



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년11월28일
(11) 등록번호 10-1087930
(24) 등록일자 2011년11월22일

(51) Int. Cl.
G03F 7/20 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-7001499(분할)
(22) 출원일자(국제출원일자) 2003년08월20일
심사청구일자 2011년01월20일
(85) 번역문제출일자 2011년01월20일
(65) 공개번호 10-2011-0013576
(43) 공개일자 2011년02월09일
(62) 원출원 특허 10-2005-7003178
원출원일자(국제출원일자) 2003년08월20일
심사청구일자 2008년08월18일
(86) 국제출원번호 PCT/US2003/026416
(87) 국제공개번호 WO 2004/019079
국제공개일자 2004년03월04일
(30) 우선권주장
60/406,030 2002년08월24일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2001135562 A
US6425669 B1

(73) 특허권자
매스크리스 리소그래피 인코퍼레이티드
미국 캘리포니아주 새너제이 켄커 로드 2550
(72) 발명자
메이스버거 윌리엄 대니얼
미국 캘리포니아주 새너제이 몬텔벤 드라이브
1507
(74) 대리인
김명신, 박장규

전체 청구항 수 : 총 25 항

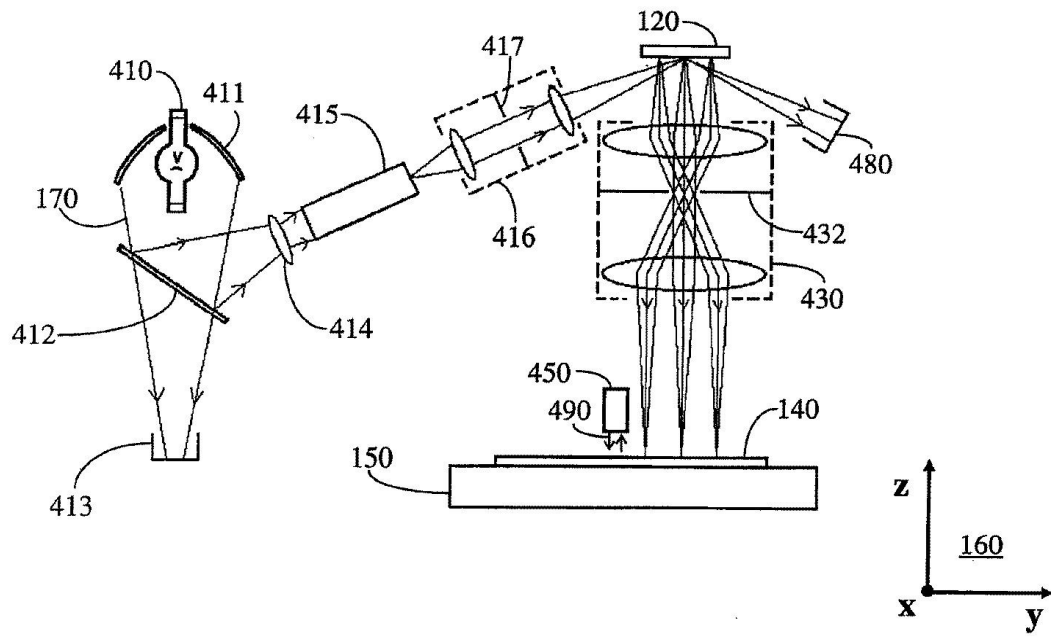
심사관 : 이병진

(54) 연속적인 직접-기록 광 리소그래피 장치 및 방법

(57) 요약

광 리소그래피 시스템은 광원, 공간 광변조기, 이미징 광학기기 및 공간 광변조기에 상대적으로 감광성 기판을 연속적으로 이동시키기 위한 수단을 포함한다. 공간 광변조기는 개별적으로 스위칭가능한 요소의 적어도 하나의 어레이를 포함한다. 공간 광변조기는 연속적으로 조명되며 공간 광변조기의 이미지는 기판에 연속적으로 투사된다; 그 결과, 이미지는 기판의 표면을 가로질러 일정하게 이동한다. 이미지가 표면을 가로질러 이동하는 동안에, 공간 광변조기의 요소는 기판의 표면에 있는 픽셀이 공간 광변조기의 다수 요소로부터 에너지의 선량선량으로 받도록 스위칭되고, 그리하여 기판 표면에 잠상을 형성한다. 이미징 광학기기는 기판에 공간 광변조기의 블러링된 이미지를 투사하도록 구성되며, 그리하여 서브-픽셀 해상도 피쳐 에지 배치를 가능하게 한다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

기판을 패터닝하는 광학 리소그래피 도구에 기초하여 공간 광변조기를 작동하는 방법에 있어서,

크기와 구성이 상기 공간 광변조기의 개별적으로 스위칭가능한 요소들의 투사된 간격과 구성에 대응하는 픽셀들의 영역 어레이(area array)를 상기 기판 표면에 한정하는 단계;

설계 데이터 파일의 피쳐 패턴으로부터 계산된 선량의 값을 상기 기판의 각 픽셀에 할당하는 단계;

광이 상기 기판에 도달하도록 허용하는 제 1 상태와 광이 상기 기판에 도달하는 것을 차단하는 제 2 상태를 포함하는 적어도 두 개의 상태를 갖는 상기 공간 광변조기의 각 요소에 대한 각 클럭 사이클 동안의 상태를 표시하는 일련의 값으로 상기 기판의 각 픽셀에 대한 상기 선량의 값을 디컴프레션하는 단계;

상기 요소 상태 값을 공간 광변조기 메모리에 로딩하는 단계;

상기 공간 광변조기를 조명하는 단계;

상기 공간 광변조기와 상기 기판 사이에 위치한 투사 광학기기에 의해 상기 공간 광변조기의 이미지를 상기 기판에 투사하는 단계;

상기 공간 광변조기 메모리 내의 상기 값에 따라 상기 공간 광변조기의 상기 요소들을 클럭 사이클마다 한 번씩 스위칭하는 단계;

각 클럭 사이클 동안 상기 픽셀들 사이의 상기 간격과 동일한 거리로 상기 기판과 상기 투사된 이미지를 서로에 대해서 이동시키는 단계를 포함하고,

상기 기판상의 픽셀은 상기 공간 광변조기의 다수 요소로부터 에너지의 선량을 연속적으로 받는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 공간 광변조기의 개별적으로 스위칭가능한 요소와 상기 기판상의 픽셀은 1:1로 대응하는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 할당 단계는 상기 계산된 선량의 값을 조정함으로써 상기 투사 광학기기에서의 왜곡(distortions)과 수차(aberrations)를 보상하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 할당 단계는 상기 계산된 선량의 값을 조정함으로써 상기 공간 광변조기의 조명의 불균일성을 보상하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 디컴프레션 단계(decomprssing step)는 상기 기판에 대한 상기 공간 광변조기의 위치에 대응하는 한 프레임의 선량의 데이터에 대해 클럭 사이클마다 한 번씩 실행되고,

상기 한 프레임의 선량의 데이터는 한 클럭 사이클 동안 상기 공간 광변조기의 모든 요소에 대한 상기 요소 상태 값들을 한정하는데 필요한 선량의 데이터인 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 로딩 단계는 클럭 사이클마다 한 번씩 실행되는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 기관의 노광 동안 상기 공간 광변조기는 연속적으로 조명되는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 기관의 노광 동안에, 상기 공간 광변조기의 상기 이미지는 상기 기관에 연속해서 투사되는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 기관 표면에 투사된 상기 이미지는 블러링되는(blurred) 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 블러링 단계는 상기 공간 광변조기와 감광성 코팅 사이에 위치한 산광기(diffuser)에 의해 실시되는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 공간 광변조기는 디지털 마이크로-미러(micro-mirror) 장치이고 상기 요소들은 개별적으로 스위칭 가능한 미러인 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 기관의 왜곡을 측정하는 단계; 및

상기 기관의 왜곡을 설명하는 상기 설계 데이터 파일을 변경하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 공간 광변조기의 상기 요소들의 스위칭은 상기 기관상의 임의의 픽셀에 의해 얻어진 에너지의 전체 선량에 연속적으로 기여하는 상기 공간 광변조기의 요소들의 수를 변경하기 위해 제어되고, 이에 의해 상기 기관상의 일부 픽셀은 0이 아닌 상이한 에너지의 전체 선량을 받는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 측정 단계는 기관 정렬시스템에 의해 실시되는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 기관 정렬시스템은 머신 비전시스템(machine vision system)을 포함하는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 공간 광변조기의 요소들의 스위칭은 상기 기관상의 임의의 픽셀에 의해 얻어진 에너지의 전체 선량에 연속적으로 기여하는 상기 공간 광변조기의 요소들의 수를 변경하기 위해 제어되고, 이에 의해 상기 기관상의 일부 픽셀은 0이 아닌 상이한 에너지의 전체 선량을 받는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 기관의 표면에 투사된 상기 이미지는 블러링되는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 스위칭은 상기 기관 표면에 감광성 코팅의 피쳐(features)를 한정하도록 제어되고,

상기 감광성 코팅의 피쳐 에지(feature edges)는 상기 기관상의 상기 영역 어레이에 의해 한정된 픽셀 에지로부터 하나의 서브픽셀(sub-pixel) 거리만큼 시프트되는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 19

제 16 항에 있어서,

상기 공간 광변조기의 상기 요소들은 직사각형 그리드상에 행과 열로 배열되고,

상기 기관의 이동 방향은 상기 공간 광변조기의 상기 요소들의 열에 평행한 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 20

제 16 항에 있어서,

상기 공간 광변조기의 상기 요소들은 직사각형 그리드상에 행과 열로 배열되고,

상기 기관의 이동 방향은 상기 공간 광변조기의 상기 요소들의 열에 평행하지도 않고 직교하지도 않는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 스위칭은 상기 기관의 표면상의 감광성 코팅의 피쳐를 한정하도록 제어되고,

상기 감광성 코팅의 피쳐 에지는 상기 기관상의 상기 영역 어레이에 의해 한정된 픽셀 에지로부터 하나의 서브픽셀 거리만큼 시프트되는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 22

제 1 항에 있어서,

상기 투사 단계 이전에, 상기 기관을 상기 투사 광학기기에 정렬시키는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 정렬 단계는 상기 기관상의 임의의 피처를 메모리 장치에 미리 저장된 이미지와 비교하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 24

제 22 항에 있어서,

상기 정렬 단계는 상기 기관상의 임의의 피처를 메모리 장치에 미리 저장된 이상적인 이미지와 비교하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

청구항 25

제 24 항에 있어서,

상기 이상적인 이미지는 십자형과 원형으로 구성된 그룹으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 공간 광변조기 작동 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 광 리소그래피 분야에 관한 것이며, 특히 다음과 같은 기관: 웨이퍼; 인쇄회로기판(PCB: Printed Circuit Board); 평판 디스플레이; 마스크; 레티클(reticle); 그리고 잡지, 신문 및 책의 재생산을 위해 사용되는 판(plate) 상에 패턴을 인쇄하는 것에 관한 것이다.

[0002] 관련 출원의 상호참조

[0003] 본 출원은 2002년 8월 미국 가출원 제60/406,030호를 기초출원으로 그 이익을 주장하며, 거기에 포함된 모든 내용은 참조를 위해 본 명세서에 포함되는 것으로 한다.

배경기술

[0004] 반도체 산업은 리소그래피 공정(lithography process)을 위해 아주 고가의 스테퍼 장치(stepper tool)를 사용한다. 또한, 아주 고가의 레티클이 이 처리에서 사용되며 - 상기 레티클의 비용은 칩(예컨대, 주문형 ASIC)의 소량 생산을 엄청나게 비싸게 만들기에 충분하다. 반도체 산업은 더 낮은 비용의 리소그래피 공정을 필요로 한다. 또한, 리소그래피 패턴이 변경될 때마다, 몇일 또는 그 이상이 새로운 레티클을 생산하는데 필요하다. 반도체 산업은 패턴 변경을 신속히 수용할 수 있는 리소그래피 공정이 필요하다.

[0005] 인쇄회로기판(PCB) 산업은 그 리소그래피 공정에서 유사한 문제를 갖고 있다. 또한, PCB 산업에서 사용되는 기관은 제조시 왜곡을 겪고 있으며, 이는 고 분해능 리소그래피 공정의 사용을 작은 영역의 기관으로 제한하고 스테퍼(stepper)의 사용을 제한한다. 고 분해능 리소그래피 공정은 기관에 따라 변하는 왜곡을 수용하기 위해 패턴이 신속하고 경제적으로 조정될 수 있는 대형 PCB 기관을 위해 필요하다.

[0006] 넬슨의 미국 특허 제5,330,878호, 제5,523,193호, 제5,482,818호, 및 제5,672,464호는 기관을 패턴닝하는 방법 및 장치를 기술하고 있다. 상기 장치는 레티클 대신에 공간 광변조기(SLM: Spatial Light Modulator), 특히 텍사스 인스트루먼트사의 가변 미러 장치(DMD: Deformable Mirror Device)를 사용한다. 상기 DMD는 개별적으로 제어 가능한 반사 요소들의 어레이이다. 상기 DMD의 이미지는 이미징 렌즈에 의해 기관상에 투사된다. 상기 기관에 투사되도록, 상기 DMD의 개별 소자가 상기 이미지 렌즈 속으로 빛을 반사하는지는 컴퓨터에 의해서 결정된다: 이와 같이 기관에 투사된 패턴은 컴퓨터에 의해 제어되고 용이하게 변경된다. 반도체와 PCB 산업 모두의 고 분해능 및 처리능력 요구를 충족시키기 위해서는 이러한 접근에 개선이 요구된다. 또한, 처리량을 향상시키고 고 분해능 요구를 만족시키면서 상기 장치의 비용을 저감시키기 위해 개선이 이루어질 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 고분해능 및 높은 처리능력을 갖는 리소그래피 방법 및 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은 감광성 기판을 패터닝하는 장치와 방법을 제공한다. 상기 장치는 SLM과, 상기 SLM을 조명(illumination)하는 광원과, 상기 SLM의 이미지를 기판 상에 투사하는 이미징 광학기기(와, 그리고 상기 이미지를 기판의 표면을 가로질러 이동하는 수단을 포함한다. 상기 SLM은 상기 기판에 도달하는 광의 패턴을 제어한다. 상기 SLM은 개별적으로 스위칭 가능한 - 2개 이상의 상태 사이를 - 요소들의 어레이를 적어도 하나 포함한다. 상기 SLM은 회절성 또는 투과성 디바이스 중 어느 하나일 수 있다. 상기 광원은 아크 램프나, LED나, 또는 연속 레이저와 같은 연속 광원일 수 있다. 다만, 레이저 펄스의 주파수가 상기 SLM 소자의 스위칭 주파수보다 훨씬 높을 때는 유사-연속 레이저도 사용될 수 있다. 상기 이미지를 이동하는 수단은 SLM이나 기판이 장착되는 스테이지가 될 수 있다. 기판이 가요성 필름이나 유사한 형태인 경우, 릴 대 기구(reel to reel mechanism)를 사용하여 이동될 수 있다. 상기 이미지가 기판의 표면을 가로질러 이동하는 동안, SLM의 소자들은 기판 표면상의 픽셀이 상기 SLM의 다수의 소자로부터 에너지를 연속으로 받도록 스위칭되며, 그리하여 기판 상에 잠상(latent image)을 형성한다. 상기 이미징 광학기기는 텔레센트릭(telecentric)일 수 있다.

[0009] 바람직한 실시예에서, 상기 이미징 광학기기는 기판상에 상기 SLM의 블러링 이미지를 투사하도록 구성되어, 서브픽셀 해상도 피쳐 에지(feature edge)의 배치를 가능하게 한다. 상기 흐릿함(blurring)은: 상기 이미징 광학기기의 초점을 조정하거나; 상기 이미징 광학기기의 개구수(Numerical Aperture)를 조정하거나; 상기 SLM과 기판 사이에 산광기(diffuser)를 부가하거나; SLM과 기판 사이에 마이크로 렌즈를 부가하거나; 또는 상기한 것들을 조합하여 구현될 수 있다.

[0010] 바람직한 실시예에서, SLM은 연속으로 조명되고, SLM의 이미지는 연속으로 기판 상에 투사되며, 상기 이미지는 연속으로 기판의 표면을 가로질러 이동된다.

[0011] 일부 실시예에서 상기 SLM은 다수의 영역 어레이를 포함한다. 상기 대응하는 이미징 광학기기는 싱글 투사 렌즈 시스템이거나 다수의 투사 렌즈 시스템일 수 있다. 후자의 경우에, 상기 영역 어레이의 갯수는 상기 투사 렌즈 시스템의 갯수보다 더 크며, 상기 투사 렌즈 시스템의 갯수는 상기 영역 어레이 갯수의 약수인 것이 바람직하다. 또한, 상기 다수의 영역 어레이는 한 줄로 배열되거나, 또는 복수의 줄로 배열될 수 있으며, 상기 어레이의 배치는 줄과 줄 사이에 엇갈린다. 후자는 상기 투사 광학기의 더 많은 이미징 필드를 이용하며, 그 결과 더욱 효율적인 기판의 노광이 가능하며, 노광 동안에 기판을 가로질러 SLM의 투사 이미지의 꾸불꾸불한 움직임에 대한 필요를 감소시킨다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명에 따른 이동 가능한 기판을 갖는 광 리소그래피 도구의 개략도,
 도 2는 본 발명에 따른 이동 가능한 SLM을 갖는 광 리소그래피 도구의 개략도,
 도 3은 본 발명에 따른 가요성 필름 기판(flexible film substrate)을 갖는 광 리소그래피 도구의 개략도,
 도 4는 텔레센트릭 투사 광학장치를 보여주는, 도 1의 광 리소그래피 도구의 제 1 실시예의 개략도,
 도 5는 다수의 영역 어레이 및 그에 대응하는 다수 세트의 투사 광학장치를 갖는 SLM을 보여주는, 도 1의 광 리소그래피 도구의 제 2 실시예의 상세도,
 도 6은 다수의 영역 어레이와 단일 세트의 텔레센트릭 투사 광학장치를 갖는 SLM을 보여주는, 도 1의 광 리소그래피 도구의 제 3 실시예의 상세도,
 도 7은 '온'과 '오프' 위치의 어레이 소자를 보여주는, 본 발명에 의한 마이크로-미러 어레이의 일부를 통과하는 도식적인 단면도,
 도 8은 본 발명에 따른, 상기 기판 표면 전체를 노광하기 위해 SLM의 투사된 이미지가 따라갈 수 있는 꾸불꾸불한 모양의 경로를 보여주는 기판의 평면도,
 도 9는 본 발명에 따른, 상기 전체 기판 표면을 노광시키는데 함께 사용되는 다수의 영역 어레이의 각각으로부터 투사된 이미지가 따라갈 수 있는 꾸불꾸불한 모양의 경로를 보여주는 기판의 평면도,
 도 10은 본 발명에 따른, 잠상을 형성하는 공정을 도시하는 도면,

도 11은 도 10의 기관 어레이를 도시하는 도면,

도 12는 T3에서 시작하고 동일한 시간 간격(time interval) T/10로, 도 10의 기관상의 라인 세그먼트(AB)에 따른 순간 광 세기 분포를 도시하는 그래프,

도 13은 T4에서 끝나고 동일한 시간 간격 T/10로, 도 10의 기관상의 라인 세그먼트(AB)에 따른 순간 광 세기 분포를 도시하는 그래프,

도 14는 시간 T3와 T4 사이의 노광 때문에, 도 10의 기관 상의 라인 세그먼트(AB)에 따른 통합된 선량(dose) 분포를 도시하는 그래프,

도 15는 시간 T1과 T7 사이의 노광 때문에, 도 10의 기관 상의 라인 세그먼트(AB)에 따른 총 선량 분포를 도시하는 그래프,

도 16은 본 발명에 따른, 미러의 투사된 너비의 절반만큼 에지 시프트한 제 1 예를 포함하는 잠상을 형성하는 공정의 도식도,

도 17은 본 발명에 따른, 미러의 투사된 너비의 절반만큼 에지 시프트한 제 2 예를 포함하는 잠상을 형성하는 공정의 도식도,

도 18은 본 발명에 따른, 미러의 투사된 너비의 1/4만큼 에지 시프트한 예를 포함하는 잠상을 형성하는 공정의 도식도,

도 19는 본 발명에 따른, 미러의 투사된 너비의 3/4만큼 에지 시프트한 예를 포함하는 잠상을 형성하는 공정의 도식도,

도 20은 본 발명에 따른, 미러의 투사된 너비의 1/4만큼의 다른 방향으로 에지 시프트한 예를 포함하는 잠상을 형성하는 공정의 도식도,

도 21은 도 10, 16 내지 19의 기관 상에서 라인 세그먼트(AB)를 따라 통합된 선량(dose) 분포를 도시하는 그래프,

도 22는 본 발명에 따른, 잠상을 형성하는 공정을 추가적으로 도시하는 도면,

도 23은 도 22의 기관 어레이를 도시하는 도면,

도 24는 도 22의 기관 상에서 라인 세그먼트(CD, EF, GH, IJ)를 따라 통합된 선량(dose)를 도시하는 그래프,

도 25는 본 발명에 따른, 에지 시프팅(edge shifting)의 추가적인 예를 포함하는 잠상을 형성하는 공정을 도시하는 도면,

도 26은 도 25의 기관 어레이를 도시하는 도면,

도 27은 도 25의 기관 상에서 라인 세그먼트(KL, MN, OP, QR, ST)를 따라 통합된 선량 분포를 도시하는 그래프,

도 28은 본 발명에 따른 광 리소그래피 시스템의 블록도,

도 29는 본 발명의 실시예에 따른 다수의 영역 어레이 정렬의 평면도,

도 30은 광원과 기관 사이의 광로 상에서 광스위칭 기구(121)를 보여주는, 도 4의 광 리소그래피 도구의 다른 실시예의 도식도,

도 31는 본 발명에 따른, 상기 광로상에 연속하게 구성된 2개의 SLM을 갖는 광 리소그래피 시스템의 타이밍도,

도 32는 본 발명에 따른, 상기 광로에 연속하게 구성된 2개의 SLM을 갖는 광 리소그래피 시스템을 사용하여 잠상을 형성하는 공정을 도시하는 도면,

도 33은 본 발명에 따른, 상기 광로상에 연속하게 구성된 SLM과 광스위칭 기구를 갖는 광 리소그래피 시스템의 타이밍도,

도 34는 본 발명에 따른, 상기 기관 표면에 2개의 영역 어레이의 투사된 이미지가 중첩하도록 구성된 광학장치(light optics)를 갖는 광 리소그래피 도구의 도식도이고,

도 35는 도 34에 도시된 광 리소그래피 시스템의 타이밍도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 도 1을 참조하면, 이동 가능한 스테이지(150)에 장착되는 기관(140)을 패터닝하는데 적당한 본 발명의 일 실시예인 광 리소그래피 도구(100)가 광원(110)과, SLM(120)과, 이미징 광학기기(130)과 함께 도시되어 있다. 좌표축(160)은 상기 도면의 평면에 z축과 y축이 있고 x축은 도면의 평면에 수직이다. 상기 광 리소그래피 도구를 통과하는 광 경로는 광선(170)에 의해 표시되어 있다. 광원(110)은 연속하여 SLM(120)을 조명한다. 상기 광원은 아크 램프, 연속 레이저(고체 또는 기체), 발광다이오드(LED) 또는 기관(140)을 노광하는데 적합한 스펙트럼 특성을 갖는 다른 형태의 연속성 광원을 포함한다. 또한, 유사-연속성 레이저(MHz 주파수로 진동하는 레이저)와 같은 광원도 본 발명의 광원으로서 적합하며 - 중요한 기준은 진동 주파수가 상기 SLM 소자의 스위칭 빈도수(보통 10^4 Hz)보다 훨씬 큰 것이다. 이 경우 상기 광원에 의한 SLM의 조명은 실질적으로 연속적이다. 상기 광원은 또한 조명의 강도를 증가시키고 또한 조명 균일성을 향상시키기 위한 광소자를 포함할 수 있다. 이것들은 타원형의 미러와, 둥근 렌즈와 원통형 렌즈, 그리고 광파이프 또는 플라이 아이(fly's eye) 렌즈 어레이를 포함한다. SLM(120)은 상기 광원으로부터의 광선에 작용하는 소자들의 하나 이상의 영역 어레이(일반적으로 직사각형임)이다. 상기 SLM의 이미지는 상기 이미징 광학기기(130)에 의해 기관상에 연속하여 투사되며, 상기 이미징 광학기기는 투사장치로도 불린다. 상기 소자들은, 상기 이미지의 광 진폭(light amplitude)을 제어하도록, 컴퓨터의 제어하에서 2개 이상의 상태 사이에 개별적으로 스위칭될 수 있다. 본 발명의 일 실시예는 입사 광선을 2개 이상의 각상태(angular states) 사이에서 스위칭할 수 있는 미러나 회절소자의 어레이인 SLM을 포함한다. 현재 텍사스 인스트루먼트사로부터 이용 가능한 디지털 마이크로-미러 장치(DMD)는 2개의 각상태 사이를 스위칭할 수 있는 적당한 미러-어레이의 예이다. 회절성 SLM의 한 예는 실리콘 라이트 머신즈사에서 현재 제조되고 있는 GLV(Grating Light Valve)이다. 본 발명의 다른 실시예들은 액정표시(LCD) 장치인 SLM을 포함한다. 상기 SLM의 소자들이 반사형이 아닌 투과형이면, 상기 광학장치는 재정렬될 필요가 있으며; 재정렬은 당업자에게는 자명하다. 이미징 렌즈 시스템(130)은 반사형 소자와 굴절형 소자 모두를 포함하며, 일반적으로 텔레센트릭하다. 기관(140)은 포토레지스트 코팅과 같은 감광층(photosensitive layer)을 포함하거나 그 자체가 감광성 폴리이미드 시트와 같은 감광성 재료이다. 스테이지(150)는 롤러-베어링이나 에어-베어링 설계이며, 높이 조정(z-방향으로), 틸트 및 회전 성능을 갖는다. 이들 스테이지 유형은 리소그래피 시스템에서 흔히 사용되는 것이며 잘 알려져 있다. 설명을 쉽게 하기 위해서 상기 기관은 평평한 것으로 가정한다. 그러나, 본 발명은 평탄한 스테이지 보다는 회전 스테이지와 함께 원통형이나 구형과 같은 다른 기관 형태에 대해서도 기능할 수 있다.
- [0014] 도 2를 참조하면, 고정된 기관(140)을 패터닝하는데 적합한 본 발명의 일 실시예인 광 리소그래피 도구(200)가 광원(110), SLM(120), 상기 SLM이 장착되는 스테이지(250), 그리고 투사 광학장치(130)에 의해 도시되어 있다. 동작 방법은 기관(140)이 고정된 상태에서 노광 동안 스테이지(250)가 SLM(120)을 이동하는 점을 제외하고는 상술한 광 리소그래피 시스템(100)에서와 같다. 이미징 렌즈 시스템(130) 및/또는 광원(110) 역시 상기 스테이지(250)에 부착되어 상기 SLM과 함께 움직일 수도 있다.
- [0015] 도 3을 참조하면, 가요성 기관(340)을 패터닝하기 적합한 본 발명의 일 실시예인 광 리소그래피 도구(300)가 광원(110), SLM(120), 상기 SLM이 장착되는 스테이지(250), 투사 광학장치(130), 그리고 회전 가능하고 이격되고 축방향으로 평행한 필름 드럼(342, 344)에 의해 도시되어 있다. 감광성 가요성 필름 기관(340)은 필름 드럼(342, 344) 사이에 감겨서 팽팽하게 되어 있으며, 따라서 상기 필름 기관은 y방향으로(정지 좌표계(160)를 기준하여) 움직일 수 있다. 두 가지 모드의 노광이 가능하다. 제 1 모드에서, 스테이지(250)는 기관(340)이 정지되어 있는 동안 x 방향으로 일정 속도로 SLM을 이동시킨다. 노광 경로가 완료되면(예컨대, 기관의 에지에 도달된다), 필름 드럼은 y 방향을 향해 기관을 인덱싱하고 스테이지는 다음 노광 경로를 위해 방향을 바꾼다. 그 결과는 도 8에 도시되고 이하에서 더욱 상세히 설명되는 경로(850)와 유사한 구불구불한 노광 경로가 얻어진다. 제 2 모드에서 스테이지 및 필름 드럼의 역할은 반대로 된다. 스테이지가 정지되어 있는 동안, 필름 드럼은 노광 영역의 에지에 도달할 때까지 y 방향으로 일정 스피드로 기관을 이동시킨다. 그다음 스테이지는 x 방향을 향해 기관을 인덱싱하고 필름 드럼은 다음 노광 경로를 위해 방향을 바꾼다. 또한, 이는 구불구불한 노광 경로로 귀결된다. 더욱이, 기관상의 노광되는 영역의 너비가 SLM의 투사된 이미지의 너비 보다 작거나 또는 같다면, 스테이지는 정지된 상태로 있을 수 있거나 또는 제거될 수 있고, 필름 드럼은 방향을 바꿀 필요가 없이 일정 속도로 기관을 이동시킨다. 다른 실시예에서와 같이, 투사 광학장치는 스테이지 상에 부착될 수 있다.
- [0016] 도 4, 도 5, 및 도 6을 참조하면, 광 리소그래피 도구(100)(도 1 참조)의 다른 실시예가 자세히 도시된다.
- [0017] 도 4는 아크 램프 및 텔레센트릭(telecentric) 투사 렌즈 시스템을 구비한 연속적인 직접-기록(direct-write) 광 리소그래피 시스템의 개략도이다. 수은 아크 램프(410)의 연속 조명은 타원형 반사기(411)로부터 반사된다.

광선(170)에 의해 표시된 반사광은, 기관(140)의 노광에 유용한 파장(예컨대 350nm - 450nm)을 반사하고 다른 파장을 투과시키는 다이크로익 미러(dichroic mirror)로 진행한다. 다이크로익 미러로부터 반사되지 않은 광은 조명 빔 덤프(413)에서 흡수된다. 필요한 노광 파장 및 광원 밝기에 따라, 크세논 아크 램프와 같은 다른 유형의 램프가 사용될 수 있다. 광 파이프(415)가 조명 균일도를 개선하는데 사용될 수 있으나, 플라이 아이 렌즈(fly's eye lens) 어레이로 대체될 수 있다. 광 파이프(415) 앞에 배치된 광 파이프 렌즈 시스템(414)은 조명 시스템의 개구수(numerical aperture)를 조절하고 광 파이프로 들어가기 전에 광 빔의 직경을 조절하는데 사용된다. 집광 렌즈 시스템(416)은 광 파이프로부터 방출되는 광을 캡처하고 SLM(120)의 요구와 매칭하기 위해 빔의 모양과 각도를 변화시킨다. 집광 렌즈 시스템은 조명 구경(illumination aperture)(417)을 포함한다. 광 파이프 렌즈 시스템과 집광 렌즈 시스템은 일반적으로 왜상(anamorphic)이고 실린더형 렌즈 요소를 포함한다. 연속 조명 수는 아크 램프, 타원형 반사기, 다이크로익 미러, 조명 빔 덤프, 광 파이프 렌즈 시스템, 광 파이프, 집광 렌즈 시스템 및 조명 구경은 도 1에 도시된 것과 같은 광원(110)의 일 실시예를 구성한다. SLM은 컴퓨터 제어하에 두개 이상의 각도 상태(angular states) 사이에서 스위칭할 수 있는 작은 미러들의 하나 이상의 영역 어레이(일반적으로 직사각형임)이다. 상기 각도 상태의 적어도 하나는 광원으로부터의 광선을 텔리센트릭 투사 렌즈 시스템(430)으로 반사하고, 각도 상태의 적어도 다른 하나는 광선을 SLM 빔 덤프(480)로 반사한다. 현재 Texas Instruments사로부터 입수할 수 있는 디지털 마이크로-미러 장치(DMD)는 두 개의 각도 상태 사이에서 스위칭할 수 있는 적절한 미러-어레이의 일 예이다. SLM의 "온" 상태에 있는 미러는 텔리센트릭 투사 렌즈 시스템에 의해 기관 상에 이미징된다. "오프" 상태의 SLM의 미러로부터 반사된 광은 SLM 빔 덤프로 진행하여 흡수된다. SLM의 동작에 대한 추가 상세는 이하 및 도 7에 제공된다. 기관은 포토레지스트 코팅과 같은 감광층을 포함하거나, 그 자체가 광감성 폴리이미드(polyimide)시트와 같은 광감성 재료이다. 기관은 정지좌표계(160)의 x-y 평면에서 직선 선분의 노광 동안 연속적으로 이동하는 스테이지(150)에 부착된다. 텔리센트릭 투사 렌즈 시스템의 개구수는 조명 구경(417)을 조사하도록 광학적으로 구성되는 투사 렌즈 구경(432)에 의해 결정된다. 이중 텔리센트릭 투사 렌즈 시스템이 도시된다. 그러나, 단일 텔리센트릭 또는 비-텔리센트릭 투사 시스템이 또한 작동할 것이다. 배율은 기관 높이에 따라 변하지 않기 때문에 텔리센트릭 설계가 선호되며, 이것은 각 기관에 대한 리소그래피 도구의 조정을 단순화시킨다. 텔리센트릭 투사 렌즈 시스템은 도 1에 도시된 것과 같은 투사 렌즈 시스템(130)의 일 형태이다. 스테이지는 정지좌표계(160)의 x-y 평면에서 그리고 z 방향으로 이동할 수 있다. 스테이지(150)는 또한 회전 및 틸트 기능을 가질 수 있다; 이는 적절한 기관 배열에 필요할 수 있다(예컨대, 기관의 평평도가 중요한 경우). z 방향으로의 이동은 기관상에 투사된 이미지를 포커싱 또는 디포커싱 중의 어느 하나를 할 수 있다. 높이 검출 매체(490)를 이용하는 기관 높이 측정 시스템(450)은 기관(140)의 표면의 z 위치를 판정하는데 사용될 수 있다. 상기 높이 측정 시스템은 광학식이거나, 정전용량식 또는 공기식일 수 있다. 추천되는 형태는 공기식이다. 포커싱은 또한 z 방향으로 SLM 또는 투사 렌즈 시스템 중의 어느 하나를 이동함으로써 실행될 수 있다.

[0018]

도 5는 아크 램프, 다수 영역 어레이를 갖는 SLM, 및 다수 투사 렌즈 시스템을 갖는 연속 직접-기록 광 리소그래피 시스템의 개략도이다. 개별 SLM 영역 어레이(520 ~ 524)의 요건에 맞게 빔 모양 및 각도를 변형하기 위해서, 콘덴서 렌즈 시스템(516) 및 렌즈 어레이(518)가 광 파이프(415)로부터 방출되는 광을 캡처하는 것을 제외하고, 광원은 도 4에 대해 상기한 것과 같이 배열된다. 렌즈 어레이는 개별 SLM 영역 어레이 상의 광 강도를 최대화한다; 즉 렌즈 어레이는 한 라인, 다수 라인(도 29 참조), 또는 약간 다른 2차원 구성으로 배열될 수 있는 SLM 영역 어레이의 배열과 매칭된다. 필수적인 구성요소는 아니지만, 렌즈 어레이의 병합이 선호된다. 렌즈 어레이는 SLM 영역 어레이에 상응하여 배열된 렌즈들을 포함할 수 있다; 선택적으로, 렌즈 어레이의 렌즈들은 하나 이상의 회절 요소로 대체될 수 있다. 광 파이프 렌즈 시스템(414) 및 집광 렌즈 시스템(516)은 보통 왜상일 수 있고 실린더형 렌즈 요소를 포함한다. 연속 조명 수는 아크 램프(410), 타원형 반사기(411), 다이크로익 미러(412), 조명 빔 덤프(413), 광 파이프 렌즈 시스템(414), 광 파이프(415), 집광 렌즈 시스템(516) 및 렌즈 어레이(518)는 도 1과 같은 연속 광원(110)의 일 형태를 구성한다. 각 개별 SLM 영역 어레이(520 ~ 524)는 컴퓨터 제어하의 두 개 이상의 각도 상태 사이에서 스위칭될 수 있는 작은 미러들의 직사각형 어레이이다. Texas Instruments사로부터 현재 입수할 수 있는 디지털 마이크로-미러 장치(DMD: Digital Micro-mirror Device)는 두 개의 각도 상태 사이에서 스위칭될 수 있는 적절한 미러-어레이의 일 예이다. SLM 영역 어레이(520)의 "온" 상태의 미러는 투사 렌즈(530)에 의해 기관(140) 상으로 이미징된다; SLM 영역 어레이(521 ~ 524)와 이에 상응하는 투사 렌즈(531 ~ 534)에 대해서도 동일하다. "오프" 상태의 SLM 영역 어레이(520)의 미러로부터 반사된 광은 SLM 빔 덤프(480)로 진행하여 흡수된다; SLM 영역 어레이(521 ~ 524)에 대해서도 동일하다. 5개의 각 SLM 영역 어레이(520 ~ 524), 투사 렌즈(530 ~ 534) 및 기관 높이 측정 시스템(550 ~ 554)이 이 예에서 도시되어 있으나, 임의의 개수가 사용될 수 있다. 투사 렌즈는 반사 및 굴절 요소 모두를 포함할 수 있고,

통상적으로 텔레센트릭하다. 투사 렌즈 시스템(530 ~ 534)은 도 1의 투사 광학장치(130)와 동일할 수 있다. 기관(140)은 포토레지스트 코팅과 같은 감광층을 포함하거나, 또는 그 자체가 감광성 폴리이미드 시트와 같은 감광성 재료이다. 기관은 정지좌표계(160)의 x-y 평면에서 직선 선분의 노광 동안 연속적으로 이동하는 스테이지(150)에 부착된다. 다른 실시예들에서와 같이, 이미징 광학기기는 스테이지 상에 부착될 수 있다.

[0019] 도 6은 단일 텔레센트릭 대물 렌즈 시스템과 다수 영역 어레이를 갖는 SLM을 갖는 연속 직접-기록 광 리소그래피 시스템의 개략도이다. 광원(610)은 도 5에 도시된 광원과 동일한 것이고 개별 SLM 영역 어레이(520 ~ 524)의 요구에 맞는 조명을 제공하도록 구성된다. 각 개별 SLM 영역 어레이는 컴퓨터 제어하에 두 개 이상의 각도 상태 사이에서 스위칭될 수 있는 작은 미러들의 하나 이상의 직사각형 어레이이다. Texas Instruments사로부터 현재 입수할 수 있는 디지털 마이크로-미러 장치(DMD)는 두 개의 각도 상태 사이에서 스위칭할 수 있는 적절한 미러-어레이의 일 예이다. SLM 영역 어레이의 "온" 상태의 미러는 텔레센트릭 투사 렌즈 시스템(630)에 의해 기관 상(140)에 이미징된다. "오프" 상태의 SLM 영역 어레이의 미러로부터 반사된 광은 SLM 빔 덤프(480)로 진행하여 흡수된다. 5개의 SLM 영역 어레이가 이 예에서 도시되어 있으나 임의의 개수가 사용될 수 있다. 그러나, 단일 텔레센트릭 또는 비-텔레센트릭 투사 시스템이 또한 사용될 수 있다. 배율은 기관 높이에 따라 변하지 않기 때문에, 텔레센트릭 설계가 선호되며, 이것은 각 기관에 대한 리소그래피 도구의 조정을 단순화시킨다. 텔레센트릭 투사 렌즈 시스템은 도 1에 도시된 투사 렌즈 시스템(130)의 일 형태이다. 스테이지는 정적 좌표계(160)의 평면 x-y에서 그리고 z 방향으로 이동할 수 있다. 스테이지(150)는 또한 회전 및 틸트 기능을 가지는데, 이것은 적절한 기관 배치(alignment)에 필요한 것이다(예를 들면, 기관의 평평도가 중요할 때). z 방향의 이동은 기관상에 투사된 이미지에 초점을 맞추거나 초점을 흐리게 한다. 기관 높이 측정 시스템(450)은 기관(140) 표면의 z 위치를 결정하는데 사용된다. 상기 높이 측정 시스템은 광학식 또는 정전용량식 또는 공기식이다. 바람직한 유형은 공기식이다. 포커싱은 또한 z 방향으로 SLM 영역 어레이(520 내지 524) 또는 텔레센트릭(telecentric) 투사 렌즈 시스템(630)을 이동시켜 달성될 수 있다. 기관(140)은 포토레지스트 코팅과 같은 포토레지스트층을 포함하거나, 그 자신이 감광성 폴리이미드(polioimide) 시트와 같은 감광성 물질이다.

[0020] 도 5 및 6의 리소그래피 시스템에 추가하여, 다수 영역 어레이를 가진 SLM과, 그 약수(submultiple)의 투사 렌즈 시스템을 결합하는 본 발명의 다른 실시예를 생각할 수 있다. 예를 들면, 각 투사 렌즈 시스템은 한 번에 3개의 다른 SLM 영역 어레이를 이미징하도록, 리소그래피 시스템은 6개의 SLM 영역 어레이와 2 개의 투사 렌즈 시스템을 가진다. 또한, 투사 렌즈 시스템의 수는 수학적 약수에 제한될 필요가 없다. 즉, 예를 들면 리소그래피 시스템은 7개의 SLM 영역 어레이와 2 개의 투사 렌즈 시스템을 가져서 제 1 투사 렌즈 시스템은 3개의 SLM 영역 어레이를 이미징하고, 제 2 투사 렌즈 시스템은 나머지 4개의 SLM 영역 어레이를 이미징하도록 한다. 이 실시예의 구성은 당업자에게는 명백하다. 명백하게, 이와 같은 매우 많은 SLM 영역 어레이와 투사 렌즈 시스템의 조합이 있고, 이것은 당업자에게는 명백하다.

[0021] 도 7을 참조하면, SLM(720)의 부분 단면부가 도시되어 있다. 미러(721)가 '온' 위치에 도시되고, 미러(722)가 '오프' 위치에 도시되어 있다. 광선(770)이 '온' 위치인 미러(721)의 표면에서 기관 방향으로 반사되고(광선(771)), '오프' 위치인 미러(722)의 표면에서 빔 스탑(beam stop) 방향으로 반사된다(광선(772)). 예를 들면, 도 4와 7을 참조하면, 광선(771)은 투사 렌즈 시스템(430)을 통해 기관(140)으로 진행하고, 그 반면 광선(772)은 투사 렌즈 시스템(430)의 수용 개구 외부로 빠져나가 빔 스탑(beam stop)(480)에서 수집된다. 이것이 선호되는 동작 모드이지만, 다른 동작 모드가 고려될 수도 있다. 예를 들면, 광선(772)은 부분적으로 상기 투사 렌즈 시스템(430)의 수용 개구 안에 들어오고, 그 결과 "오프" 상태의 미러로부터의 감쇠된 신호가 기관에 도달할 수 있으며, 이는 허용될 수 있을 것이다.

[0022] 도 8을 참조하면, 기관(140)의 전체 표면을 노광시키기 위해 SLM의 투사된 이미지에 의해 추적될 수 있는 구불구불한 경로(850)의 예가 도시되어 있다. 상기 이미지의 움직임은 이미지 이동 기구에 기인한다. 기관 또는 SLM은 이미지 이동 기구에 장착될 수 있다. 적절한 기구의 예는 도 1, 2 및 3에 도시된 것과 같은 스테이지이다. 가요성 기관의 경우, 적절한 기구는 도 3에 도시된 것과 같이 회전가능하고, 분리되어 공간배치가 되고, 축 방향으로 평행인 필름 드럼이다. 기관이 스테이지 상에 장착되는 리소그래피의 구성이 하기의 설명에서 지정된다. 기관(140), 구불구불한 경로(850), 상기 경로 상의 직선 선분 사이의 거리(851), 기관 좌표계(853) 및 정지좌표계(860)가 도시되어 있다. SLM은 기관상에 투사된 이미지에서 픽셀의 열이 도시의 편의를 위해 정지좌표계(860)의 x축에 평행인 구불구불한 경로의 직선 선분에 평행한 방향을 갖는다. 스테이지는 기관을 위치 조정하여 SLM의 투사된 이미지의 중심이 경로(850)의 출발점에 있도록 한다. 이 예에서, SLM의 투사된 이미지 중 어느 것도 기관상의 경로(850)의 출발점에 놓이지 않는다. 정지좌표계(860)를 기준으로 스테이지가 +x 방향으로 이동할 때, SLM의 투사된 이미지의 중심은 기관좌표계(853)를 기준으로 -x_s 방향으로 이동하고, 구불구불한

경로의 제 1 직선 부분을 트레이스한다. 노광(exposure)은 SLM의 투사된 이미지가 기관상에 놓일 때 시작한다. 노광은 투사된 이미지가 기관의 에지를 통과한 후에 중단한다. 그런 다음 스테이지는 모두 정지좌표계(860)를 참조하여, y 방향으로 거리(851)만큼 제 1 직선부로부터 분리된 경로의 제 2 직선부를 따라 -x 방향으로 스캔할 준비가 되도록 기관의 위치를 재조정한다. 이것은 기관 전체가 노광될 때까지 반복되며, SLM의 투사된 폭은 완전히 기관을 노광시키기 위해 거리(851) 이상이어야 한다. 기관의 일부 영역만이 노광될 필요가 있다면, 각 개별 영역에 대해 구불구불한 패턴을 실시하는 것이 보다 효율적이다. 구불구불한 패턴이 바람직하지만, 노광을 위한 직선 선분을 포함하는 한 다른 경로가 사용 가능하다. 구불구불한 경로가 SLM이 스테이지에 장착되고 기관이 정적인 리소그래피 시스템 구성으로 달성될 수 있음이 당업자에게 명백하다.

[0023] 도 9를 참조하면, 기관(140)의 전체 표면을 노광시키기 위해 SLM 영역 어레이의 대응하는 세트의 투사된 이미지에 의해 추적될 수 있는 구불구불한 경로(950)의 세트가 도시된 예이다. 이미지의 움직임은 이미지 이동 기구에 기인한다. 기관 또는 SLM은 이미지 이동 기구에 장착될 수 있다. 적합한 기구의 예는 도 1, 2 및 3에 도시된 것과 같은 스테이지이다. 가요성 기관의 경우, 도 3에 도시된 것과 같은 회전가능하고, 서로 떨어진, 축 방향으로 평행한 한 쌍의 필름 드럼이다. 하기의 설명에서, 기관이 스테이지 상에 장착되는 리소그래피 시스템을 가정한다. 각 SLM 영역 어레이는 기관(140) 상의 투사된 이미지에서 픽셀의 열이 도시의 편의를 위해 정지좌표계(860)의 x축에 평행한 구불구불한 경로의 직선 선분에 평행하게 방향이 설정된다. 스테이지는 기관(140)의 위치를 조정하여 SLM 영역 어레이의 투사된 이미지의 중심이 경로(950-954)의 시작점에 있도록 한다. 이 예에서, SLM 영역 어레이의 어떤 투사된 이미지도 기관(140) 상의 경로(950-954)의 시작점에 놓이지 않는다. 스테이지가 정지좌표계(860)를 기준으로 +x 축 방향으로 이동하면서, SLM 영역 어레이의 투사된 이미지의 중심은 기관좌표계를 기준으로 -x_s 방향으로 이동하고, 구불구불한 경로의 제 1 직선부를 트레이스한다. SLM 영역 어레이의 투사된 이미지가 기관에 놓일 때, 임의의 경로를 따라 노광이 시작된다. 상기 노광은 투사된 이미지가 기관의 에지를 통과한 후 임의의 경로를 따라 중지한다. 모든 노광이 정지한 후, 스테이지는 고정좌표계(860)를 기준으로 y방향으로 거리(851) 만큼 제 1 직선부에서 분리된 상기 경로의 제 2 직선부를 따라 -x 방향으로 스캔할 준비를 하도록 기관을 다시 위치 조정시킨다. 이것이 기관 전체를 커버하지 못한다면, 스테이지는 고정좌표계(860)를 기준으로 경로(950, 954) 사이의 거리만큼 y방향으로 이동하고, 상기 과정이 반복된다. 명확하게, SLM 어레이의 투사된 폭은 기관을 완전히 노광하기 위해 거리(851) 이상이어야 한다. 이 예에서, 연속한 경로(950, 951, ... 954) 사이의 간격은 거리(851)의 2배이고, 상기 간격이 거리(851)의 2배를 초과하면, 더 많은 직선부를 가진 구불구불한 이동이 사용될 수 있음을 주의하라. 이 설명은 경로(950 내지 954)가 SLM 영역 어레이(520 내지 524)에 대응하는 도 5 및 6의 다수의 SLM 영역 어레이 리소그래피 시스템에 대응된다.

[0024] 도 1 및 8을 참조하면, 기관(140) 상에 인쇄된 피처(feature)에 대응하는 "온" 상태의 요소의 패턴은 계속해서 이동하는 기관에 비해 평균적으로 정적으로 보이는 방식으로 SLM(120)을 가로질러 이동해야 한다. 스테이지(150)가 구불구불한 경로(850)의 직선 세그먼트 중의 하나를 따라서 일정한 속도 v로 이동하고 있다면(스테이지는 패턴링 방향으로 이동함), 이것은 일정한 시간 간격으로 한 행씩 SLM 패턴을 이동시킴으로써 달성되는데, 여기서 시간 간격 T는 다음과 같이

수학식 1

$$T = \frac{pM}{v}$$

[0025]

[0026] 으로 주어지는데, 여기서 p는 요소의 행(row) 피치이고(텍사스 인스트루먼트 DMD 미러는 각 행 및 열에 대해 동일한 피치를 가진다), M은 투사 렌즈 시스템(13)의 배율이다. 예로써, 텍사스 인스트루먼트사의 13.7 마이크로론 미러 피치의 DMD가 가용하고, 최소의 미러 사이클 시간은 102 마이크로초이다. 투사 렌즈 시스템(130)이 2.0의 배율이라면, 스테이지 스피드는 약 269mm/s이다. 전달된 선량(dose)이 기관을 노광하기에 부적당하거나 필요한 스테이지 속도가 스테이지 시스템의 능력을 초과하면, 사용되는 실제 미러 사이클 시간이 더 길어질 필요가 있다. 그러나, 미러 사이클 시간과 스테이지 속도는 항상 수학식 1을 만족해야 한다.

[0027] 도 10은 SLM 상의 패턴의 변화 및 기관 상의 대응되는 이미지를 도시하고 있다. 여기서, 기관은 스테이지 상에 위치되어 노광되는 동안 x방향으로 일정한 속도를 유지하며 이동한다. 도 1을 참고로 해서 살펴보면, 4행 6열의 영역을 갖는 요소 어레이(1000)로 이루어진 SLM(120)의 일부, 4행 6열의 영역을 갖는 픽셀 어레이(1002)로 이루

어진 기관(140)의 대응 부분, 투사된 행 피치(픽셀의 폭)(1008)를 갖는 수득 이미지(resultant image)(1007)를 볼 수 있다. 수득 이미지는 일련의 전체 노광의 완료로 인해 기관상의 가능한 하나의 잠상을 나타낸다. 상기 잠상에 있어서, 에지 정렬(edge placement) 및 코너 라운딩(corner rounding)에 대해서는 아래에 상세히 설명한다. SLM과 기관의 대응영역의 "스냅샷(snapshot)"은 T1에서 T7까지 동일 간격의 시간에 나타나고, 상기 시간 간격은 수확식 1을 만족시킨다; 즉, SLM과 기관의 부분은 도면에서 각각 M과 S로 표시된다. SLM 어레이(1000), 기관 어레이(1002) 및 수득 이미지(1007)는 이들의 위쪽에서 정지좌표계(160)의 z방향으로 아래로 본 모양으로 도시되어 있다. 설명의 편의를 위해, 각각의 스냅샷에 있어서 상기 SLM 어레이와 기관 어레이를 서로에 인접하게 도시하고 있다. 수득 이미지(1007)의 투사 행 피치(1008)는 투사 렌즈 시스템(130)의 배율과 SLM 어레이(1000)의 행 피치의 곱과 같다. 그러나, 설명을 쉽게 하기 위해, 각각의 스냅샷에서 상기 SLM과 기관 어레이는 동일한 크기 및 방향을 갖는 것으로 도시되어 있다. 상기 어레이(1000,1002) 상의 그리드와 이미지(1007)는 단지 참고일 뿐이다. 어레이(1000)에서의 밝은 부분은 '온' 상태의 SLM 요소에 대응되고, 반면 어두운 부분은 '오프' 상태에 대응된다. 상기 어레이(1002) 상의 밝고 어두운 영역은 상기 스냅샷에 대한 SLM 요소의 상태에 대응된다. 예를 들어 시간 T1에서, 기관은 위치(R4C4, R4C5)에서 SLM의 미러로부터 R1C4 및 R1C5에 위치한 픽셀에 광을 받는다(R1C4는 R1행 C4열을 의미한다). 시간 T1에서, 기관 어레이(1002)의 바닥 에지는 기관위치 좌표(1)에 정렬된다. 시간 T2에서, 기관은 1행 이동하고, 기관의 바닥 에지는 이제 기관위치 좌표(2)에 정렬된다. T1과 T2 사이에 경과된 시간은 상기 수확식 1을 만족한다. 도 10에 예시된 특정 피치 패턴은 T4에서 SLM 어레이와 기관 어레이 모두에 완전히 도시되고 있다. 상기 피치 패턴의 에지는 T1에서 처음 나타나고, T2 내지 T6 사이에서 SLM 어레이(1000)를 스크롤하며, T7에서 SLM 어레이(1000)를 벗어나는 것을 알 수 있다. 기관 어레이(1002)에서, 피치 패턴은 이동하지 않는 것으로 나타난다. 이것은 시간 T3와 T4에서 가장 잘 볼 수 있다. 그러나 SLM은 정지상태인 반면 기관은 일정속도로 이동하고 있기 때문에 사실상 투사 패턴은 임의의 두 개의 연속적인 스냅샷 시간 사이에서 기관상에서 투사 행 피치(1008)만큼 이동한다. 설명을 돕기 위해, 상기 기관 어레이(1002)에 도시한 패턴은 어떤 블러링(blurring)이나 광학적 간섭효과를 보이지 않는다.

[0028] 도 11은 C4 열의 중앙에 위치한 선분(AB)을 갖는 기관 어레이(1002)를 도시한다. 광강도 및 수득 선량 프로파일(resultant dose profile)은 선분(AB)이 가리키는 위치에서 기관 어레이의 표면에서 결정된다. 선분(AB)의 위치는 도 10에 도시된 노광 패턴의 트레일링 에지(trailing edge)를 교차한다.

[0029] 이제부터 노광동안에 투사 패턴이 기관 표면을 가로질러 이동한 결과를 설명한다. 도 12는 도 10의 기관 어레이(1002) 상의 순간 광 강도를 도시하고 있고, 상기 분포는 도 11에 도시한 선분(AB)의 위치를 따른다. 도 12에서, 선분(AB)은 가로축의 -2에서 1.5까지 연장되는 것으로 도시되고 있다. 도 12에서, 6개의 분포가 T3부터 T/10 간격으로 매 T/10마다 도시되고 있고, 여기서 T는 상기 수확식 1에 의해 결정된다. 상기 기관은 일정속도로 이동한다. 가로축은 투사 행 피치(도 10과 관련하여 정의함) 단위로 측정되는 기관의 변위(X_s)(도 8 및 9에 도시)를 나타낸다. 도 12에서, 광 강도 프로파일(1200, 1201, 1202, 1203, 1204, 1205), 50% 광강도 마커(1209), 50% 위치 마커(1210) 및 투사 행 피치(1215)를 도시하고 있다. 광강도 프로파일(1200,1201,1202,1203,1204,1205)의 모양은 가우스곡선(Gaussian)으로 도시하고 있지만, 실질적인 모양은 광학 장치의 상세에 따라 다르다. T3에서 기관 어레이(1002) 상의 위치의 함수로서 순간 광강도가 광강도 프로파일(1200)로 나타내어 진다. 광강도 프로파일(1200)은 가로축상 50% 마커(1209)의 교차점이 기관 어레이 상의 R3과 R4 행 사이의 경계에 대응되도록 위치된다. 가로축의 -1과 0 사이 영역은 기관의 R4에 대응되고, 0과 1 사이의 영역은 R3에 대응되며 1과 2 사이의 영역은 R2에 대응된다. 스테이지가 기관 어레이(1002)를 +x 방향으로 이동시킴에 따라, 순간 광강도 프로파일은 $-x_s$ 방향으로 기관 어레이를 지나 전진한다. 광강도 프로파일(1201, 1202, 1203, 1204, 1205)은 각각 시간 T3에 T/10, 2T/10, 3T/10, 4T/10, 5T/10을 더한 것이다. 광강도 프로파일은 T2 동안 투사 행 피치의 0.5배까지 $-x_s$ 방향으로 기관 어레이를 지나 전진한다. 상기 실시예에서, T3에 T/2를 더한 시점에서 SLM 어레이(1000)의 요소는 T3에서 보이는 패턴에서 T4에서 보이는 패턴으로 스위칭 된다. 광강도 프로파일을 생성하는 어레이 요소를 보면, C4R4의 요소는 '온'에서 '오프'로 스위칭 되고, C4R3 및 C4R2의 요소는 '온'으로 유지되며, C4R1의 요소는 '오프'에서 '온'으로 스위칭 된다. 이렇게 함으로써, 위치(1205)에서 $+x_s$ 방향으로 투사 행 피치의 한 배에 해당하는 새로운 위치로 광강도 프로파일을 이동시킨다.

[0030] 도 12에 이어 도 13에서는 다음 주기 T2에 대한 광강도 프로파일을 도시하고 있다. 시간 T3+T/2에서 요소가 스위칭 된 후, 광강도 프로파일은 위치(1205)(도 12)에서 위치(1300)(도 13)으로 이동한다. 스테이지가 +x 방향으로 기관 어레이(1002)를 계속 이동시킴에 따라, 순간 광강도 프로파일은 $-x_s$ 방향으로 기관 어레이를 지나 전진한다. 광강도 프로파일(1301, 1302, 1303, 1304, 1305)은 각각 시간 T3에 6T/10, 7T/10, 8T/10, 9T/10,

10T/10를 더한 것이다. 광강도 프로파일(1305)은 T3+T이고, 이는 T4와 같다. 광강도 프로파일은 T/2 동안 투사 행 피치의 0.5배 만큼 $-x_s$ 방향으로 기관을 지나 전진한다. 결국, T4에서의 광강도 프로파일(1305)의 위치는 T3에서의 광강도 프로파일과 같다.

[0031] 도 12 및 도 13은 시간 T3와 T4 사이에서 광강도 분포가 어떻게 변하는 지를 도시하고 있다. 도 14는 선분(AB)을 따라 기관 어레이(1002) 상의 동일한 위치에 대한 수득 선량 분포를 도시한다. 도 12와 도 13의 광강도 분포(1200,1300)는 $\sigma=0.43$ 의 가우스 곡선이다. 도 14에서 수득 선량 프로파일(1401)이 원래의 가우스 곡선과 유사한 형태를 갖는다는 것을 알 수 있다.

[0032] 도 14에서, 수득 선량 프로파일(1401), 50% 수득 선량 마커(1404), 50% 위치 마커(1405), 투사 행 피치(1215)를 도시하고 있다. 도 10에 도시한 SLM 어레이(1000)이 요소는 기관 어레이(1002)가 투사 행 피치(1008)의 0.5배 만큼 이동했을 때 스위칭되므로, 수득 선량 마커(1404)가 위치(1405)에서 수득 선량 프로파일(1401)과 교차하고, 상기 위치(1405)는 도 12와 도 13의 위치(1210)와 동일하다. 이는 도 12와 13에 도시한 프로세스의 대칭성 때문이다. $T_n+T/2$ (여기서, $n=1, 2, 3, \dots$) 이외에도 다른 요소 스위칭 시간(예를 들어, $T_n+T/5$)을 사용할 수 있다. 수득 광강도 프로파일의 모양은 '1401'와 같을 수 있지만, 가로축 상의 50% 수득 선량 위치는 0에서부터 이동될 것이다. 인쇄된 패턴 에지의 위치를 제어하기 위해 스위칭 시간 조절을 이용할 수 있다. 그러나 스위칭 시간은 일정하게 유지하는 것이 바람직하다. 선량 분포의 모양은 보통 순간 광강도 프로파일과 같지 않을 것이다. 이것은 스테이지 이동의 방향과 나란한 에지에 대한 선량 프로파일이 수직인 것과 다르다는 것을 의미한다. 스테이지 이동의 방향과 평행한 에지는 일정하게 움직이지 않기 때문에 이와 같은 에지에 대한 기관상의 선량 프로파일은 순간 광강도 프로파일과 동일할 것이다.

[0033] 다시 도 10을 보면, 시간 $T_n+T/2$ (여기서, $n=1, 2, 3, \dots$)에서 SLM 어레이(1000)의 요소를 스위칭하는 프로세스는 패턴이 SLM 어레이(1000)에 대해 완전히 스캔될 때까지(본 실시예에서는 T7) 반복된다. 임의의 두 개의 연속적인 스냅샷 시간 사이의 시간 간격은 수학식 1의 T와 같고, 스위칭 시간은 각각 $(T_1+T_2)/2$, $(T_2+T_3)/2$, $(T_3+T_4)/2$, $(T_4+T_5)/2$, $(T_5+T_6)/2$, 및 $(T_6+T_7)/2$ 와 같다. 상기 선량은 추가적이기 때문에, 선분(AB)를 따른 최종적인 선량 프로파일은 도 14의 수득 선량 프로파일(1401)과 같은 모양을 갖게 될 것이다. 도 15는 총 선량 프로파일(1501)을 도시하고 있다. 도 15에서, 총 선량 프로파일(1501), 50% 총 선량 마커(1504), 50% 위치 마커(1505), 노광 영역(1506), 비노광 영역(1507), 투사 행 피치(1215)를 도시하고 있다. 현상 후에, 인쇄된 피치의 에지가 50% 위치 마커(1505)에 위치하도록 총 선량을 조절하는 것이 바람직하다. 이와 같은 경우에, 50% 총 선량 이상을 갖는 영역은 노광 영역(1506)이고, 50% 총 선량 이하의 영역은 비노광 영역(1507)이다. 이러한 조건에서, 수득 현상 패턴은 도 10의 수득 이미지(1007)와 유사하고, 밝은 영역은 노광 영역(1506)에 대응되고, 어두운 영역은 비노광 영역(1507)에 대응된다. 약간의 코너 라운딩을 제외하면, 모든 패턴 에지는 기준 그리드와 정렬된다. 노광 선량에서의 약간의 변화는 수직 및 수평 크기에 다른 영향을 미칠 수 있다. 이것은 50% 광강도와 그 주변에서의 광강도 프로파일의 기울기가 충분히 가파르지 않은 경우에만 실제로 문제된다(적당한 노광 및 프로세싱 변수를 가정할 때, 가파른 경사도는 충분한 라인 폭 제어를 가능하게 한다.).

[0034] 도 1 및 도 10에서의 리소그래피 도구를 살펴본다. 기관 표면에서 x 방향을 따른 선량 분포는 다음 수학식으로 주어진다.

수학식 2

$$D(x)=N \int_0^T I_w(x,t) dt$$

[0035]

[0036] 여기서, N은 상수, $I_w(x,t)$ 는 기관 표면에서 시간에 대한 광강도 분포이고, 시간 T는 수학식 1을 만족한다. 기관이 일정속도(v)로 이동하면, 이동하는 기관에 대한 광강도(I_w)는 정지상태의 기관에 대한 광강도(I)에 관련되며 다음 관계식을 갖는다.

수학식 3

$$I_w(x, t) = I(x + vt, t)$$

[0037]

[0038] $t=0$ 과 $t=T/2$ 사이에서, SLM의 요소는 한 상태에 있고 $t=T/2$ 에서 하나의 행을 이동한다. 즉,

수학식 4

$$\begin{aligned} I(x, t) &= I_0(x) & 0 < t < T/2 \\ I(x, t) &= I_0(x - pM) & T/2 < t < T \end{aligned}$$

[0039]

[0040] 여기서, $I_0(x)$ 는 정지상태의 기관에 있어서 단일 SLM 요소에 대한 광강도 분포이고, p 는 SLM 어레이 요소의 행 피치이고, M 은 투사 렌즈 시스템의 배율이다. 상기 수학식 (1), (3), (4)를 사용하면, 수학식 2는

수학식 5

$$D(x) = N \left[\int_0^{T/2} I_0(x + vt) dt + \int_{T/2}^T I_0(x + vt - vT) dt \right]$$

[0041]

[0042] 이다.

[0043] 예를 들어, 분포 $I_0(x)$ 가 가우스곡선이라 가정하자. 그리고, '온' 상태의 10 행의 요소들에 대한 기관에서의 광강도 분포는 다음과 같고,

수학식 6

$$I_0(x) = \frac{1}{2.51\sigma} \int_0^{10} e^{-(x-y)^2/2\sigma^2} dy$$

[0044]

[0045] 여기서, σ^2 은 분산이다.

[0046] 상기 수학식 (5), (6)은 도시된 선량 분포와 광강도 분포를 계산하기 위해 사용되는 수학식의 예이다.

[0047] 피쳐 에지의 위치를 미세하게 조정하기 위해 "그레이 레벨(gray level)" 기술을 이용할 수 있다. 상기 기술을 도 1 내지 6에 도시한 장치에 사용할 경우, 투사 렌즈 시스템에 의해 발생된 각각의 SLM 요소의 이미지는 블러링된다. 즉, 요소가 명확하게 식별되지 않는다. 이러한 "블러링(blurring)"은 마이크로 렌즈 또는 산광기를 이용하거나 디포커싱(defocusing)에 의해, 또는 분해능을 원하는 값으로 감소시키기 위해 투사 렌즈 시스템의 렌즈 중 하나의 개구수를 조절하는 등 다양한 방법으로 달성할 수 있다. 바람직한 방법은 디포커싱이다. 도 16을 참조하면 이 기술을 이해할 것이다.

[0048] 도 16 내지 도 19는 노광 동안에 기관 이동의 방향에 수직인 패턴 에지에서 "그레이 레벨" 에지 시프팅의 실시 예를 도시하고 있다. 상기 실시예에서, 기관은 노광 동안 일정속도로 동일한 방향으로 이동한다고 가정한다. 도 16 내지 도 19는 도 10과 매우 유사하다. 큰 차이점은 이미지의 "트레일링 에지"의 서브픽셀 변위이다. 예를 들면, 도 16에 도시한 수득 이미지(1600)의 트레일링 에지의 검사는 행 피치(1008)의 0.5배인 변위(1601)를 보여주고 있다. 설명의 편의를 위해, 기관 어레이(1002) 상의 패턴은 회미해집이나 광학적 간섭효과가 전혀 보

이지 않는다.

- [0049] 도 16에서, SLM 어레이(1000) 상의 일련의 패턴은 도 10에 도시한 T1, T2, T3, T4, T6에서의 패턴과 동일하다. 그러나 T5에서 R3C2, R3C3, R3C4, R3C5 위치의 SLM 어레이(1000)의 요소는 도 16의 '온' 상태와 도 10의 '오프' 상태에 있다. 또한, T7에서, R1C2, R1C3, R1C4, R1C5 위치에서 SLM 어레이(1000)의 요소는 도 16의 '온' 상태와 도 10의 '오프' 상태에 있다. 도 16의 기관 영역(1002)에서, 픽셀(R4C2, R4C3, R4C4, R4C5)은 시간 T5와 T7에서 노광되지만 시간 T1, T2, T3, T4, T6에서는 노광되지 않는다. 패턴의 모든 다른 행은 네 주기의 시간 동안 노광된다 즉, 픽셀(R1C4 및 R1C5)은 시간 T1, T2, T3, T4에서 노광되었고, 픽셀(R2C2, R2C3, R2C4, R2C5)은 시간 T2, T3, T4, T5에서 노광되었다. 행 R4에서만 두 시간의 노광의 효과는 수득 이미지(1600)에서 볼 수 있는 바와 같이 투사 행 피치(1008)의 폭의 약 0.5배의 에지 변위(1601)를 발생시킨다.
- [0050] 도 17에서의 노광 시퀀스는 수득 이미지(1700)에서 볼 수 있는 바와 같이 투사된 행 피치(1008)의 폭의 대략 0.5 배의 에지 변위(1701)를 산출한다. 이와 같은 수득 이미지(1700)는 도 16의 수득 이미지(1600)와 동일하나 두 수득 이미지는 다른 세트의 노광 패턴으로 생성된다. 두 도면에서의 노광 패턴은 시간 T4, T5, T6 및 T7에서 다르다. 이와 같은 두 예는 확실히 총망라된 것은 아니다. 동일한 수득 이미지를 주는 노광 패턴의 다른 시퀀스를 쉽게 상상할 수 있다.
- [0051] 도 18은 "그레이 레벨" 에지 시프팅의 다른 예를 도시하며, 이와 같은 예에서 트레일링 에지 변위(1801)는 행 피치(1008)의 0.25배이다. 도 10 및 도 18에 도시된 시간 T1, T2, T3, T4, T6 및 T7에서 SLM 어레이(1000)의 패턴 시퀀스는 동일하다. 그러나 시간 T5에서 SLM 어레이(1000) 내의 위치 R3C2, R3C3, R3C4 및 R3C5의 요소들은 도 18에서는 "on" 상태이고 도 10에서는 "off" 상태이다. 도 18의 기관 섹션(1002)에 관하여, 픽셀 R4C2, R4C3, R4C4 및 R4C5는 시간 T5에서 노광되지만 시간 T1, T2, T3, T4, T6 또는 T7에서는 노광되지 않는다. 패턴의 다른 모든 행은 4개의 시간 주기 동안 노광된다. 시간 T5에서 행 R4의 하나의 시간 주기의 노광의 효과는 수득 이미지(1800)에서 볼 수 있는 바와 같이 투사된 행 피치(1008)의 폭의 대략 0.25배의 에지 변위(1801)를 생성하는 것이다.
- [0052] 도 19는 "그레이 레벨" 에지 시프팅의 다른 예를 도시하며, 이와 같은 예에서 트레일링 에지 변위(1901)는 행 피치(1008)의 0.75배이다. 도 19 및 도 10에 도시된 SLM 어레이(1000) 상의 패턴 시퀀스는 시간 T1, T2, T3 및 T4에서 동일하다. 그러나 시간 T5에서 SLM 어레이(1000) 내의 위치 R3C2, R3C3, R3C4 및 R3C5의 요소는 도 19에서는 "on" 상태이고 도 10에서는 "off" 상태이다. 시간 T6에서 SLM 어레이(1000)내의 위치 R2C2, R2C3, R2C4 및 R2C5의 요소는 도 19에서는 "on" 상태이고 도 10에서는 "off" 상태이다. 또한 시간 T7에서 SLM 어레이(1000) 내의 위치 R1C2, R1C3, R1C4 및 R1C5의 요소는 도 19에서는 "on" 상태이고 도 10에서는 "off" 상태이다. 도 19의 기관 섹션(1002)에 관하여, 픽셀 R4C2, R4C3, R4C4 및 R4C5는 시간 T5, T6 및 T7에서 노광되지만 시간 T1, T2, T3 또는 T4에서는 노광되지 않는다. 패턴의 다른 모든 행은 4개의 시간 주기 동안 노광된다. 시간 T5, T6 및 T7에서 행 R4의 3개의 시간 주기의 노광의 효과는 수득 이미지(1900)에서 볼 수 있는 바와 같이 투사된 행 피치(1008)의 폭의 대략 0.75배의 에지 변위(1901)를 생성하는 것이다.
- [0053] 도 20은 노광 동안 기관의 이동 방향에 평행한 패턴 에지 상의 "그레이 레벨" 에지 시프팅의 예를 도시하며, 이와 같은 예에서 기관은 노광 동안 일정한 속도로 동일한 방향으로 이동하는 것으로 가정된다. 도 20은 도 10과 매우 유사하다. 중요한 차이는 한 픽셀 이하의 수득 이미지의 에지의 변위이며: 예컨대 도 20의 수득 이미지(2000)의 에지 검사는 열 피치(2003)의 0.25배인 변위(2001)를 나타낸다.
- [0054] 도 20에서, 도 20 및 도 10에 도시된 SLM 어레이(1000) 위의 패턴 시퀀스는 시간 T1, T2, T4, T5, T6 또는 T7에서 동일하다. 그러나 시간 T3에서 SLM 어레이(1000) 내의 위치 R2C6, R3C6 및 R4C6의 요소는 도 20에서는 "on" 상태이고 도 10에서는 "off" 상태이다. 도 20의 기관 섹션(1002)에 관하여, 픽셀 R1C6, R2C6 및 R3C6은 시간 T3에서 노광되지만 시간 T1, T2, T4, T5, T6 또는 T7에서는 노광되지 않는다. 기관 어레이(1002)의 다른 모든 픽셀은 4개의 시간 주기 동안 노광된다. 시간 T3에서 열 C6의 하나의 시간 주기의 노광의 효과는 수득 이미지(2000)에서 볼 수 있는 바와 같이 투사된 열 피치(2003)의 폭의 대략 0.25배의 에지 변위(2001)를 생성하는 것이다.
- [0055] 에지 변위에 더하여, 코너 근처의 하나 이상의 픽셀 노광을 이용하는 것은 코너의 라운딩 정도에 영향을 미친다. 예를 들면 도 10의 수득 이미지(1007)를 참조하여, R1C1에서 또는 R1C2 및 R2C1에서의 노광은 위치 R2C2에서의 코너 라운딩을 변화시킬 것이다.
- [0056] 도 16 내지 도 20의 수득 이미지에 도시된 에지 변위는 단지 대략적인 것일 뿐이며, 실제 변위는 노광 패턴의

예지에서 순간 광강도 분포의 상세한 형상에 의존한다. 7개의 시간 주기의 각각의 절반 동안의 미러 섹션 상태에 적합한 광강도 분포를 포함하는 선량 분포에 대한 수학적 5의 약간 변형된 형태를 사용함으로써 더욱 정확한 결정이 이루어질 수 있다. 이와 같은 수학적 5의 변형 형태는 도 10, 도 16, 도 17, 도 18 및 도 19에 주어진 노광 패턴에 대한 기관 어레이(1002)(도 11) 상의 직선 부분(AB)의 위치를 따라 수득 선량 분포를 계산하는데 이용되었다. 이와 같은 계산에서 순간 광강도 분포 형태는 0.43의 δ 값을 갖는 가우스 형태이다. 이와 같은 수득 선량 분포가 도 21에 도시된다.

[0057] 도 21에서 수득 선량 프로파일(2101, 2102, 2103 및 2104)은 도 10, 도 16, 도 18 및 도 19에 각각 대응하며, 또한 수득 선량 프로파일(2102)은 도 17에 대응한다. 50% 위치 마커(2105, 2106, 2107, 2108)는 각각 선량 프로파일(2101, 2102, 2103 및 2104)에 대한 것이다. 도 10, 도 16, 도 17, 도 18 및 도 19의 수득 이미지에 관하여, 도 21의 가로좌표상의 -1과 0 및 0과 1 사이의 영역은 각각 수득 이미지 내의 R4 및 R3에 대응한다. 수득 선량 프로파일(2101)의 50% 위치 마커(2105)는 도 10에 주어진 예에 대해 계산되었고 0에서 가로좌표와 교차한다. 이와 같은 결과는 도 10에 도시된 수득 이미지(1007)와 일치한다. 수득 선량 프로파일(2102)의 50% 위치 마커(2106)는 도 16에 주어진 예에 대해 계산되었고 -0.5에서 가로좌표와 교차한다. 결과는 예지 변위(1601)의 값과 일치한다. 수득 선량 프로파일(2103)의 50% 위치 마커(2107)는 도 18에 주어진 예에 대해 계산되었고 -0.20에서 가로좌표와 교차한다. 결과는 0.25의 예지 변위(1801) 값과 조금 차이가 난다. 수득 선량 프로파일(2104)의 50% 표지 지점(2108)은 도 19에 주어진 예에 대해 계산되었고 -0.80에서 가로좌표와 교차한다. 결과는 예지 변위(1901) 값 0.75와 조금 차이가 난다.

[0058] 상기된 예는 간이화한 것이고 SLM의 인접 요소로부터의 간섭 효과, 광강도 분포의 매우 정확한 형상 및 감광성 기관의 유한 콘트라스트(contrast)는 무시한 것이다. 일반적으로 특정 예지 변위에 대한 정확한 선량은 실험적으로 결정되어야 한다. 그러나 일단 선량과 예지 변위 사이의 관계가 결정되면, 그 기술이 기관의 오 정렬과 왜곡, 투사 렌즈 시스템의 왜곡과 수차(aberration), 및 일정하지 않은 조명을 보상하기 위해 사용될 수 있다. 이와 같은 기술은 광학기기의 규격을 완화하는데 이용될 수 있어서 광학기기의 비용을 줄인다.

[0059] 바람직한 SLM 장치는 768 미러 깊이 1024 미러 폭의 직사각형 미러 어레이를 갖는 텍사스 인스트루먼트사의 두 상태의 DMD이다. 바람직하게는 기관의 노광 동안의 스캔 방향은 스테이지가 구불구불한 경로(도 8 참조)를 따라 방향을 전환하여야 하는 횡수를 최소화하기 위해 1024 폭에 직교한다. 어레이는 768 행 깊이이기 때문에, 노광 패턴은 768 불연속 단계로 어레이를 가로질러 스크롤할 것이며 상기에서 개시된 "그레이 레벨" 기술을 사용하여 예지 위치를 조정하는 768번의 기회가 있을 것이다. 이는 수득 이미지에서 DMD의 투사된 행 피치의 1/768 크기의 예지 배치 해상도를 허용한다. 실제로, 1/32 이상은 필요하지 않다. 결과적으로, 32개의 동일하게 이격된 예지 지점이 선택될 수 있고 추가 해상도가 기관의 비 동일 조명을 보상하기 위해 사용될 수 있다.

[0060] 기관에 인쇄될 수 있는 최소 피치 크기는 광강도 프로파일의 특성에 의존한다. 이는 도 22 내지 도 27을 참조하여 설명될 것이다.

[0061] 도 22는 SLM 상의 패턴의 시프팅 및 기관 상의 대응 이미지의 다른 예를 도시한다. 선행 예에서 처럼, 기관은 스테이지 위에 있고 노광 동안에 x 방향으로 등속으로 이동한다. 다음은 도 1을 참조하여: 5행 6열의 영역을 갖는 요소들의 어레이(2200)인 SLM(120) 부분; 그에 대응하는 5행 6열의 영역을 갖는 픽셀들의 어레이(2202)인 기관(140) 부분; 투사된 행 피치(픽셀의 폭)(1008)를 갖는 수득 이미지(2207)를 도시한다. SLM 및 기관의 대응 부분의 "스냅샷"이 동일 이격된 시간 T1 내지 T8에 나타나며 상기 시간 간격은 수학적 1을 만족한다. 이와 같은 형태는 도 10과 유사하다.

[0062] 도 23은 열(C2, C3, C4 및 C5)의 중심에 위치한 직선 선분(CD, EF, GH 및 IJ)을 갖는 기관 어레이(2202)를 도시한다. 광강도 및 수득 선량 프로파일은 상기 직선 성분에 의해 표시된 위치의 기관 어레이의 표면상에서 측정된다. 직선 선분의 위치는 도 22에 도시된 노광 패턴의 "트레일링 예지" 및 "리딩 예지" 모두와 교차하는 곳임을 주의한다.

[0063] 도 24는 도 22에서 상세하게 도시된 노광된 기관(2202)에 대한 수득 선량 분포를 도시한다. 0.43의 δ 값을 갖는 가우스 형태는 수득 선량 분포를 얻기 위해 사용된 순간 광강도 분포에 대해 가정되었다. 아래의 것들은 도 24에 도시된다: 각각 직선 성분(CD, EF, GH 및 IJ)을 따르는 수득 선량 프로파일(2400, 2401, 2402 및 2403); 선량 프로파일(2400, 2401, 2402 및 2403)에 각각 대응하는 50% 위치 마커(2405, 2406 및 2407); 선량 프로파일(2400)에 모두 대응하는 50% 위치 마커(2404 및 2408); 및 투사된 행 피치(1215). 직선 선분(CD)은 가로좌표상의 -2에서 6까지 연장되도록 도시되고 직선 성분(EF, GH 및 IJ)은 가로좌표상의 상기와 같은 범위로 연장되지만 도면의 혼란을 피하기 위해 도시되지 않은 된 것을 주의한다. 도 24의 가로좌표상의 -1과 0, 0과 1, 1과

2, 2와 3 및 3과 4 사이의 영역은 각각 도 22의 수득 이미지(2207) 상의 R5, R4, R3, R2 및 R1에 대응한다. 만약 전체 선량이 인쇄된 피처의 에지가 바람직한 50% 위치 마커에 있도록 조정된다면 최종 현상된 패턴은 도 22의 수득 이미지(2207)와 유사할 것이다. 도 24의 수득 선량 프로파일(2400)은 결코 선량 프로파일(2402 및 2403)의 약 70% 보다 높이 오르지 않으며, 50% 위치 마커(2404 및 2408) 사이의 거리는 투사된 행 피치(1008) 보다 약간 작다는 것을 주의해야 한다. 명확하게는, 이와 같은 조건에서 최소 피처 크기는 투사된 행 피치(1008)와 거의 동일하다. 이미 설명된 "그레이 레벨" 기술은 상기 피처의 폭을 조정하는 데에 이용될 수 있으며, 예컨대, 도 22의 기관 어레이(2202)의 픽셀(R4C2)에 대한 전체 선량을 감소시키면 선량 프로파일(2400)의 높이를 감소시키고 인쇄된 형상의 크기를 줄인다. 그러나 피처의 치수는 선량 프로파일(2400)의 정상부 근처의 선량에서 작은 변화에 의해 급격히 변화한다. 또한 항상 전체 선량에 약간의 노이즈와 불확실성은 항상 있으며 이는 이와 같은 접근에서 실제상의 제한을 제공한다.

[0064] 도 25는 SLM 상의 패턴의 시프팅 및 기관 상의 대응 이미지의 다른 예를 도시한다. 선행 예에서 처럼, 기관은 스테이지 위에 있고 노광 동안에 x 방향으로 등속으로 이동한다. 도 25에서 다양한 크기의 피처 상의 "그레이 레벨" 에지 시프팅의 예가 도시되며 여기에서 시프팅된 에지는 노광 동안의 기관 이동의 방향에 직교한다. 다음은 도 1을 참조하여, 4행 6열의 영역을 갖는 요소들의 어레이(1000)인 SLM(120) 부분; 그에 대응하는 4행 6열의 영역을 갖는 픽셀의 어레이(1002)인 기관(140) 부분; 투사된 행 피치(픽셀의 폭)(1008)를 갖는 수득 이미지(2507)를 도시한다. SLM 및 기관의 대응 부분의 "스냅샷"이 동일하게 이격된 시간 T1 내지 T7에 나타나며 상기 시간 간격은 수학적 1을 만족한다. 이 도면은 도 10과 유사하다.

[0065] 도 26은 열(C2, C3, C4, C5 및 C6)의 중심에 위치된 직선 선분(KL, MN, OP, QR 및 ST)을 갖는 기관 어레이(1002)를 도시한다. 광강도 및 수득 선량 프로파일은 상기 직선 선분에 의해 표시된 위치의 기관 어레이의 표면상에서 측정된다. 직선 성분의 위치는 도 22에 도시된 노광 패턴의 "트레일링 에지" 및 "리딩 에지" 모두와 교차하는 곳을 주의한다.

[0066] 도 27은 도 25에 도시된 바와 같이, 노광된 기관(1002)에 대한 수득 선량 분포를 도시하고 있다. 0.43의 σ 값을 갖는 가우시안 형태(Gaussian shape)는 수득 선량 분포를 유도하는데 사용되는 순간 광 강도 분포인 것으로 가정된다. 다음, 각각 직선 선분(KL, MN, OP, QR 및 ST)을 따른, 수득 선량 프로파일(2700, 2701, 2702, 2703 및 2704); 선량 프로파일(2704)에 대응하는 50% 위치 마커(2710, 2716); 선량 프로파일(2703)에 대응하는 50% 위치 마커(2710, 2713); 선량 프로파일(2702)에 대응하는 50% 위치 마커(2711, 2714); 선량 프로파일(2701)에 대응하는 50% 위치 마커(2712, 2715); 및 투사 행 피치(1215)는 도 27에 도시된다. 직선 선분(KL)은 가로좌표 축의 -2에서 5까지 연장되는 것으로 도시되어 있으며; 라인 세그먼트(MN, OP, QR 및 ST)는 가로좌표 상에서 동일한 값들에 연장하지만, 혼란스럽지 않도록 도시하지 않았다는 것을 주의한다. 도 27의 가로좌표축에서 -1과 0 사이, 0과 1 사이, 1과 2 사이, 2와 3 사이의 영역들은 도 25의 수득 이미지(2507)에서 R4, R3, R2 및 R1에 각각 해당한다. 인쇄된 피처의 에지가 바람직하게는 50% 위치 마커에 있도록 총 선량이 조정된다면, 최종 생성된 패턴이 도 25의 수득 이미지(2507)와 유사하다. 도 27의 수득 선량 프로파일(2700)은 선량 프로파일(2704)의 약 45%보다 더 높아지지 않으므로 인쇄되지 않음을 주의해야 한다. 도 25에서 시간(T2, T3, T4, T5)에 기관부(1002)의 열(C2)을 조사함으로써 알 수 있는 바와 같이, 수득 선량 프로파일(2700)은 인접한 단일 픽셀들을 교체에 의한 노광에 기인한다. 이는 단일 픽셀 노광이 인쇄한 선량 프로파일을 생성한 도 22의 실시예와 대조적이다. 도 25 및 도 27을 참조하면, 수득 선량 프로파일(2702)의 50% 위치 마커(2711, 2714) 사이의 거리를 조사함으로써 알 수 있는 바와 같이, 투사된 열(C3, C4 및 C5)에 인쇄된 피처들은 투사 행 피치(1008) 폭의 대략 1.5배이다. 이는 피처가 투사된 SLM 소자 그리드에 대해 임의의 위치에 있을 때, (실질적으로)최소 피처 크기가 투사된 행 피치의 대략 1.5배이며; 이것은 투사된 SLM 소자 그리드 상에 위치하는 형상에 대해 관찰된 투사된 행 피치의 대략 1.0배의 최소 피처 크기와 대조적이다 - 도 22 및 도 24를 참조하라.

[0067] 도 28을 참조하면, 본 발명의 광 리소그래피 시스템에 대한 블록 선도(block diagram)가 도시되어 있다. 설계 데이터 저장 장치(2804)상에 존재하는 설계 데이터는 시스템이 무엇을 인쇄해야 하는지, 그리고 디컴프레션(decompression) 전자장치에 적당한 형태로 변환시키기 위해 데이터 준비 컴퓨터(2805)에 무엇이 입력되는지를 설명한다. 데이터 준비 컴퓨터(2805)는 또한, 이전에 측정된 기관 왜곡을 위해 보상하기 위해 데이터를 변경시킬 수도 있다. 기관 정렬시스템(2803)이 상기 기관 왜곡을 측정하기 위해 사용될 수 있다. 설계 데이터는 통상적으로 CAD(Computer Aided Design) 포맷 또는 GDSII와 같은 마스크 표준 포맷이다. 설계 데이터 저장 장치는 1개 이상의 테이프 또는 디스크 드라이브일 수 있다. 데이터 준비 컴퓨터는 IBM PC와 같은 범용 컴퓨터가 될 수 있다. 데이터 준비 컴퓨터에 의한 연산 후에, 데이터는 1개 이상의 고속 디스크 드라이브(2806)에 저장된다. 상기 데이터의 바람직한 형태는 도 19의 수득 이미지를 참고하여 이해될 수 있다. 기관(140)의 전체 영

역은 SLM 어레이(120)의 확대된 피치와 동일한 피치를 갖는 작은 사각형으로 나누어지며, 기관 어레이(1002)는 소규모 예를 제공한다. 기관을 덮는 어레이에서 각 픽셀은 피치 패턴 및 참조 테이블(look-up table) 값에 기초한, 선량 값이 할당된다. 참조 테이블 값은 실험적으로 결정되고, 투사 렌즈 시스템(130)의 왜곡 및 수차와 광원(110)으로부터의 조명 비균일도를 고려한다. 예로서, 선량 값은 32개의 그레이 레벨을 가정하여, 수득 이미지의 피치 패턴(1900)에 기초하여 유도되며, 여기에서 31은 100% 노광에 해당한다. 하기의 픽셀들은 31의 선량 값을 가질 것이다:

[0068] R1C4, R1C5, R2C2, R2C3, R2C4, R2C5, R3C2, R3C3, R3C4, R3C5.

[0069] 하기의 픽셀들이 0의 선량 값을 가질 것이다:

[0070] R1C1, R1C2, R1C3, R1C6, R2C1, R2C6, R3C1, R3C6, R4C1, R4C6.

[0071] 하기의 픽셀들은 의도된 에지 위치(1901)에 기초하여, 0과 31 사이의 중간 선량 값을 가질 것이다:

[0072] R4C2, R4C3, R4C4, R4C5.

[0073] 편의를 위해, 24의 값을 할당할 것이다. 그 다음, 시스템의 왜곡, 수차 및 조명 비균일도에 대해 원인이 되는 선량 값을 변경시키는데 참조 테이블을 사용한다. 바람직한 SLM, 텍사스 인스트루먼트즈(Texas Instruments) DMD 장치는 102 마이크로초(microseconds)마다 미리 상태를 스위칭할 수 있으며, 1024개의 행과 768개의 열을 갖는데, 이는 고속 디스크 드라이브(2806)가 102 마이크로초마다 1024개의 픽셀들의 1행을 전달하는데 필요하다는 것을 의미한다. 32개의 그레이 레벨에 있어서, 이는 대략 6.3 메가바이트/초의 데이터 속도이다. 상기 데이터 속도는 오늘날의 디스크 드라이브 어레이의 용량 범위에 포함된다.

[0074] 다시, 도 28을 참조하면, 스테이지(150)와 투사 렌즈 시스템(130)에 대한 기관(40)의 정렬은 기관(140) 상의 피처에서 기관 정렬 시스템 광(2892)을 기관 정렬시스템(2803)으로 반사시킴으로써 결정된다. 상기 기관 정렬시스템은 매칭을 찾기 위해 미리 저장된 이미지 또는 십자형 또는 원형과 같은 이상적인 이미지와 기관상의 임의의 피처들을 비교하는 "머신 비전(machine vision) 시스템"인 것이 바람직하다. 기관 정렬 시스템 광은 SLM(120) 및 투사 렌즈 시스템(130)에 의해 광원(110) 또는 외부 광원으로부터 온다. 기관상의 피처로부터 반사된 이후에, 광은 기관 정렬 시스템으로 직접 진행하거나 또는 투사 렌즈 시스템을 통해 먼저 진행할 수 있다("렌즈를 통해" 정렬). 기관상의 피처로부터 반사된 광은 투사 렌즈 시스템을 통해 진행하며, SLM에서 반사하여, 기관 정렬 시스템으로 통과한다. 스테이지 측정 시스템(Stage metrology system, 2802)은 레이저 간섭계 또는 선형 스케일에 기초할 수 있는 스테이지 위치 광 센서(2891)로부터 스테이지 위치 정보를 수신하고, 제어 컴퓨터(2801)에 정보를 보낸다. 차례로, 제어 컴퓨터는 스테이지(x, y) 모터에 신호를 보낸 후 정확한 위치를 서보(servo)한다. 에지 블러링(blurring)이 바람직한 기술인 디포커싱(defocusing)에 의해 수행된다면, 제어 컴퓨터는 스테이지에 명령하여 적당한 갭 값이 수득될 때까지 z에서 서보하도록 한다. 갭 값은 기관 높이 검출 매체(490)(공기가 바람직함)에 의해, 기관 높이 검출기(450)에 의해 측정된다. 광학식 또는 정전용량식(capacitance)과 같은 다른 종류의 검출 방법들도 또한 적용된다. 갭 값(디포커스)은 기관상에 투사된 이미지에 원하는 양의 피처 에지 블러링을 생성하도록 선택된다. 상기 갭 값을 유지하기 위한 일정한 서보가 국부적 기관 높이 변형에 대해 보상하기 위해 필요하다. z-방향으로 스테이지를 이동시키는 것보다는 대신에 z-방향으로 투사 렌즈 시스템(130) 또는 SLM(120)을 이동시키는 것도 가능하다. 다음, 제어 컴퓨터는 고속 디스크 드라이브(2806)에 명령하여 디컴프레션 전자장치(2807)에 제 1 행의 데이터를 보내며, 이는 SLM 메모리(2808)에 미리 상태 데이터의 제 1 프레임을 로딩한다.

[0075] 디컴프레션 전자장치(2807)의 기능을 이해하기 위해, SLM(120)의 요구사항을 먼저 이해할 필요가 있다. SLM의 모든 미러의 상태를 동시에 스위칭한다. 모든 미러들의 상태는 SLM 메모리(2808)에 저장된 값들에 의해 각각 결정된다. 그러므로, 디컴프레션 전자장치의 요구사항은 매 미러 클럭 주기(clock cycle)마다 새로운 미러 상태 값을 갖는 전체 SLM 메모리에 로드해야한다는 점이다. 텍사스 인스트루먼트즈사의 DMD 장치에 있어서, 이는 102 마이크로초 마다이다. 디컴프레션 전자장치는 각 이미지 픽셀에 대한 선량 값을 이동 기관과 함께 시프트하는 일련의 미러 상태로 변환시켜야 한다. 도 19에 기초한 간단한 예는 이것이 수행되는 방법을 설명할 수 있다. 수득 이미지(1900)의 임의의 픽셀에 대해, 미러 영역(1000)의 각 행을 시프트하는데 사용되는 4개의 미러 클럭으로 인해 5개의 선량 레벨이 가능하다. 예를 들어, 기관 영역(1002)에서 픽셀 R4C2는 도 19에서 알 수 있는 바와 같이, 시간(T4, T5, T6 및 T7)에 노광될 수 있다. 실제 노광은 상기 픽셀에 대해 시간(T5, T6 및 T7)에서 뿐이다. 5개의 가능한 노광 순서들은 4회의 노광 시간에 미러 상태에 대응하는 0' 및 1' 스트링에 의해 표현될 수 있다. 예를 들어, R4C2에 대해 스트링은 0111이었다. 적당한 5개의 노광 순서들의 셋트는 0000

0001 0011 0111 1111 일 수 있다.

[0076] 0001 보다는 1000과 같이 동일한 선량을 제공하는 가능한 다른 시퀀스가 있다. 이런 자유도는 광원(110)으로부터의 조명 비균일도에 대해 보상하기 위해 사용될 수 있다. 노광 시퀀스에 대응하는 선량 레벨은 0, 1, 2, 3 및 4로 정의된다. 시간(T_4+T_3)/2에서 미리 스위칭하기 이전에, SLM 어레이(1000)의 행 4(R4)의 모든 픽셀에 대한 선량 레벨은 고속 디스크 드라이브(2806)로부터 디컴프레션 전자장치(2807)로 보내진다. 각 가능한 선량 레벨에 대응하는 순서들은 디컴프레션 전자장치의 참조 테이블에 저장된다. 다시, 예로서 픽셀 R4C2를 사용하여 그의 선량 레벨은 시퀀스 0111에 대응하는 3이다. T3으로 도시한 상태로 개시하여, SLM 메모리(2808)는 기관 어레이(1000)의 제4행 제2열(R4C2)의 미러에 대해 로딩된 0 상태를 갖는다. T4에 도시된 상태로 미러가 스위칭한 후, 디컴프레션 전자장치는 기관 어레이(1000)의 제3행 제2열(R3C2)의 노광 순서(1)의 제 2 디지털을 SLM 메모리에 로딩한다. 미러는 (T_5+T_4)/2에서 상태를 스위칭한다. 미러가 T5에 도시된 상태로 스위칭한 후, 디컴프레션 전자장치는 기관 어레이(1000)의 제2행 제2열(R2C2)의 노광 순서(1)의 제 3 디지털을 SLM 메모리에 로딩한다. 미러는 (T_6+T_5)/2에서 상태를 스위칭한다. 미러가 T6에 도시된 상태로 스위칭한 후, 디컴프레션 전자장치는 기관 어레이(1000)의 제1행 제2열(R1C2)의 노광 순서(1)의 제 4 디지털을 SLM 메모리에 로딩한다. 미러는 (T_7+T_6)/2에서 상태를 스위칭한다. 동작 원리는 보다 큰 텍사스 인스트루먼트사의 DMD 어레이와 동일하다. 디컴프레션 전자장치는 SLM 및 참조 테이블에서 각 미러에 대한 선량 레벨 코드를 유지시키기에 충분히 큰 메모리를 가져야 한다. 디컴프레션 전자장치는 또한 부기를 취급하기 위해 로직 소자들을 포함한다. 모든 미러 값들은 102 마이크로초 미러 클럭 주기 동안 SLM 메모리로 결정되어 로딩될 필요가 있기 때문에, 많은 미러 값들이 병렬로 연산될 필요가 있다. 예를 들어, 단일 미러에 대해 다음 상태를 계산하는데 100 나노초가 걸린다면, 그 후 대략 800개의 미러들에 대한 계산이 거의 병렬로 수행되어야 한다.

[0077] 제어 컴퓨터(2801)는 스테이지(150)에 명령하여 개시 위치로 이동시키고, 정확한 일정 속도로 가속한다. 제어 컴퓨터(2801)는 또한 광원(110)에 명령하여 감광성 기관(140)의 조건에 부합되도록 정확한 세기의 광을 방출한다. 이는 보통 가변 광 감쇠기에 의해 수행된다. 스테이지 측정 시스템(2802)로부터의 데이터는 기관이 언제 노광을 시작하기에 정확한 위치에 있는지 제어 컴퓨터에게 알려준다. 다시, 도 19를 참조하면, 시간($T_1-T/2$)(여기에서, T는 수학적 1을 만족시킴)에, 기관 어레이(1002)의 바닥부는 기관 위치(1/2)에 있을 것이다. 이때, 제어 컴퓨터는 공간 광 변조기에 명령하여 모든 미러를 SLM 메모리(2808)에 저장된 새로운 값들에 대응하는 상태로 스위칭한다. 동시에, 제어 컴퓨터(2801)는 고속 디스크 드라이브(2806)에 명령하여 디컴프레션 전자장치(2807)에 다음 데이터 열을 보내고, 이는 SLM 메모리로 미러 상태 데이터의 제 2 프레임을 로딩한다. 상기 방법은 기관의 예지에 도달될 때까지 반복하며, 이때 제어 컴퓨터는 스테이지에 명령하여 턴-어라운드(turn-around)를 수행하고; 그 후, 시스템은 도 8에 도시된 구불구불한 경로의 다음 세그먼트 노광을 시작할 준비가 된다. 이는 기관의 패턴 영역 전체가 노광될 때까지 반복된다.

[0078] 도 28을 참조로 전술한 동작 방법은 다수의 SLM 영역 어레이들을 포함하는 본 발명의 광 리소그래피 시스템을 동작하는 방법으로 용이하게 확장될 수 있다.

[0079] 광 리소그래피 도구의 일부 실시양태들은 다수의 행들로 배열된 다수 영역 어레이들을 갖는 SLM을 가지며, 여기에서 하기의 모든 것이 적용된다: (1) 영역 어레이 행들은 기관상의 SLM 어레이의 투사 이미지의 이동 방향에 수직이며; (2) 영역 어레이들은 어레이 내 소자의 행들이 기관상의 SLM 어레이들의 투사 이미지의 이동 방향에 수직이 되도록 각각 배열되며; 및 (3) 영역 어레이들의 위치는 한 행으로부터 다음 행까지 엇갈려 있다. 상기 배열의 예는 도 29에 도시되어 있다. 도 29에서, 영역 어레이(2910)들은 3행으로 배열되어 있으며, 상기 행들은 기관상의 SLM 어레이의 투사 이미지의 이동 방향(2950)에 수직이다(방향(2950)은 패턴 데이터가 영역 어레이의 소자들에 대해 스크롤되는 방향임). 도 29에 도시된 SLM 영역 어레이의 배열은 기관이 도 9에 도시된 구불구불한 경로에 따르지 않고 노광되도록 한다(도 9의 경로는 어레이들 사이에 간격이 있는 단일 행의 SLM 영역 어레이들에 적합함). 엇갈리는 배열은 한 행의 어레이들 사이의 간격이 다른 행의 어레이에 의해 커버되는 것을 허용한다. 도 29의 실시예는 3개의 행에서 커버리지의 중첩이 없는, 겹이 없는 커버리지를 나타내지만; 일부 실시양태는 커버리지 중첩이 있을 수 있다. 그리고, 거의 환형 영역(도 29에서 원(2960)으로 표시함) 내 SLM 영역 어레이들의 배열은 보통 환형 소자들로 구성되는 이미징 광학기들을 효율적으로 사용한다. 예를 들어, 도 29에서 7개의 SLM 어레이들의 이미지는 환형 렌즈들의 단일 셋트를 포함하는 투사 렌즈 시스템에 의해 모두 기관상에 동시에 투사될 수 있다.

[0080] 도 30은 미러(485), 광 스위칭 기구(121) 및 제 2 SLM 빔 덤프(481)가 부가된 도 4의 광 리소그래피 도구를 도시하고 있다. 본 실시예에서, 광 스위칭 기구(121)는 제2 SLM이다. SLM(120)을 통해, (소자들(410~417)을 포함하는) 광원으로부터 SLM(120)을 경유하여 기관(140)까지의 광 경로는 광선(170)에 의해 표시된다. 광 스위칭

기구(121)는 광 경로상에 SLM(120)과 연속으로 위치된다. 본 실시예에서, 미러(485)는 도시된 위치에 SLM(121)을 수용하도록 광경로 상에 삽입되었다. 광원과 SLM(120) 사이의 광 경로 상에 광 스위칭 기구를 수용할 많은 다른 광학 구성들이 가능하다. SLM(121)은 2개의 상태, 즉 SLM(120) 방향으로 광이 반사되는 "온(on)" 상태, 및 제2 SLM 빔 덤프(481) 방향으로 미러가 광을 반사하는 "오프(off)" 상태를 갖는 미러들을 갖는 미러 어레이이다. 본 실시예에서, 모든 미러들은 개별로 스위칭된다. 도 30에서 도구의 대부분의 소자들에 대한 설명은 도 4에 관한 설명에서 찾아볼 수 있다. 도구의 동작에 대한 추가의 설명은 도 31을 참고로 제공된다.

[0081] 도 31에서, SLM(120, 121)의 스위칭 타이밍이 파형(3120, 3121)으로 각각 도시된다. SLM(120)이 "온" 상태에 있을 때, SLM의 모든 요소들은 각각 "온" 또는 "오프"이며, 즉 노광 패턴이 SLM 상에 로딩될 수 있다. SLM(120)이 "오프" 상태에 있을 때, SLM의 모든 요소들은 "오프"이다. SLM(121)이 "온" 상태에 있을 때 SLM의 모든 요소들이 "온"인 것을 제외하고는 SLM(121)에 대해서도 마찬가지이다. SLM(120, 121)이 스위칭 사이의 동일한 시간 간격(T), 즉 동일한 스위칭 빈도를 갖지만; 이들은 T(1-1/n)의 시간 시프트에 의해 위상 시프트된다. 두 SLM들의 모든 요소들은 매 다른 시간 간격마다 "오프"로 스위칭된다. 두 SLM이 "온" 상태에 있는 경우에만, 광이 기관에 도달하며, 이는 매 다른 시간 간격마다 시간 구간 (T/n) 동안이다. 상기 시간 구간(time span) 동안, 투사된 이미지는 1개의 투사된 미러 피치의 거리(pM, 이는 기관 표면상의 1개의 픽셀 길이와 동일함)를 기관 표면을 가로질러 이동해야 한다. 이는 하기 수학적 식 7에 의해 주어진 스테이지 속도(v)를 산출한다:

수학적 식 7

$$v = npM/T$$

[0082]

[0083] 여기서 n은 상수이다

[0084] 기관의 노광 사이의 시간은 2T이며, 이 시간 중에 SLM(120) 상의 패턴은 2n 행 시프트될 것이다. 원래, n은 1 이상의 모든 값일 수 있지만; n에 대한 실제 선택은 1이상 및 10 이하의 정수일 것이다.

[0085] 도 32는 SLM 상의 패턴 시프팅 및 기관 상의 대응 이미지를 설명하고 있다. 본 실시예에서, 기관은 스테이지 상에 있으며, 노광 중에 x 방향으로 일정한 속도로 이동한다. 다음은 도 30을 참조하여, 12행 6열 영역을 갖는 요소 어레이(3200)인 SLM(120)의 부분; 그에 대응하는 4행 6열 영역을 갖는 픽셀 어레이(3202)인 기관(140)의 부분; 투사된 행 피치(픽셀의 폭)(1008)를 갖는 수득 이미지(3207)를 도시한다.. 수득 이미지는 전체 노광 시리즈의 완료로 인해 가능한 기관상의 1개의 잠상을 나타낸다. SLM 및 기관의 대응 부분의 "스냅샷(snapshot)"은 균등하게 간격을 둔 시간(T1~T7)으로 도시되며, 여기에서 시간 간격은 T[시간(T1~T5)는 타이밍도에서 표시됨, 도 31 참조]이다. SLM 및 기관의 부분은 도 32에서 각각 M 및 S로 표시되어 있다. SLM 어레이(3200), 기관 어레이(3202) 및 수득 이미지(3207)는 바로 위에서 정지좌표계(160)의 -z 방향으로 내려다보는 것처럼 도시된다. 용이하게 설명하기 위해, 각 "스냅샷"에서 SLM과 기관 어레이는 서로 인접하게 도시한다. 수득 이미지에서 투사된 행 피치(1008)는 투사 렌즈 시스템(430)의 배율과 SLM 어레이(3200)의 행 피치의 곱이다. 그러나, 용이하게 설명하기 위해, 각 "스냅샷"에서 SLM과 기관 어레이는 동일한 크기와 배향을 갖는 것으로 도시되어 있다. 어레이(3200, 3202)의 그리드 및 이미지(3207)는 단지 참조를 위한 것이다. 3200에서 밝은 색 사각형은 "온" 상태의 SLM 요소에 해당하는 반면, 어두운 색 사각형은 "오프" 상태의 SLM 요소에 대응한다. 3202에서 밝은 색 및 어두운 색 영역들은 상기 "스냅샷"을 위한 SLM 요소들의 상태에 대응한다. 도 32에 나타난 실시예는 n=2인 경우이다. 노광은 2T마다 수행되며, SLM 어레이 상의 패턴은 상기 시간주기 동안 4행이 이동된 것으로 보인다. 도 32의 기관이 노광 중에 2배 신속하게 이동해도, 수득 이미지는 도 10에 도시된 바와 동일하다.

[0086] 도 30 내지 32와 관련하여 상기에 기재된 접근 방법은 SLM의 스위칭 시간을 줄이지 않고, 기관의 생산량을 증가시키는 방법의 예이다. 기관의 생산량이 여전히 증가할 수 있기 때문에 SLM에 대한 최소 스위칭 시간이 사용되고 있는 경우 이것은 중요하다. 생산량에서 상기 증가의 비용은 (노광 사이에 2n 행의 이동을 수용하기 위한) 더 많은 수의 행을 가진 SLM과 광 스위칭 기구를 포함한, 보다 복잡한 광 리소그래피 도구이다.

[0087] 명확하게, 도 30의 도구는 상기에 기재된 것과 같이 그레이 레벨의 기술을 수행하기 위해서 사용될 수 있다. 도 30의 도구는 도 1에서 6까지의 도구에 대해 앞에서 기재한 것과 같이, 여러 방법으로 변형 및 작동시킬 수 있다. 예를 들어, 도 2와 3에서 나타내는 것과 같은 다양한 이미지 이동 기구가 도 30의 도구에 통합될 수 있다.

- [0088] 도 30에서의 광 스위칭 기구(121)는 다른 위치, 즉 광경로상의 SLM(120)의 앞쪽과 그 너머 둘 다의 위치에서 명확하게 효과적일 수 있으며, 적당한 광 조정이 가능해진다. 광 스위칭 기구는 광원에 통합될 수 있으며, 심지어 광원(예를 들어, 펄스 레이저)의 본질적인 특성일 수 있다. 광 스위칭 기구는 광 경로를 따라 광의 통과를 조절할 수 있는 SLM, 셔터, 회전 미러 또는 임의의 기타 광 소자일 수 있다. 당 업계의 통상적인 기술을 가진 자들은 상기 광 스위칭 기구가 본 발명의 광 리소그래피 도구의 여러 실시양태에 결합되고 사용될 수 있는 여러 방법을 알고 있을 것이다. 예를 들어, 도 30에서 도시된 SLM(121)과 SLM(120) 사이에 몇몇 렌즈를 추가하면 SLM(121)의 픽셀 이미지가 SLM(120)의 픽셀 상에 1 대 1로 대응하여 집속되며, 이것은 SLM(121)이 다른 블록의 어레이 요소와는 별개로 광의 통과를 조절하거나 심지어 개별 요소 단위로 광의 통과를 조절하는데 사용될 수 있게 한다.
- [0089] 이제 광 스위칭 기구가 SLM(120)보다 더 신속하게 스위칭될 수 있는 경우를 고려한다. 도 33에서, SLM(120)과 광 스위칭 기구의 스위칭의 타이밍이 각각 파형 (3320)과 (3321)로 나타내었다. SLM(120)이 "온" 상태에 있으면, SLM의 모든 요소들은 개별적으로 "온" 또는 "오프"일 수 있으며, 다른 말로 하면 노광 패턴이 SLM상에 로드될 수 있다. SLM(120)이 "오프" 상태이면, SLM의 모든 요소들은 "오프"이다. SLM상의 패턴은 매 시간 간격(T)에서 스위칭될 수 있다. 광 스위칭 기구는 단순한 2개의 상태 "온"/"오프" 스위치로 구성된다. SLM과 광 스위칭 기구 둘 다가 "온"상태일 경우에만 광이 기판에 도달할 수 있다. 광 스위칭 기구는 광이 기판에 도달하는 제한 시간 구간(T/n)을 제공한다. 상기 시간 구간 동안에, 투사된 이미지는 1개의 투사된 미러 피치(pM)의 거리(기판 표면상의 1개 픽셀의 길이와 동일함)를 기판 표면을 가로질러 이동해야 한다. 상기 수학적 7로 주어지는 스테이지 속도(v)가 얻어진다. 기판의 노광 사이의 시간은 T 이며, 이 시간 동안 SLM(120)상의 패턴은 n 행만큼 이동할 것이다. 원칙적으로 n 은 1보다 큰 임의의 값을 가질 수 있지만, 실제로는 1보다 크고 20보다 작은 정수인 n 을 통상적으로 선택하며, 어느 경우이나 시간 구간은 상기 스위칭 시간 간격의 약수일 것이다.
- [0090] 도 34는 2개의 SLM 영역 어레이(3420, 3421)로부터의 투사된 이미지가 기판 표면에 중첩하도록 광학기구가 배치된 광학 리소그래피 도구를 나타낸다. 원한다면, 상기 중첩 이미지는 레지스터(register)에 가져올 수 있다 - 픽셀별로 정확히 중첩됨. 광원(110)과 프리즘(3410, 3413)은 2개의 SLM 영역 어레이(3420, 3421)에 조명을 제공한다. SLM 영역 어레이로부터 반사된 광은 프리즘(3410~3413)에 의해 결합되고, 그 다음에 이미징 광학기기(3430)에 의해 기판(140)의 감광성 표면에 투사된다. 기판(140)은 좌표축(160)의 x-y 면에서 기판을 이동시키는 스테이지 (150)에 의해 이동한다. 도 34의 광학 구성은 더 많은 SLM 영역 어레이를 포함하도록 변형될 수 있다. 3개의 SLM 영역 어레이의 투사된 이미지가 기판의 표면에 중첩하는 것을 허용하는 광학적 구성의 예가 여기서 참고문헌으로 병합된 Gibbon 등의 미국 특허 제6,582,080호에 나타나있다. 당업계의 통상적인 기술을 가진 자들은 도 34에서 도시된 도구는 도 1에서 6까지에 나타나 있는 장치의 라인을 따라 변형되어, 본 발명의 추가의 실시양태를 제공할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 도 34의 장치는 도 30의 장치와 유사한 방법으로 작동시킬 수 있다. 도구의 작동에 대한 추가의 설명은 도 35를 참조하여 설명한다.
- [0091] 도 35에서, 영역 어레이(3420, 3421)의 스위칭의 타이밍이 각각 파형 (3520)과 (3521)로 나타내었다. 어레이(3420)가 "온" 상태이면, 어레이의 모든 요소들은 별개로 "온" 또는 "오프"일 것이며, 다른 말로 하면 노광 패턴이 어레이 상에 로드될 수 있다. 어레이(3420)가 "오프" 상태이면, 어레이의 모든 요소들은 "오프"이다. 어레이(3421)에서도 동일하다. 어레이(3420, 3421)는 스위칭 사이에 동일한 시간 간격(T)를 가지며, 다른 말로 하면 동일한 스위칭 빈도를 가지지만, $T(1-1/n)$ 의 시간만큼 위상이 이동한다. 두 개의 어레이의 모든 요소는 매 다른 시간 간격에서 "오프" 스위칭 된다. 두 개의 영역 어레이는 "온" 상태이며, 두 배의 선량의 광이 매 다른 시간 간격으로 시간 구간(T/n) 동안 기판에 도달한다. 상기 시간 구간 동안, 투사된 이미지는 하나의 투사된 미러 피치(pM)의 거리(기판 표면상의 픽셀의 길이와 동일함)를 기판의 표면을 가로질러 이동해야 한다. 상기에 의해 수학적 7로 주어지는 스테이지 속도(v)가 얻어진다. 기판의 두 배 선량의 노광 사이의 시간은 $2T$ 이며, 이 시간 동안 SLM(120)상의 패턴은 $2n$ 행만큼 이동할 것이다. 충분한 두 배의 선량 노광을 수신한 픽셀만이 현상된 패턴을 형성하도록 보장하기 위해 기판의 광감성 표면의 선량과 현상 조건의 조절이 이루어진다.
- [0092] 명확하게, 도 34의 도구는 이전에 설명된 것과 같은 그레이 레벨의 기술을 수행하기 위해 사용할 수 있다. 도 34의 도구는 도 1 내지 6, 및 30의 도구에서 이미 설명한 것과 같은 여러 방법으로 작동 및 변형될 수 있다. 예를 들어 다양한 이미지 이동 기구는 도 2와 3에서 나타난 것과 같이 도 34의 도구로 통합될 수 있다.
- [0093] 도 34의 광학 리소그래피 도구에 있어서의 작동의 대안적인 모드는 영역 어레이(3420, 3421)를 동위상으로 작동시키는 것이다. 상기의 경우에, 기판의 속도는 수학적 1로 제한될 것이다. 상기 작동 모드는 단일 영역 어레이가 단위 시간 당 충분히 많은 선량을 운발할 수 없는 경우에 유용할 것이다.

[0094] 도 8과 9의 설명에 관련하여, SLM 영역 어레이는 기관상의 투사된 이미지의 픽셀의 열이 이미지 자체의 이동 방향과 평행하도록 방향이 설정된다. 상기에 의해 이동 방향에 직교하는 픽셀의 에지에 블러링이 발생하지만, 이동 방향에 평행인 에지는 이동에 의해 블러링되지 않는다. 그레이 레벨의 기술을 실행하기 위해서, 이동 방향과 평행한 에지는 또한 블러링되어야 한다. 평행인 에지의 블러링은 상기에서 기재된 여러 방법으로 획득될 수 있으며, 이 방법들은 모두 기관 표면에 SLM의 블러링된 이미지의 투사를 수반한다. 상기에 설명된 광학 리소그래피 도구의 모든 실시양태에서 사용될 수 있는 블러링된 에지를 달성하기 위한 대안적인 접근 방법이 있으며 - 기관상의 투사된 이미지의 픽셀 열이 이미지 자체의 이동 방향에 평행하지 않도록 하는 방법으로부터 SLM 영역 어레이의 방향이 정해진다. 예를 들어, 투사된 이미지의 열은 이동 방향에 대해 45도의 각도로 존재하며, 상기의 경우에 정사각형 픽셀의 모든 에지는 단지 이동에 의해서 균일하게 블러링될 것이다.

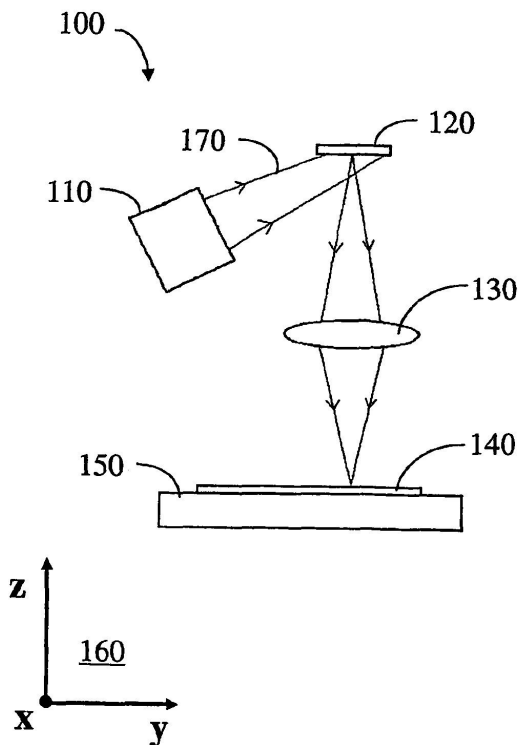
[0095] 본 발명은 특정 실시양태와 관련하여 설명하였으나, 본 상세한 설명은 설명을 목적으로만 하며, 하기에 청구된 본 발명의 범주를 제한하여 설명하지는 않는다.

부호의 설명

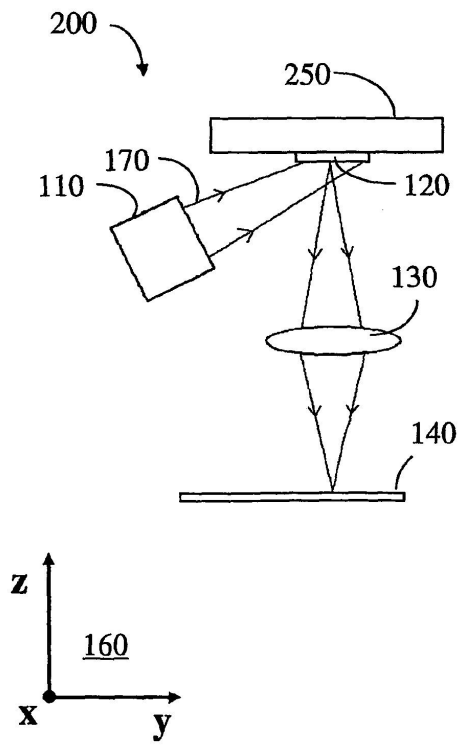
[0096] 100 : 광 리소그래피 도구 110 : 광원
120 : 공간 광변조기 130 : 이미징 광학기기
140 : 기관 150 : 스테이지
160 : 좌표축 170 : 광선

도면

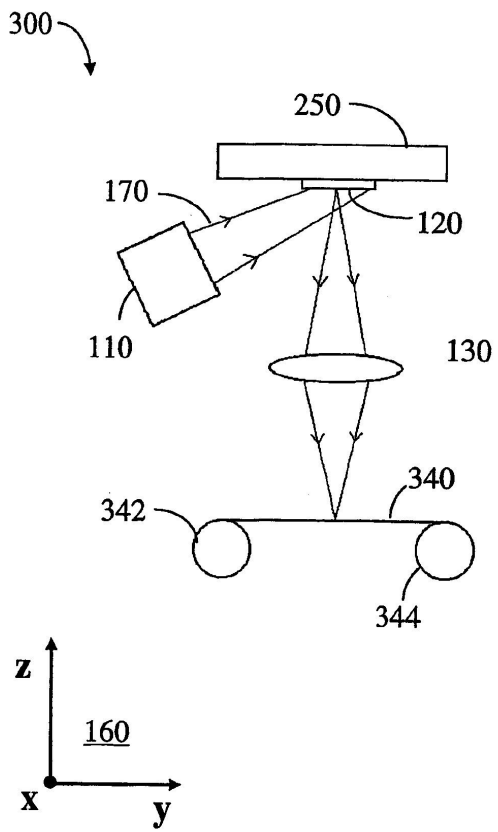
도면1



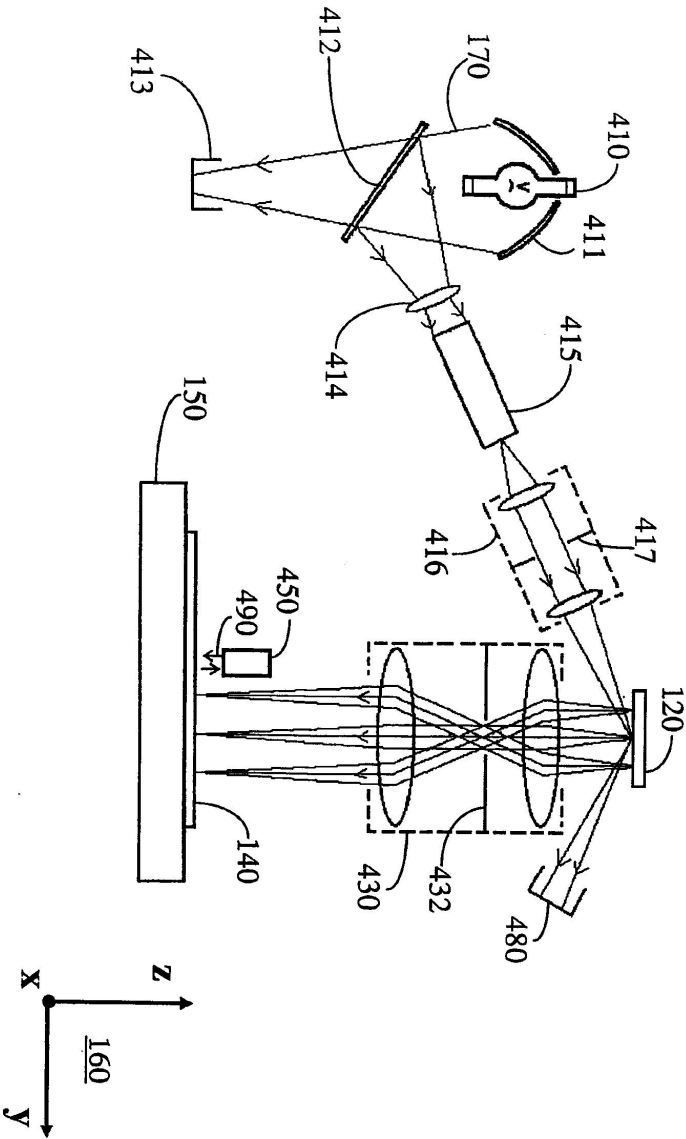
도면2



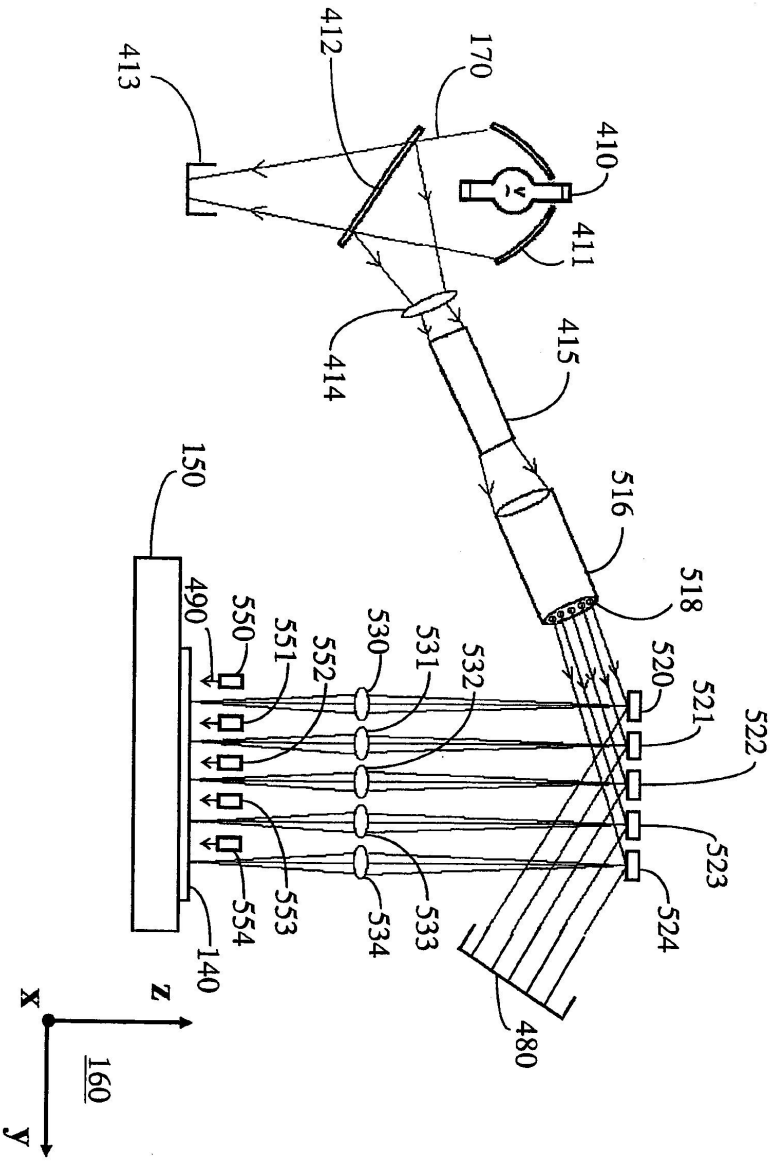
도면3



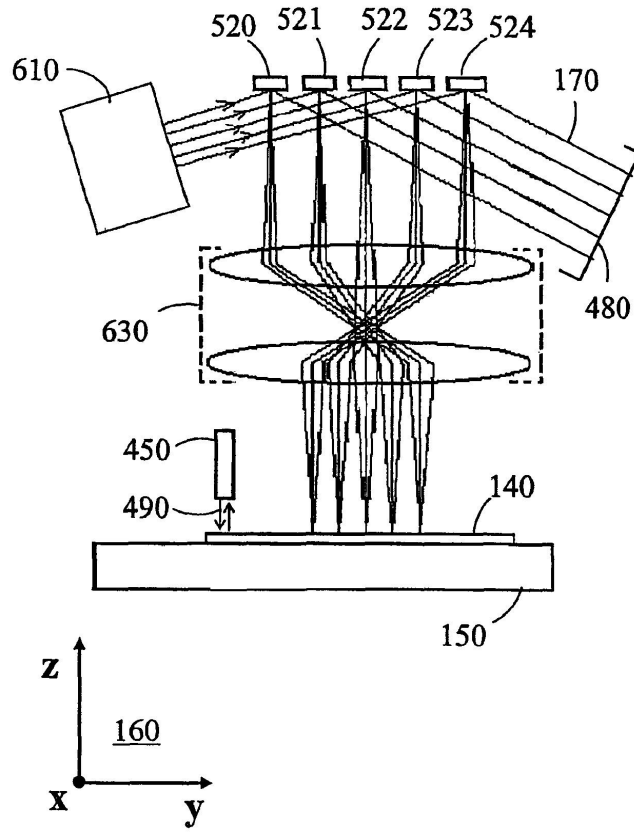
도면4



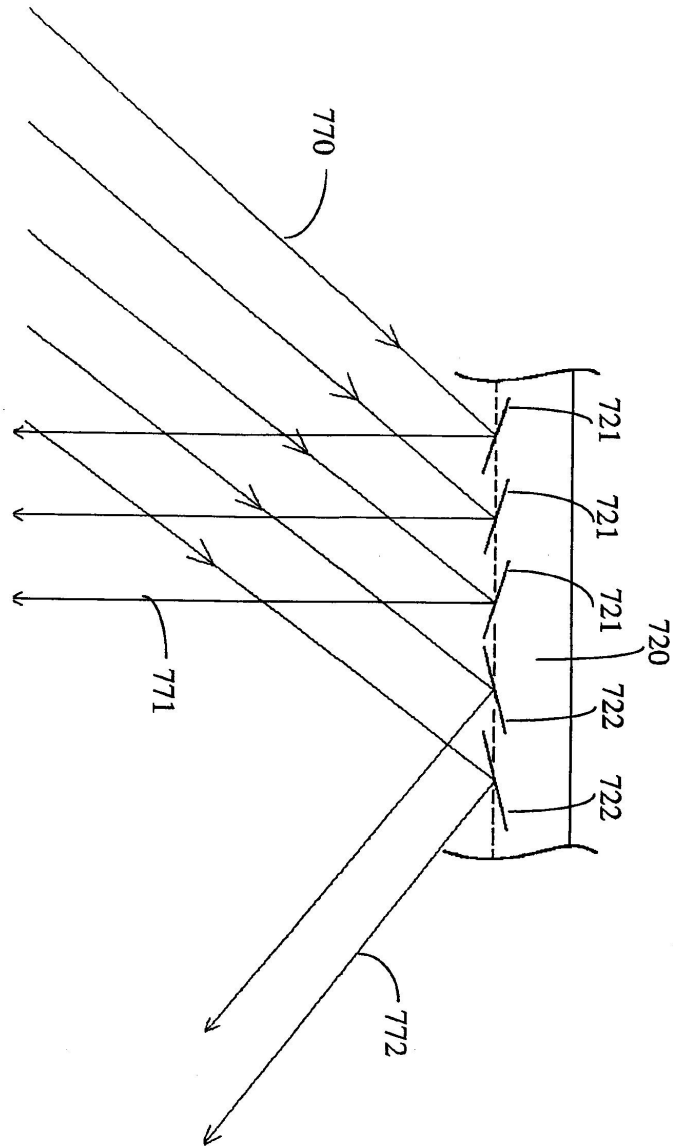
도면5



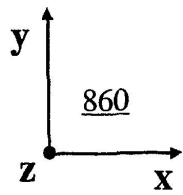
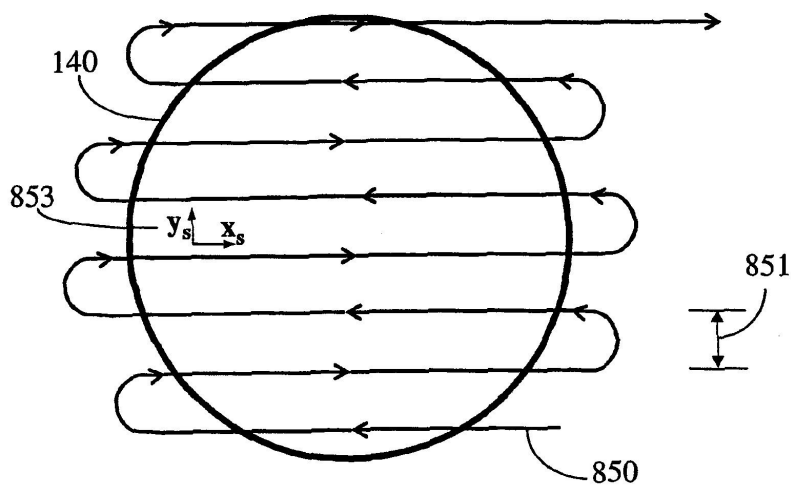
도면6



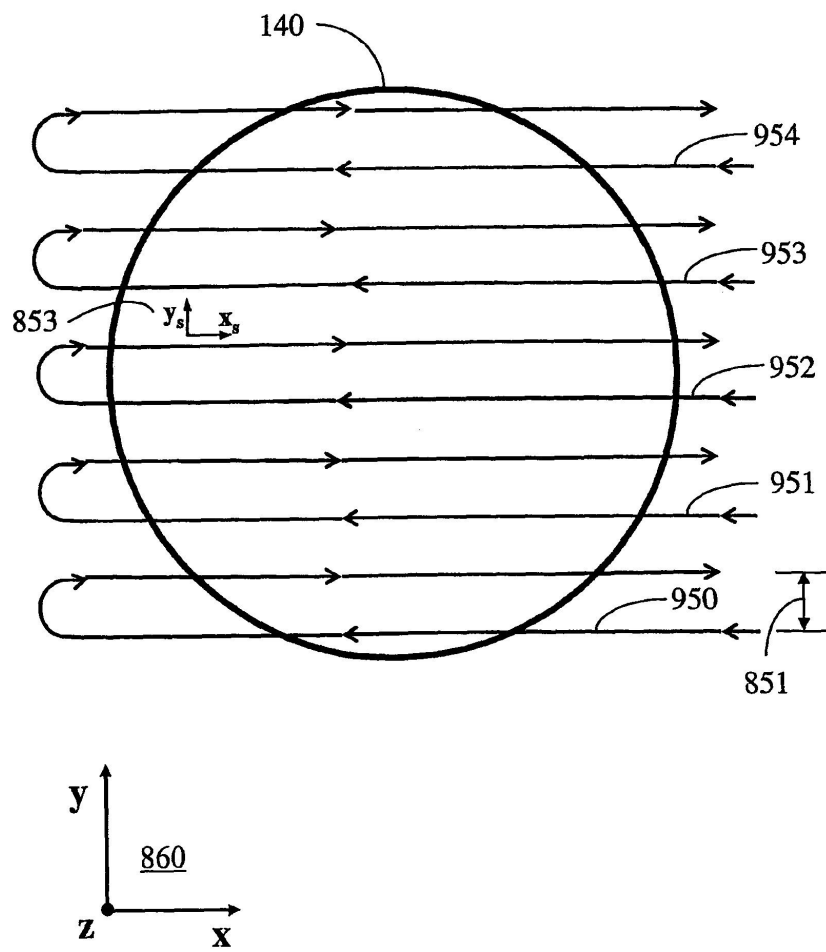
도면7



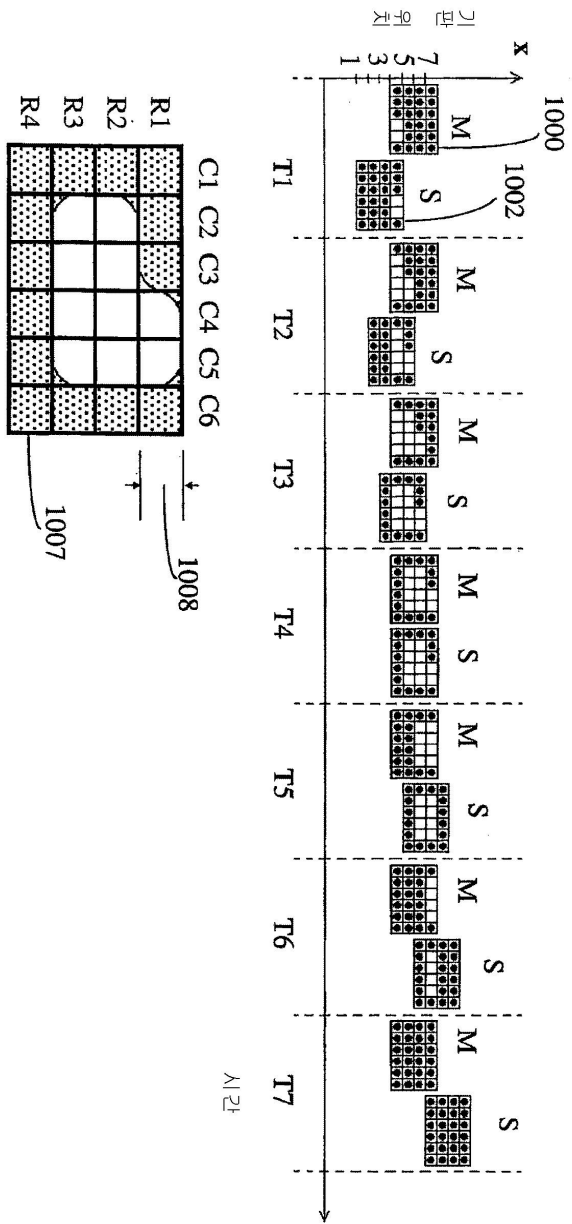
도면8



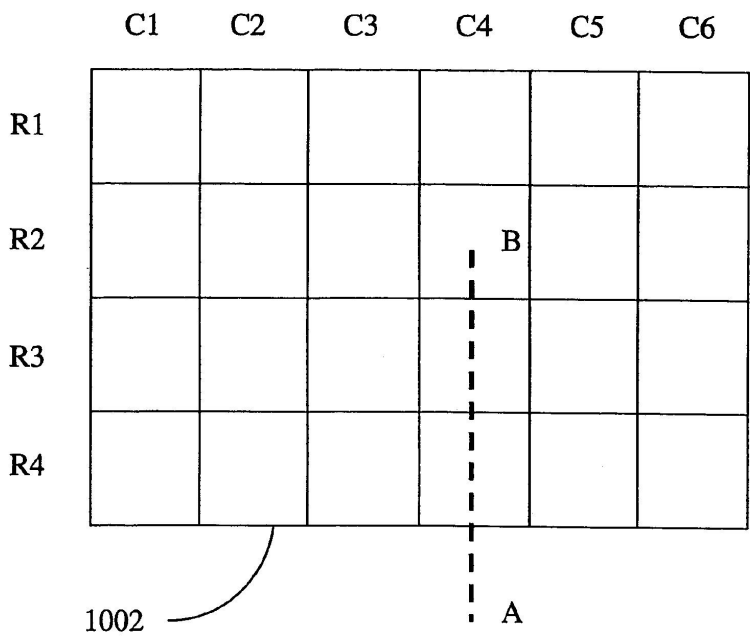
도면9



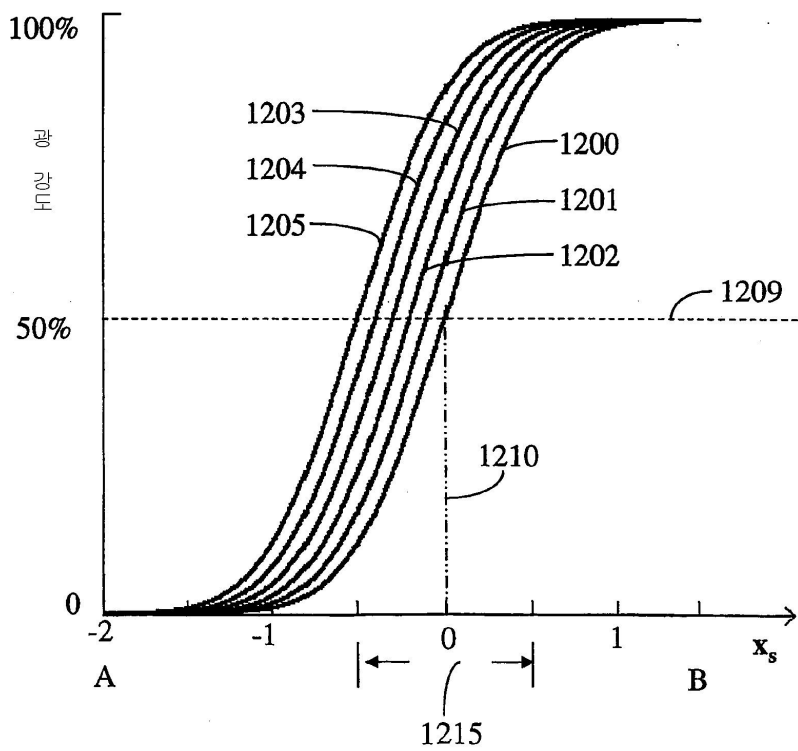
도면10



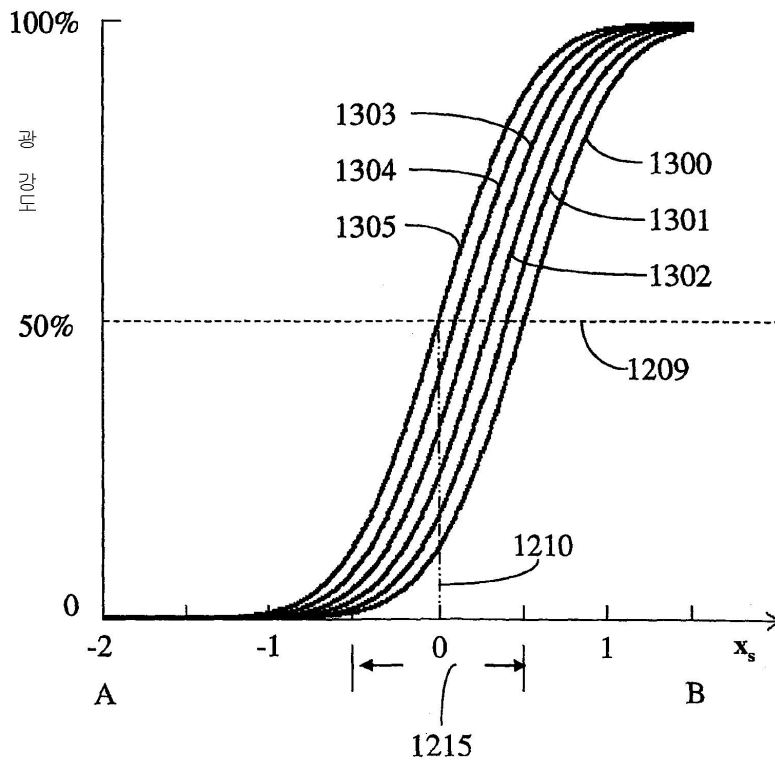
도면11



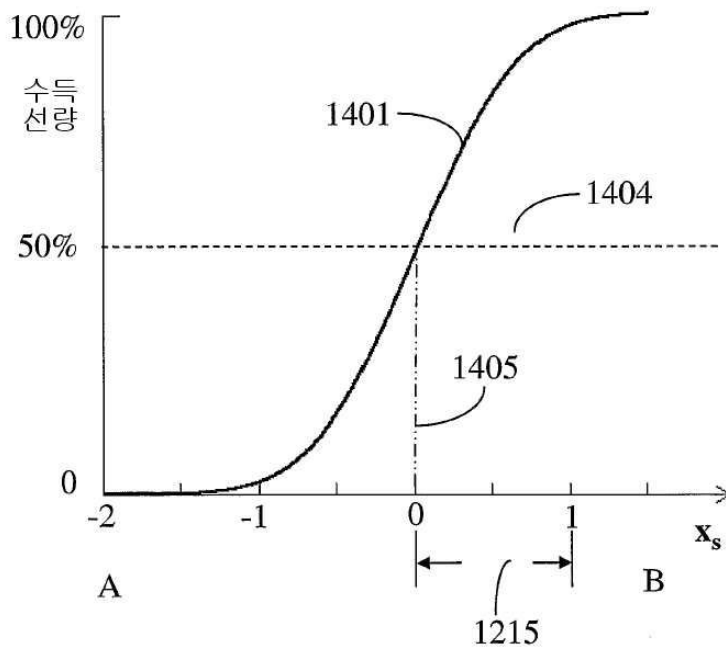
도면12



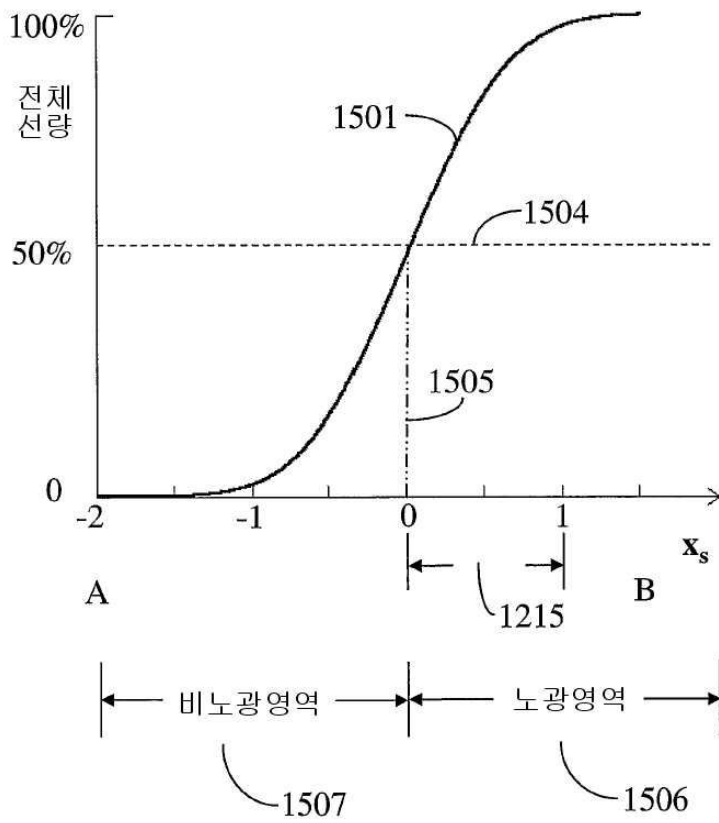
도면13



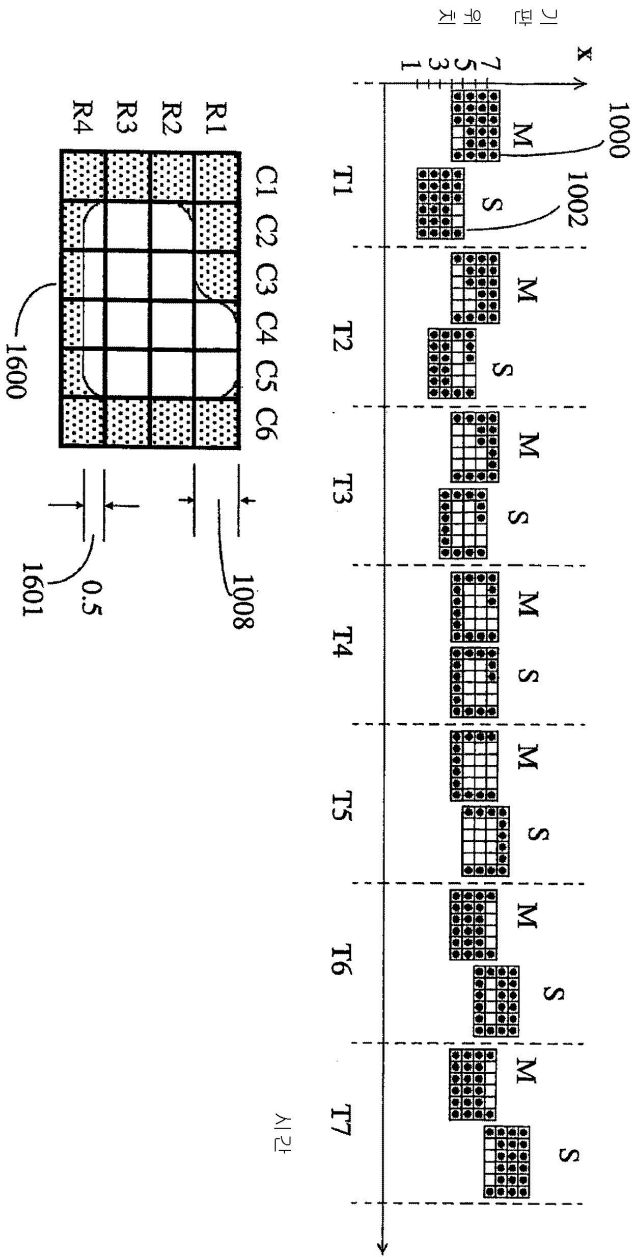
도면14



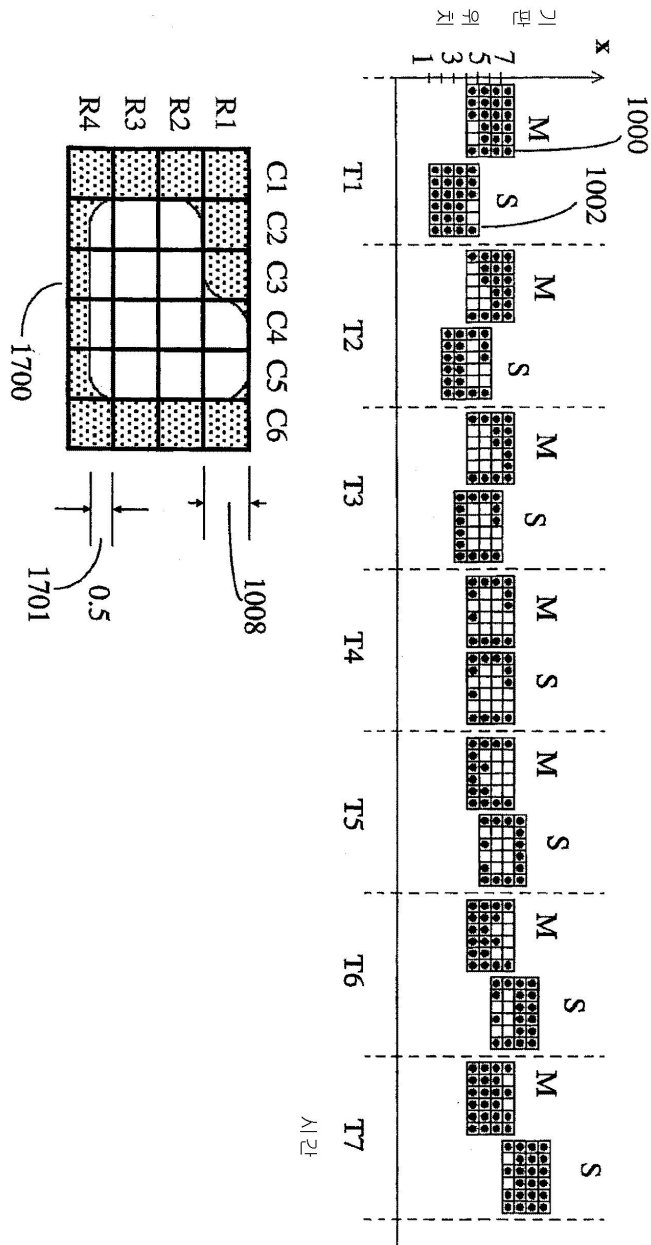
도면15



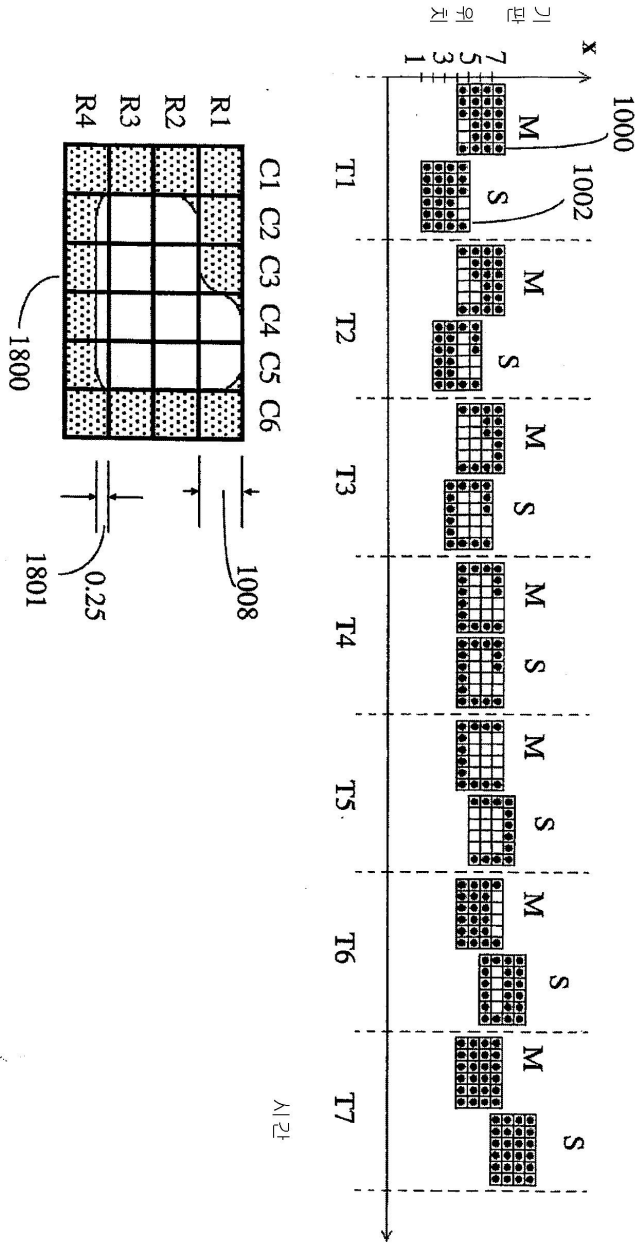
도면16



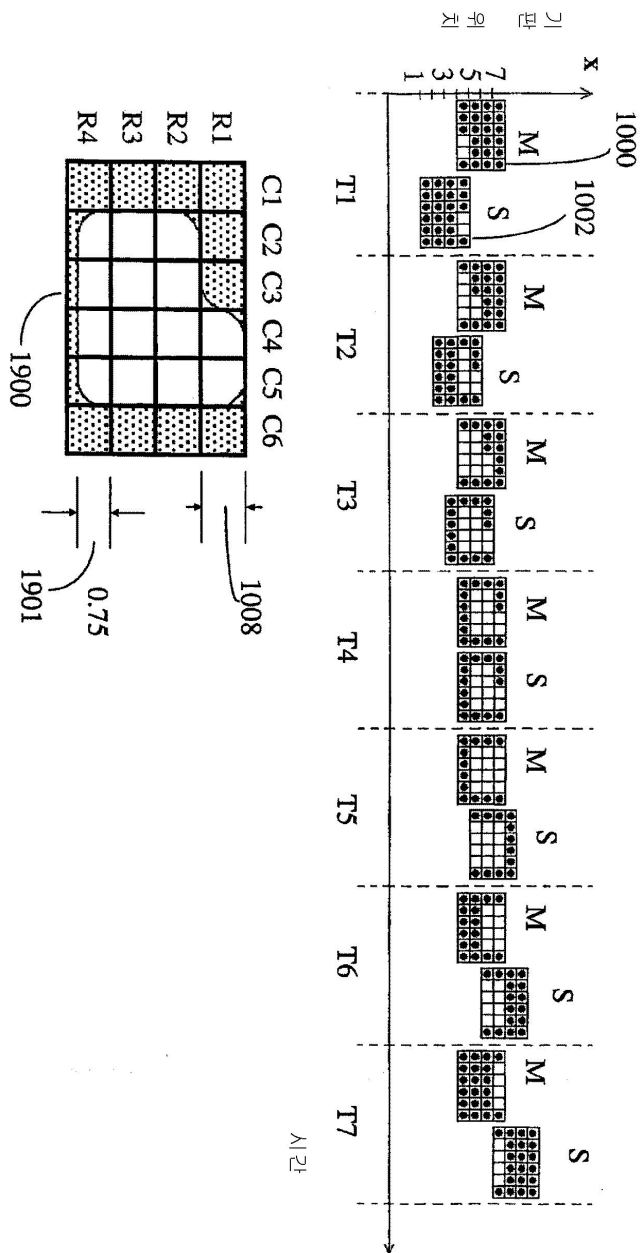
도면17



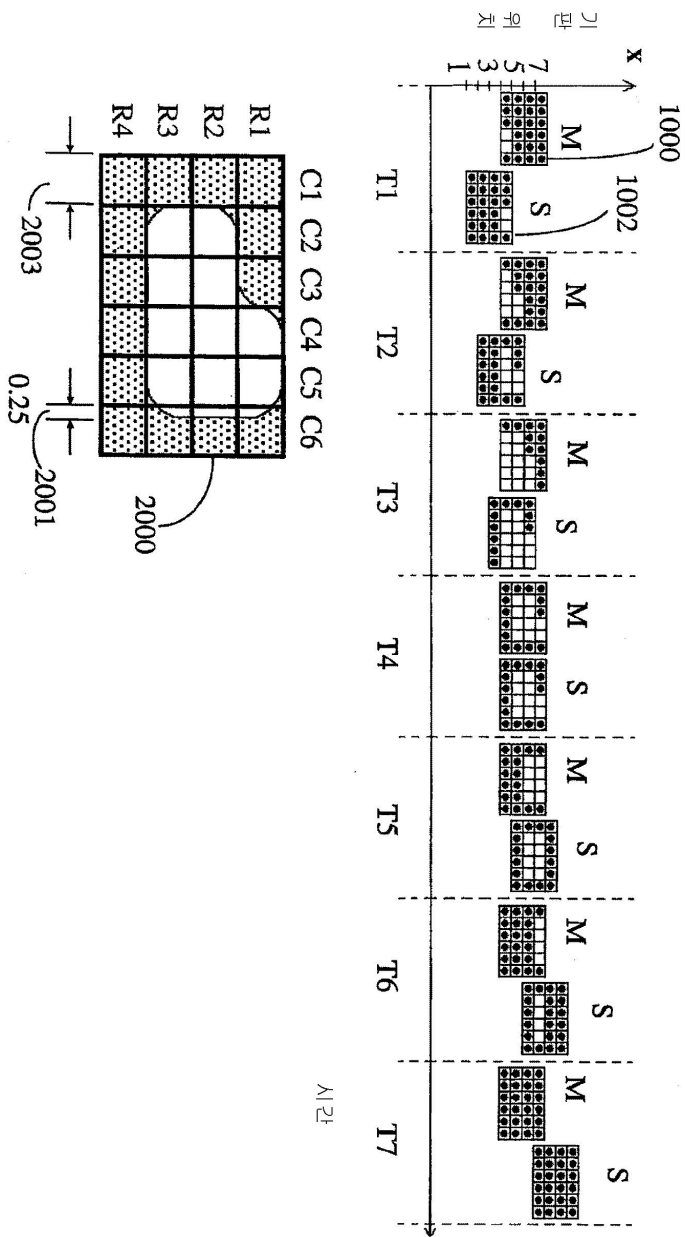
도면18



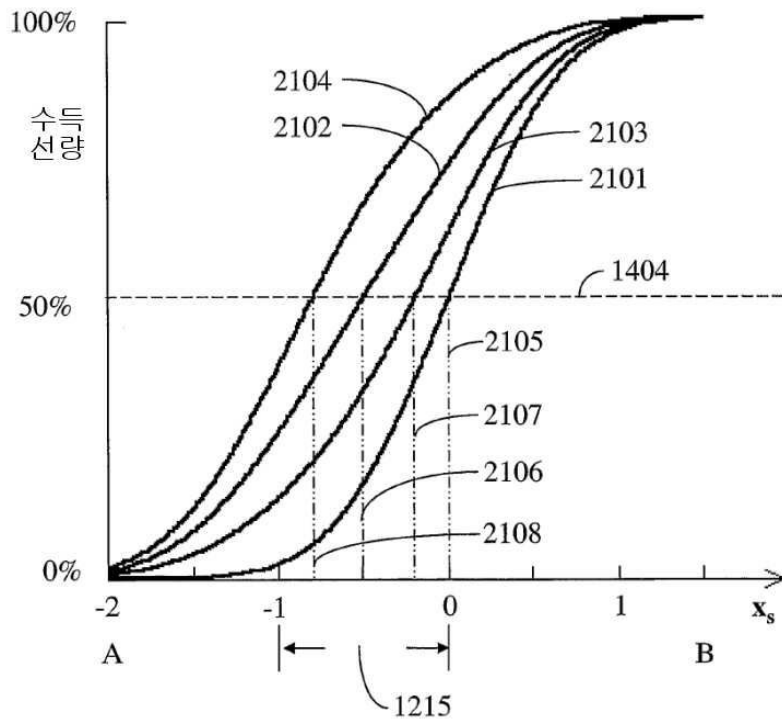
도면19



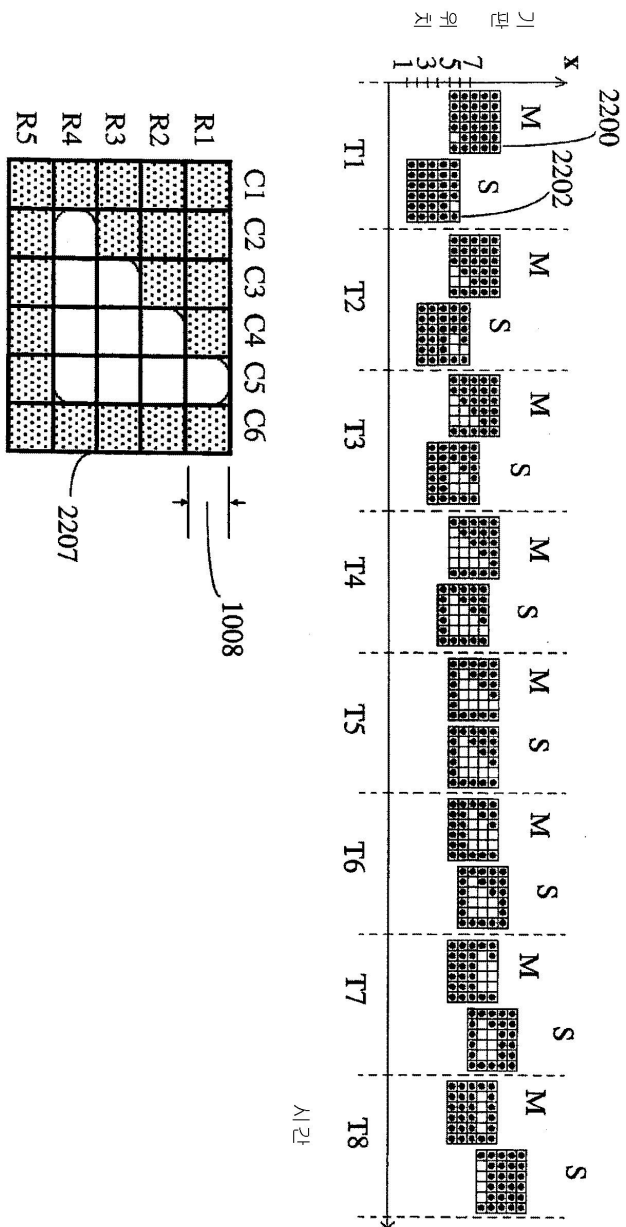
도면20



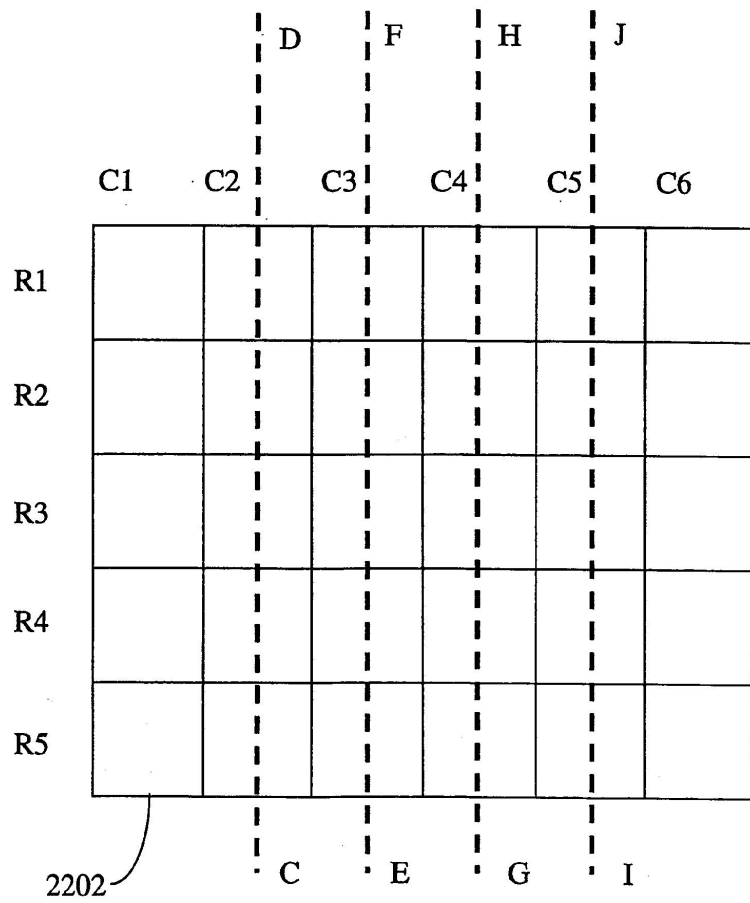
도면21



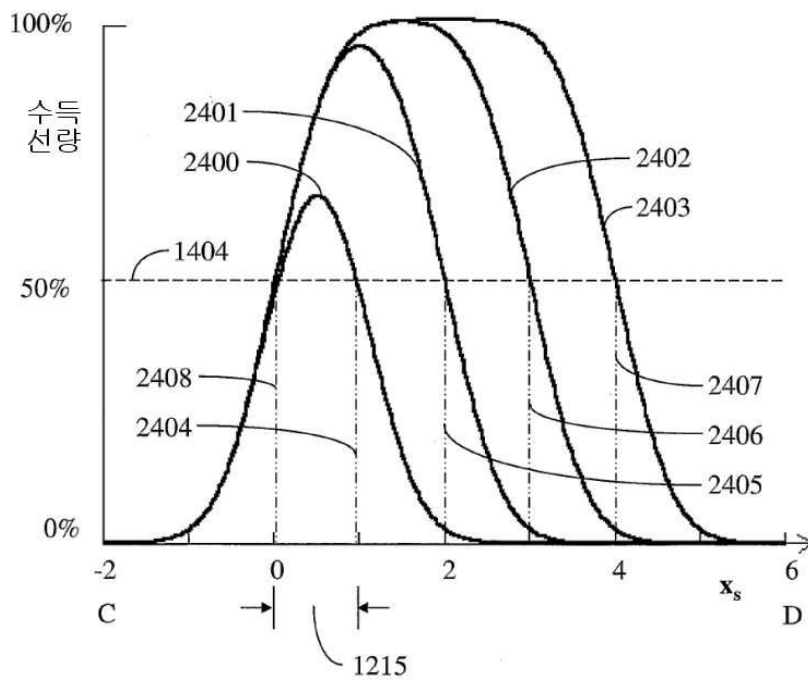
도면22



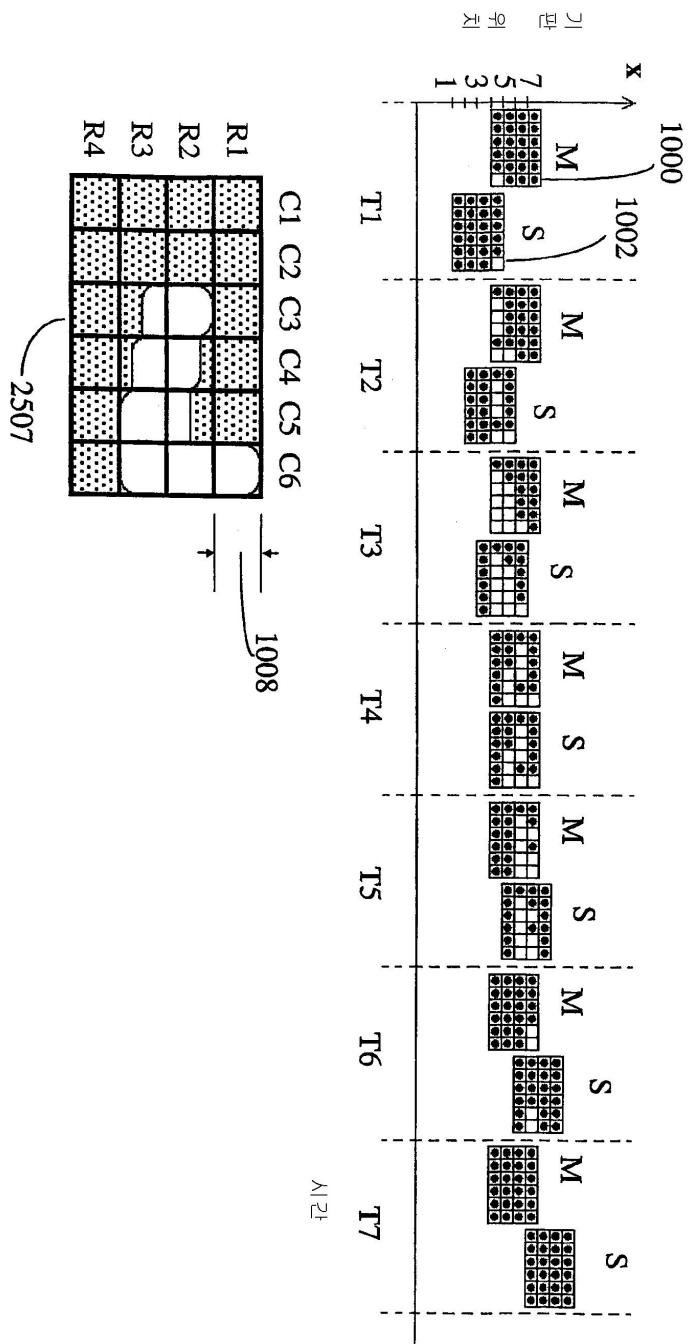
도면23



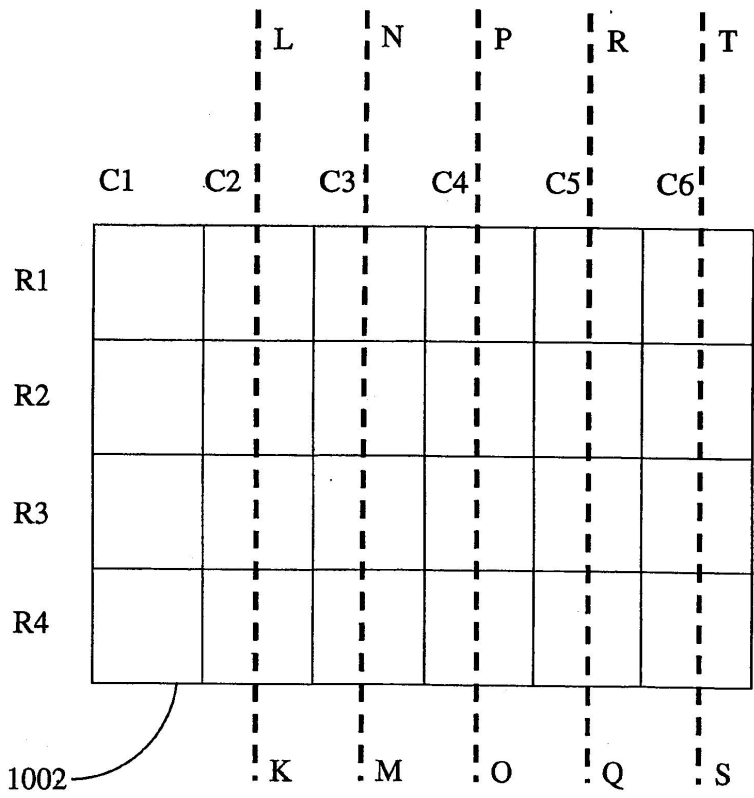
도면24



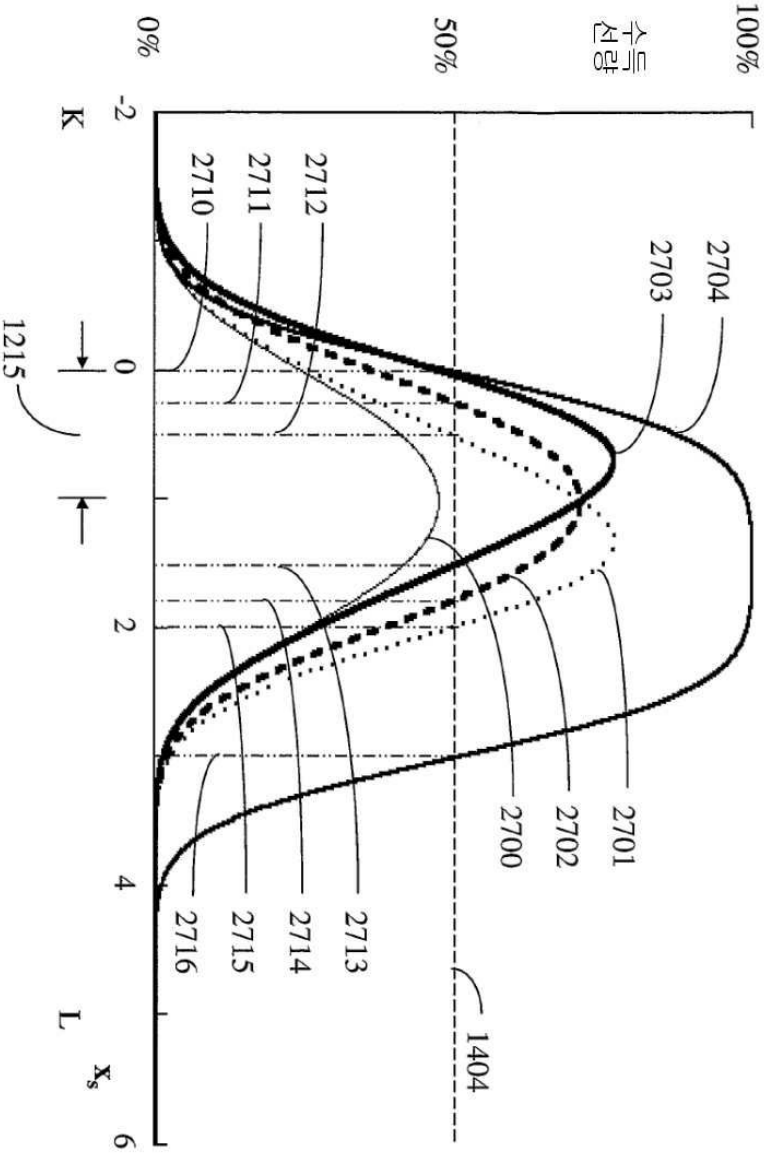
도면25



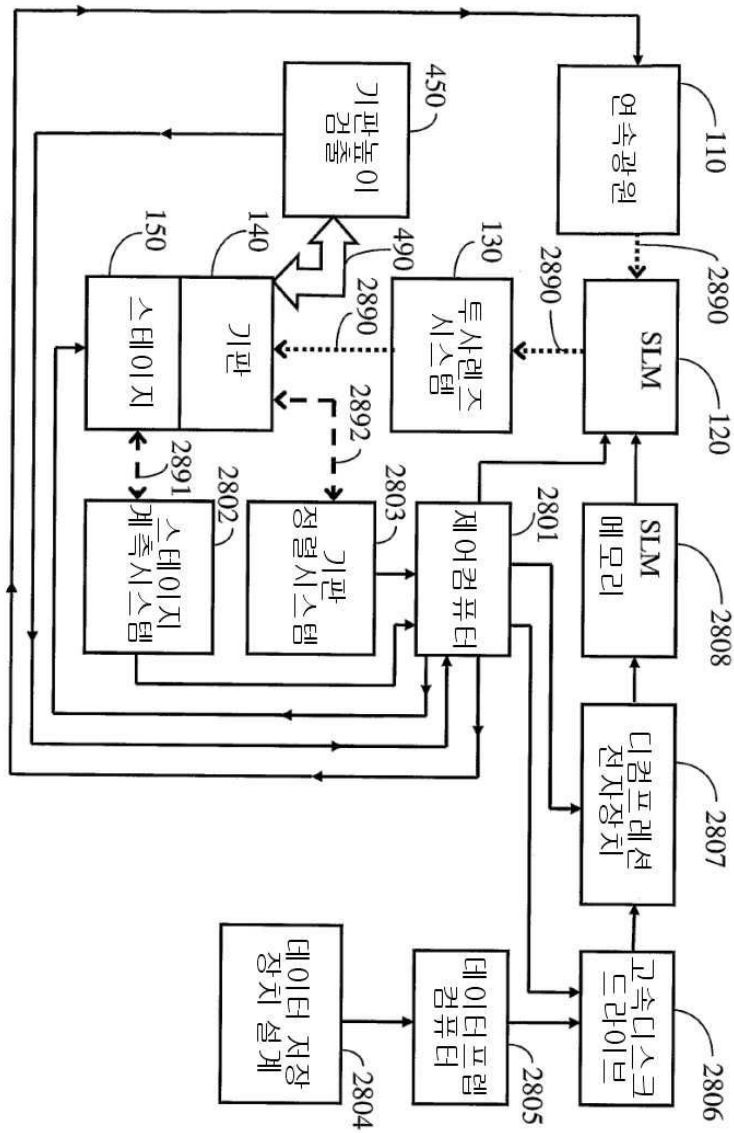
도면26



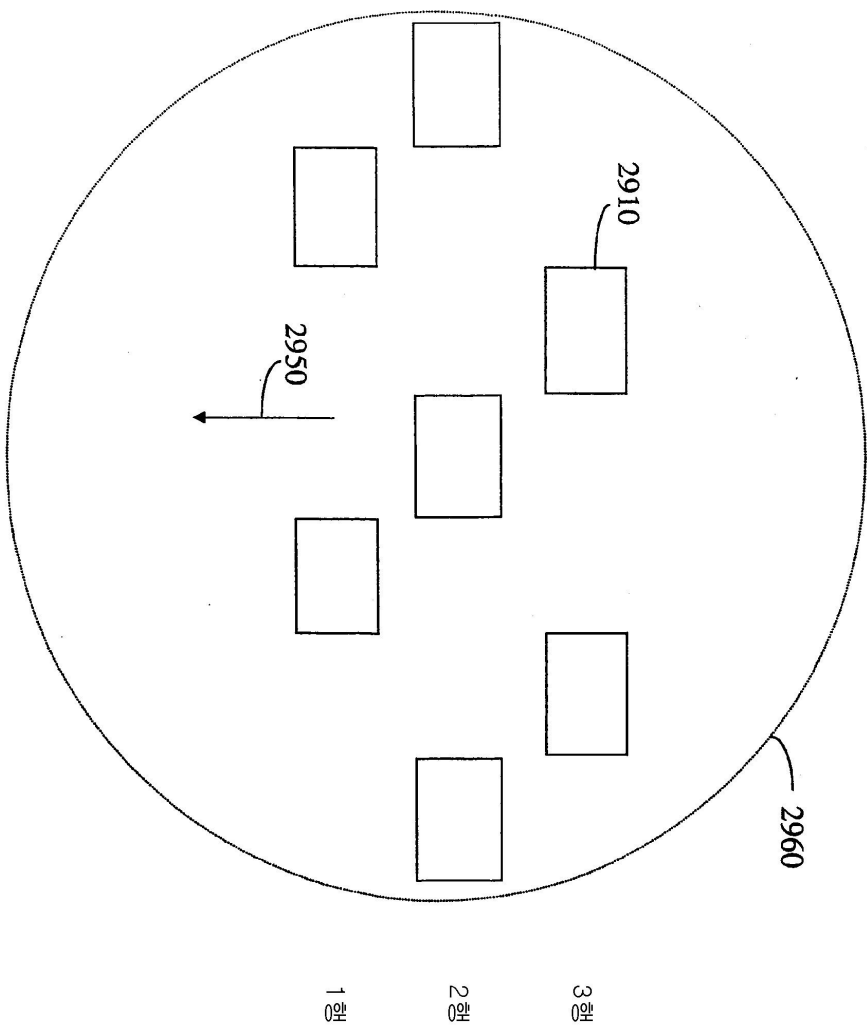
도면27



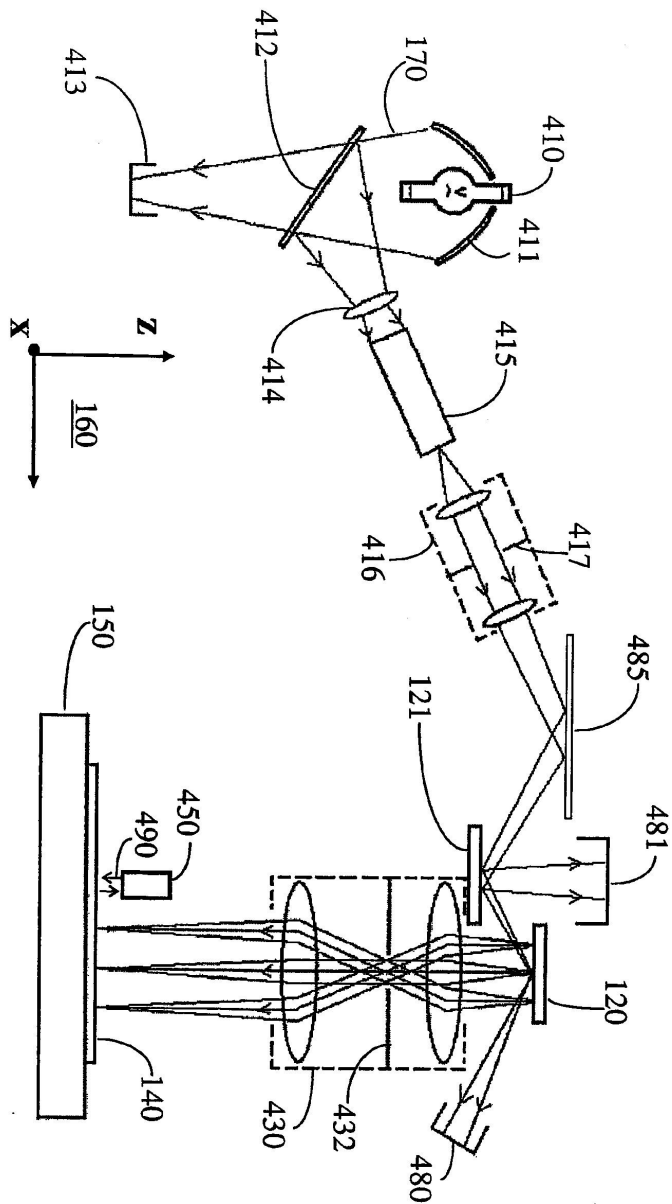
도면28



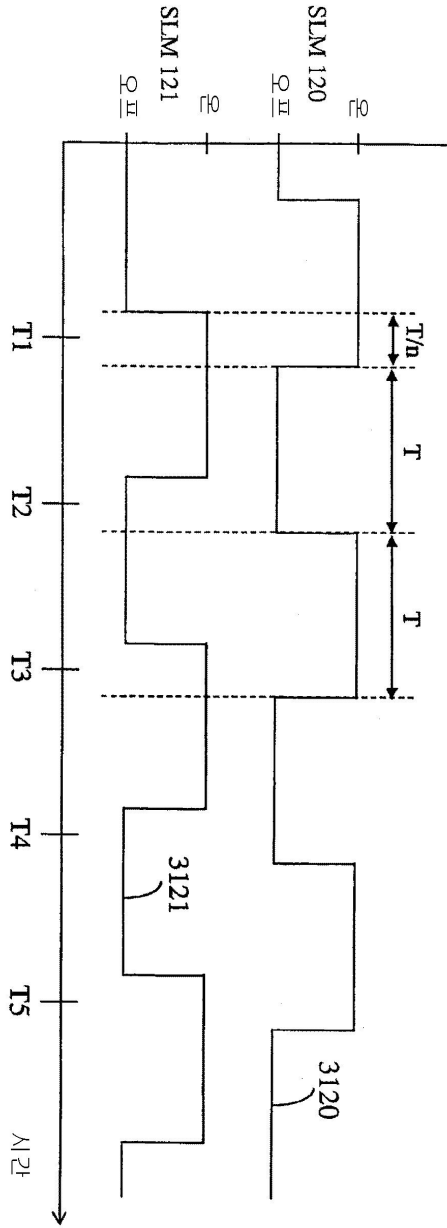
도면29



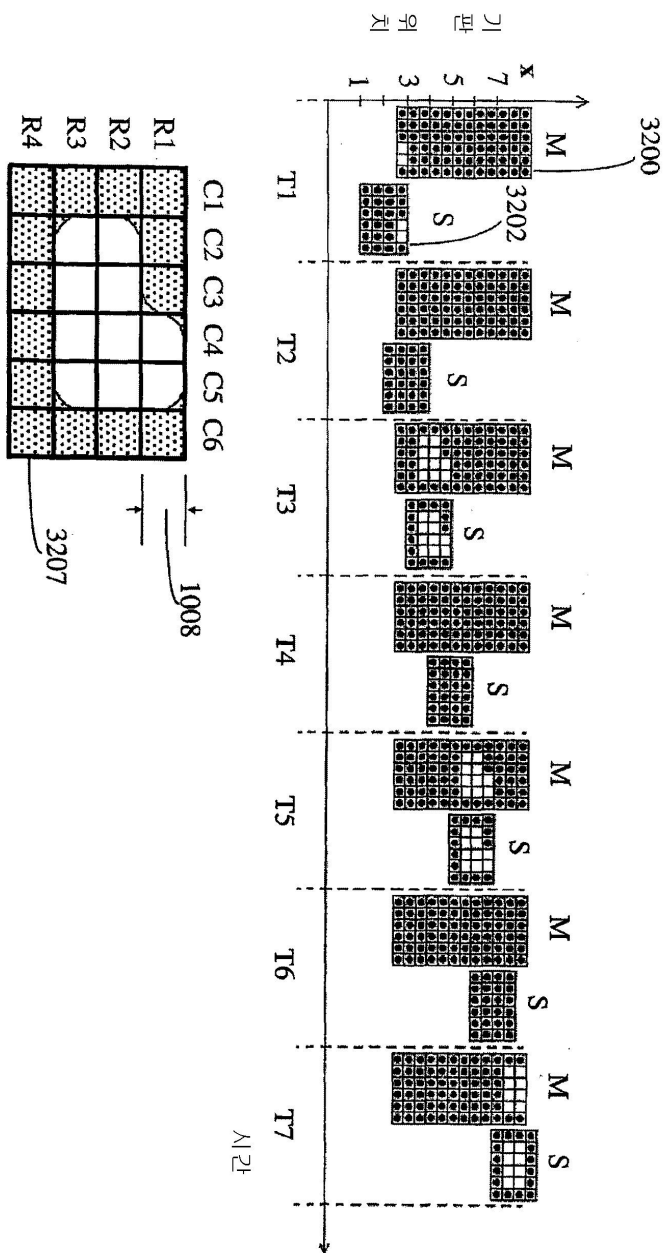
도면30



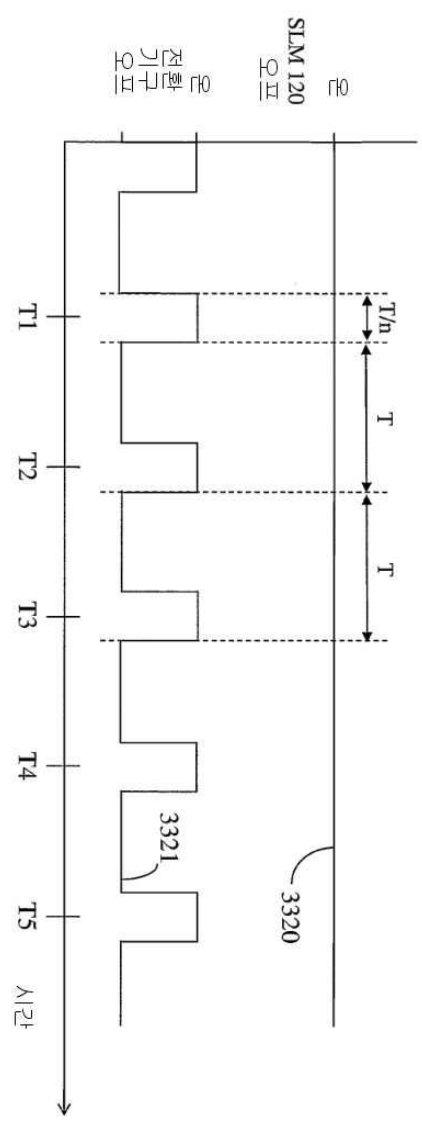
도면31



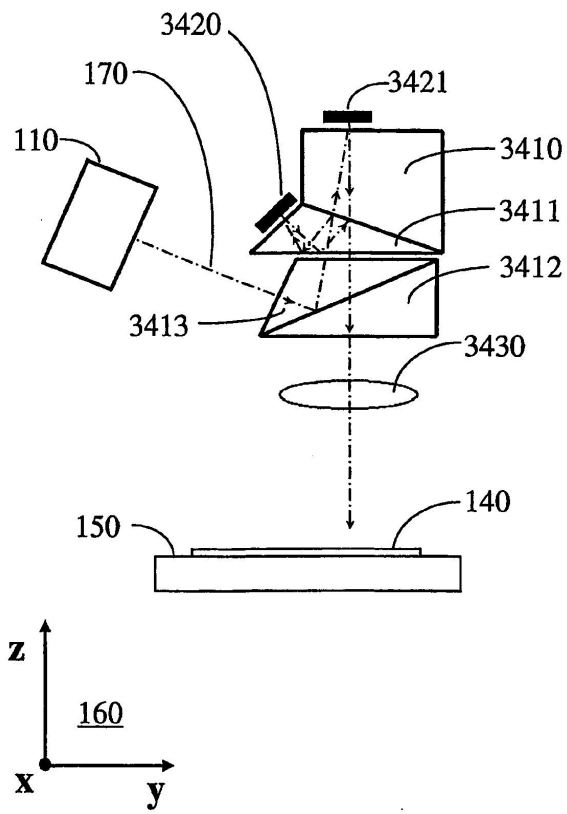
도면32



도면33



도면34



도면35

