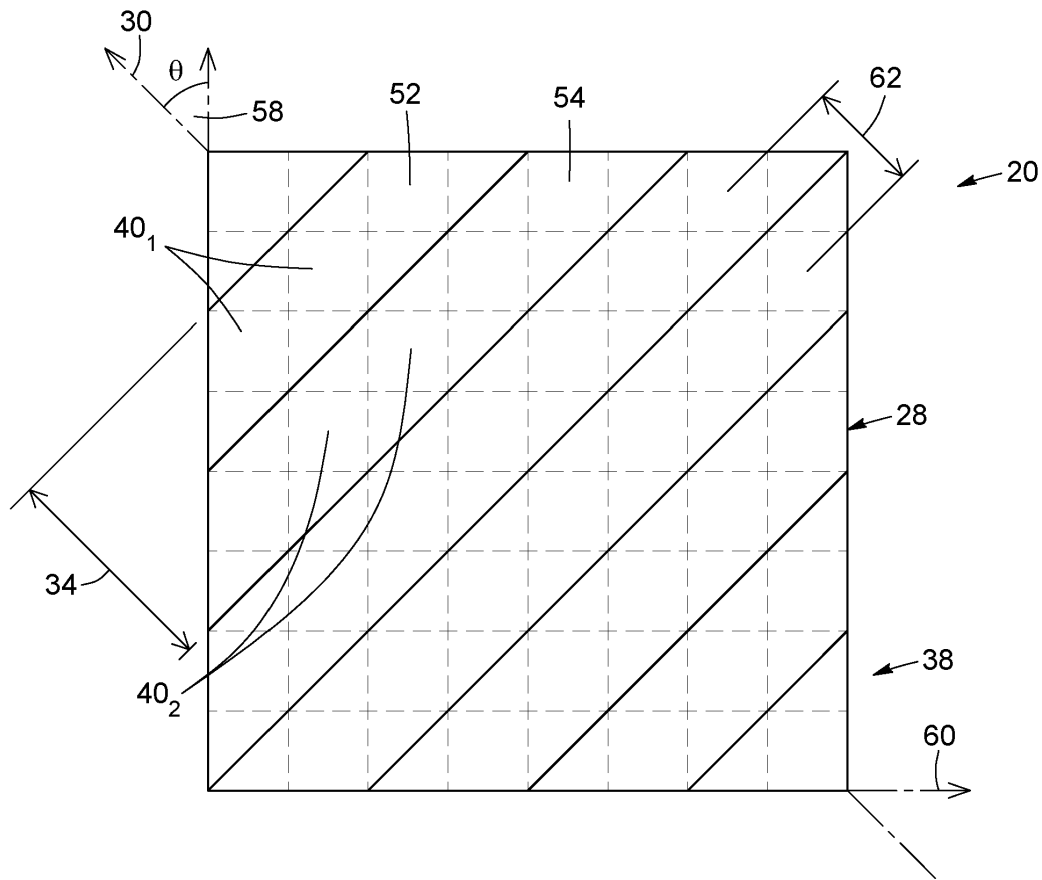
도면4



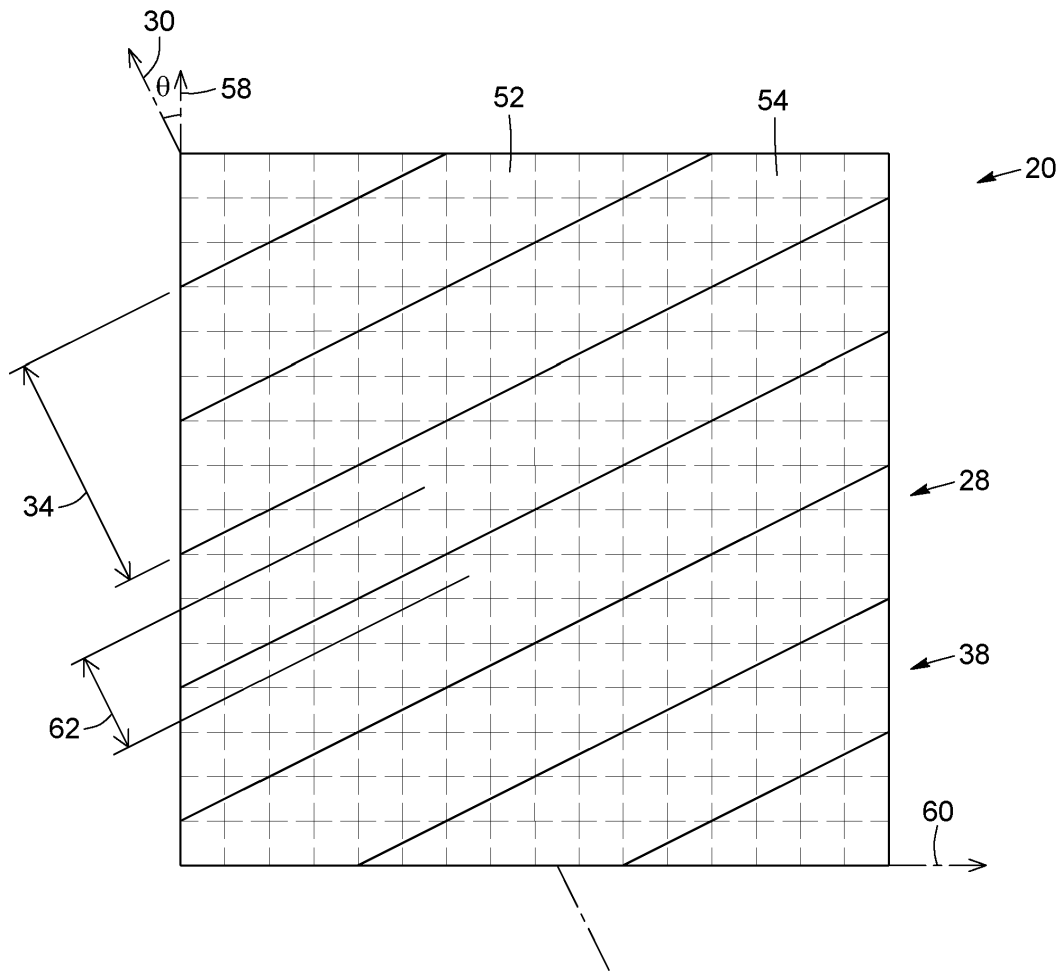
도면5



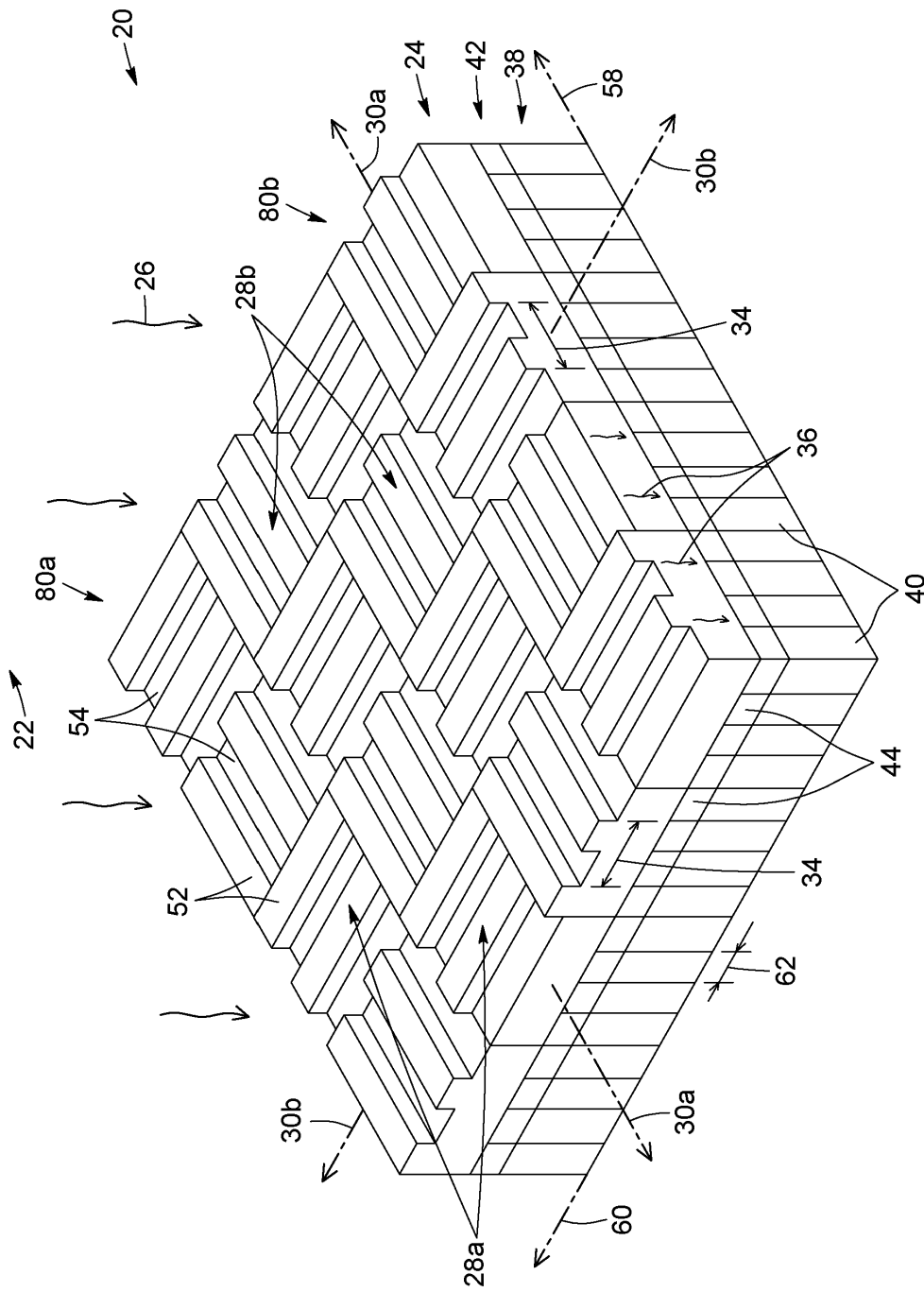
도면6a



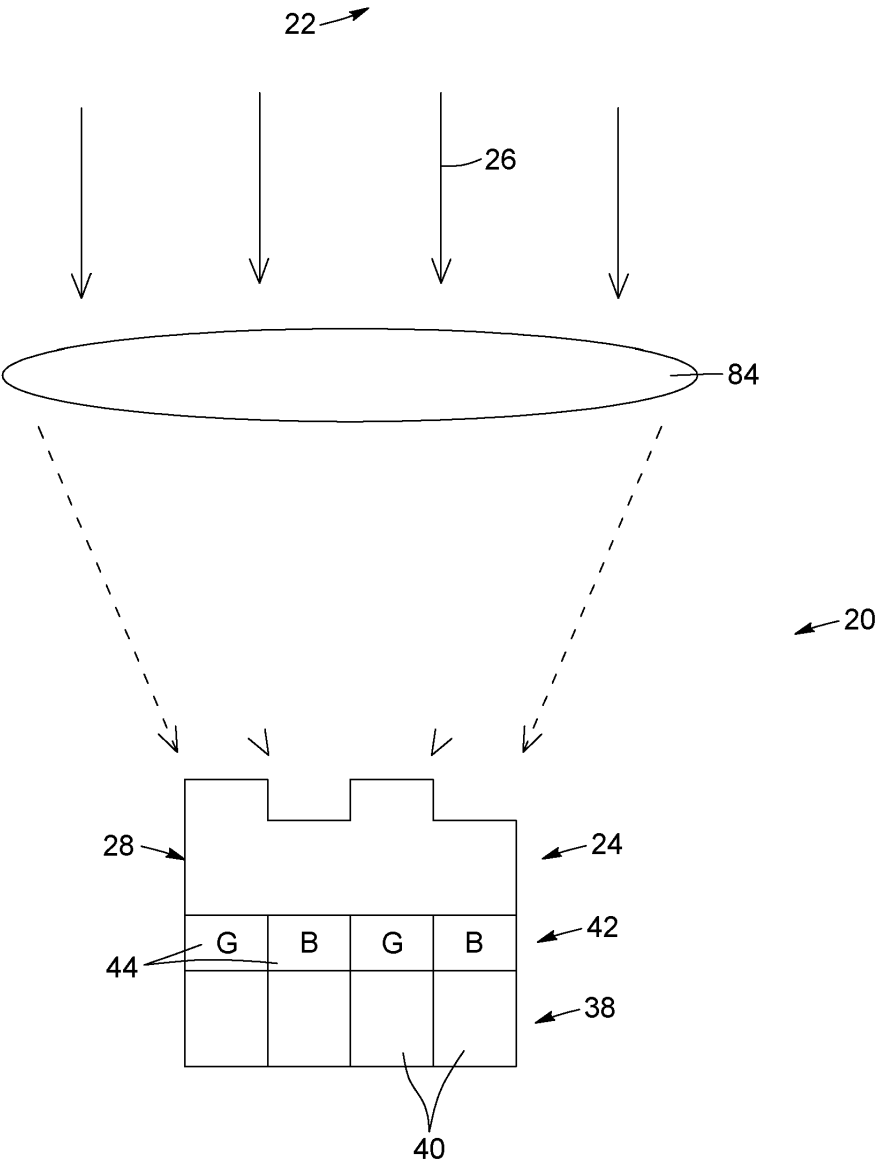
도면6b



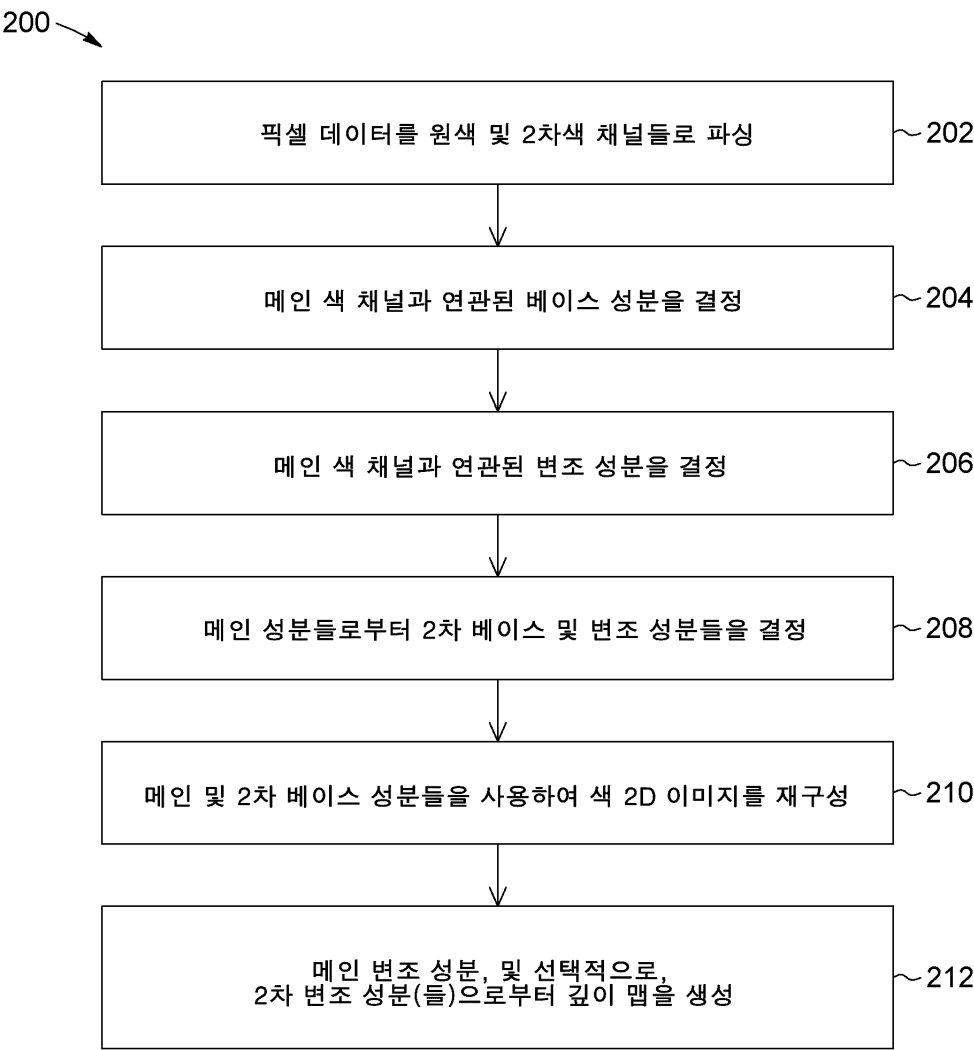
도면7



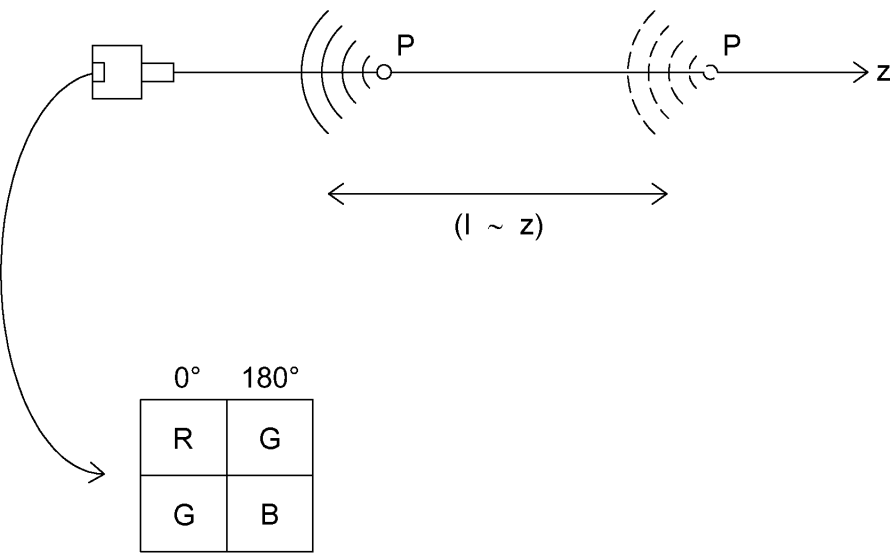
도면8



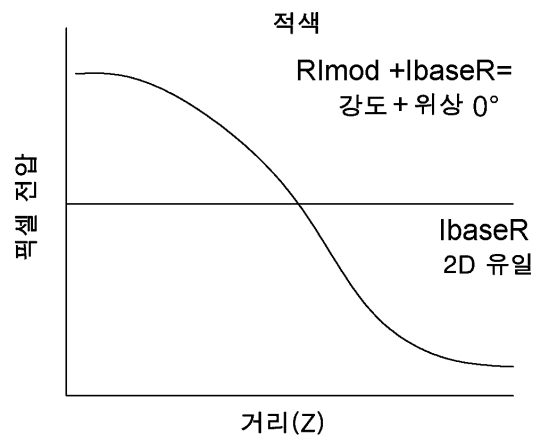
도면9



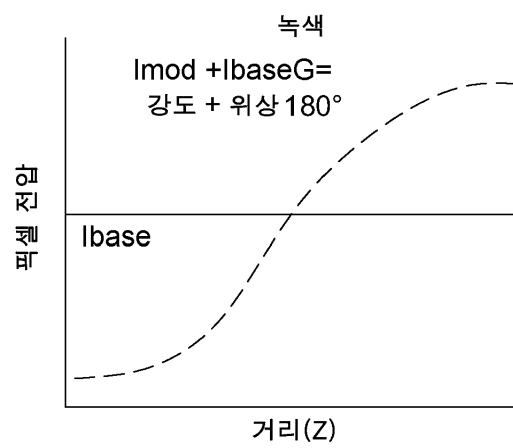
도면10



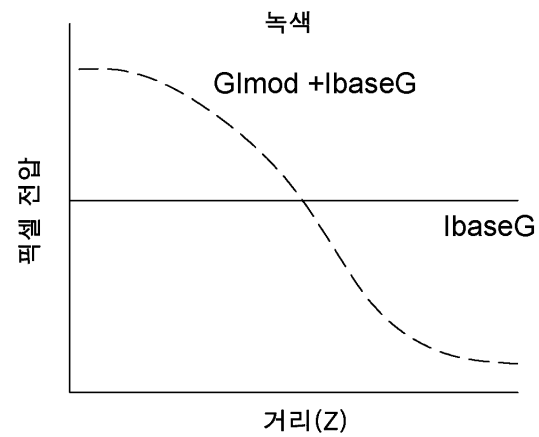
도면11a



도면11b

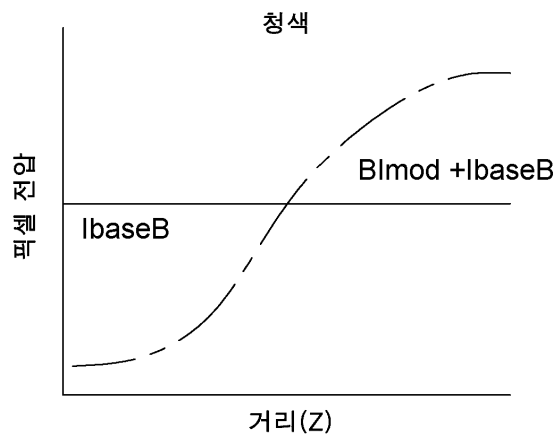


도면11c

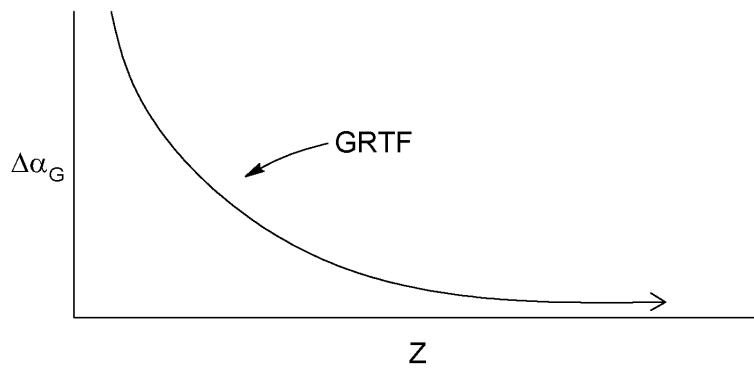




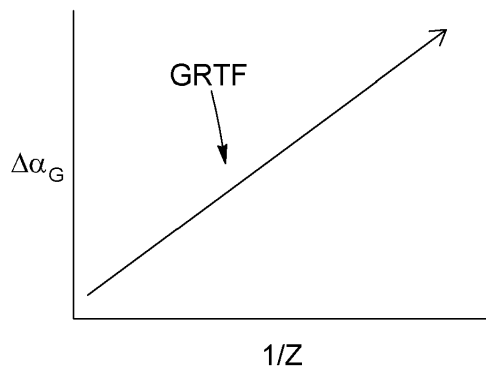
도면11d



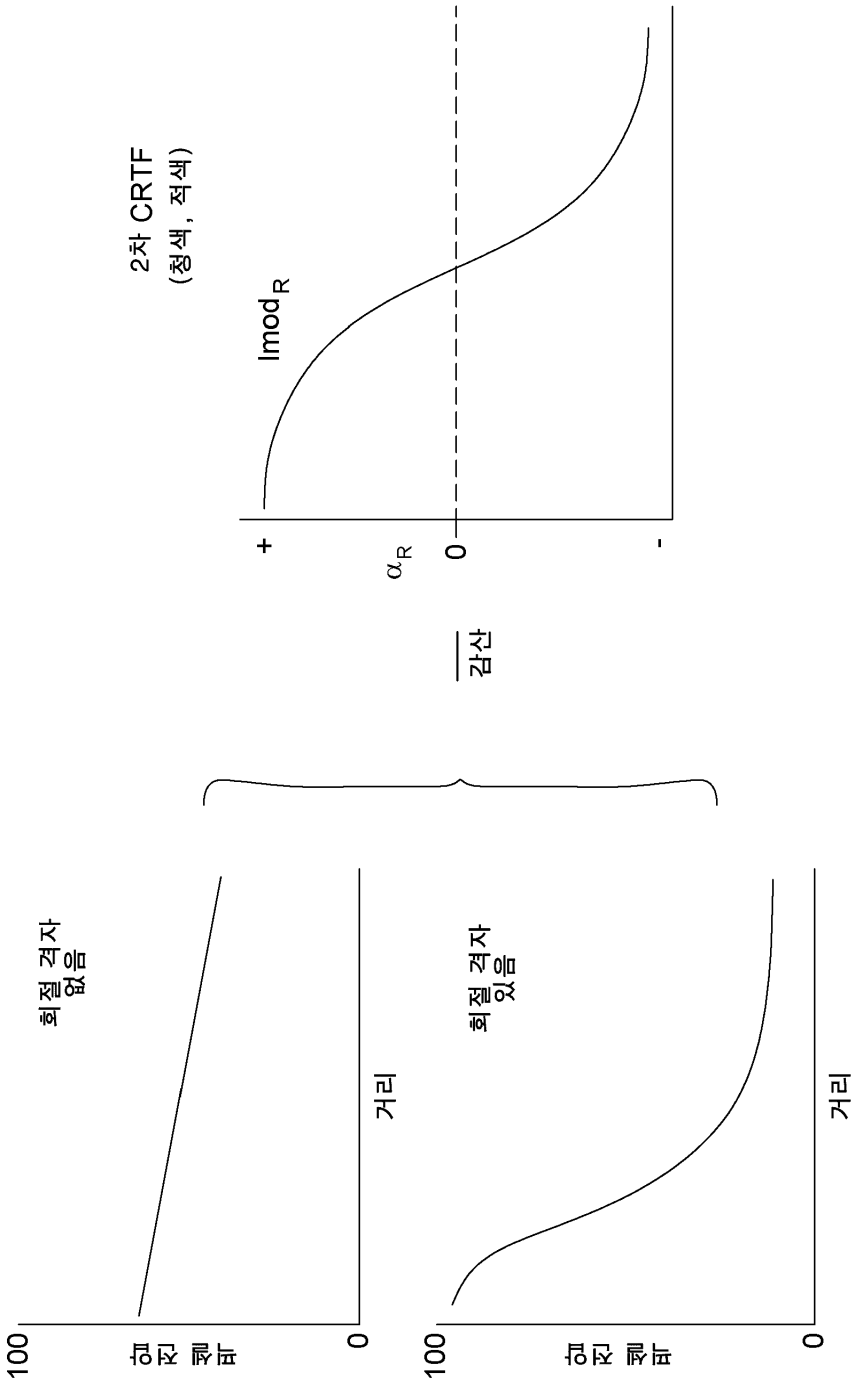
도면12a



도면12b



도면13



도면14

