



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0149423  
(43) 공개일자 2022년11월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G02B 26/06 (2006.01) G02B 27/00 (2020.01)  
H04N 5/225 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G02B 26/06 (2013.01)  
G02B 27/0012 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2022-0046721  
(22) 출원일자 2022년04월15일  
심사청구일자 2022년04월15일  
(30) 우선권주장  
1020210056273 2021년04월30일 대한민국(KR)

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
경희대학교 산학협력단  
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)  
(72) 발명자  
이승아  
서울특별시 중구 서소문로9길 28, 101동 1106호(순화동, 덕수궁롯데캐슬)  
이경철  
경기도 용인시 수지구 죽전로 121, 103동 1403호(죽전동, 꽃메마을아이파크2차아파트)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
민영준

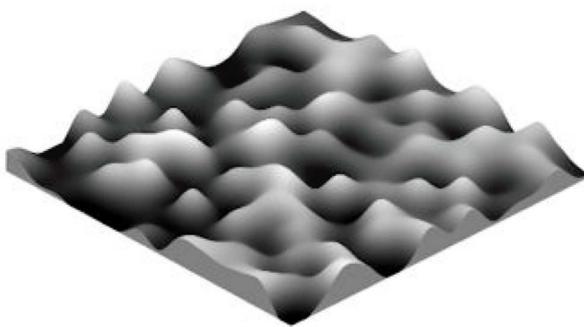
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 렌즈리스 카메라를 위한 위상 마스크 제조 장치 및 방법

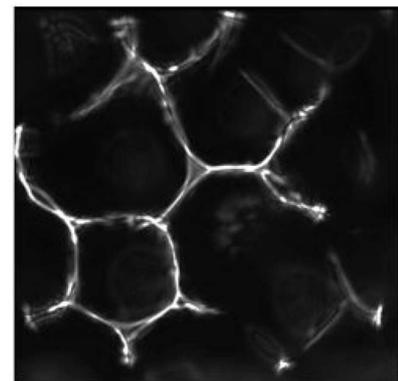
(57) 요약

개시된 실시예는 광원, 2차원맵을 인가받아 광원에서 조사된 광을 위치별로 서로 다른 세기로 반사하여 반사광을 출력하는 디지털 이미지 미러, 위상 마스크의 활용 용도에 따라 미리 획득된 점 확산함수로부터 위상 마스크가 위치별로 상이한 높이의 고유 패턴을 갖도록 반사광의 위치별 세기를 조절하기 위한 2차원맵을 생성하는 2차원맵 생성기 및 반사광이 조사되고, 조사된 반사광의 위치별 광 세기에 따라 서로 다른 깊이로 경화되는 광 경화막이 배치되는 소재 거치대를 포함하여, 용도에 따라 요구되는 위상 마스크의 점 확산함수에 대응하는 고유 패턴을 갖는 위상 마스크를 저비용으로 용이하고 빠르게 대량 생산할 수 있는 렌즈리스 카메라를 위한 위상 마스크 제조 장치 및 방법을 제공한다.

대표도 - 도1



(a)



(b)

(52) CPC특허분류  
*H04N 5/2254* (2021.08)

(72) 발명자

**백낙규**

서울특별시 영등포구 영등포로3길 23, 오목교코업  
레지던스 1116호(양평동2가)

**박욱**

경기도 수원시 영통구 에듀타운로 65, 5206동 260  
3호(이의동, 자연앤자이)

**배중현**

경기도 용인시 기흥구 서그대로 23-4, 305호(서천  
동, 세인트빌)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711118719
과제번호	2020R1F1A1076704
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	안면 인식의 보안성 향상을 위한 3차원 렌즈리스 카메라 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2020.06.01 ~ 2021.05.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

렌즈리스 카메라를 위한 위상 마스크 제조 장치에 있어서,

광원;

2차원맵을 인가받아 상기 광원에서 조사된 광을 위치별로 서로 다른 세기로 반사하여 반사광을 출력하는 디지털 이미지 미러;

위상 마스크의 활용 용도에 따라 미리 획득된 점 확산함수로부터 위상 마스크가 위치별로 상이한 높이의 고유 패턴을 갖도록 반사광의 위치별 세기를 조절하기 위한 상기 2차원맵을 생성하는 2차원맵 생성기; 및

상기 반사광이 조사되고, 조사된 상기 반사광의 위치별 광 세기에 따라 서로 다른 깊이로 경화되는 광 경화막이 배치되는 소재 거치대를 포함하는 위상 마스크 제조 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 2차원맵 생성기는

이전 설정된 높이맵에 따른 위치별 높이를 갖는 가상 위상 마스크를 투과하는 광의 위상 변화를 계산하여 가상 점 확산함수를 추정하고,

상기 가상 점 확산함수와 요구되는 점 확산함수 사이의 오차를 다시 역방향으로 광의 위상 변화로 반영하여 상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 업데이트하는 과정을 반복하여 수행하는 위상 마스크 제조 장치.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 2차원맵 생성기는

상기 가상 점 확산함수와 상기 점 확산함수 사이의 오차가 기준 오차 이내이면, 상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 상기 점 확산함수에 따른 위상 마스크의 고유 패턴으로 지정하는 위상 마스크 제조 장치.

#### 청구항 4

제3항에 있어서, 상기 2차원맵 생성기는

상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 기반으로 가상 위상 마스크를 투과하는 광의 위상 변화를 나타내는 위상맵을 이용하여 상기 위상 마스크를 투과한 광이 초점거리만큼 이격된 위치에 형성하는 이미지인 가상 점 확산함수를 추정하고,

상기 가상 점 확산함수와 요구되는 점 확산함수 사이의 오차를 계산하며,

계산된 오차가 상기 기준 오차를 초과하면, 계산된 오차를 역방향의 광의 위상 변화로 계산하여 상기 위상맵을 업데이트하고,

업데이트된 위상맵을 기반으로 상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 업데이트하는 과정을 반복 수행하는 위상 마스크 제조 장치.

#### 청구항 5

제4항에 있어서, 상기 2차원맵 생성기는

업데이트된 위상맵에 따른 서로 인접한 위치 사이의 위상 변화가 제한되도록 필터링한 후, 업데이트된 높이맵으로 변환하는 위상 마스크 제조 장치.

#### 청구항 6

제5항에 있어서, 상기 2차원맵 생성기는

계산된 오차를 광의 위상 변화에 따른 위상 오차로 계산하고, 계산된 위상 오차를 상기 위상 마스크를 투과하는 광의 위상 변화가 모델링된 광 전달 함수의 최대값을 기반으로 정규화하며, 정규화된 위상 오차로 상기 위상맵을 보상하여 상기 위상맵을 업데이트하는 위상 마스크 제조 장치.

**청구항 7**

제3항에 있어서, 상기 2차원맵 생성기는

상기 위상 마스크의 고유 패턴으로 지정된 높이맵을 양자화하여 상기 2차원맵을 획득하는 위상 마스크 제조 장치.

**청구항 8**

제1항에 있어서, 상기 위상 마스크 제조 장치는

상기 반사광을 상기 광 경화막의 지정된 영역에 집속시키는 대물 렌즈를 더 포함하는 위상 마스크 제조 장치.

**청구항 9**

제8항에 있어서, 상기 소재 거치대는

상기 광 경화막이 일면 상에 배치되고, 상기 대물 렌즈를 통한 반사광이 타면을 통해 입사되는 투명판; 및  
상기 광 경화막 상에 배치되는 PDMS를 포함하는 위상 마스크 제조 장치.

**청구항 10**

제8항에 있어서, 상기 소재 거치대는

상기 광 경화막이 일면 상에 배치되고, 상기 대물 렌즈를 통한 반사광이 타면을 통해 입사되는 PDMS; 및  
상기 광 경화막 상에 배치되는 이미지 센서를 포함하되,

상기 대물 렌즈는 반사광의 에너지가 상기 PDMS를 투과하여 상기 이미지 센서에 인접한 영역에서 집중되도록 초점을 조절하는 위상 마스크 제조 장치.

**청구항 11**

렌즈리스 카메라를 위한 위상 마스크 제조 장치의 위상 마스크 제조 방법에 있어서,

하나 이상의 프로세서를 포함하는 2차원맵 생성기가 위상 마스크의 활용 용도에 따라 미리 획득된 점 확산함수로부터 위상 마스크가 위치별로 상이한 높이의 고유 패턴을 갖도록 반사광의 위치별 세기를 조절하기 위한 2차원맵을 생성하는 단계;

디지털 이미지 미러가 2차원맵을 인가받아 광원에서 조사된 광을 위치별로 서로 다른 세기로 반사하여 반사광을 출력하는 단계; 및

소재 거치대에 배치된 광 경화막으로 상기 반사광을 조사하여 상기 반사광의 위치별 광 세기에 따라 위치별로 서로 상이한 높이를 갖는 위상 마스크를 획득하는 단계를 포함하는 위상 마스크 제조 방법.

**청구항 12**

제11항에 있어서, 상기 2차원맵을 생성하는 단계는

이전 설정된 높이맵에 따른 위치별 높이를 갖는 가상 위상 마스크를 투과하는 광의 위상 변화를 계산하여 가상 점 확산함수를 추정하고,

상기 가상 점 확산함수와 요구되는 점 확산함수 사이의 오차를 다시 역방향으로 광의 위상 변화로 반영하여 상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 업데이트하는 위상 마스크 제조 방법.

**청구항 13**

제12항에 있어서, 상기 2차원맵을 생성하는 단계는

상기 가상 점 확산함수와 상기 점 확산함수 사이의 오차가 기준 오차 이내이면, 상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 상기 점 확산함수에 따른 위상 마스크의 고유 패턴으로 지정하는 위상 마스크 제조 방법.

#### 청구항 14

제13항에 있어서, 상기 2차원맵을 생성하는 단계는

상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 기반으로 가상 위상 마스크를 투과하는 광의 위상 변화를 나타내는 위상맵을 이용하여 상기 위상 마스크를 투과한 광이 초점거리만큼 이격된 위치에 형성하는 이미지인 가상 점 확산함수를 추정하고,

상기 가상 점 확산함수와 요구되는 점 확산함수 사이의 오차를 계산하며,

계산된 오차가 상기 기준 오차를 초과하면, 계산된 오차를 역방향의 광의 위상 변화로 계산하여 상기 위상맵을 업데이트하고,

업데이트된 위상맵을 기반으로 상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 업데이트하는 과정을 반복 수행하는 위상 마스크 제조 방법.

#### 청구항 15

제14항에 있어서, 상기 2차원맵을 생성하는 단계는

업데이트된 위상맵에 따른 서로 인접한 위치 사이의 위상 변화가 제한되도록 필터링한 후, 업데이트된 높이맵으로 변환하는 위상 마스크 제조 방법.

#### 청구항 16

제15항에 있어서, 상기 2차원맵을 생성하는 단계는

계산된 오차를 광의 위상 변화에 따른 위상 오차로 계산하고,

계산된 위상 오차를 상기 위상 마스크를 투과하는 광의 위상 변화가 모델링된 광 전달 함수의 최대값을 기반으로 정규화하며,

정규화된 위상 오차로 상기 위상맵을 보상하여 상기 위상맵을 업데이트하는 위상 마스크 제조 방법.

#### 청구항 17

제13항에 있어서, 상기 2차원맵을 생성하는 단계는

상기 위상 마스크의 고유 패턴으로 지정된 높이맵을 양자화하여 상기 2차원맵을 획득하는 위상 마스크 제조 방법.

#### 청구항 18

제11항에 있어서, 상기 위상 마스크를 획득하는 단계는

대물 렌즈에 의해 상기 반사광의 에너지가 상기 광 경화막의 지정된 영역에 집중되어 상기 광 경화막이 경화됨으로써 상기 위상 마스크가 생성되는 위상 마스크 제조 방법.

#### 청구항 19

제18항에 있어서, 상기 위상 마스크를 획득하는 단계는

상기 광 경화막이 일면 상에 배치된 투명판의 타면 방향에서 상기 대물 렌즈를 통한 반사광이 입사되어 경화되되,

상기 대물 렌즈는 상기 광 경화막에서 상기 투명판에 인접한 영역에서 상기 반사광의 에너지가 집중되도록 초점을 조절하는 위상 마스크 제조 방법.

**청구항 20**

제18항에 있어서, 상기 위상 마스크를 획득하는 단계는

PDMS와 이미지 센서 사이에 배치된 상기 광 경화막으로 상기 대물 렌즈를 통한 반사광이 입사되어 경화되되,

상기 대물 렌즈는 반사광의 에너지가 상기 PDMS를 투과하여 상기 이미지 센서에 인접한 영역에서 집중되도록 초점을 조절하는 위상 마스크 제조 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 개시되는 실시예들은 위상 마스크 제조 장치 및 방법에 관한 것으로, 렌즈리스 카메라를 위한 위상 마스크 제조 장치 및 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 일반적인 카메라는 렌즈 카메라로서 광이 입사되는 방향에 렌즈가 배치되어, 각 장면(scene)에서의 점광원이 렌즈를 통해 이미지 센서에 점 형태로 결상됨으로써 이미지를 획득한다.

[0003] 반면 렌즈리스 카메라는 광이 입사되는 방향에 렌즈를 대체하는 진폭 마스크(Amplitude Mask) 또는 위상 마스크(Phase Mask)가 배치되어, 입사되는 점광원이 마스크에 의해 변조되어 이미지 센서에 결상된다. 이와 같이 렌즈를 포함하지 않고 이미지를 획득하는 방식을 렌즈리스 이미징 방식이라 하며, 최근 위상 마스크를 이용하는 렌즈리스 카메라에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

[0004] 위상 마스크는 진폭 마스크에 비해 광 수집 측면에서 더 효율적이다. 또한 이동 불변(shift-invariance)의 특성을 가지는 고유 패턴을 기반으로 이미징한다는 특징이 있다. 따라서 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징은 진폭 마스크 기반 렌즈리스 이미징보다 견고한 영상 모델을 제공할 수 있다는 장점이 있다.

[0005] 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징에서는 장면을 구성하는 점광원 각각이 위상 마스크를 통과하면서 위상 마스크 상에 형성된 고유 패턴에 따라 확산 변조되어 이미지 센서에 결상된다. 이때 점 광원이 위상 마스크를 통과하여 나타내는 고유 패턴을 점 확산함수(Point Spread Function: PSF)라 한다. 그리고 이미지 센서에 결상되어 획득된 이미지는 위상 마스크의 고유 패턴인 점 확산함수(PSF)를 이용하여 다시 렌즈 이미징에서와 같은 장면 이미지로 복원될 수 있다. 즉 위상 마스크의 고유 패턴을 알고 있다면, 위상 마스크 기반 렌즈리스 카메라를 통해 촬영된 이미지에서 원래의 장면 이미지를 복원할 수 있다.

[0006] 이러한 렌즈리스 카메라는 광 집속 AR, VR, 분광 이미지 또는 편광 이미지 획득과 같은 다양한 분야에 이용되고 있으며, 일반 렌즈 기반 카메라에 비해 작고 간단한 구조로 저렴하게 구현될 수 있다. 다만 점 확산함수(PSF)는 활용 용도에 적합한 패턴을 가져야 한다. 즉 활용 용도에 따라 패턴의 크기나 밀도 등의 조절된 다양한 패턴이 요구된다. 그러나 이와 같이 각 활용 용도에 따라 서로 다른 다양한 패턴의 위상 마스크를 개별적으로 제조하는 것은 용이하지 않으므로 위상 마스크의 제조 이용이 높아지는 요인이 된다. 따라서 용도에 따른 다양한 패턴의 점 확산함수(PSF)를 갖는 여러 위상 마스크를 저비용으로 용이하게 제조할 수 있는 위상 마스크 제조 방법이 요구되고 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0007] (특허문헌 0001) 한국 공개 특허 제10-2021-0047486호 (2021.04.30 공개)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0008] 개시되는 실시예들은 다양한 패턴을 갖는 위상 마스크를 빠르고 용이하게 제조할 수 있는 위상 마스크 제조 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0009] 개시되는 실시예들은 저비용으로 위상 마스크를 제조할 수 있는 위상 마스크 제조 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0010] 개시되는 실시예들은 이미지 센서 상에서 직접 제조될 수 있는 위상 마스크 제조 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

**과제의 해결 수단**

[0011] 실시예에 따른 위상 마스크 제조 장치는 광원; 2차원맵을 인가받아 상기 광원에서 조사된 광을 위치별로 서로 다른 세기로 반사하여 반사광을 출력하는 디지털 이미지 미러; 위상 마스크의 활용 용도에 따라 미리 획득된 점 확산함수로부터 위상 마스크가 위치별로 상이한 높이의 고유 패턴을 갖도록 반사광의 위치별 세기를 조절하기 위한 상기 2차원맵을 생성하는 2차원맵 생성기; 및 상기 반사광이 조사되고, 조사된 상기 반사광의 위치별 광 세기에 따라 서로 다른 깊이로 경화되는 광 경화막이 배치되는 소재 거치대를 포함한다.

[0012] 상기 2차원맵 생성기는 이전 설정된 높이맵에 따른 위치별 높이를 갖는 가상 위상 마스크를 투과하는 광의 위상 변화를 계산하여 가상 점 확산함수를 추정하고, 상기 가상 점 확산함수와 요구되는 점 확산함수 사이의 오차를 다시 역방향으로 광의 위상 변화로 반영하여 상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 업데이트하는 과정을 반복하여 수행할 수 있다.

[0013] 상기 2차원맵 생성기는 상기 가상 점 확산함수와 상기 점 확산함수 사이의 오차가 기준 오차 이내이면, 상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 상기 점 확산함수에 따른 위상 마스크의 고유 패턴으로 지정할 수 있다.

[0014] 상기 2차원맵 생성기는 상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 기반으로 가상 위상 마스크를 투과하는 광의 위상 변화를 나타내는 위상맵을 이용하여 상기 위상 마스크를 투과한 광이 초점거리만큼 이격된 위치에 형성하는 이미지인 가상 점 확산함수를 추정하고, 상기 가상 점 확산함수와 요구되는 점 확산함수 사이의 오차를 계산하며, 계산된 오차가 상기 기준 오차를 초과하면, 계산된 오차를 역방향의 광의 위상 변화로 계산하여 상기 위상맵을 업데이트하고, 업데이트된 위상맵을 기반으로 상기 가상 위상 마스크의 높이맵을 업데이트하는 과정을 반복 수행할 수 있다.

[0015] 상기 2차원맵 생성기는 업데이트된 위상맵에 따른 서로 인접한 위치 사이의 위상 변화가 제한되도록 필터링한 후, 업데이트된 높이맵으로 변환할 수 있다.

[0016] 상기 2차원맵 생성기는 계산된 오차를 광의 위상 변화에 따른 위상 오차로 계산하고, 계산된 위상 오차를 상기 위상 마스크를 투과하는 광의 위상 변화가 모델링된 광 전달 함수의 최대값을 기반으로 정규화하며, 정규화된 위상 오차로 상기 위상맵을 보정하여 상기 위상맵을 업데이트할 수 있다.

[0017] 상기 2차원맵 생성기는 상기 위상 마스크의 고유 패턴으로 지정된 높이맵을 양자화하여 상기 2차원맵을 획득할 수 있다.

[0018] 상기 위상 마스크 제조 장치는 상기 반사광을 상기 광 경화막의 지정된 영역에 집속시키는 대물 렌즈를 더 포함할 수 있다.

[0019] 상기 소재 거치대는 상기 광 경화막이 일면 상에 배치되고, 상기 대물 렌즈를 통한 반사광이 타면을 통해 입사되는 투명판; 및 상기 광 경화막 상에 배치되는 PDMS를 포함할 수 있다.

[0020] 상기 소재 거치대는 상기 광 경화막이 일면 상에 배치되고, 상기 대물 렌즈를 통한 반사광이 타면을 통해 입사되는 PDMS; 및 상기 광 경화막 상에 배치되는 이미지 센서를 포함하되, 상기 대물 렌즈는 반사광의 에너지가 상기 PDMS를 투과하여 상기 이미지 센서에 인접한 영역에서 집중되도록 초점을 조절할 수 있다.

[0021] 실시예에 따른 위상 마스크 제조 방법은 하나 이상의 프로세서를 포함하는 2차원맵 생성기가 위상 마스크의 활용 용도에 따라 미리 획득된 점 확산함수로부터 위상 마스크가 위치별로 상이한 높이의 고유 패턴을 갖도록 반사광의 위치별 세기를 조절하기 위한 2차원맵을 생성하는 단계; 디지털 이미지 미러가 2차원맵을 인가받아 광원에서 조사된 광을 위치별로 서로 다른 세기로 반사하여 반사광을 출력하는 단계; 및 소재 거치대에 배치된 광 경화막으로 상기 반사광을 조사하여 상기 반사광의 위치별 광 세기에 따라 위치별로 서로 상이한 높이를 갖는 위상 마스크를 획득하는 단계를 포함한다.

**발명의 효과**

[0022] 따라서, 실시예에 따른 위상 마스크 제조 장치 및 방법은 요구되는 위상 마스크의 점 확산함수의 패턴에 따라

위상 마스크의 높이가 위치별로 상이하게 조절되도록 광의 세기를 결정하는 2차원 이미지인 2차원맵을 생성하고, 생성된 2차원맵을 기반으로 광 경화 소재에 광을 조사하여 위상 마스크를 저비용으로 빠르고 용이하게 제조할 수 있다. 그러므로 용도에 따른 점 확산함수를 갖는 다양한 위상 마스크를 신속하게 제조할 수 있을 뿐만 아니라 대량 생산할 수 있다. 그리고 이미지 센서 상에서 위상 마스크를 곧바로 제조할 수도 있어, 위상 마스크가 이미지 센서와 일체형으로 구현되도록 할 수도 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0023]

- 도 1은 위상 마스크와 점 확산 함수의 일 예를 나타낸다.
- 도 2는 일 실시예 따른 위상 마스크 제조 장치를 수행되는 동작에 따라 구분하여 나타낸 도면이다.
- 도 3은 위상 마스크 설계 장치의 구현 예를 나타낸다.
- 도 4는 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식의 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식의 원리를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 도 2의 2차원맵 생성기를 수행되는 동작에 따라 구분한 구성의 일 예를 나타낸다.
- 도 7은 위상 마스크 설계 장치의 다른 구현 예를 나타낸다.
- 도 8은 일 실시예에 따른 위상 마스크 제조 방법을 나타낸다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0024]

이하, 도면을 참조하여 일 실시예의 구체적인 실시형태를 설명하기로 한다. 이하의 상세한 설명은 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.

[0025]

일 실시예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 일 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 일 실시예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이어서는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0026]

도 1은 위상 마스크와 점 확산 함수의 일 예를 나타낸다.

[0027]

도 1에서 (a)는 위상 마스크를 나타내고, (b)는 (a)의 위상 마스크에 대한 점 확산함수(PSF)를 나타낸다.

[0028]

(a)에 도시된 바와 위상 마스크는 광이 투과될 수 있는 투명 소재 평판의 일면에서 위치별로 높이가 상이한 굴곡 형상으로 고유 패턴이 형성된다. 이 고유 패턴에 의해 위상 마스크를 통과하는 광은 입사되는 위치에 따라 위상이 상이하게 변화하게 하여 확산 변조됨으로써, (b)와 같이 고유 패턴에 따른 고유 이미지가 광이 입사되는 방향의 반대 방향에 형성된다. 이때 고유 이미지는 위상 마스크와 이미지가 결상되는 결상면(일반적으로 이미지 센서) 사이의 거리에 따라 흐리거나 선명하게 나타나게 되며, 고유 이미지가 가장 선명하게 나타나는 위상 마스크와 결상면 사이의 거리를 초점 거리(f)라 하며, 초점 거리(f)에서 나타난 고유 이미지를 점 확산함수(PSF)라 한다.

[0029]

그리고 상기한 바와 같이, 점 확산함수(PSF)는 렌즈리스 카메라에서 획득된 이미지로부터 원 장면을 복원하는데 이용되며, 렌즈리스 카메라의 이용 용도에 따라 점 확산함수(PSF)는 다양한 패턴으로 형성되어야 한다. 즉 위상 마스크에 형성되는 위치별로 상이한 굴곡 형상의 고유 패턴이 용도에 따라 서로 상이해야 할 뿐만 아니라, 이에 따른 점 확산함수(PSF)가 모두 확인되어야 한다.

[0030]

기준에 용도에 따른 위상 마스크를 제조하는 방식의 경우, 대부분 제조의 편의성을 위해 우선 용도에 따라 개략

적인 고유 패턴을 갖는 위상 마스크를 제조하고, 제조된 위상 마스크에 광을 조사하여 점 확산함수(PSF)를 확인하는 방식으로 수행되었다. 그리고 점 확산함수(PSF)가 요구되는 패턴을 갖지 않는 경우, 위상 마스크의 고유 패턴을 수정하여 다시 점 확산함수(PSF)를 확인하는 방식으로 수행되었다. 이때 위상 마스크는 패턴 형성이 용이한 다른 소재에 고유 패턴의 몰드를 형성하고, 형성된 몰드를 위상 마스크를 구성하는 소재 상에 배치시켜 가압하여 위상 마스크의 고유 패턴을 형성하는 임프린트 방식을 이용하거나, 3D 프린터를 이용하는 3D 프린트 방식 등이 이용되고 있다.

- [0031] 그러나 임프린트 방식의 경우, 동일한 고유 패턴을 갖는 위상 마스크의 대량 생산에는 적합하지만, 용도에 따라서도 다른 점 확산함수(PSF)를 구현하기 위해, 서로 다른 다양한 고유 패턴을 갖는 위상 마스크를 제조하기에는 적합하지 않다. 뿐만 아니라, 제조된 위상 마스크가 요구되는 점 확산함수(PSF)를 나타내지 않는 등의 이유로 수정을 해야 하는 경우에도 새로운 몰드를 우선 생산해야 하므로, 제조 비용이 크게 상승하는 요인이 된다.
- [0032] 또한 3D 프린트 방식의 경우, 위상 마스크의 고유 패턴 데이터를 입력하여 위상 마스크를 용이하게 제조할 수 있다는 장점이 있으나, 3D 프린터 자체의 비용이 매우 고가이며, 위치에 따라 높이가 매끄럽게 변화하는 고유 패턴을 형성하기 어려울 뿐만 아니라 제조 방식 특성 상 빠른 제조가 어렵다는 한계가 있다.
- [0033] 이에 본 실시예에서는 광과 광 경화성 소재를 이용하여 점 확산함수(PSF)에 대응하는 위상 마스크를 제조한다.
- [0034] 도 2는 일 실시예 따른 위상 마스크 제조 장치를 수행되는 동작에 따라 구분하여 나타낸 도면이고, 도 3은 위상 마스크 설계 장치의 구현 예를 나타낸다.
- [0035] 도 2를 참조하면, 실시예에 따른 위상 마스크 제조 장치는 점 확산함수 획득기(21), 2차원맵 생성기(22), 광원(23), 디지털 이미지 미러(24), 광경로 변환기(25), 대물 렌즈(26) 및 소재 거치대(27)를 포함할 수 있다.
- [0036] 도 2에 도시된 실시예에서, 위상 마스크 제조 장치의 각 구성들은 이하에 기술된 것 이외에 상이한 기능 및 능력을 가질 수 있고, 이하에 기술되지 것 이외에도 추가적인 구성을 포함할 수 있다. 또한, 일 실시예에서, 각 구성은 물리적으로 구분된 하나 이상의 장치를 이용하여 구현되거나, 하나 이상의 프로세서 또는 하나 이상의 프로세서 및 소프트웨어의 결합에 의해 구현될 수 있으며, 도시된 예와 달리 구체적 동작에 있어 명확히 구분되지 않을 수도 있다.
- [0037] 점 확산함수 획득기(21)는 위상 마스크의 활용 용도에 따른 패턴을 갖는 점 확산함수(PSF)를 획득한다. 점 확산함수(PSF)는 도 1의 (b)에 도시된 바와 같이, 서로 다른 다양한 패턴을 갖는 2차원 이미지 데이터로 획득될 수 있다. 점 확산함수 획득기(21)는 2차원 이미지 데이터인 점 확산함수(PSF)가 저장된 메모리와 같은 저장 매체로 구현되거나, 유무선 네트워크를 통해 점 확산함수(PSF)를 전송받는 통신 모듈 등으로 구현될 수 있으며, 이외 다른 구성 요소로 구현될 수도 있다.
- [0038] 2차원맵 생성기(22)는 점 확산함수 획득기(21)가 점 확산함수를 획득하면, 2차원의 점 확산함수(PSF)로부터 일 면상에 3차원의 높이 굴곡 패턴이 형성된 위상 마스크를 획득하기 위한 2차원맵(32)을 생성한다. 점 확산함수(PSF)는 비록 위상 마스크의 일 면상에 형성되는 3차원의 고유 패턴에 매칭되는 2차원 이미지이지만, 이는 광이 위상 마스크에 입사되어 확산 변조되어 결상면에 결상된 결과를 나타내는 이미지이다. 따라서 점 확산함수(PSF)로부터 3차원의 고유 패턴을 갖는 위상 마스크를 곧바로 제조하기는 어렵다. 이에 실시예에서는 2차원의 점 확산함수(PSF)로부터 위상 마스크의 3차원 고유 패턴을 형성하기 위한 중간 이미지로서 도 3에 도시된 바와 같은 2차원맵(32)을 생성한다.
- [0039] 여기서 2차원맵(32)은 점 확산함수(PSF)를 기반으로 3차원 높이 정보가 2차원 상에 값으로 표현된 이미지 데이터이며, 본 실시예에서 2차원맵 생성기(22)는 일 예로 2차원의 그레이스케일 맵을 2차원맵(32)으로 생성할 수 있다. 상기한 바와 같이, 본 실시예에서 위상 마스크 제조 장치는 광과 광 경화 소재를 기반으로 위상 마스크를 제조하며, 그레이스케일 맵으로 생성된 2차원맵(32)은 광 경화 소재에 조사되는 광의 세기를 위치별로 조절하기 위한 광 세기 필터로 동작함으로써, 광 경화 소재에 위치별로 상이한 높이차가 발생되도록 할 수 있다. 다만 이는 일 예로서 2차원맵 생성기(22)는 위상 마스크 제조 방식에 따라 다른 형태의 2차원맵(32)을 생성할 수도 있다.
- [0040] 광원(23)은 디지털 이미지 미러(24)로 광을 조사한다. 광원(23)은 지정된 파장을 갖는 광을 생성하여 디지털 이미지 미러(24)로 조사한다. 여기서는 일 예로 위상 마스크로 구현되는 광 경화 소자가 UV 광경화 소자인 것으로 가정하며, 이에 광원(23)이 자외선(Ultraviolet: UV) 광을 방출할 수 있다.
- [0041] 디지털 이미지 미러(24)는 2차원맵 생성기(22)에서 생성된 2차원맵(32)을 인가받고, 인가된 2차원맵(32)에 따라

광원(23)에서 조사되어 입사된 광을 반사한다. 이때 디지털 이미지 미러(24)는 반사광(33)의 위치별 세기가 상이해지도록 반사할 수 있다. 디지털 이미지 미러(24)는 다수의 마이크로 미러를 포함하여 구현될 수 있으며, 다수의 마이크로 미러 각각은 2차원맵(32)에서 대응하는 위치의 픽셀값에 따라 입사되는 반사광(33)의 위치별 광 세기를 조절할 수 있다. 디지털 이미지 미러(24)는 일 예로 DMD(Digital Micromirror Device)로 구현될 수 있다.

[0042] 광경로 변환기(25)는 디지털 이미지 미러(24)에서 입사된 반사광(33)이 대물 렌즈(26)로 입사되도록 각도를 조절하여 재반사한다. 광경로 변환기(25)는 일 예로 이색성 거울(Dichroic Mirror)로 구현될 수 있다. 광경로 변환기(25)는 단지 디지털 이미지 미러(24)에서 반사된 반사광(33)이 대물 렌즈(26)으로 입사되도록 경로를 변경하는 역할을 수행하므로, 경우에 따라서는 생략될 수도 있다.

[0043] 대물 렌즈(26)는 디지털 이미지 미러(24)에서 반사된 반사광(33)이 인가되면, 인가된 반사광(33)을 소재 거치대(27)에 배치된 광 경화막(37)의 지정된 영역에 집속시킨다. 이때 광 경화막(37)에 집속되는 반사광(33)은 디지털 이미지 미러(24)에서 2차원맵(32)이 투영된 이미지(34)의 패턴을 가지므로, 위치별로 서로 다른 광 세기로 입사된다. 소재 거치대(27)에는 반사광(33)에 의해 경화되는 광 경화막(37)이 배치되며, 여기서 광 경화막(37)은 광 경화성 소재의 일종인 광 경화 폴리머(Photo-curable polymer) 등으로 구성될 수 있다. 그리고 소재 거치대(27)는 광 경화막(37)이 배치되고 광이 투과할 수 있는 투명판(일 예로 유리 슬라이드)(36)과 광 경화막(37) 상에 배치되는 폴리디메틸실록산(Polydimethylsiloxane: PDMS)(38)을 포함할 수 있다.

[0044] 위치 별로 다른 광 세기를 갖고 대물 렌즈(26)에서 집속된 반사광(33)은 투명판(36)을 투과하여 광 경화막(37)에 입사되고, 광 경화막(37)은 입사된 반사광(33)의 광 세기에 따른 깊이로 경화된다. 이때 2차원맵(32)에 따라 반사광(33)의 세기가 위치별로 상이하므로, 광 경화막(37)은 위치별로 상이한 높이를 갖고 경화된다. 그리고 광 경화막(37)의 위치별 높이차는 2차원맵(32)에 의해 결정되었으며, 2차원맵(32)은 점 확산함수(PSF)로부터 획득되었으므로, 광 경화막(37)은 점 확산함수(PSF)에 대응하는 위치별 높이를 갖는 것으로 볼 수 있다. 즉 광 경화막(37)은 점 확산함수(PSF)에 따른 3차원 고유 패턴을 갖는 위상 마스크(39)로 획득될 수 있다. 이때 위상 마스크(39)의 주변 영역에도 광이 조사되어 도 3에 도시된 바와 같이 불필요한 마진 영역이 함께 경화될 수 있다. 이 경우, 마진 영역을 별도의 공정으로 제거하여 요구되는 크기와 고유 패턴을 갖는 위상 마스크(39)를 획득할 수 있다.

[0045] 대물 렌즈(26)는 광 경화막(37)에서 광 에너지가 집중되는 초점 위치를 조절하여 위상 마스크(39)가 형성되는 위치를 조절할 수 있으며, 여기서는 일 예로 대물 렌즈(26)가 투명판(36) 상에 에너지가 집중되도록 하여 위상 마스크(39)가 투명판(36) 상에서 획득되는 것으로 가정하였다.

[0046] 결과적으로 도 2 및 도 3에 도시된 위상 마스크 제조 장치는 점 확산함수(PSF)에 대응하는 2차원 디지털 이미지 데이터인 2차원맵(32)을 획득하고, 획득된 2차원맵(32)을 기반으로 입사되는 광의 세기를 위치별로 상이하게 조절하여 광 경화 소재로 반사시킴으로써 1회의 광 조사만으로 용이하게 위상 마스크(39)를 제조할 수 있다. 따라서 용도에 따른 여러 패턴의 점 확산함수(PSF) 각각에 대한 다양한 위상 마스크(39)를 용이하게 생산할 수 있을 뿐만 아니라 대량 생산을 수행할 수 있다. 또한 위치별 높이가 매끄럽게 변화되는 위상 마스크(39)를 제조할 수 있다.

[0047] 다만 위상 마스크 제조 장치로 점 확산함수(PSF)에 대응하는 위상 마스크(39)를 제조하기 위해서는 제조될 위상 마스크의 높이 정보가 포함되는 2차원맵(32)이 정확하게 생성되어야 한다. 이에 이하에서는 점 확산함수(PSF)로부터 2차원맵(32)을 획득하는 방법을 설명하며, 이해의 편의를 위해 렌즈 기반 이미징 방식과 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식 사이의 차이를 우선 설명한다.

[0048] 도 4는 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식의 동작을 설명하기 위한 도면이고, 도 5는 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식의 원리를 설명하기 위한 도면이다.

[0049] 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식에서는 도 4에 도시된 바와 같이, 렌즈 이미징 방식에서의 렌즈 모듈 대신 위상 마스크(41)가 이미지 센서(42)의 전방에 이격되어 위치한다. 그리고 위상 마스크(41)는 일면에 위치별로 크기, 높이, 모양 등이 불규칙적인 형태의 고유 패턴이 형성된다. 위상 마스크(41)의 일면에 형성된 고유 패턴은 투과되는 광을 위치별로 상이하게 지연시켜 위상 변화를 유발하므로, 위상 변환 패턴이라고도 할 수 있다.

[0050] 렌즈리스 카메라에서는 점 광원을 집속하는 렌즈가 포함되지 않으므로, 위상 마스크(41)에 확산 입사되는 점 광원은 위상 변환 패턴에 따른 패턴으로 변환되어 이미지 센서(42)에 입사된다. 즉 점 광원이 위상 마스크(41)

에 형성된 위상 변환 패턴에 따라 이미지 센서의 전체 영역으로 확산된 이미지로 획득된다. 이때 위상 마스크(41)가 이미지 센서(42)로부터 초점 거리( $f$ )만큼 이격된 경우, 위상 마스크(41)에 의해 변조된 광의 패턴이 가장 샤프한 점 확산함수(PSF)(45)가 나타나게 된다.

- [0051] 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식에서 점이 아닌 크기를 갖는 물체가 촬영되는 경우, 즉 장면이 촬영되는 경우는 도 5의 (b)에 도시된 바와 같이, 장면의 다수의 위치별 점 광원에서 방사된 광이 위상 마스크(41)를 통해 이미지 센서(42)에 중첩되어 입사된 것으로 볼 수 있다. 이에 각 점 광원의 위치에 따라 이미지 센서에 투사되는 점 확산함수(PSF)가 전체적으로 시프트된다. 따라서 장면이 촬영되는 경우에는, 이미지 센서(42)에는 장면을 구성하는 다수의 점 광원에 의해 다수의 점 확산함수(PSF)가 시프트되고 중첩되어 입사되므로, 이미지 센서(42)는 도 4와 같은 로우 이미지(43)를 획득한다.
- [0052] 그리고 렌즈리스 이미징 방식으로 이미지 센서(42)에서 획득된 로우 이미지(43)는 다시 점 확산함수(PSF)를 이용하여 역연산함으로써 렌즈 기반 이미징 방식과 동일한 형태의 이미지로 변환될 수 있다. 경우에 따라서는 최적화 기법을 적용하여 렌즈 기반 이미징 방식의 이미지로 변환될 수도 있으며, 공지된 기술이므로 여기서는 상세하게 설명하지 않는다.
- [0053] 이와 같이 위상 마스크(41)는 일면이 고유 패턴에 따라 위치별로 상이한 높이를 갖는 3차원 형상 구조로 형성된다. 그리고 3차원 형상 구조를 갖는 위상 마스크(410)의 위상 변환 패턴은 2차원 패턴을 갖는 점 확산함수(PSF)에 대응한다. 위상 마스크(410)의 3차원 위상 변환 패턴으로부터 2차원 패턴인 점 확산함수(PSF)는 용이하게 추정될 수 있다. 그에 반해 2차원 패턴을 갖는 점 확산함수(PSF)로부터 3차원 형상 구조를 갖는 위상 마스크(410)의 위상 변환 패턴을 결정하기는 용이하지 않다. 이는 2차원에서 3차원으로 차원 확장되는 경우, 점 확산함수(PSF)에 대응하는 위상 마스크(410)의 위상 변환 패턴이 무수히 많이 도출되어 하나의 패턴으로 특정될 수 없기 때문이다.
- [0054] 이에 이하에서는 점 확산함수(PSF)로부터 2차원맵(32) 2차원맵을 생성하는 2차원맵 생성기(22)를 상세하게 설명한다.
- [0055] 도 6은 도 2의 2차원맵 생성기를 수행되는 동작에 따라 구분한 구성의 일 예를 나타낸다.
- [0056] 도 6을 참조하면, 2차원맵 생성기(22)는 광 전파모델 변환기(61), 점 확산함수 비교기(62), 오차 역전파기(63), 높이맵 변환기(64) 및 2차원맵 변환기(65)를 포함할 수 있다.
- [0057] 도 6에서도 2차원맵 생성기(22)의 각 구성들은 이하에 기술된 것 이외에 상이한 기능 및 능력을 가질 수 있고, 이하에 기술되지 것 이외에도 추가적인 구성을 포함할 수 있다. 또한, 일 실시예에서, 각 구성은 물리적으로 구분된 하나 이상의 장치를 이용하여 구현되거나, 하나 이상의 프로세서 또는 하나 이상의 프로세서 및 소프트웨어의 결합에 의해 구현될 수 있으며, 도시된 예와 달리 구체적 동작에 있어 명확히 구분되지 않을 수 있다.
- [0058] 그리고 도 6에 도시된 2차원맵 생성기(22)는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합에 의해 로직회로 내에서 구현될 수 있고, 범용 또는 특정 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수도 있다. 장치는 고정배선형(Hardwired) 기기, 필드 프로그램 가능한 게이트 어레이(Field Programmable Gate Array, FPGA), 주문형 반도체(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 등을 이용하여 구현될 수 있다. 또한, 장치는 하나 이상의 프로세서 및 컨트롤러를 포함한 시스템온칩(System on Chip, SoC)으로 구현될 수 있다.
- [0059] 2차원맵 생성기(22)는 하드웨어적 요소가 마련된 컴퓨팅 장치 또는 서버에 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합하는 형태로 탑재될 수 있다. 컴퓨팅 장치 또는 서버는 각종 기기 또는 유무선 통신망과 통신을 수행하기 위한 통신 모듈 등의 통신장치, 프로그램을 실행하기 위한 데이터를 저장하는 메모리, 프로그램을 실행하여 연산 및 명령하기 위한 프로세서 등을 전부 또는 일부 포함한 다양한 장치를 의미할 수 있다.
- [0060] 광 전파 모델 변환기(61)는 초기 높이맵 또는 이전 획득된 높이맵을 인가받고, 광 전파 모델을 이용하여 가상 위상 마스크와 이미지 센서 사이의 초점 거리( $f$ )에 따른 가상 점 확산함수를 추정한다.
- [0061] 여기서 높이맵은 위상 마스크에 형성되는 고유 패턴의 위치별 높이를 나타내는 맵으로서, 일면에 위치별로 서로 다른 높이를 가지는 패턴이 형성된 가상 위상 마스크에서 각 위치에서의 패턴의 높이를 픽셀값으로 갖는 2차원 이미지 맵이다. 이때 초기 높이맵은 미리 지정된 값으로 설정되거나 랜덤하게 설정될 수 있다.
- [0062] 광 전파 모델 변환기(61)는 높이맵이 인가되면, 위상 마스크를 구현하는 소재에 따른 매질 특성과 위상 마스크와 이미지 센서 사이의 매질 특성을 고려하여 광 전파 모델로 해석함으로써, 광이 현재 높이맵에 기반하는 가상 위상 마스크를 투과하여 이미지 센서에 결상되는 가상 점 확산함수를 추정한다. 광 전파 모델은 주어진 환경에

서 광이 전파되는 형태를 분석하기 위해 고안되어 파동 광학에서 활용되는 알고리즘으로서, 일 예로 각 스펙트럼(Angular Spectrum) 모델이 이용될 수 있다.

- [0063] 다만 높이맵으로부터 곧바로 가상 점 확산함수를 추정하기 어려우며, 이에 광 전파 모델 변환기(61)는 물리적으로 위치별 높이를 나타내는 높이맵으로부터 입사되는 광의 위상 변화를 나타내는 위상맵을 우선 획득하고, 획득된 위상맵을 이용하여 가상 점 확산함수를 추정한다. 여기서 광 전파 모델 변환기(61)는 높이맵에 대해 푸리에 변환을 수행하여 푸리에 도메인 상의 위상맵을 획득할 수 있다. 그리고 가상 위상 마스크를 통과하는 광이 초점 거리(f)에 결상되는 경우에 푸리에 도메인 상의 변화를 나타내는 광 전달함수를 광 전파 모델을 이용하여 획득하며, 획득된 광 전달함수에 따라 초점 거리(f)에서의 광의 위상을 계산한다.
- [0064] 이때 광의 위상은 푸리에 도메인 상에서 획득된 결과이므로 광 전파 모델 변환기(61)는 초점 거리(f)에서의 위치별 광의 위상에 대해 다시 역푸리에 변환을 수행하여 가상 점 확산함수를 획득할 수 있다.
- [0065] 점 확산함수 비교기(62)는 광 전파 모델 변환기(61)에서 가상 점 확산함수가 획득되면, 획득된 가상 점 확산함수와 용도에 따라 미리 획득된 점 확산함수(PSF) 사이의 오차를 계산한다. 그리고 계산된 오차가 기지정된 기준 오차 이내이면, 현재 설정된 높이맵을 점 확산함수(PSF)에 대응하는 위상 마스크의 고유 패턴으로서 결정하고, 결정된 높이맵을 2차원맵 변환기(65)로 전달한다. 그러나 오차가 기준 오차를 초과하면, 오차 역전파기(63)로 가상 점 확산함수와 점 확산함수(PSF)를 전달한다.
- [0066] 오차 역전파기(63)는 가상 점 확산함수와 점 확산함수(PSF) 사이의 오차로부터 오차가 보상된 높이맵을 획득한다. 다만 광 전파 모델 변환기(61)에서와 마찬가지로 가상 점 확산함수와 점 확산함수(PSF) 사이의 오차로부터 곧바로 높이맵의 위치별 보상값을 획득하기는 어렵다. 이에 오차 역전파기(63)는 2차원 이미지인 가상 점 확산함수와 점 확산함수(PSF) 사이의 오차를 푸리에 도메인 상에서 이미지 센서로부터 가상 위상 마스크로 역전파되는 위상 오차로 계산한다. 그리고 계산된 위상 오차를 광 전파 모델 변환기(61)에서 획득된 위상맵에 반영하여 위상맵을 우선 업데이트한다. 즉 이미지 센서에 형성된 가상 점 확산함수와 점 확산함수(PSF) 사이의 오차가 가상 위상 마스크에서의 위상 오차로 표현되도록 역전파하여 업데이트된 위상맵을 획득한다. 이때 오차 역전파기(63)는 광 전파 모델로 지정된 광 전달 함수의 최대값을 고려하여 위상 오차가 지정된 비율 이내에서 반영되도록 위상 오차의 크기를 정규화하여 위상맵에 가산함으로써 위상맵을 업데이트 할 수도 있다.
- [0067] 높이맵 변환기(64)는 획득된 업데이트 위상맵으로부터 업데이트된 높이맵을 획득한다. 업데이트 위상맵은 상기한 바와 같이, 푸리에 도메인에서 오차가 보상된 위상값으므로, 이를 위상 마스크의 고유 패턴으로 반영하기 위해서는 업데이트 위상맵이 다시 높이맵으로 변환되어야 한다. 이에 높이맵 변환기(64)는 업데이트 위상맵을 역 푸리에 변환함으로써, 업데이트 높이맵을 획득할 수 있다. 다만 위상맵을 역 푸리에 변환하여 높이맵을 업데이트하는 경우, 업데이트된 높이맵에 따른 실제 위상 마스크를 제조할 수 없는 경우가 발생할 수 있다.
- [0068] 상기한 바와 같이, 2차원맵(32)을 이용하여 위상 마스크를 제조하는 경우, 위상 변환 패턴의 위치별 높이차가 크게 발생할 수 없다. 즉 도 3에 도시된 위상 마스크 제조 장치로 제조 가능한 높이맵의 최대 높이와 최소 높이 사이의 차이에는 제약이 있다. 또한 서로 인접한 위치에서는 높이 변화가 매끄럽게 이루어져야 한다. 따라서 단순히 업데이트 위상맵을 역 푸리에 변환하여 업데이트된 높이맵을 획득하는 것은, 실제 위상 마스크의 제조 공정을 고려하지 않고, 이론적으로 구현 가능한 위상 변환 패턴을 획득하는 결과를 초래하게 된다.
- [0069] 이에 높이맵 변환기(64)는 업데이트 위상맵에 대해 위상 마스크 제조 장치의 제약 조건에 따른 필터링 함수를 추가적으로 적용한 후, 역 푸리에 변환하여 높이맵을 획득할 수 있다. 여기서 필터링 함수는 위상 마스크 제조 기법에 따라 다양하게 설정될 수 있으며, 예로서 로우 패스 필터(low pass filter) 함수나 총 변이(Total Variation) 함수가 이용될 수 있다.
- [0070] 높이맵 변환기(64)가 위상 마스크 제조 장치로 제조 가능한 업데이트된 높이맵을 획득하면, 광 전파 모델 변환기(61)는 업데이트된 높이맵을 기반으로 다시 가상 점 확산함수를 획득하고, 점 확산함수 비교기(62)는 가상 점 확산함수와 점 확산함수(PSF) 사이의 오차를 계산한다.
- [0071] 2차원맵 변환기(65)는 점 확산함수 비교기(62)에서 가상 점 확산함수와 점 확산함수(PSF) 사이의 오차가 기준 오차 이하로 판별되어, 최종 업데이트된 높이맵이 위상 마스크의 고유 패턴으로서 인가되면, 인가된 높이맵의 위치 좌표에 따른 높이값, 즉 픽셀값을 지정된 비트수(예를 들면 8비트)로 양자화하여 2차원맵(32)을 획득한다. 2차원맵 변환기(65)는 일 예로 2차원맵의 각 픽셀의 픽셀값을 그레이스케일에서의 값으로 양자화하여 2차원맵(32)을 획득할 수 있다.
- [0072] 그리고 획득된 2차원맵(32)은 도 3에 도시된 바와 같이, 디지털 이미지 미러(24)에 입력되어, 반사광의 위치별

광 세기를 조절함으로써 위상 마스크의 고유 패턴이 형성되도록 한다.

[0073] 즉 2차원맵 생성기(22)는 가상 위상 마스크의 높이맵을 기반으로 가상 위상 마스크를 투과하는 광의 위상 변화를 고려하여 가상 점 확산함수를 추정하고, 추정된 가상 점 확산함수와 요구되는 점 확산함수(PSF) 사이의 오차를 다시 역방향으로 광의 위상 변화로 반영하여 가상 위상 마스크의 높이맵을 업데이트하는 과정을 반복하여 수행하고, 가상 점 확산함수와 요구되는 점 확산함수(PSF) 사이의 오차가 기준 오차 이내이면, 가상 위상 마스크의 높이맵을 점 확산함수(PSF)에 따른 위상 마스크의 고유 패턴으로 지정한다. 그리고 광 경화막(37)에 지정된 위상 마스크의 고유 패턴을 형성하기 위해 위치별로 입사되어야 하는 광 세기를 나타내는 2차원맵(32)을 생성한다.

[0074] 도 7은 위상 마스크 설계 장치의 다른 구현 예를 나타낸다.

[0075] 도 3에 도시된 위상 마스크 설계 장치에서는 위상 마스크(39)가 투명판(36) 상에 형성되어 제조된다. 따라서 제조된 위상 마스크(39)를 실제로 이용하는 경우, 도 4 및 도 5에 도시된 바와 같이, 위상 마스크(41)는 이미지 센서(42)로부터 초점 거리( $f$ ) 만큼 이격되어 배치되어야 한다. 이와 같이 이미지 센서(42)와 위상 마스크(41)가 이격되어 배치되어야 하는 경우, 위상 마스크 기반 렌즈리스 카메라에는 이미지 센서(42)와 위상 마스크(41) 사이의 간격을 유지하기 위한 스페이서(spacer)등과 같은 별도의 위상 마스크 지지대가 구비되어야 한다. 일반적인 렌즈 기반 카메라의 경우, 촬영 대상이 되는 장면과의 거리에 따라 초점 거리( $f$ ) 또한 조절되어야 한다. 즉 이미지 센서와 렌즈 사이의 간격이 수시로 변화할 수 있어야 한다. 따라서 렌즈의 위치를 조절하는 지지대의 구성이 필수적이다.

[0076] 그에 반해 위상 마스크 기반 렌즈리스 카메라에서는 위상 마스크(41)의 제조 시에 이미 초점 거리( $f$ )가 결정되어 지정된다. 비록 위상 마스크(41)의 두께 및 재질과 위상 마스크(41)와 이미지 센서(42) 사이에 존재하는 매질(예를 들면 공기)에 의해 초점 거리( $f$ )는 다르게 설정될 수 있으나, 위상 마스크(41)의 두께 및 재질과 매질이 결정되면, 초점 거리( $f$ )는 변화하지 않는다. 따라서 위상 마스크 기반 렌즈리스 카메라에서 위상 마스크 지지대는 단지 이미지 센서(42)와 위상 마스크(41) 사이의 간격을 유지하기 위해서만 이용된다.

[0077] 그리고 위상 마스크 지지대를 이용할지라도 위상 마스크(41)를 이미지 센서(42)로부터 지정된 거리만큼 이격시켜 고정하는 것은 많은 공정이 필요로 한다.

[0078] 이에 도 7에서는 위상 마스크(41)가 이미지 센서(42) 상에 일체형으로 직접 형성되도록 함으로써, 렌즈리스 카메라에서 위상 마스크(41)를 배치하기 위한 별도의 공정을 제거할 수 있도록 한다.

[0079] 도 7에서도 위상 마스크 제조 장치는 광원(23), 디지털 이미지 미러(24), 광경로 변환기(25), 대물 렌즈(26) 및 소재 거치대(27)를 포함한다. 도 3에서와 마찬가지로, 광원(23)은 디지털 이미지 미러(24)로 광을 조사하고, 디지털 이미지 미러(24)는 2차원맵 생성기(22)에서 생성된 2차원맵(32)을 인가받아, 광원(23)에서 인가된 광의 위치별 세기가 상이해지도록 반사한다. 광경로 변환기(25)는 디지털 이미지 미러(24)에서 입사된 반사광(33)이 대물 렌즈(26)로 입사되도록 각도를 조절하여 재반사하고, 대물 렌즈(26)는 반사광(73)을 소재 거치대(27)에 배치된 광 경화막(77)의 지정된 영역에 집중시킨다. 다만 도 3에서와 달리 도 7에서 소재 거치대(27)는 PDMS(78)와 함께 투명판(36)을 대체한 이미지 센서(76)가 구비되고, PDMS(78)과 이미지 센서(76) 사이에 광 경화막(77)이 배치된다.

[0080] 그리고 도 3에서는 투명판(36)이 대물 렌즈(26) 방향에 위치하였으나, 투명판(36)을 대체하여 구비된 이미지 센서(76)로는 반사광(73)이 투과하지 못하므로, PDMS(78)이 대물 렌즈(26) 방향에 배치되고 이미지 센서(76)는 광 경화막(77)을 사이에 두고 PDMS(78)와 이격되어 배치된다. PDMS(78) 또한 투명 소재로서 투명판(36)과 마찬가지로 대물 렌즈(26)를 통해 입사되는 반사광(73)이 투과될 수 있다.

[0081] 한편, 대물 렌즈(26)는 투명판(36) 주위의 광 경화막(37)에 입사된 광의 에너지가 집중되도록 초점 위치를 조절하는 도 3에서와 달리 도 7에서는 이미지 센서(76) 주위의 광 경화막(37)에 반사광(73)의 에너지가 집중되도록 초점 위치를 조절한다. 즉 반사광(73)의 에너지가 이미지 센서에 인접하여 집중되도록 한다. 이로 인해, 대물 렌즈(26)에서 소재 거치대(27)로 입사된 반사광(73)은 PDMS(78)이 아닌 이미지 센서(76) 상에서 광 경화막(77)을 경화시킨다. 따라서 위상 마스크(79)가 이미지 센서(76) 상에 직접 형성되도록 한다. 비록 이미지 센서(76) 방향에 반사광(73)의 에너지가 집중되지만, 반사광(73)은 여전히 2차원맵(32)에 따라 위치별 세기가 상이하므로, 위상 마스크(79)는 점 확산함수(PSF)에 대응하는 위치별 높이를 갖도록 형성된다.

[0082] 도 7과 같이 위상 마스크(79)가 이미지 센서(76) 상에서 곧바로 제조되는 경우, 위상 마스크(79)와 이미지 센서(76) 사이에는 다른 매질이 존재하지 않는다. 따라서 위상 마스크(79)의 재질만을 고려하여 초점 거리( $f$ )를 계

산하고, 계산된 초점 거리(f)에 따라 위상 마스크(79)의 두께가 결정되어 형성될 수 있다.

- [0083] 도 7에 도시된 바와 같이, 위상 마스크(79)가 이미지 센서(76) 상에 초점 거리(f)에 따른 두께를 갖고 직접 형성되면, 렌즈리스 카메라의 제조 공정을 대폭 감소시킬 수 있어, 저비용으로 렌즈리스 카메라를 제조할 수 있도록 할 뿐만 아니라, 위상 마스크(79)와 이미지 센서(76) 사이의 간격 조절 오차 등을 최대한 배제하여 선명한 로우 이미지(43)를 획득할 수 있다.
- [0084] 도 8은 일 실시예에 따른 위상 마스크 제조 방법을 나타낸다.
- [0085] 도 1 내지 도 7을 참조하면, 실시예에 따른 위상 마스크 제조 방법은 우선 용도에 따른 점 확산함수(PSF)를 획득한다(81). 점 확산함수(PSF)는 위상 마스크의 활용 용도에 따라 다양한 패턴으로 형성될 수 있으므로, 위상 마스크를 제조하기 위해서는 먼저 활용 용도를 고려하여 적합한 패턴을 갖는 점 확산함수(PSF)를 획득한다.
- [0086] 그리고 광을 이용하여 점 확산함수(PSF)에 따라 위상 마스크의 고유 패턴을 형성하기 위한 2차원맵을 생성한다(82). 여기서 2차원맵은 광 경화성 소재에 광을 조사하여 점 확산함수(PSF)에 대응하는 위상 마스크의 고유 패턴을 형성하기 위한 2차원 이미지 데이터로서 소재 거치대(27)에 배치된 광 경화막(37)에 투영되는 광의 위치별 세기를 조절하기 위한 데이터이다.
- [0087] 점 확산함수(PSF)로부터 2차원맵을 생성하기 위해서는 위상 마스크의 위치별 높이를 임의로 설정한 초기 높이맵을 생성하고, 광 전파모델을 이용하여 초기 높이맵에 따른 3차원 패턴을 갖는 위상 마스크에 광이 조사되는 경우에 광의 위상 변화를 나타내는 위상맵을 획득한다. 그리고 획득된 위상맵에 따라 위상 마스크에 조사된 광에 의해 초점 거리(f)에 형성되는 가상 점 확산함수를 획득하고, 획득된 가상 점 확산함수와 점 확산함수(PSF) 사이의 오차에 따라 위상맵을 업데이트하며, 업데이트된 위상맵을 기반으로 높이맵을 업데이트한다. 이후 업데이트된 높이맵으로부터 광 경화막(37)에 투영되는 광의 위치별 세기를 조절하기 위한 2차원맵을 획득할 수 있다.
- [0088] 2차원맵이 획득되면, 획득된 2차원맵(32)을 디지털 이미지 미러(24)에 인가한다(83). 그리고 광원(23)은 디지털 이미지 미러(24)를 향해 광을 조사한다(84).
- [0089] 디지털 이미지 미러(24)는 인가된 2차원맵(32)에 따라 광원(23)에서 조사된 광을 위치별로 상이한 세기로 반사한다(85). 디지털 이미지 미러(24)에서 반사된 반사광은 대물 렌즈(26)에 의해 집속되어 소재 거치대(27)에 배치된 광 경화막(37)으로 입사된다(86). 광 경화막(37)은 위치별로 상이한 세기를 갖고 입사된 반사광에 의해서 다른 높이를 갖고 경화된다(87). 즉 점 확산함수(PSF)에 대응하는 고유 패턴을 갖고 경화된다. 이에 소재 거치대(27)에서 고유 패턴을 갖고 경화된 광 경화막(37)을 추출함으로써 위상 마스크를 획득한다(88). 이때 고유 패턴의 주위에도 함께 반사광(33)이 입사되어 경화될 수 있으며, 이는 마진 영역으로서 별도의 공정을 통해 제거될 수 있다.
- [0090] 도 8에 도시된 위상 마스크 제조 방법은 도 2의 위상 마스크 제조 장치에 의해 수행될 수 있으며, 도 8에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나 이는 예시적으로 설명한 것에 불과하고, 이 분야의 기술자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 도 8에 기재된 순서를 변경하여 실행하거나 또는 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하거나 다른 과정을 추가하는 것으로 다양하게 수정 및 변형하여 적용 가능하다.
- [0091] 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명하였으나, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

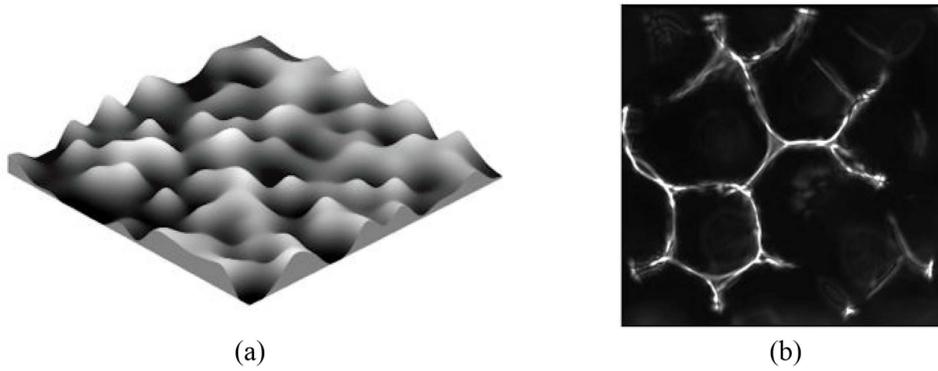
**부호의 설명**

- [0092] 21: 점 확산함수 획득기    22: 2차원맵 생성기
- 23: 광원            24: 디지털 이미지 미러
- 25: 광경로 변환기    26: 대물 렌즈
- 27: 소재 거치대    32, 72: 2차원맵
- 33, 73: 반사광    34, 74: 투영 이미지
- 36: 투명판        37, 77: 광 경화막

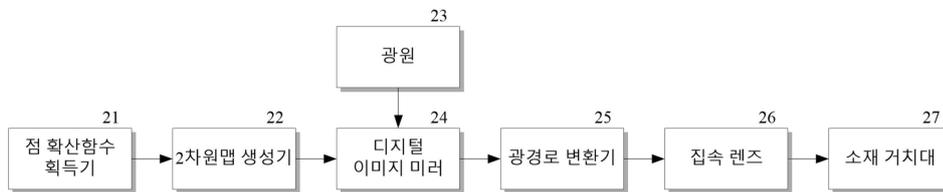
- 38, 78: PDMS    41: 위상 마스크
- 42, 76: 이미지 센서    43: 로우 이미지
- 61: 광 전파모델 변환기    62: 점 확산함수 비교기
- 63: 오차 역전파기    64: 높이맵 변환기
- 65: 2차원맵 변환기

**도면**

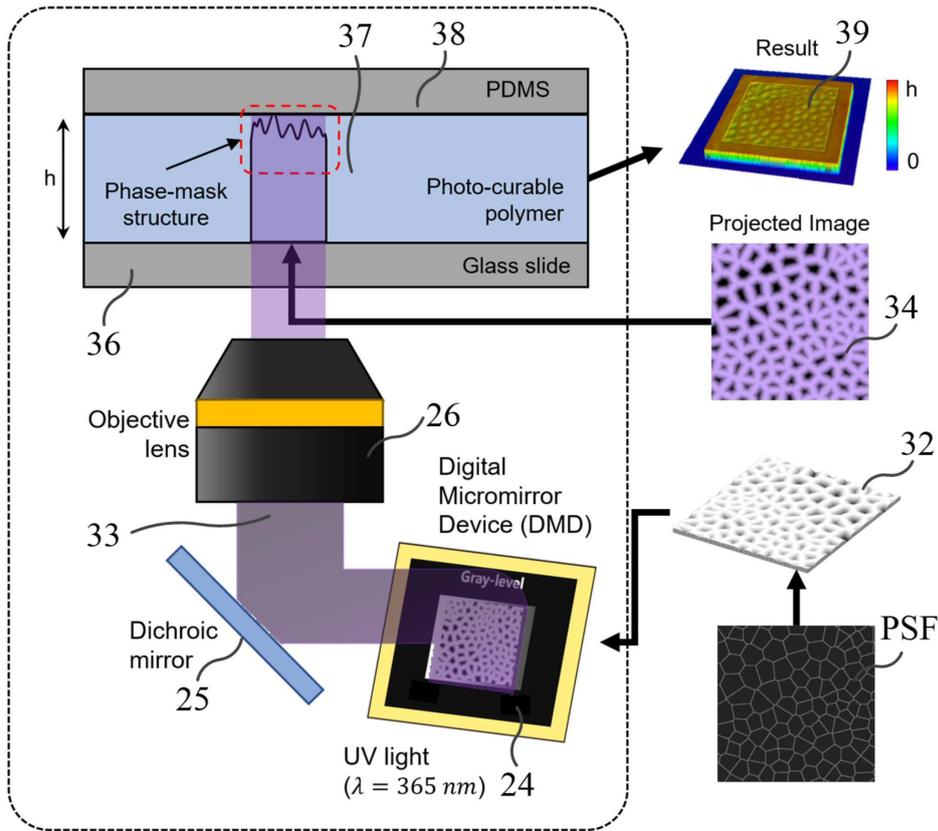
**도면1**



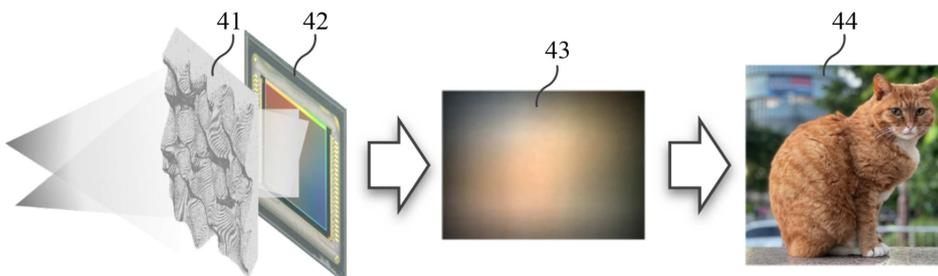
**도면2**



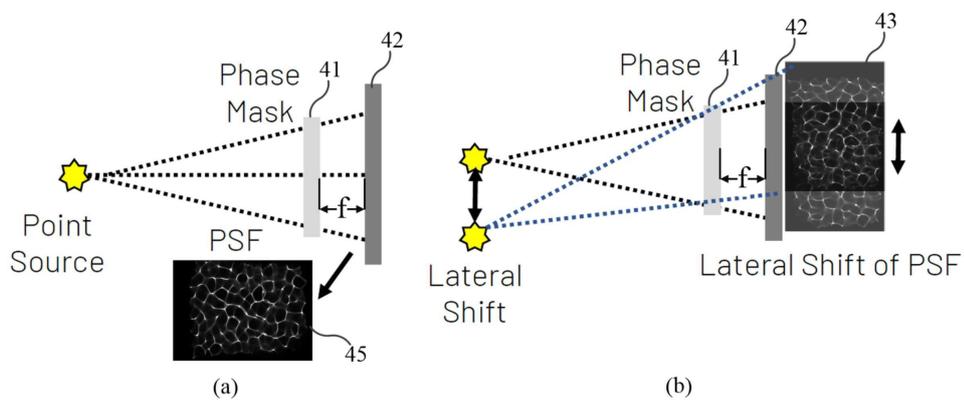
도면3



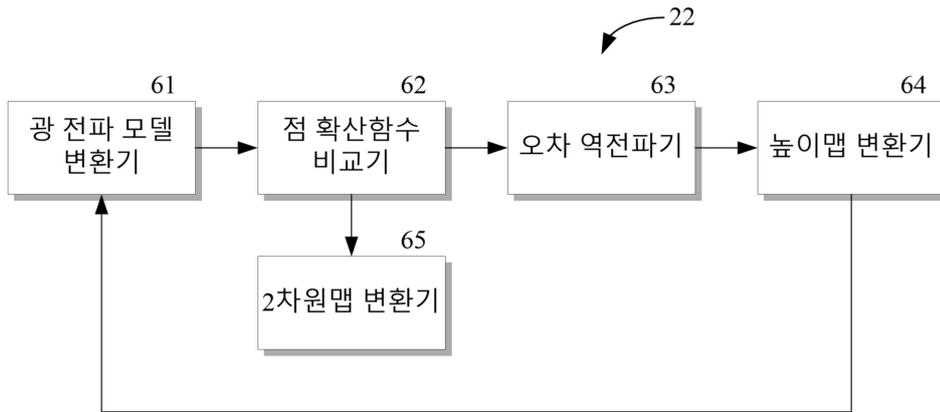
도면4



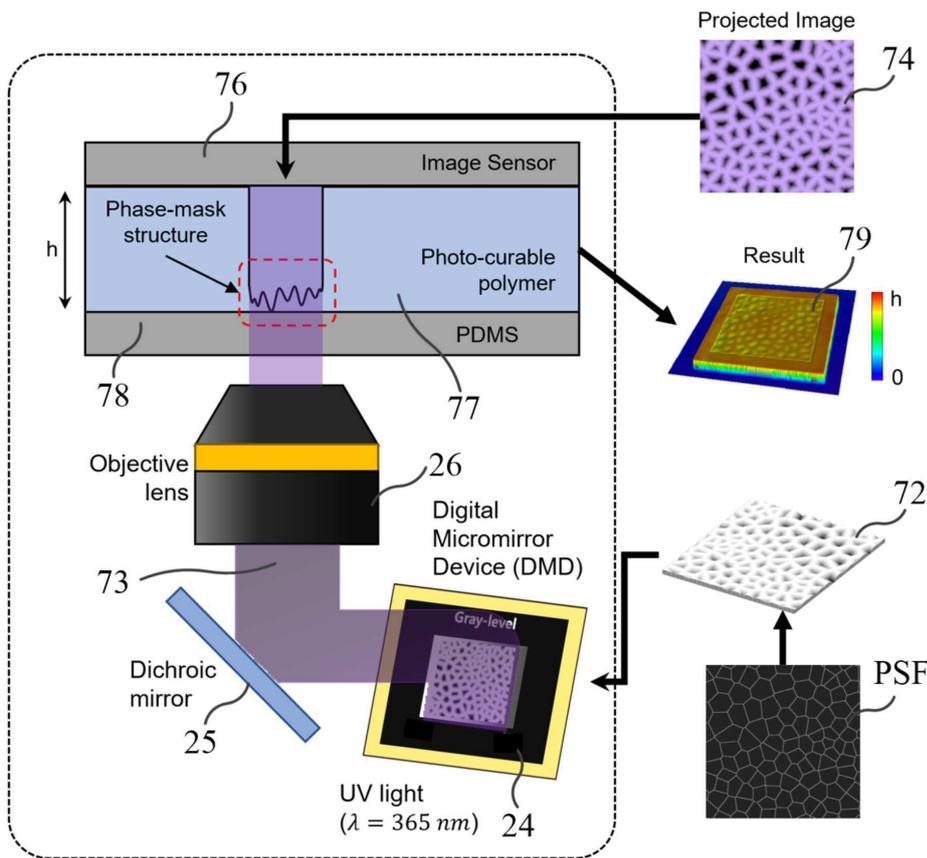
도면5



도면6



도면7



도면8

