



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년11월03일
(11) 등록번호 10-2321944
(24) 등록일자 2021년10월29일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 3/40 (2006.01) G06T 5/00 (2019.01)
- (52) CPC특허분류
G06T 3/4076 (2013.01)
G06T 5/003 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7022208
- (22) 출원일자(국제) 2017년11월29일
심사청구일자 2020년11월25일
- (85) 번역문제출일자 2019년07월26일
- (65) 공개번호 10-2019-0092605
- (43) 공개일자 2019년08월07일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2017/063750
- (87) 국제공개번호 WO 2018/125495
국제공개일자 2018년07월05일
- (30) 우선권주장
15/391,520 2016년12월27일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2011188478 A
JP2011196731 A
JP2013542468 A
JP2016010080 A

- (73) 특허권자
케이엘에이 코포레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크
놀로지 드라이브
- (72) 발명자
리우 헬렌
미국 캘리포니아주 94539 프리몬트 토노파 코트
48617
파트나크 로희
미국 캘리포니아주 95035 밀피타스 라스 로마스
드라이브 909
오스본 스테판
미국 캘리포니아주 94114 샌프란시스코 산체스 스트리트 1257
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 26 항

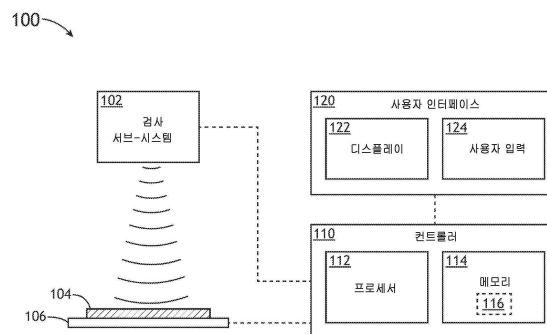
심사관 : 김창원

(54) 발명의 명칭 **저해상도 검사 이미지들로부터 고해상도 점 확산 함수들을 재구성하기 위한 시스템 및 방법**

(57) 요약

하나 이상의 저해상도 이미지들로부터 하나 이상의 고해상도 점 확산 함수(PSF)를 재구성하는 방법은, 웨이퍼의 하나 이상의 저해상도 이미지들을 획득하는 단계, 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들을 집합하는 단계, 및 하나 이상의 저해상도 이미지들에서 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들을 추정하고, 집합된 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들로부터 하나 이상의 고해상도 PSF를 동시에 재구성하는 단계를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류
G06T 2211/416 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

시스템에 있어서,

하나 이상의 웨이퍼 상의 하나 이상의 결함을 검출하도록 구성된 하나 이상의 이미징 센서를 포함하는 검사 서버 시스템;

상기 하나 이상의 웨이퍼를 고정하도록 구성된 스테이지; 및

상기 검사 서버 시스템의 상기 하나 이상의 이미징 센서에 통신 가능하게 결합된 컨트롤러

를 포함하고,

상기 컨트롤러는 메모리에 저장된 프로그램 명령들의 세트를 실행하도록 구성된 하나 이상의 프로세서를 포함하고,

상기 프로그램 명령들은, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금:

웨이퍼의 하나 이상의 저해상도 이미지 - 상기 하나 이상의 저해상도 이미지는 하나 이상의 저해상도 이미지 패치를 포함하고, 상기 하나 이상의 저해상도 이미지 패치는 하나 이상의 서브 픽셀 시프트를 포함함 - 를 획득하게 하고;

상기 하나 이상의 저해상도 이미지 패치를 집합시키게 하고;

상기 하나 이상의 서브 픽셀 시프트를 추정하게 하고, 또한 상기 집합된 하나 이상의 저해상도 이미지 패치 및 상기 추정된 하나 이상의 서브 픽셀 시프트로부터 하나 이상의 고해상도 점 확산 함수(PSF : Point Spread Function)를 동시에 재구성하게 하도록

구성되는 것인, 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 서브 픽셀 시프트는, 상기 스테이지의 방사형 모션(radial motion)을 추적하는 하나 이상의 스테이지 인코더 또는 상기 스테이지의 병진 모션을 추적하는 하나 이상의 스테이지 인코더 중 적어도 하나에 의해 추적되는 것인, 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 서브 픽셀 시프트는 하나 이상의 랜덤 서브 픽셀 시프트, 하나 이상의 제어된 서브 픽셀 시프트, 또는 하나 이상의 보고된 양자화된 서브 픽셀 시프트 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 웨이퍼의 하나 이상의 검사 영역의 하나 이상의 저해상도 이미지는, 상기 검사 서버 시스템의 하나 이상의 인코더 또는 상기 컨트롤러의 하나 이상의 인코더로 집합되어지는 것인, 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 프로그램 명령들은 또한, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금;

하나 이상의 초해상도 방식(procedure)을 통해 상기 하나 이상의 고해상도 PSF를 재구성하게 하도록 구성되는 것인, 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 하나 이상의 초해상도 방식은 상기 검사 서버 시스템의 주파수 도메인에 의존하는 적어도 하나의 선형 방식 세트를 포함하는 것인, 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 프로그램 명령들은 또한, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금:

상기 하나 이상의 재구성된 고해상도 PSF를 이용하여 하나 이상의 진보된 애플리케이션을 수행하게 하도록 구성되는 것인, 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 하나 이상의 진보된 애플리케이션은 스펙클 패턴에 기초하여 필름들에 있어서의 이미지 스펙클 및 샷 노이즈를 감소시키는 것을 포함하는 것인, 시스템.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 하나 이상의 진보된 애플리케이션은 실제 결함들로부터 노이즈를 구별하기 위해 하나 이상의 우주선(cosmic ray) 이벤트들을 거부하는 것을 포함하는 것인, 시스템.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 하나 이상의 진보된 애플리케이션은 상기 검사 서버 시스템의 동적 범위를 확대하는 것을 포함하는 것인, 시스템.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 프로그램 명령들은 또한, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금:

하나 이상의 결함 검사 이미지를 수신하게 하고;

상기 하나 이상의 결함 검사 이미지 내의 하나 이상의 결함과 하나 이상의 노이즈를 구별하기 위해 하나 이상의 추가 초해상도 방식을 이용하여 상기 하나 이상의 결함 검사 이미지와 상기 재구성된 고해상도 PSF를 결합하게 하도록

구성되는 것인, 시스템.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 프로그램 명령들은 또한, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금:

상기 하나 이상의 고해상도 PSF에 기초하여 상기 웨이퍼에 대한 검사 레시피를 생성하게 하도록 구성되는 것인, 시스템.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 프로그램 명령들은 또한, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금:

상기 검사 서버 시스템의 하나 이상의 광학 구성 요소 - 상기 하나 이상의 광학 구성 요소는 상기 검사 서버 시스템의 교정 및 설계 중 적어도 하나를 위해 사용되는 하나 이상의 동작 파라미터를 가짐 - 를 선택하게 하고;

상기 검사 서버 시스템에 대한 하나 이상의 추가 교정 메트릭 - 상기 하나 이상의 추가 교정 메트릭은 상기 하나 이상의 광학 구성 요소의 상기 하나 이상의 동작 파라미터에 기초함 - 을 생성하게 하고;

상기 하나 이상의 고해상도 PSF 및 상기 하나 이상의 추가 교정 메트릭에 기초하여 상기 하나 이상의 웨이퍼에 대한 검사 레시피를 생성하게 하도록

구성되는, 시스템.

청구항 14

방법에 있어서,

웨이퍼의 하나 이상의 저해상도 이미지 - 상기 하나 이상의 저해상도 이미지는 하나 이상의 저해상도 이미지 패치를 포함하고, 상기 하나 이상의 저해상도 이미지 패치는 하나 이상의 서버 픽셀 시프트를 포함함 - 를 획득하는 단계;

상기 하나 이상의 저해상도 이미지 패치를 집합시키는 단계; 및

상기 하나 이상의 서버 픽셀 시프트를 추정하고, 상기 집합된 하나 이상의 저해상도 이미지 패치 및 상기 추정된 하나 이상의 서버 픽셀 시프트로부터 하나 이상의 고해상도 PSF를 동시에 재구성하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 하나 이상의 서버 픽셀 시프트는, 스테이지의 방사형 모션을 추적하는 하나 이상의 스테이지 인코더 또는 상기 스테이지의 병진 모션을 추적하는 하나 이상의 스테이지 인코더 중 적어도 하나에 의해 추적되고,

상기 하나 이상의 스테이지 인코더는 하나 이상의 웨이퍼를 고정하도록 구성된 상기 스테이지에 결합되는 것인, 방법.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 하나 이상의 서버 픽셀 시프트는 하나 이상의 랜덤 서버 픽셀 시프트, 하나 이상의 제어된 서버 픽셀 시프트, 또는 하나 이상의 보고된 양자화된 서버 픽셀 시프트 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 방법.

청구항 17

제 14 항에 있어서,

상기 웨이퍼의 하나 이상의 검사 영역의 하나 이상의 저해상도 이미지는, 검사 서버 시스템의 하나 이상의 인코더 또는 컨트롤러의 하나 이상의 인코더로 집합되어지는 것인, 방법.

청구항 18

제 14 항에 있어서,

하나 이상의 초해상도 방식을 통해 상기 하나 이상의 고해상도 PSF를 재구성하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 하나 이상의 초해상도 방식은 검사 서버 시스템의 주파수 도메인에 의존하는 적어도 하나의 선형 방식 세

트를 포함하는 것인, 방법.

청구항 20

제 14 항에 있어서,

상기 하나 이상의 재구성된 고해상도 PSF를 이용하여 하나 이상의 진보된 애플리케이션을 수행하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 하나 이상의 진보된 애플리케이션은 스펙클 패턴에 기초하여 필름들에 있어서의 이미지 스펙클 및 샷 노이즈를 감소시키는 것을 포함하는 것인, 방법.

청구항 22

제 20 항에 있어서,

상기 하나 이상의 진보된 애플리케이션은 실제 결함들로부터 노이즈를 구별하기 위해 하나 이상의 우주선 이벤트들을 거부하는 것을 포함하는 것인, 방법.

청구항 23

제 20 항에 있어서,

상기 하나 이상의 진보된 애플리케이션은 검사 서브 시스템의 동적 범위를 확대하는 것을 포함하는 것인, 방법.

청구항 24

제 14 항에 있어서,

하나 이상의 결함 검사 이미지를 수신하는 단계; 및

상기 하나 이상의 결함 검사 이미지 내의 하나 이상의 결함과 하나 이상의 노이즈를 구별하기 위해 하나 이상의 추가 초해상도 방식을 이용하여 상기 하나 이상의 결함 검사 이미지와 상기 재구성된 고해상도 PSF를 결합하는 단계

를 더 포함하는, 방법.

청구항 25

제 14 항에 있어서,

상기 하나 이상의 고해상도 PSF에 기초하여 상기 웨이퍼에 대한 검사 레시피를 생성하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 26

제 14 항에 있어서,

검사 서브 시스템의 하나 이상의 광학 구성 요소 - 상기 하나 이상의 광학 구성 요소는 상기 검사 서브 시스템의 교정 및 설계 중 적어도 하나를 위해 사용되는 하나 이상의 동작 파라미터를 가짐 - 를 선택하는 단계

상기 검사 서브 시스템에 대한 하나 이상의 추가 교정 매트릭 - 상기 하나 이상의 추가 교정 매트릭은 상기 하나 이상의 광학 구성 요소의 상기 하나 이상의 동작 파라미터에 기초함 - 을 생성하는 단계; 및

상기 하나 이상의 고해상도 PSF 및 상기 하나 이상의 추가 교정 매트릭에 기초하여 상기 웨이퍼에 대한 검사 레시피를 생성하는 단계

를 더 포함하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 웨이퍼 검사 및 리뷰에 관한 것이며, 특히, 저해상도 웨이퍼 검사 이미지들로부터 고해상도 점 확산 함수들(PSF: Point Spread Function)을 재구성하는 것에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 논리 및 메모리 디바이스들과 같은 반도체 디바이스들을 제조하는 것은 전형적으로 반도체 디바이스들의 다양한 피쳐들 및 다중 레벨들을 형성하기 위해 다수의 반도체 제조 공정들을 사용하여 반도체 웨이퍼와 같은 기판을 처리하는 것을 포함한다. 다수의 반도체 디바이스들은 단일 반도체 웨이퍼 상의 배열로 제조되고 그 다음에 개별 반도체 디바이스들로 분리될 수 있다.

[0003] 반도체 디바이스들은 제조 공정들 중에 결함들을 발생시킬 수 있다. 검사 공정들은 표본 상의 결함들을 검출하기 위해 반도체 제조 공정들 동안의 다양한 단계들에서 수행된다. 검사 공정들은 집적 회로와 같은 반도체 디바이스들을 제조하는 데 있어 중요한 부분이며, 반도체 디바이스들의 치수가 감소함에 따라 수용 가능한 반도체 디바이스들을 성공적으로 제조하기 위해 더욱 중요해지고 있다. 예를 들어, 비교적 작은 결함들조차도 반도체 디바이스들에서 원하지 않는 수차들을 유발할 수 있기 때문에, 반도체 디바이스들의 치수가 감소함에 따라 결함들의 검출이 매우 바람직해질 수 있다.

[0004] 웨이퍼 검사 시스템들 내의 센서들은, PSF 크기가 센서의 픽셀 크기와 비슷하거나 작아 저해상도의 이미지로 되면, 결함 형상을 언더샘플링(undersample)하는 경향이 있다. 또한, 웨이퍼 검사 시스템들 내의 센서들은 특정 픽셀 강도 이상으로 포화되어, 검사된 웨이퍼 상의 피쳐들 간을 구분하지 않는다. 이와 같이, 위에서 확인된 이전의 접근법의 단점을 해결하는 시스템 및 방법을 제공하는 것이 바람직할 것이다.

발명의 내용

[0005] 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들로부터 하나 이상의 고해상도 점 확산 함수들(PSF)을 재구성하기 위한 시스템이 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따라 개시된다. 일 실시예에서, 본 시스템은 검사 서브 시스템을 포함한다. 다른 실시예에서, 본 시스템은 하나 이상의 웨이퍼를 고정시키도록 구성된 스테이지를 포함한다. 다른 실시예에서, 본 시스템은 검사 서브 시스템에 통신 가능하게 결합된 컨트롤러를 포함한다. 다른 실시예에서, 컨트롤러는 메모리에 저장된 프로그램 명령들의 세트를 실행하도록 구성된 하나 이상의 프로세서들을 포함한다. 다른 실시예에서, 프로그램 명령들은 하나 이상의 프로세서들이 웨이퍼의 하나 이상의 저해상도 이미지들을 획득하게 하도록 구성된다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 저해상도 이미지들은 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들을 포함한다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들은 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들을 포함한다. 다른 실시예에서, 프로그램 명령들은 하나 이상의 프로세서들이 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들을 집합하게 하도록 구성된다. 다른 실시예에서, 프로그램 명령들은 하나 이상의 프로세서들이 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들을 추정하게 하고, 또한 집합된 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들로부터 하나 이상의 고해상도 PSF들을 동시에 재구성하게 하도록 구성된다.

[0006] 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들로부터 하나 이상의 고해상도 점 확산 함수들(PSF)을 재구성하기 위한 방법이 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따라 개시된다. 다른 실시예에서, 본 방법은 웨이퍼의 하나 이상의 저해상도 이미지들을 획득하는 단계를 포함한다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 저해상도 이미지들은 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들을 포함한다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들은 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들을 포함한다. 다른 실시예에서, 본 방법은 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들을 집합하는 단계를 포함한다. 다른 실시예에서, 본 방법은 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들을 추정하는 단계와, 집합된 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들로부터 하나 이상의 고해상도 PSF들을 동시에 재구성하는 단계를 포함한다.

[0007] 상술한 설명 및 이하의 상세한 설명은 모두 단지 예시적이고 설명적인 것이며, 본 발명을 반드시 제한하는 것은 아니라는 것을 이해해야 한다. 특징적인 부분에 통합되고 구성하는 첨부 도면들은 본 발명의 내용을 설명한다. 아울러, 본 명세서 및 도면들은 본 발명의 원리를 설명하는 역할을 한다.

도면의 간단한 설명

[0008] 본 발명의 다수의 장점은 첨부된 도면을 참조하여 당업자에게 보다 잘 이해될 수 있다:
도 1은 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 샘플을 촬상하기 위한 시스템의 블록도를 도시한다.

- 도 2a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 점 확산 함수(PSF)의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 2b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 관측된 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 3a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 재구성된 PSF에 대한 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 3b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF와 재구성된 PSF의 윤곽 비교의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 4는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 5a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 5b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 저해상도 이미지 패치의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 5c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 5d는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 저해상도 이미지 패치의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 5e는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 5f는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 저해상도 이미지 패치의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 6a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 6b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 7a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 7b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 저해상도 이미지 패치의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 7c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 7d는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 저해상도 이미지 패치의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 7e는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 8a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 저해상도 이미지 패치에서의 서브 픽셀 시프트들을 비교하는 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 8b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따라, 저해상도 이미지 패치에서의 서브 픽셀 시프트들을 비교하는 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 9a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 9b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 재구성된 고해상도 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 9c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 재구성된 고해상도 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 10a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, PSF 이미지의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 10b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, PSF 이미지의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 10c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, PSF 이미지의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 10d는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, PSF 이미지의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 11a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 교정(calibration) 및 테스트를 위해 구현된 관측된 결함의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 11b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 교정 및 테스트를 위해 구현된 관측된 결함의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 11c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 교정 및 테스트를 위해 구현된 관측된 결함의 그래픽 데이터를 도시한다.
- 도 11d는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 교정 및 테스트를 위해 구현된 관측된 결함의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 11e는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 교정 및 테스트를 위해 구현된 관측된 결함의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 11f는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 교정 및 테스트를 위해 구현된 관측된 결함의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 11g는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 교정 및 테스트를 위해 사용된 스폿 증착 웨이퍼를 도시한다.

도 12a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 결함 이벤트의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 12b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 결함 이벤트의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 12c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 결함 이벤트의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 13a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 하나 이상의 포화된 이미지 픽셀들의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 13b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 하나 이상의 포화된 이미지 픽셀들의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 14a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 검사된 웨이퍼에 기초한 PSF 이미지 테일들(image tail)의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 14b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 검사된 웨이퍼에 기초한 PSF 이미지 테일들의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 15a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 검사된 웨이퍼에 기초한 PSF 이미지 테일들의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 15b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 검사된 웨이퍼에 기초한 PSF 이미지 테일들의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 15c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 광 포인트 결함들(light point defects; LPD)을 갖는 검사된 웨이퍼에 기초한 PSF 이미지 테일들의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 16a는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 웨이퍼 검사 결과들의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 16b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 웨이퍼 검사 결과들의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 16c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 웨이퍼 검사 결과들의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 16d는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 웨이퍼 검사 결과들의 그래픽 데이터를 도시한다.

도 17은 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 하나 이상의 고해상도 재구성 방식들을 이용하여 웨이퍼 검사 시스템을 교정하는 방법을 나타내는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 이하에서는 첨부된 도면들에 도시되어 있는 개시된 주제에 대한 참조가 상세하게 이루어질 것이다.

[0010] 도 1 내지 도 17을 참조하면, 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들로부터 하나 이상의 고해상도 점 확산 함수들(PSF)을 재구성하기 위한 시스템들 및 방법들이 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따라 개시된다.

[0011] 검사 서브 시스템들은, 주어진 검사 서브 시스템의 응답의 측정치이며 본 발명의 목적을 위해 검사 서브 시스템의 임펄스 응답과 동일한 것으로 해석되는 점 확산 함수(PSF)에 의해 부분적으로 특성화될 수 있다. 시스템 임펄스는 검사 서브 시스템의 포커싱 방식들, 최적의 필터링 방식들, 결함 검출 감도 및/또는 결함 사이징 방식들 중 하나 이상을 정의하는 하나의 메트릭이다. 예를 들어, 검사 서브 시스템의 감도 타겟은 직경 10 nm 내지 20 nm 범위의 입자들을 포함할 수 있다. 검사 서브 시스템은 특정 픽셀 크기에 대해, 항상 접선 활상 방향을 따라 원하는 해상도로 출력하기 위해 충분한 샘플링을 획득할 수 있다. 이들 검사 서브 시스템들은 원하는 경우 웨이퍼 처리량을 포기하면서 방사상 활상 방향을 따라 원하는 해상도로 출력하기 위해 충분한 샘플링을 추가로 획득할 수 있다. 본 시스템이 특정 픽셀 크기에 도달할 때까지, 교정 및 검사 동안의 2 차원 시스템 응답을 해결

하기 위해 고해상도 데이터가 이용될 수 있다. 그러나, 특정 픽셀 크기 아래에서, 검사 서브 시스템에 의해 출력되는 이미지들은 선명도 부족을 나타내기 시작한다. 이들 검사 서브 시스템들에서, 특별한 "진단" 모드를 허용하기 위해 특정 픽셀 크기 아래에서 활상하도록 다중 픽셀의 배열이 구현될 수 있지만, 이러한 해결책들은 설계 복잡성 및 비용 측면에서 (제조업체 및/또는 소비자에게는) 터무니없다. 또한, 재구성의 방법들은 재구성의 실제 사용을 심각하게 제한하면서, 활상 해상도가 응답 함수에 비해 훨씬 작게 될 것을 요구했다. 결과적으로, 임펄스 응답이 언더샘플링되어, 일부 거친 필름들에서의 보정 및 스펙클/입자 구분과 같은 특수 사용 사례에서 문제로 될 수 있다.

[0012] 본 발명의 실시예들은 하나 이상의 고해상도 PSF를 생성하기 위해 하나 이상의 초해상도 방식들(또는 기능들)을 이용하여 하나 이상의 저해상도 점 확산 함수들(PSF)을 재구성하는 것에 관한 것이다. 본 발명의 실시예들은 또한 하나 이상의 고해상도 방식들을 이용하여 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들로부터 하나 이상의 고해상도 PSF를 재구성하는 것에 관한 것이다. 본 발명의 실시예들은 또한 하나 이상의 초해상도 방식들에서의 웨이퍼 검사 시스템의 동작을 포함하는 것에 관한 것이다. 본 발명의 실시예들은 또한 하나 이상의 초해상도 방식들을 이용하여 시스템 감도 분석 및 교정을 수행하는 것에 관한 것이다.

[0013] 본 발명의 추가 실시예들은 하나 이상의 진보된 애플리케이션들에 하나 이상의 초해상도 프로세스를 적용하는 것에 관한 것이다. 예를 들어, 하나 이상의 진보된 애플리케이션들은 이미지 스펙클을 억제하는 것을 포함할 수 있다. 다른 예로서, 하나 이상의 진보된 애플리케이션들은 실제 입자들(즉, 하나 이상의 실제 결함들)로부터 우주선 유도 다크 노이즈를 분리하는 것을 포함할 수 있다. 다른 예로서, 하나 이상의 진보된 애플리케이션들은 검사 시스템의 동적 범위를 확대하는 것을 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 실시예들의 장점들은 웨이퍼 검사 시스템 내의 센서의 픽셀 크기 제한을 해결하는 것을 포함한다. 본 발명의 실시예들의 장점들은 언더샘플링 웨이퍼 검사 시스템에서 하나 이상의 저해상도 웨이퍼 이미지 패치들로부터 하나 이상의 고해상도 점 확산 함수들(PSF)을 정확하게 재구성하는 것을 또한 포함한다. 본 발명의 실시예들의 장점들은 다양한 애플리케이션들을 위해 고해상도 이미지들을 생성하는 방법들에 저비용 대안을 제공하는 것을 또한 포함한다. 예를 들어, 다양한 애플리케이션들은 검사 시스템의 교정 및 문제 진단과 관련된 하나 이상의 애플리케이션들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 다양한 애플리케이션들은 검사 시스템의 교정 동작의 PSF 측정치들을 사용하여 검사 서브 시스템의 최적의 포커싱 구성을 규정하는 것을 포함할 수 있다. 또한, 다양한 애플리케이션들은 시간 경과에 따른 검사 서브 시스템의 드리프트를 모니터링하는 것을 포함할 수 있다. 또한, 다양한 애플리케이션들은 이론 모델에 대한 검사 시스템 감도를 문제 해결하는 것을 포함할 수 있다.

[0015] 다른 예로서, 다양한 애플리케이션들은 검사된 웨이퍼 상의 하나 이상의 결함들의 검출, 분류 또는 크기 결정 중 하나 이상과 관련된 하나 이상의 애플리케이션들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 다양한 애플리케이션들은 입자 감도를 위한 최적의 필터 뱅크 설계를 가능하게 하는 것, 필름의 감도를 향상시키기 위해 입자 응답으로부터 스펙클 패턴을 구분하는 것, 또는 하나 이상의 결함들의 검출 동안 밀집의 DOI(Defect Of Interest) 클러스터들을 해결하는 것 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 또한, 다양한 애플리케이션들은 하나 이상의 결함들의 분류를 향상시키기 위한 PSF의 디컨볼루션(deconvolving)을 포함할 수 있다. 추가적으로, 다양한 애플리케이션들은 보고된 입자 크기 조정 오차를 감소시키는 것과, 하나 이상의 결함들을 크기 조정하기 위해 DOI에 있어서의 입자 반응과 산란 모델을 결합시키는 것을 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 실시예들의 장점들은 또한 스펙클 패턴에 기초하여 필름들에 있어서의 스펙클 및 샷 노이즈의 혼합을 디커플링하는 것과 같은 하나 이상의 진보된 애플리케이션들을 갖는 구현에 관한 것이다. 본 발명의 실시예들의 장점들은 또한 우주선 노이즈에 대한 하나 이상의 실제 결함들을 구별하기 위해 저해상도 PSF로 하나 이상의 초해상도 방식들을 이용하는 것과 같은 하나 이상의 진보된 애플리케이션들을 갖는 구현에 관한 것이다. 본 발명의 실시예들의 장점들은 또한 검사 서브 시스템의 동적 범위를 확대하는 것과 같은 하나 이상의 진보된 애플리케이션들을 갖는 구현에 관한 것이다.

[0017] 도 1은 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른 샘플 검사를 위한 시스템(100)의 블록도를 도시한다. 일 실시예에서, 시스템(100)은 검사 서브 시스템(102)을 포함한다. 다른 실시예에서, 시스템(100)은 하나 이상의 샘플들(104)을 고정하기 위한 샘플 스테이지(106)를 포함한다. 다른 실시예에서, 시스템(100)은 컨트롤러(110)를 포함한다. 다른 실시예에서, 시스템(100)은 사용자 인터페이스(120)를 포함한다.

[0018] 다른 실시예에서, 검사 서브 시스템(102)은 샘플(104)의 하나 이상의 결함들을 검출하도록 구성된다. 예를 들어, 검사 서브 시스템(102)은 전자 빔 검사 또는 리뷰 툴(예를 들어, 주사 전자 현미경(SEM) 시스템)을 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 다른 예로서, 검사 서브 시스템(102)은 광학 검사 서브 시스템을 포함

할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어, 광학 검사 서브 시스템은 제한되지는 않지만 레이저 지속 플라즈마(LSP) 기반 검사 서브 시스템을 포함하는 광대역 검사 서브 시스템을 포함할 수 있다. 또한, 광학 검사 서브 시스템은 레이저 스캐닝 검사 서브 시스템에 한정되지만 이와 같은 협대역 검사 서브 시스템을 포함할 수 있다. 또한, 광학 검사 서브 시스템은 명 시야(brightfield) 촬상 툴 또는 암 시야(darkfield) 촬상 툴을 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 본 명세서에서 검사 서브 시스템(102)은 샘플(104)의 표면으로부터 반사, 산란, 회절 및/또는 방사된 조명을 수집 및 분석하도록 구성된 임의의 광학 시스템을 포함할 수 있다.

[0019] 검사 서브 시스템의 예들은 2006 년 8 월 8 일에 특허 결정된 미국 특허 제 7,092,082 호; 2003 년 9 월 16 일에 특허 결정된 미국 특허 제 6,621,570 호; 및 1998 년 9 월 9 일에 특허 결정된 미국 특허 제 5,805,278 호에 기재되어 있으며, 이들 각각은 본 명세서에 참고로 인용된다. 검사 서브 시스템의 예들은 2014 년 4 월 4 일에 특허 결정된 미국 특허 제 8,664,594 호; 2014 년 4 월 8 일에 특허 결정된 미국 특허 제 8,692,204 호; 2014 년 4 월 15 일에 특허 결정된 미국 특허 제 8,698,093 호; 2014 년 5 월 6 일에 특허 결정된 미국 특허 제 8,716,662 호; 2015 년 4 월 29 일에 출원된 미국 특허 출원 제 14/699,781 호; 2015 년 3 월 24 일에 출원된 미국 특허 출원 제 14/667,235 호; 및 2014 년 8 월 13 일에 출원된 미국 특허 출원 제 14/459,155 호에 또한 기재되어 있으며, 이들 각각은 본 명세서에 참고로 인용된다.

[0020] 본 발명의 목적들을 위해, 결합은 공극, 단편, 입자, 잔류물, 쓰레기 또는 공지된 임의의 다른 결합으로 분류될 수 있다.

[0021] 다른 실시예에서, 도시되지는 않았지만, 검사 서브 시스템(102)은 검사를 수행하기 위한 조명원, 검출기 및 다양한 광학 구성 요소들(예를 들어, 렌즈, 빔 스플리터들 등)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 검사 서브 시스템(102)은 공지된 임의의 조명원을 포함할 수 있다. 예를 들어, 조명원은 광대역 광원 또는 협대역 광원을 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 조명원은 샘플 스테이지(106) 상에 배치된 (다양한 광학 구성 요소들을 통한) 샘플(104)의 표면으로 광을 유도하도록 구성될 수 있다. 또한, 검사 서브 시스템(102)의 다양한 광학 구성 요소들은 샘플(104)의 표면으로부터 반사 및/또는 산란된 광을 검사 서브 시스템(102)의 검출기로 유도하도록 구성될 수 있다. 다른 예로서, 검사 서브 시스템(102)의 검출기는 공지된 임의의 적절한 검출기를 포함할 수 있다. 예를 들어, 검출기는 광 증배관들(PMT), 전하 결합 디바이스들(CCD), 시간 지연 적분(TDI: Time Delay Integration) 카메라 등을 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 본 명세서에 추가로 상세히 설명되는 바와 같이, 검출기의 출력은 컨트롤러(110)에 통신 가능하게 결합될 수 있다.

[0022] 일 실시예에서, 샘플(104)은 웨이퍼를 포함한다. 예를 들어, 샘플(104)은 반도체 웨이퍼를 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 본 명세서에서 사용되는 "웨이퍼"라는 용어는 반도체 및/또는 비 반도체 물질로 형성된 기판을 의미한다. 예를 들어, 반도체 또는 반도체 물질은 단결정 실리콘, 갈륨 비소 및 인화 인듐을 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0023] 다른 실시예에서, 샘플 스테이지(106)는 공지된 임의의 적절한 기계식 및/또는 로봇식 어셈블리를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 컨트롤러(110)는 샘플 스테이지(106)를 작동시킬 수 있다. 예를 들어, 샘플 스테이지(106)는 컨트롤러(110)에 의해 샘플(104)을 선택된 위치 또는 방향으로 작동시키도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 샘플 스테이지(106)는 선택된 검사 또는 계량 알고리즘에 따라서 위치 결정, 포커싱 및/또는 스캐닝을 위해 샘플(104)을 병진 또는 회전하도록 구성된, 모터 또는 서보와 같은 하나 이상의 액츄에이터를 포함하거나 또는 이에 기계적으로 결합될 수 있으며, 그 중 일부는 공지되어 있다.

[0024] 일 실시예에서, 컨트롤러(110)는 하나 이상의 프로세서들(112) 및 메모리 매체(114)를 포함한다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 프로그램 명령들 세트(116)이 메모리 매체(114)에 저장된다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 프로세서들(112)은 본 발명 전체에 걸쳐 설명된 하나 이상의 다양한 단계들을 수행하기 위해 프로그램 명령들 세트(116)를 실행하도록 구성된다.

[0025] 다른 실시예에서, 컨트롤러(110)는 유선 및/또는 무선 부분들을 포함할 수 있는 전송 매체에 의해 다른 시스템들 또는 서브 시스템들로부터의 데이터 또는 정보(예를 들어, 검사 서브 시스템(102)으로부터의 또는 검사 서브 시스템(102)의 임의의 구성 요소들로부터의 하나 이상의 정보 세트들, 또는 사용자 인터페이스(120)를 통해 수신된 하나 이상의 사용자 입력들)를 수신 및/또는 획득하도록 구성된다. 예를 들어, 검사 서브 시스템(102) 또는 검사 서브 시스템(102)의 임의의 구성 요소들은 검사 서브 시스템(102) 또는 검사 서브 시스템(102)의 임의의 구성 요소들의 동작에 관한 하나 이상의 정보 세트들을 컨트롤러(110)에 전송할 수 있다. 다른 예로서, 검사 서브 시스템(102)은 하나 이상의 샘플(104)의 하나 이상의 검사된 영역들의 하나 이상의 이미지들을 컨트롤러

러(110)에 전송할 수 있다. 예를 들어, 컨트롤러(110)에 전송되는 하나 이상의 이미지들은 하나 이상의 저해상도 이미지들, 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들, 또는 점 확산 함수(PSF)를 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 저해상도 이미지들, 저해상도 이미지 패치들, 및 PSF는 본 명세서에서 더 상세히 논의된다.

[0026] 다른 실시예에서, 시스템(100)은 검사 서버 시스템(102)에 하나 이상의 인코더들을 포함하며, 여기서 인코더들은 컨트롤러(110)로의 전송에 앞서 하나 이상의 정보 세트들(예를 들어, 샘플(104)의 하나 이상의 저해상도 이미지들의 저해상도 이미지 패치들)을 집합시킨다. 다른 실시예에서, 시스템(100)은 스테이지(106) 상에 하나 이상의 스테이지 인코더들을 포함한다. 다른 실시예에서, 시스템(100)은 검사 서버 시스템(102)에 의해 전송된 하나 이상의 정보 세트들(예를 들어, 저해상도 이미지 패치들)을 집합 해제시키기 위해 컨트롤러(110)에 하나 이상의 디코더들을 포함한다. 다른 실시예에서, 시스템(100)은 컨트롤러(110)에 하나 이상의 인코더들을 포함하며, 여기서 인코더들은 검사 서버 시스템(102)으로부터 정보 세트들을 수신한 후에 하나 이상의 정보 세트들(예를 들어, 저해상도 이미지 패치들)을 집합시킨다.

[0027] 다른 실시예에서, 시스템(100)의 컨트롤러(110)는 유선 및/또는 무선 부분들을 포함할 수 있는 전송 매체에 의해 데이터 또는 정보(예를 들어, 본 명세서에 개시된 하나 이상의 방식들의 출력)를 하나 이상의 시스템들 또는 서버 시스템들(예를 들어, 검사 서버 시스템(102) 또는 검사 서버 시스템(102)의 임의의 구성 요소들, 즉, 샘플 스테이지(106)로의 하나 이상의 커맨드들, 또는 사용자 인터페이스(120) 상에 디스플레이된 하나 이상의 출력들)에 전송하도록 구성된다. 이와 관련하여, 전송 매체는 컨트롤러(110)와 시스템(100)의 다른 서버 시스템들 사이의 데이터 링크로서의 역할을 할 수 있다. 다른 실시예에서, 컨트롤러(110)는 전송 매체(예를 들어, 네트워크 접속)를 통해 외부 시스템들에 데이터를 전송하도록 구성된다.

[0028] 일 예에서, 검사 서버 시스템(102)의 검출기는 컨트롤러(110)가 검출기에 의해 생성된 출력을 수신할 수 있도록 임의의 적절한 방식으로(예를 들어, 도 1에 도시된 점선으로 표시된 하나 이상의 전송 매체에 의해) 컨트롤러(110)에 결합될 수 있다. 다른 예로서, 검사 서버 시스템(102)이 하나보다 많은 검출기를 포함하는 경우, 컨트롤러(110)는 상술한 바와 같이 복수의 검출기에 결합될 수 있다. 본 명세서에서 컨트롤러(110)는 웨이퍼 상의 결함들을 검출하기 위해 공지된 임의의 방법 및/또는 알고리즘을 활용하면서, 검사 서버 시스템(102)에 의해 수집 및 전송된 검출 데이터를 이용하여 샘플(104)의 하나 이상의 결함들을 검출하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 검사 서버 시스템(102)은 컨트롤러(110)를 포함하나 이에 한정되지 않는 시스템(100)의 다른 서버 시스템으로부터 명령들을 수용하도록 구성될 수 있다. 컨트롤러(110)로부터 명령들을 수신하면, 검사 서버 시스템(102)은 제공된 명령들(즉, 검사 레시피)에서 식별된 샘플(104)의 하나 이상의 위치들(예를 들어, 검사될 하나 이상의 영역들)에서 검사 프로세스를 수행하여, 검사 프로세스 결과들을 컨트롤러(110)에 전송할 수 있다.

[0029] 일 실시예에서, 프로그램 명령들 세트(116)는 하나 이상의 프로세서(112)가 웨이퍼의 하나 이상의 저해상도 이미지를 획득하게 하도록 프로그램되며, 여기서 하나 이상의 저해상도 이미지는 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들을 포함하고, 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들은 하나 이상의 서버 픽셀 시프트들을 포함한다. 다른 실시예에서, 프로그램 명령들 세트(116)는 하나 이상의 프로세서(112)가 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들을 집합하게 하도록 프로그램된다. 다른 실시예에서, 프로그램 명령들 세트(116)는 하나 이상의 프로세서(112)가 하나 이상의 서버 픽셀 시프트들을 추정하게 하도록, 또한 집합된 하나 이상의 저해상도의 이미지 패치들로부터 하나 이상의 고해상도 점 확산 함수들(PSF)을 동시에 재구성하게 하도록 프로그램된다.

[0030] 일 실시예에서, 컨트롤러(110)의 하나 이상의 프로세서들(112)은 공지된 임의의 하나 이상의 프로세싱 구성 요소들을 포함한다. 이러한 의미에서, 하나 이상의 프로세서들(112)은 알고리즘들 및/또는 명령들을 실행하도록 구성된 임의의 마이크로 프로세서 디바이스를 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 프로세서들(112)은 데스크탑 컴퓨터, 메인 프레임 컴퓨터 시스템, 워크 스테이션, 이미지 컴퓨터, 병렬 프로세서, 차량 온보드 컴퓨터, 핸드헬드 컴퓨터(예를 들어, 태블릿, 스마트 폰 또는 패블릿) 또는 본 발명 전반에 걸쳐 설명된 바와 같이, 시스템(100)을 동작시키도록 구성된 프로그램을 실행하도록 구성된 다른 컴퓨터 시스템(예를 들어, 네트워크 컴퓨터)를 포함할 수 있다. 본 발명 전반에 걸쳐 설명된 단계들은 단일 컴퓨터 시스템 또는 대안으로 다중 컴퓨터 시스템들에 의해 수행될 수 있다는 것을 인식해야 한다. 용어 "프로세서"는 비 일시적인 메모리 매체(예를 들어, 메모리(114))로부터의 프로그램 명령들(116)을 실행하는 하나 이상의 프로세싱 구성 요소들을 갖는 임의의 디바이스를 포함하는 것으로 광범위하게 정의될 수 있다. 또한, 시스템(100)의 상이한 서버 시스템들(예를 들어, 검사 서버 시스템(102) 또는 사용자 인터페이스(120))은 본 발명 전반에 걸쳐 설명된 단계들의 적어도 일부를 수행하기에 적합한 프로세서 또는 논리 소자들을 포함할 수 있다. 그러므로, 상기 설명은 본 발명에 대한 제한으로서 해석되어서는 안되며 단지 예시일 뿐이다.

- [0031] 일 실시예에서, 컨트롤러(110)의 메모리 매체(114)는 관련된 하나 이상의 프로세서들(112)에 의해 실행 가능한 프로그램 명령들(116)을 저장하기에 적합한 공지된 임의의 저장 매체를 포함한다. 예를 들어, 메모리 매체(114)는 비 일시적 메모리 매체를 포함할 수 있다. 예를 들어, 메모리 매체(114)는 판독 전용 메모리, 랜덤 액세스 메모리, 자기 또는 광학 메모리 디바이스(예를 들어, 디스크), 자기 테이프, 고체 상태 드라이브 등을 포함할 수 있지만, 이에 한정되지 않는다. 다른 실시예에서, 메모리(114)는 디스플레이 정보를 디스플레이 디바이스(122) 및/또는 본 명세서에 설명된 다양한 단계들의 출력에 제공하도록 구성될 수 있음을 알아야 한다. 메모리(114)는 하나 이상의 프로세서들(112)과 함께 공통 컨트롤러 하우징에 하우징될 수 있음을 또한 알아야 한다. 대안의 실시예에서, 메모리(114)는 프로세서(112) 및 컨트롤러(110)의 물리적 위치에 대해 원격으로 위치될 수 있다. 예를 들어, 컨트롤러(110)의 하나 이상의 프로세서들(112)은 네트워크(예를 들어, 인터넷, 인트라넷 등)를 통해 액세스 가능한 원격 메모리(예를 들어, 서버)에 액세스할 수 있다. 다른 실시예에서, 메모리 매체(114)는 하나 이상의 프로세서들(112)이 본 발명의 전반에 걸쳐 설명된 다양한 단계들을 수행하게 하는 프로그램 명령들(116)을 저장한다.
- [0032] 다른 실시예에서, 사용자 인터페이스(120)는 컨트롤러(110)의 하나 이상의 프로세서들(112)에 통신 가능하게 결합된다. 다른 실시예에서, 사용자 인터페이스(120)는 디스플레이 디바이스(122)를 포함한다. 다른 실시예에서, 사용자 인터페이스(120)는 사용자 입력(124)을 포함한다.
- [0033] 일 실시예에서, 디스플레이 디바이스(122)는 공지된 임의의 디스플레이 디바이스를 포함한다. 예를 들어, 디스플레이 디바이스는 액정 디스플레이(LCD)를 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 다른 예로서, 디스플레이 디바이스는 유기 발광 다이오드(OLED) 기반 디스플레이를 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 다른 예로서, 디스플레이 디바이스는 CRT 디스플레이를 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 당업자는 다양한 디스플레이 디바이스들이 본 발명에서의 구현에 적합할 수 있다는 것과, 특정 디스플레이 디바이스의 선택은 형태 요인, 비용 등을 포함하는 다양한 요인들에 의해 결정될 수 있다. 어떤 의미에서, 사용자 입력 디바이스(예를 들어, 터치 스크린, 베젤 장착 인터페이스, 키보드, 마우스, 트랙 패드 등)와 통합될 수 있는 임의의 디스플레이 디바이스가 본 발명의 구현에 적합하다.
- [0034] 일 실시예에서, 사용자 입력 디바이스(124)는 공지된 임의의 사용자 입력 디바이스를 포함한다. 예를 들어, 사용자 입력 디바이스(124)는 키보드, 키패드, 터치 스크린, 레버, 노브, 스크롤 휠, 트랙 볼, 스위치, 다이얼, 슬라이딩 바, 스크롤 바, 슬라이드, 핸들, 터치 패드, 패들, 스티어링 휠, 조이스틱, 베젤 입력 디바이스 등일 수 있다. 터치 스크린 인터페이스의 경우에, 당업자는 다수의 터치 스크린 인터페이스가 본 발명에서의 구현에 적합할 수 있다는 것을 알아야 한다. 예를 들어, 디스플레이 디바이스(122)는 용량성 터치 스크린, 저항성 터치 스크린, 표면 음향 기반 터치 스크린, 적외선 기반 터치 스크린 등과 같은 터치 스크린 인터페이스와 통합될 수 있다. 어떤 의미에서, 디스플레이 디바이스의 디스플레이부와 통합될 수 있는 임의의 터치 스크린 인터페이스는 본 발명에서의 구현에 적합하다. 다른 실시예에서, 사용자 입력 디바이스(124)는 베젤 장착 인터페이스를 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0035] 도 1에 도시된 시스템(100)의 실시예들은 본 명세서에 설명된 바와 같이 추가로 구성될 수 있다. 또한, 시스템(100)은 본 명세서에 설명된 임의의 시스템 및 방법 실시예(들)의 임의의 다른 단계(들)을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0036] 본 명세서의 목적을 위해, 도 2a 내지 도 16d의 $-dx$, $+dx$, $-dy$ 및 $+dy$ 는 임의의 수일 수 있음을 알아야 한다. 본 명세서에서, $-dx$, $+dx$, $-dy$ 및 $+dy$ 중 하나 이상은 $-dx$, $+dx$, $-dy$ 및 $+dy$ 의 나머지와 상이한 또는 동일한 수일 수 있음을 또한 알아야 한다. 또한, $\pm dx$ 및 $\pm dy$ 는 동일한 축 상에 표시되더라도 동일한 수는 아닐 수 있음을 또한 알아야 한다. 그러나, 상기 설명은 본 발명에 대한 제한으로서 해석되어서는 안되며 단지 예시일 뿐이다.
- [0037] 본 명세서의 목적을 위해, 도 2a 내지 도 16d의 공칭 픽셀 크기는 $1\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$ 크기인 것임을 또한 알아야 한다. 이와 관련하여, 저해상도 이미지 패치들에 있어서의 공칭 해상도는 $1\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$ 일 수 있다. 그러나, 상기 설명은 본 발명에 대한 제한으로서 해석되어서는 안되며 단지 예시일 뿐이다.
- [0038] 본 발명의 목적을 위해, 도 2a 내지 도 16d에 도시된 그래픽 데이터의 공칭 광 강도 스케일은 0 내지 1의 범위를 갖는다. 그러나, 상기 설명은 본 발명에 대한 제한으로서 해석되어서는 안되며 단지 예시일 뿐이다.
- [0039] 다른 실시예에서, 컨트롤러(110)는 검사 서버 시스템(102)으로부터 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들을 수신하고, 저해상도 이미지 패치들은 강도가 변하는 하나 이상의 광 포인트들을 포함한다. 다른 실시예에서, 콘트

롤러(110)는 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들을 하나 이상의 고해상도 PSF로 변환한다. 본 명세서에서 PSF는 일반적으로 구형, 타원형, 모래시계형이지만, PSF는 공지된 임의의 형상일 수 있음을 알아야 한다. 다른 실시예에서, PSF는 저해상도 이미지 패치들 내의 광의 포인트들이 이미지 평면의 유한 영역을 채우기 위해 전개되는 모델(예를 들어 3D 에어리(Airy) 회절 패턴)일 수 있음을 알아야 한다. 본 명세서에서 광의 포인트들을 전개하면 광의 회절에 의해 광의 포인트들이 블러링된다(blurring)는 것을 알아야 하며, 광의 회절은 검사 서브 시스템의 분해능 한계를 결정하는 하나의 인자이다.

[0040] 본 명세서에서 PSF의 크기는 광의 하나 이상의 포인트들의 파장 또는 검사 서브 시스템(102)의 하나 이상의 대물 렌즈들의 개구 수(NA)를 포함하나 이에 한정되지 않는 하나 이상의 인자들에 의해 영향을 받을 수 있음을 알아야 한다. 예를 들어, 보다 짧은 파장은 더 긴 파장보다 이미지 평면에 더 촘촘한(즉, 더 포커싱된) 유한 영역을 생성할 것이다. 다른 예로서, 더 높은 NA 값을 갖는 대물 렌즈는 더 낮은 NA 값을 갖는 대물 렌즈보다 이미지 평면에 더 촘촘한(즉, 더 포커싱된) 유한 영역을 생성할 것이다. 이와 관련하여, 하나 이상의 PSF는 검사 서브 시스템(102)의 하나 이상의 검사 특성들(예를 들어, 활상 및 동작)의 관점에서 설명될 수 있다.

[0041] 다른 실시예에서, 고해상도 PSF는 각각의 광의 포인트들에 있어서의 PSF의 합으로서 계산된다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 콘볼루션 방식들은 검사 서브 시스템(102)에 의해 활상된 광의 포인트들을 하나 이상의 대응하는 PSF와 하나 이상의 결합된 이미지들로 결합할 수 있다.

[0042] 검사 서브 시스템(102)과 관련된 PSF를 이해하면 하나 이상의 디콘볼루션 방식들을 통한 하나 이상의 이미지들의 적절한 재구성에 도움이 될 수 있음을 알아야 한다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 결합된 이미지들을 디컨볼루션하면 하나 이상의 결합된 이미지들을 저해상도 패치의 고해상도로 변환할 수 있다. 예를 들어, 변환 동작은 결합된 이미지들에서의 초점에서 벗어난 광의 양 및/또는 블러링을 감소시키는 동작을 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어, 결합된 이미지들을 하나 이상의 디콘볼루션 방식을 통해 변환하면 저해상도 이미지 패치들 내의 광의 포인트들의 하나 이상의 PSF에 의한 흐려짐을 반전시킬 수 있다.

[0043] 본 발명에서, 컨트롤러는 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들로부터 하나 이상의 고해상도 PSF를 재구성하기 위해 하나 이상의 초해상도 방식들을 구현한다. 일 실시예에서, 하나 이상의 초해상도 방식들은 검사 시스템의 주파수 도메인에 의존한다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 초해상도 방식들은 고해상도 이미지들을 재구성할 때 하나의 저해상도 이미지 패치 세트를 갖는 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들을 포함한다.

[0044] [식 1]

$$G^i(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} G_c\left(\omega - k\frac{2\pi}{\Delta}\right) e^{-j\alpha_i(\omega - k\frac{2\pi}{\Delta})}$$

[0045]

[0046] [식 2]

$$G_c\left(\omega - k\frac{2\pi}{\Delta}\right)$$

[0047]

[0048] [식 3]

$$\begin{bmatrix} G^1(\omega) \\ \vdots \\ G^M(\omega) * e^{-j\alpha_M\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-jK\frac{2\pi}{\Delta}} * e^{+j\alpha_1\omega} & e^{-j(K-1)\frac{2\pi}{\Delta}} * e^{+j\alpha_1\omega} & \dots & e^{+jK\frac{2\pi}{\Delta}} * e^{+j\alpha_1\omega} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e^{+jK\frac{2\pi}{\Delta}} * e^{+j\alpha_M\omega} & e^{+j(K-1)\frac{2\pi}{\Delta}} * e^{+j\alpha_M\omega} & \dots & e^{-jK\frac{2\pi}{\Delta}} * e^{+j\alpha_M\omega} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} G_c\left(\omega + K\frac{2\pi}{\Delta}\right) \\ G_c\left(\omega + (K-1)\frac{2\pi}{\Delta}\right) \\ \vdots \\ G_c\left(\omega - K\frac{2\pi}{\Delta}\right) \end{bmatrix}$$

[0049]

[0050]

일 실시예에서, 식 1은 주파수 스펙트럼 $G^i(\omega)$ 를 나타낸다. 식 1에서, i 번째 측정의 공통 임의적 기준에 대한 시프트 α_i 가 가정된다. 다른 실시예에서, 식 2는 실제 신호 스펙트럼 포인트 $G_c(\omega)$ 를 나타낸다. 다른 실시예에서, 실제 신호 스펙트럼 포인트 $G_c(\omega)$ 는 공간 도메인에 고해상도 PSF를 재구성하기 위해 복원된다. 다른 실시예에서, 대역 제한 신호의 경우에는 관측된 에일리어싱 저해상도 스펙트럼 k (즉, $k = -K \dots 0 \dots K$)에 기여하는 유한 수의 실제 스펙트럼 포인트들 $G_c\left(\omega - k\frac{2\pi}{\Delta}\right)$ 이 있다. 유한 수의 실제 스펙트럼 포인트 $G_c(\omega)$ 로 인해, 고해상도 재구성은 선형 방정식 세트인 식 3에 나타낸 바와 같이 $G(\omega)$ 에 대한 선형 방정식 세트가 감소될 수 있다.

[0051]

다른 실시예에서, 선형 방정식인 식 3의 좌변의 M 개의 저해상도 프레임으로부터 각각의 관측된 주파수 포인트 ω 에 대해 풀어야 할 $2K+1$ 개의 실제 스펙트럼 포인트들 $G_c\left(\omega - k\frac{2\pi}{\Delta}\right)$ 이 있다. 다른 실시예에서, 스핀(예를 들어, 반경 방향) 및 병진(예를 들어, 접선 방향) 방향들 모두에서의 스테이지 모션은 하나 이상의 스테이지 인코더들에 의해 추적된다. 예를 들어, 하나 이상의 정보 세트가 선형 방정식인 식 3에 입력될 수 있도록, 하나 이상의 스테이지 인코더들로부터의 하나 이상의 정보 세트들은 수용 가능한 레벨의 해상도 및 정확도를 가질 수 있다.

[0052]

본 명세서에서 하나 이상의 저해상도 이미지는 검사 서브 시스템(102)의 교정 동안에 캡처될 수 있으며, 여기서 저해상도 이미지는 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들을 포함한다는 것을 알아야 한다. 예를 들어, 하나 이상의 저해상도 이미지들은 1회 이상의 반복을 통해 하나 이상의 증착된 입자들로 샘플(104)의 하나 이상의 선택된 영역을 스캐닝함으로써 교정 동안에 캡처되어, 데이터 획득 위치를 기록할 수 있다. 이와 관련하여, 센서 픽셀 전체에 걸쳐 랜덤하게 분포된 상대적 획득 위치가 얻어진다.

[0053]

도 2a 및 도 2b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 하나 이상의 초해상도 방식들의 시뮬레이션된 애플리케이션으로부터의 PSF의 그래픽 데이터를 도시한다. 도 2a는 모델링된 PSF(202)를 갖는 그래픽 데이터(200)를 도시한다. 도 2b는 저해상도 이미지 패치의 관측된 PSF(212)에 대한 그래픽 데이터(210)를 도시한다.

[0054]

일 실시예에서, 강도 노이즈가 도 2a의 모델링된 PSF(202)에 추가된다. 예를 들어, 실제 시나리오를 모방하기 위해 불확실한 위치에 강도 노이즈가 도입되었다. 강도 노이즈의 도입과 동시에, 다른 실시예에서, 도 2a의 모

텔링된 PSF(202)에 강도 노이즈를 부가한 최종 에너지는 도 2b에 도시된 그래픽 데이터(210)의 관측된 PSF(212)를 생성하기 위해 각 센서 픽셀에 의해 적분되고 샘플링된다. 다른 실시예에서, 저해상도 이미지 패치(212)는 도 2a와 비교하여 언더샘플링된다.

[0055] 도 3a 및 도 3b는 초해상도 방식인 식 3을 도 2b에 도시된 저해상도 이미지 패치에 적용함으로써 생성된 모델링된 PSF(202)와 재구성된 PSF(도시 생략)를 비교하는 그래픽 데이터를 도시한다. 도 3a는 도 2a에 도시된 모델링된 PSF(202)를 나타내는 선들(302) 및 초해상도 방식인 식 3으로 재구성된 PSF를 나타내는 선들(304)을 이용한 윤곽 비교의 그래픽 데이터(300)를 도시한다. 도 3a는 특히 PSF의 피크 근처에서 2 개의 PSF의 윤곽들 간의 유사성을 나타내고, 시스템 감도, 필터 설계 및 결합 크기 조정이 가장 큰 영향을 받는 것을 알아야 한다. 도 3b는 도 2a에 도시된 모델링된 PSF(202)를 나타내는 선들(312) 및 초해상도 방식인 식 3으로 재구성된 PSF를 나타내는 선들(314)을 이용하여, 모델링된 PSF 대 초해상도 방식인 식 3으로 재구성된 PSF의 둘러싸인 에너지를 비교하는 그래픽 데이터(310)를 도시한다. 도 3a 및 도 3b의 그래픽 데이터에 도시된 바와 같이, 식 3으로 하나 이상의 저해상도 이미지들(예를 들어, 도 2b)을 재구성하면 해상도가 약 8 배로 향상되었다.

[0056] 도 4 내지 도 9c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 실제 데이터에 대한 하나 이상의 초해상도 방식들의 테스트 및 애플리케이션을 도시한다.

[0057] 도 4는 모델링된 PSF(402)의 그래픽 데이터(400)를 도시한다. 일 실시예에서, 그래픽 데이터(400)는 비 가우시안 모델을 포함한다. 다른 실시예에서, PSF(402)는 수직으로 연장된다.

[0058] 도 5a 내지 도 5f는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 저해상도 이미지 패치들로부터 생성된 PSF의 3 개의 예들을 도시한다. 도 5a 내지 도 5f의 3개의 예들은 픽셀의 상이한 영역들에 위치하는 결합들을 도시한다. 일 실시예에서, 도 5a 내지 도 5f는 25 개의 픽셀들(501)을 포함한다. 예를 들어, 픽셀들(501)은 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 의 공칭 크기일 수 있다. 그러나, 여기서 PSF는 도 5a 내지 도 5f에 도시된 바와 같이 픽셀(501)의 수 또는 크기로 한정되지 않는다는 것을 알아야 한다. 그러므로, 상기 설명은 본 발명에 대한 제한으로서 해석되어서는 안 되며 단지 예시일 뿐이다.

[0059] 도 5a 및 도 5b는 픽셀 중심에 위치한 PSF(즉, PSF 시프트 없음, 중심 픽셀 (0,0)에 위치한 PSF)를 도시한다. 도 5a는 모델링된 PSF(502)의 그래픽 데이터(500)를 도시한다. 도 5b는 저해상도 이미지 패치(512)의 그래픽 데이터(510)를 도시한다. 일 실시예에서, 저해상도 이미지 패치(512)는 검사 서버 시스템(102)에 의해 캡처된 국부적 결합을 도시한다. 다른 실시예에서, 모델링된 PSF(502)에 비해 결합의 더 적은 정의 특성들이 저해상도 이미지(512)에서 모델링된다. 예를 들어, 저해상도 이미지 패치(512)는 (0,0) 픽셀을 중심으로 하는 결합을 나타내는 모델링된 PSF(502)에 대응하여, 잠재적으로 (0,0) 픽셀에 위치하는 결합을 나타낸다. 다른 예로서, 저해상도 이미지 패치(512)는 (0,0) 픽셀을 둘러싸는 $(\pm 1,0)$ 및 $(0, \pm 1)$ 픽셀의 PSF 관독값 및 $(\pm 1, \pm 1)$ 픽셀의 PSF 관독값을 추가로 나타낸다.

[0060] 도 5c 및 도 5d는 픽셀 에지에 위치한 PSF(즉, 중심 픽셀 (0,0)의 좌측으로의 PSF 시프트)를 도시한다. 예를 들어, 공칭 픽셀 크기가 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 인 경우 PSF 시프트는 $-0.5\mu\text{m} \times 0\mu\text{m}$ 에 위치한다. 도 5c는 모델링된 PSF(522)의 그래픽 데이터(520)를 도시한다. 도 5d는 저해상도 이미지 패치(532)의 그래픽 데이터(530)를 도시한다. 일 실시예에서, 저해상도 이미지 패치(532)는 검사 서버 시스템(102)에 의해 캡처된 결합을 나타낸다. 다른 실시예에서, 모델링된 PSF(522)에 비해 결합의 더 적은 정의 특성들이 저해상도 이미지 패치(532)에서 모델링된다. 예를 들어, 저해상도 이미지 패치(532)는 (0,0)과 $(-1,0)$ 픽셀 사이에 있는 픽셀 에지를 중심으로 하는 결합을 나타내는 모델링된 PSF(522)에 대응하여 (0,0) 또는 $(-1,0)$ 픽셀에 잠재적으로 위치하는 결합을 나타낸다. 다른 예로서, 저해상도 이미지 패치(532)는 (0,0) 및 $(-1,0)$ 픽셀 각각을 둘러싸는 $(0, \pm 1)$ 및 $(-1, \pm 1)$ 픽셀들에서의 PSF 관독값들을 추가로 나타낸다.

[0061] 도 5e 및 도 5f는 픽셀 코너에 위치한 PSF(즉, 중심 픽셀 (0,0)의 좌측 위의 PSF 시프트)를 도시한다. 예를 들어, 공칭 픽셀 크기가 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 인 경우 PSF 시프트는 $-0.5\mu\text{m} \times -0.5\mu\text{m}$ 에 위치한다. 도 5e는 모델링된 PSF(542)의 그래픽 데이터(540)를 도시한다. 도 5f는 저해상도 이미지 패치(552)의 그래픽 데이터(550)를 도시한다. 일 실시예에서, 저해상도 이미지 패치(552)는 검사 서버 시스템(102)에 의해 캡처된 결합을 나타낸다. 다른 실시예에서, 모델링된 PSF(550)에 비해 결합의 더 적은 정의 특성들이 저해상도 이미지 패치(552)에서 모델링된다. 예를 들어, 저해상도 이미지 패치(552)는 (0,0), $(-1,0)$, $(-1,-1)$ 및 $(0,-1)$ 픽셀들 사이의 픽셀 코너를 중심으로 하는 결합을 나타내는 모델링된 PSF(542)에 대응하여, (0,0), $(-1,0)$, $(-1,-1)$ 또는 $(0,-1)$ 픽셀에 잠재적으로 위치하는 결합을 나타낸다.

[0062] 도 6a 및 도 6b는 하나 이상의 저해상도 모델링된 PSF로부터 재구성된 PSF의 모델링된 표현들을 도시한다. 일 실시예에서, 재구성된 PSF는 하나 이상의 초해상도 방식들을 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들에 적용함으로써 생성된다. 예를 들어, 도 6a 및 6b의 재구성된 PSF는 도 5b의 저해상도 이미지 패치(512)의 재구성된 고해상도 PSF로 될 수 있다. 도 6a는 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들로부터 재구성된 고해상도 모델링된 PSF(602)의 그래픽 데이터(600)를 도시한다. 일 실시예에서, 고해상도 모델링된 PSF(602)는 저해상도 이미지 패치(512)에서의 픽셀 크기보다 작은 픽셀 크기로 재구성된다. 도 6b는 하나 이상의 저해상도 PSF로부터 재구성된 고해상도 모델링된 PSF(612)의 그래픽 데이터(610)를 도시한다. 일 실시예에서, 고해상도 모델링된 PSF(612)는 저해상도 이미지 패치(512) 및 고해상도 모델 PSF(602)에서의 픽셀 크기보다 작은 픽셀 크기로 재구성된다. 재구성된 PSF(602 및 612)는 저해상도 이미지 패치들(즉, 도 5b에 도시된 이미지 패치들(512))에 초해상도 방식들을 적용하는 것의 연속적인 반복을 통해 도 5a에 도시된 모델링된 PSF(502)에 근접한다는 것을 알아야 한다.

[0063] 도 7a 내지 도 7c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF를 도시한다. 도 7a 내지 도 7c에서, 결함은 픽셀(즉, 중심 픽셀 (0,0)의 좌측으로의 PSF 시프트)에 위치한다. 예를 들어 1 μm×1 μm의 공칭 픽셀 크기를 기반으로 하여, PSF 시프트는 -0.4 μm×0 μm에 위치한다. 도 7a는 고해상도 PSF(702)의 그래픽 데이터(700)를 도시한다. 그래픽 데이터(700)는 고해상도 PSF(702)가 더 작은 픽셀들(701)로 구성되는 25 개의 픽셀들(501)을 포함한다.

[0064] 도 7b는 저해상도 PSF(712)의 그래픽 데이터(710)를 도시한다. 그래픽 데이터(710)는 25 개의 픽셀들(501)을 포함한다. 일 실시예에서, 저해상도 이미지 패치(712)는 고해상도 PSF(702)와 같은 콘볼루션된 PSF를 다운샘플링함으로써 형성된다. 다른 실시예에서, 저해상도 이미지 패치(712)는 검사 서브 시스템(102)에 의해 캡처된 결함을 나타낸다. 다른 실시예에서, 고해상도 PSF(702)에 비해 결함의 더 적은 정의 특성들이 저해상도 이미지(712)에서 모델링된다. 예를 들어, 저해상도 PSF(712)는 (0,0)와 (-1,0) 픽셀들 사이에 위치하는 픽셀 에지를 중심으로 하는 결함을 나타내는 모델링된 PSF(702)에 대응하여, ((0,0) 픽셀에서 결함 가능성이 더 높은) (0,0) 또는 (-1,0) 픽셀에 잠재적으로 위치하는 결함을 나타내고, (0,0) 및 (-1,0) 픽셀들을 각각 둘러싸는 (0, ±1) 및 (-1, ±1) 픽셀들 내의 PSF 관독값들을 추가로 나타낸다.

[0065] 도 7c는 재구성된 고해상도 PSF(722)의 그래픽 데이터(720)를 도시한다. 고해상도 PSF(722)는 픽셀들(721)로 구성된다는 것을 알아야 한다. 일 실시예에서, 고해상도 PSF(722)는 5×5 픽셀 비닝 콘볼루션 방식을 이용하여 생성된다.

[0066] [식 4]

$$X_d(e^{j\omega_h}, e^{j\omega_v}) = \frac{1}{d_h \times d_v} \sum_{k=0}^{d_h-1} \sum_{l=0}^{d_v-1} \left[X \left(e^{j\left(\frac{\omega_h}{d_h} - \frac{2\pi}{d_h}k\right)}, e^{j\left(\frac{\omega_v}{d_v} - \frac{2\pi}{d_v}l\right)} \right) * e^{-j\left(\frac{\omega_h}{d_h} - \frac{2\pi}{d_h}k\right)\Delta x} * e^{-j\left(\frac{\omega_v}{d_v} - \frac{2\pi}{d_v}l\right)\Delta y} \right]$$

[0067] 식 4는 표준 샘플링 이론 방정식을 나타낸다. 식 4에서, $\frac{w_h}{d_h}$ 및 $\frac{w_v}{d_v}$ 는 푸리에 변환(FT) 스케일링을 나타낸다.

[0068] 또한, $\frac{2\pi}{d_h}k$ 및 $\frac{2\pi}{d_v}l$ 은 FT 시프트를 나타낸다. 또한, $-j\left(\frac{w_h}{d_h} - \frac{2\pi}{d_h}k\right)$ 및 $-j\left(\frac{w_v}{d_v} - \frac{2\pi}{d_v}l\right)$ 는 FT 위상 시프트를 나타낸다. 또한, Δx 및 Δy는 공간 시프트를 나타낸다. 일 실시예에서, 각 (Δx, Δy)에 대한 방식들 세트인 식 4은 주어진 (ω_h, ω_v)에 대해 구성된다. 일 실시예에서, 그 해를 구하기 위해 선형의 최소 제곱법이 식 4에 적용된다.

[0069] 도 7d 및 도 7e는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 모델링된 PSF를 도시한다. 도 7d는 저해상도 이미

지 패치(732)의 그래픽 데이터(730)를 도시한다. 그래픽 데이터(730)는 25 개의 픽셀들(501)을 포함한다. 도 7d는 저해상도 이미지 패치(732)의 이산 시간 푸리에 변환(DIFT) 크기를 도시한다. 도 7e는 $\Delta x = -0.26/0.13 = -2$; $\Delta y = 0$; $d_h = 5$; 및 $d_v = 5$ 의 값을 갖는 저해상도 이미지 패치(732)에 식 4를 적용함으로써 생성된 고해상도 PSF(742)의 그래픽 데이터(740)를 도시한다.

[0070] 도 8a 및 도 8b는 본 발명에 따른, 원래의 서브 픽셀 시프트 위치 및 추정된 서브 픽셀 시프트 위치에서의 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들의 비교를 도시한다. 일 실시예에서, 서브 픽셀 시프트들은 스테이지(106)의 고유 랜덤 지터(즉, 랜덤 툴 생성 시프트들)에 의해 생성된 모션의 결과이다. 다른 실시예에서, 서브 픽셀 시프트들은 컨트롤러(110)에 의해 수동으로 생성된 모션의 결과이다. 다른 실시예에서, 스테이지(106)의 모션은 검사 서브 시스템(102)이 저해상도에서의 하나 이상의 이미지들을 캡처하도록 하나 이상의 웨이퍼들(104)의 하나 이상의 검사 영역들을 스캔하는 동안에 발생하며, 저해상도에서의 하나 이상의 이미지들은 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들을 포함한다.

[0071] 도 8a는 원래 위치(802) 및 추정된 위치(804)에서의 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들(예를 들어, 2D 서브 픽셀 시프트)의 수평 성분 및 수직 성분의 그래픽 데이터(800)를 도시한다. 예를 들어, 서브 픽셀 시프트들은 스테이지(106) 또는 검사 서브 시스템(102)에 의해 랜덤하게 생성될 수 있다. 다른 예로서, 서브 픽셀 시프트들은 제어된 방식으로 적용될 수 있다. 다른 예로서, 서브 픽셀 시프트들은 하나 이상의 보고되고 양자화된 서브 픽셀 시프트들일 수 있다. 도 8a로부터, 추정된 서브 픽셀 시프트들(804)은 원래의 서브 픽셀 시프트들(802)에 매우 가깝다는 것을 알 수 있다.

[0072] 도 8b는 각각의 서브 픽셀 시프트에 있어서의 추정된 위치(804)와 원래의 위치(802) 사이의 수평 오차 및 수직 오차(예를 들어, 2D 오차)를 나타내는 데이터 포인트들(812)을 포함하는 그래픽 데이터(810)를 도시한다. PSF가 수평 방향으로 더 좁기 때문에 수평 시프트 방향에서 오차가 더 크다는 것을 알아야 한다.

[0073] 본 명세서에서, 추정된 서브 픽셀 시프트들(804)은 가중치 중심 방식(weighted-centroid procedure)에 있어서의 가중치로서 사용된 픽셀 강도를 이용하여, 질량 중심 세트의 방정식들에 근거한 가중치 중심 방식으로 생성된다는 것을 알아야 한다.

[0074] 도 9a 내지 도 9c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따라, 하나 이상의 초해상도 방식들에서의 하나 이상의 추정된 결합 서브 픽셀 시프트들을 포함함으로써 고해상도 PSF를 재구성하기 위한 그래픽 데이터를 도시한다.

[0075] 도 9a는 추정된 PSF(902)의 그래픽 데이터(900)를 도시한다. 추정된 고해상도 PSF(902)는 픽셀들(901)로 구성된다는 것을 알아야 한다. 일 실시예에서, 추정된 고해상도 PSF(902)는 5×5 픽셀 비닝 콘볼루션 방식으로 생성된다. 다른 실시예에서, 추정된 고해상도 PSF(902)는 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들로부터 재구성된다. 다른 실시예에서, 추정된 고해상도 PSF(902)는 하나 이상의 양자화된 랜덤 추정의 서브 픽셀 시프트 위치들 및 하나 이상의 추가 추정의 서브 픽셀 시프트 위치들을 포함한다. 도 9b는 추정된 PSF(912)의 그래픽 데이터(910)를 도시한다. PSF(912)는 픽셀들(901)로 구성된다는 것을 알아야 한다. 일 실시예에서, 추정된 PSF(912)는 도 9a의 추정된 고해상도 PSF(902)로부터 FT 도메인에서 디콘볼루션된다. 다른 실시예에서, 추정된 PSF(912)는 하나 이상의 양자화된 랜덤 추정의 서브 픽셀 시프트 위치들 및 하나 이상의 추가 추정의 서브 픽셀 시프트 위치들을 포함한다. 도 9c는 추정된 PSF(922)의 그래픽 데이터(920)를 도시한다. 고해상도 PSF(922)는 픽셀들(901)로 구성된다는 것을 알아야 한다. 일 실시예에서, 추정된 PSF(922)는 도 9b의 추정된 PSF(912)로부터 콘볼루션된다. 다른 실시예에서, 추정된 PSF(922)는 하나 이상의 양자화된 랜덤 추정의 서브 픽셀 시프트 위치들 및 하나 이상의 추가 추정의 서브 픽셀 시프트 위치들을 포함한다. 다른 실시예에서, 최종적인 고해상도 PSF는 추정된 PSF(922)에 하나 이상의 초해상도 방식들을 적용함으로써 생성된다.

[0076] 일 실시예에서, 재구성된 고해상도 PSF로 하나 이상의 진보된 애플리케이션이 수행된다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 진보된 애플리케이션은 하나 이상의 초해상도 프로세스들로 수행된다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 진보된 애플리케이션은 재구성된 고해상도 PSF 및 검사 서브 시스템(102)의 교정을 위한 광학 구성 요소들의 추가 메트릭들로 수행된다.

[0077] 다른 실시예에서, 재구성된 고해상도 PSF는 검사 서브 시스템(102)의 교정을 위한 하나의 메트릭이다. 다른 실시예에서, 검사 서브 시스템의 교정을 위한 하나 이상의 추가 메트릭들이 생성된다. 예를 들어, 검사 서브 시스템(102)의 하나 이상의 광학 구성 요소들이 선택될 수 있다. 예를 들어, 광학 구성 요소들은 검사 서브 시스템(102)의 센서들 이전에 위치될 수 있다. 다른 예로서, 하나 이상의 추가 메트릭들이 하나 이상의 광학 구성 요소들에 대해 생성될 수 있다.

[0078] 다른 실시예에서, 재구성된 고해상도 PSF 및 검사 서브 시스템(102)에서의 광학 구성 요소들의 추가 메트릭들은 스펙클 패턴에 기초하여 필름들에 있어서의 이미지 스펙클 및 샷 노이즈를 감소시키는 데 적용 가능하다.

[0079] 다른 실시예에서, 재구성된 고해상도 PSF는 웨이퍼 검사 및 리뷰 동안 우주선 노이즈의 제거에 적용 가능하다.

[0080] 도 10a 내지 도 10d는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 픽셀들(1001)을 갖는 관측된 결합 이벤트를 도시한다. 일 실시예에서, 도 10a는 결합 이벤트(1002)의 그래픽 데이터(1000)를 도시한다. 다른 실시예에서, 도 10b는 결합 이벤트(1012)의 그래픽 데이터(1010)를 도시한다. 다른 실시예에서, 도 10c는 결합 이벤트(1022)의 그래픽 데이터(1020)를 도시한다. 다른 실시예에서, 도 10d는 결합 이벤트(1032)의 그래픽 데이터(1030)를 도시한다.

[0081] [식 5]

$$m(\mathbf{x}) = a \int_{\text{Pixels}} d^2 \mathbf{x}' PSF(\mathbf{x}' - \mathbf{x}_0)$$

[0083] [식 6]

$$r^2 = \sum_{\mathbf{x}} (\text{data}(\mathbf{x}) - m(\mathbf{x}))^2$$

[0085] 우주선 신호는 시스템 광학계와 독립적이므로 PSF에 의해 콘블루션되지 않는다는 것을 알아야 한다. 일 실시예에서, 우주선 노이즈를 거부하기 위해 하나 이상의 초해상도 방식들을 적용하는 것은 식 5에서 표현된 픽셀 $\mathbf{x} = (x, y)$ 에서 신호 결합을 1차 모델링하는 것을 포함한다. 다른 실시예에서, 제품 오차의 합은 나머지 값(r^2)을 결정하는 식 6를 이용하여 최소화된다. 다른 실시예에서, 아웃라이어(outlier)는 식 6으로부터 나머지 값(r^2)을 임계치로 함으로써 거부된다. 본 명세서에서 이벤트 강도에 따라 상이한 임계치들이 사용될 수 있음을 알아야 한다. 본 명세서에서 상이한 임계치들이 경험적으로 결정될 수 있음을 또한 알아야 한다.

[0086] 본 명세서에서, 모델링된 PSF는 (예를 들어, 검사 서브 시스템의 광학적 교정에서의 변화로 인해) 실제 PSF와 다를 수 있음을 알아야 한다. 또한, PSF 오차로부터의 나머지 값(r^2)은 이벤트 강도가 증가함에 따라 증가할 수 있음을 알아야 한다.

[0087] 도 11a 내지 도 11c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 실제 결합의 그래픽 데이터를 도시한다. 도 11a 내지 도 11c는 픽셀들(1101)을 갖는다는 것을 알아야 한다. 도 11a는 이미지 데이터(1102)의 그래픽 데이터(1100)를 도시한다. 도 11b는 이미지 데이터(1112)로부터 식 5로 생성된 모델(1112)의 그래픽 데이터(1110)를 도시한다. 도 11c는 모델(1112)로부터 식 6으로 생성된 나머지 값(r^2)(1122)의 그래픽 데이터(1120)를 도시한다.

[0088] 도 11d 내지 도 11f는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, 우주선 이벤트의 픽셀(1101)을 갖는 그래픽 데이터를 도시한다. 도 11d는 이미지 데이터(1132)의 그래픽 데이터(1130)를 도시한다. 도 11e는 이미지 데이터(1132)로부터 식 5로 생성된 모델(1142)의 그래픽 데이터(1140)를 도시한다. 도 11f는 모델(1112)로부터 식 6으로 생성된 나머지 값(r^2)(1122)의 그래픽 데이터(1150)를 도시한다.

[0089] 도 11g는 상이한 크기의 하나 이상의 입자들(1652)을 함유하는 입자 증착 웨이퍼(1650)를 도시한다. 예를 들어, 입자 증착 웨이퍼(1650)는 상술한 식 5 및 식 6를 구현하는 방법을 교정 및 테스트하는데 사용될 수 있다.

[0090] 다른 실시예에서, 검출되지 않은 대부분의 이벤트들은 하나 이상의 초해상도 방식들에 있어서의 설정된 임계값에 근접한다. 도 12a 내지 도 12c는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른 하나의 우주선 이벤트를 도시한다. 본 명세서에서 도 12a 내지 도 12c는 픽셀들(1201)을 갖는다는 것을 알아야 한다. 도 12a는 이미지 데이터(1202)의 그래픽 데이터(1200)를 도시한다. 도 12b는 이미지 데이터(1202)로부터 식 5로 생성된 모델(1212)의 그래픽 데이터(1210)를 도시한다. 도 12c는 모델(1212)로부터 식 6으로 생성된 나머지 값(r^2)(1222)의 그래픽 데이터(1220)를 도시한다.

[0091] 다른 실시예에서, 재구성된 고해상도 PSF는 웨이퍼 검사 서브 시스템의 동적 범위(예를 들어, 동적 범위 확대(DRE: Dynamic Range Extension))를 확대하는데 적용 가능하다. 본 명세서에서 검사 서브 시스템의 동적 범위

는 광도의 차이를 알 수 있는 톨의 기능을 나타낸다는 것을 알아야 한다. 일 실시예에서, 검사 서브 시스템은 나노미터 측정치로 결함 크기를 보고한다. 예를 들어, 나노미터 측정치는 먼저 전체 신호를 획득하고 교정 표를 사용하여 전체 신호를 나노미터로 변환함으로써 계산할 수 있다. 다른 실시예에서, 특정 나노미터 크기 이상의 결함들은 검사 서브 시스템(102)의 센서들을 포화시킬 것이다. 도 13a 및 도 13b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른 2 개의 검사된 결함을 도시한다. 도 13a는 단일의 포화된 픽셀(1302)의 그래픽 데이터(1300)를 도시한다. 도 13b는 다수의 포화된 픽셀(1312)을 갖는 그래픽 데이터(1310)를 도시한다.

[0092] 다른 실시예에서, DRE에 대한 하나 이상의 초해상도 프로세스의 적용은 불포화 픽셀만을 사용하여 PSF를 관측된 결함에 피팅하는 것과, 진폭 파라미터를 등가 픽셀 비닝 크기(예를 들어 2×2 비닝 크기, 5×5 비닝 크기, 7×7 비닝 크기 등)로 전환하는 것을 포함한다.

[0093] 다른 실시예에서, 하나 이상의 PSF 테일, 또는 PSF의 중심으로부터 가장 먼 PSF 내의 위치가 측정된다. 예를 들어, 하나 이상의 PSF 테일을 측정하는 것은 포화된 약 1 픽셀을 갖는 하나 이상의 광 포인트 결함들(LPD: Light Point Defect)로 웨이퍼를 검사하는 것을 포함할 수 있다. 다른 예로서, 하나 이상의 PSF 테일을 측정하는 것은 교정 PSF를 하나 이상의 LPD에 피팅하는 것을 포함할 수 있다. 다른 예로서, 하나 이상의 PSF 테일을 측정하는 것은 진폭 파라미터 및 빈(bin) 데이터에 의해 PSF를 그리드에 정규화하는 것을 포함할 수 있다.

[0094] 도 14a 및 도 14b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, PSF 테일들의 정규화된 강도 대 서브 픽셀 중심으로부터의 PSF 테일들의 거리를 도시한다. 도 14a는 검사 서브 시스템(102)의 접선 방향으로 서브 픽셀 중심(1401) 주위의 PSF 테일을 측정하기 위한 그래픽 데이터(1400)를 도시한다. 일 실시예에서, 회색선들(1402)은 서브 픽셀 중심(1401)의 특정의 선택된 거리 내에 있는 것으로 나타난 중심들을 갖는 결함들에 대한 정규화된 결함 신호들을 나타낸다. 다른 실시예에서, 검은선들(1404)은 서브 픽셀 중심(1401)의 특정의 선택된 거리 내에 있는 것으로 나타난 중심을 갖는 각각의 결함에 대한 최대-최소-평균선들을 나타낸다. 도 14b는 검사 서브 시스템(102)의 반경 방향으로 서브 픽셀 중심(1401) 주위의 PSF 테일을 측정하기 위한 그래픽 데이터(1410)를 도시한다. 일 실시예에서, 회색 선들(1412)은 서브 픽셀 중심(1401)의 특정의 선택된 거리 내에 있는 것으로 나타난 중심들을 갖는 결함들에 대한 정규화된 결함 신호들을 나타낸다. 다른 실시예에서, 검은선들(1414)은 서브 픽셀 중심(1401)의 특정의 선택된 거리 내에 있는 것으로 나타난 중심을 갖는 각각의 결함에 대한 최대-최소-평균선들을 나타낸다.

[0095] 도 15a 및 도 15b는 본 발명의 하나 이상의 실시예들에 따른, DRE에의 초해상도 방식들의 적용에 후속해서 PSF 테일들의 강도 대 서브 픽셀 중심으로부터의 PSF 테일들의 거리를 도시한다. 도 15a는 검사 시스템의 반경 방향으로의 측정된 PSF 테일들의 그래픽 데이터(1500)를 도시한다. 일 실시예에서, 선(1502)은 고해상도 PSF를 나타낸다. 다른 실시예에서, 선(1504)은 상술한 바와 같이, 포화된 대략 1 픽셀을 갖는 하나 이상의 LPD에 교정된 PSF를 피팅하는 것을 포함하는 방식을 통해 생성된 고해상도 PSF를 나타낸다. 도 15b는 검사 시스템의 접선 방향으로의 측정된 PSF 테일의 그래픽 데이터(1510)를 도시한다. 일 실시예에서, 선(1502)은 고해상도 PSF를 나타낸다. 다른 실시예에서, 선(1504)은 상술한 바와 같이 포화된 대략 1 픽셀을 갖는 하나 이상의 LPD에 교정된 PSF를 피팅하는 것을 포함하는 방식들을 통해 생성된 고해상도 PSF를 나타낸다.

[0096] 도 15c는 PSF 테일들(1522) 간의 차의 그래픽 데이터(1520)를 도시한다. 도 15c에 도시된 바와 같이, 하나 이상의 초해상도 방식들을 DRE에 적용하면 PSF 데이터 내의 링잉이 제거된다.

[0097] 도 16a 내지 도 16d는 검사 시스템의 동적 범위를 확대하기 위해 DRE에 맞추어진 초해상도 방식들의 결과들을 도시한다.

[0098] 도 16a는 DRE에 적용되는 하나 이상의 초해상도 방식들로 수정되지 않은 불포화 시스템에서의 결함 곡선(1602) 및 피크 위치(1604)를 갖는 그래픽 데이터(1600)를 도시한다. 도 16b는 DRE에 적용되는 하나 이상의 초해상도 방식들로 수정되지 않은 포화 시스템에서의 결함 곡선(1612), 피크 위치(1614) 및 예상 피크 위치(1616)를 갖는 그래픽 데이터(1610)를 도시한다. 여기서, 예상 피크 위치(1616)는 실제 피크(1614)로부터의 오차가 25 %이다. 도 16c는 DRE에 적용된 하나 이상의 초해상도 방식들로 수정된 불포화 시스템에서의 결함 곡선(1622) 및 피크 위치(1624)를 갖는 그래픽 데이터(1620)를 도시한다. 도 16d는 DRE에 적용되는 하나 이상의 초해상도 방식들로 수정된 포화 시스템에서의 결함 곡선(1632), 피크 위치(1634) 및 예상 피크 위치(1636)를 갖는 그래픽 데이터(1630)를 도시한다. 여기서, 예상 피크 위치(1636)는 실제 피크(1634)로부터 오차가 1 % 미만이다.

[0099] 도 16a 내지 도 16d에 도시된 바와 같이, 검사 시스템 센서들을 포화시키는 결함들은 하나 이상의 초해상도 방식들이 DRE에 적용될 때 정확하게 크기 조정되고, 큰 결함들의 재 크기 조정에서의 사용을 나타낸다.

- [0100] 본 발명의 실시예들이 하나 이상의 초해상도 프로세스들 및/또는 재구성된 고해상도 PSF로 하나 이상의 진보된 애플리케이션들을 수행하는 것에 관한 것이지만, 본 명세서에서는 하나 이상의 진보된 애플리케이션들이 검사 서버 시스템(102)의 교정을 위한 광학 구성 요소들의 추가 메트릭들을 이용하여 수행될 수 있다는 것을 알아야 한다. 예를 들어, 하나 이상의 진보된 애플리케이션들은 하나 이상의 초해상도 프로세스들 및/또는 재구성된 고해상도 PSF 및 광학 구성 요소들의 추가 메트릭들을 이용하여 수행될 수 있다. 그러므로, 상기 설명은 본 발명에 대한 제한으로서 해석되어서는 안되며 단지 예시일 뿐이다.
- [0101] 본 명세서에서 도 2a 내지 도 16d의 모든 세부 사항들은 하나 이상의 초해상도 방식들의 응용 예로서 고려되어야 한다는 것을 알아야 한다. 그러므로, 상기 설명은 본 발명에 대한 제한으로서 해석되어서는 안되며 단지 예시일 뿐이다.
- [0102] 도 17은 하나 이상의 저해상도 웨이퍼 검사 이미지들을 재구성하기 위해 하나 이상의 초해상도 방식들을 구현하는 검사 시스템을 교정하는 방법(1700)을 나타내는 프로세스 흐름도를 도시한다. 여기에서, 방법(1700)의 단계들은 시스템(100)에 의해 전부 또는 부분적으로 구현될 수 있음을 알아야 한다. 그러나, 방법(1700)은 부가적인 또는 대안적인 시스템 레벨 실시예가 방법(1700)의 단계들의 전부 또는 일부를 수행할 수 있다는 점에서 시스템(100)으로 제한되지 않는다는 것을 또한 알아야 한다.
- [0103] 단계(1702)에서, 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들이 획득된다. 일 실시예에서, 모션은 검사 서버 시스템(102) 또는 스테이지(106)에서 발생한다. 예를 들어, 모션은 랜덤일 수 있다. 다른 예로서, 모션은 수동으로 가해질 수 있다. 다른 실시예에서, 모션은 검사 서버 시스템(102)이 하나 이상의 웨이퍼들(104)의 하나 이상의 검사 영역들의 하나 이상의 이미지들을 스캔하는 동안 발생한다. 각각에 있어서, 이미지들은 저해상도로 캡처될 수 있다. 다른 실시예에서, 모션은 하나 이상의 저해상도 이미지들에서 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들을 생성한다. 다른 실시예에서, 저해상도 이미지 패치들은 웨이퍼(104)의 하나 이상의 이미지들의 부분들이다. 다른 실시예에서, 저해상도 이미지 패치들은 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들을 포함한다. 본 명세서에서, 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들은 검사 서버 시스템(102)으로부터 획득될 수 없지만, 대신에 이전에 저장된 이미지 패치들이거나 시스템(100)에서와 상이한 검사 서버 시스템으로부터 획득될 수 있다.
- [0104] 단계(1704)에서, 저해상도 이미지 패치들이 집합된다. 일 실시예에서, 하나 이상의 저해상도 이미지 패치들은 검사 서버 시스템(102) 상의 하나 이상의 인코더에 의해 집합되어 컨트롤러(110)에 전송된다. 다른 실시예에서, 저해상도 이미지 패치들은 개별적으로 수신되고 컨트롤러(110) 내의 하나 이상의 인코더에 의해 집합된다.
- [0105] 단계(1706)에서, 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들이 저해상도 이미지 패치들에서 추정되며, 동시에 하나 이상의 고해상도 PSF가 재구성된다. 일 실시예에서, 하나 이상의 서브 픽셀 시프트들이 저해상도 이미지 패치들에서 추정되며, 하나 이상의 고해상도 PSF가 하나 이상의 초해상도 방식들로 동시에 재구성된다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 초해상도 방식들은 검사 서버 시스템의 주파수 도메인에 의존하는 적어도 하나의 선형 방식들 세트를 포함한다.
- [0106] 추가 단계(1708)에서, 검사 서버 시스템(102)의 하나 이상의 광학 구성 요소들이 선택된다. 일 실시예에서, 검사 서버 시스템(102)을 교정하기 위해 하나 이상의 광학 구성 요소들이 선택된다. 다른 실시예에서, 검사 서버 시스템(102)의 하나 이상의 구성 요소들은 센서 이전에 위치된다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 광학 구성 요소들은 센서 픽셀 효과를 디콘볼루션함으로써 선택되며, 여기서 센서 픽셀 효과는 언더샘플링되거나 포화된 픽셀에 의한 하나 이상의 이미지들의 블러링이다. 다른 실시예에서, 선택된 하나 이상의 광학 구성 요소들은 하나 이상의 동작 파라미터들을 갖는다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 동작 파라미터들은 광학 모델과 비교된다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 동작 파라미터들은 광학 설계/정렬 진단을 위해 사용된다.
- [0107] 추가 단계(1710)에서, 검사 시스템에 대한 하나 이상의 추가 메트릭들이 생성된다. 일 실시예에서, 재구성된 PSF는 검사 서버 시스템(102)의 하나의 메트릭이다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 메트릭들은 검사 서버 시스템(102)을 교정하기 위한 하나 이상의 추가 메트릭들을 포함한다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 추가 메트릭들은 하나 이상의 선택된 광학적 구성 요소들의 하나 이상의 동작 파라미터들에 기초한다. 예를 들어, 하나 이상의 추가 메트릭들은 둘러싸인 에너지 비율 대 PSF 이미지의 유효 영역을 포함할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0108] 추가 단계(1712)에서, 하나 이상의 진보된 애플리케이션들이 수행된다. 일 실시예에서, 진보된 애플리케이션들은 재구성된 고해상도 PSF로 수행된다. 다른 실시예에서, 진보된 애플리케이션은 재구성된 고해상도 PSF 및 검

사 서버 시스템(102)의 선택된 광학 구성 요소들의 추가 메트릭들로 수행된다. 다른 실시예에서, 진보된 애플리케이션들은 스펙클 패턴에 기초하여 필름들에 있어서의 이미지 스펙클 및 샷 노이즈의 감소를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 진보된 애플리케이션들은 우주선 이벤트들을 실제 결함들과 구별하는 하나 이상의 우주선 이벤트의 거부를 포함한다. 다른 실시예에서, 재구성된 고해상도 PSF는 웨이퍼 검사 서버 시스템의 동적 범위의 확대에 적용 가능하다.

[0109] 추가 단계에서, 하나 이상의 웨이퍼들에 대한 검사 레시피가 생성된다. 일 실시예에서, 하나 이상의 웨이퍼들에 대한 검사 레시피는 하나 이상의 고해상도 PSF 이미지에 기초하여 생성된다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 고해상도 PSF 이미지들 및 하나 이상의 추가 교정 메트릭들에 기초하여 하나 이상의 웨이퍼들에 대한 검사 레시피를 생성한다.

[0110] 추가 단계에서, 하나 이상의 웨이퍼들은 재구성된 고해상도 PSF 및 하나 이상의 초해상도 방식들로 결함들에 대해 검사된다. 일 실시예에서, 하나 이상의 웨이퍼들의 하나 이상의 검사 영역들의 하나 이상의 결함 검사 이미지들이 수신된다. 일 실시예에서, 결함 검사 이미지들은 고해상도 PSF와 동일한 검사 영역들을 포함한다. 다른 실시예에서, 결함 검사 이미지들은 재구성된 고해상도 PSF에 의해 캡처된 동일한 검사 영역들의 일부만을 포함한다. 다른 실시예에서, 결함 검사 이미지들은 재구성된 고해상도 PSF에 포함된 것과 상이한 검사 영역들을 포함한다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 검사 이미지들은 검사 서버 시스템(102)에 의해 획득된다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 결함 검사 이미지들은 하나 이상의 관측된 결함들을 포함한다.

[0111] 다른 실시예에서, 결함 검사 이미지들 및 고해상도 PSF는 하나 이상의 추가 초해상도 방식들과 결합된다. 일 실시예에서, 하나 이상의 추가 초해상도 방식들은 적어도 하나의 비선형 피팅 방식을 포함한다. 다른 실시예에서, 비선형 피팅 방식은 재구성된 고해상도 PSF와 결함 검사 이미지들 내의 하나 이상의 관측된 결함들을 결합한다.

[0112] 본 명세서에서 하나 이상의 관측된 결함들과 고해상도 PSF 사이의 유사성은 결함 검사 이미지들 내의 하나 이상의 노이즈들과 하나 이상의 결함들 간을 구별한다는 것을 알아야 한다. 예를 들어, 도 11a 및 도 11b는 실제 결함 신호(도 11a)와 고해상도 PSF(도 11b) 사이의 유사성을 도시한다. 다른 예로서, 도 11d 및 도 11e는 우주선 이벤트(도 11d)와 고해상도 PSF(도 11e) 사이의 차를 도시한다.

[0113] 추가 단계에서, 검사 레시피는 픽셀 포화의 PSF 재구성을 생성하도록 조정된다. 일 실시예에서, 검사 레시피는 하나 이상의 PSF 테일들을 측정하기 위해 픽셀 포화의 재구성된 고해상도 PSF를 생성하도록 조정된다. 다른 실시예에서, 검사 레시피는 검사 레시피의 실리카 반응을 포화시키도록 조정된다. 다른 실시예에서, 포화없이 재구성된 하나 이상의 고해상도 이미지들은 하나 이상의 PSF 테일들을 측정하기 위해 픽셀 포화의 PSF를 정렬하는데 사용된다.

[0114] 추가 단계에서, 하나 이상의 고해상도 방식들은 하나 이상의 고해상도 PSF의 하나 이상의 PSF 테일 부분들을 포커싱하도록 수정된다. 일 실시예에서, 하나 이상의 초해상도 방식들은 적어도 하나의 비선형 피팅 방식을 포함한다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 PSF 테일 부분들을 포커싱하기 위해 하나 이상의 초해상도 방식들을 수정하면 하나 이상의 결함들의 전체 산란을 수립할 수 있다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 PSF 테일 부분들을 포커싱하기 위해 하나 이상의 초해상도 방식들을 수정하면 검사 서버 시스템(102)의 동적 범위를 확대시킬 수 있다.

[0115] 본 명세서에서, 본 발명의 결과들(예를 들어, 초해상도 방식들, 고해상도 PSF, 고해상도 PSF에 기초한 웨이퍼 검사 레시피, 고해상도 PSF를 진보된 애플리케이션들에 적용한 결과들, 등)은 반도체 장치 제조 라인의 하나 이상의 처리 톨에 피드백 또는 피드포워드 정보를 제공하기 위해 컨트롤러(110)(또는 다른 컨트롤러, 사용자 또는 원격 서버)에 의해 사용될 수 있다. 이와 관련하여, 시스템(100)에 의해 관측되거나 측정된 하나 이상의 결과들은 반도체 장치 제조 라인의 이전 단계들(피드백) 또는 후속 단계들(피드포워드)에서 프로세스 조건들을 조정하는데 사용될 수 있다.

[0116] 여기에 기술된 모든 방법들은 방법 실시예의 하나 이상의 단계들의 결과들을 저장 매체에 저장하는 것을 포함할 수 있다. 결과들은 본 명세서에 설명된 결과들 중 임의의 것을 포함할 수 있고 공지된 임의의 방식으로 저장될 수 있다. 저장 매체는 본 명세서에 설명된 임의의 저장 매체 또는 공지된 임의의 다른 적절한 저장 매체를 포함할 수 있다. 결과들이 저장된 후에, 결과들은 저장 매체에서 액세스될 수 있고, 본 명세서에 설명된 임의의 방법 또는 시스템 실시예에 의해 사용되거나, 사용자에게 디스플레이하기 위해 포맷되거나, 다른 소프트웨어 모듈, 방법 또는 시스템 등에 의해 사용된다. 또한 결과들은 "영구적으로", "반영구적으로", 일시적으로 또는 일

정 기간 저장될 수 있다. 예를 들어, 저장 매체는 랜덤 액세스 메모리(RAM)일 수 있고, 결과들은 반드시 저장 매체에 무기한으로 저장되지 않을 수 있다.

[0117] 당업자는 시스템들의 형태들에 대한 하드웨어 구현과 소프트웨어 구현 간의 구별이 거의 존재하지 않는 상태로 진행되고 있다는 것을 인식할 것이다. 하드웨어 또는 소프트웨어의 사용은 일반적으로 (특정 상황에서는 하드웨어와 소프트웨어 간의 선택이 중요해질 수 있음) 비용 대 효율성 절충을 나타내는 설계 선택 사항이다. 당업자는 여기에 설명된 프로세스 및/또는 시스템 및/또는 다른 기술들(예를 들어, 하드웨어, 소프트웨어 및/또는 펌웨어)이 영향을 미칠 수 있는 다양한 수단들이 있고, 바람직한 수단은 프로세스 및/또는 시스템 및/또는 다른 기술들이 전개되는 상황에 따라 변할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 예를 들어, 구현자가 속도와 정확도가 가장 중요하다고 판단한 경우, 구현자는 주로 하드웨어 및/또는 펌웨어 수단을 선택할 수 있고, 대안으로, 유연성이 가장 중요한 경우 구현자는 주로 소프트웨어 구현을 선택할 수 있거나, 다른 대안으로, 구현자는 하드웨어, 소프트웨어 및/또는 펌웨어의 일부 조합을 선택할 수 있다. 따라서, 여기에 기술된 프로세스들 및/또는 디바이스들 및/또는 다른 기술들이 수행될 수 있는 몇몇 가능한 수단들이 존재하며, 이용될 수단이 전개되는 상황과 구현자의 특정 사항들(예를 들어, 속도, 유연성, 또는 예측 가능성)에 따라서 선택한다는 점에서 그 중 어떤 것도 본질적으로 다른 수단보다 우수하지 않으며, 그 중 일부는 변할 것이다. 당업자는 광학적인 구현 형태가 통상적으로 광학적으로 지향된 하드웨어, 소프트웨어 및/또는 펌웨어를 통상적으로 사용할 수 있다는 것을 인식할 것이다.

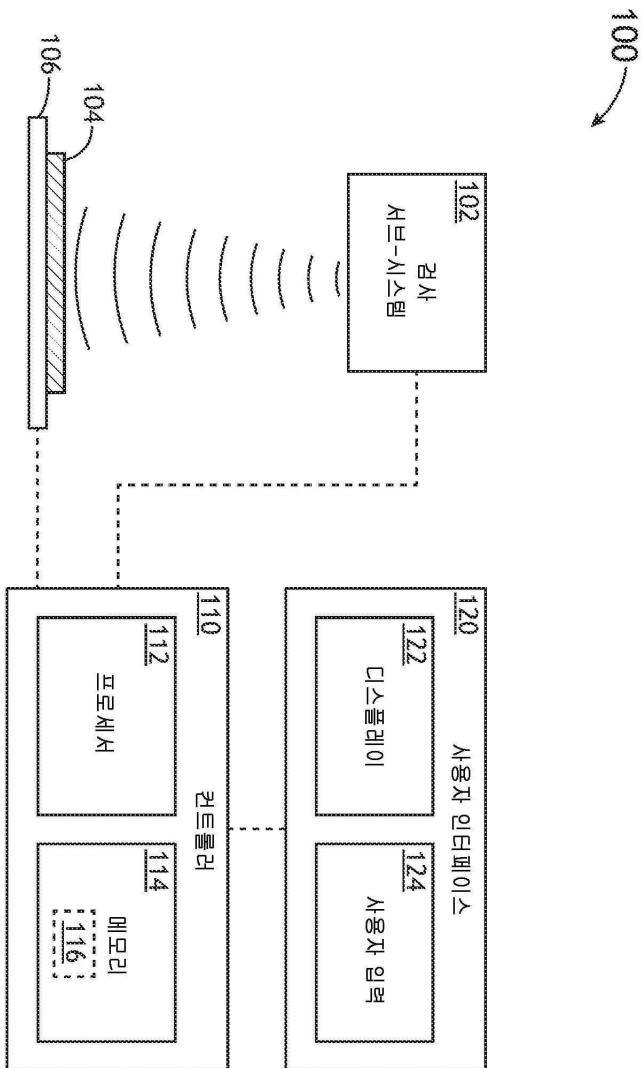
[0118] 당업자는 본 명세서에 설명된 방식으로 디바이스들 및/또는 프로세스들을 기술하고, 그 후 이러한 기술된 디바이스들 및/또는 프로세스들을 데이터 처리 시스템들에 통합하기 위해 공학적인 실행들을 이용하는 것이 당업계에서 통상적이라는 것을 인식할 것이다. 즉, 여기에 기술된 디바이스들 및/또는 프로세스들의 적어도 일부는 합리적인 양의 실험을 통해 데이터 처리 시스템에 통합될 수 있다. 당업자는 통상적인 데이터 처리 시스템이 일반적으로 하나 이상의 시스템 유닛 하우징, 비디오 디스플레이 디바이스, 휘발성 및 비 휘발성 메모리와 같은 메모리, 마이크로 프로세서 및 디지털 신호 프로세서와 같은 프로세서, 운영 시스템, 드라이버들, 그래픽 사용자 인터페이스들, 및 응용 프로그램들과 같은 연산 엔티티들, 터치 패드 또는 스크린과 같은 하나 이상의 상호작용 디바이스들, 및/또는 피드백 루프들 및 제어 모터들을 포함하는 제어 시스템(예를 들어, 위치 및 속도를 감지하기 위한 피드백, 구성 요소 및/또는 양을 이동 및/또는 조정하기 위한 제어 모터)을 포함한다는 것을 인식할 것이다. 통상적인 데이터 처리 시스템은 데이터 컴퓨팅/통신 및/또는 네트워크 컴퓨팅/통신 시스템에서 일반적으로 발견되는 것과 같은 임의의 적합한 상업적으로 이용 가능한 구성 요소들을 이용하여 구현될 수 있다.

[0119] 본 발명 및 본 발명의 부수적인 장점들 대부분은 상술한 설명에 의해 이해될 것이고, 개시된 내용을 벗어나지 않거나 주제 또는 모든 물질적 장점을 희생하지 않고 구성 요소의 형태, 구성 및 배치에 다양한 변경이 가해질 수 있음이 자명하다고 생각된다. 기술된 형태는 단지 설명적인 것이며, 이하의 청구 범위가 이러한 변경들을 포괄하고 포함하고자 한다.

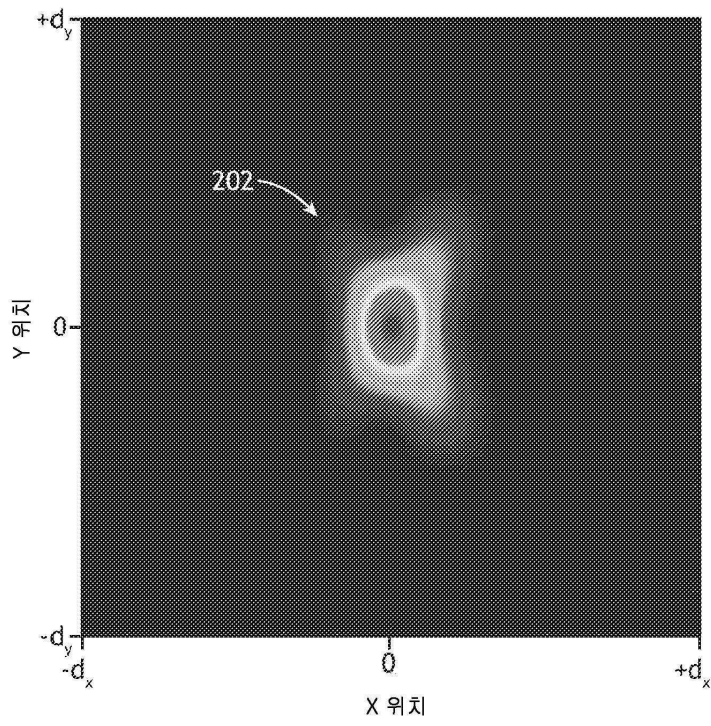
[0120] 본 발명의 특정 실시예가 설명되었지만, 상술한 발명의 범위 및 사상을 벗어나지 않고 당업자에 의해 본 발명의 다양한 변형 및 실시예가 이루어질 수 있음이 자명하다. 따라서, 본 발명의 범위는 여기에 첨부된 청구 범위에 의해서만 제한되어야 한다.

도면

도면1

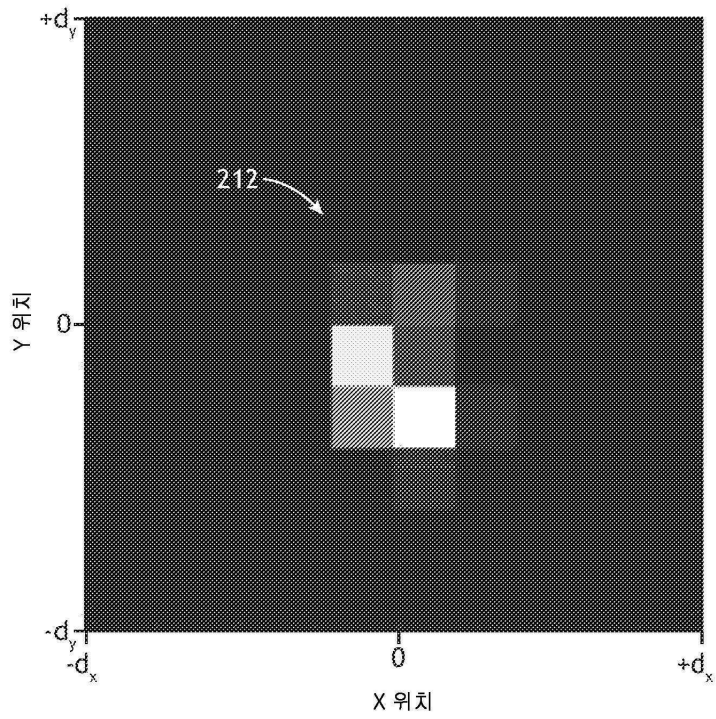


도면2a



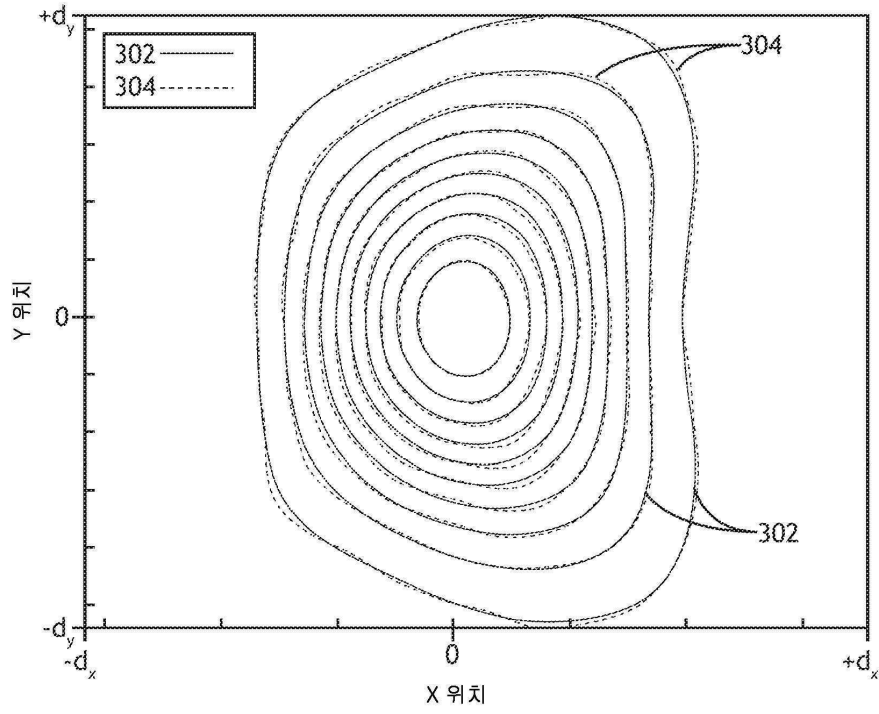
도면2b

210

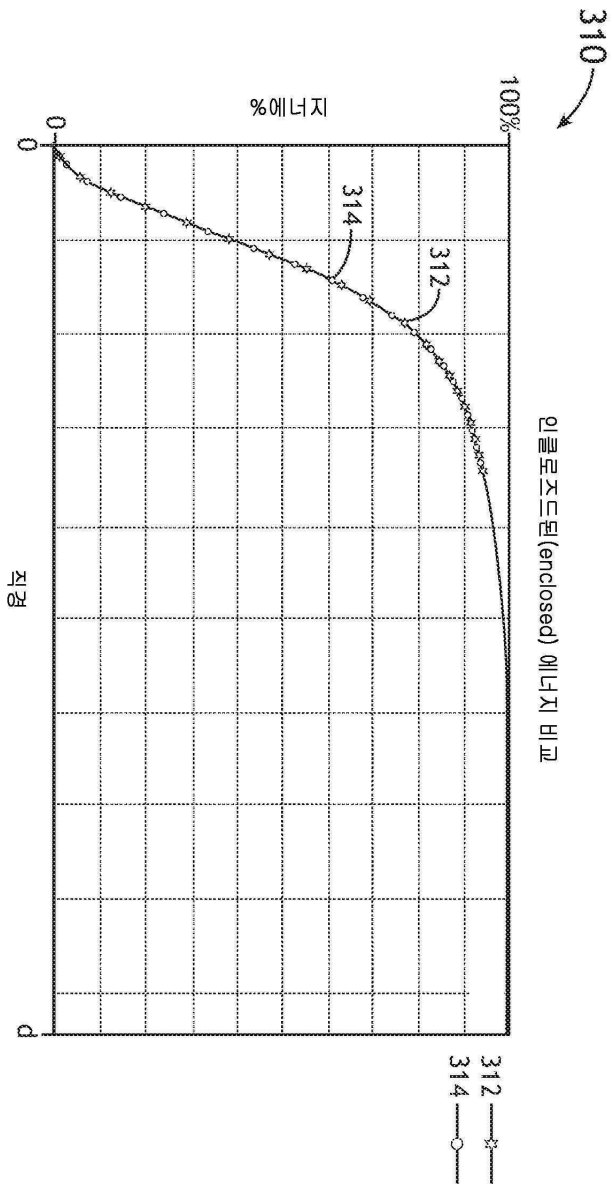


도면3a

300

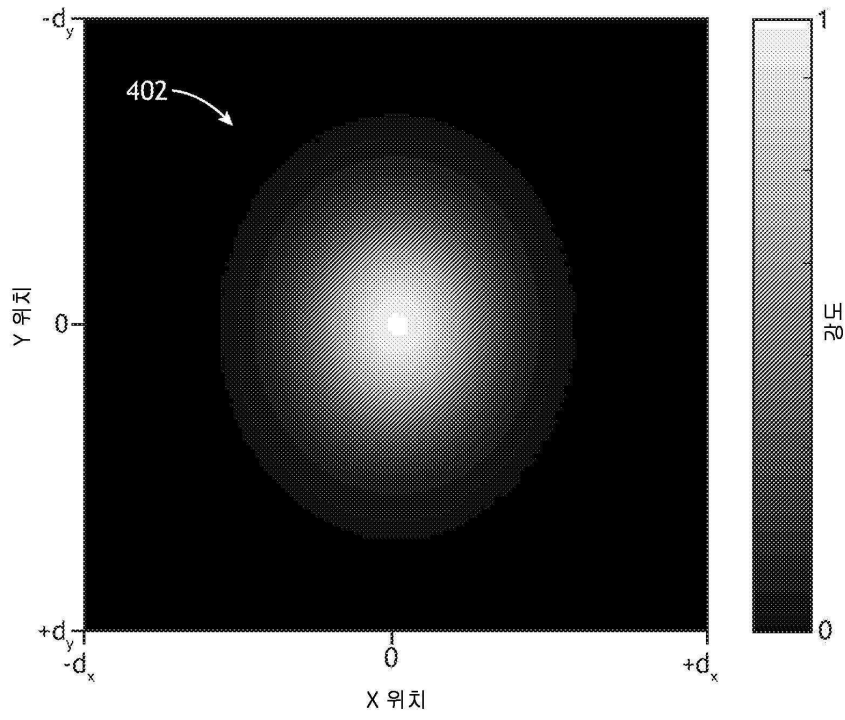


도면3b



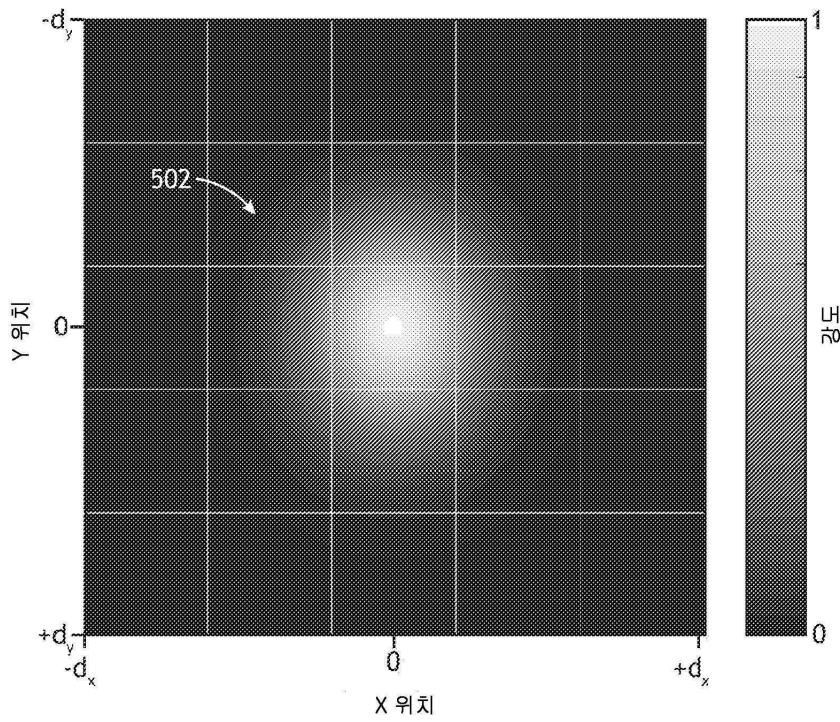
도면4

400

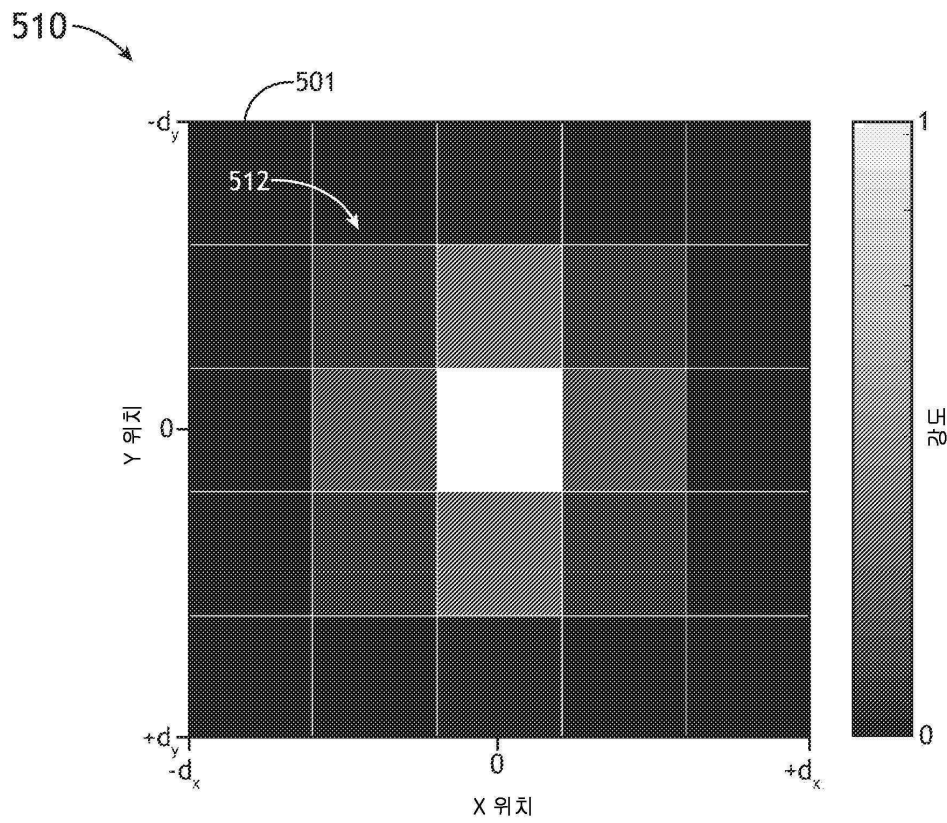


도면5a

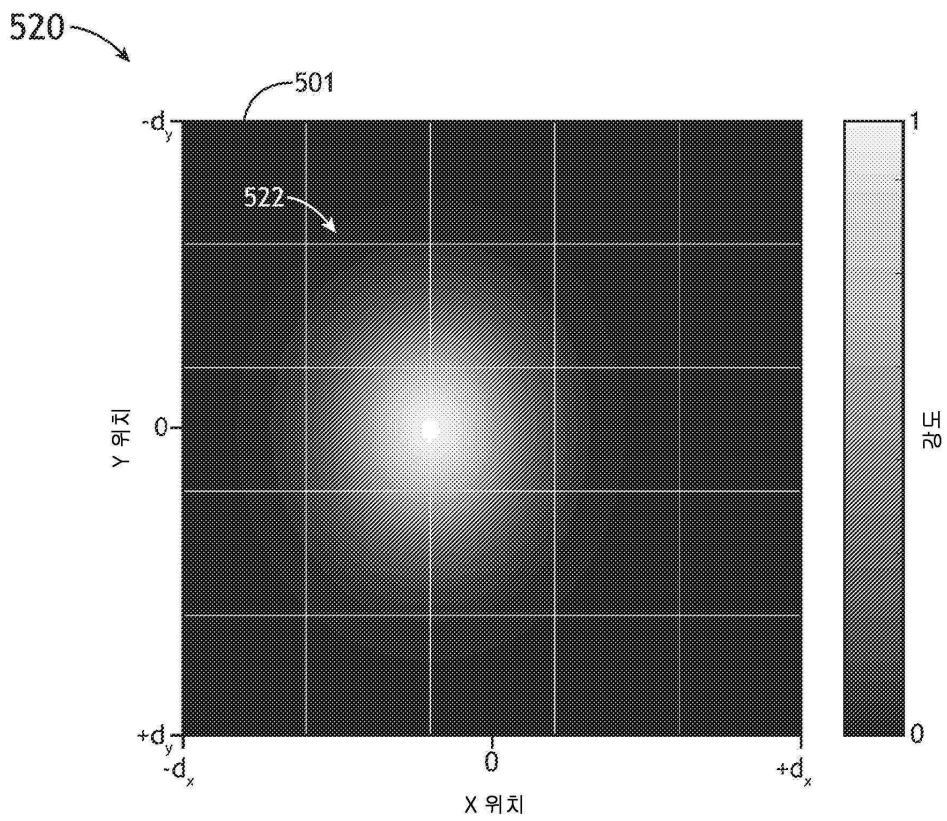
500



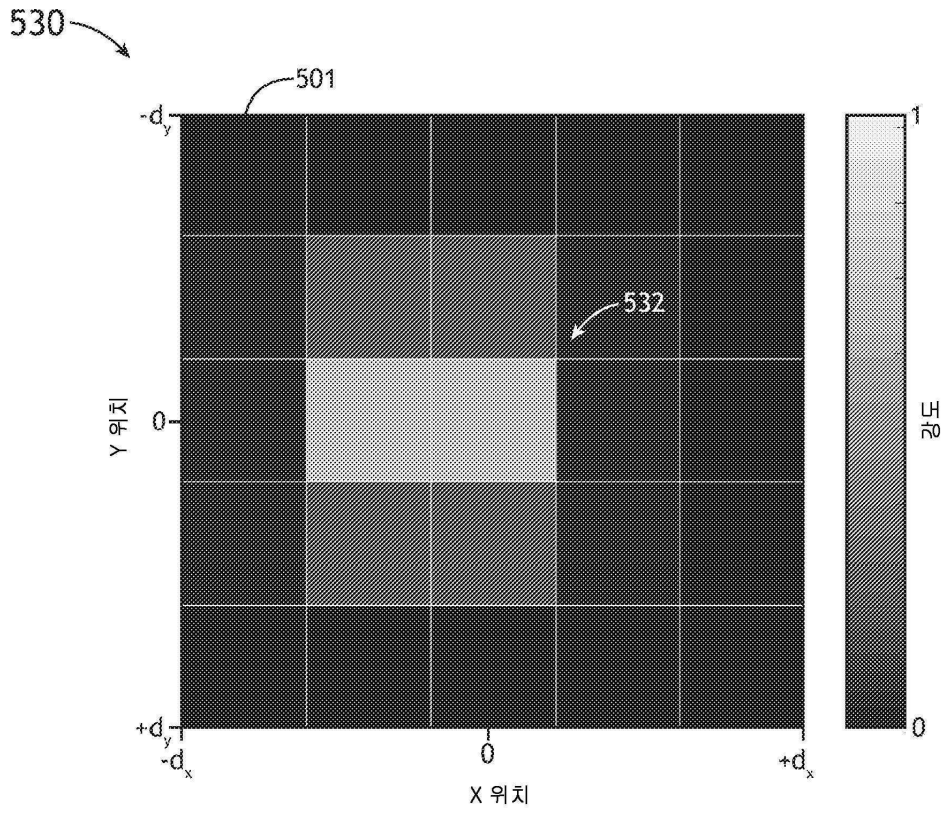
도면5b



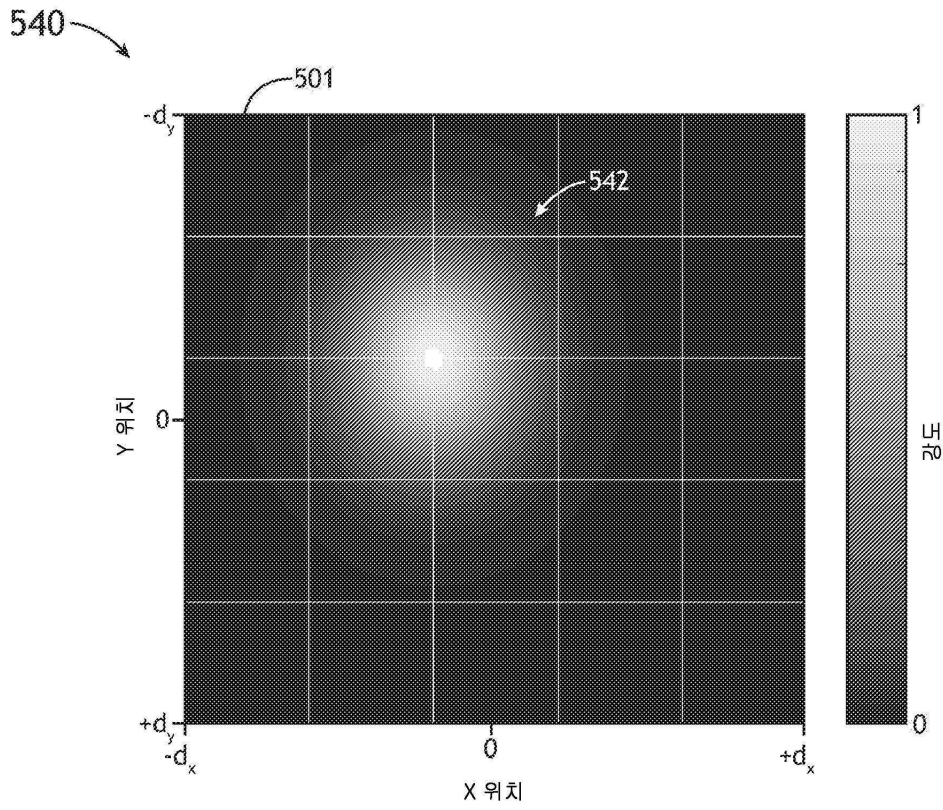
도면5c



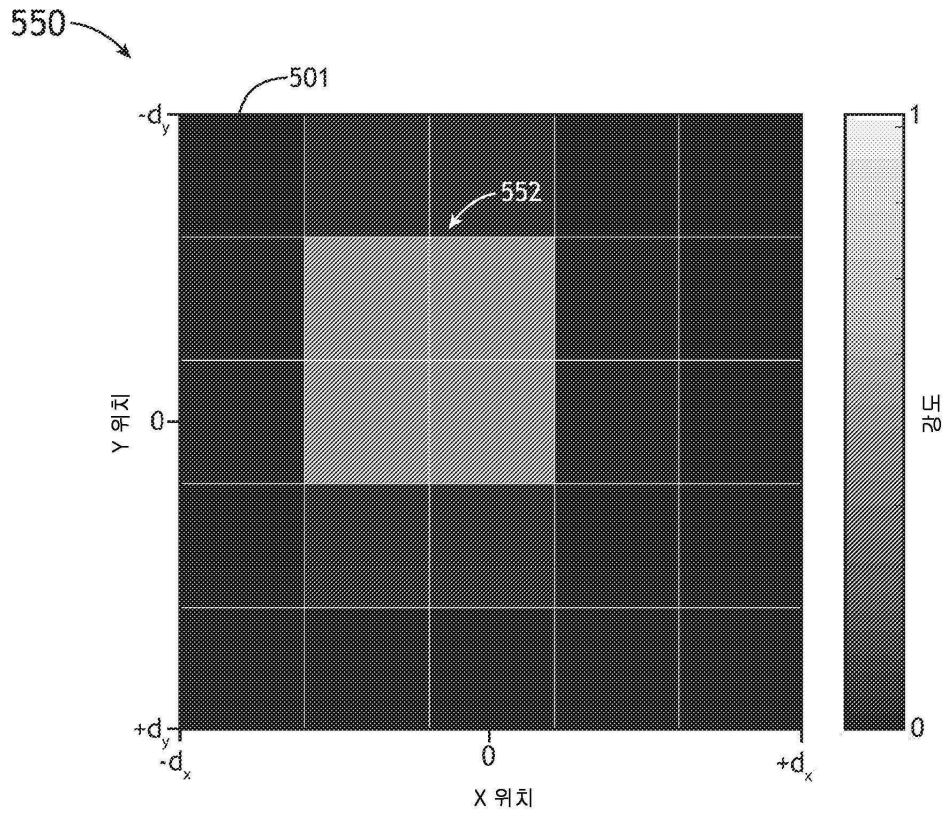
도면5d



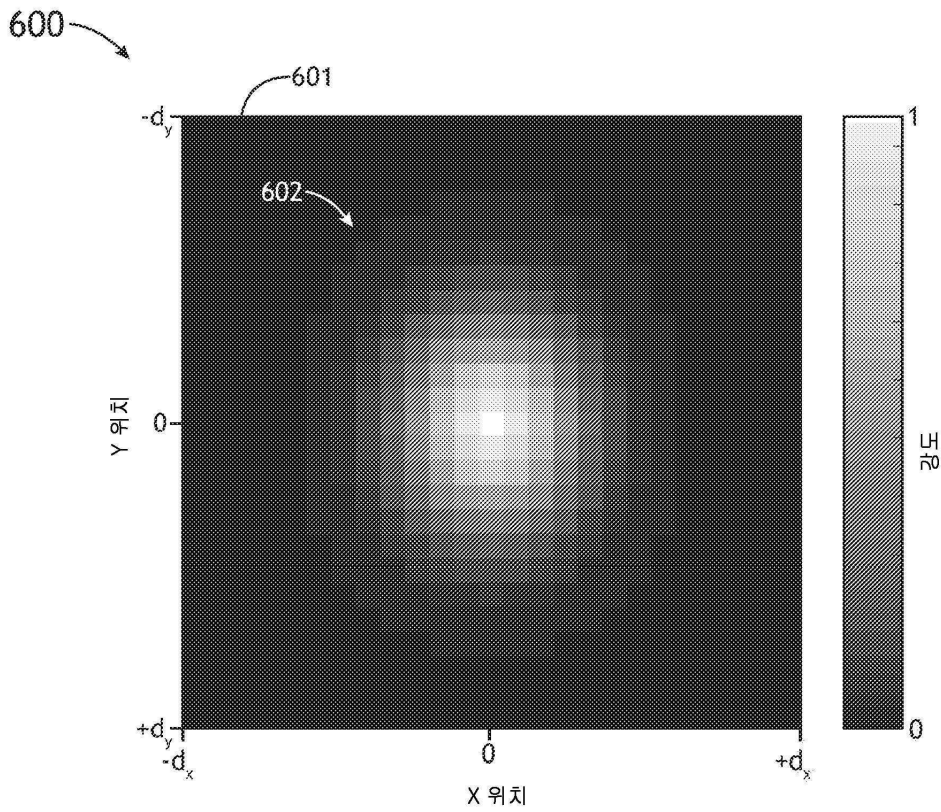
도면5e



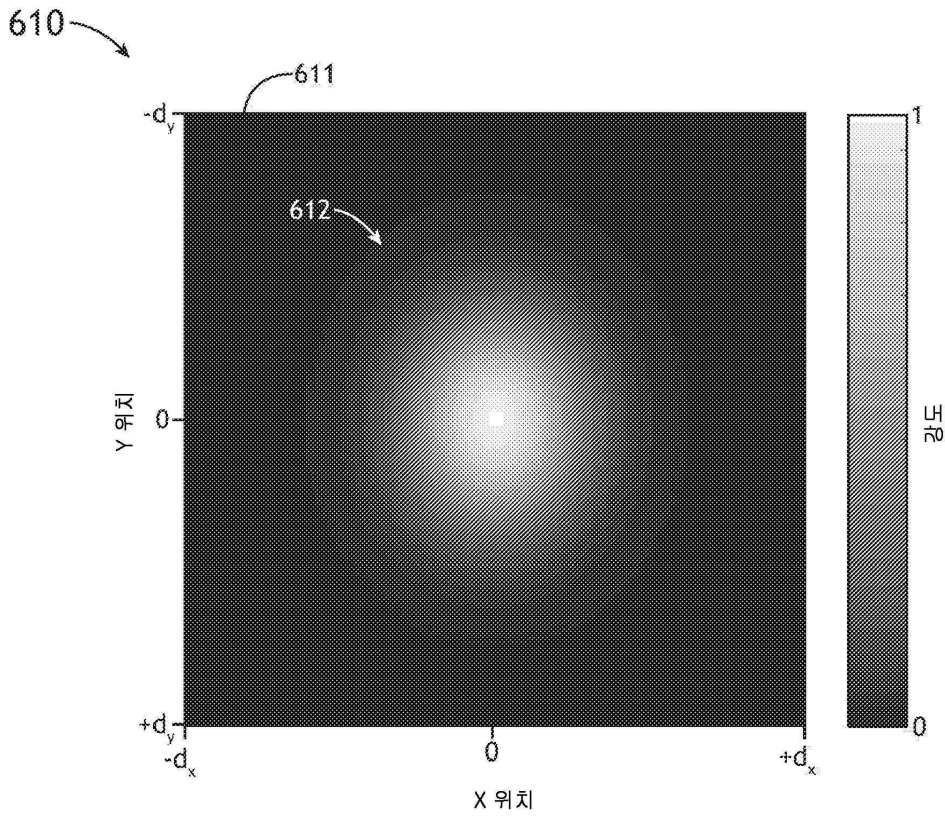
도면5f



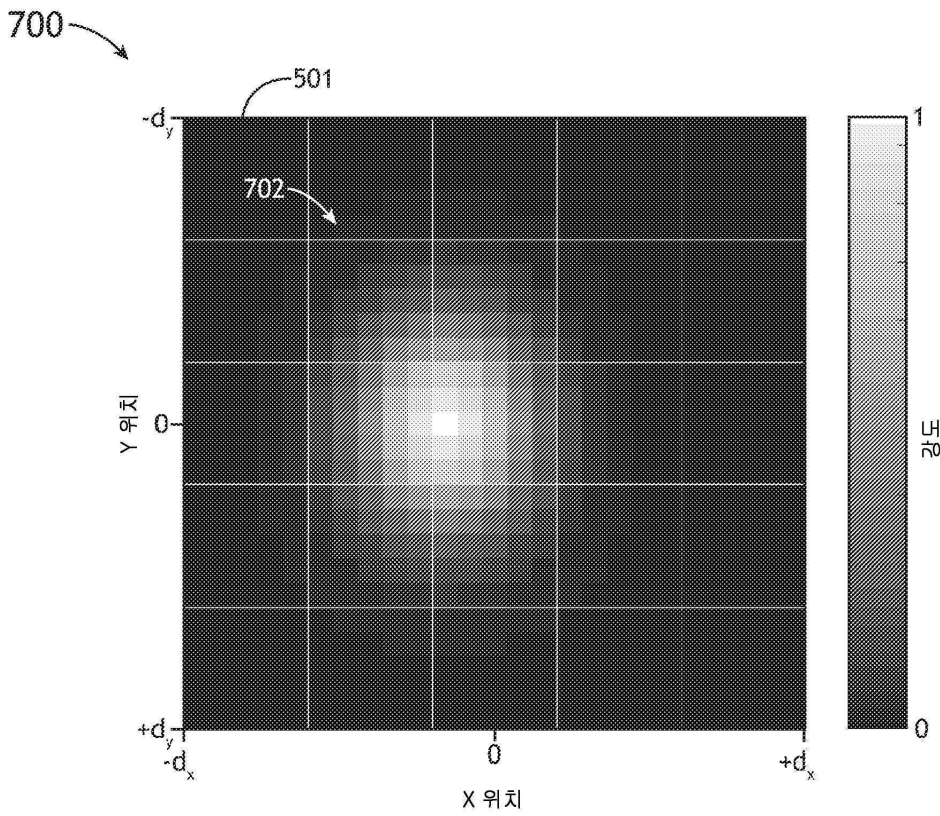
도면6a



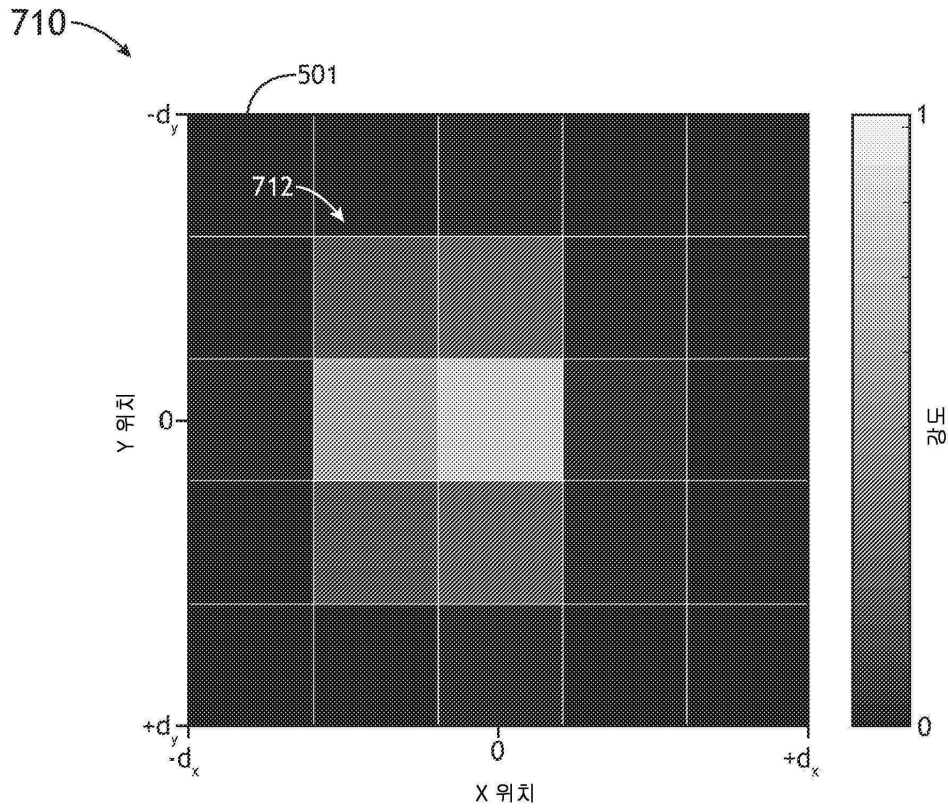
도면6b



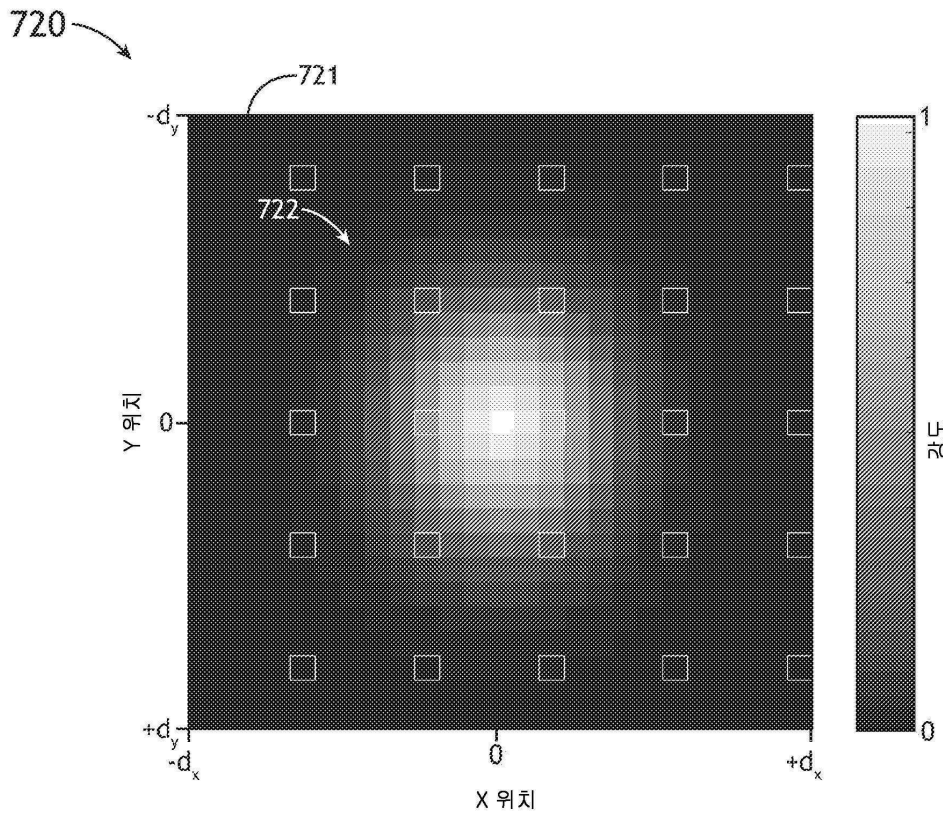
도면7a



도면7b

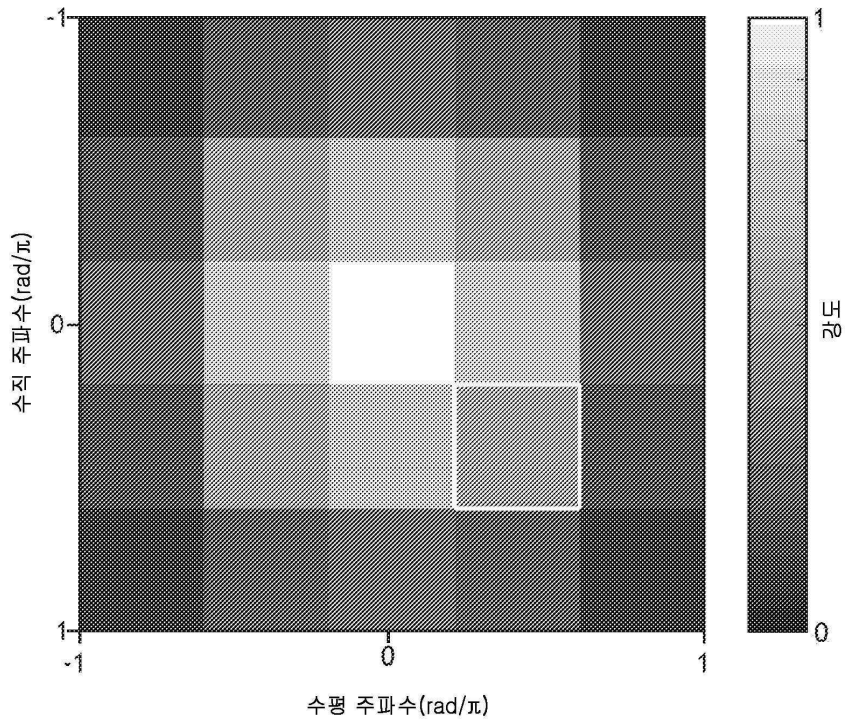


도면7c



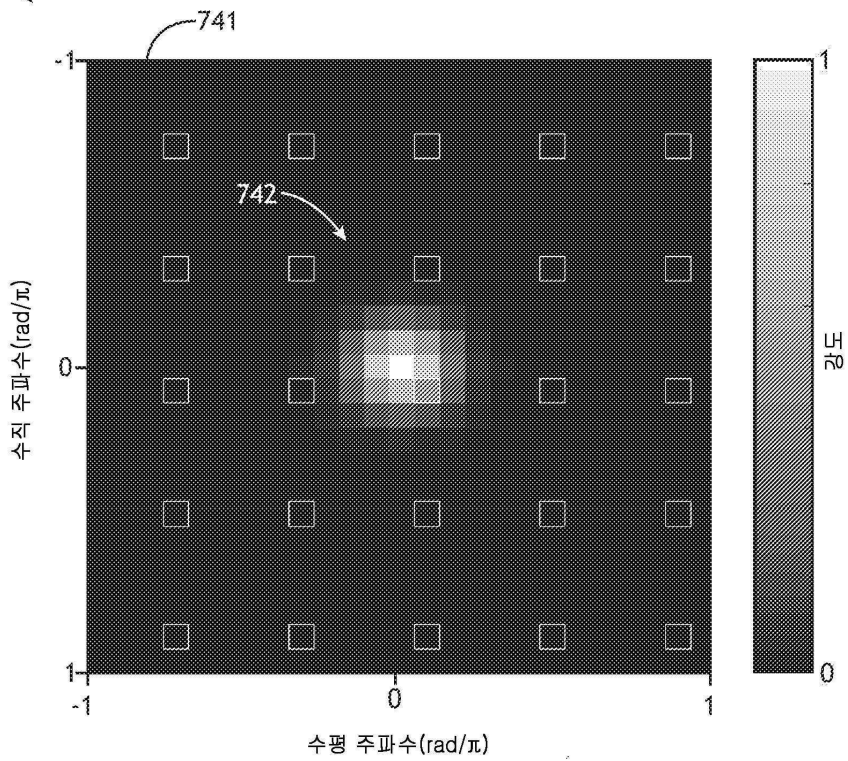
도면7d

730



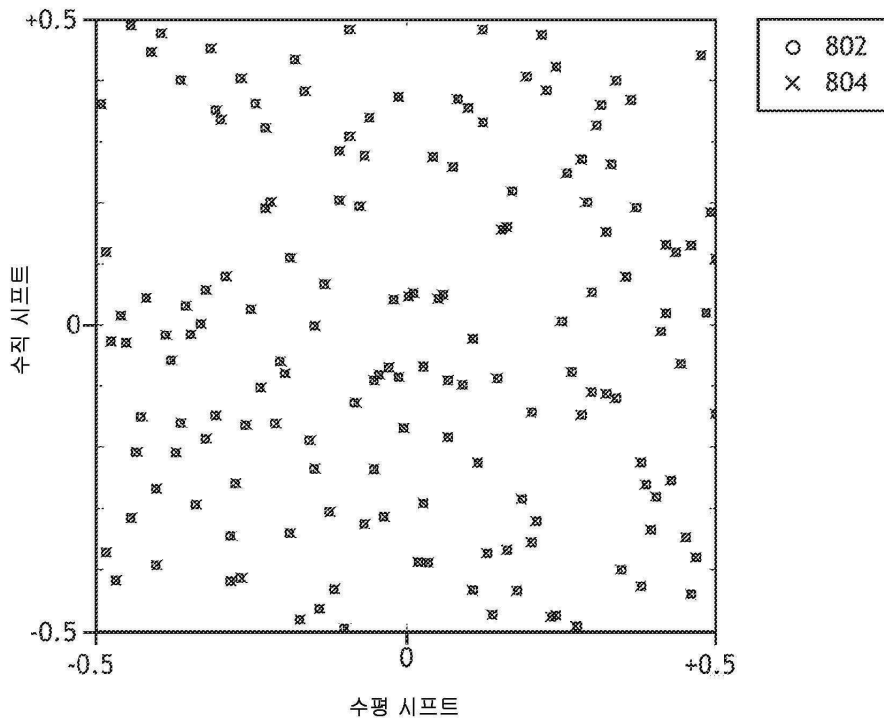
도면7e

740



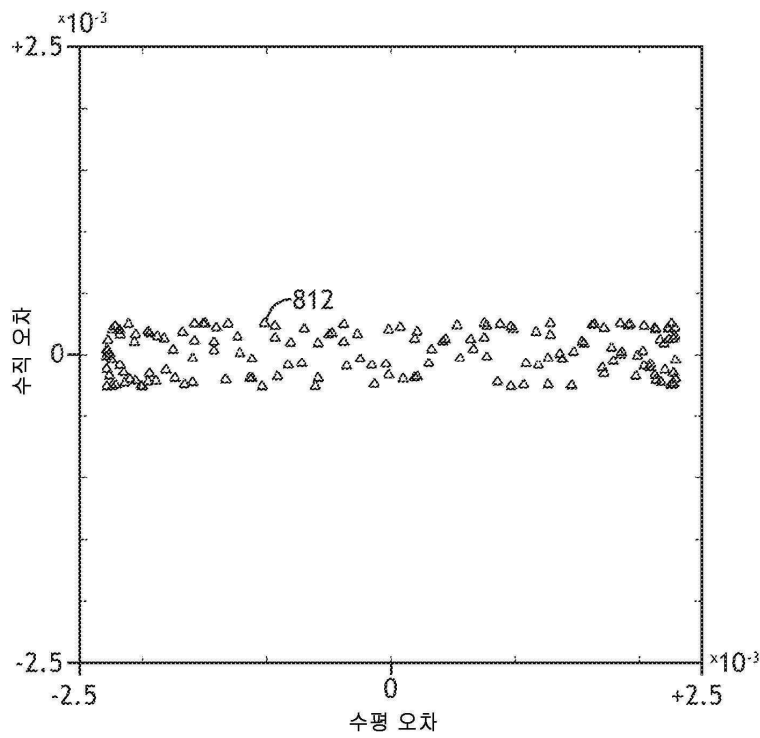
도면8a

800

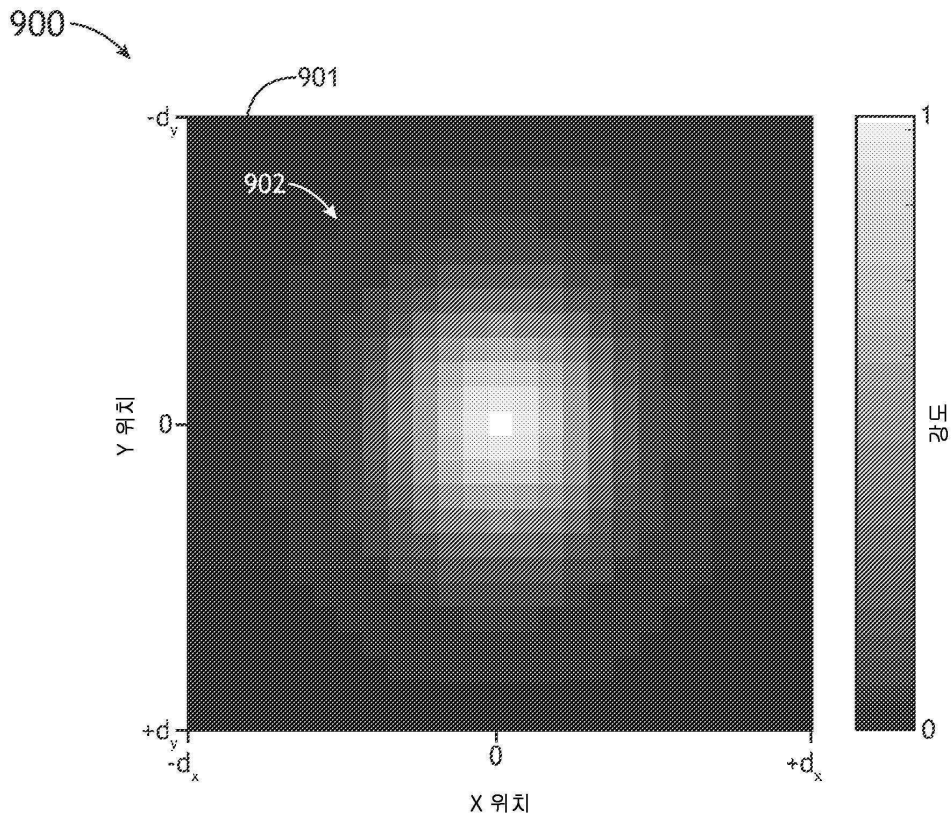


도면8b

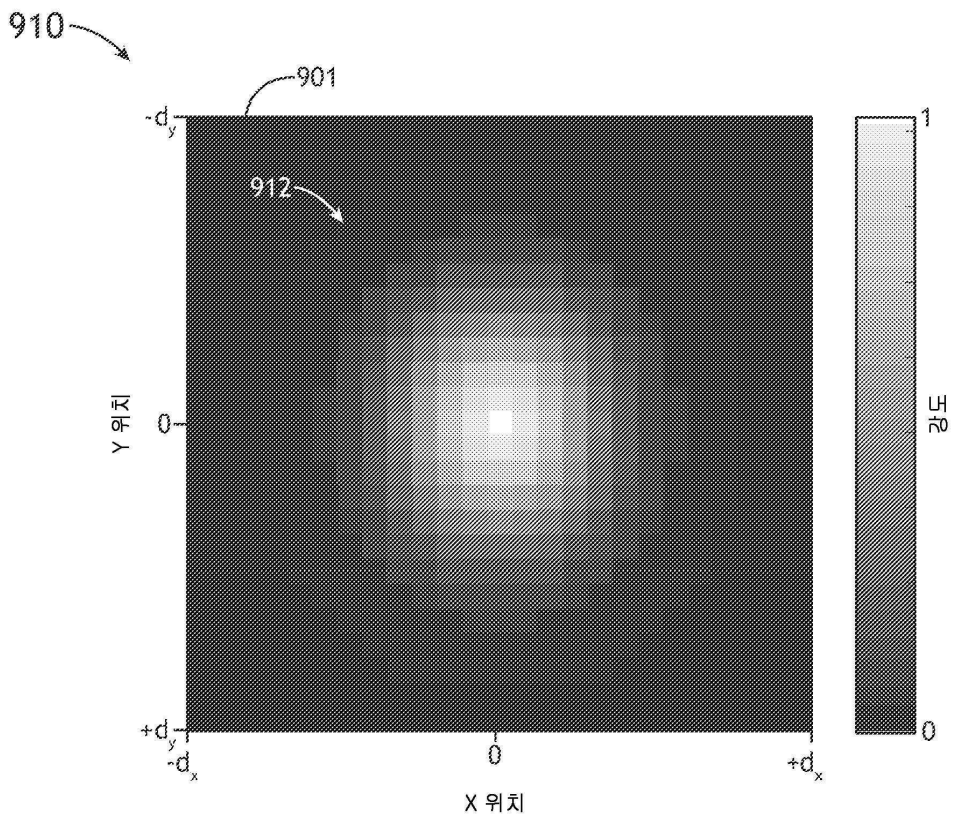
810



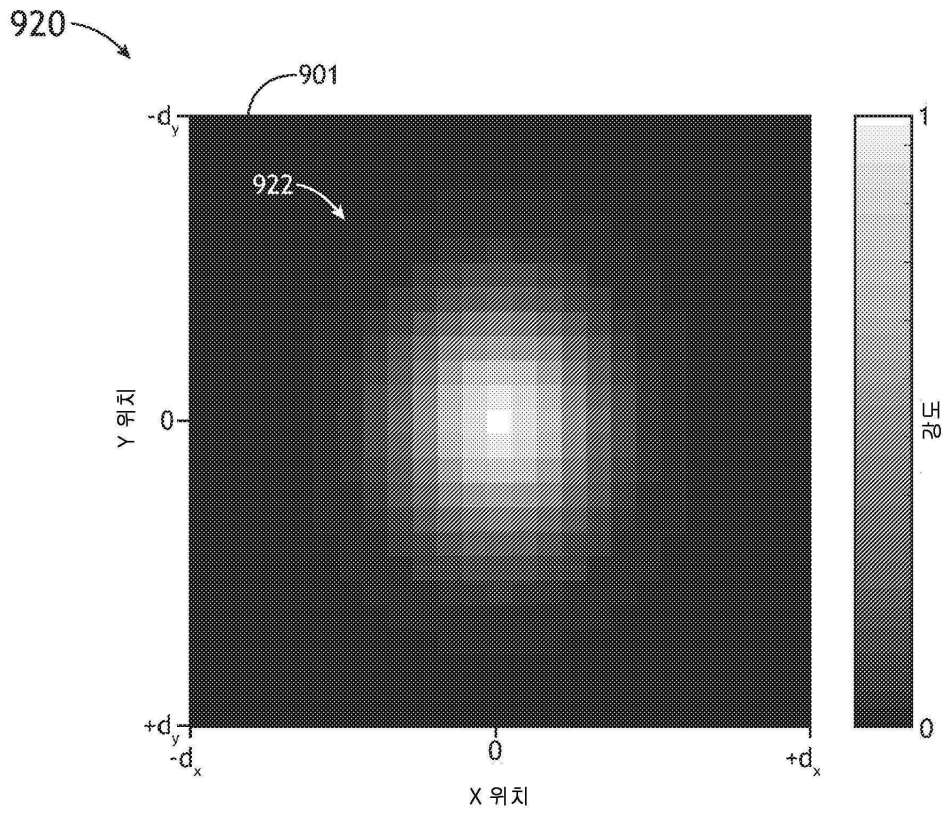
도면9a



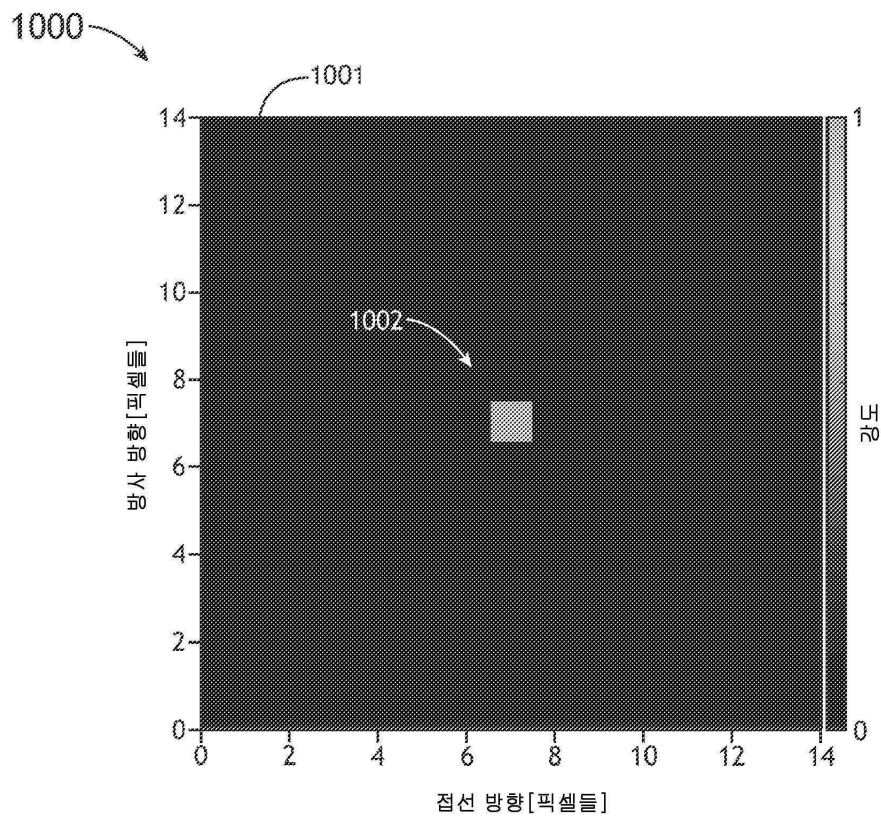
도면9b



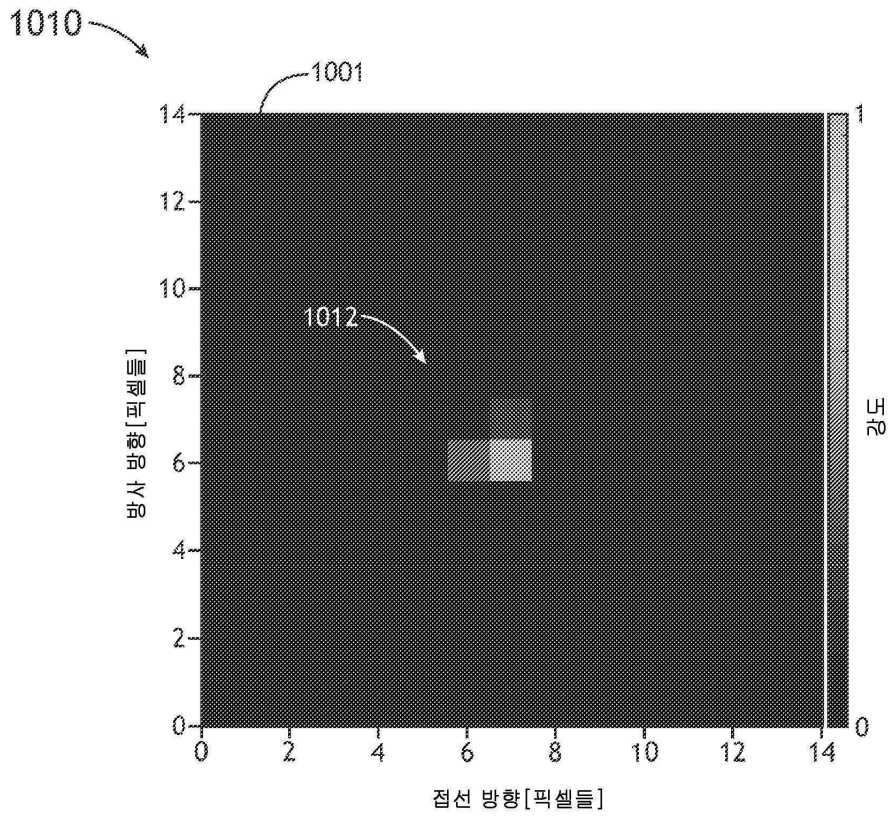
도면9c



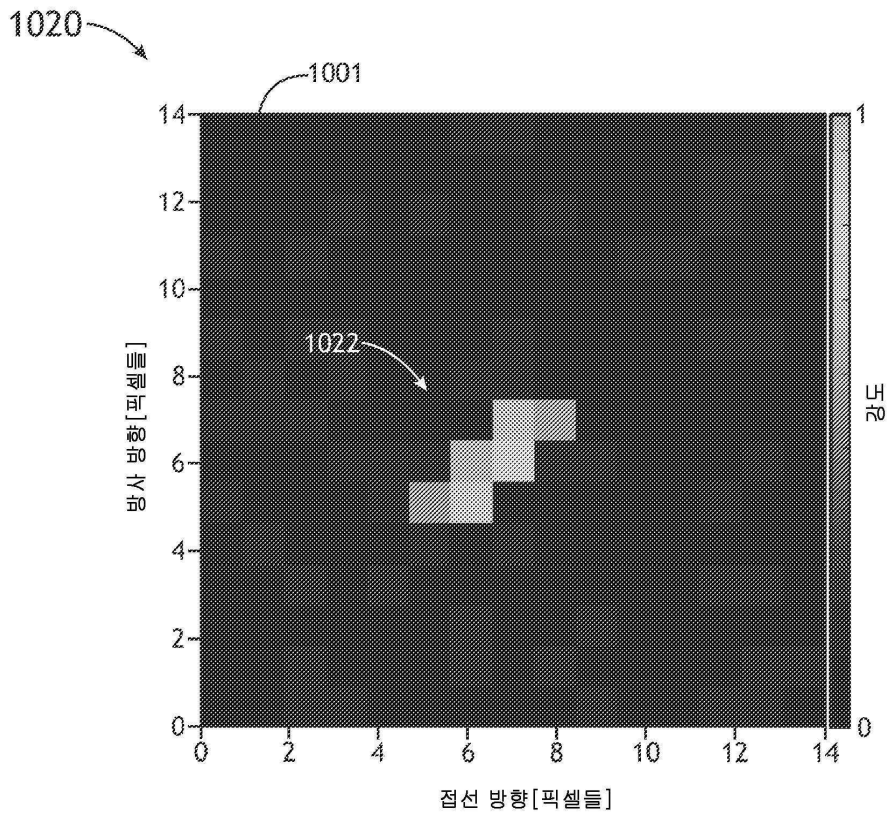
도면10a



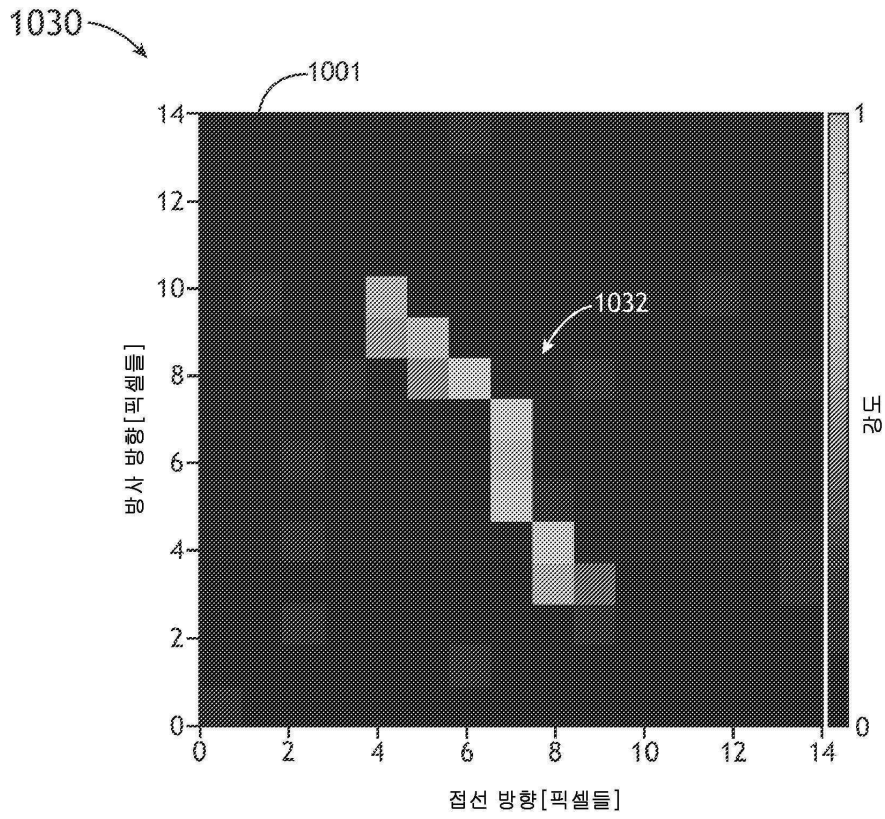
도면10b



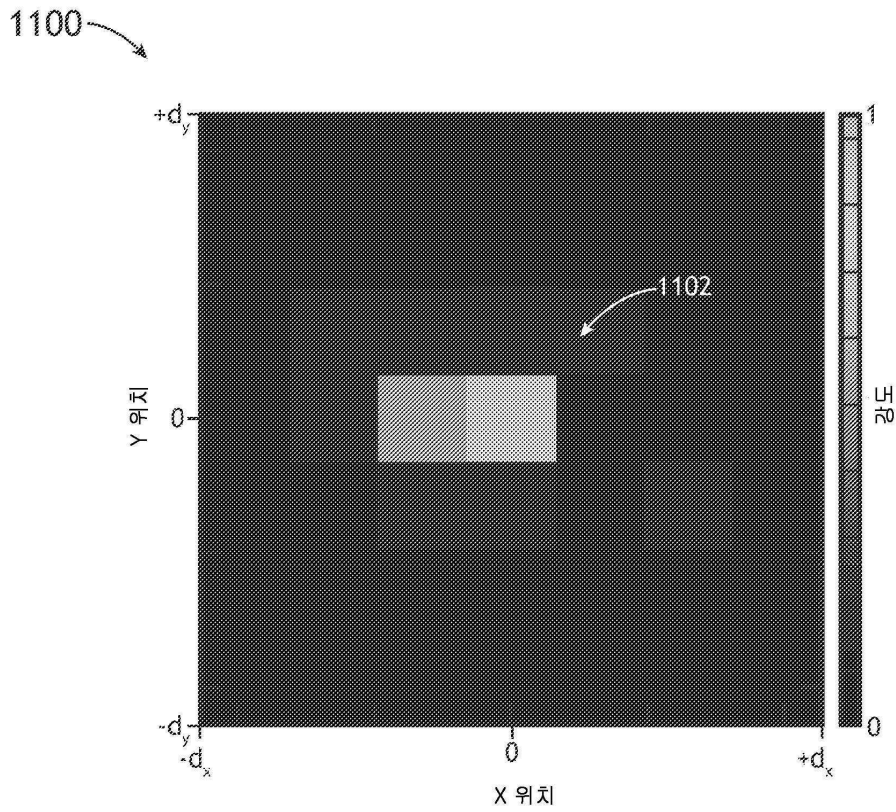
도면10c



도면10d

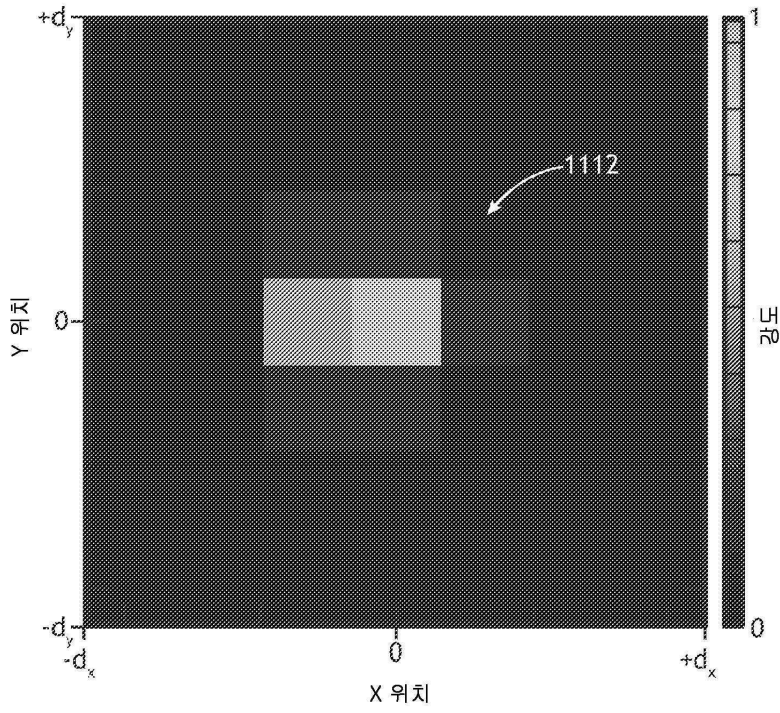


도면11a



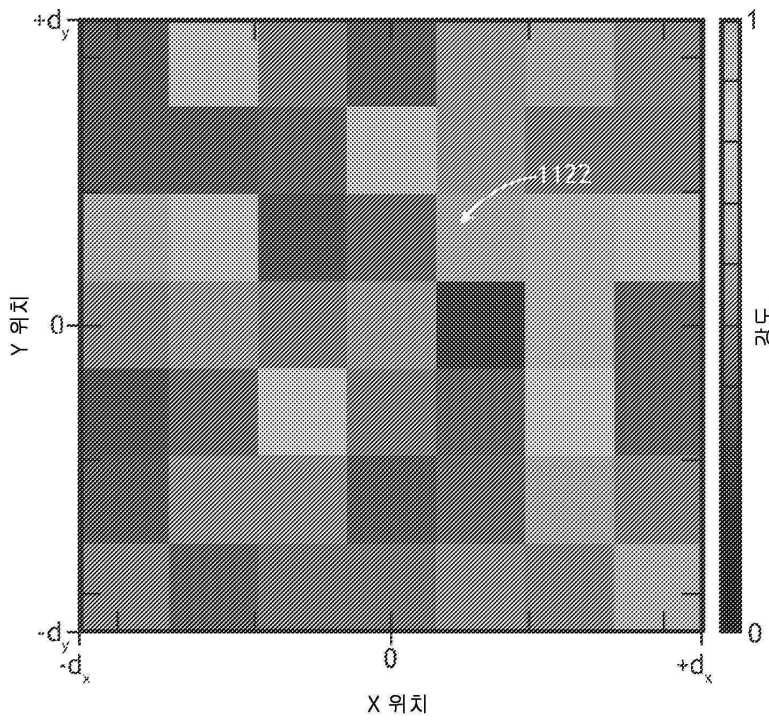
도면11b

1110



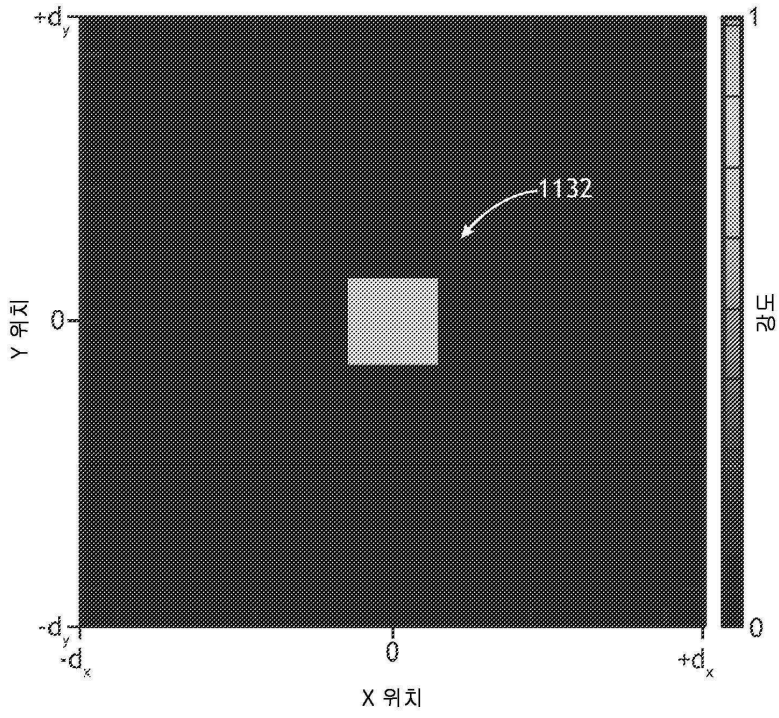
도면11c

1120



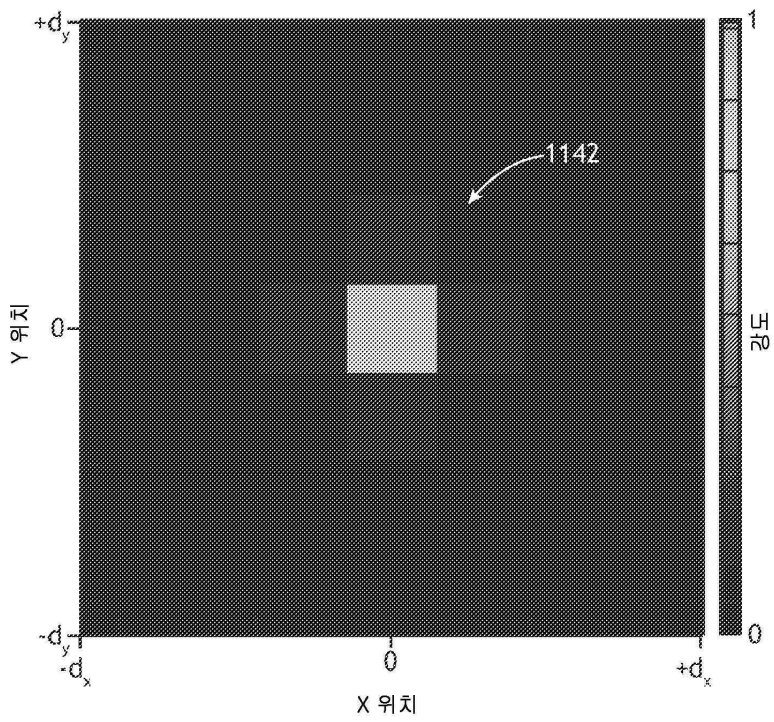
도면11d

1130

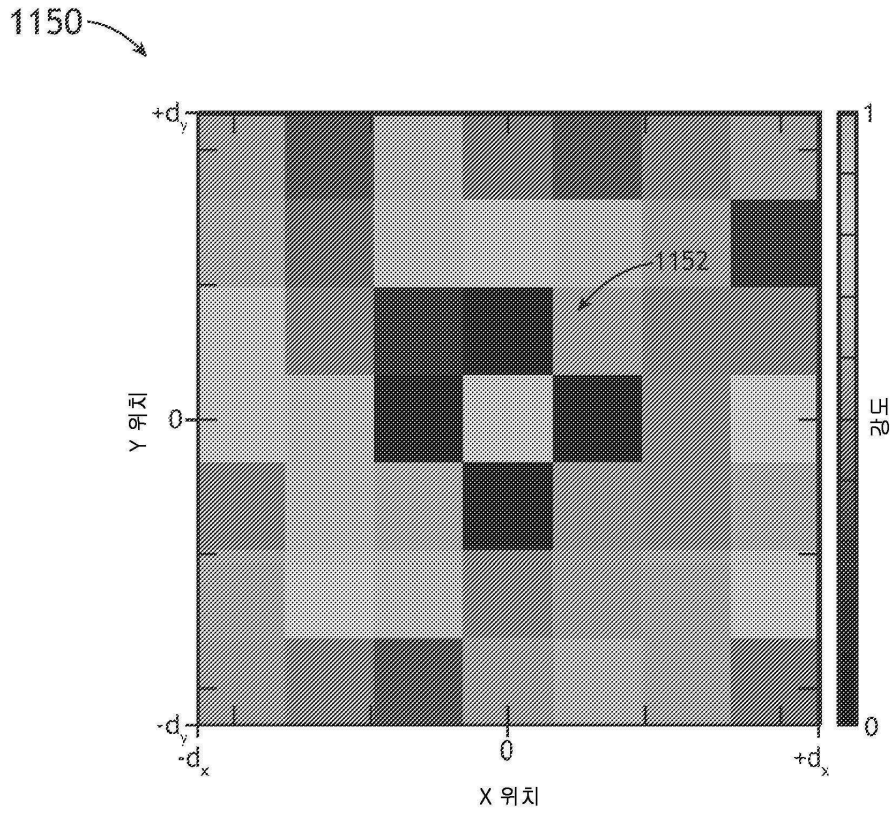


도면11e

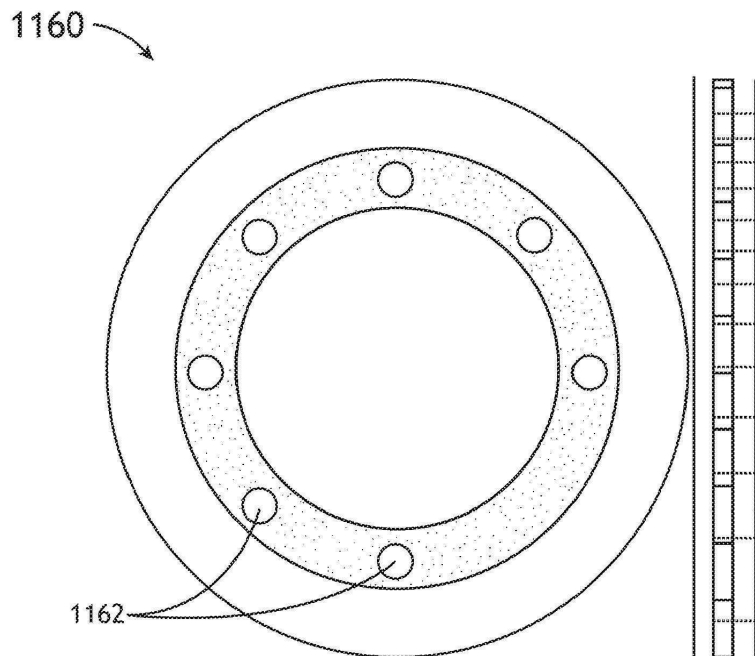
1140



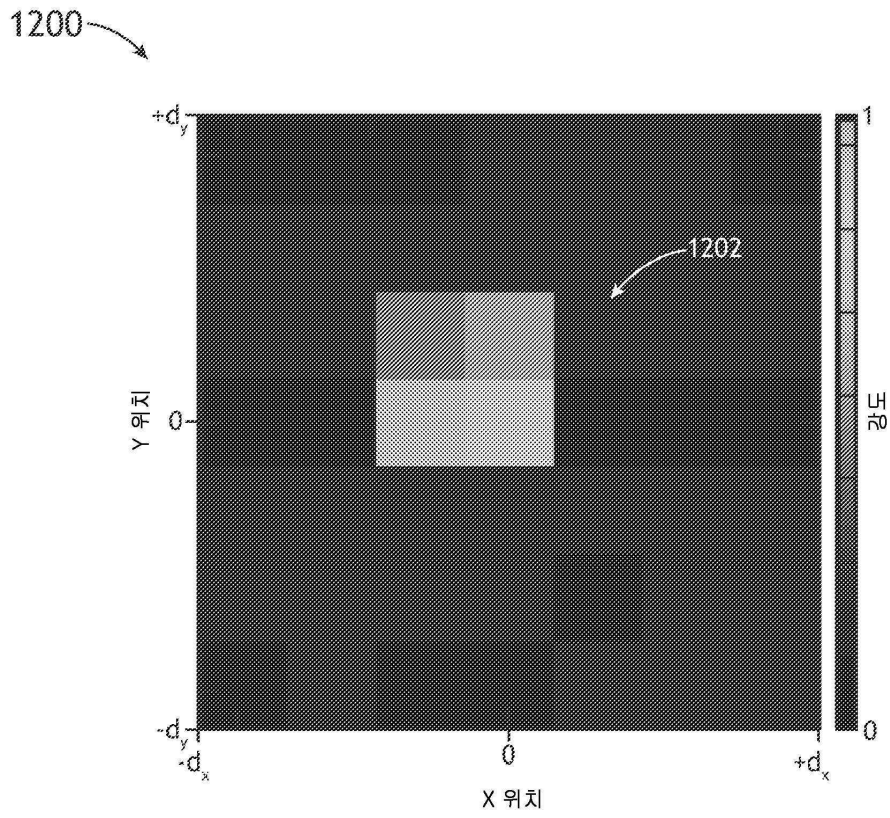
도면11f



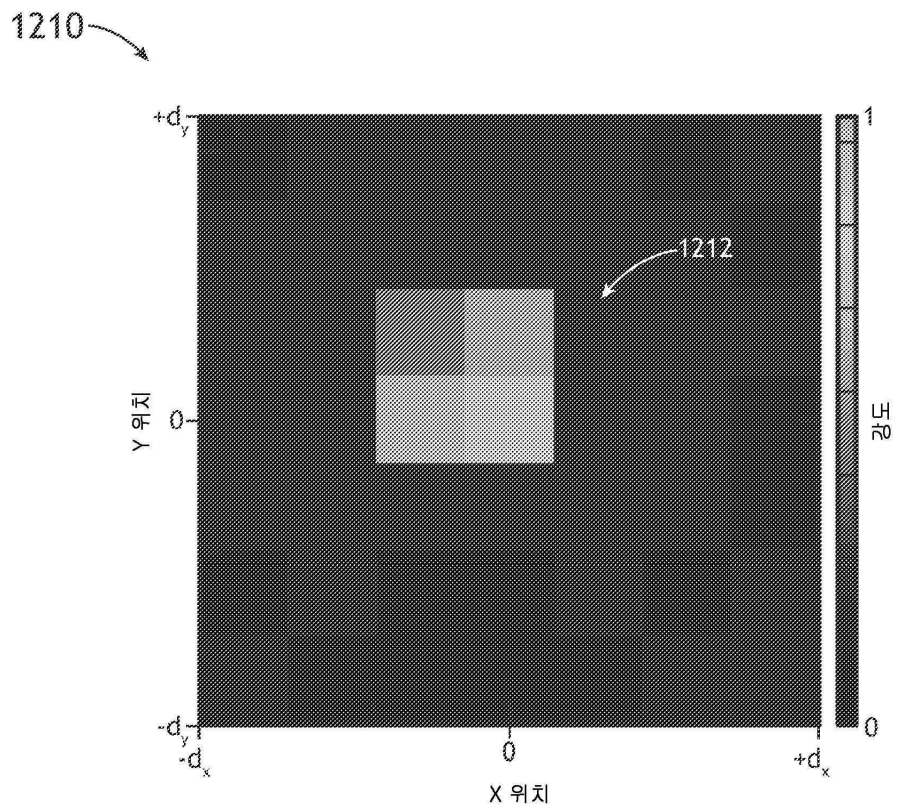
도면11g



도면12a

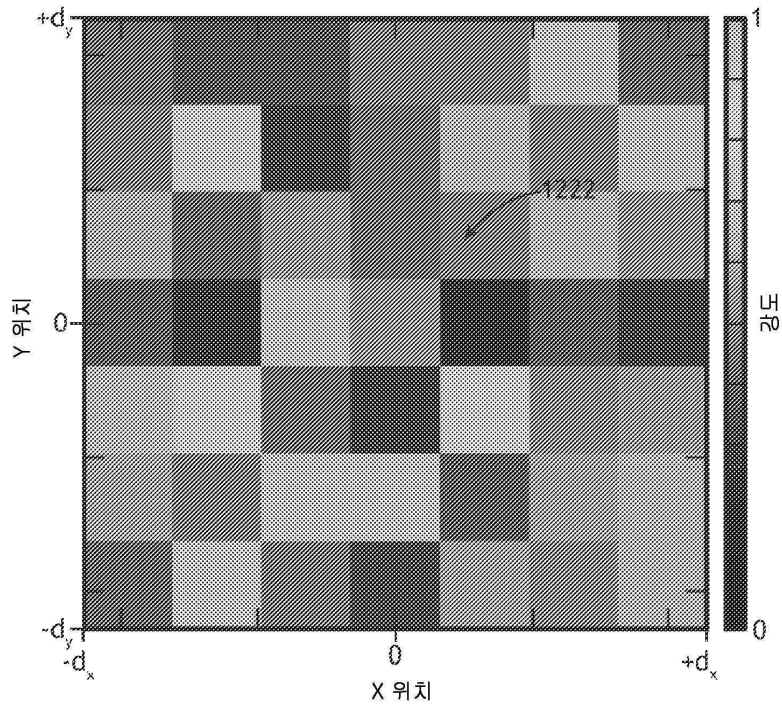


도면12b



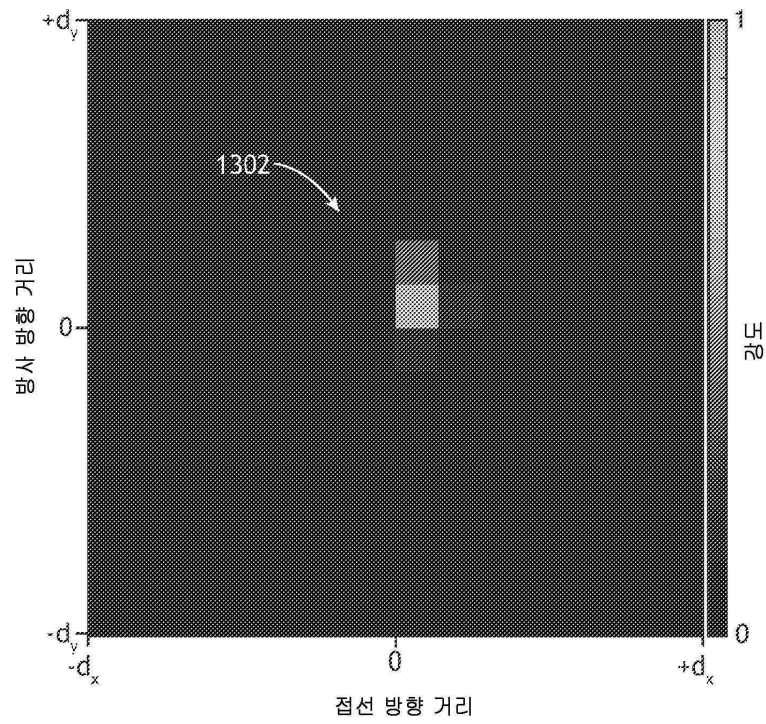
도면12c

1220



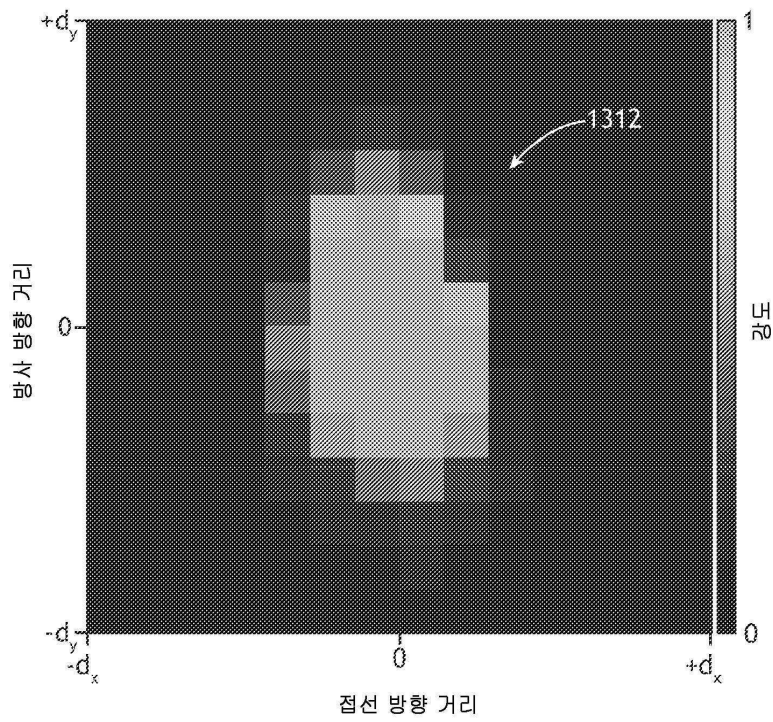
도면13a

1300



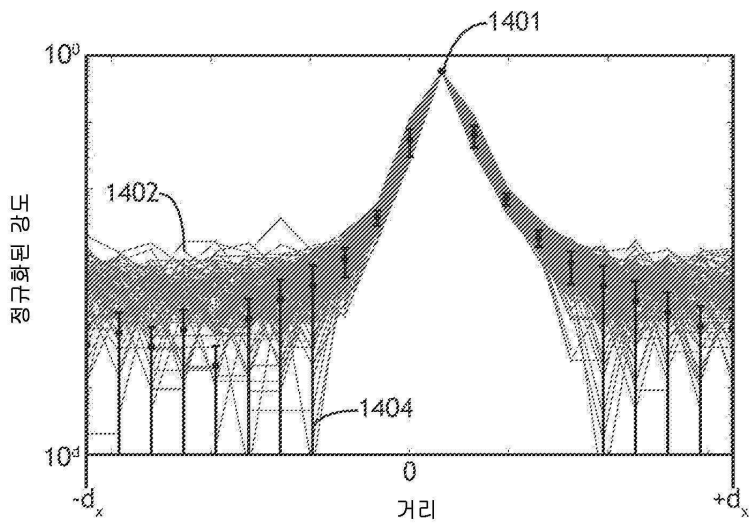
도면13b

1310

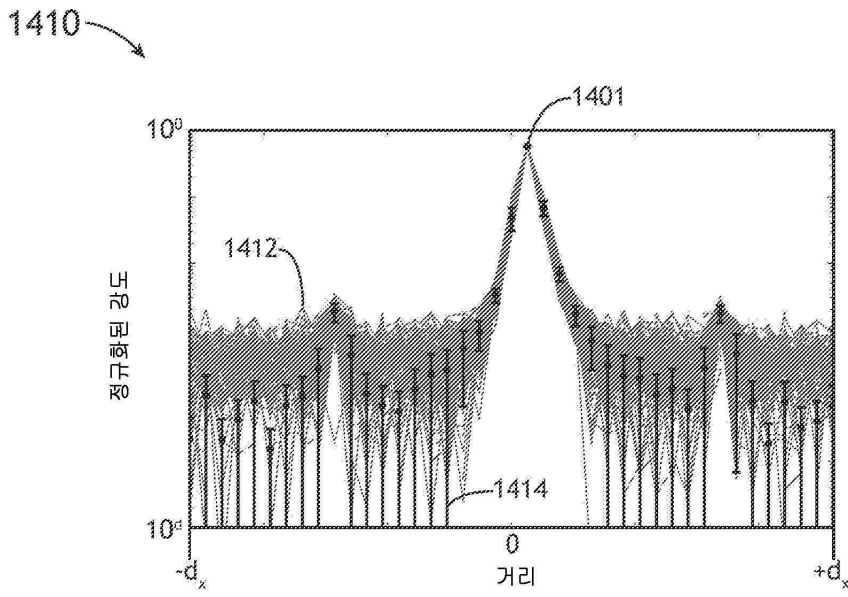


도면14a

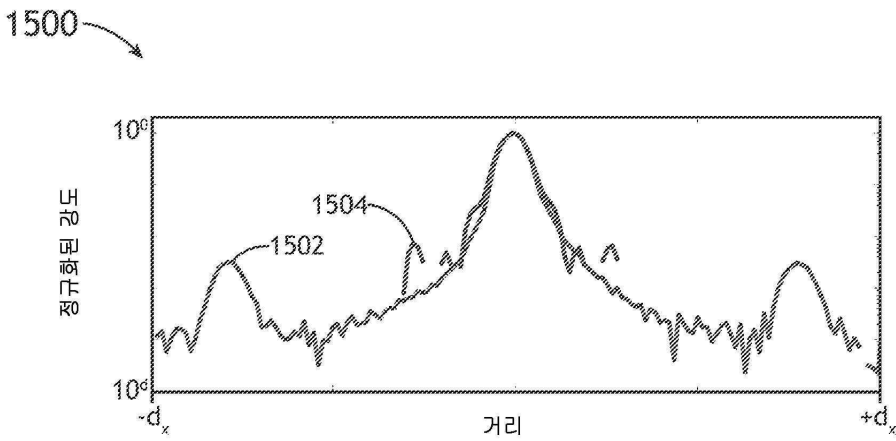
1400



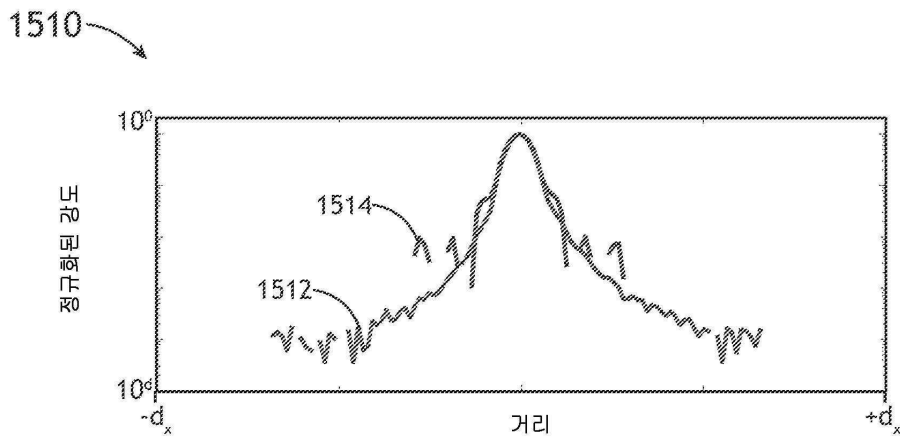
도면14b



도면15a

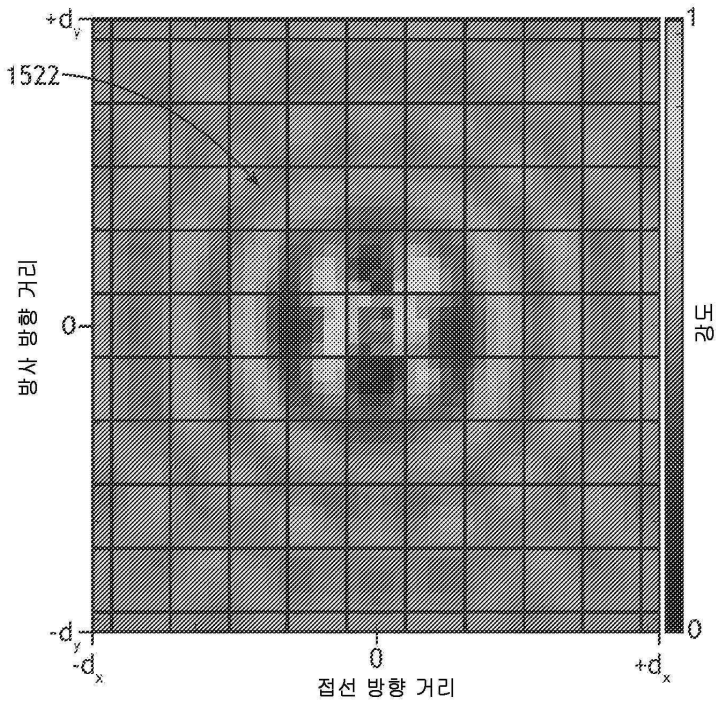


도면15b



도면15c

1520 →

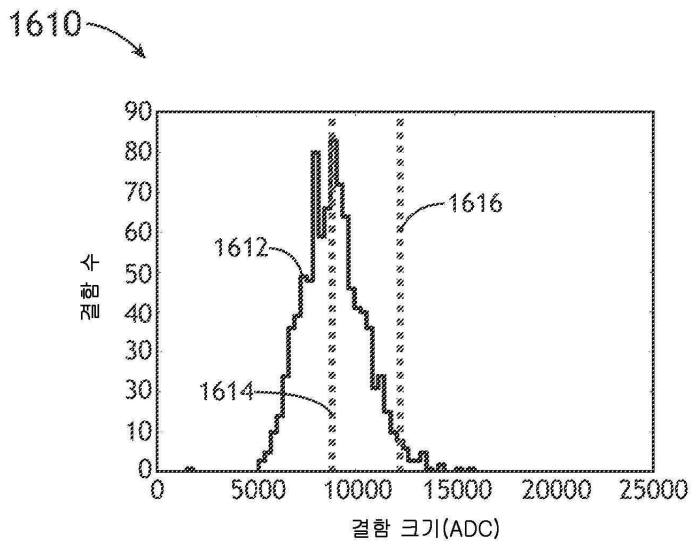


도면16a

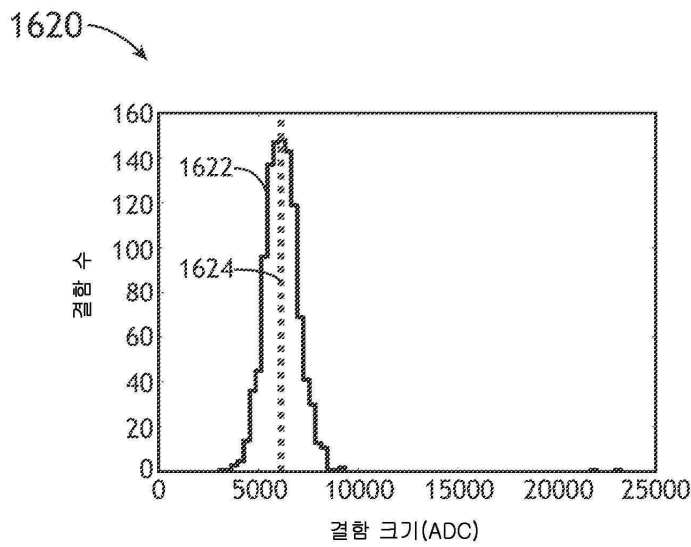
1600 →



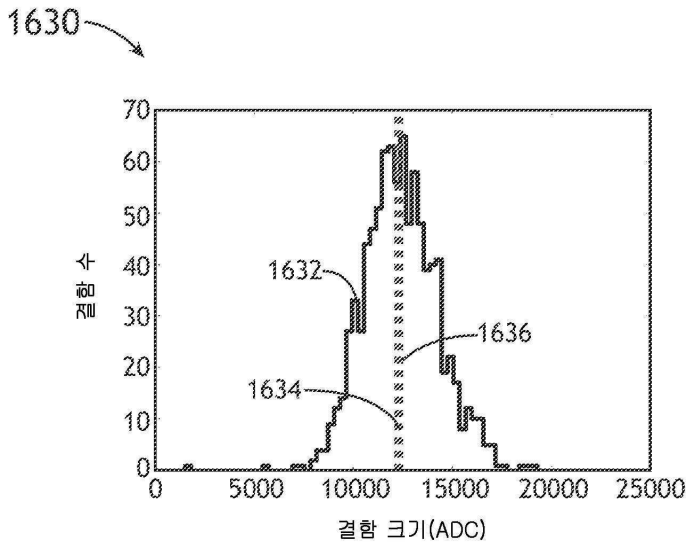
도면16b



도면16c



도면16d



도면17

