



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년11월10일
(11) 등록번호 10-1460128
(24) 등록일자 2014년11월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/66 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0130919
(22) 출원일자 2012년11월19일
심사청구일자 2014년05월29일
(65) 공개번호 10-2013-0066505
(43) 공개일자 2013년06월20일
(30) 우선권주장
13/323,591 2011년12월12일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020090072808 A
KR1020100001215 A
KR1020110049336 A

(73) 특허권자
어플라이드 머티리얼즈 이스라엘 리미티드
이스라엘 레호보트 파크 래빈 오픈하이머 스트리트 9 (우: 76705)
(72) 발명자
벨라츠키, 요아브
이스라엘 크파 유리아 210
코플러, 아이도
이스라엘 53291 기바타임 센킨 스트리트 17
(74) 대리인
특허법인 남앤드남

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 홍종선

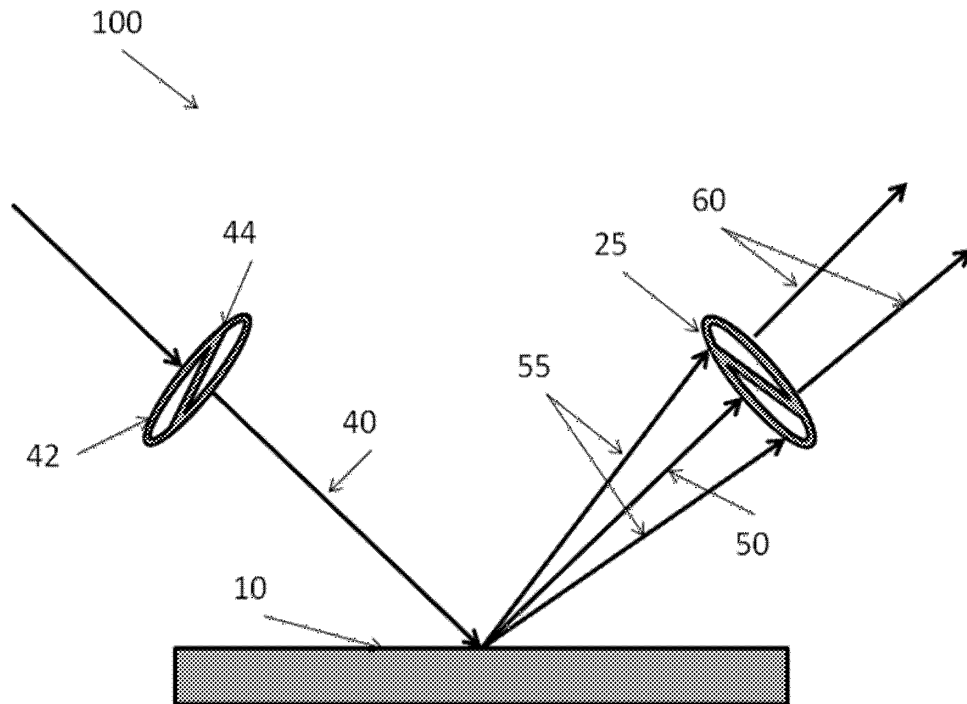
(54) 발명의 명칭 패터닝된 샘플들을 검사하기 위한 광학적 시스템 및 방법

(57) 요약

검사 평면 내에 위치된 패터닝된 샘플을 검사하기 위해 상기 검사 평면을 정의하는 광학적 검사 시스템이 제시된다. 상기 시스템은 검사 평면에 대한 특정 각도 배향의 조사 경로를 정의하는 조사 유닛, 그리고 검사 평면에 대한 특정 각도 배향의 수집 경로를 정의하는 광 수집 유닛을 포함한다. 상기 조사 유닛은, 검사 평면에 대한

(뒷면에 계속)

대표도 - 도4



제 1 스펙트럼 평면 내에 위치되고 광 투과 영역들의 어레이의 제 1 미리 결정된 불연속 패턴을 포함하는 조사 마스크를 포함한다. 상기 광 수집 유닛은, 제 1 스펙트럼 평면에 대해 결레가 되는, 검사 평면에 대한 제 2 스펙트럼 평면 내에 위치되는 수집 마스크를 포함하고, 상기 수집 마스크는 이격된 광 차단 영역들의 제 2 미리 결정된 패턴을 포함한다. 상기 제 1 및 제 2 패턴들의 피쳐들의 배열들은 조사 채널 및 수집 채널의 각도 배향에 의해 정의되는 수집 채널을 따른 상기 패턴닝된 샘플로부터의 회절 응답에 따라 선택되며, 그에 따라 제 1 패턴의 광 투과 영역들은 제 2 패턴의 차단 영역들과 미리 결정된 정렬 상태가 된다.

(72) 발명자

메슈라흐, 도론

이스라엘 52483 라마트-간 니체마 블러바드 6

바르칸, 코비

이스라엘 58847 홀론 말로트 스트리트 12

특허청구의 범위

청구항 1

패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법으로서,

검사 중인 샘플에 의해 정의되는 검사 평면에 대한 스펙트럼 평면들인 쥘레 평면들(conjugate planes)에서 조사 채널 및 수집 채널에 각각 위치시키기 위한 조사 마스크 및 수집 마스크를 선택하는 단계 - 상기 선택하는 단계는, 소정의 조사 스폿에 의한 조사에 대한 검사 중인 상기 샘플로부터의 회절 응답에 따라, 상기 조사 마스크 및 상기 수집 마스크에 대한 피쳐들의 제 1 공간적 패턴 및 제 2 공간적 패턴을 선택하는 단계를 포함하며, 이에 따라 상기 제 1 공간적 패턴 및 상기 제 2 공간적 패턴은, 각각, 조사 스폿의 치수 및 상기 조사 채널의 개구수, 및 광 수집 영역의 치수를 정의하는 광 투과 및 차단 영역들에 의해 형성됨 -;

상기 검사 평면에 대한 상기 조사 채널의 미리 결정된 각도 배향 및 상기 검사 평면에 대한 상기 수집 채널의 미리 결정된 각도 배향을 제공하고, 그에 의해 상기 조사 마스크를 통한 광 통과(light passage)에 의해 생성되는 제 1 구조화된(structured) 광의 광 성분들(light components)이 상기 수집 마스크를 통한 광 통과에 의해 생성되는 제 2 구조화된 광의 광 성분들 사이의 공간들과 미리 결정된 정렬 상태(predetermined alignment)가 되도록 제공함으로써, 상기 조사 스폿의 치수와 상기 제 2 구조화된 광의 광 성분들에 의해 정의되는 상기 수집 영역 사이에 요구되는 관계를 결정하는, 제공하는 단계;

검사 평면에 대한 상기 미리 결정된 각도 배향을 가지며 그리고 상기 개구수를 갖는 상기 조사 채널을 따라 상기 조사 마스크를 통해 전파되는 광으로 샘플을 조사하고, 그에 의해 상기 샘플 상에 상기 조사 스폿을 생성하고 그리고 상기 샘플로부터의 상기 회절 응답을 유발하는, 조사하는 단계; 및

상기 검사 평면에 대한 상기 미리 결정된 각도 배향의 상기 수집 채널을 따라 상기 수집 마스크를 통해 상기 샘플로부터 복귀된 광을 수집하고, 수집된 광이 검출 평면(detection plane)으로 전파되도록 허용하는, 수집하는 단계

를 포함하는,

패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 공간적 패턴을 통한 광 통과에 의해 생성되는 상기 제 1 구조화된 광의 광 성분들과 상기 제 2 공간적 패턴을 통한 광 통과에 의해 생성되는 상기 제 2 구조화된 광의 광 성분들 사이의 상기 미리 결정된 정렬 상태(predetermined alignment)는, 검사 중인 상기 샘플로부터의 광의 거울 반사(specular reflection)를 차단하고 그에 의해 상기 검출 평면으로의 광의 거울 반사의 전파를 막도록 선택되는,

패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 검사 평면에 대한 상기 조사 채널 및 상기 수집 채널의 각도 배향들은, 상기 조사 채널 및 상기 수집 채널의 공통의 이미징 광학장치(imaging optics)를 통해 광을 투과시키는 것을 포함하는, 수직 입사 모드(normal incident mode)를 정의하는,

패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 검사 평면에 대한 상기 조사 채널 및 상기 수집 채널의 각도 배향들은 경사진 입사 검사 모드(oblique

incidence inspection mode)에 따라 상이한,
패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
상기 조사 마스크의 상기 광 투과 및 차단 영역들에 의해 형성되는 피쳐들의 상기 제 1 공간적 패턴은 적어도 하나의 타원형(oval-like) 투과 영역을 정의하도록 선택되는,
패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,
상기 조사 마스크의 상기 광 투과 및 차단 영역들에 의해 형성되는 피쳐들의 상기 제 1 공간적 패턴은 상기 타원형 투과 영역들의 1차원 또는 2차원 어레이를 정의하도록 선택되는,
패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,
상기 조사 마스크 내의 인접하는 투과 영역들의 중심들 간의 거리는 검사 중인 상기 샘플 상의 패턴의 피치(pitch)의 미리 결정된 함수로서 선택되는,
패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,
상기 선택하는 단계는,
적어도 조사 파장을 포함하는 소정의 조사 파라미터들의 조사에 대한 검사 중인 상기 샘플의 회절 응답을 나타내는 데이터를 이용하는 단계를 포함하는,
패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법.

청구항 9

패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법으로서,
적어도 조사 파장을 포함하는 소정의 조사 파라미터들의 조사에 대한 검사 중인 샘플의 회절 응답을 나타내는 데이터를 제공하고, 상기 회절 응답과 연관된 회절 로브들(diffraction lobes)을 차단하는 것을 목표로 하는 광학적 검사 시스템의 수집 채널에서 이용될 수집 마스크의 피쳐들의 공간적 패턴을 나타내는 데이터를 제공하는 단계;
상기 광학적 검사 시스템의 조사 채널에서 이용될 조사 마스크를 위한 피쳐들의 공간적 패턴을 선택하기 위해, 검사 중인 상기 샘플의 회절 응답을 나타내는 상기 데이터 및 상기 수집 마스크를 나타내는 상기 데이터를 이용하는 단계 - 상기 선택하는 것은, 상기 조사 마스크의 패턴을 통한 광 통과에 의해 정의되는 조사 스폿의 치수와 상기 수집 마스크의 패턴에 의해 정의되는 수집 영역 사이에 요구되는 관계를 제공하기 위해, 상기 조사 마스크를 통한 광 통과에 의해 생성되는 제 1 구조화된 광의 광 성분들과 상기 수집 마스크의 패턴을 통한 광 통과에 의해 생성되는 제 2 구조화된 광의 광 성분들 사이의 공간들 사이에 요구되는 정렬 상태(alignment) 및 요구되는 조사 스폿 크기를 제공하기 위하여 상기 조사 마스크 내의 광 투과 영역들의 기하형태(geometry) 및 배열의 선택을 포함함 - ; 및
각각 상기 조사 채널 및 상기 수집 채널에서 검사 평면에 대한 컬러 스펙트럼 평면들에 상기 조사 마스크 및 상기 수집 마스크를 수용하고(accommodating), 상기 조사 채널을 따라 상기 조사 마스크를 통해 전파되는 광으로 상기 샘플을 조사하고, 상기 수집 채널을 따라 상기 수집 마스크를 통해 상기 샘플로부터 복귀된 광을

수집하고, 수집된 광이 검출 평면으로 전파되도록 허용하는 단계
를 포함하는,
패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법.

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 광학적 검사의 분야에 속하고, 패터닝된 샘플들을 검사하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 반도체 웨이퍼에서의 패턴의 피쳐(feature)들의 크기의 감소는 광학적 검사 시스템들의 해상도 한계들에 도전한다. 전자 유닛들에 상응하는 패턴의 피쳐들에 대한 전형적인 크기는 반도체 웨이퍼들의 디자인 룰들(design rules; DRs)에 의해 정의된다.

[0003] 반도체 웨이퍼들의 축소하는 디자인 룰들은 웨이퍼의 광학적 검사에서 새로운 도전들로 이끈다. 패턴 검사 기술들은 전형적으로, 소위 브라이트 필드(BF) 검사 모드를 이용한다.

[0004] 웨이퍼 상의 패턴의 해상된(resolved) 이미징에 기초하는 통상적인 BF 검사 시스템들은 이미징 시스템에서의 광학장치들(optics)의 회절 한계로 인해서 그들의 공간적인 해상도에서 제한된다. 심자외선(deep ultraviolet; DUV) 스펙트럼 범위와 같은 보다 짧은 파장들을 이용하는 것 그리고 이미징 시스템의 개구수(numerical aperture; NA)를 증가시키는 것은 일반적으로, 회절 제한된 스폿 크기를 감소시킴으로써 브라이트 필드 이미징을 개선할 수 있다. 그러나, 패턴 피쳐의 전형적인 치수가 90 nm 미만이 되는 경우에, (특히 어레이 영역들에서의) 웨이퍼 상의 피쳐들의 대부분은 적절한 브라이트 필드 이미징 기술들에 의해 실질적으로 해상될 수 없다.

[0005] 한편, 축소하는 DR들은 웨이퍼 상의 패턴으로부터의 현저한 회절 효과들을 초래한다. 회절 차수들(orders)이 크게 확산되며, 그리고 메인 회절 로브들(lobes)은 패턴의 거울 반사(specular reflection), 즉 회절의 제로 차수로부터의 큰 각도 분리를 갖는다. 회절 차수들의 그러한 공간적인 분리는 회절 로브들의 공간적 필터링에 대해 이용될 수 있다. 이는, 패턴의 큰 피치(pitch) 성분들에 상응하는 회절 로브들을 차단하고 그에 따라, 모든 방향들에서 광 산란을 유발하는 것들로서 검출 가능한 결함들을 주로 검사하기 위해 이용될 수 있다. 이러한 기술은 다크 필드(DF) 검사/이미징을 제시하고, 다크 배경 상에서 브라이트(bright) 스폿들로서 나타나는, 패턴 내의 결함들의 검출을 제공한다. DF 검사는, 주로 산란된 광을 수집함으로써, 예를 들어, 메인 패턴으로부터의 광의 거울 반사를 차단함으로써 실시될 수 있다.

[0006] 다크 필드 검사 모드에서의 검출의 효율은 신호 대 잡음비의 증가에 기초한다. 브라이트 필드 검사 기술들과 유사하게, 다크 필드 모드에서 작동하는 시스템의 개구수를 증가시키는 것은 광의 보다 효율적인 수집을 가능하게 하고, 그에 따라 검출 효율을 증가시킨다. 신호 대 잡음비는 또한, 회절 차수들의 광 성분들을 필터링하여 보다 더 어두운 배경을 제공함으로써 그리고 그에 따라 결함들의 검출을 단순화함으로써 증가될 수 있다.

[0007] 시스템 성능들을 개선하는 것을 목표로 하여, 여러 가지 다크 필드 이미징 기술들이 개발되어 왔다.

[0008] 예를 들어, US 6,686,602는, 푸리에(Fourier) 렌즈 - 푸리에 렌즈는 포인트로부터 방출된 복사선(radiation)을 수집하고 수집된 복사선을 렌즈의 푸리에 평면에서 공간적 성분들로 분리하도록 적응됨 -, 및 푸리에 평면에 위치한 프로그램가능한 공간적 필터를 포함하는, 공간적 필터링을 위한 장치를 설명한다. 이미지 센서는 푸리에 평면에서의 수집된 복사선의 공간적 성분들의 이미지를, 이러한 성분들이 필터 상에 입사되는 동안, 캡처하기 위해 광학적으로 커플링된다. 필터 컨트롤러는 이미지 센서에 의해 캡처된 이미지를 수신 및 분석하고, 그에 응답하여, 공간적 성분들 중 하나 또는 둘 이상을 차단하도록 공간적 필터를 제어하기 위해 커플링된다.

[0009] US 7,130,039는, 복사 빔들의 어레이를 표면에 포커싱하기 위한 대물렌즈(objective) 및 조사된(illuminated) 스폿들의 어레이로부터 산란된 복사선을 수집하기 위한 큰 개구수를 가지는 제 2의 반사 또는 굴절 대물렌즈를 채용하는 콤팩트하고 다기능적인(versatile) 멀티-스폿 검사 이미징 시스템을 설명한다. 각각의 조사된 스폿으로부터의 산란된 복사선은 상응하는 광섬유 채널로 포커싱되며, 그에 따라 산란에 관한 정보가 프로세싱을 위해 원격 검출기 어레이에서의 상응하는 검출기에 전달될 수 있다. 패터닝된 표면 검사를 위해서, 십자가-형상의 필터가 맨하탄 기하형태(Manhattan geometry)에 의해 회절의 효과들을 감소시키기 위해 표면과 함께 회전된다. 환형 개구의 형상의 공간적 필터가 또한, 표면 상의 어레이들과 같은 패턴들로부터의 산란을 감소시키기 위해 채용될 수 있다. 다른 실시예에서, 조사 빔들을 표면 상으로 포커싱시키기 위해서 그리고 동시에, 조사된 스폿들로부터의 산란된 복사선을 수집하기 위해서, 동일한 대물렌즈의 상이한 부분들이 이용될 수 있다. 다른 실시예에서, 조사되는 스폿들의 라인을 입사 평면에 대해 소정의 각도로 조사하기 위해, 조사 빔들의 일차원적인 어레이가 경사진 각도로 표면으로 지향된다. 스폿들로부터 산란된 복사선은 더블 다크 필드 구성으로 또는 스폿들의 라인에 수직인 방향들을 따라 수집된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 샘플들 내의 결함들을 검출하기 위해, 패터닝된 샘플들의 검사를 용이하게 하는 것이 당업계에서 요구되고 있다. 결함들은, 샘플의 표면 상의 이물질(foreign) 입자들(예를 들어, 분진)과 같이, 패턴 자체와 연관된 것들 이외의 타입일 수 있다. 또한, 검출될 결함들은 비교적 작은(사용되는 광학장치들의 회절 한계 보다 작은) 피쳐들을 가지는 패턴, 즉, 검사 시스템의 광학적 해상도 한계 보다 더 높은 공간 주파수(spatial frequency)들(패턴 주기(pattern periodicity))을 가지는 패턴과 연관될 수 있다. 또한, 패턴의 주기가 x-축 및 y-축을 따라 상이한 경우가 있을 수도 있다.

[0011] 통상적인 브라이트 필드(BF) 검사 시스템들에서, 결함 검출 감도는 시스템의 광학적 해상도 및 패턴 콘트라스트에 의존하고, 그러한 패턴 콘트라스트는 이어서, 광학장치들의 개구수(NA)와 조사 파장(λ) 사이의 관계와 상관된다. 웨이퍼 상의 광학적 스폿 크기(회절 제한된 스폿 또는 광학적 해상도) 보다 훨씬 더 작은 피치 크기(피쳐들)를 가지는 패턴들을 다루는 경우에, BF 검사는 그 한계에 도달하고, 특정 결함들은 통상적인 BF 검사 시스템들에 의해 검출될 수 없다.

[0012] 산란된 광 검출, 또는 다크 필드(DF) 모드는 거울 반사 또는 조사의 솔리드 각도(solid angle) 외부의 산란된 광의 수집을 수반하고, 해상도 장벽들을 극복할 수 있게 하는데, 이는, 광학장치 해상도에 의해 영향을 받는 패턴 콘트라스트가 아니라 신호 대 잡음비(SNR)에 의해 검출이 결정되기 때문이다. 해결되지 않은 다크 시나리오들은, 특정 위치들에서 뚜렷한(distinct) 회절 로브들이 형성되는 반복적인 조밀한(dense) 어레이들의 전형이다. DF 검출 모드를 가능하게 하기 위해서, 그러한 회절 로브들이 공간적 필터링(공간적 마스크)에 의해 차단되어야 한다.

[0013] 패터닝된 샘플들의 검사가 브라이트 필드 및 다크 필드 모드들 모두에 대해 수행되어야 할 필요가 종종 있으며, 이는 이들 검사 모드들 사이의 선택적인 스위칭을 필요로 한다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명은 조사/거울 반사 방위각(azimuth) 및 양각(elevation)에 대한 광 수집 채널의 실제 위치와 관계없이 다크 필드 검사 모드를 최적으로 수행할 수 있게 하는 신규한 광학적 검사 기술을 제공한다. 이를 위해서, 본 발명은 조사 및 수집 마스크들의 적절한 배열(마스크들의 조절(accommodation) 및 패턴들)을 이용하여, 바람직하게 높은 해상도를 가지면서 광 수집을 최적화하며, 즉, 바람직하게 작은 조사 스폿과 함께 (소정의 광 수집 채널에 대한) 충분히 큰 수집 영역을 가능하게 한다. 마스크(조사 및/또는 수집 패턴)가 정적인(static) 패턴을 가질 수 있거나, 또는 전자 공간적 코딩에 의해 구성될 수 있으며, 전자 공간적 코딩의 경우에는 패턴이 동

적일 수 있다는 것이 주의되어야 한다. 임의의 경우에, 본 발명의 기술은, 예를 들어, 전자 유닛(공간적 광 변조기)의 코드를 적절히 변경하기 위한 또는 하나의 마스크를 상이한 정적인 패턴을 가지는 다른 마스크로 대체하기 위한 스위칭 메커니즘을 이용함으로써, 마스크 패턴을 적절하게 변경하는 것을 제공한다.

[0015] 브라이트 필드 검사 모드는 패턴 자체를 검사하는 것을 목표로 한다는 것이 이해되어야 한다. 브라이트 필드 모드에서, 이미징 시스템은, (패턴의 주기로부터 기인하는) 회절 차수들과 연관된 광 성분들(light components)을 포함하는 샘플로부터 반사된 광을 수집하여, 시스템의 광학적 한계에 의해 가능한 많은, 검사된 패턴의 공간적인 상세사항들을 나타내는 정보를 제공한다. 한편, 다크 필드 검사 모드는 산란된 광의 수집을 이용하는 한편, 샘플 상의 패턴으로부터 직접 반사된 광의 수집을 차단하거나 또는 상당히 감소시킨다.

[0016] 전술한 바와 같이, 다크 필드 검사 모드는 가능한 결함으로부터 산란된 광의 수집을 포함한다. 결함은 다크 배경 위의 브라이트 스팟으로서 식별된다. 산란된 광의 수집은, 샘플로부터의 거울 반사의 전파(propagation)의 방위각 및 양각 외부로 광 수집 채널을 배향(orient)하고, 그에 따라, 실질적으로 산란된 광(신호) 및 또한 상대적으로 낮은 세기를 가지는 높은 차수 회절 성분들(잡음)을 수집함으로써 이루어질 수 있다. 다른 구성들에서, 다크 필드 이미징 기술들은, 거울 반사 경로의 배향을 통과하는 또는 거울 반사 경로의 배향 근처의 수집 채널의 각도 배향으로 광 수집을 이용할 수 있다. 수집 마스크는 회절 차수들과 연관된 광 성분들을 차단하고, 그에 따라 신호 대 잡음비(SNR)를 증가시키기 위해서 그리고 결함 검출의 효율을 개선하기 위해서 이용될 수 있다.

[0017] 본 발명은, 패턴의 주기로부터 기인하는 회절 차수들의 각도 위치가 검사 중인 샘플 상의 패턴과 조사 채널 사이의 관계에 의해 정의된다는 이해에 기초한다. 회절 차수들의 차단은 실제로 다크 필드 검사 모드를 초래한다.

[0018] 본 발명에 따르면, 다크 필드 검사는, 적절하게 디자인된 조사 마스크를 이용함으로써, 바람직하게 작은 조사 스팟을 가지면서, (신호 대 잡음비의 개선의 의미에서) 최적화된다. 조사 마스크는, 비-원형의 긴 기하형태의 하나 또는 둘 이상의 개구들, 예를 들어 타원형 또는 다각형 개구(들), 또는 일반적으로 개구의 세로축과 가로축을 따라 상이한 길이들을 가지는 개구에 의해 형성될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 조사 마스크는 (원형 또는 그렇지 않은 기하형태의) 개구들의 어레이(일반적으로 적어도 2개)에 의해 형성될 수 있다. 임의의 경우에, 조사 마스크의 개구(들)는 수집 마스크의 광 차단 영역들의 배열에 따라 배열된다. 개구는 소위 "소프트(soft) 조사", 즉, 개구에 걸친 특정 투과(transmission) 구배를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0019] 조사 및 수집 채널들이 일치하는 "정상 검사 모드(normal inspection mode)"의 가장 간단한 경우에, 조사 마스크의 개구들은, 광 수집 마스크의 차단 영역들 중 적어도 일부에서 만들어지거나 또는 그 적어도 일부와 정렬된다. 조사 및 수집 채널들이 일치할 수 있거나 또는 일치하지 않을 수 있는(경사진 조사) 일반화된 경우에, 조사 및 수집 마스크들은 샘플 평면에 대하여 상응하는 스펙트럼 평면들에 위치된다. 이들 상응하는 평면들은 전형적으로 샘플에 대한 푸리에 평면들이거나, 또는 상호 (즉, "퓨필(pupil)" 및 "이미지" 평면들 그리고 그 역도 마찬가지임) 켈레(conjugate) 평면들이라고 지칭될 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 이러한 경우에, 유효 수집 영역을 최적화(최대화)하도록, 조사 마스크의 개구들의 배열 및 수집 마스크의 차단 영역들의 배열이 선택된다. 조사 마스크를 통과하고 샘플의 패턴으로부터 되돌아 오는 광은 각각이 조사 마스크의 이미지인 회절 로브들을 형성한다. 그에 따라, 회절 로브들의 형상을 변화시킴으로써(즉, 조사 마스크를 적절하게 디자인함으로써), 산란된 광의 수집 영역이 증가될 수 있다.

[0020] 본 발명의 기술은 샘플의 2개의 축들을 따라 특정 비대칭성(상이한 축들을 따른 패턴의 상이한 주기들)을 가지는 패턴링된 샘플들의 검사에 특히 유용하다는 것을 이해해야 한다. 하기에서 설명되는 바와 같이, (샘플의 표면을 따라 x-축 또는 y-축으로서 정의되는) 특정 축을 따른 패턴의 전형적인 피치 크기는 동일한 축을 따른 회절 로브들의 중심들 사이의 거리를 결정한다. 패턴의 전형적인 피치 크기가 x-축 및 y-축을 따라 상이한 경우에, 회절 로브들의 배열이 상이하다. x-축을 따라 보다 더 큰 피치 크기를 가지는, 실질적으로 직사각형인 광학 유닛 셀을 가지는 패턴링된 샘플(표면에 걸쳐있는 재출현(reappearing) 패턴)을 가정하면, x-축을 따른 회절 로브들의 중심들 사이의 거리들은 y-축을 따른 회절 로브들의 중심들 사이의 거리들 보다 작을 것이다. 본 발명의 기술은 패턴의 비대칭성을 이용하여, 조사 퓨필을 적절하게 성형함으로써 수집 영역을 최적화할 수 있고, 그에 따라 회절 로브들을 최적화할 수 있으며, 따라서, 하나의 축을 따라 회절 로브들을 연신(stretch)시키면서, 다른 축을 따라 회절 로브들을 협소하게 유지시킬 수 있다. 보다 구체적으로, 만약 패턴이 x-축을 따라 보다 큰 피치 크기를 갖는다면, 조사 퓨필은 x-축을 따라 보다 더 넓을 것이고 y-축을 따라 비교적 협소할 것이다. 더욱이, 회절 로브 패턴의 관계와 동일한, 조사 개구들의 중심들 사이의 관계로 배열된

다수의 조사 개구들의 이용은 패터닝된 표면에 도달하는 조사의 양을 증가시키고, 그에 따라 검사의 효율을 증가시킨다. 개구들의 어레이를 이용하는 것은 또한, 샘플 상에서 보다 작은 조사 스폿을 제공할 수 있다. 보다 작은 조사 스폿은 검사의 정확도 및 감도를 증가시킨다.

[0021] 그에 따라, 본 발명의 하나의 넓은 양상에 따르면, 검사 평면 내에 위치한 패터닝된 샘플을 검사하기 위해 상기 검사 평면을 정의하는 광학적 검사 시스템이 제공된다. 이 시스템은 검사 평면에 대한 특정 각도 배향의 조사 경로를 정의하는 조사 유닛, 및 검사 평면에 대한 특정 각도 배향의 수집 경로를 정의하는 광 수집 유닛을 포함한다. 조사 유닛은, 검사 평면에 대한 제 1 스펙트럼 평면 내에 위치되고 광 투과 영역들의 어레이의 제 1 미리 결정된 불연속 패턴을 포함하는 조사 마스크를 포함한다. 광 수집 유닛은 제 1 스펙트럼 평면에 대해서 결레가 되는, 검사 평면에 대한 제 2 스펙트럼 평면 내에 위치한 수집 마스크를 포함하고, 수집 마스크는 이격된 광 차단 영역들의 제 2 미리 결정된 패턴을 포함한다. 제 1 및 제 2 패턴들의 피쳐들의 배열들은 조사 채널 및 수집 채널의 각도 배향에 의해 정의되는 수집 채널을 따른 패터닝된 샘플로부터의 회절 응답에 따라 선택되며, 그에 따라 제 1 패턴의 광 투과 영역들은 제 2 패턴의 차단 영역들과 미리 결정된 정렬 상태가 된다.

[0022] 조사 마스크를 통한 광 통과가 실제로 제 1 공간적 패턴의 구조화된(structured) 광을 생성하는 한편, 수집 마스크를 통한 광 통과는 제 2 공간적 패턴의 구조화된 광을 생성한다는 것이 이해되어야 한다.

[0023] 제 1 및 제 2 스펙트럼 평면들은 검사 평면에 대한 푸리에 평면들이다. 그러한 제 1 및 제 2 스펙트럼 평면들은 실질적으로 일치하는 평면들(수직 입사 모드)일 수 있거나, 또는 검사 평면에 대한 상이한 각도 배향(경사진 입사 모드)을 가질 수 있다. 광 수집 채널은 조사 채널에 의해 조사된 스폿으로부터 거울 반사된 광의 전파를 따라서(브라이트 필드 배향), 또는 거울 반사 전파 경로 외부로(다크 필드 배향) 배향될 수 있다.

[0024] 바람직하게, 조사 마스크에서의 제 1 패턴은, 이격된 관계로 배열된 투과 영역들의 어레이를 포함하며, 여기서, 각각의 투과 영역은 실질적으로 원형의 기하형태를 갖는다. 광 투과 영역은 개구에 걸친 투과 구배를 가지는 개구로서 구성될 수 있다.

[0025] 일부 실시예들에 따르면, 조사 마스크와 수집 마스크 중 적어도 하나는 전자 코딩 유닛을 포함하고; 그리고 일부 다른 실시예들에서, 조사 마스크와 수집 마스크 중 적어도 하나는 물리적 엘리먼트로서 패터닝된 구조를 포함한다. 임의의 경우에, 시스템은, 마스크들을 대체하는 것에 의해 또는 전자 코딩 유닛의 패턴을 변화시키는 것에 의해, 조사 패턴과 수집 패턴 중 적어도 하나를 대체하기 위한 스위칭 유닛을 포함할 수 있다.

[0026] 본 발명의 다른 넓은 양상에 따르면, 검사 평면 내에 위치한 패터닝된 샘플을 검사하기 위한 검사 평면을 정의하는 광학적 검사 시스템이 제공되고, 이 시스템은: 검사 평면에 대한 특정 각도 배향의 조사 경로를 정의하는 조사 유닛, 및 검사 평면에 대한 특정 각도 배향의 수집 경로를 정의하는 광 수집 유닛을 포함하며,

[0027] 조사 유닛은 샘플 평면에 대한 제 1 스펙트럼 평면 내에 위치된 조사 마스크를 포함하고, 조사 마스크는 실질적으로 원형의 기하형태를 각각 가지는 이격된 광 투과 영역들의 어레이를 정의하는 제 1 패턴을 포함하며,

[0028] 광 수집 유닛은 제 1 스펙트럼 평면에 대해서 결레가 되는, 샘플 평면에 대한 제 2 스펙트럼 평면 내에 위치한 수집 마스크를 포함하고, 수집 마스크는 이격된 광 차단 영역들의 제 2 미리 결정된 패턴을 포함하며,

[0029] 제 1 및 제 2 패턴들의 피쳐들의 배열들은 조사 채널 및 수집 채널의 각도 배향들에 의해 정의되는 수집 채널을 따라 상기 패터닝된 샘플로부터의 회절 응답에 따라 선택되며, 그에 따라 제 1 패턴의 이격된 실질적으로 원형인 광 투과 영역들의 상기 어레이는 제 2 패턴의 차단 영역들과 정렬된다.

[0030] 본 발명의 또 다른 넓은 양상에 따르면, 검사 평면 내에 위치한 패터닝된 샘플을 검사하기 위해 검사 평면을 정의하는 광학적 검사 시스템이 제공되며, 이 시스템은: 검사 평면에 대한 특정 각도 배향의 조사 경로를 정의하는 조사 유닛, 및 검사 평면에 대한 특정 각도 배향의 수집 경로를 정의하는 광 수집 유닛을 포함한다. 조사 유닛 및 수집 유닛 각각은 샘플 평면에 대한 스펙트럼 평면 내에 위치한 공간적 마스크를 포함한다. 마스크들 중 하나는 광 차단 영역들에 의해 분리된, 이격된 광 투과 영역들의 제 1 어레이를 정의하는 제 1 패턴을 포함하고, 다른 마스크는 광 차단 영역들에 의해 분리된, 이격된 광 투과 영역들의 제 2 어레이를 정의하는 제 2 미리 결정된 패턴을 포함한다. 제 1 및 제 2 패턴들의 영역들의 배열들은 수집 경로를 따른 상기 패터닝된 샘플로부터의 회절 응답에 따라 선택되며, 그에 따라 제 1 패턴의 광 투과 영역들은 제 2 패턴의 차단 영역들과 미리 결정된 정렬 상태가 된다.

[0031] 본 발명의 또 다른 추가적인 넓은 양상에 따르면, 패터닝된 샘플들의 광학적 검사에서 사용하기 위한 방법이 제공된다. 이 방법은: 검사 평면에 대한 미리 결정된 각도 배향 및 미리 결정된 개구수를 갖는 조사 채널을 따라

전파되는 광으로 샘플을 조사하여, 샘플 상에 조사 스폿을 생성하고 그리고 샘플로부터의 회절 응답을 유발하는, 조사 단계; 및 검사 평면에 대한 미리 결정된 각도 배향의 수집 채널을 따라 샘플로부터 복귀된 (returned) 광을 수집하는 단계를 포함한다. 상기 조사 단계는 검사 평면에 대한 제 1 스펙트럼 평면에서 제 1 공간적 패턴의 제 1 구조화된 광을 생성하는 단계를 포함하며, 그리고 상기 광 수집 단계는 검사 평면에 대한 제 2 스펙트럼 평면에서 제 2 공간적 패턴의 제 2 구조화된 광을 생성하는 단계를 포함한다. 제 1 및 제 2 공간적 패턴들의 피쳐들은 수집 채널을 따라 전파되는 회절 응답에 따라 선택되며, 그에 따라 제 1 구조화된 광의 광 성분들이 제 2 구조화된 광의 광 성분들 사이의 공간들과 미리 결정된 정렬 상태가 됨으로써, 조사 스폿의 치수와 제 2 구조화된 광의 광 성분들에 의해 정의되는 수집 영역 간에 요구되는 관계를 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0032]

본 발명을 이해하기 위해서 그리고 본 발명이 실제로 어떻게 수행될 수 있는지를 알아보기 위해서, 이제, 단지 비제한적인 예를 통해, 첨부 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들이 설명될 것이다.

도 1a-1d는 패턴닝된 샘플들의 브라이트 필드 검사의 일반적인 원리들을 도시한다.

도 2a-2d는 패턴닝된 샘플들에서 결함 검출을 위한 다크 필드 검사 모드의 일반적인 원리들을 도시한다.

도 3a 및 3b는 수집 영역 치수에 영향을 미치는, 회절 로브들과 조사 스폿의 크기 사이의 관계를 개략적으로 도시한다.

도 4는 패턴닝된 샘플의 패턴 검사를 위한 본 발명의 시스템에서의 광 전파 방식(scheme)을 개략적으로 예시한다.

도 5는 패턴닝된 샘플의 검사를 위한 검사 시스템에서의 광 전파 방식의 다른 예를 개략적으로 도시한다.

도 6a 내지 6c는 샘플의 표면을 따른 주기적인 구조(패턴)(도 6a) 및 표면으로부터 복귀된 광에 의해 생성되는 회절 패턴(도 6b 및 6c)의 예를 도시한다.

도 7a 내지 7c는 이미징 시스템의 조사 푸필, 복귀된 광에서의 회절 로브들의 크기 및 형상, 그리고 수집 채널의 유효 수집 영역 사이의 관계를 도시한다.

도 8a 내지 8c는 광 투과 영역(개구)의 여러 형상들을 가지는 조사 마스크를 이용하고, 충분히 작은 조사 스폿 크기를 가지면서 유효 수집 영역을 최적화하도록 구성된, 본 발명의 기초가 되는 일반적인 원리들을 도시한다.

도 9는 도 8a 내지 8c에 도시된 바와 같은 3개의 조사 마스크들에 대한 결함 타입의 함수로서 측정치들의 SNR을 도시한다.

도 10a 내지 10d는 육각형의 주기적인 패턴(도 10a), 패턴으로부터의 회절 응답(도 10b), 및 본 발명의 기술을 이용하는 회절 응답(도 10c 및 10d)을 도시한다.

도 11a 및 11b는 각각 전형적인 산란된 광(다크 필드) 검사 및 본 발명의 기술을 이용한 패턴닝된 샘플에서의 결함 검사의 실험 결과들을 도시한다.

도 12는 다크 필드 모드, 브라이트 필드 모드, 및 본 발명의 기술을 이용한 다른 결함 타입들의 검출율들을 도시한다.

도 13a 및 13b는 본 발명의 기술을 이용하여 식별될 수 있는 결함들의 2개의 타입들을 예시하며, 도 13a는 "패턴 누락(missing pattern)" 타입 결함을 예시하고, 도 13b는 "브릿지(bridge)" 타입 결함을 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033]

패턴닝된 샘플들에서의 브라이트 필드 검사 및 다크 필드 검사의 일반적인 원리들이 도 1a 내지 1d 및 도 2a 내지 2d에 도시되어 있다. 이해를 돕기 위해서, 모든 예들에서 공통되는 성분들을 식별하기 위해서 동일한 참조 번호들이 이용된다.

[0034]

일반적으로, 샘플의 표면 상의 패턴은 도 1a 내지 1d에 도시된 바와 같은 표면 릴리프(relief)의 형태일 수 있고, 그리고/또는 소정의 조사에 대한 상이한 광학 특성들의 영역들 즉, 상이한 반사, 흡수 및 투과 특성들의 영역들에 의해 정의될 수 있다는 것을 주의해야 한다.

[0035]

도 1a에서, 샘플(10)의 표면(10A) 상에 특정 공간 주파수의 주기적인 패턴을 가지는 샘플(10)이 (예를 들어, 자

외선 및/또는 적외선 조사를 포함하는) 특정 파장(λ)의 광학적 빔(40)에 의해 조사되어, 샘플(10)의 표면 상에 조사 스폿을 생성한다. 광은 몇몇 회절 차수들에 따라 패턴(10A)으로부터 상이한 방향으로 되돌려 반사된다. 제로-차수 회절 성분(50)은 거울 반사 각도의 성분인 반면, 다른 회절 차수들(55)은, 특히 패턴(10A)의 주기 및 파장(λ)에 의해 결정되는 상이한 각도 방향으로 반사된다. 샘플로부터 복귀된 이러한 광 성분들(50 및 55)은, 특정 개구수(NA)를 가지고 이미지 평면(검출기 평면) 상에 패턴링된 표면의 이미지(30)를 형성하는 렌즈 유닛(20)(하나 또는 둘 이상의 렌즈들을 포함함)에 의해 수집된다.

[0036] 보다 작은 디자인 룰(DR)의 패턴 즉, 보다 높은 공간 주파수 및 보다 작은 패턴링된 피쳐들을 가지는 패턴은, 제로 차수 회절 주위의 보다 큰 각도들로 회절 로브들(회절 차수들)을 더 확산(spreading)시키면서, 소정의 조사(즉, 스폿 크기 및 파장)에 응답한다. 사실상, 도 1b에서, 패턴(10B)의 DR 치수(또는 주기)는 패턴(10A)의 DR 치수 보다 더 작으나, 여전히 광 수집 렌즈 유닛(20)의 해상도 한계들 내에 있으며, 제 1 회절 차수들의 적어도 광 성분들(55)이 렌즈 유닛(20)의 개구수에 의해 수집된다. 도 1b에서 볼 수 있는 바와 같이, 결과 이미지(30)는, 비록 도 1a의 콘트라스트와 비교하여 더 낮은 콘트라스트를 갖기는 하지만, 패턴의 검출(가시화)을 가능하게 한다. 그러나, 도 1c에 도시된 바와 같이, 패턴(10C)이 수집 렌즈 유닛(20)의 해상 한계를 넘어서는 작은 피쳐들을 가질 때, 제 1 회절 차수들의 광 성분들(55)조차도 렌즈 유닛(20)에 의해 수집되지 않을 수 있으며, 그에 따라 이미지 평면(30)에서 어떠한 패턴도 해상될 수 없다.

[0037] 보다 작은 DR(또는 보다 높은 주파수)을 갖는 표면 패턴의 이미징을 가능하게 하기 위해, 수집 렌즈 유닛(20)의 개구수가 확대될 수 있다. 이것은 도 1d에 도시되어 있다. 수집의 보다 높은 개구수의 이용은 보다 더 높은 회절 차수들로부터의 광 성분들의 수집을 허용하고, 패턴링된 표면의 보다 양호하게 해상된 보다 높은-콘트라스트 이미지(30)를 제공한다.

[0038] 패턴의 피쳐들이 보다 작아지는 반도체 웨이퍼 검사 등의 경우에, 패턴의 이미징을 위해서 사용될 수 있는 개구수에 대한 실제적인 제한이 있다. 그에 따라, 표면으로부터 산란된 광을 수집함으로써 그러한 작은-피쳐 패턴링된 표면들에서의 결함들을 검출하기 위해 다크 필드 검사 기술들이 이용될 수 있다.

[0039] 전술한 바와 같이, 다크 필드 이미징은 회절의 제로 차수로부터 먼 경로(들)를 따라 전파되는 산란된 광의 수집에 기초할 수 있으며, 그에 따라, 수집된 광에서의 패턴으로부터의 회절 차수들과 연관된 광 성분들의 영향들(잡음)을 감소시킬 수 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 다크 필드 이미징은 회절 로브들의 광들 주위에서 각도들을 이루어 전파하는 복귀되는 광(즉, 산란된 광)을 수집하면서, 거울 반사 또는 회절 차수들(제로 차수 및 그 보다 높은 차수들)인, 샘플로부터 복귀되는 회절 로브들을 차단하는 것에 기초할 수 있다.

[0040] 도 2a 내지 2d는 반도체 웨이퍼들과 같은 패턴링된 샘플들의 다크 필드 검사의 원리들을 예시한다. 도 2a 및 2c는 샘플의 패턴링된 영역에서 결함이 없는 경우를 도시하고, 도 2b 및 2d는 샘플 상의 결함(예를 들어, 분진 입자)이 검출되는 경우를 도시한다.

[0041] 도 2a에서, 광 빔(40)은 샘플의 표면 상의 패턴(10C)을 조사하고, 조사된 스폿으로부터 복귀된 광은 거울 반사 성분(회절의 제로 차수)(50) 및 패턴(10C)의 주기와 연관된 보다 높은 회절 차수들(55)을 포함한다. 복귀된 광의 적어도 일부는 수집 시스템에 의해 수집되며, 그 수집 시스템은 렌즈 유닛(20) 및 수집 마스크(25)를 포함한다. 수집 마스크는 거울 반사(50)의 방향으로 전파되는 광 성분들을 차단하도록 그리고 다른 방향으로 전파되는 광 성분들을 투과시키도록 구성된다. 만약 주기적인 패턴이 결함들을 갖지 않는다면, 도 2a 및 2c에 도시된 바와 같이, 복귀된 광의 적절한 부분의 차단은 다크 이미지를 초래한다.

[0042] 도 2b는 결함(15)을 가지는 패턴링된 샘플을 도시한다. 결함은 주기적인 패턴의 회절 차수들의 방향들뿐만 아니라 많은 방향으로 광을 산란시킨다. 그에 따라, 복귀된 광은, 회절 차수들의 성분들(50 및 55)의 광 성분들 이외에, 각도(들)를 이루어 수집 시스템을 향해 전파되는 광 성분(들)(60)을 포함한다. 이들 산란된 광 성분들(60)은 렌즈 유닛(20)에 의해 수집되고, 이미지 평면(30)으로 통과되게 (마스크(25)에 의해) 허용되어, 다크 배경 상의 브라이트 스폿(31)의 형태의 결함의 이미지가 초래된다.

[0043] 도 2c 및 2d는 패턴링된 구역 내에 결함이 있는 그리고 결함이 없는 상태에서 패턴의 보다 낮은 공간 주파수(보다 큰 DR)를 갖는 샘플에 대한 광 전파 방식들을 도시한다. 이러한 도면들은, 수집 렌즈 유닛의 큰 개구수로 인해 그리고/또는 패턴의 보다 낮은 공간 주파수로 인해, 몇몇 보다 더 높은 회절 차수들이 수집 유닛에 의해 수집되는 예를 도시한다. 이러한 경우, 수집 유닛은 제로 차수 뿐만 아니라 이러한 보다 더 높은 회절 차수들을 차단하도록 구성된 수집 마스크(25)를 포함한다.

[0044] 본 발명자들은 광 수집과 조사의 조합된 유효 구역(area)/영역을 최대화함으로써 결함 검출의 감도가 높아질 수

있다는 것을 발견하였다. 유효 수집 영역은 수집 마스크의 투과 영역들(개구들)의 치수에 의해 정의되는 한편, 유효 조사 영역은 시스템의 조사 개구/퓨필의 치수에 의해 정의된다. 그러나, 보다 큰 조사 퓨필의 이용은 차단될 보다 큰 회절 로브들을 초래하기 때문에, 유효 수집 영역은 크기가 감소될 것이거나, 또는 로브들이 완전히 중첩된다면 전부(entirely) 제거될 것이다. 본 발명자들은, 조사 퓨필의 크기 및 형상을 적절하게 선택함으로써, 바람직하게 큰 유효 수집 영역을 제공하고, 그에 따라 결함 검출의 감도를 높이도록, 회절 로브들의 형상이 영향을 받을 수 있다는 것을 발견하였다. 조사 퓨필의 적절한 디자인은, (패턴으로부터 복귀된 회절 로브들을 차단하기 위한) 수집 마스크의 디자인과 함께 그리고 그러한 디자인에 따라, 신호 대 잡음비(SNR)를 증가시키고 해상도를 개선하는 것 모두를 허용하며, 그에 따라 보다 작은 결함들의 효과적인 검출을 가능하게 한다.

[0045] (하나 또는 둘 이상의 조사 개구들에 의해 형성되는) 조사 퓨필의 형상은 샘플의 표면 상의 패턴으로부터 복귀되는 광과 연관된 회절 로브들의 형상 및 크기에 영향을 미친다. 조사 스폿 크기와 회절 로브 파라미터들 사이의 관계를 개략적으로 도시한 도 3a 및 3b를 참조한다.

[0046] 웨이퍼(샘플)(10) 표면/평면은 특정 피치 크기(18)를 갖는 패턴 및 그 패턴 내의 조사 스폿(15)을 갖는 것으로 도시되어 있다. 또한, 도면들에는 퓨필 평면이 도시되어 있고, 그 퓨필 평면은 그 위에 투사된 잠재적인(potential) 수집 영역(22)(즉, 소정의 개구수를 이용하여 광이 수집될 수 있는 퓨필 평면 내의 영역), 및 조사 퓨필(44)을 갖는다. 도시된 바와 같이, 소수의(few) 회절 로브들(55)은 수집 영역(22)과 교차하는 경로들을 따라 전파된다. 그에 따라, 유효 수집 구역/영역(22)은, 다크 필드 검사에서의 잡음 감소를 위해 차단될 이러한 회절 로브들(55)에 의해 제한된다. 조사 스폿(15) 및 조사 퓨필(44)은 통상적으로 푸리에 변환 쌍(Fourier transform pair)이고; 유사하게, 조사 스폿(15) 및 회절 로브들(55)이 푸리에 변환 쌍들이다. 그에 따라, (도 3a에 도시된 바와 같은) 보다 큰 스폿 크기(15)는 보다 작은 회절 로브들(55)을 초래하는 한편, (도 3b에 도시된 바와 같은) 보다 작은 스폿 크기는 보다 큰 회절 로브들을 초래한다. 또한, 회절 로브들(55)은 실질적으로 조사 퓨필(44)의 이미지이다.

[0047] 전형적인 다크 필드 이미징 시스템들은 산란된 광의 검출 만을 허용하기 위해 회절 로브들을 차단하도록 구성된 수집 마스크를 이용한다. 부분적으로 차단하는 수집 마스크를 이용하게 되면, 차단되어야 하는 회절 로브들의 크기에 영향을 미치는, 샘플의 표면 상의 조사 스폿의 크기와 유효 수집 구역 간에 디자인 트레이드오프(tradeoff)를 일으킨다. 회절 로브들의 중심들 사이의 간격은, 샘플(웨이퍼)의 표면 상의 패턴의 주기에 의해 결정된다는 것을 주목해야 하며, 예를 들어 푸리에 평면에서, 회절 로브들 사이의 간격은 하기의 식에 의해 주어진다:

[0048]
$$D = \lambda / P$$
 식 1

[0049] 이때, D는 회절 로브들(55)의 중심들 사이의 간격이고, P는 샘플 상의 패턴의 피치 크기(18)이며, λ 은 시스템에서 사용되는 파장이다.

[0050] 조사 스폿 구역(15)을 감소시키게 되면, 검출 감도를 높이는데, 왜냐하면 가용 조사 세기(전형적으로 레이저 파워)가 보다 더 작은 구역 상에 집중됨으로써, 응답의 세기를 증가시키기 때문이다. 또한, 보다 더 작은 조사 스폿(15)의 크기는 웨이퍼 표면(10)의 거칠기(roughness)에 의해 야기되는 잘못된 경보들(false alarms)을 감소시킬 수 있으며, 그리고 검출된 결함들의 보다 양호한 국부화(localization)를 허용할 수 있다. 한편, 보다 큰 조사 퓨필(44)에 의해 생성되는 보다 작은 조사 스폿(15)(도 3b)은 또한 웨이퍼(10)의 표면으로부터 복귀되는 보다 큰 회절 로브들(55)을 초래한다. 큰 회절 로브들은 다크 필드 이미징을 위해 사용될 수 있는 유효 수집 구역/영역을 감소시킨다. 도 3b로부터 볼 수 있는 바와 같이, 회절 로브들(55)을 차단하도록 구성된 수집 마스크를 이용하게 되면, 매우 제한된 구역을 남기는데, 그러한 매우 제한된 구역은 산란된 광의 수집을 위해 실질적으로 이용될 수 있거나, 또는 로브들이 완전히 중첩된다면 전부 제거될 수 있다.

[0051] 본 발명은, 수집되는 광의 효과적인 공간적 필터링(즉, 회절 로브들의 차단)을 제공하면서, 이미징 퓨필의 크기와 유효 수집 영역 사이의 최적화된 균형을 제공함으로써 검출을 최적화하는 것을 목표로 한다.

[0052] 패턴링된 샘플(10)을 검사하기 위한 본 발명의 시스템(100) 내에서의 광 전파 방식의 예를 개략적으로 도시한 도 4를 참조한다. 시스템(100)은 검사될 샘플(10)을 향해서 전파되는 조사 광 빔(40)에 대해 빔 성형(beam shaping)을 제공하도록 구성된 조사 마스크(42)를 포함하는 조사 채널(구체적으로 도시되지 않은 조사 유닛과 연관됨)을 이용한다. 또한, 전형적으로, 조사 채널은 구체적으로 도시되지 않은 적어도 포커싱 광학장치들(focusing optics)을 포함하는 여러 가지 광학 성분들을 포함한다. 조사 마스크(42)는 이격된 광 차단 및 투과 영역들의 미리 결정된 패턴(44)을 가지고, 투과 영역들(개구들)은 시스템의 조사 퓨필(44)을 정의한다. 그에

따라, 샘플(10)의 표면 상의 조사 스폿은 복수의 광 성분들에 의해 형성된다. 패터닝된 표면으로부터 복귀되는 광은 전형적으로 회절 패턴을 포함하는 바, 즉 광 성분들은 거울 반사(50)의 회절 로브(회절의 제로 차수) 및 제로 차수의 회절 로브 주위의 복수의 회절 차수들(55)을 포함하는 회절 로브들의 이산 세트(discrete set)로 전파된다. 조사 스폿 내에 위치되는 결합으로 인해 샘플의 패턴의 주기가 파괴/손상된다면, 적어도 일부의 광이 결합으로부터 무작위(random) 방향으로 산란되어, 무작위로 산란된 광(60)을 제공한다. 조사 스폿으로부터 복귀되는 광(산란된 광을 포함)은 수집 마스크(25)를 포함하는 수집 유닛을 향해 수집 채널을 따라 전파된다.

[0053] 비록 구체적으로 도시하지는 않았지만, 수집 유닛은 전형적으로 여기에서 도시되지 않은 적어도 이미징 광학장치들(imaging optics)을 포함한다는 것을 주목해야 한다. 수집 마스크(25)는 그 수집 마스크 상에 입사되는 광을 부분적으로 투과시키도록 구성된다. 다크 필드 검사를 위해, 수집 마스크는 회절 로브들과 연관된 광 성분들을 차단하도록 그리고 산란된 광 만을 투과하도록 구성된다. 이는, 샘플 내의 결합들을 검출하는 것을 목표로 한다.

[0054] 일반적으로, 시스템(100)은 수집 마스크(25), 조사 마스크(42) 또는 미리 결정된 패턴의 검사를 위해 특별하게 디자인된 임의의 다른 광학 엘리먼트들(예를 들어, 이하에서 설명하는 바와 같은 도넛 거울(donut mirror)) 중 임의의 하나를 스위칭시키도록 구성된 스위칭 유닛을 포함할 수 있으며, 그에 따라 검사 기술의 변화를 가능하게 할 수 있을 뿐만 아니라 다른 샘플들(다른 패턴들)의 검사를 가능하게 할 수 있다. 스위칭 유닛은 검사될 샘플들의 세트에 따라 디자인된 일반적으로 공간적인 코드들 또는 광학 엘리먼트들의 미리 결정된 세트에 프리로딩(preloaded)될 수 있고, 그리고 작업자/컴퓨터로부터의 미리 결정된 명령에 응답하여 상이한 코드들 사이에서 스위칭하도록 구성될 수 있다. 따라서, 스위칭 유닛은 물리적인 엘리먼트들 사이에서 기계적으로 스위칭하도록, 또는 공간적인 코드 디자인을 변경하도록 구성될 수 있다는 것을 주목해야 한다. 예를 들어, SLM 유닛(예를 들어, LC 패널)이 광학 마스크(조사 마스크 또는 수집 마스크)로서 이용될 수 있으며, 그리고 그 패턴은 적절한 명령에 따라 달라질 수 있다.

[0055] 조사 마스크(42)와 수집 마스크(25) 모두는, 바람직하게는 샘플 평면에 대한 푸리에 평면들인 상호 켈레 평면들 내에 위치된다. 수집 마스크(25) 상의 차단 및 투과 영역의 배열은 조사 퓨필(44) 및 검사되는 샘플의 패턴에 따라 미리 결정된다. 바람직하게 큰 조사 퓨필(바람직하게 작은 조사 스폿)을 유지하면서, 산란되는 광 성분들을 수집하기 위한 유효 수집 영역을 최적화(최대화)하기 위해, 조사 마스크(42) 및 수집 마스크(25)의 차단 및 투과 영역들의 배열들이 함께 선택된다.

[0056] 광 투과 영역들 중 적어도 하나가 특정의 불연속(discontinuity), 예를 들어 몇 개의 분리된 영역들을 갖는다는 의미에서, 마스크(조사 마스크(42) 및/또는 수집 마스크(25))는 불연속적인 패턴으로서 구성된다는 것을 이해해야 한다. 예를 들어, 마스크는 투과 영역에 의해 둘러싸이는 차단 영역을 포함할 수 있으며, 이러한 경우 투과 영역은 중심에 불연속을 갖는 폐쇄 루프 기하형태를 갖는다.

[0057] 샘플(10)의 다크 필드 검사를 위한 시스템(110)의 하나의 다른 예가 도 5에 도시되어 있다. 시스템(110)은 조사 채널(120)과, 그리고 개별적인 검출 유닛들(74 및 80)을 각각 이용하는 브라이트 필드 및 다크 필드 이미징을 위한 2개의 부분적으로 중첩되는 수집 채널들(130 및 140)을 포함한다. 시스템(110)은 고 파워의 심자외선(DUV) 레이저(70)를 포함하는 광원 유닛을 이용한다. 조사 및 수집 채널들은, 이들 채널들의 중첩 부분을 정의하는, 대물 렌즈(78)를 포함하는 공통의 포커싱/이미징 광학장치들을 이용한다. 다크 필드 이미징 채널은 도넛 거울(빔 스플리터)(76)에 의해 공통 경로로부터 분리된다. 조사 채널은 조사 마스크(42)를 포함하며, 그리고 적어도 다크 필드 수집 채널은 수집 마스크(25)를 포함한다. 시스템(110)의 일부 구성들에서, 채널(130)은 다크 필드 이미징을 또한 제공하기 위해 수집 마스크(26)를 또한 이용한다. 그러한 시스템은 수집 채널들(130 및 140) 중 하나 만을 갖도록 구성될 수 있다는 것을 주목해야 한다.

[0058] 입력 광 빔(40)이 광원(70)에 의해 생성되고, 조사 마스크(42)를 통해 샘플 상으로 향하게 되며, 이러한 조사 마스크(42)는 전술한 바와 같이 광에 대해 적절한 빔 성형을 제공한다. 성형된 빔은 도넛 거울(76)을 통과하고, 바람직하게 작은 크기의 조사 스폿으로 샘플(10)의 표면 상에 대물 렌즈(78)에 의해 포커싱된다. 바람직하게 작은 광 스폿으로 샘플 상에 광을 포커싱할 수 있도록 하기 위해, 조사 마스크(42)는 바람직하게는 샘플(오브젝트 평면(object plane))에 대한 백(back) 푸리에 평면에 위치된다. 샘플로부터 복귀된 광은 대물 렌즈(78)에 의해 수집되며, 그리고 그 광의 일부는 도넛 거울(76)의 중심 영역 상에 충돌하여, 그에 따라 브라이트 필드 수집 채널(130)을 향해 투과되는 한편, 수집된 광의 다른 부분은 도넛 거울(76)의 주변부(periphery) 상에 충돌하고, 다크 필드 채널(140)로 반사된다. 다크 필드 채널에는, 수집 마스크(25)가 위치되고, 이러한

수집 마스크(25)는 회절 로브들을 필터링하여 제거(filter out)하도록 작동하면서, 그 회절 로브들의 방향들 이외의 방향으로 산란되는 광의 통과는 허용한다. 조사 마스크(42) 및 수집 마스크(25)는 전술한 바와 같이 디자인된다. 수집 채널(130)이 다크 필드 이미징을 제공하도록 구성될 때에는, 전술한 바와 같이 또한 디자인될 수 있는 수집 마스크(26)가 이용된다.

[0059] 이미징 채널(130)은 브라이트 필드 이미징 채널로서 또는 다크 필드 이미징 채널로서 작동될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 이는 거울 반사 및 회절 차수들을 차단하기 위해 전술한 고려 사항들에 따라 구성되는 수집 마스크(26)를 이용하여 이루어질 수 있다. 수집 마스크(26) 뿐만 아니라, 조사 마스크(42)(조사 푸필)는, 패터닝된 다른 샘플들의 조정가능한 다크 필드 및/또는 브라이트 필드 검사를 제공하기 위해, 제거가능 및/또는 대체가능할 수 있다.

[0060] 또한, 일부 실시예들에 따르면, 거울(76)의 과도적인(transitive) 그리고 반사 영역들이 조사 푸필(조사 마스크(42))과 수집 마스크(25) 모두로서 작동하도록, 도넛 거울(76)의 형상을 변경하는 것이 유익하다. 이러한 구성은, 마스크 디자인들이 몇 개의 투과 및 차단 영역들을 포함한다고 할지라도, 이용될 수 있다. 이러한 구성에 대해, 도넛 거울(72)은, 공간적인 필터 마스크들(25, 26 및 42)과 유사하게, 시스템의 푸필 평면에 위치되어야 한다. 도넛 거울(72)의 투과 영역(들)(홀(들))은 조사 마스크(42)의 광 투과 영역들에 상응할 수 있는 한편, 반사 영역들은 수집 마스크(25 또는 26)의 광 투과 영역들에 상응할 수 있다(대안적으로, 거울의 투과 영역들은 수집 마스크의 투과 영역들에 상응할 수 있고, 반사 영역들은 조사 마스크의 투과 영역들에 상응할 수 있다). 일부 실시예들에서는, 검사될 샘플에 따라 거울들을 신속하게 교체하기 위해, 몇 개의 도넛 거울 엘리먼트들(이들 각각은 다른 패턴의 최적의 검사를 위해 디자인됨)의 세트가 대체/스위칭 유닛 상에 장착될 수 있다.

[0061] 전술한 바와같이, 본 발명에 따르면, 조사 마스크 및 수집 마스크의 적절한 디자인은 유효 수집 구역의 최적화를 목표로 하고; 제 1 마스크의 패턴(예를 들어, 조사)은 검사하고자 하는 샘플 상의 패턴에 따라 결정되는 한편, 제 2 마스크의 패턴(수집)은 제 1 마스크에 따라 결정되며, 그리고 그 반대의 경우도 마찬가지이다. 이제, 조사 마스크 및 수집 마스크의 패턴들 사이의 관계에 대해 설명할 것이다.

[0062] 도 6a 내지 6c는 샘플의 표면을 따른 주기적 구조(패턴)(도 6a) 및 표면으로부터 반사되는 광에 의해 생성되는 회절 로브들(도 6b 및 6c)의 예를 도시한다. 도 6a에 도시된 바와 같이, 웨이퍼 상의 패턴은 4개의 SRAM 유닛 셀들(14)을 가지며, 이러한 유닛 셀들은 이들의 대칭성으로 인해 단일의 광학 유닛 셀(12)을 생성한다. 도 6b는 푸리에 평면에서 보여지는 회절 로브들(55)의 패턴을 도시한다. 구성의 이해를 향상시키기 위해, 조사 푸필(44)은 회절 로브 패턴과 중첩되어 도시되어 있다. 도 6c는 샘플의 거울 반사 응답만을 차단하도록 구성된 수집 마스크를 이용하여 수집된 회절 로브들의 이미지를 도시한다.

[0063] 도 6a에 도시된 광학 유닛 셀(12)은 수직 피치(P_y) 및 수평 피치(P_x)를 가지는 직사각형 유닛이다. 이러한 예에서 도시된 바와 같이, 패턴은 x-축 및 y-축을 따라 상이한 주기(피치)를 갖는다. 이러한 광학 유닛 셀(12)로부터 복귀된 광에 의해 생성되는 도 6b에 도시된 회절 로브 패턴은 회절 로브들(55)의 중심들 사이에 수직 간격(D_y) 및 수평 간격(D_x)을 갖는다. 푸리에 평면에서, 회절 로브들(55) 사이의 간격은 상기 식 1을 따른다. 도 6b에 도시된 바와 같이, 원형 조사 푸필(44)을 제공하게 되면, 다크 필드 이미징을 위해 이용될 수 있는 매우 제한된 잠재적인 수집 구역이 있게 된다.

[0064] 전술한 바와 같이, 조사 푸필의 크기 및 형상은 회절 로브들의 크기를 결정하는 한편, 검사되는 패턴의 주기는 회절 로브들의 중심들 사이의 간격을 결정한다. 도 7a 내지 7c는 조사 푸필, 회절 로브들의 크기 및 형상, 그리고 유효 수집 구역 간의 관계를 예시한다. 이러한 도면들은, 수집 마스크(25A)의 상이한 구성들, 수집 마스크 상에 투사되는 (상이한 크기들 및 형상들의) 조사 푸필(44) 및 회절 로브들의 위치(25B), 그리고 조사 및 수집 채널들의 이러한 구성으로 획득될 수 있는 이미지(25C)를 도시한다.

[0065] 도 7a는 실질적으로 원형이고 비교적 작은 조사 푸필(44)에 상응하며, 이에 따라 수집 마스크(25A)로 하여금 투과 영역들(62)에 의해 정의되는 적절한 유효 수집 구역을 포함할 수 있게 한다.

[0066] 도 7b는 샘플의 표면 상에 보다 작은 조사 스폿을 제공하기 위해 더 큰 조사 푸필(44)에 상응한다. 하지만, 이러한 구성을 이용하게 되면, 다크 필드 이미징 채널 내의 수집 마스크는 실제로 투과 영역들을 전혀 갖지 않는다.

[0067] 도 7c는 본 발명의 일부 실시예들에서 사용되기에 적합한 조사 및 수집 마스크들의 구성을 예시한다. 도 7c에서, 조사 푸필(44)은 비원형의 또는 긴 기하형태의 즉, 하나의 축을 따르는 그 치수가 수직 축을 따르는 치수

보다 더 큰 개구를 구성하는 타원형(oval-like) 형상을 갖는다. 이러한 예에서, 타원형 조사 푸필(44)은 도 6a에 도시된 광학 유닛 셀 상의 보다 큰 피치 크기의 축에 평행하게 연장하는 보다 긴 장축(major axis)을 갖는다. 조사 푸필의 타원형 구성은 보다 작은 조사 스폿을 획득할 수 있게 허용하면서, 타원형 형상의 회절 로브들을 초래하며, 그에 따라 수집 마스크(25A) 내의 투과 영역들(62)을 위한 공간을 개방하여, 비교적 큰 수집 영역을 가능하게 한다.

[0068] 도 7a 내지 7c는 조사 푸필, 회절 로브들 및 수집 마스크 사이의 관계의 이해를 용이하게 하기 위해, 이러한 조사 푸필, 회절 로브들 및 수집 마스크를 동일 평면 상에 도시한다는 것을 주목해야 한다. 하지만, 조사 푸필 및 수집 마스크는 공간적으로 반드시 중첩될 필요는 없지만, 전형적으로 검사 시스템의 상응하는 광학 평면들(컬레 평면들) 내에 위치된다는 것을 이해해야 한다.

[0069] 본 발명자들은, 조사 푸필 또는 조사 마스크의 형상을 변경하고, 그에 따라 수집 마스크를 변경함으로써, 샘플 상에서 비교적 작은 조사 스폿을 유지하면서 유효 수집 구역이 최적화될 수 있다는 것을 발견하였다. 도 8a 내지 8c는 감소된 조사 스폿 크기로 유효 수집 구역을 최적화하도록 구성된 하나 또는 둘 이상의 광 투과 영역들(개구들)을 갖는 조사 마스크를 이용하는 본 발명의 실시예들의 일부 양상들을 도시한다.

[0070] 도 8a 내지 8c에 도시된 예들은 직사각형 셀 유닛을 갖는 도 6a에 예시된 샘플 구조에 따라 구성된다. 이러한 도면들은, 4개의 투과 영역들(62)과 수직으로 교대하도록 배열된 3개의 이격된 차단 영역들을 갖도록 디자인되어, 회절 로브들을 바람직하게 차단하면서 충분한 수집 영역을 함께 정의하는 수집 마스크(25)를 도시한다. 이러한 특정의 예에서, 투과 및 차단 영역들은 스트립들의 형태이지만, 차단 및 투과 영역들의 기하형태 및 배열은 샘플의 공간적인 패턴에 의해 생성되는 회절 패턴에 따라 결정된다.

[0071] 도 8a에서, 조사 마스크는 샘플의 표면 상에 조사 스폿(15A)을 생성하는 타원형 형상의 개구를 갖는 조사 푸필(44A)을 포함한다. 도 8b에 도시된 조사 푸필(44B)은, 실질적으로 동일한 단축(minor axis)을 갖지만 보다 큰 편심률(eccentricity)(즉, 신장된(stretched) 타원형 형상)을 갖도록 구성된다. 이러한 조사 푸필은, 적어도 수평 축을 따라, 보다 작은 조사 스폿(15B)을 제공하지만, 실질적으로 동일한 또는 유사한 투과 영역(62)을 여전히 허용한다.

[0072] 도 8c에서, 조사 마스크는 3개의 이격된 투과 영역들(개구들)(44C) 형태의 조사 푸필을 정의한다. (조사 푸필의 이미지인) 회절 로브들의 형상 및 크기가 수집 마스크(25)의 차단 영역들과 매칭되도록, 다중-영역(multi-region) 조사 푸필(44C)이 구성된다. 전술한 바와 같이, 조사 푸필의 보다 큰 유효 구역의 이용은 조사 스폿(15C)의 크기를 감소시킬 수 있게 하며, 그에 따라 검사되는 샘플을 따라 결함 검출의 보다 높은 해상도를 제공할 수 있게 한다. 샘플의 표면 상의 조사 스폿의 크기/구역과 조사 푸필의 구역 간의 관계가 서로 관련되고(전형적으로, 푸리에 쌍이 됨), 그에 따라 조사 스폿의 형상을 또한 결정한다는 것을 주목해야 한다.

[0073] 도 9는 도 8a 내지 8c에 도시된 바와 같은 3개의 조사 마스크들을 이용하여 실시된 신호 대 잡음비(SNR) 측정들을 도시한다. 이러한 도면에서, 그래프들(G1, G2 및 G3)은 각각 조사 마스크들(44A, 44B 및 44C)의 이용에 상응한다. 테스트 샘플 상의 각각의 그리고 모든 번호 부여된 결함에 대해, SNR의 보다 큰 값은 보다 큰 조사 푸필 및 보다 작은 조사 스폿을 제공하는 조사 마스크(44C)에 의해 달성된다는 것을 확인할 수 있다.

[0074] 패턴링된 샘플 및 그 응답의 다른 하나의 예를 도시하는 도 10a 내지 10d를 참조한다. 도 10a는 웨이퍼/샘플의 표면 상의 육각형의 주기적인 패턴의 예시를 도시하고; 도 10b는 도 10a의 패턴과 연관된 조사 푸필(44)을 도시하고 그리고 회절 로브들(55)을 포함하는 회절 응답을 도시하고; 도 10c는 본 발명의 하나의 실시예와 연관된 회절 응답을 도시하며; 도 10d는 본 발명의 하나의 다른 실시예와 연관된 회절 응답을 도시한다.

[0075] 통상적인 DF 이미징 기술들은, 도 10b에서 볼 수 있는 바와 같이, 회절 로브들(55)의 가시적인(visible) 중첩으로 인해 그러한 패턴링된 샘플에서 사용될 수 없다. 회절 로브들(55)이 중첩되어, DF 이미징 기술들을 구현하기 위해 산란된 광을 수집하기 위한 어떠한 공간(room)도 남기지 않는다. 회절 로브들(55)의 각각은 (컬레 평면들 내의) 조사 푸필(44)의 카피(copy)이며, 그리고 로브들의 중심들에 의해 생성되는 패턴은 패턴의 기하형태에 의해 고유하게 정의된다(역(inverse) 격자 즉, 패턴의 푸리에 변환). 조사 개구(44)의 크기를 감소시킴으로써, 회절 로브들이 분리되고, 산란된 광의 수집이 가능해진다. 하지만, 본 발명의 기술은 회절 로브들을 분리하기 위한 보다 현명한 방식을 제공한다.

[0076] 도 10c는 본 발명의 실시예에 따른 시스템을 이용하여 육각형의 패턴링된 샘플을 검사할 때 생성되는 회절 로브 패턴을 도시한다. 이러한 실시예에 따르면, 조사 푸필(44)은 타원형 형상을 갖도록 구성됨으로써, 하나의 축을 따라 조사 푸필의 크기를 감소시키면서 다른 축을 따라서는 그 크기를 유지한다(도 10c에 도시된 바와 같은 수

평 축 및 수직 축). 조사 퓨필(44)의 이미지들인 회절 로브들(55)은 적절한 축을 따라 보다 작아지며, 그에 따라 이들의 중첩을 감소시킨다. 이는, 샘플로부터 산란되는 광과 연관된 적어도 일부의 광 성분들을 투과시키면서, 회절된 로브들과 연관된 광 성분들을 차단하기 위해 회절 로브들의 패턴에 따라 구성되는 수집 마스크(25)를 이용할 수 있게 한다. 수집 마스크(25)는 회절 로브들(55)을 차단하고, 패턴 내의 결함들로부터 비롯되는 산란된 광 성분들의 신호를 수집하기 위한 개방된 투과 영역들(62)(구역들)을 남기도록 구성된다. 하지만, 조사 퓨필의 크기를 감소시키는 것은 샘플의 표면 상에서의 조사 스폿의 크기의 증가를 초래하여, 산란된 광의 수집과 잠재적인 결함의 국부화(localizing)의 정확도 간에 트레이드오프를 생성한다.

[0077] 본 발명의 기술의 하나의 다른 실시예는 개구들(44)의 어레이를 포함하는 조사 마스크의 이용을 도시하는 도 10d에 예시되어 있다. 도 10d에서, 수집 마스크(25)는 웨이퍼 패턴에 의해 주어지는 로브 중심들의 기하형태에 따라 구성되지만, 수집 마스크(25)의 네거티브(negative)로서 구성되는 개구들(44)의 어레이 형태의 조사 퓨필을 이용하게 되면, 유효 스폿 크기가 감소된다. 패턴닝된 샘플의 이러한 조사로부터 초래되는 회절 로브들은 조사 개구들의 위치와 중첩되며, 그에 따라 도면에서 보이지 않는다는 것을 주목해야 한다. 이러한 조사 마스크를 이용하게 되면, 산란된 광의 수집을 위해 회절 로브들 간에 비교적 큰 분리(separation)를 유지하면서 샘플의 표면 상에 바람직하게 작은 조사 스폿을 생성하는 것을 가능하게 한다.

[0078] 개선된 SNR은, 패턴닝된 샘플 내의 결함의 검출을 위한 실험 결과들을 보여주는 도 11a 및 11b에서 추가적으로 예시된다. 도 11a는, 산란된 광 검사 결과들 즉, 패턴으로부터 복귀된 회절 로브들을 차단하지 않으면서, 결함의 검출을 위해, 산란된 광의 수집에 기초하는 다크 필드 모드를 도시한다. 전술한 바와 같이, 산란된 광 검사 기술은, 패턴의 피쳐들이 검사 시스템의 광학적 해상도 보다 더 작은 치수일 때에 이용된다. 패턴의 작은 피쳐들이 이미지 내에서 완전히 해상되지 않지만, 결함들로부터 산란된 광이 결함 검출을 가능하게 한다. 도 11a에 도시된 결과들은 15.8의 SNR을 제공한다.

[0079] 도 11b는 본 발명의 시스템을 이용한 그리고 도 8a에 도시된 조사 퓨필(44A)과 유사한 조사 퓨필을 갖는 조사 마스크를 이용한 검사의 결과들을 도시한다. 패턴으로부터 복귀되는 회절 로브들을 차단함으로써, 그리고 샘플의 표면의 바람직하게 작은 조사 스폿을 유지하면서 충분한 광 세기를 제공하기 위해 조사 퓨필을 적절하게 테일러링(tailoring)함으로써, 검사는 48.1의 SNR을 제공할 수 있다. 이러한 신호 대 잡음비는 결함들의 정확한 검출을 가능하게 하고, 잘못된 검출 또는 누락된(missed) 결함들의 개수를 감소시킨다.

[0080] 이와 관련하여, 도 12 및 도 13a-13b를 참조한다. 도 12는 다른 검사 기술들을 이용하여, 그리고 도 6a에 도시된 패턴을 갖는 샘플들에 대해 검사의 다른 기하학적인 해상도(geometrical resolution)들을 이용하여, 결함 검출의 효율을 비교한다. 일반적으로, 이러한 패턴닝된 샘플들에서는, 3개의 주요 타입들의 결함들, 즉 패턴 누락 결함(missing pattern defect)(도 13a에 도시됨), 브릿지 결함(bridge defect)(도 13b에 도시됨), 및 이물질-입자(foreign-particle)와 연관된 결함들(구체적으로 도시되지 않음), 즉 패턴닝된 샘플 상에 위치한 분진 입자들과 같은 외부 입자들과 연관된 결함들이 발생할 수 있다.

[0081] 도 12는 전형적인 DF 모드에서 산란된 광(T1), 100 nm의 픽셀 크기(T2) 및 70nm의 픽셀 크기(T3)를 가지는 기하학적인 해상도에서의 BF, 그리고 140 nm의 픽셀 크기(T4) 및 190nm의 픽셀 크기(T5)를 가지는 기하학적인 해상도에서의 본 발명의 기술을 이용하여 얻어진 검사 결과들을 도시한다. 이러한 도면으로부터 볼 수 있는 바와 같이, 전형적인 DF(산란된 광) 및 브라이트 필드 검사 기술들의 이용은 패턴-관련 결함들의 매우 제한된 검출만을 제공한다. 이는, 패턴의 피쳐들이 검사 시스템의 광학적 해상도 보다 더 작고, 그에 따라 완전히 해상될 수 없기 때문이다. 본 발명의 기술과 관련하여, 비록 본 발명이 전형적인 DF 및 BF 모드들과 유사한, 샘플 상의 이물질 입자들의 검출율을 제공하기는 하지만, 본 발명의 기술은 패턴의 피쳐들을 통한 브릿지들 및 패턴 누락과 같은 패턴-관련 결함들에 대해서는 증가된 검출율을 제공한다. 이러한 패턴-관련 결함들의 검출은 패턴닝된 샘플들의 생산 수율을 증가시키는 데에 있어서 중요하다.

[0082] 본 발명의 기술은, 수집 영역을 최적화하는 것 그리고 시스템 내의 조사 퓨필(들)의 유효 크기를 최적화하는 것 모두에 의해, 다크 필드 이미징 시스템들에서의 광 수집을 최적화하는 데에 목적이 있다는 것을 주목해야 한다. 조사 채널 및 수집 채널은 이들 간에 상호교환이 가능하며, 이에 따라 조사 마스크 및 수집 마스크가 상호교환 가능하다는 것을 이해해야 한다. 조사 마스크 및 수집 마스크의 각각의 총 투과 구역이 커질수록, 보다 더 큰 SNR이 달성된다. 이러한 구역은 조사 채널, 수집 채널, 또는 바람직하게는 양 채널들 내에서 확대될 수 있다. 이러한 구성은, 예를 들어, 통상적인 광학 현미경들에 기초하는 것으로서, 비 코히런트(non-coherent)(또는, 부분적으로 코히런트) DF 이미징에서 구현될 수 있다. 이러한 비 코히런트 DF 이미징 시스템들에서, 샘플의 조사를 위해 광원이 사용되는 한편, 수집 마스크를 이용하는 광학 시스템을 통해 광이 수집된다. 전술한 바와

같이, 조사 및 수집 마스크들은 이들 간에 상호교환될 수 있으며, 이에 따라 본 발명의 기술에 따른 비 코히런트 DF 이미징을 가능하게 한다.

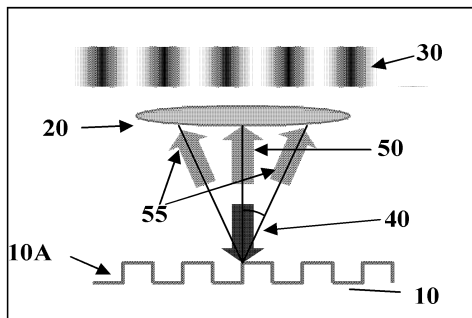
[0083] 전술한 바와 같이, 다크 필드 이미징은 조사 경로에 대한 다른 배향들(orientations)에서의 산란된 광 수집을 이용할 수 있다. 산란된 광은, 거울 반사의 각도 배향 주위에서, 제로 차수의 회절의 전과 바깥쪽에서 수집될 수 있다. 회절 로브들을 차단하고, 그에 따라 결함 검출의 SNR을 증가시키기 위해서는, 임의의 수집 각도에 대해, 수집 마스크의 이용이 바람직하다. 본 발명에 따른 적절한 조사 마스크의 디자인은, 샘플 상의 주기적인 패턴으로부터 회절된 광 성분들을 효과적으로 차단하면서, 유효 수집 구역/영역을 최적화하는 것을 목적으로 한다.

[0084] 전술한 바에 따르면, 본 발명은 패턴의 회절 응답과 연관된 광 성분들을 차단하기 위한 차단 영역들의 어레이를 포함하는 수집 마스크를 이용하며, 그리고 임의의 적절한 형상의 조사 푸필, 예를 들어, 원형 또는 타원형으로 제공되는 조사 개구(들)는 수집 마스크의 차단 영역들과 적절히 정렬/관련된다. 본 발명의 기술은 조사 스폿 크기와 유효 수집 구역/영역 사이의 관계의 최적화를 제공하며, 이에 따라 높은 효율의 다크 필드 검사(더 높은 SNR 및 해상도)를 제공한다. 또한, 여러 가지의 패턴닝된 샘플들의 검사를 가능하게 하기 위해, 본 발명의 수집 및 조사 마스크들은 제거가능하며 대체가능할 수 있다. 본 발명에 따른 패턴닝된 샘플의 검사를 위한 시스템은 다크 필드 검사 모드에서 작동할 수 있으며, 그리고 또한, 적어도 수집 마스크를 제거함으로써, 브라이트 필드 검사 모드에서의 작동을 제공한다.

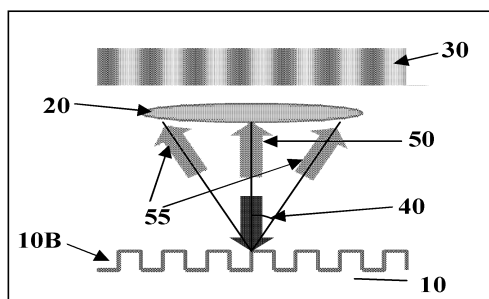
[0085] 당업자는, 첨부된 청구항들에서 그리고 이러한 청구항들에 의해 정의되는 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서, 상기 설명된 본 발명의 실시예들에 대해 다양한 수정들 및 변경들이 적용될 수 있다는 것을 용이하게 이해할 것이다.

도면

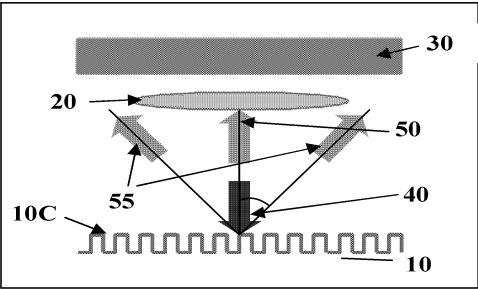
도면1a



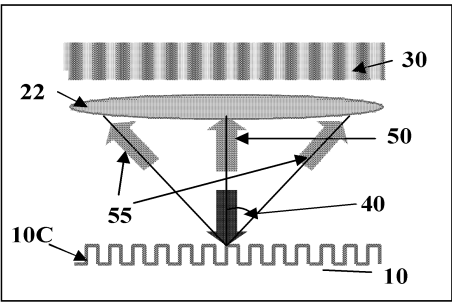
도면1b



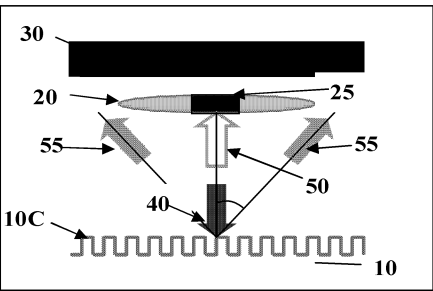
도면1c



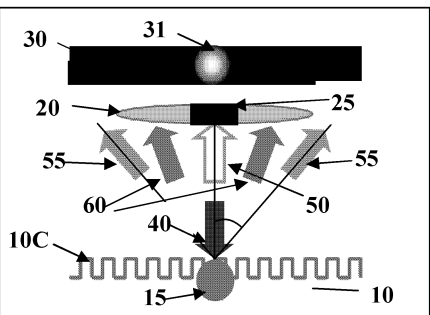
도면1d



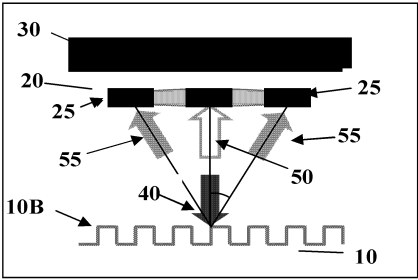
도면2a



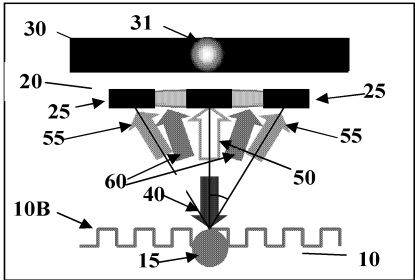
도면2b



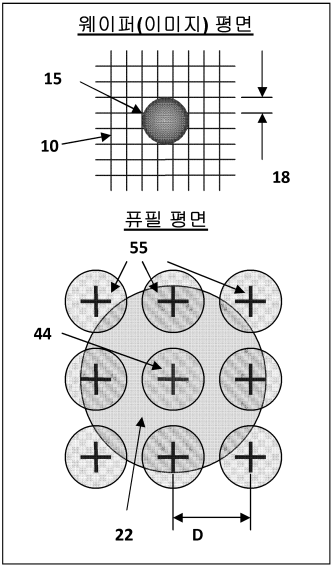
도면2c



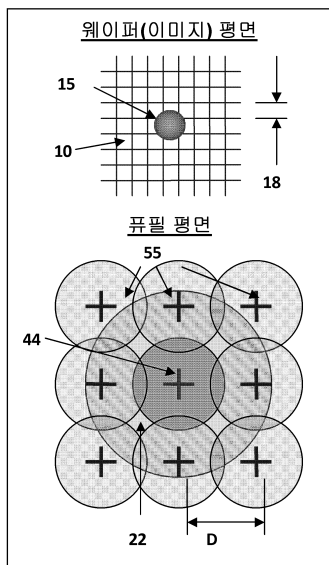
도면2d



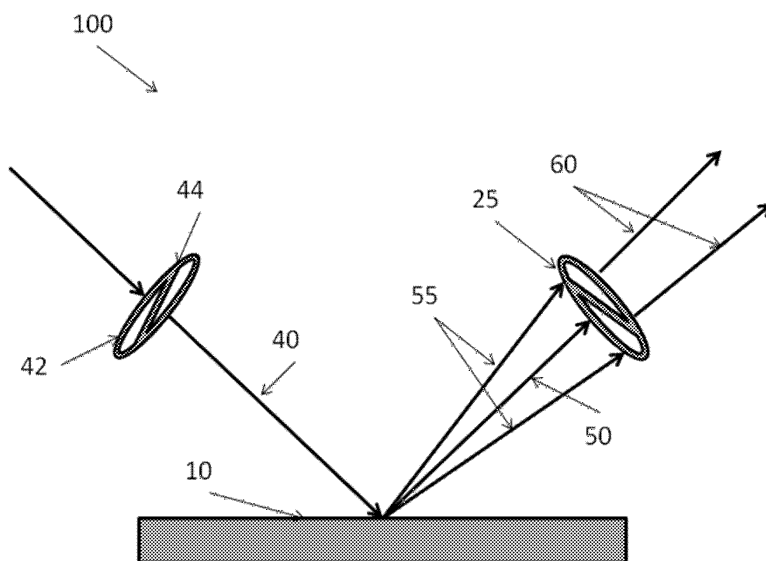
도면3a



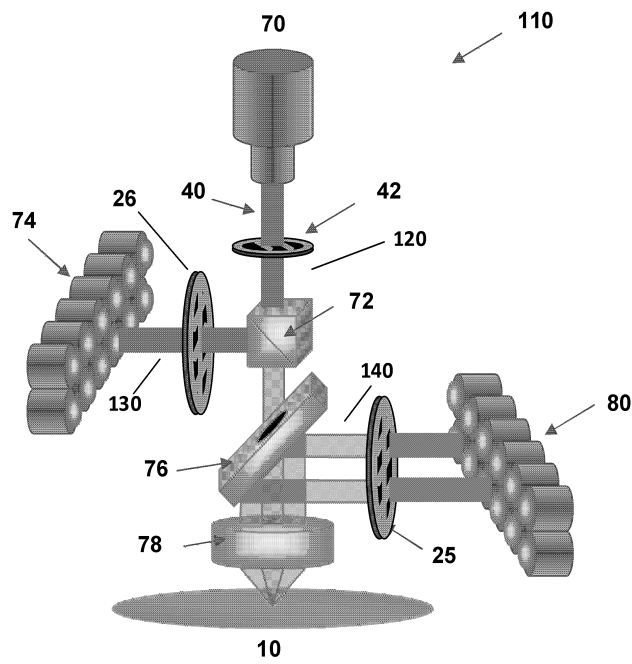
도면3b



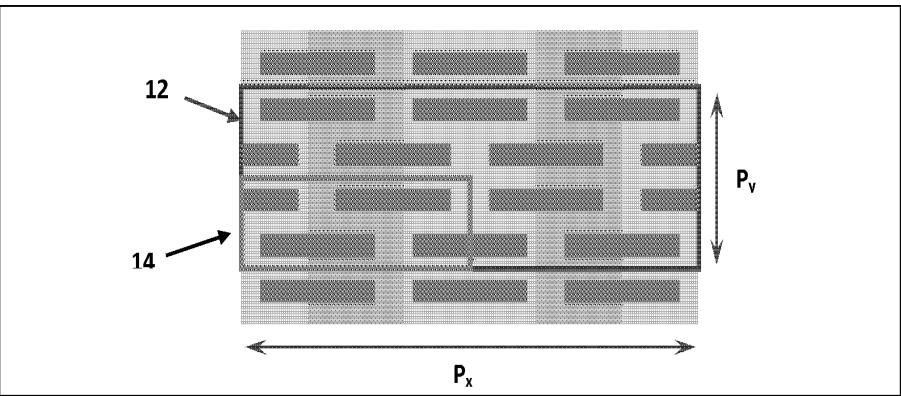
도면4



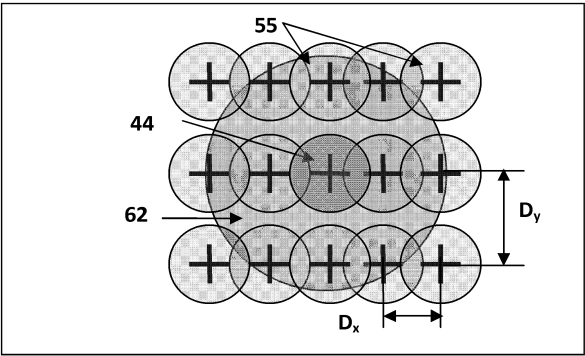
도면5



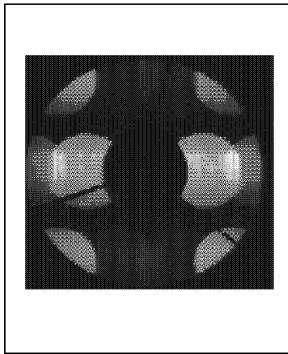
도면6a



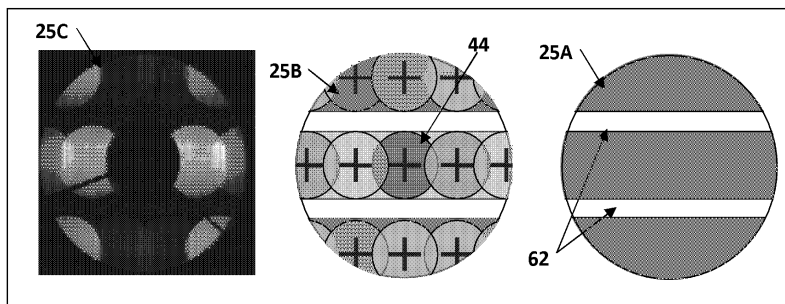
도면6b



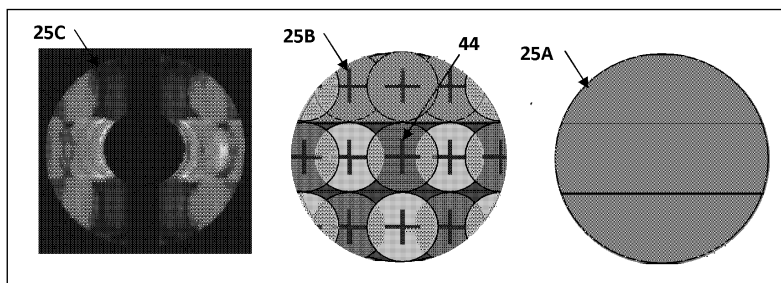
도면6c



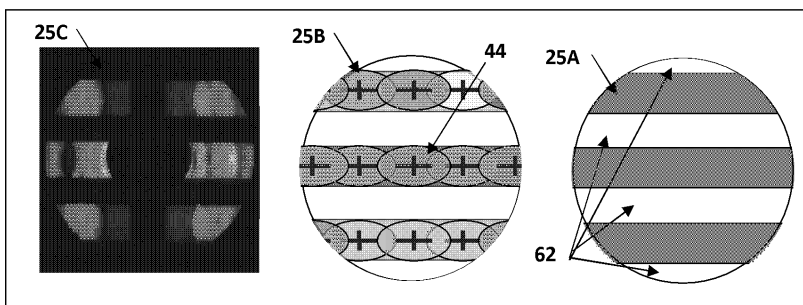
도면7a



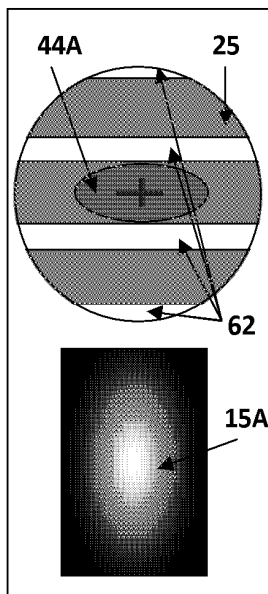
도면7b



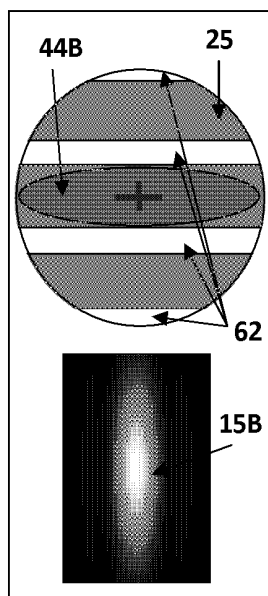
도면7c



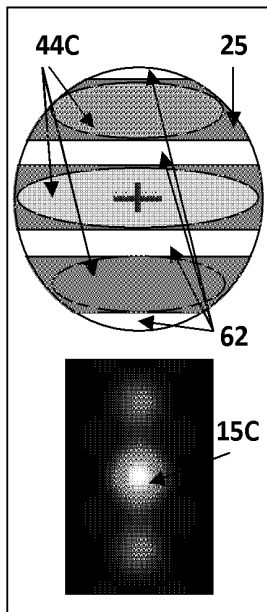
도면8a



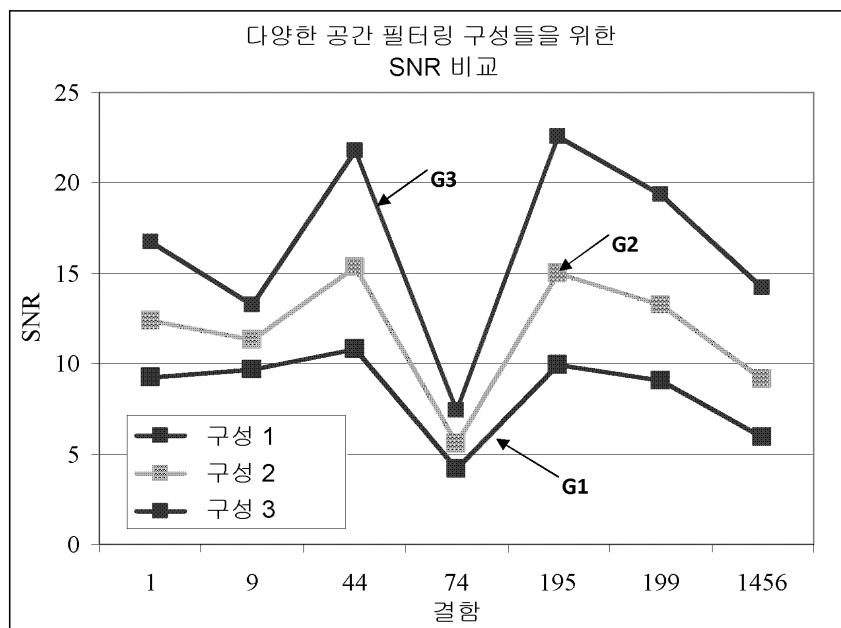
도면8b



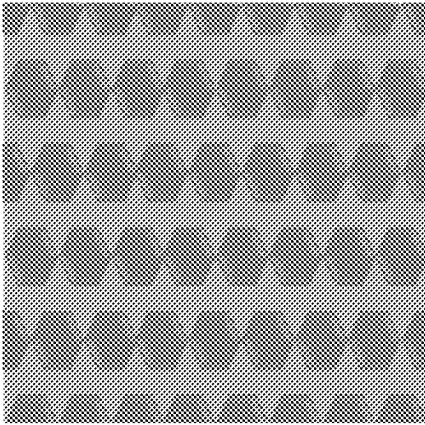
도면8c



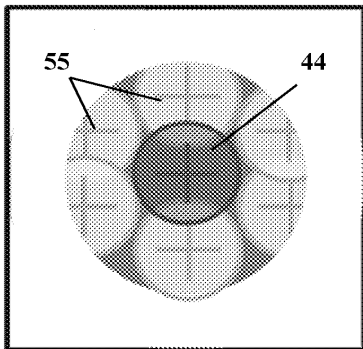
도면9



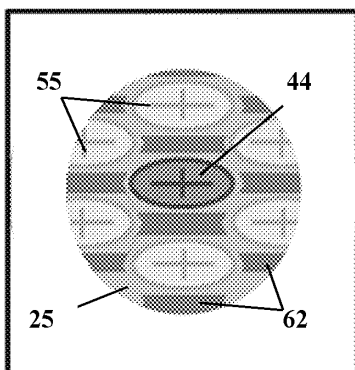
도면10a



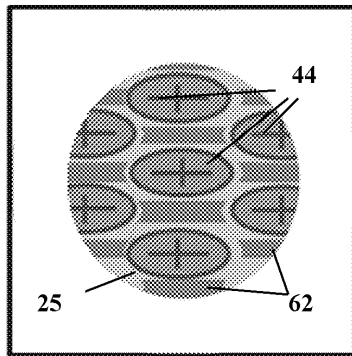
도면10b



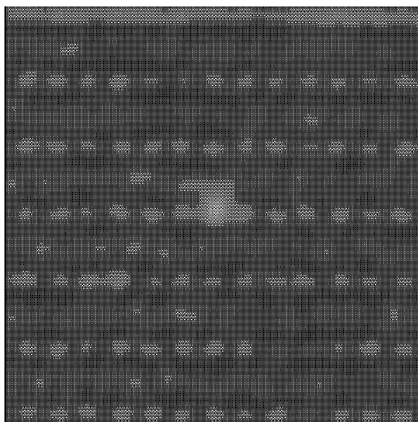
도면10c



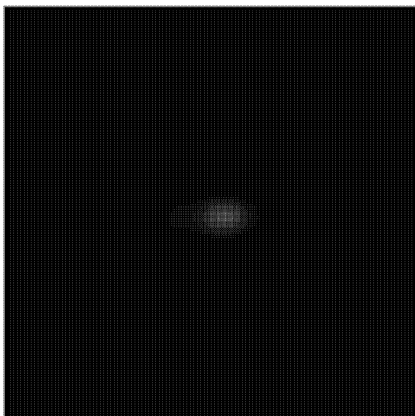
도면10d



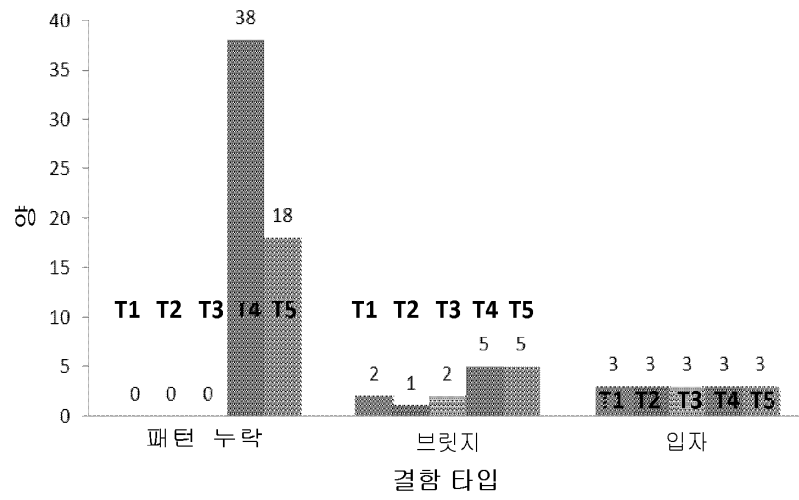
도면11a



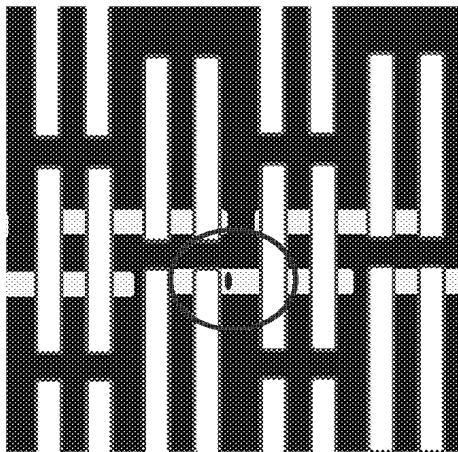
도면11b



도면12



도면13a



도면13b

