



(19) 대한민국특허청(KR)
 (12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년05월27일
 (11) 등록번호 10-1982363
 (24) 등록일자 2019년05월20일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/027 (2006.01) *G02B 27/18* (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2014-7002337
- (22) 출원일자(국제) 2012년06월07일
 심사청구일자 2017년06월02일
- (85) 번역문제출일자 2014년01월27일
- (65) 공개번호 10-2014-0053141
- (43) 공개일자 2014년05월07일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2012/041273
- (87) 국제공개번호 WO 2013/002988
 국제공개일자 2013년01월03일
- (30) 우선권주장
 13/170,025 2011년06월27일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
 JP2006508369 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 37 항

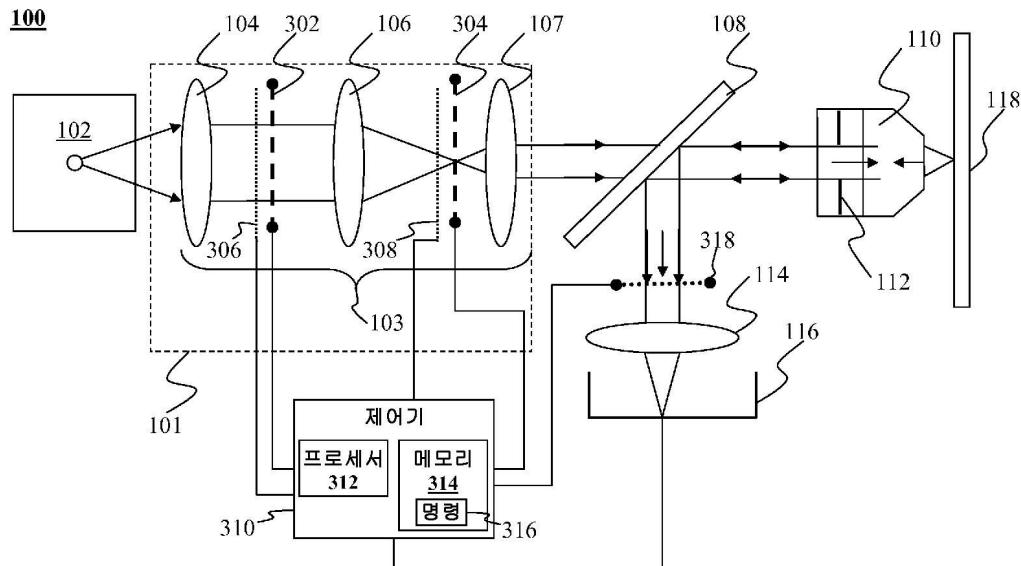
심사관 : 이석주

(54) 발명의 명칭 조명 제어

(57) 요 약

광학 시스템은 대물렌즈, 조명의 소스, 대물렌즈로 조명을 지향시키도록 구성되는 조명 광학계를 갖는 조명 시스템을 포함할 수 있으며, 적어도 2개의 동적 광학 어레이 디바이스들이 각각 조명 광학계에서 동공 컬레면 및 필드 컬레면에 위치된다. 동적 광학 어레이 디바이스들은 조명 시스템으로부터 대물렌즈로 결합된 조명의 하나 이상의 특성들을 제어하도록 구성된다.

대 표 도



명세서

청구범위

청구항 1

광학 시스템에 있어서,

대물렌즈(objective);

조명의 소스;

상기 조명을 상기 대물렌즈로 지향시키도록 구성되는 조명 광학계(illumination optics)를 갖는 조명 시스템; 및

각각 상기 조명 시스템 내의 동공 컬레면(pupil conjugate plane) 및 필드 컬레면(field conjugate plane)에 위치된 적어도 2개의 동적 광학 어레이 디바이스들

을 포함하며,

상기 동적 광학 어레이 디바이스들은 상기 조명 시스템으로부터 상기 대물렌즈까지 결합된 상기 조명의 하나 이상의 특성들을 제어하도록 구성되고,

상기 동적 광학 어레이 디바이스들은, 상기 광학 시스템의 필드 또는 동공에 걸친 상기 조명의 편광 분포를 조정하도록 구성된 하나 이상의 어레이 디바이스들을 포함하는 것인, 광학 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 대물렌즈는 상기 조명을 타겟으로 포커싱하도록 그리고 상기 타겟으로부터 조명 산란 방사선을 수집하도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 대물렌즈에 광학적으로 결합된 집광 광학계(collection optics)를 갖는 집광 시스템을 더 포함하며, 상기 집광 광학계는 상기 타겟으로부터 산란된 조명을 수집하도록 그리고 상기 산란된 조명을 검출기에 결합하도록 구성되고, 상기 동적 광학 어레이 디바이스들은 상기 집광 광학계의 광학계 수차(optics aberration)들을 제거하기 위하여 상기 조명 시스템에 보상 광학계 수차들을 도입하도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 동공 컬레면에 위치된 상기 동적 광학 어레이 디바이스는, 상기 조명의 간섭 시간(coherence time)보다 길고 상기 검출기의 검출기 프레임보다 짧은 시간에 걸쳐 상기 동공 컬레면의 상이한 대응 부분들을 통과하는 상기 조명의 상이한 선택된 부분들을 동시에 투과시키도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 집광 시스템은 상기 집광 광학계의 동공 평면에 위치된 부가적인 동적 광학 어레이 디바이스를 포함하는 것인, 광학 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 부가적인 동적 광학 어레이 디바이스는, 상기 검출기에 도달하는 것으로부터 상기 집광 광학계의 불필요한

회절 차수를 필터링하도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 집광 광학계의 수차들을 결정하도록 구성된 위치 감지 검출기(PSD: position sensitive detector) 어레이 또는 위상 감지 검출기 어레이를 더 포함하는, 광학 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 PSD 어레이 또는 위상 감지 검출기 어레이는 집광 경로에 위치되는 것인, 광학 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 동적 광학 어레이 디바이스들은 하나 이상의 마이크로-미러 디바이스들을 포함하는 것인, 광학 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 동공 결레면에 위치된 상기 마이크로-미러 디바이스는 상기 동공 내의 요구된 조도 분포(illumination distribution)를 생성하도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 필드 결레면에 위치된 상기 마이크로-미러 디바이스는 광 농도의 보정을 위해 필드 포인트(field point)를 선택하도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 마이크로-미러 디바이스는 디지털 마이크로-미러 디바이스(DMD: Digital Micro-mirror device)를 포함하는 것인, 광학 시스템.

청구항 13

삭제

청구항 14

광학 시스템에 있어서,

대물렌즈(objective);

조명의 소스;

상기 조명을 상기 대물렌즈로 지향시키도록 구성되는 조명 광학계(illumination optics)를 갖는 조명 시스템; 및

각각 상기 조명 시스템 내의 동공 결레면(pupil conjugate plane) 및 필드 결레면(field conjugate plane)에 위치된 적어도 2개의 동적 광학 어레이 디바이스들

을 포함하며,

상기 동적 광학 어레이 디바이스들은 상기 조명 시스템으로부터 상기 대물렌즈까지 결합된 상기 조명의 하나 이상의 특성들을 제어하도록 구성되고,

상기 조명의 소스는 전자기 방사선의 편광 상태를 선택하도록 구성되는 편광 제어 엘리먼트들을 포함하는 것인, 광학 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 편광 제어 엘리먼트들은 상기 조명의 과장의 함수로서 상기 편광 상태를 선택하도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 16

제1항에 있어서,

상기 동적 광학 어레이 디바이스들은 상기 조명 광학계의 결합들을 보상하도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 조명 광학계의 결합들은 유리 불균질성, 스트라에(strae), 기포(bubble)들, 또는 스크래치-디그(scratch-dig), 거칠기를 포함하는 것인, 광학 시스템.

청구항 18

제1항에 있어서,

상기 동공 컬레면에 있는 동적 광학 어레이 디바이스는 상기 대물렌즈의 동공에서 상기 조명의 직경을 제어하도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 동공 컬레면에 있는 동적 광학 어레이 디바이스는 조명이 상기 대물렌즈의 동공에 도달하는 것을 선택적으로 차단하도록, 또는 조명이 상기 대물렌즈의 동공에 도달하는 방식으로 조명을 선택적으로 투과시키거나 반사시키도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 20

제1항에 있어서,

상기 필드 컬레면에 있는 동적 광학 어레이 디바이스는 상기 대물렌즈에 의하여 타겟에 결합된 상기 조명의 각도 분포를 제어하도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 필드 컬레면에 있는 동적 광학 어레이 디바이스는 상기 대물렌즈에 의하여 상기 타겟에 결합된 방사선으로 상기 타겟의 선택된 부분만을 조명하도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 22

광학 시스템에 있어서,

대물렌즈(objective);

조명의 소스;

상기 조명을 상기 대물렌즈로 지향시키도록 구성되는 조명 광학계(illumination optics)를 갖는 조명 시스템; 및

각각 상기 조명 시스템 내의 동공 컬레면(pupil conjugate plane) 및 필드 컬레면(field conjugate plane)에

위치된 적어도 2개의 동적 광학 어레이 디바이스들

을 포함하며,

상기 동적 광학 어레이 디바이스들은 상기 조명 시스템으로부터 상기 대물렌즈까지 결합된 상기 조명의 하나 이상의 특성들을 제어하도록 구성되고,

상기 동적 광학 어레이 디바이스들은, 픽셀 단위로 상기 동공 컬레면 또는 필드 컬레면에서 상기 조명의 광학적 특성을 조정하도록 구성되는 동적 광학 디바이스들의 어레이들을 포함하고,

상기 동적 광학 어레이 디바이스들은, 픽셀 단위로 특정 편광의 조명을 선택적으로 투과하거나 반사시키도록 구성되는 전자적으로 조정 가능한 편광 디바이스들의 어레이들, 픽셀 단위로 조명의 편광을 원하는 배향으로 회전시키도록 구성되는 편광 회전 디바이스들의 어레이들, 또는 픽셀 단위로 조명의 특정 범위의 전자기 주파수를 선택적으로 반사시키거나 투과시키도록 구성되는 스펙트럼 필터링 디바이스들의 어레이들을 포함하는 것인, 광학 시스템.

청구항 23

제22항에 있어서,

상기 광학적 특성은 상기 대물렌즈의 동공에서의 조명의 픽셀당 각도 분포인 것인, 광학 시스템.

청구항 24

광학 시스템에 있어서,

대물렌즈(objective);

조명의 소스;

상기 조명을 상기 대물렌즈로 지향시키도록 구성되는 조명 광학계(illumination optics)를 갖는 조명 시스템; 및

각각 상기 조명 시스템 내의 동공 컬레면(pupil conjugate plane) 및 필드 컬레면(field conjugate plane)에 위치된 적어도 2개의 동적 광학 어레이 디바이스들

을 포함하며,

상기 동적 광학 어레이 디바이스들은 상기 조명 시스템으로부터 상기 대물렌즈까지 결합된 상기 조명의 하나 이상의 특성들을 제어하도록 구성되고,

상기 광학 시스템은, 제1 또는 제2 동적 광학 어레이 디바이스에 결합된 제어기를 더 포함하며, 상기 제어기는 상기 제1 또는 제2 동적 광학 어레이 디바이스 내의 동적 광학 디바이스가 특정 상태로 지내는 검출기 프레임 동안의 시간의 퍼센트를 조정하도록 구성되고,

상기 광학 시스템은, 상기 동적 광학 디바이스와 상기 조명의 소스 사이에 또는 상기 동적 광학 디바이스와 상기 대물렌즈 사이에 배치된 부가적인 동적 광학 디바이스를 더 포함하며, 상기 제어기는 상기 동적 광학 디바이스의 상태를 상기 부가적인 동적 광학 디바이스의 상태와 동기화시키도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 25

삭제

청구항 26

제24항에 있어서,

상기 부가적인 동적 광학 디바이스는 스펙트럼 또는 편광 제어 엘리먼트인 것인, 광학 시스템.

청구항 27

삭제

청구항 28

제1항에 있어서,

상기 광학 시스템은 산란측정 오버레이(scatterometry overlay) 시스템인 것인, 광학 시스템.

청구항 29

제1항에 있어서,

상기 동공 컬레면 및 필드 컬레면에 위치된 상기 동적 광학 어레이 디바이스들은 상기 조명 광학계의 대칭적 수차들을 보상하도록 구성되는 것인, 광학 시스템.

청구항 30

광학 시스템에 있어서,

대물렌즈(objective);

조명의 소스;

상기 조명을 상기 대물렌즈로 지향시키도록 구성되는 조명 광학계(illumination optics)를 갖는 조명 시스템; 및

각각 상기 조명 시스템 내의 동공 컬레면(pupil conjugate plane) 및 필드 컬레면(field conjugate plane)에 위치된 적어도 2개의 동적 광학 어레이 디바이스들

을 포함하며,

상기 동적 광학 어레이 디바이스들은 상기 조명 시스템으로부터 상기 대물렌즈까지 결합된 상기 조명의 하나 이상의 특성들을 제어하도록 구성되고,

상기 조명 시스템은 상기 필드 컬레면에 위치된 상기 동적 광학 어레이 디바이스에 의하여 선택되는 이미지에 대해 상기 조명의 편광 각도를 동기화시키도록 구성되는 회전 편광자를 더 포함하는 것인, 광학 시스템.

청구항 31

대물렌즈, 조명의 소스 및 조명을 상기 대물렌즈로 지향시키도록 구성되는 조명 광학계를 갖는 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법에 있어서,

동공 컬레면에 위치된 제1 동적 광학 어레이 디바이스를 사용하여 상기 동공 컬레면에서 상기 소스로부터의 조명의 제1 특성을 조정하는 단계 — 상기 동공 컬레면은 상기 대물렌즈의 동공에 대한 컬레(conjugate)임 — ; 및

필드 컬레면에 위치된 제2 동적 광학 어레이 디바이스를 사용하여 상기 필드 컬레면에서 상기 소스로부터의 조명의 제2 특성을 조정하는 단계 — 상기 필드 컬레면은 타겟에서 상기 대물렌즈의 포커스의 필드에 대한 컬레임 —

를 포함하고,

상기 제1 또는 제2 특성을 상기 조명의 픽셀당 스펙트럼인 것인, 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법.

청구항 32

대물렌즈, 조명의 소스 및 조명을 상기 대물렌즈로 지향시키도록 구성되는 조명 광학계를 갖는 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법에 있어서,

동공 컬레면에 위치된 제1 동적 광학 어레이 디바이스를 사용하여 상기 동공 컬레면에서 상기 소스로부터의 조명의 제1 특성을 조정하는 단계 — 상기 동공 컬레면은 상기 대물렌즈의 동공에 대한 컬레(conjugate)임 — ; 및

필드 컬레면에 위치된 제2 동적 광학 어레이 디바이스를 사용하여 상기 필드 컬레면에서 상기 소스로부터의 조명의 제2 특성을 조정하는 단계 — 상기 필드 컬레면은 타겟에서 상기 대물렌즈의 포커스의 필드에 대한 컬레임 —

—

를 포함하고,

상기 제1 또는 제2 특성은 상기 조명의 편광 분포인 것인, 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법.

청구항 33

제31항에 있어서,

상기 광학 시스템 및 상이한 광학 시스템을 툴 매칭(tool match)시키기 위하여 상기 동적 광학 어레이 디바이스들 중 하나 이상의 동적 광학 어레이 디바이스의 설정들을 상기 상이한 광학 시스템에 전달하는 단계를 더 포함하는, 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법.

청구항 34

제31항에 있어서,

상기 제1 특성을 조정하는 단계 또는 상기 제2 특성을 조정하는 단계는, 상기 제1 또는 제2 동적 광학 어레이 디바이스 내의 동적 광학 디바이스가 특정 상태로 지내는 검출기 프레임 동안의 시간의 퍼센트를 조정하는 단계를 포함하는 것인, 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법.

청구항 35

대물렌즈, 조명의 소스 및 조명을 상기 대물렌즈로 지향시키도록 구성되는 조명 광학계를 갖는 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법에 있어서,

동공 캘레면에 위치된 제1 동적 광학 어레이 디바이스를 사용하여 상기 동공 캘레면에서 상기 소스로부터의 조명의 제1 특성을 조정하는 단계 — 상기 동공 캘레면은 상기 대물렌즈의 동공에 대한 캘레(conjugate)임 — ; 및

필드 캘레면에 위치된 제2 동적 광학 어레이 디바이스를 사용하여 상기 필드 캘레면에서 상기 소스로부터의 조명의 제2 특성을 조정하는 단계 — 상기 필드 캘레면은 타겟에서 상기 대물렌즈의 포커스의 필드에 대한 캘레임 —

를 포함하고,

상기 제1 특성을 조정하는 단계 또는 상기 제2 특성을 조정하는 단계는, 상기 제1 또는 제2 동적 광학 어레이 디바이스 내의 각각의 동적 광학 디바이스의 상태를, 상기 제1 또는 제2 동적 광학 어레이 디바이스에 광학적으로 결합된 부가적인 동적 광학 디바이스의 상태와 동기화시키는 단계를 포함하는 것인, 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법.

청구항 36

제35항에 있어서,

상기 부가적인 동적 광학 디바이스는 스펙트럼 또는 편광 제어 엘리먼트인 것인, 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법.

청구항 37

제35항에 있어서,

상기 제1 또는 제2 동적 광학 어레이 디바이스 내의 각각의 동적 광학 디바이스의 상태를 동기화시키는 단계는, (i) 상기 제1 및 제2 동적 광학 어레이 디바이스의 또는 상기 제2 동적 광학 어레이 디바이스의 상기 동적 광학 디바이스들의 상이한 서브세트들을, 검출기 프레임 동안 상기 부가적인 동적 광학 디바이스의 상이한 상태들에 동기화시키는 단계, 또는 (ii) 상기 조명의 편광 각도를, 상기 필드 캘레면에 위치된 상기 동적 광학 어레이 디바이스에 의하여 선택되는 이미지에 동기화시키는 단계를 포함하는 것인, 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법.

청구항 38

제31항에 있어서,

상기 제1 특성을 조정하는 단계는, 픽셀 단위로 상기 동공의 조명된 부분들의 각도 분포를 제어하는 단계를 포함하는 것인, 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법.

청구항 39

제31항에 있어서,

상기 동공 켈레면 및 상기 필드 켈레면에 위치된 상기 동적 광학 어레이 디바이스들은, 상기 조명 광학계의 대칭적 수차들을 보상하도록 구성되는 것인, 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법.

청구항 40

컴퓨터 실행가능 명령어들이 내장된 비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체에 있어서,

상기 명령어들은 실행시, 대물렌즈, 조명의 소스 및 조명을 상기 대물렌즈로 지향시키도록 구성되는 조명 광학계를 갖는 광학 시스템에서의 조명 제어를 위한 방법을 구현하도록 구성되며, 상기 방법은:

동공 켈레면에 위치된 제1 동적 광학 어레이 디바이스를 사용하여 상기 동공 켈레면에서 상기 소스로부터의 조명의 제1 특성을 조정하는 단계 – 상기 동공 켈레면은 상기 대물렌즈의 동공에 대한 켈레임 – ; 및

필드 켈레면에 위치된 제2 동적 광학 어레이 디바이스를 사용하여 상기 필드 켈레면에서 상기 소스로부터의 조명의 제2 특성을 조정하는 단계 – 상기 필드 켈레면은 타겟에서 상기 대물렌즈의 포커스의 필드에 대한 켈레임 –

을 포함하고,

상기 제1 또는 제2 특성은 상기 조명의 픽셀당 스펙트럼인 것인, 비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체.

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 실시예는 일반적으로 광학 오버레이 계측학에 관한 것이며, 더욱 상세하게는 오버레이 시스템에서의 조명 광학계의 제어에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 리소그래피는 더 높은 레벨의 마이크로회로 집적을 위한 경향에 있어서의 주요 요인이다. 동적 RAM들은 최소 기하학적 구조들의 감소 및 칩 사이즈의 증가의 결과로서 매 3년마다 집적 레벨이 4배가 되어왔다. 최소 기하학적 구조가 점점 작아짐에 따라, 전자빔 집적 기록, X-레이 및 전자/이온빔 근접 기술들과 같은 광학 리소그래피에 대한 대안들은 매력적인 것이 되었다. 후자 3개 기술은 여전히 광학 리소그래피에 대한 초기 단계에 있으며, 여전히 감소된 처리량, 낮은 소스 휙도 및 마스크 복잡성을 각각 포함하는 극복할 장애물들을 여전히 갖는다.
- [0003] 광학 리소그래피는 이것이 잘 달성되고 적어도 0.35 미크론만큼 작은 서브-미크론 해상도를 구현할 수 있기 때문에 계속해서 지배적인 기술이지만, 더 작은 기하학적 구조들에 대한 노력들은 더 새로운 기술들을 고대한다. 광학 리소그래피 및 그것의 대안들 모두에 있어서, 더 짧은 파장들의 영역으로의 진입은 광학적 표면들 상의 오염들, 렌즈 및 미러에 의해 도입되는 수차들, 포토레지스트 두께 및 표면 변화들 및 웨이퍼 평탄성 및 평면성에 대한 오염들을 포함하는 극미한 표면 결함들에 증가된 민감성을 도입한다.
- [0004] 제작 제한들로 인하여, 대부분의 광학적 엘리먼트들은 평면, 구형 또는 포물형 형태를 갖는다. 단순한 형태의 표면들에 대한 제약은 광학 수차들로 인하여 회절-제한 성능을 구현하는 광학 시스템의 능력에 있어서 제한들을 부과한다.
- [0005] 광학 머신 비전 디바이스들에서, 대개 관찰된 타겟과 검출기 사이에 광학계의 품질에 큰 관심이 쏠린다. 반도체 계측학에서, 특히 광학계가 측정된 신호에 대한 가능한 작은 에러 기여를 갖는 것으로 기대됨에 따라 이것은 사실이다. 광학계 최적화 프로세스에서, 표준 광학계 분석 방법들이 대개 이용되는데, 여기서 이상적인 시뮬레이팅된 레이 콘(simulated ray cone)이 타겟 상의 포인트들로부터 검출기를 향해 발사되는 반면, 중간 광학계는 검출기에서 최선의 수렴 레이 콘(converging ray cone)을 달성하기 위하여 향상된다. 검출기에서의 최선의 가능한 콘은 회절 제한된 에어리 디스크(diffraction limited Airy disk)를 생성할 것이며, 이는 중앙에서 더 밝은 영역을 갖는 균일하게 조명된 원형 개구로부터 초래되는 회절 패턴이다.
- [0006] 포인트 스프레드 함수(PSF: point spread function)는 포인트 소스 또는 포인트 대상물에 대한 이미징 시스템의 응답을 설명한다. 이미지에서 포인트 대상물의 스프레딩(블러링)의 정도는 이미징 시스템의 품질에 대한 측정치이다. 감소된 품질의 콘은 포인트 스프레드 함수(PSF)와 함께 설명될 수 있는데, 즉, 수렴 콘 품질은 광학계 수차들에 의해 제한된다. 조명 광학계는 완벽하며, 조명 반사의 결과로 검출기를 향해 타겟으로부터 내뿜어지는 레이 번들(ray bundle)도 또한 완벽한 것으로, 즉, 애초에 수차 또는 회절을 겪지 않는 것으로 가정된다. 다수의 경우들에서 이것은 훌륭한 가정이지만, 이것은 서브-파장 피쳐들을 깊게 측정하는 경우에는 충분하지 않다. 조명을 향상시키기 위한 종래의 방법들은 조명 광학계 최적화 및 정적 및 동적 산광기들의 사용을 포함한다. 그러나 향상된 조명 광학계가 불완전한 광원을 항상 보상할 수는 없으며, 산광기들의 사용은 그들의 무작위적 성질에 의존하고, 따라서 조명 품질에 대한 제한된 제어를 지원한다. 여기서 2개의 구조화된 엘리먼트들을 포함하는 동적 방법이 제공되는데, 하나는 필드 컬렉터에 있고 하나는 동공 컬렉터에 있으며, 이들은 조명의 공간적 그리고 각도적 특징들에 대한 제어를 가능하게 한다.
- [0007] 반도체 제조에서 사용되는 중요 계측한 기법은 웨이퍼 상의 연속적인 패터닝된 층들 간에 오버레이 에러의 측정이다. 오버레이 계측학은 집적 회로들 및 디바이스들의 제조에서 사용되는 가장 중요한 프로세스 제어 기법들 중 하나이다. 오버레이 정확성은 일반적으로 제1 패터닝된 층이 그 위에 또는 아래에 배치된 제2 패터닝된 층에 대해 얼마나 정확하게 정렬되는지에 대한 결정 및 제1 패턴이 동일 층 상에 배치된 제2 패턴에 대해 얼마나 정확하게 정렬되는지에 대한 결정과 관련된다. 현재, 오버레이 측정들은 웨이퍼의 층들과 함께 프린팅되는 테스트 패턴들을 통해 수행된다. 이들 테스트 패턴들의 이미지들은 이미징 룰을 통해 캡쳐되고, 캡쳐된 이미지들로부터의 패턴들의 상대적 배치를 계산하기 위하여 분석 알고리즘이 사용된다.
- [0008] 이것은 본 발명의 실시예들이 발생하는 문맥 내에 있다.
- [0009] 발명의 목적들 및 장점들은 첨부 도면들을 참고하여 하기의 상세한 설명을 판독시 명백해질 것이다.
- ### 도면의 간단한 설명
- [0010] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 계측학 장치를 예시하는 개략도이다.
 도 2는 도 1에 도시된 계측학 장치의 조명 광학계를 예시하는 개략도이다.
 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 조명 수차 제어 광학계를 예시하는 개략도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 오버레이 측정 시스템의 간략화된 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 간접성 코딩의 예를 예시하는 동공면의 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011]

하기의 상세한 설명은 예시를 목적으로 다수의 특정 세부사항들을 포함하나, 본 기수분야의 임의의 당업자는 하기의 세부사항들에 대한 다수의 변형들 및 변경들이 발명의 범위 내에 있음을 인식할 것이다. 따라서 하기에 설명된 발명의 실시예들의 예시는 청구된 발명에 대한 보편성을 잃지 않고 그리고 그에 대해 제한을 부과하지 않고 진술된다.

[0012]

종래의 조명 방법들의 목적은 전체 에러에 대한 조명 시스템의 기여가 제한되도록, 공간적 및 각도적 분포의 관점에서 가능한 최선의 조명 스팟을 타겟으로 전달하는 것이다. 그러나 조명 소스 및 광학계는 타겟으로부터의 반사 시에 집광 광학계 품질보다 낮은 전체 품질을 초래하는 수차들을 도입할 수 있다. 그리고 반대로, 조명 제어로 집광 광학계 결함들을 보상하기 위한 시도가 이루어지지 않았다. 완벽한 조명에 대한 가정이 도전될 수 있으며, 조명 시스템은 향상된 성능을 위해 분석되고 최적화될 수 있다.

[0013]

대기 수차(atmospheric aberration)들의 보정을 위해 DLP와 같은 구조화된 활성 엘리먼트들이 사용되는 천문학 디바이스들에서, 광원은 대개 포인트 소스로서 간주될 수 있어, 필드 분포 문제들이 존재하지 않는다. 게다가 DLP 칩은 조명 광학계가 아닌 집광 광학계에 위치된다.

[0014]

프로젝터들은 필드 컬레에서 그러한 디바이스들을 사용하고, 여기서 그들은 스크린에 투사되는 대상물의 역할을 하지만, 동공 컬레에서는 그렇지 않다.

[0015]

대부분의 광학 계측학 디바이스들은 반사 디바이스 또는 투과 디바이스이기 때문에, 타겟은 실제적 문제로서 종래의 분석에서 타겟으로부터 나오는 콘이 실제로 조명 시스템의 결과적인 콘이라는 것을 의미하는 윈도우 또는 미러로서 간주될 수 있다. 이 이유로, 조명 시스템의 회절 및 수차들은 또한 상기 설명된 바와 같이 대개 독립적으로 최적화되는 집광 채널에서 끝이 난다. 바람직한 해결책은 조명을 향상시키는 것이어서, 이것은 회절 제한되고 수차가 없는 스팟을 측정된 타겟으로 전달한다. 그러나 통상적인 조명 소스가 이상적인 포인트 소스와는 멀기 때문에, 전달된 조명 스팟을 최적화시키도록 조명 광학계를 제어하기 위해 동적 또는 정적인 교정 노브(calibration knob)들이 부가될 수 있다. 상기 설명된 바와 같이 광의 순차적 전파를 고려하면, 이를 노브들은 실제로 집광 채널 수차들에 대해 크기가 동일하고 부호가 반대인 의도적인 수차들을 조명에 도입하기 위하여 교정될 수 있고, 따라서 이것을 효율적으로 수차가 없게 만들도록 시스템 성능에 기여할 수 있다. 그러한 개념은 감소된 품질 및 미용의 광학계와 함께 작동하는 것을 가능하게 하거나, 또는 각각 자신의 고유한 광학적 요구들을 갖는 상이한 애플리케이션들에 대해 단일 광학계의 효율적인 최적화를 지원할 수 있다. 그러한 수차 노브가 이용가능하다면, 트릭과 같은 효율적인 포커싱이 또한 시도될 수 있다.

[0016]

상기 설명된 개념은 유리 불균질성, 스트라에(striae), 기포(bubble) 또는 스크래치-디그(scratch-dig), 거칠기 등과 같은 수차들을 제외한 광학계 결함들을 보상하기 위하여 확장될 수 있다.

[0017]

다른 장점들이 조명을 제어함으로써 달성될 수 있다. 예를 들어, (Kohler 조명의 경우에) 대물렌즈의 동공 내에 있는 조명 스팟의 직경은 오버레이에 대해 영향을 미친다. 레시피 복사(recipe porting) 동안에 노브를 이용한 대물렌즈 동공에서의 조명의 직경의 제어는 툴 매칭을 위해 사용될 수 있다. 게다가, 타겟 또는 스팟 위의 조도가 또한 제어될 수 있다.

[0018]

또한, 몇몇 타겟들은 상이한 총 또는 영역들을 갖는다. 타겟의 몇몇 총들(또는 영역들)은 잘 반사할 수 있고, 몇몇 다른 총들은 잘 반사하지 못할 수 있다. 이 경우에, 조명은 상이한 필드 위치들에 대해 제어될 수 있어, 고도로 반사성인 부분들은 더 적은 광을 수용하고, 약하게 반사성인 부분들은 더 많은 광을 수용한다. 또한, 각각의 필드 포인트에서 타겟에 부딪치는 광의 각도 분포를 최적화하기 위해 동공 내의 광 분포를 제어하는 것이 바람직할 것이다. 이 선택적인 필드 조명은 작은 타겟들을 측정할 때 도움이 될 수 있는데, 즉, 그 인근이 아닌 정보를 포함하는 타겟의 부분만을 조명하는 것은 광학적 혼선 도전들을 감소시킬 수 있다. 여기서 또한 조명된 구역의 예지를 향하는 조명 각도 분포는 최적화될 수 있다.

[0019]

본 발명의 바람직한 실시예에 따라, 조명 수차 디바이스는 현재 프로젝터들에서 이용가능한 것과 같은 마이크로-미러 어레이들을 사용하여 타겟 조명의 농도 분포를 제어할 수 있다. 제한이 아닌 예로서, 예를 들어, 시간의 80% 동안 주어진 엘리먼트가 타겟으로부터 멀리 광을 지향시키는 역-반사 상태에 있도록 그리고 시간의 20% 동안 주어진 엘리먼트가 타겟을 향해 광을 지향시키는 경사진 상태에 있도록, 그러한 엘리먼트들의 어레이 내에

개별적인 광학 엘리먼트들의 반사 상태들을 제어할 수 있다. 마이크로-미러 디바이스의 반사 상태는 매우 높은 레이트로 제어될 수 있다. 각각의 그러한 디바이스는 수천 개의 개별적인 제어가능한 마이크로-미러들을 가질 수 있으며, 시스템의 동공 컬레 및 필드 컬레 모두에 위치되는 경우, 그들의 상호 동작은 요구되는 임의의 수차를 나타내는 레이들의 임의의 분포를 제공할 수 있다.

[0020] 물리적 미러 픽셀들에 대한 그러한 마이크로-미러 어레이에서 광학 픽셀들보다 약 5배만큼 더 작은 것이 바람직 할 수 있다. 그러한 경우에, 마이크로-미러 어레이에 의하여 처리되는 광을 수집하는 광학계는 미러 픽셀의 사이즈의 약 5배인 포인트 스프레드 함수(point spread function)를 가질 수 있다.

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 장치(100)를 예시하는 개략도이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 조명 소스(102)는 조명 광학계(101)에 결합되는 조명의 광 범을 생성한다. 소스(102)로부터의 조명은 적외선 방사, 가시선 방사 및 자외선 방사를 포함하는(그러나 이에 제한되는 것은 아님) 전자기 스펙트럼의 임의의 부분 또는 부분들로부터의 전자기 방사선일 수 있다. 예로서, 조명 소스(102)는 레이저와 같은 단색 광원 또는 아크 램프나 슈퍼 컨티넘 소스(super continuum source)와 같은 광대역 소스를 포함할 수 있다.

[0022] 조명 소스(102)는 점광원이거나 또는 거의 점광원일 수 있다. 예로서, 광섬유의 단부는 점광원으로 간주될 수 있다. 램프 또는 레이저와 같은 주요 소스로부터의 광은 예를 들어, 적절한 광학 컴포넌트에 의하여 광섬유의 한단부에 결합될 수 있으며, 다른 단부로부터 나오는 광은 조명 광학계에 결합될 수 있다.

[0023] 파장 또는 선택된 범위의 파장들이 입사광에 포함되거나 입사광으로부터 배제될 수 있도록, 소스(102)는 조정가능할 수 있거나 또는 조정가능하거나 선택가능한 필터들을 포함할 수 있다. 소스(102)는 편광 상태가 가능하게는 파장당 선택될 수 있도록, 편광 제어 엘리먼트들을 더 포함할 수 있다. 소스(102)로부터의 입사광은 렌즈 어셈블리(103)에 의하여 시준되고, 대물렌즈(110)의 대물렌즈 동공(112)을 조명하며, 이는 샘플(118) 상의 피쳐 또는 피쳐들에 입사광을 지향시킨다. 이 광은 범 스플리터(108)를 통과하고 대물렌즈(110)의 대물렌즈 동공(112)에 도달하기 이전에, 먼저 렌즈들(104, 106 및 107)을 포함하는 렌즈 어셈블리(103)를 통과한다. 렌즈 어셈블리(103)는 대물렌즈(110)의 대물렌즈 동공(112)을 향해 광을 지향시키도록 동작한다.

[0024] 조명 광학계(101)는 소스(102)로부터의 발산 광을 평행한 범으로 변환하는 시준 렌즈(104)를 갖는 렌즈 어셈블리(103)를 포함할 수 있다. 제2 렌즈(106)는 광을 포커싱한다. 제1 동적 광학 어레이 디바이스(302)는 렌즈들(104 및 106) 사이에 위치된다. 제2 렌즈(106)에 의하여 포커싱되는 광은 제3 렌즈(107)에 의하여 시준되고 대물렌즈(110)에 결합될 수 있다. 제2 동적 광학 어레이 디바이스(304)는 제2 및 제3 렌즈들(106, 107) 사이에 또는 그들의 상호 초점 근처에 위치될 수 있다.

[0025] 샘플(118) 상의 피쳐에 도달하는 입사 방사선은 정렬된 산란 방사선 및 확산 산란 방사선 양자 모두로서 산란된다. 이 산란된 방사선은 범 스플리터(108)에 도달하기 전에 대물렌즈(110)의 대물렌즈 동공(112)을 다시 통과한다. 범 스플리터(108)는 돌아온 광의 일부를 집광 경로를 향해 전환시킨다. 이 전환된 광은 집광 광학계(114)를 통과하며, 이는 2D 어레이 검출기(116), 예를 들어, 전하-결합 소자(CCD), 또는 위치 감지 검출기(PD)를 향해 광을 포커싱하는 릴레이 렌즈(relay lens)를 포함할 수 있고, 돌아온 광의 광학적 신호를 전기 신호로 변환하여 제어기에 의해 추가로 프로세싱되도록 한다.

[0026] 몇몇 경우들에서, 비교적 높은 농도를 갖는 동공 이미지 내의 불필요한 회절 차수들이 존재한다. 이것은 검출기(116)에서 동적 범위 문제들을 야기할 수 있으며, 검출기 내의 잡음에 기여할 것이다. 불필요한 회절 차수들은 대개 소프트웨어로 검출기(116)에 의하여 캡쳐되는 이미지에서 필터링되어 버린다. 그러나 이미지의 소프트웨어 필터링은 전술한 잡음 문제들을 해결하지 않는다. 그러한 잡음 문제들을 극복하기 위하여, 제3 동적 광학 어레이 디바이스(318), 예를 들어, 프로그램가능 공간적 광 변조기는 집광 경로 동공 평면에 포함될 수 있다. 제3 동적 광학 어레이 디바이스(318)는 제어기(310)에 결합되고, 그들이 검출기(116)에 도달하기 전에 집광 경로에서 불필요한 회절 차수들을 필터링해버리도록 적절한 프로그래밍을 통해 구성될 수 있다.

[0027] 도 2는 도 1의 광학적 장치의 조명 광학계(101)를 예시하는 개략도이다. 이 도면에 도시된 바와 같이, 최적의 동공 컬레면(202) 및 필드 컬레면(204)은 렌즈들(104 및 106) 사이에 위치된 동공 컬레면(202) 및 렌즈들(106 및 107) 사이에 위치된 필드 컬레면(204)과 함께 공간적 및 각도적 분포의 관점에서 사전규정된다. 동공 컬레면은 대물렌즈(110)의 대응 동공(112)에 대한 컬레(conjugate)이다. 필드 컬레면(204)은 대물렌즈(110)의 포커스의 필드에 대한 컬레이다. 바람직하게, 포커스의 필드는 대물렌즈가 적절히 포커싱될 때 샘플(118)에 위치된다.

[0028] 조명 수차 제어의 구현예가 도 3에 예시된다. 동적 어레이 디바이스들(302, 304)은 시스템의 조명 경로에서 동

공 및 필드 결레면들(202, 204)에 위치된 마이크로-미러 어레이들일 수 있다. 각각의 마이크로-미러 어레이는 조정 가능한 마이크로-미러들로 구성되는 1차원적 또는 2차원적 어레이를 포함할 수 있다. 각각의 마이크로-미러의 각도는 예를 들어 전자 제어기(310)로부터의 신호들에 응답하여 제어될 수 있다.

[0029] 제어기(310)는 광학 시스템(100)에서의 조명 제어를 위한 방법을 구현하도록 구성될 수 있다. 방법은 제1 동적 광학 어레이 디바이스(302)를 사용하여 동공 결레면(202)에서 소스(102)로부터의 조명의 제1 특성을 조정하는 단계 및 제2 동적 광학 어레이 디바이스(304)를 사용하여 필드 결레면(204)에서 소스(102)로부터의 조명의 제2 특성을 조정하는 단계를 포함할 수 있다. 예로서, 제어기(310)는 컴퓨터 프로세서(312) 및 메모리(314)를 갖는 범용 컴퓨터일 수 있으며, 어레이 디바이스들(302, 304)의 제어는 프로세서(312)상에서 명령어들(316)을 실행하여 구현될 수 있다. 명령어들(316)은 메모리에 또는 판독 전용 메모리(ROM), CD-ROM, 플래시 메모리, 플로피 디스크 등과 같은 임의의 적절한 비-일시적 컴퓨터 판독가능 매체에 저장될 수 있다. 대안적으로, 제어기(310)는 예를 들어, 주문형 집적 회로에 의하여 구현될 수 있다. 제어기(310)는 어레이 디바이스들(302, 304)에 적절한 제어 신호들을 제공하기 위하여 입력/출력(I/O) 회로들을 포함할 수 있다. 제어기(310)는 검출기(116) 또는 시스템 내의 임의의 다른 검출기로부터 피드백을 또한 수신할 수 있다. 그러한 피드백은 예를 들어, 조명 광학계(101) 및/또는 집광 광학계(114)에서 수차들을 결정하는데, 그리고 그러한 수차들에 대응하기 위하여 어레이 디바이스들(302, 304)을 조정하는데 유용할 수 있다.

[0030] 어레이의 마이크로-미러들에 대한 위치들의 상이한 조합들은 시스템(100)을 위한 상이한 조명 구성들을 제공할 수 있다. 미러 구성들은 또한 동공 결레면(202) 또는 필드 결레면(204)에 걸쳐 픽셀당 조명의 감쇠 분포를 제공할 수 있다. 이들 구성들은 조명 수차들을 제어하기 위하여 필드 포인트당 임의의 각도 조명 분포를 규정하는 것을 지원할 수 있다. 조명 광학계(101)로부터의 입사광은 대물렌즈(110)의 대물렌즈 동공(112)을 조명하며, 이는 샘플(118) 상의 피쳐 또는 피쳐들에서 입사 방사선을 지향시킨다. 이 광은 먼저 렌즈(104)를 통과하고, 동공 결레면에 위치된 마이크로-미러 디바이스(302)를 향해 지향된다. 마이크로-미러 디바이스(302)로부터 반사된 광은 그 후 렌즈(106)를 통과하고, 필드 결레면에 위치된 마이크로-미러 디바이스(304)를 향해 지향된다. 마이크로-미러 디바이스(304)로부터 반사된 광은 대물렌즈(110)의 대물렌즈 동공(112)에 도달한다.

[0031] 동적 광학 어레이 디바이스들(302, 304)은 일반적으로 동공 결레 포인트(202) 및 필드 결레 포인트(204)에서 조명의 특성을 제어할 수 있는 개별적으로 제어 가능한 광학 엘리먼트들의 어레이들을 포함할 수 있다. 이들 결레 포인트들에서 조명 특성을 적절히 제어함으로써, 동적 광학 어레이는 대물렌즈 동공(112)에서 그리고 샘플(118)에서의 포커스 필드에서 조명을 최적화시킬 수 있다. 동적 광학 어레이 디바이스들(302, 304)은 적응성 광학계에서 흔히 사용되는 타입의 마이크로전자기계 시스템(MEMS: microelectromechanical system) 광학 엘리먼트들의 어레이들을 포함할 수 있다. 제한이 아닌 예로서, 동적 광학 어레이 디바이스들(302, 304)은 픽셀 단위로 동공 결레면(202) 또는 필드 결레면(204)에서 조명의 몇몇 광학적 특성을 조정할 수 있는 다른 타입들의 동적 광학 디바이스들의 어레이들을 포함할 수 있다. 어레이의 각각의 동적 디바이스는 픽셀로서 간주될 수 있다. 예로서, 마이크로-미러 어레이 디바이스들에 대한 대안들은 이에 제한되는 것은 아니나, 픽셀 단위로 특정 편광의 조명을 선택적으로 투과 또는 반사할 수 있는 전자적으로 조정 가능한 편광 디바이스들의 어레이들(예를 들어, 액정 어레이), 픽셀 단위로 조명의 편광을 원하는 배향으로 회전시킬 수 있는 편광 회전 디바이스들의 어레이들(예를 들어, 패러데이 회전자와의 어레이), 및 픽셀 단위로 조명의 특정 범위의 전자기 주파수를 선택적으로 반사 또는 투과할 수 있는 스펙트럼 필터링 디바이스들의 어레이들을 포함한다. 동적 광학 어레이 디바이스들(302, 304)은 둘 이상의 그러한 디바이스들의 조합들을 갖는 어레이들(예를 들어, 편광자들과 결합된 광장 선택적 편광 회전 디바이스들의 어레이)을 또한 포함할 수 있다.

[0032] 동공 결레면에 위치된 어레이 디바이스(302) 내의 각각의 광학 엘리먼트(예를 들어, 마이크로-미러)의 상태는 동공 내의 원하는 조명 분포를 생성하도록 조정될 수 있다. 필드 결레면(204)에 위치된 어레이 디바이스(304)는 광 농도의 보정을 위해 각각의 필드 포인트의 조명을 유사하게 조정할 수 있다. 이 구성은 각각의 필드 포인트에 대한 동공 분포 보정 및 각각의 동공 포인트에 대한 필드 분포 보정을 가능하게 한다. 제한이 아닌 예로서, 어레이 디바이스들(302 및 304)은 이미지들을 투사하고 디스플레이하기 위하여 디지털 칩을 사용하는, 텍사스 인스트루먼트(Texas Instruments)에 의해 발명된 디지털 광 프로세싱(DLP: digital light processing) 기술을 위해 사용되는 타입의 디지털 마이크로미러 디바이스(DMD: Digital Micromirror Device)일 수 있다. DLP 칩은 백만개에 달하는 경첩식(hinged) 마이크로스코픽 미러들의 직사각형 어레이가 그 상부에 장착된 표준 메모리 셀을 포함한다. DMD는 미러에서 광의 농도를 보정하고, 동공 또는 필드에 걸친 광 농도 분포를 제어한다.

[0033] 어레이 디바이스들(302, 304)의 개별적인 동적 광학 디바이스들의 설정들은 적절한 시간 스케일을 통해 조정될

수 있다. 예를 들어, 검출기(116)는 여기서 프레임으로서 지칭되는 시구간에 걸쳐 산란된 조명을 수집할 수 있다. 제한이 아닌 예로서, 동적 범위의 공간적/각도적 분포는 그 어레이 디바이스들(302, 304)의 각각의 동적 광학 디바이스가 특정 상태로 지내는 각각의 검출기 프레임 동안의 시간의 퍼센트를 결정함으로써 달성될 수 있다. 구체적으로 DMD 어레이들의 경우에, 제어기(310)는 각각의 DMD 어레이의 각각의 마이크로미러가 반사 상태 또는 비-반사 상태로 지내는 시간량을 개별적으로 제어할 수 있다.

[0034] 몇몇 실시예들에서, 시스템(100)은 동적 광학 어레이 디바이스들(302, 304) 중 하나와 소스(102) 사이에 또는 동적 광학 어레이 디바이스들과 대물렌즈(110) 사이에 광학적으로 결합된 또는 소스 내의 부가적인 동적 광학 디바이스들(306, 308)을 포함할 수 있다. 부가적인 동적 광학 디바이스들(306, 308)은 제어기(310)로부터의 신호들에 응답하여 제어될 수 있는 상태를 갖는 넌-어레이 디바이스들 또는 어레이-타입 디바이스들일 수 있다. 동적 광학 디바이스들(306, 308)은 조정가능한 광학 필터들, 광학 감쇠기들 또는 조정가능한 편광 제어 디바이스들을 포함할 수 있다. 제어기(310)는 동적 광학 디바이스들(306, 308)의 상태를 동적 광학 어레이 디바이스들(302, 304) 내의 각각의 동적 광학 디바이스의 상태와 시간 동기화시킬 수 있다. 예를 들어, 제1 동적 광학 어레이 디바이스(302)는 DMD 어레이이고, 제1 동적 광학 디바이스(306)는 (넌-어레이) 광학 필터이고, 제2 동적 광학 디바이스(308)는 (넌-어레이) 편광 제어 디바이스인 것으로 가정한다. 제어기는 특정 시간 간격들 동안 어레이(302)의 특정한 DMD 디바이스들의 특정 반사 상태들과 일치하도록, 편광 제어 디바이스 및 광학 필터의 상태를 시간 동기화시킬 수 있다. 이 방식으로, 특정 편광 상태 및 파장 범위를 갖는 조명은 대물렌즈 동공(112) 및 대응 각도들에서 특정 포인트들에 선택적으로 전달될 수 있다. 어레이 디바이스들(302, 304) 및 광학 디바이스들(306, 308)의 응답이 검출기 프레임에 비해 충분히 빠른 경우에, 다중 농도, 파장 및 편광/공간적-각도적 조명 분포들은 검출기 프레임 동안 어레이들(302, 304)의 동적 광학 디바이스들의 상이한 서브세트들을 부가적인 광학 디바이스들(306, 308)의 상이한 상태들에 동기화시킴으로써 실현될 수 있다.

[0035] 제한이 아닌 예로서, 동공 컬레면(202)에서 어레이 디바이스(302)를 만드는 디바이스들의 적절한 설정들은 대물렌즈 동공(112)에서 조명의 직경을 제어할 수 있다. 특히, 원하는 직경 밖에 있는 어레이들의 디바이스들은 조명이 대물렌즈 동공에 도달하는 것을 차단하도록 설정될 수 있으며, 원하는 직경 내에 있는 디바이스는 조명이 대물렌즈 동공에 도달하는 방식으로 조명을 투과(또는 반사)시키도록 설정될 수 있다. 조명의 원하는 직경을 획득하는데 사용되는 어레이 디바이스(302)의 설정들은 2개의 시스템들의 툴 매칭을 위한 툴 레시피의 일부로서 시스템(100)과 동일하거나 유사한 구성을 갖는 상이한 광학 시스템에 복사될 수 있다.

[0036] 또한, 각각의 필드 포인트에서 타겟(118)에 부딪치는 광의 각도 분포를 제어하기 위하여, 동공 컬레면(202)에서 어레이 디바이스(302)를 만드는 개별적인 디바이스들 및 필드 컬레면(204)에서 어레이 디바이스(304)를 만드는 개별적인 디바이스들은 미리 규정된 각도 분포가 모든 필드 포인트에 도달하도록 설정될 수 있다. 필드 포인트 당 조명의 원하는 각도 분포를 달성하는데 사용되는 어레이 디바이스들(302 및 304)의 설정들은 2개 시스템들의 툴 매칭을 위한 툴 레시피의 일부로서 시스템(100)과 동일하거나 유사한 구성을 갖는 상이한 광학 시스템에 복사될 수 있다.

[0037] 동적 광학 어레이 디바이스들(302, 304)의 부가는 집광 시스템 수차를 소거하기 위한 목적으로 미리 규정된 각도 및 공간 분포들을 갖기 위하여 조명 스팟의 최적의 준비를 위해 사용될 수 있다. 이를 디바이스들의 동적 특성들은 또한 콘트라스트 향상 등과 같은 동공 조명 분포의 제어, 조명 보조 포커싱 및 시스템 측정 최적화를 포함한다. 조명 초기 조건은 조명 동공 포인트당 타겟(118) 상의 조명 필드 분포를 최적화함으로써 및/또는 전체 광학 수차들을 감소시킴으로써, 및/또는 유사한 방법들에 의해 결정될 수 있다. 광학 시스템의 성능 에러들은 트레이닝 및 최적화 스테이지들에서 교정될 수 있다. 디바이스의 최적의 동작 상태는 또한 최적의 조명 조건을 예측하는 타겟의 상세한 전자기 시뮬레이션들에 의해 결정될 수 있다. 동적 광학 어레이 디바이스들(302, 304)은 예를 들어, 개구수(NA: numerical aperture), 쌍극(dipole), 환형(annular) 등과 같은 조명 파라미터들을 선택함으로써, 최적의 조명 구성을 제공할 수 있다. 이를 알려진 동공 함수들에 부가하여, 대물렌즈 동공(112)에서의 특정 각도 분포는 각각의 그러한 동공 함수를 위해 규정될 수 있다. 구체적으로, 어느 동공 포인트가 조명될 것인지 및 어느 동공 포인트가 조명되지 않을 것인지를 결정하는 미리 규정된 동공 조명 농도 분포 함수(예를 들어, 도넛, 쌍극, 원, 가우시안 밀도 분포 ...)를 형성하는 것 이외에, 대물렌즈 동공(112)의 조명된 부분들의 각도 분포는 핵셀당, 즉, 대물렌즈 동공(112)에서의 동공 포인트당 제어될 수 있다. 이 부가적인 능력은 조명 최적화, 콘트라스트 향상 등에서의 부가적인 자유도를 가능하게 한다.

[0038] 또한, 동적 디바이스들(302, 304)은 조명 시스템 결함들을 또한 보정할 수 있다. 예를 들어, 광섬유로부터의 광은 공간적으로 또는 각도적으로 균일하지 않다. 마이크로-미러 디바이스들은 이를 불균일성을 보정하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 동공 컬레면(202)에 있는 어레이 디바이스(302)는 어레이의 각각의 엘리먼트가 반

사하거나 투과시키는 광량을 조정함으로써 대물렌즈 동공(112)에 진입하는 조명 농도의 불균일성을 조정할 수 있다. 유사한 방식으로, 필드 컬레면(204)에 있는 어레이 디바이스(304)는 어레이의 각각의 엘리먼트가 반사하거나 투과시키는 광량을 조정함으로써 대물렌즈 동공(112)에 진입하는 광의 각도 분포의 불균일성을 조정할 수 있다.

[0039] 본 발명의 특정 실시예들에서, 어레이 디바이스들(302, 304)은 조명 광학계의 대칭적 수차들을 보상하도록 구성될 수 있다. 그러한 보상은 예를 들어, 툴 매칭에 유용하다. 여기서 사용되는 바와 같이, 용어 "대칭적 수차들"은 광축 주위에 대칭적 분포를 갖는, 동공 내의 위상 왜곡과 같은 광학적 수차들을 의미한다. 주요한 그런 수차들은 포커스를 정확하게 결정하는 것과 관련되는, 대개 에러들을 도입하는 포커스 및 구면 수차들이다. 게다가, 이들 수차들은 스펙트럼적으로 의존적이어서, 타겟 응답이므로, 결과적인 포커스 에러들은 또한 스펙트럼적으로 달라질 수 있다. 간접성 시스템의 그러한 수차들을 보상하기 위하여, 동공 컬레(202)에 있는 광학 어레이 디바이스(302)는 동공 중앙 주변에 대칭적 분포와 함께 위상 지연들을 도입하도록 구성될 수 있다. 그러한 위상 지연들은 잠재적으로 파장 범위당 도입될 수 있다. 수차들이 필드 의존적이라면, 동공 컬레 어레이 디바이스(302)에 의한 제1 수차 보정과 함께 필드 컬레(204)에서의 어레이 디바이스(304)에 의하여 하나의 필드 포인트가 조명되는 시퀀스에 관하여 고려할 수 있다. 다음의 필드 부분은 모든 필드가 필드 포인트당 대응 수차 보정들을 이용하여 조명될 때까지 동공 어레이 디바이스(302)에 의한 다른 수차 보상 등을 이용하여 조명될 수 있다. 어레이 디바이스들이 검출기보다 충분히 빠르다면, 이 프로세스는 잠재적으로 단일 검출기 프레임 내에서 달성될 수 있다.

[0040] 몇몇 실시예들에서, 필드 컬레(204)에 있는 어레이 디바이스(304)는 조명 방사선의 편광 상태의 필드 코딩을 가능하게 하기 위하여 회전 편광자(306)와 동기식으로 동작할 수 있다. 이 아키텍처는 예를 들어, 콘트라스트 의존성을 유도하는 샘플(118)에서의 타겟 구조들의 편광 엘리먼트들이 존재하는 경우들에 성능을 향상시킬 수 있다.

[0041] 편광자(306)는 조명 시스템의 어디에든, 바람직하게는 각도 의존성을 방지하기 위하여 개구수(NA)가 낮은 위치에 위치될 수 있다. 제한이 아닌 예로서, 편광자(306)는 조명 방사선이 시준되는 어레이 디바이스들(302, 304)의 부분의 어레이 디바이스들(302, 304) 사이에 조명 광학계의 일부 부분에 위치될 수 있다. 편광자(306)와 어레이 디바이스(304) 사이에 동기화는 어레이 디바이스의 이미지 선택 및 편광자 회전 각도 사이의 동기화에 의하여 달성될 수 있다.

[0042] 본 발명의 실시예들에서와 같이 조명 경로의 동적 디바이스들의 부가는 마이크로-미러 디바이스들이 광원에서 또는 어디에서든 이용 가능한 파장 및 편광 선택 옵션들과 동기식으로 작동될 수 있음에 따라, 스펙트럼 및 편광 제어를 위해 사용될 수 있다. 이것은 최적의 성능을 위해 요구되는 농도, 파장 및 편광의 임의의 공간적 및 각도적 구조를 가능하게 한다.

[0043] 본 발명의 실시예들에서와 같이 조명 경로의 동적 디바이스들의 부가는 조명 및 집광을 이용하는 임의의 이미징 툴에 대해 그리고 더욱 일반적으로는 조명 또는 조명 제어의 품질이 중요한 임의의 광학 디바이스에 대해 사용될 수 있다.

[0044] 대안적 실시예에서, 위치 감지 검출기(PSD)들은 (빔 스플리터를 이용하여 집광될 수 있는) 조명을 최적화하기 위하여 DMD와 함께 사용될 수 있다. PSD는 집광 광학계의 수차들을 결정하기 위하여 검출 경로에서 사용될 수 있다. 대안적으로, 위상-감지 검출기(예를 들어, 하트만-샤크(Hartmann-Shack) 위상 감지 검출기)는 또한 이러한 목적으로 검출 경로에서 사용될 수 있다. 그러한 수차들은 예를 들어, 타겟(118)의 조명의 구성이 PSD 또는 위상-감지 검출기에 의하여 측정되는 바와 같이 집광 광학계에서 측정된 수차들을 감소시키거나 제거하는 경향에 있도록 동적 광학 어레이 디바이스들(302, 304)을 조정함으로써 보상될 수 있다.

[0045] 상기 설명된 조명 설계는 산란계측 툴(scatterometry tool)에서 사용될 수 있다. 그러한 경우에, 종종 조명의 편광 분포를 아는 것이 바람직하며, 편광 분포의 문제들을 보상할 필요가 있다. 이것은 타원편광에 적용될 수 있다.

[0046] 광학 계측학 사양들이 계속해서 점점 엄격해짐에 따라, 조명 시스템 품질은 성능의 장애물이 되었다. 또한, 성능에 따르기 위해 광학계의 계속적인 비용 증가가 있어왔다. 이것은 심지어 모순된 광학적 사양들을 요구하는 애플리케이션들에 더욱 적용된다. 조명 제어를 통해 동적으로 시스템 수차들을 제어하는 능력은 성능에 그리고 심지어 전체 비용 감소에 기여할 수 있다.

[0047] 발명의 특정 실시예들에서, 색상당 수차 보정은 위상 또는 진폭에 대해 어레이 디바이스들(302, 304)을 사용하

여 구현될 수 있다. 예를 들어, 크로마틱(chromatic)을 등화시키기 위하여 종색 수차(longitudinal chromatic aberration)를 유도하는 것은 스펙트럼에 걸쳐 디포커싱시킨다.

[0048] 본 발명의 실시예들에 대한 다른 유용한 애플리케이션은 오버레이 계측학의 필드이다. 도 4는 본 발명의 실시예들에 따른 오버레이를 측정하기 위하여 사용될 수 있는 오버레이 측정 시스템 또는 계측학 틀(120)의 간략화된 도면이다.

[0049] 도 4에 도시된 것과 다른 종래의 오버레이 계측학 시스템들(예를 들어, 이미징 또는 산란계측)은 통상적으로 적어도 2개의 개별적인 리소그래픽 노광 단계들로부터의 공간적 정보를 포함하는 전용 계측학 타겟이 2차원적 센서 어레이로 이미징되는 명시야 조명 현미경 관찰(bright field illumination microscopy)에 기반한다. 현존하는 아키텍처들과 연관되는 다수의 단점들이 존재한다. 예를 들어, 계측학 정확성은 통상적으로 콘트라스트에 의하여 제한되며, 일반적으로 최저 콘트라스트 타겟 피쳐의 이미지 투사에서의 고저간 차(peak to valley difference)에 의하여 제약된다. 게다가, 계측학 정확성 및 틀 유도 시프트 성능은 또한 콘트라스트에 의하여 제한된다. 게다가, 다수의 타겟 아키텍처들에서, 주기적 피쳐 또는 에지의 콘트라스트 반전은 상이한 입사각들로부터, 즉, 조명 동공의 상이한 위치들로부터 조명될 때 발생할 수 있다. 다수의 입사각들로부터 타겟이 동시에 조명될 때, 콘트라스트 반전의 효과는 타겟 상의 다수의 입사각들로부터의 광이 이미지 평면에 통합되는 경우 특정 피쳐의 콘트라스트를 감소시키거나 또는 심지어 완전히 제거하는 것일 수 있다.

[0050] 현재 콘트라스트 제어는 고정된 개구들 및 (예를 들어, pzt-제어 하에서) 그러한 개구들의 측방향 운동들에 기반한다. 그러나 이를 개구들은 이진적이다(온/오프). 결과적으로, 통상적으로 콘트라스트의 조정을 위해 이용 가능한 피드백 메커니즘만이 개구의 측방향 위치를 조정하는 것에 의해(또는 아마도 개구들을 스위칭하는 것에 의해) 이루어진다.

[0051] 본 발명의 실시예들에서, 동적 어레이 디바이스, 예를 들어 프로그램가능 공간적 광 변조기는 조명 열(column)의 동공 결레면에서 기계적 스탑 대신에 사용될 수 있다. 이것은 조명 시스템이 하드웨어를 변화시킬 필요 없이 단일 동적 컴포넌트에 다수의 상이한 마스크들을 구현하는 것을 허용한다. 또한, 공간적 광 변조기들을 이용하는 것은 단지 정적 스탑들 또는 아포다이제이션(apodization)보다는 차라리 동적 아포다이제이션을 가능하게 한다. 프로그램가능한 피쳐의 사용은 또한 하드웨어를 변화시키지 않고 조명 동공 마스크들에 대한 장래의 개발을 가능하게 한다.

[0052] 다시 도 4를 참고하여, 시스템(120)은 웨이퍼(124)에 배치된 하나 이상의 오버레이 타겟들(122)을 통해 오버레이 에러를 결정하도록 정렬될 수 있다. 오버레이 타겟들(122)은 통상적으로 다수의 다이들 위에 다이를 소잉(sawing) 및 다이싱(dicing)하기 위하여 사용되는 웨이퍼(124) 상의 스크라이브 라인들 내에 위치된다. 시스템(120)은 광학적 어셈블리(126) 및 컴퓨터(128)를 포함한다. 광학 어셈블리(126)는 일반적으로 오버레이 타겟(122)의 이미지를 캡처하도록 정렬된다. 컴퓨터(128)는 일반적으로 캡처된 이미지들로부터 오버레이 타겟의 엘리먼트들의 상태 변위(relative displacement)를 계산하도록 정렬된다.

[0053] 광학 어셈블리(126)는 일반적으로 제1 경로(134)를 따라 광원(130)(예를 들어, 비간섭이 일반적으로 선호되지만, 비간섭 또는 간섭)을 포함하는 조명 광학계(127)를 포함한다. 광(132)은 제1 렌즈(135) 상에 입사하게 되고, 이는 광(132)이 통과하는 광섬유 라인(136)으로 광(132)을 포커싱한다. 광섬유 라인(136)으로부터 나오는 광(132)은 광(132)을 시준시키기 위하여 제2 렌즈(138)를 통과한다. 조명 광학계로부터의 시준된 광(132)은 시준된 광을 경로(142)로 지향시키는 빔 스플리터(140)로 계속되며, 광(132)을 웨이퍼(124)로 포커싱하는 대물 렌즈(144) 상에 입사하게 된다. 제1 동적 광학 어레이 엘리먼트(137)는 조명 광학계의 펄드 결레에 배치될 수 있고, 제2 동적 광학 어레이 엘리먼트(139)는 조명 광학계(127)의 동공 결레에 위치될 수 있다. 동적 광학 어레이 엘리먼트들은 컴퓨터(128)에 의하여 실행되는 명령어들에 응답하여 생성된 신호들에 응답해 동작할 수 있다.

[0054] 웨이퍼(124)로부터 반사되는 광(132)의 부분들은 그 후 대물렌즈(144)에 의하여 수집된다. 대물렌즈(144)를 떠나는 광(132)은 그것이 빔 스플리터(140)에 도달할 때까지(반대방향으로) 경로(142)를 따라 계속된다. 빔 스플리터(140)는 광(132)을 경로(146)로 지향시킨다. 경로(146) 상에서 계속되는 광(132)은 그 후 튜브 렌즈(150)에 의하여 수집되고, 이는 웨이퍼(124)의 일부분의 이미지 그리고 더욱 상세하게는 타겟(122)의 이미지를 레코딩하는 카메라(152)로 광(132)을 포커싱한다. 예로서, 카메라(152)는 전하 결합 소자(CCD), 2-차원적 CCD, 또는 선형적 CCD 어레이일 수 있다. 대부분의 경우에, 카메라(152)는 레코딩된 이미지들을 컴퓨터(128)에 의하여 사용될 수 있고 컴퓨터(128)로 전송된 전기 신호들로 변환한다. 전기 신호들을 수신한 이후, 컴퓨터(128)는 이미지의 오버레이 에러를 계산하는 분석 알고리즘들을 수행한다. 분석 알고리즘들은 하기에서 더욱 상세히 설

명될 것이다.

[0055] 시스템(120)은 웨이퍼(124)의 이미지들을 그랩(grap)하기 위하여 컴퓨터(128) 및 카메라(152)와 작동하는 프레임 그래버(154)를 더 포함한다. 프레임 그래버(154)는 개별 컴포넌트로서 도시되나, 프레임 그래버(154)가 컴퓨터(128)의 일부 및/또는 카메라(152)의 일부일 수 있음이 유념되어야 한다. 프레임 그래버(154)는 통상적으로 2개 함수들(타겟 획득 및 이미지 그랩)을 갖는다. 타겟 획득 동안에, 프레임 그래버(154) 및 컴퓨터(128)는 계측학 툴의 시야(FOV: field of view)의 중앙에 가능한 가깝게 타겟을 위치시키기 위하여 그리고 타겟을 초점이 맞게 배치하기 위하여 웨이퍼 스테이지(156)와 협력한다. 대부분의 경우들에 있어, 프레임 그래버는 다수의 이미지들(예를 들어, 오버레이를 측정하는데 사용되는 이미지들 제외)을 그랩하고, 스테이지는 타겟이 X, Y 및 Z 방향으로 정확히 위치될 때까지 이들 그랩들 사이에서 웨이퍼를 이동시킨다. 인식해야 하는 바와 같이, X 및 Y 방향들은 일반적으로 시야(FOV)에 대응하는 반면, Z 방향은 일반적으로 포커스에 대응한다. 일단 프레임 그래버가 타겟의 정확한 위치를 결정하면, 이들 2개 함수들 중 두번째 함수가 구현된다(예를 들어, 이미지 그랩). 이미지 그랩 동안에, 프레임 그래버(154)는 정확하게 위치된 타겟 이미지들, 즉, 오버레이를 결정하는데 사용되는 이미지들을 캡처하여 저장하도록 최종 그랩 또는 그랩들을 수행한다.

[0056] 이미지를 그랩한 후에, 등록 에러를 결정하기 위하여 그랩된 이미지들로부터 정보가 추출되어야 한다. 추출된 정보는 디지털 정보이거나 또는 파형 형태일 수 있다. 반도체 웨이퍼의 다양한 층들 사이에 등록 에러를 결정하기 위하여 다양한 알고리즘들이 그 후 사용될 수 있다. 예를 들어, 주파수 도메인 기반 접근법, 공간 도메인 기반 접근법, 퓨리에 변환 알고리즘, 제로-크로싱 검출, 상관 및 교차-상관 알고리즘들 등이 사용될 수 있다.

[0057] 주기적 구조들을 포함하는 마크들을 사용하는 오버레이를 결정하기 위한 알고리즘들은 일반적으로 수 개의 그룹들로 분할될 수 있다. 예컨대, 하나의 그룹은 위상 검색 기반 분석(phase retrieval based analysis)과 관련된다. 종종 주파수 도메인 기반 접근법들로 불리는 위상 검색 기반 분석은 통상적으로 주기적 구조의 라인들을 따라 픽셀들을 합산함으로써 작용 영역들 각각을 봉괴시키는 것에 의해 일차원적 신호들을 생성하는 단계를 수반한다. 사용될 수 있는 위상 검색 알고리즘들의 예들은 Bareket에게 발행된 미국 특허 6,023,338호, 2000년 6월 22일자로 출원된 미국 특허 출원 일련 번호 09/603,120호 및 2000년 9월 1일자로 출원된 미국 특허 출원 일련 번호 09/654,318호에 설명되며, 이들 모두는 인용에 의해 본원에 통합된다. 사용될 수 있는 또 다른 위상 검색 알고리즘은 2000년 10월 26일자로 출원된 미국 출원 일련 번호 09/697,025에 설명되며, 이 또한 인용에 의해 본원에 통합된다. 거기 개시된 위상 검색 알고리즘은 기본 신호 주파수의 고조파(harmonics)의 세트로 신호들을 분해한다. 상이한 고조파의 진폭들 및 위상들의 양적 비교는 신호의 대칭성 및 스펙트럼 콘텐츠에 관한 중요한 정보를 제공한다. 특히, (그들의 진폭들로 교정된) 동일한 신호의 제1 및 제2 또는 더 높은 고조파 간의 위상차는 신호 비대칭성의 정도를 측정한다. 그러한 비대칭성에 대한 주요한 기여들은 계측학 툴에서 광학적 오정렬 및 조명 비대칭성(툴 유도된 시프트들)으로부터 나올 뿐 아니라, 유도된 구조적 편이(웨이퍼 유도된 시프트들)을 프로세싱한다. 동일한 프로세스 층 상의 시야의 상이한 부분들로부터 획득된 신호들에 대한 제1 및 제2 고조파의 위상들 간의 이러한 편심(misregistration)을 비교하는 것은 계측학 툴의 광학 수차들에 관한 독립적 정보를 제공할 수 있다. 최종적으로, 주어진 배향에서의 측정들로부터의 이러한 편심들을 웨이퍼를 180도 회전시킴 이후에 획득된 것들과 비교하는 것은 비대칭성으로 인한 웨이퍼 유도된 이동들과 툴 유도된 이동들의 분리를 허용한다.

[0058] 사용될 수 있는 또 다른 위상 검색 알고리즘은 웨이블릿(Wavelet) 분석이다. 웨이블릿 분석은 상기 섹션에서 설명된 것과 다소 유사하지만, 이제 동적 윈도우가 일차원 신호에 걸쳐 이동되고, 위상 추정이 더 국부화된 방식으로 실행된다. 이것은 특히 처핑된(chirped) 주기적 구조물의 경우의 사용에 관심이 있다. 다른 그룹은 농도 상관 기반 방법들과 관련될 수 있다. 이 접근법에서 각각의 프로세스 층에 대한 비대칭의 중앙들은 하나의 신호와 마크의 반대 부분으로부터의 반전된 신호와의, 동일한 프로세스 층으로부터의 반전된 신호와의 교차 공분산을 계산함으로써 개별적으로 발견된다. 이 기법은 박스 인 박스(box in box) 타겟들에 관하여 오늘날 사용되는 기법들과 유사하다.

[0059] 본 발명의 실시예들은 간섭성 코딩으로서 본 명세서에 지칭되는 기법의 사용을 통해 향상될 수 있다. 일반적으로 이해되는 바와 같이, 간섭성이라는 용어는 웨이브의 물리적 수량들 간의 상관을 지칭한다. 2개의 웨이브들의 간섭성은 웨이브들이 교차-상관 함수에 의하여 정량화되는 바에 따라 웨이브들이 얼마나 잘 상관되는지에 따른다. 예를 들어, 상이한 동공 포인트들 간의 위상 관계를 제어하기 위하여 간섭성 코딩이 사용될 수 있다. 그러한 제어는 예를 들어, 수퍼컨티넘 조명기로부터의 빔과 같은 큰 공간적 간섭성을 갖는 빔 상에서 각각 작동하는, 검출기 프레임당 수개의 동공 함수 기록기 이미지들을 구현함으로써 달성될 수 있다. 공간적 간섭성이라는 용어는 시간에 따라 평균화될 때, 파장의 범위에서의 공간의 2개 포인트들(x_1 및 x_2)이 간섭하는 능력을 설

명한다. 더 정확하게는, 공간적 간섭성은 통상적으로 모든 시간에 대해 광장의 2개의 포인트들 간의 교차-상관으로서 규정된다. 교차-상관이 유효량(significant amount)만큼 줄어드는 시간은 간섭 시간으로서 지칭된다. 간섭 시간 동안 조명이 이동하는 거리는 간섭성 길이로서 지칭된다.

[0060] 2개의 광학적 어레이 디바이스들(하나는 동공 켤레면에 있고, 하나는 필드 켤레면에 있음)을 사용할 때, 공간적 동공 간섭성 코딩은 필드 포인트당 구현될 수 있다. 간섭성을 제어하는 것은 결국 성능에 중요한 타겟의 외관에 영향을 미친다. 조명 시스템의 동공 켐레에 위치된 동적 광학 어레이 디바이스(예를 들어, 도 3의 어레이 디바이스(302))의 구성은 상이한 동공 포인트들 간의 상이한 위상 관계들을 생성하기 위하여 검출기 프레임당 여러번 변화할 수 있다. 이 기법에 대한 장점은 간섭성 그룹들이 콘트라스트 향상과 같은 몇몇 원하는 결과에 따라 간섭성으로 또는 비간섭성으로 합산될 수 있다는 것이다.

[0061] 예로서, 도 1의 어레이 디바이스(302) 및 제어기(310)는 어레이 디바이스(302)가 선택된 동공 포인트들의 조명을 동시에 투과시키도록 구성될 수 있다. 도 5는 검출기 프레임의 지속기간 동안 광이 동시에 통과하도록 허용되는 동공면의 상이한 부분들을 도시한다. 용어 검출기 프레임은 검출기(116)(예를 들어, 전자 결합 소자)가 데이터 세트를 모으는 시구간을 지칭한다. 동일한 쉐이딩 패턴을 갖는 디바이스(302)의 부분들은 동공 프레임으로서 본 명세서에서 지칭되는 주어진 시구간 내에 조명을 투과시킨다. 이 구성은 동공 조명의 어느 부분들이 이미지에 간섭성으로 더해질 것인지 그리고 어느 부분들이 비간섭적으로 더해질 것인지에 대한 제어를 가능하게 한다. 도 5에 도시된 예에서, 3개의 상이한 동공 프레임들에 대하여 3개의 상이한 패턴들이 존재한다. 구체적으로, 부분들(302A, 302C, 302E 및 302G)은 제1 동공 프레임 동안에 동시에 조명을 투과시킨다; 부분들(302B, 302D, 302F 및 302H)은 제2 동공 프레임 동안에 동시에 조명을 투과시킨다; 그리고 부분(302I)은 제3 동공 프레임 동안에 조명을 투과시킨다.

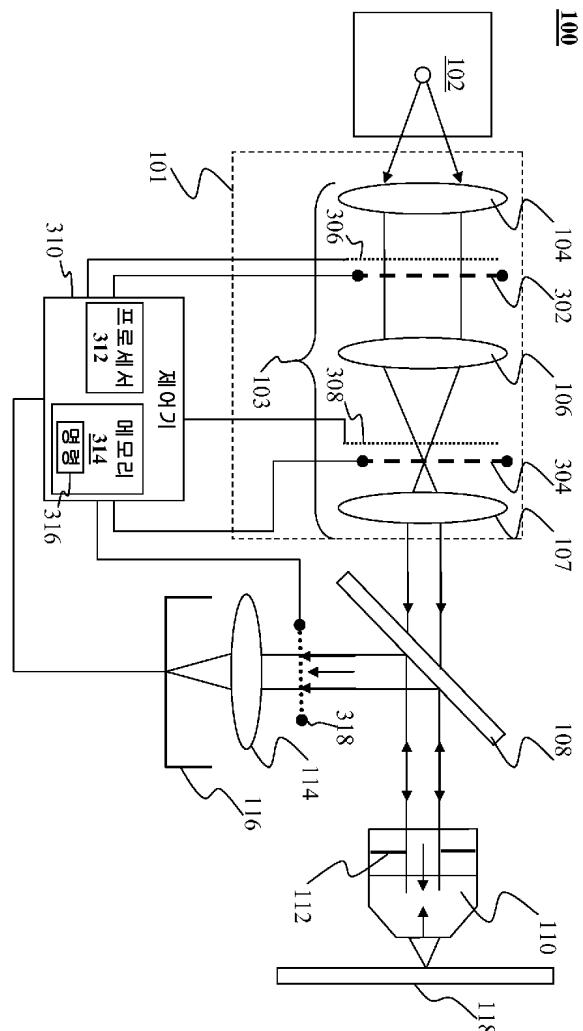
[0062] 조명의 짧은 간섭성 길이(또는 간섭 시간)는 상이한 조명된 동공 포인트들 간의 위상 관계를 처리한다. 짧은 간섭 시간은 또한 다음 동공 프레임의 조명된 동공 포인트들과의 위상 상관의 부재를 처리한다. 일반적으로, 동공 프레임의 지속기간은 조명에 대한 간섭 시간보다 길고, 검출기 프레임보다 짧다.

[0063] 간섭성 코딩은 간섭성 편광 코딩 및 간섭성 위상 코딩에 대한 전제조건이다. 간섭성 코딩은 또한 협대역 조명의 억제를 가져오는데 사용될 수 있다. 일 구현예에서, 조명 소스는 수퍼-컨터넘 소스일 수 있다. 여기서 사용되는 바와 같이, 수퍼-컨터넘 소스는 일반적으로 짧은 종적 간섭성 길이(longitudinal coherence length)(예를 들어, 약 2.5μ) 및 긴 공간적 간섭성(예를 들어, 수 밀리미터)를 갖는 조명의 소스를 지칭한다. 그러나 간섭성 코딩은 다른 광대역 소스들로 구현될 수 있음이 유념된다. 그러한 소스에 대한 간섭 시간은 스펙클(speckle) 이미지당 대략 10^{-14} 초 및 약 5×10^9 간섭 시간일 수 있다. DLP 프레임 지속기간은 1 밀리초이고, 산광기 이미지들은 DLP 프레임당 20개 스펙클을 각각들이 존재하는 매 0.05밀리초마다 획득된다. 검출기가 30 밀리초의 프레임 지속기간을 갖는 CCD인 경우에, CCD 필드 프레임당 30 DLP 프레임들이 존재한다. 그러한 경우에, 간섭성 DLP 기여들의 비간섭성 합산이 존재할 것이다.

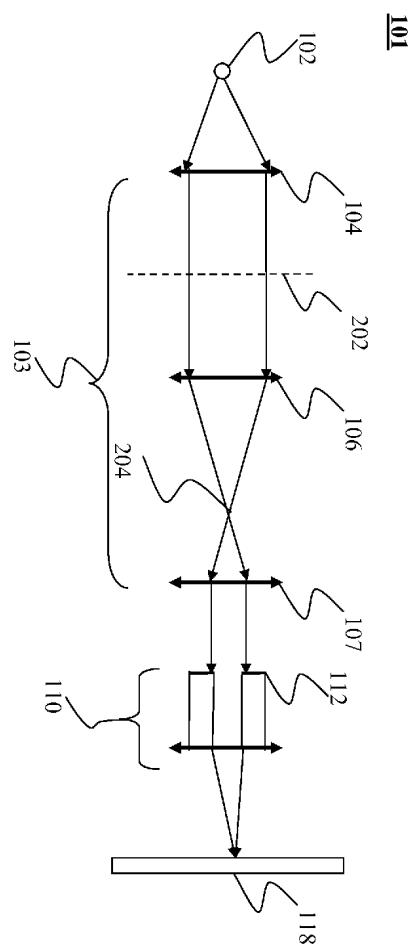
[0064] 상기에는 본 발명의 바람직한 실시예에 대한 완전한 설명이 존재하나, 다양한 대안들, 변형들 및 동등물들을 사용하는 것이 가능하다. 따라서 본 발명의 범위는 상기 설명을 참조하여 결정되어야 하는 것이 아니라, 그 대신 첨부된 청구항들과 함께 그들의 동등물들의 전체 범위를 참고하여 결정되어야 한다. (선행되는 또는 선호되지 않는) 임의의 피쳐는 (선행되는 또는 선호되지 않는) 임의의 다른 피쳐와 조합될 수 있다. 뒤따르는 청구항들에서, 부정 관사("A" 또는 "An")는 명확히 달리 진술되는 경우를 제외하고, 관사에 뒤따르는 항목의 하나 이상의 수량을 지칭한다. 첨부된 청구항들은 그러한 제한이 구문 "~하기 위한 수단"을 사용하여 주어진 청구항에서 명확하게 언급되지 않는 한, 수단-더하기-기능 제한들을 포함하는 것으로서 해석되지 않는다.

도면

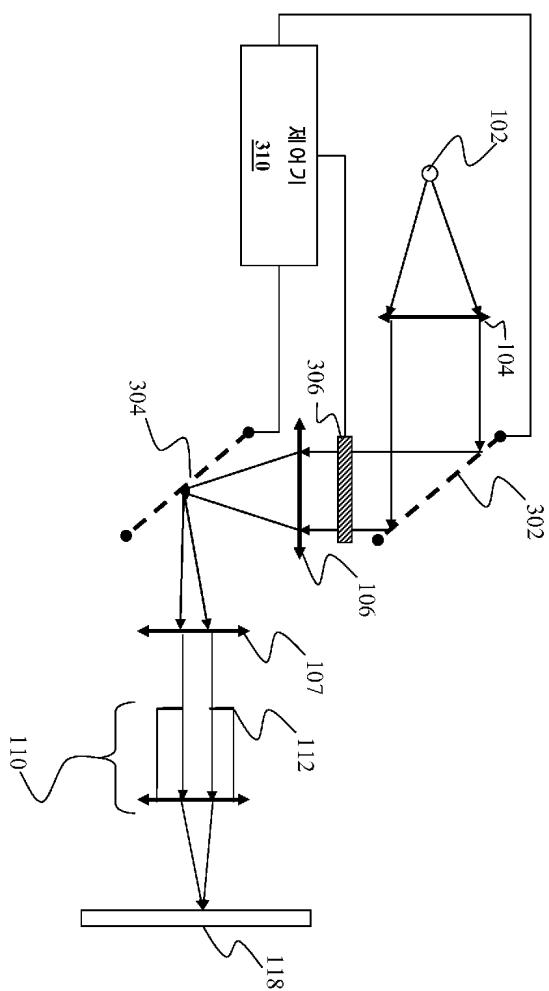
도면1



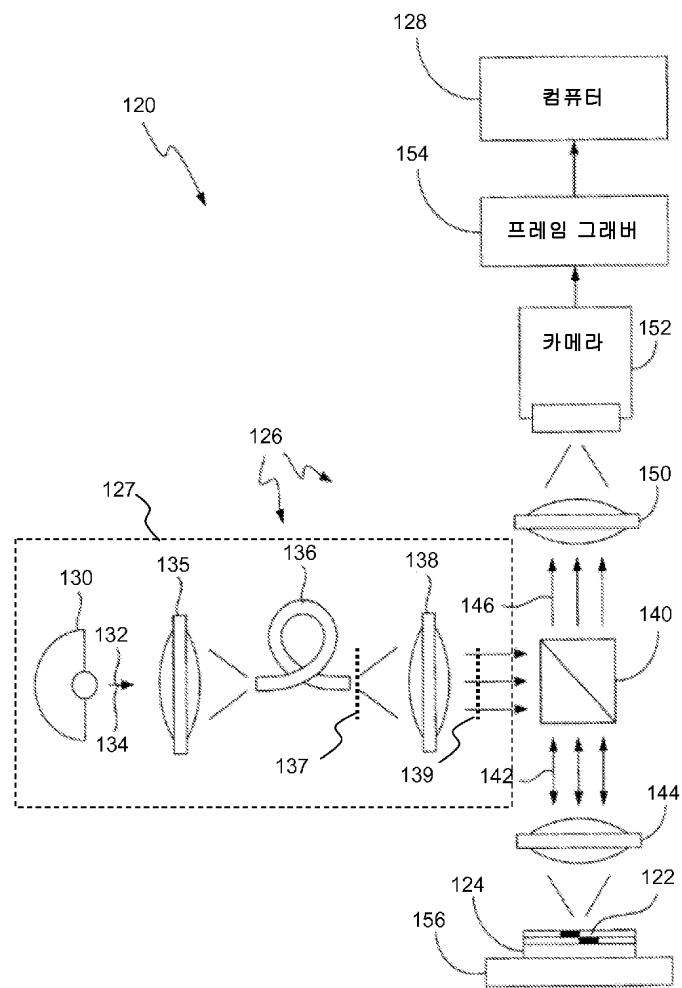
도면2



도면3



도면4



도면5

