



등록특허 10-2513441



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년03월22일
(11) 등록번호 10-2513441
(24) 등록일자 2023년03월20일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/66 (2006.01) *H01L 21/02* (2006.01)
H01L 21/033 (2006.01) *H01L 21/285* (2006.01)
H01L 21/67 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 22/26 (2013.01)
H01L 21/02631 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-7020254
- (22) 출원일자(국제) 2015년12월15일
심사청구일자 2020년11월18일
- (85) 번역문제출일자 2017년07월19일
- (65) 공개번호 10-2017-0097174
- (43) 공개일자 2017년08월25일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2015/065897
- (87) 국제공개번호 WO 2016/100394
국제공개일자 2016년06월23일
- (30) 우선권주장
62/094,270 2014년12월19일 미국(US)
14/839,656 2015년08월28일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2011238958 A*
JP2014170931 A*
US20110276166 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

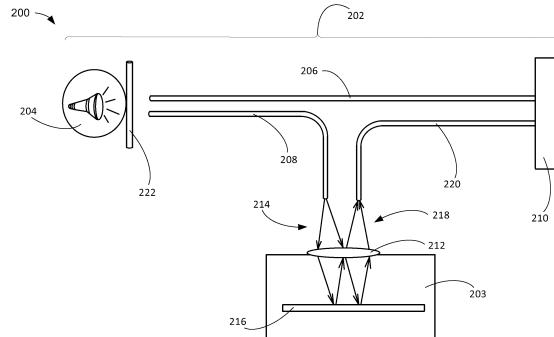
전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 홍종선

(54) 발명의 명칭 중착을 위한 모니터링 시스템 및 그 동작 방법

(57) 요 약

모니터링 및 중착 제어 시스템 및 그 동작 방법은, 재료 충을 기관 상에 중착시키기 위한 중착 챔버; 중착 동안 재료 충의 층 두께의 변화들에 대해 재료 충의 중착을 모니터링하기 위한 센서 어레이; 및 중착 동안 충 두께의 변화들에 기초하여 중착 파라미터들을 조정하기 위한 프로세싱 유닛을 포함한다.

대 표 도 - 도2

(52) CPC특허분류

H01L 21/0332 (2013.01)

H01L 21/0337 (2013.01)

H01L 21/2855 (2013.01)

H01L 21/67253 (2013.01)

H01L 22/12 (2013.01)

(72) 발명자

호프만, 랄프

미국 95073 캘리포니아 소켈 페어웨이 드라이브

3360

노워, 토마스

미국 95014 캘리포니아 쿠퍼티노 포그 웨이 20677

#217

이간, 토드

미국 94536 캘리포니아 프리몬트 헬류 드라이브
145

바에즈-이라바니, 메흐디

미국 95033 캘리포니아 로스 가토스 수밋트 로트
23484

명세서

청구범위

청구항 1

모니터링 및 증착 제어 시스템을 위한 동작 방법으로서,

마스크 블랭크를 형성하기 위하여, 기판 상에 몰리브덴 및 실리콘의 교변하는 층들을 포함하는 다층 스택을 증착시키는 단계;

증착 동안 각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 총 두께에서의 변화들을 검출하기 위해 각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 증착을 모니터링하는 단계; 및

증착 동안 각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 상기 층 두께에서의 변화들에 기초하여 증착 파라미터들을 조정하는 단계— 각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층은 0.1 옹스트롬 또는 그 미만의 에러를 갖는 층 두께를 가짐 —;

각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 종료를 검출시, 하드웨어 연결을 통해 증착 챔버의 전원 공급부를 직접적으로 차단하는 단계— 각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 상기 종료를 검출하고 나서 상기 증착 챔버의 전원 공급부를 차단하기까지 서브-밀리초 레이턴시 지연이 존재함 —를 포함하는,

모니터링 및 증착 제어 시스템을 위한 동작 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층에서 규격(specification)을 벗어난 층 두께를 검출하는 단계;

상기 규격을 벗어난 층 두께에 기초하여 경고(alert)를 생성하는 단계; 및

상기 경고에 기초하여 상기 기판을 폐기하는 단계를 더 포함하는,

모니터링 및 증착 제어 시스템을 위한 동작 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 증착을 모니터링하는 단계는,

상기 몰리브덴 층들 및 상기 실리콘 층들의 최상위 층에 조준된 광 출력을 생성하는 것;

상기 광 출력을 상기 몰리브덴 층들 및 상기 실리콘 층들로부터 반사된 광으로서 수집하는 것; 및

상기 몰리브덴 층들 및 상기 실리콘 층들의 특성들을 결정하기 위해, 상기 반사된 광의 스펙트럼을 결정하는 것을 포함하는,

모니터링 및 증착 제어 시스템을 위한 동작 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 증착을 모니터링하는 단계는,

상기 몰리브덴 층들 및 상기 실리콘 층들의 최상위 층에 조준된 광 출력을 생성하는 것;

상기 광 출력을 상기 몰리브덴 층들 및 상기 실리콘 층들로부터 반사된 광으로서 수집하는 것;

상기 반사된 광의 스펙트럼을 결정하는 것; 및

상기 반사된 광의 스펙트럼을 상기 반사된 광의 스펙트럼의 과장 평균으로 정규화하는(normalizing) 것을 포함

하는,

모니터링 및 증착 제어 시스템을 위한 동작 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층을 증착시키기 전에, 알려진 스펙트럼 응답을 갖는 기준 샘플에 대해 각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 증착을 모니터링하기 위한 센서 어레이를 캘리브레이팅하는 (calibrating) 단계를 더 포함하는,

모니터링 및 증착 제어 시스템을 위한 동작 방법.

청구항 6

증착 제어 시스템으로서,

마스크 블랭크를 형성하기 위하여, 기판 상에 몰리브덴 및 실리콘의 교번하는 층들을 포함하는 다층 스택을 증착시키기 위한 증착 캠버;

증착 동안 각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 층 두께에서의 변화들을 검출하기 위하여 각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 증착을 모니터링하기 위한 센서 어레이;

증착 동안 상기 층 두께에서의 변화들에 기초하여 증착 파라미터들을 조정하기 위한 프로세싱 유닛 – 각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층은 0.1 옹스트롬 또는 그 미만의 에러를 갖는 층 두께를 가짐 –; 및

각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 종료를 검출시, 하드웨어 연결을 통해 상기 증착 캠버의 전원 공급부를 직접적으로 차단하도록 적용된, 그리고 상기 센서 어레이로부터의 출력에 기초하여 상기 층 두께에서의 변화들을 검출하기 위한 직접 하드웨어 제어 시스템 – 각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층의 상기 종료를 검출하고 나서 상기 전원 공급부를 차단하기까지 서브-밀리초 레이턴시 지연이 존재함 –

을 포함하는,

증착 제어 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 센서 어레이에는, 각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층에서 규격을 벗어난 층 두께를 검출하기 위한 것 이고;

상기 프로세싱 유닛은, 상기 규격을 벗어난 층 두께에 기초하여 경고를 생성하기 위한 것이며; 그리고

상기 기판은 상기 경고에 기초하여 상기 증착 캠버로부터 폐기되는,

증착 제어 시스템.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 센서 어레이에는,

상기 몰리브덴 층들 및 상기 실리콘 층들의 최상위층에 조준된 광 출력을 생성하기 위한 광 소스; 및

상기 광 출력을 상기 몰리브덴 층들 및 상기 실리콘 층들로부터 반사된 광으로서 수집하기 위한, 그리고 상기 몰리브덴 층들 및 상기 실리콘 층들의 특성을 결정하기 위해, 상기 반사된 광의 스펙트럼을 결정하기 위한 분광기를 포함하는,

증착 제어 시스템.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 센서 어레이는,

상기 몰리브덴 층들 및 상기 실리콘 층들의 최상위층에 조준된 광 출력을 생성하기 위한 광 소스; 및

상기 광 출력을 상기 몰리브덴 층들 및 상기 실리콘 층들로부터 반사된 광으로서 수집하기 위한, 그리고 상기 몰리브덴 층들 및 상기 실리콘 층들의 특성들을 결정하기 위해, 상기 반사된 광의 스펙트럼을 결정하기 위한 분광기를 포함하고, 그리고

상기 프로세싱 유닛은, 상기 반사된 광의 스펙트럼을 상기 반사된 광의 스펙트럼의 파장 평균으로 정규화하기 위한 것인,

증착 제어 시스템.

청구항 10

제 6 항에 있어서,

상기 기판을 포지셔닝하기 위한, 상기 증착 챔버 내의 척; 및

각각의 몰리브덴 층 및 각각의 실리콘 층을 증착시키기 전에, 상기 센서 어레이를 캘리브레이팅하기 위해, 알려진 스펙트럼 응답을 갖는, 상기 척 상의 기준 샘플을 더 포함하는,

증착 제어 시스템.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로, 모니터링 및 제어 시스템에 관한 것이며, 더 구체적으로, 극자외선 리소그래피 마스크 블랭크들을 제조하기 위한 시스템들을 포함하는 증착 시스템들에서 사용하기 위한 모니터링 및 프로세스 제어 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 극자외선 리소그래피(EUVL, 또한, 연질 x-선 투사 리소그래피(soft x-ray projection lithography)로 공지되었고, 또한 EUV로 축약됨)는, 14nm의, 및 그보다 더 작은, 최소 피쳐(feature) 크기의 반도체 디바이스들의 제조를 위한, 심자외선(deep ultraviolet) 리소그래피를 대체할 경쟁자이다.

[0003] 그러나, 일반적으로 5 내지 40 나노미터 파장 범위인 극자외선 광은 사실상 모든 재료들에서 강하게 흡

수된다. 그러한 이유 때문에, 극자외선 시스템들은, 광의 투과(transmission)에 의해서보다는, 반사(reflection)에 의해서 작동한다(work). 비-반사성 흡수체(absorber) 마스크 패턴으로 코팅된, 반사성 엘리먼트, 또는 마스크 블랭크, 및 거울들 또는 렌즈 엘리먼트들의 시리즈의 사용을 통해, 패터닝된 화학선 광(actinic light)은 레지스트 코팅된 반도체 웨이퍼 상으로 반사된다.

[0004] 극자외선 리소그래피 시스템들의 마스크 블랭크들 및 렌즈 엘리먼트들은, 몰리브덴 및 실리콘과 같은 재료들의 반사성 다층 코팅들로 코팅된다. 렌즈 엘리먼트, 또는 마스크 블랭크당(per) 대략 65%의 반사값들은, 매우 좁은 자외선 통과대역(bandpass); 예컨대, 13나노미터 자외선 광에 대해 12 내지 14나노미터의 통과대역 내의, 본질적으로 단일 광장의 광을 강하게 반사하는 다층 코팅들로 코팅된 기판들을 사용함으로써 획득되었다.

[0005] 마스크들에서 문제들을 야기하는 다양한 종류들(classes)의 결함들이 반도체 프로세싱 기술에 존재한다. 예컨대, 흑결함들(opaque defects)은 전형적으로, 광이 반사되어야 할 때에 광을 흡수하는, 마스크 패턴 또는 다층 코팅들의 정상부 상의 입자들에 의해 야기된다. 백결함들(clear defects)은 전형적으로, 다층 코팅들의 정상부 상의 마스크 패턴의 핀홀들에 의해 야기되는데, 광이 흡수되어야 할 때 이러한 핀홀들을 통해 광이 반사된다. 추가적으로, 다층 코팅들의 두께 및 균일성은, 최종 마스크에 의해 생산되는 이미지를 왜곡하지 않는 제조 정밀도를 필요로 한다.

[0006] 과거에, 심자외선 리소그래피를 위한 마스크 블랭크들은 일반적으로 유리로 만들어졌지만, 극자외선 리소그래피를 위해서는, 실리콘 또는 초-저 열팽창(ultra-low thermal expansion) 재료들이 대안들로서 제안되었다. 블랭크가 유리로 만들어지든, 초-저 열팽창 재료로 만들어지든, 또는 실리콘으로 만들어지든, 마스크 블랭크의 표면은, 연마재(abrasive)를 사용하는 기계적 폴리싱에 의해, 가능한 평활하게(smooth) 만들어진다. 마스크 블랭크 생성에서의 다른 장애물은 스크래치들을 포함하는데, 그러한 프로세스 뒤에 남는 스크래치들은 종종, "스크래치-딕(dig)" 마크들로서 지칭되며, 이들의 깊이 및 폭은 마스크 블랭크를 폴리싱하는 데에 사용된 연마재(abrasive)의 입자들의 크기에 따른다. 가시광선(visible) 및 심자외선 리소그래피의 경우, 이러한 스크래치들은, 반도체 웨이퍼 상의 패턴에 상 결함들을 야기하기에는 너무 작다. 그러나, 극자외선 리소그래피의 경우에, 스크래치-딕 마크들은, 이들이 상 결함들로서 나타날 것이기 때문에, 상당한 문제이다.

[0007] EUV 리소그래피를 위해 요구되는 짧은 조사(illumination) 광장들 때문에, 사용되는 패턴 마스크들은, 현재의 리소그래피에서 사용되는 투과성 마스크들 대신에, 반사성 마스크여야 한다. 반사성 마스크는 몰리브덴 및 실리콘의 교번하는 얇은 층들의 정밀한 스택으로 구성되고, 이는 Bragg 반사체(reflector) 또는 거울을 생성한다. 작은 피쳐 크기 및 다층 스택의 본성 때문에, 상부에 다층 스택이 증착되는 기판의 표면 또는 층들의 균일성에서의 임의의 결점들(imperfections)이 확대될 것이고, 최종 생성물에 영향을 줄 것이다. 수 나노미터 스케일의 결함들은, 마감처리된(finished) 마스크 상에, 프린트 가능한(printable) 결함들로서 나타날 수 있으며, 다층 스택의 증착 이전에, 마스크 블랭크의 표면으로부터 제거될 필요가 있다. 추가적으로, 증착된 층들의 두께 및 균일성은, 최종 완성된 마스크를 손상시키지 않는 매우 까다로운 규격들을 충족시켜야 한다.

[0008] 전자 컴포넌트들의 점점 더 작은 피쳐 크기에 대한 필요성을 고려하여, 이러한 문제들에 대한 답들을 찾는 것이 점점 더 중요해진다. 성장하고 있는 소비자들의 기대들과 함께, 계속 증가하는 상업적인 경쟁 압박들을 고려하여, 이러한 문제들에 대한 답들을 찾는 것이 중요하다. 부가적으로, 비용들을 절감하고, 효율성들과 성능을 개선하며, 경쟁 압박들을 충족시키기 위한 필요성은, 이러한 문제들에 대한 답들을 찾기 위한 중요한 필요성에, 훨씬 더 큰(even greater) 긴급성을 부여한다.

[0009] 이러한 문제들에 대한 해결책들이 오랫동안 탐색되어 왔지만, 이전의 발전들은 어떠한 해결책들도 교시하거나 제안하지 않았고, 따라서, 이러한 문제들에 대한 해결책들은 오랫동안 당업자에게 발견되지 않았다.

발명의 내용

[0010] 본 발명은, 재료 층을 기판 상에 증착시키는 단계; 증착 동안 재료 층의 총 두께의 변화들에 대해 재료 층의 증착을 모니터링하는 단계; 및 증착 동안 재료 층의 총 두께의 변화들에 기초하여 증착 파라미터들을 조정하는 단계를 포함하는, 모니터링 및 증착 제어 시스템을 위한 동작 방법을 제공한다.

[0011] 본 발명은, 재료 층을 기판 상에 증착시키기 위한 증착 챔버; 증착 동안 재료 층의 총 두께의 변화들에 대해 재료 층의 증착을 모니터링하기 위한 센서 어레이; 및 증착 동안 총 두께의 변화들에 기초하여 증착 파라미터들을 조정하기 위한 프로세싱 유닛을 포함하는, 모니터링 및 증착 제어 시스템을 제공한다.

[0012] 본 발명의 특정 실시예들은 상기 언급된 것들 대신에 또는 그에 부가하여 다른 단계들 또는 엘리먼트들을 갖는다. 그러한 단계들 또는 엘리먼트는, 첨부된 도면들을 참조하여 검토할 때, 이하의 상세한 설명을 읽음으로써 당업자에게 자명해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 통합형 극자와선 마스크 생산 시스템이다.

[0014] 도 2는, 본 발명의 실시예의 모니터링 및 증착 제어 시스템의 시스템 도면이다.

[0015] 도 3은, 도 2의 모니터링 및 증착 시스템 내에 포함되는 서브-시스템들 중 일부의 예시적인 블록도이다.

[0016] 도 4는, 본 발명의 제 2 실시예에 따른, 모니터링 및 증착 시스템의 예시도이다.

[0017] 도 5는, 본 발명의 제 3 실시예에 따른, 모니터링 및 증착 시스템의 예시도이다.

[0018] 도 6은, 본 발명의 추가적인 실시예의 모니터링 및 증착 시스템의 동작 방법의 예이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하의 실시예들은, 당업자가 본 발명품을 만들고 사용할 수 있도록, 충분히 상세하게 설명된다. 본 개시물에 기초하여 다른 실시예들이 명백할 것이고, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않고, 시스템, 프로세스, 또는 기계적 변화들이 이루어질 수 있음이 이해되어야 한다.

[0015] 이하의 설명에서, 본 발명의 완전한 이해를 제공하기 위해 다수의 구체적인 세부 사항들이 주어진다. 그러나, 본 발명은 이러한 구체적인 세부 사항들 없이 실시될 수 있음이 자명할 것이다. 본 발명을 불분명하게 하는 것을 피하기 위해, 몇몇 잘 공지된 컴포넌트들 및 회로들, 시스템 구성들, 및 프로세스 단계들은 상세하게 개시되지 않는다.

[0021] 시스템의 실시예들을 나타내는 도면들은 반-도식적(semi-diagrammatic)이고 실적이 아니며(not to scale), 특히, 치수들 중 몇몇은, 표현의 명료함을 위한 것이고, 도면들을 도시할 때 과장되게 도시된다. 유사하게, 도면들의 시점들(views)은 설명의 용이함을 위해 일반적으로 유사한 배향들을 보여주지만, 도면들에서의 이러한 묘사는 대부분의 경우에 임의적인 것이다. 일반적으로, 본 발명은 임의의 배향으로 작동될 수 있다.

[0022] 다수의 실시예들이 공통으로 몇몇 피쳐들을 갖는 것으로 개시되고 설명되는 경우, 예시, 설명, 및 이들의 이해에 대한 명료함 및 용이함을 위해, 동일한 그리고 유사한 피쳐들은 동일한 참조 번호들로 설명될 것이다.

[0023] 설명의 목적들을 위해, 본원에서 사용되는 "수평의"라는 용어는, 마스크 블랭크 또는 기판의 배향과 상관없이, 마스크 블랭크 또는 기판의 표면 또는 평면에 평행한 평면으로 정의된다. "수직하는"이라는 용어는, 그렇게 정의된 수평에 수직인 방향을 지칭한다. "위(above)", "아래(below)", "바닥부(bottom)", "정상부(top)", "측(side)(측벽"에서처럼)", "더 높은(higher)", "더 낮은(lower)", "상부(upper)", "위에(over)", 및 "밑에(under)"와 같은 용어들은, 도면들에서 도시된 바와 같이, 수평 평면에 대해서 정의된다. "상에서(on)"라는 용어는 엘리먼트들 간의 직접 접촉이 있음을 나타낸다.

[0024] 본원에서 사용되는 "프로세싱"이라는 용어는, 설명되는 구조를 형성할 때 요구되는 바와 같이, 포토레지스트 또는 재료의 증착, 패터닝, 노출, 현상(development), 에칭, 세정, 및/또는 포토레지스트 또는 재료의 제거를 포함한다.

[0025] 본 발명의 실시예들은, EUV 리소그래피를 위한 반사성 마스크 블랭크들을 생성하는 데에 사용되는, 몰리브덴 및 실리콘의 초-박층들의 정밀한 증착 제어 및 계측.metrology)을 위한 시스템 및 방법을 포함한다.

[0026] 본 발명의 실시예들의 목표는, EUV 마스크 블랭크들을 위한 Mo/Si 스택의 증착을 제어하는 문제에 해결책을 도입하는 것이다. 본 발명의 실시예들은, 조명 소스의 샘플-변경된 반사율 스펙트럼이 계속 모니터링되는 인-시츄(in-situ) 광대역 반사 측정(reflectometry) 방법을 포함하며, 이는, 이론적인 모델들과 함께, 층들의 두께 및 증착 레이트에 대한 정보를 개선한다(furbish). 이러한 결과적인 두께 및 증착 레이트 정보는 또한, 증착 프로세스들의 제어를 개선하고 마스크 블랭크의 성능을 최적화하기 위해 프로세스 툴에 피드백될 수 있다.

[0027] 분광 반사율 측정 시스템들은, 광과 샘플의 상호 작용으로 인해 특정 광학에서 광의 강도를 변조하는

원리로 작동한다. 그러한 시스템에서의 결정적 인자는 보통, 광이 유전체 내에서 전파될 때 광의 위상 시프트 (shift)이다. 그러나, Mo/Si 스택의 경우, 재료들 양자 모두는 적어도, 스펙트럼의 DUV-NIR 영역의 일부에 대해서 매우 감쇠된다. 이것이 실제로 의미하는 바는, 스택의 반사율은 증착된 필름들의 심지어 가장 미세한 레벨들에 의해서도 변경된다는 것이다. 이는 모니터링 시스템의 고감도에서 핵심 인자이다.

[0023] 이제 도 1을 참조하면, 통합형 극자외선 마스크 생산 시스템(100)이 도면에 도시된다. 통합형 EUV 마스크 생산 시스템(100)은, 기판(104) 또는 기판들이 내부로 로딩되는 기판 로딩 및 캐리어 취급(handling) 시스템(102)을 포함한다. 에어록(airlock; 106)은 웨이퍼 취급 진공 챔버(108)로의 액세스를 제공한다. 도시된 실시예에서, 웨이퍼 취급 진공 챔버(108)는 2개의 진공 챔버들, 즉, 제 1 진공 챔버(110) 및 제 2 진공 챔버(112)를 포함한다. 제 1 진공 챔버(110) 내에는 제 1 웨이퍼 취급 시스템(114)이 있고, 제 2 진공 챔버(112) 내에는 제 2 웨이퍼 취급 시스템(116)이 있다.

[0024] 웨이퍼 취급 진공 챔버(108)는 그 둘레(periphery) 주위에, 다양한 다른 시스템들의 부착을 위한 복수의 포트들을 갖는다. 제 1 진공 챔버(110)는 탈기(degas) 시스템(118), 제 1 물리 기상 증착 시스템(120), 제 2 물리 기상 증착 시스템(122), 검사 챔버(111), 및 사전세정(preclean) 시스템(124)을 갖는다. 기판(104)의 증착 이후, 기판(104)은 결함들 및 에러들의 검출을 위해 검사 챔버(111)로 이송될 수 있다.

[0025] 제 2 진공 챔버(112)는, 제 2 진공 챔버(112)에 연결된, 제 1 다중-캐소드(multi-cathode) 소스(126), 유동 가능한 화학 기상 증착(FCVD) 시스템(128), 경화 시스템(130), 및 제 2 다중-캐소드 소스(132)를 갖는다.

[0026] 제 1 웨이퍼 취급 시스템(114)은, 제 1 진공 챔버(110)의 둘레 주위의 다양한 시스템들 및 에어록(106) 사이에서, 그리고 연속적인 진공(continuous vacuum)의 슬릿 벨브들을 통해서, 웨이퍼(134)와 같은 웨이퍼들을 이동시킬 수 있다. 제 2 웨이퍼 취급 시스템(116)은, 웨이퍼들을 연속적인 진공에서 유지하면서, 제 2 진공 챔버(112) 주위에서 웨이퍼들, 예컨대, 웨이퍼(136)를 이동시킬 수 있다. 통합형 EUV 마스크 생산 시스템(100)은 EUV 마스크들을 생산하기 위한 이상적인 환경을 제공한다는 것이 밝혀졌다.

[0027] 이제 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예의 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)의 시스템 도면이 도시된다. 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)은, 예컨대, 제 1 물리 기상 증착 시스템(120), 제 2 물리 기상 증착 시스템(122), 또는 유동 가능한 화학 기상 증착 시스템(128)과 함께 사용될 수 있다. 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)은, 예컨대, EUVL 또는 EUV 블랭크들 상에서의 몰리브덴(Mo) 및 실리콘(Si)을 포함하는 다수의 층들의 증착의 인-시츄 계측 및 제어를 위해 사용될 수 있다. 명료함을 위해, 블랭크 및 마스크 블랭크라는 단어들은 동등한 것으로 간주된다. 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)은 또한, 층 두께 결함들, 규격을 벗어난 균일성, 및 표면들 상에서의, 예컨대, 각각의 증착된 층의 그리고 기판의 표면 상에서의 결함들을 검출하기 위해 사용될 수 있다.

[0028] 예컨대, 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)은, 다중-스펙트럼 반사 측정 시스템(202)을, 예컨대, 도 1의 제 1 물리 기상 증착 시스템(120), 도 1의 제 2 물리 기상 증착 시스템(122), 또는 도 1의 유동 가능한 화학 기상 증착 시스템(128)과 같은 증착 챔버(203)의 전체 설계 내에 통합함으로써 구현될 수 있다. 다중-스펙트럼 반사 측정 시스템(202)과 같은 반사 측정 시스템들을 통합하는 것은, EUVL 또는 EUV 마스크의 생성 동안 Mo/Si 다중 스택의 인-시츄 모니터링 및 제어를 가능하게 한다는 것이 밝혀졌다. 이러한 실시예에서, 다중-스펙트럼 반사 측정 시스템(202)은 광섬유-결합형(fiber-coupled)이지만, 광섬유들이 사용되지 않는 다른 실시예들이 가능하다는 것이 이해되어야 한다. 예시적인 명료성을 위해, 다중-스펙트럼 반사 측정 시스템(202)은 대부분이 증착 챔버(203)의 외부에 도시되어 있지만, 다중-스펙트럼 반사 측정 시스템(202)이, 예컨대, 증착 챔버(203) 내에 전부 있을 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

[0029] 이러한 예에서, 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)은, 광을 둘 또는 그 초파의 UV-등급 다중-모드 광섬유들 내로 방사하도록 조준되는(aimed) 제논(Xe) 광 소스를 포함하는, 펠스형 광대역 광소스와 같은 광소스(204)를 포함할 수 있다. 이러한 예에서, 광 소스(204)는 기준 광섬유(206) 및 기판 조명 광섬유(208) 내로 조준된다. 기준 광섬유(206)는, CCD-기반, 다중-채널 분광기와 같은 분광기(210)의 입력 슬릿 내로 직접적으로 이어진다. 기판 조명 광섬유(208)는, 예컨대, EUVL 마스크 블랭크와 같은 기판(216)의 표면을 향하여, 렌즈 또는 반사성 시스템과 같은 콜리메이터(collimator; 212)에 의해 광 출력(214)이 콜리메이팅되는 증착 챔버(203)를 향해 지향될 수 있다. 기판 조명 광섬유(208)의 일 예가 예시적인 목적들로 도시되지만, 하나 초파의 기판 조명 광섬유(208)가, 애플리케이션 요구들에 따라 사용될 수 있다는 것이 이해된다.

[0030] 기판(216)의 표면으로부터 반사된 광(218)은, 콜리메이터(212)의 광축을 중심으로 대칭적으로, 그리고

나란히 훌딩되는 수집 광섬유(220)에 의해 수집된다. 그런 다음에, 반사된 광(218)은 분광기(210)의 입력 슬릿을 향하여 지향되고, 기준 광섬유(206)에 대하여 나란히, 그러나 오프셋되어 위치된다. 이러한 도면에서, 광 출력(214) 및 반사된 광(218)은 화살표들에 의해 표시되는데, 화살표들의 방향은, 이러한 예에서 광이 기판(216)으로부터 바운싱될 때 광선들의 이동 방향을 나타낸다. 예시적인 도면으로부터 알 수 있는 바와 같이, 콜리메이터(212)는 광 출력(214) 및 반사된 광(218)을 굴절시키고 이들의 이동 경로를 변경하도록 동작할 수 있다.

[0031] 다른 광섬유들이 기판(216) 상의 다른 포지션들을 향해 지향될 수 있고, 따라서 기판(216) 상의 다수의 위치들의 동시적인 모니터링을 허용한다는 것이 발견되었다. 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)은 또한, 다른 광섬유 및 CCD 구성들을 포함하는 다른 시스템들, 액티브(active) 및 패시브(pассив) 센서들, 전하-결합 소자(CCD) 카메라들, 가시광 센서들, 암시야 및 명시야 현미경들(dark and bright field microscopes), x-선 반사율 시스템들, UV-EUV 광 반사율 시스템들, 레이저 스캐터링 시스템들, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 광 소스(204), 기판 조명 광섬유(208), 기준 광섬유(206), 수집 광섬유(220) 및 분광기(210)는 다중-스펙트럼 반사 측정 시스템(202)으로 간주될 수 있거나, 또는 센서 어레이로 불릴 수 있다.

[0032] 예시적인 목적들을 위해, 모든 내용들(readings)은 기판(216)으로부터 설명되었지만, 예컨대, 기판(216)의 정상부 표면 상에 몰리브덴 및 실리콘의 다수의 물질 층들로 구성된 다층 스택이 존재할 수 있음이 이해된다. 표면을 모니터링하기 위한 프로세스는, 표면이 기판(216)의 표면이든 또는 재료 층들 중 임의의 층의 표면이든 동일하다. 모니터링 프로세스는, 기판(216) 상에서의 재료 층들의 증착 동안 연속적일 수 있다.

[0033] 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)은 먼저, 다층 스택의 증착이 이루어지기 전에, 실리콘 조각(piece)과 같은 기준 샘플에 대해서 캘리브레이팅될(calibrated) 수 있다. 예컨대, 광 소스(204)는 규칙적인 간격들(예컨대, 매 100밀리초(msc))로 펼성될 수 있고, 각각의 펄스에 대해, 반사된 광(218)의 스펙트럼은 분광기(210)에 의해 판독되고 기준 샘플의 스펙트럼에 대해 분석된다. 모델 기반 커브 피팅 알고리즘(model based curve fitting algorithm)은, 예컨대, 증착 챔버(203) 내에서 증착되는 층들의 두께에 관한 데이터에 대한 최적(best fit)에 도달하기 위해 사용된다.

[0034] 광 스펙트럼 데이터의 품질 관리(quality control)를 보장하는 다양한 절차들이 있다. 예컨대, 데이터의 유효성 및 품질을 보장하는 절차들은: a) 기판 조명 광섬유(208) 및 기준 광섬유(206)가 광 소스(204)로부터 동일한 광 스펙트럼들을 수신하는 것을 보장하는 것 – 이는, 소스의 바로 앞의 조면화된(roughened) 석영 조각 형태의 (디퓨저(222)와 같은) 모드 스크램블러(mode scrambler)를 사용하는 것에 의해 달성될 수 있음 –; b) 임의의 광 레벨/스펙트럼 변동을 제거하기 위해, 수집 광섬유(220)로부터의 광의 스펙트럼의, 기준 광섬유(206)의 광의 스펙트럼으로의 정규화(normalization); 및 c) 광의 리런칭(re-launch) 단계에서의 임의의 불안정성의 영향을 감소시키기 위해, 반사된 광(218) 내의 파장-평균화된 광에 대한, 광 출력(214)의 스펙트럼의 정규화를 포함한다.

[0040] 예컨대, 모니터링 프로세스는, (예컨대, 플라즈마로부터의) 배경 포톤들(background photons)이 측정 포톤들로부터 구분될(separated) 수 있도록, 챔버에서의 조명의 배경 레벨의 실제 판독값들을 취하고 보상하기 위해, 분광기(210)의 사용(광 소스(204)로부터의 외부의 펼성된 또는 초핑된(chopped) 광의 적용은 없음)을 포함할 수 있다. 광 소스(204)로부터의 플래시(flash) 이후에, 신호는 분광기(210)에 의해 기록될 수 있다. 그런 다음에, 신호는 플래시 없이 취해질 수 있다. 플래시-없는(no-flash) 신호는, 배경 정보를 제거(subtract)하기 위해, 분광기(210)에 연결된 프로세싱 유닛에 의해, 플래시 신호로부터 제거될 수 있다. 이러한 방법은, 예컨대, 증착 챔버(203)에서 소스로부터의 플라즈마로부터의 글로우(glow)를 설명하는 데에 사용될 수 있다. 이러한 방법이, 다른 프로세스 제어 측정으로서 유용할 수 있는, 챔버의 배경 조건을 모니터링하는 데에 사용될 수 있음이 밝혀졌다.

[0041] 부가적으로, 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)의 감도 개선을 위해 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio)를 증가시키기 위해, 기준 광섬유(206)가 활용될 수 있다. 신호 대 잡음비를 어떻게 증가시키는가에 대한 일 예는, 분광기(210)에 의해 수신되는 광 스펙트럼들을, 그러한 광 스펙트럼들 자신의 파장 평균으로 정규화하는 것을 포함한다. 이는, 광 출력(214)의 전달 또는 반사된 광(218)의 수집 동안 아크로매틱 시프트들(achromatic shifts)에 의해 야기되는 불안정성을 최소화하는 것을 도울 수 있다.

[0042] 신호 대 잡음비를 어떻게 증가시키는가에 대한 제 2 예는, 반사된 광(218)의 스펙트럼을, 기준 광섬유(206)로부터 수신된 광으로 정규화하는 것을 포함한다. 이는, 광 소스(204) 자체로부터 기인하는 임의의 광 레벨/스펙트럼 변동을 제거해야 한다. 예컨대, 기준 광섬유(206)의 기능은, 광 소스(204)(예컨대, 펄스식 제논

플래시 램프 소스 광)의 샷(shot)에 대한 임의의 변동들 샷을 추적 및 보상하고 데이터로부터 그러한 변동들을 제거하는 것이다.

- [0038] [0043] 상기 예들 둘 모두가 신호 대 잡음비를 증가시키기 위해 사용된다면, 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)은, 인 시츄로, 1초 미만의 스캔으로, 0.1Å(옹스트롬)보다 양호한, 3σ (3 표준 편차를 내) 두께 감도를 달성할 수 있다는 것이 발견되었다. 이러한 높은 레벨의 감도를 얻기 위해서 광 소스(204)의 오직 약간의 필스만이 필요하며, 본 문서의 작성 시점에서, 1초 아래의 질의(interrogation) 또는 스캐닝에서 이러한 레벨의 감도에 도달할 수 있는 어떠한 다른 시스템도 존재하지 않는 것으로 밝혀졌다.
- [0039] [0044] 추가적으로, 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)의 실시예들은, 한번에, 임의의 주어진 시간에, 또는 동시에, 표면 상의 하나 초파의 위치를 측정하는 것을 포함한다. 추가적으로, 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)은 하나의 위치를 먼저 측정할 수 있고, 그런 다음에 상이한 위치로 이동할 수 있다. 대안적으로, 기판(216) 상의 다수의 위치들을 동시에 측정하기 위해 다수의 광섬유들이 포지셔닝될 수 있다. 예컨대, 기판(216)의 중앙 위치는, 기판(216)의 에지들 근처의 주변 위치들과 병렬로(in parallel) 측정될 수 있다.
- [0040] [0045] 기판(216) 또는 마스크는, 필름 증착 동안 회전식 척 상에 장착될 수 있기 때문에, 하나 또는 그 초파의 고정된 방사상 거리들에서의 하나 또는 그 초파의 측정 포인트들이, 마스크 또는 기판(216) 주변의 하나 또는 그 초파의 방위각 원호들 상의 다른 필름 또는 마스크 특성을 포인트들 및 두께를 측정할 수 있다는 것이 밝혀졌다. 추가적으로, 기판(216)에 걸친 다수의 포인트들에서 두께를 측정하는 것은, 기판(216)의 균일성의 측정을 제공한다는 것이 밝혀졌다. 균일성은, 기판(216)에 걸친 거리에 따른, 재료의 두께 측정이다.
- [0041] [0046] 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)은, 기판(216)상의 Mo/Si 다층 스택의 두께에서의 매우 작은 변화들을 검출하기 위해, 분광기(210)에 의해 판독된 바와 같은, 반사된 광(218)의 반사율 스펙트럼을 사용할 수 있다는 것이 밝혀졌다. 예컨대, 반사된 광(218)의 반사율 스펙트럼은, 0.1Å만큼 낮거나 그보다 더 낮은 에러를 결정하기에 충분하게 주의깊게 판독될 수 있다. 모니터링 및 증착 제어 시스템(200)은, 예컨대, UV 내지 IR 범위(대략적으로 200nm 내지 800nm)의 광장을 활용할 수 있다.
- [0042] [0047] 예컨대, 반사된 광(218)의 반사율 스펙트럼에서의 변화를 검출하기 위해, 제 1 스펙트럼(피감수(minuend))과 제 2 스펙트럼(감수(subtrahend)) 사이의 비율이 계산될 수 있다. 이러한 반사율 스펙트럼 비율은 0.1Å만큼 낮은 또는 그보다 더 낮은 에러를 명확하게 검출할 수 있음이 발견되었다. 이는 또한, 검출 문제가 a) 광 소스(204)로부터의 샷-노이즈를 극복하기 위해 이용 가능한 충분한 광이 있음을 보장하는 것; b) 광 소스(204) 불안정성을 보장하는 것(광 소스(204)로부터의 광 출력(214)에서의 변화들이 제거됨); 및 c) 진동 및 다른 시스템 관련 변화들이 설명됨을 보장하는 것 중 하나로 감소되는 것을 허용한다는 것이 발견되었다.
- [0043] [0048] 이제 도 3을 참조하면, 도 2의 모니터링 및 증착 시스템(200) 내에 포함되는 서브-시스템들 중 일부의 예시적인 블록도가 도시된다. 모니터링 및 증착 시스템(200)은, 도 2의 증착 챔버(203) 내에서 전력 공급부와 반사계(reflectometer) 신호 프로세싱 사이에 하드웨어 연결 또는 직접 하드웨어 제어 시스템(324)을 포함할 수 있다. 직접 하드웨어 제어 시스템(324)은, 소프트웨어 제어 시스템 및 이와 연관된 레이턴시들(latencies)을 거치는 대신에, 증착 챔버(203)의 전력 공급부에 대해 직접 제어할 것이다.
- [0044] [0049] 예컨대, 밀리초들의 레이턴시들은 증착 프로세스에서 상당한 것이다. 직접 하드웨어 제어 시스템(324)은, 증착되는 총의 종료를 검출하는, 또는 증착되는 총의 임박한(imminent) 종료를 검출하는 능력을 포함하는 제어들을 포함할 수 있고, 하드웨어 연결을 통해 전원 공급부를 직접적으로 차단할(shut off) 수 있다.
- [0045] [0050] 추가적으로, 증착 정밀도를 개선하기 위해, 특화된 전력 공급부는, 예컨대, 직접 하드웨어 제어 시스템(324)의 형태의 컴퓨터로부터 직접적으로, 디지털 트리거와 같은 입력을 취할 수 있다. 예컨대, 컴퓨터는, 이를테면, 도 2의 분광기(210)에서 도 2의 반사된 광(218)을 수신한 이후에 스펙트럼 계산(spectral computation)을 하는 DSP 칩을 사용하여, 다이렉트 컷(direct cut)을 할 수 있고, 이 컴퓨터는 이후 또한, 증착 챔버(203)의 전력 공급부를 트리거링한다. 이러한 방법은, 기판 또는 웨이퍼에 대한 결과를 생성하기 위해, 스펙트럼 정보를 취하는 것과 스펙트럼 정보를 취한 것에 따라 동작하는 것 사이의 레이턴시 딜레이들을 단축할 수 있다.
- [0046] [0051] 운영 체제(operating system)가 있는 기존의 계산 시스템들(computing systems)은 수백 밀리초의 변동성을 생성한다. 예컨대, 본 개시물의 실시예들의 직접 하드웨어 제어 시스템(324)은, 레이턴시를 수십 밀리초로 감소시키기 위한 실시간(real-time) 또는 의사(pseudo) 실시간 운영 체제를 포함할 수 있다. 추가적으로, 직접 하드웨어 제어 시스템(324)을 갖는 실시예는, 레이턴시를 서브-밀리초 레벨로 감소시킬 수 있다. 예컨대,

직접 하드웨어 제어 시스템(324)은, 증착되는 층의 종료와 전력 차단 사이의 시간의 레이턴시를 나노초(이는, 증착 프로세스의 정밀도에 대해 필요한 것보다 더 빠른 응답임)로 감소시킬 수 있는 직접 전력 차단 시스템일 수 있다는 것이 발견되었다.

[0047] 추가적으로, 모니터링 및 증착 시스템(200)은, 도 2의 기판(216) 상으로의 증착의 시작 시의 증착 레이트를 튜닝하기 위한 튜닝 시스템(326)을 포함할 수 있다. 모든 층의 두께를 제어하려는 시도 대신에, 튜닝 시스템(326)은, 증착 프로세스의 튜닝 또는 캘리브레이션에서 사용할, 테스트 층 또는 더미 층으로서 사용될 수 있는 층을 증착의 시작 시에 증착시킬 수 있다는 것이 밝혀졌다.

[0048] 예컨대, 증착 레이트가 너무 빠른지 또는 너무 느린지를 결정하기 위해, 하나 또는 그 초과의 테스트 층들 각각의 두께의 측정이 튜닝 시스템(326)에 의해 수행될 수 있다. 더미 또는 테스트 층은, 증착 레이트의 조정들을 허용할 수 있다. 부가적인 더미 층들의 추가적인 증착들은, 두께에 대한 정확한 증착 레이트가, 예컨대, 도 1의 제 1 물리 기상 증착 시스템(120), 도 1의 제 2 물리 기상 증착 시스템(122), 또는 도 1의 유동 가능한 화학 기상 증착 시스템(128)과 같은, 특정 증착 기계 또는 증착 챔버(203)에 대해 적절한 레벨들로 캘리브레이팅 또는 튜닝되었는지를 확인할 수 있다.

[0049] 테스트 층들은 개별 Mo 층들 및 Si 층들에 대해 생성될 수 있다. 예컨대, 제 1 Mo 층이 증착될 수 있고, 두께에 대해 모니터링될 수 있다. 그런 다음에, 제 1 Si 층이 증착될 수 있고, 두께에 대해 모니터링될 수 있다. 테스트 층들의 또다른 쌍이, 나머지 층들의 증착 이전에, 증착될 수 있고, 정확한 것으로 확인될 수 있다. 테스트 층들이 벗어났다면(off)(부정확한 두께), 증착 기계 또는 챔버는 정확도를 증가시키도록 튜닝될 수 있다.

[0050] 튜닝 시스템(326)은 또한, 기판(216)이 척의 상부에 있는 그러한 척에 매립된 테스트 층 또는 기준 샘플을 사용할 수 있다. 예컨대, 이러한 기준 샘플은, 알려진 스펙트럼 응답을 갖는 실리콘 또는 씨멀(thermal) 옥사이드일 수 있으며, 이러한 기준 샘플로부터의 판독값들은, 광 전달 및 수집 경로에서 기인하는 임의의 스펙트럼 왜곡들에 대해 주기적으로 교정하기 위해, 분광기(210)를 캘리브레이팅하는 데에 사용될 수 있다. 예컨대, 기준 샘플은, 척의 표면과 동일 평면 상에 있도록 매립될 수 있거나, 또는 척은, 기준 샘플로서 사용되는 재료로 전체적으로 만들어질 수 있거나, 그러한 재료로 코팅될 수 있다. 또한 예컨대, 완성된 EUV 마스크와 동일한 높이 및 폼 팩터(form factor)를 갖는 별개의 기준 샘플은, 매립된 기준 샘플과 실제 EUV 마스크 다층 스택 사이의 높이 차이들을 보상하는 데에 사용될 수 있다.

[0051] 척 상의 또는 척에 매립된 이러한 기준 샘플이, 필름 증착 이전에, 분광기(210)의 빠르고 쉬운 캘리브레이션을 허용할 수 있다는 것이 발견되었다. 기준 샘플은 알려진 스펙트럼 응답을 갖기 때문에, 광의 경로 내의 임의의 왜곡들은 필요에 따라서 교정될 수 있다. 예상되는 스펙트럼 응답은, 증착된 표면으로부터 기초한 판독값으로부터 제거될 필요가 있을 왜곡의 화상(picture)을 획득하기 위해, 수신되는 광 스펙트럼으로부터 쉽게 제거될 수 있다.

[0052] 튜닝 시스템(326)은 또한, 기판(216)의 표면 상에 증착된 층의 굴절률(N) 및 흡수율(K)에서의 변화들을, 두께에서의 실제의 임계 변화들로부터 구분하는 데에 사용될 수 있다. 예컨대, 광 전송의 개별적인 측정들은, 척 내의 또는 아래의 커버링된 광 검출기에 의해 수행될 수 있다. 광 검출기가 척 아래에 있는 경우, 척 내의 개구는, 광이 샘플을 통해 광 검출기로 전달되는 것을 허용할 수 있다. 개구 또는 개구들의 적절한 설계는, 척, 기판(216), 및 증착된 층(들)이 회전할 때 연속적인 측정을 허용할 수 있다.

[0053] 또한 예컨대, 광 검출기는 척 자체에 매립될 수 있다. 어느 경우에든, 광 검출기 데이터는 무선으로, 또는 척 자체에 연결된 일종의 회전식 커플링을 통해 전송될 수 있다. 다른 예로서, 두께에서의 변화들로부터의 흡수율 및 굴절률에서의 변화들을 구별하는 것을 돋기 위해, 상이한 파장들에서 부가적인 측정들이 취해질 수 있다. EUV 마스크 블랭크의 광학 특성들(예컨대, 굴절률 및 흡수율)은 EUV 파장들에서 가장 중요하지만, 예컨대, 부피가 크고 비효율적이며 매우 비싼 광 소스들을 필요로 하는 EUV 파장들에서의 측정에 대한 저렴한 대용(proxy)으로서, EUV 광학 특성들에 영향을 줄 수 있는 재료 특성들의 변화들을 검출하기 위해, 광학 특성들을 다른 파장들에서 정확하게 측정하는 것이 유익하다. 다른 파장들에서의 측정들은 또한, 층 접착과 같은 필름 특성들에 영향을 줄 수 있는, 필름 조성에서의 변화들의 표시로서, 그리고 굴절률의 변화들로부터 필름 두께에서의 변화들을 구별하기 위해, 즉, 증착된 필름의 굴절률에서의 변화에 의해 야기되는 광학 경로의 변화로부터 필름 두께에서의 변화를 구분하기 위해 역할을 할 수 있다.

[0054] 예컨대, 광학 특성들의 측정의 정확도를 개선하기 위해, 광 소스(204)에 부가하여, 하나 또는 그 초과

의 부가적인 광대역 또는 간섭성(coherent) 광 소스들로부터의 측정된 반사율을 결합하는 것이 유익하다는 것이 밝혀졌다. 예컨대, 특정 주요 파장들에서의 측정 정확도를 개선하기 위해, 하나 또는 그 초파의 강한(intense) 간섭성 소스들이 사용될 수 있다. 예컨대, 웨이퍼로부터 다른 광 소스들로부터의 스펙트럼 반사율을 검출하는데에 분광기(210)가 사용될 수 있거나, 또는 상이한 검출기가 사용될 수 있다.

[0055] [0060] 상이한 파장들에서 부가적인 측정들을 취하는 것은, 충들의 두께에서의 중요한 변화들로부터, 증착된 충들의 특성들에서의 무해한(innocuous) 변화들을 구분할 수 있다는 것이 발견되었다. 예컨대, 애플리케이션에 따라, 증착된 충들 중 하나의 굴절률이 변화하는 것이 중요하지 않을 수 있고, 그러므로, 그러한 변화는 검출될 수 있고 안전하게 무시될 수 있는 반면에, 두께에서의 변화는 경고(alert)를 유발할 수 있고 증착 프로세스를 중단하도록 강제할 수 있다. 따라서, 이러한 프로세스는 재료 절약들을 허용하면서, 또한, 품질 관리에서의 어려한 희생에 대한 필요도 피한다.

[0056] [0061] 모니터링 및 증착 시스템(200) 내에 장기간(long-term) 추적 시스템(328)이 있다. 장기간 추적 시스템(328)은, 증착되는 충들 각각의 엔드 포인트들(end points)을 측정하고 추적하며, 또한, 다수의 기판들에 걸친 평균들로부터의 정보를 제공하기 위해, 다수의 기판들로부터 두께 및 정확도 판독값들을 측정하는 다른 기술을 구현할 수 있다. 이는, 기판(216) 상의 주어진 충의 층 두께가, 다수의 EUVL 마스크들이 제조될 때 그 마스크들에 걸쳐서 추적될 수 있다는 것을 의미한다. 예컨대, 10개의 세션들에 걸친 기판(216)의 증착 세션들의 샘플로부터의 모니터링된 판독값들은, 각각의 기판에서 층 번호(36)에 대한 증착이 너무 얇다는 것을 결정할 수 있다.

[0057] [0062] 장기간 추적 시스템(328)은 증착 프로세스에서의 시스템적인(systematic) 에러들을 식별할 수 있고, 그러면 증착 프로세스는, 임의의 시스템적인 드리프트(drift) 또는 문제들을 보상하기 위해, 해당하는 충에 대한 증착 레이트를 조정하도록 튜닝될 수 있다는 것이 밝혀졌다. 장기간 추적 시스템(328)을 사용할 때의 이점은, 시간에 걸친 드리프트에 대해서 보상하기 위해 증착 프로세스를 어떻게 튜닝할 것인지에 대한 결정을 하는 데에 더 많은 데이터가 사용된다는 것이다. 따라서, 모니터링 및 증착 시스템(200)을 포함하는 기계 상에서 시간의 경과에 의해 도입되는 에러들을 보상할 수 있고, 프로세스에서의 다른 변동성을 보상할 수 있는, 다수의 증착 세션들을 추적하는 것으로부터 얻어진 데이터는, 모니터링 및 증착 시스템(200)의 증착 레이트의 초기 튜닝을 허용한다. 추가적으로, 추적된 데이터는, 많은 증착 세션들을 통한 기판(216) 상에서의 증착 시퀀스 동안 각각의 충에 발생하는 시스템적인 드리프트를 보상하는 데에 사용될 수 있다.

[0058] [0063] 모니터링 및 증착 시스템(200)의 장기간 추적 시스템(328)을 이용한 증착 프로세스의 인-시츄 모니터링은, 예컨대, 증착 챔버(203)와 같은 개별 증착 챔버의 성능 특성들의 역사를 제공한다는 것이 또한 밝혀졌다. 성능은, 증착 챔버(203)가 청결할 때 측정될 수 있고, 또한, 챔버가, 시간에 걸쳐서 다수의 세션들 이후 사용된 후에 측정될 수 있다. 인-시츄 모니터링은 또한, 교체 부품들 및 세정의 품질과 같은, 챔버의 조건에서의 변화들을 설명할 수 있다. 동일한 시작 조건들이 없다면, 증착 프로세스는, 기판에서 기판으로의 어느 정도의 드리프트가 발생하기 쉽고, 그러한 드리프트는 장기간 추적 시스템(328)에 의해 모니터링될 수 있다.

[0059] [0064] 추가적으로, 모니터링 및 증착 시스템(200)은 회전식 척 상의 기판(216)의 텀트에 대한 보상을 허용하는 텀트 보상 시스템(330)을 포함할 수 있음이 밝혀졌다. 텀트 보상 시스템(330)은 텀트 센서(332)를 포함한다. 텀트 센서(332)는, 예컨대, 기판(216) 상에서의 단일 포인트에서 측정할 수 있고, 원형 트랙에 대한 정보를 제공할 수 있다.

[0060] [0065] 기판(216)이 수평이 아닌 경우(예컨대, 수평이 아니거나 또는 수평 포지션에 대해 틸팅됨), 텀트 센서(332)로부터의 데이터 판독값들은, 기판(216)의 텀트에 기인한 변동성을 보여줄 것인데, 이는, 임의의 증착된 충의 두께에서의 에러들로 이어질 수 있다. 텀트에 대해 기판(216)을 모니터링하는 것은, 텀트 보상 시스템(330)이, 증착된 충의 두께에 의해 발생하는 임의의 에러들을 보상하는 것을 허용한다. 텀트 보상 시스템(330)은, 회전식 척의 텀트를 조정하기 위한, 그리고 기판(216)의 웨블(wobble)을 최소화하기 위한 메커니즘을 포함할 수 있다. 추가적인 예로서, 텀트 보상 시스템(330)은 또한, 모니터링 및 증착 시스템(200)의 어딘가 다른 곳에서 보상 웨블을 도입함으로써 임의의 웨블에 대해 보상하는 데에 사용될 수 있다. 다른 예로서, 텀트 센서(332)는, 회전식 척의 텀트-각도가, 보상이 불충분한 포인트에 도달되었고 회전식 척에 대한 서비스가 요구되는 때를 결정하기 위해, 텀트 보상 시스템(330)에 의해 사용될 수 있다. 그러면 텀트 보상 시스템(330)은, 서비스가 수행되도록 하기 위해, 증착 프로세스에 대한 정지 신호를 보낼 수 있다.

[0061] [0066] 모니터링 및 증착 시스템(200)은 또한, 프로세싱 유닛(333)을 포함할 수 있다. 프로세싱 유닛(333)은, 모니터링 및 증착 시스템(200) 내의 임의의 또는 전체의 다른 서브시스템들과 함께 동작할 수 있다. 프로세싱

유닛(333)은, 규격을 벗어난 에러 또는 두께에서의 변화에 대한 결정을 수신할 수 있고, 검출된 에러 또는 두께에서의 변화를 교정하기 위해 필요에 따라 중착 파라미터들을 조정할 수 있다. 프로세싱 유닛(333)은 또한, 예컨대, 치명적인 에러를 검출할 수 있고, 중착 챔버(203)로부터 제거되어야 할 결함 재료 층이 있는 현재 기판에 대한 신호를 보낼 수 있다.

- [0062] [0067] 이제 도 4를 참조하면, 본 발명의 제 2 실시예에 따른 모니터링 및 중착 시스템(400)의 예시도가 도시된다. 이러한 예시도는, 적용 또는 중착 프로세스로부터의 재료 층(430)을 포함할 수 있다. 모니터링 및 중착 시스템(400)은 인 시츄로 동작할 수 있다.
- [0063] [0068] 재료 층(430)은, 기판(416) 상에 그리고 척(432) 위에 중착되는 재료 또는 필름을 포함할 수 있다. 예컨대, 재료 층(430)은 평탄화 층, 몰리브덴(Mo), 실리콘(Si), 또는 EUVL 마스크의 생성에서 사용되는 다른 재료를 포함할 수 있다. 제 1 (바닥부) 층은 기판(416)의 기판 정상부 표면 상에 직접 중착될 수 있다.
- [0064] [0069] 재료 층(430)은 층 정상부 표면 및 층 두께(434)를 가질 수 있다. 층 정상부 표면은, 기판(416) 상에 중착되는 재료 층(430)의 최상위 예(uppermost example)의 정상부 표면이다. 예컨대, 층 정상부 표면은, 기판(416) 상에 중착된 제 1 층의 정상부 표면일 수 있다.
- [0065] [0070] 다른 예로서, 기판(416) 상의 다층 스택의 90번째 층이 최상위 층인 경우, 층 정상부 표면은 또한, 90 번째 재료 층의 정상부 표면을 포함할 수 있다는 것이 이해된다. 층 두께(434)는, 수직으로 측정된 바와 같은, 재료 층(430)의 두께이다. 예컨대, 기판(416) 상의, 실리콘으로 만들어진 재료 층(430)의 층 두께(434)는 3-4nm 두께일 수 있다.
- [0066] [0071] 모니터링 및 중착 시스템(400)은, 예컨대, 층 정상부 표면 및 기판 정상부 표면에 대해 45도 각도로 배향된 센서 조립체 또는 센서 어레이(436)를 포함할 수 있다. 이러한 예에서, 센서 어레이(436)는, (예컨대, 도 1의 제 1 물리 기상 중착 시스템(120), 도 1의 제 2 물리 기상 중착 시스템(122), 또는 도 1의 유동 가능한 화학 기상 중착 시스템(128)과 같은) 중착 챔버의 좌측 상에 포지셔닝된 광 소스(404), 및 중착 챔버의 우측 상에 포지셔닝된 분광기(420) 또는 검출기를 포함할 수 있다. 예시도는 층 정상부 표면으로부터 45도 각도로 반사되고 분광기(420)에서 수신되는, 접선들로 표시된 방사선 또는 광을 도시한다. 층 정상부 표면 상의 "X"는, 센서 어레이(436)에 의해 분석되는 해당 포인트를 나타낸다. 재료 층(430)을 완전히 분석하기 위해, 척(432), 센서 어레이(436) 또는 양자 모두를 이동시키는 것이 가능하다.
- [0067] [0072] 센서 어레이(436)가, 분광 광도계 또는 반사계로서 동작할 수 있고, 다층 스택 내의 다수의 층들의 광학 특성들의 편위(excursion)를 모니터링 및 제어할 수 있다는 것이 발견되었다. 센서 어레이(436)는, 광학 품질의 전체 척도로서 Bragg 피크들(peaks)의 위치들을 결정하는 것과 같은 기술들을 통해, 다수의 재료 층(430)의 다층 스택 내에서의 회절 간섭 효과들을 모니터링할 수 있다. 또한, 센서 어레이(436)를 사용하여 이루어진 모든 측정들이 EUV 광장들에서 이루어지는 것은 아니기 때문에, 특정 프로세스 제어 문제들을 표시하기(flag) 위해 반사계 측정들이 주의깊게 적용되어야 한다는 것이 발견되었다. EUV 블랭크 광학 품질은, 해당하는 EUV 광장들에서 가장 잘 측정된다는 것이 밝혀졌다.
- [0068] [0073] 이제 도 5를 참조하면, 본 발명의 제 3 실시예에 따른 모니터링 및 중착 시스템(500)의 예시도가 도시된다. 예시도는, 기판(516) 상에 중착된 다층 스택(530)을 도시할 수 있다. 예시도는, 기판(516), (예컨대, 도 4의 다수의 재료 층(430)을 포함하는) 다층 스택(530), 다층 스택(530)의 층 정상부 표면, 실리콘 층(538), 및 몰리브덴 층(540)을 포함할 수 있다. 다층 스택(530) 내에는 실리콘 및 몰리브덴의 많은 층들이 있을 수 있지만, 예시적인 목적들을 위해 2개의 층들이 레이블링되었다는 것이 이해된다. 다층 스택(530) 내의 각각의 층은, 재료 층(430)의 예일 수 있다.
- [0069] [0074] 이러한 예시도는, 도 4에서와 같이 분리되어 장착되는 대신에, 단일 조립체(센서 어레이(536)) 내에 하우징된, 광 소스(504) 및 분광기(510)를 포함할 수 있다. 콜리메이터(512)는 기판(516)과 센서 어레이(536) 사이에 있을 수 있다. 광 소스(504) 및 분광기(510)는, 층 정상부 표면으로부터 45도 각도로, 또는 가능한 많은 정보를 얻기 위해 필요한 임의의 각도로 방사선을 반사하고 수신하도록 센서 어레이(536) 내에서 배향될 수 있다. 이러한 예에서, 광 소스(504)는 콜리메이터(512)를 통해 조준된다.
- [0070] [0075] 이제 도 6을 참조하면, 본 발명의 추가적인 실시예의 모니터링 및 중착 시스템(200, 400, 또는 500)의 동작 방법(600)의 예가 도시된다. 동작 방법(600)은, 블록(642)에서, 기판을 제공하는 단계를 포함할 수 있다. 기판은, 회전식 정전 척과 같은 도 4의 척(432) 상에 위치될 수 있다.
- [0071] [0076] 기판은, 예컨대, 블록(644)에서, 도 4의 조립체 또는 센서 어레이(436)를 이용하여 스캐닝될 수 있다.

스캔은, 두께 문제들, 결함들 및 입자들, 예컨대, 기판의 정상부 표면 상의, 가우즈들, 그루브들, 스크래치들, 번들들, 기형들, 스톤들, 볼더들, 및 퍼트들을 검출하기 위해, 임의의 액티브, 패시브, 또는 반사율 시스템들을 포함할 수 있다. 예컨대, 센서 어레이(436) 또는 조립체는, Xe 램프 소스와 같은, 도 4의 광 소스(404)를 포함할 수 있다. 임의의 결함들이 검출되는 경우, 블록(646)에서, 기판은 세정될 수 있거나 교체될 수 있다. 세정 또는 교체가 요구되는 경우, 결함이 없는(free) 기판을 사용하여 재시작하기 위해서, 프로세스는 시작으로 복귀할 수 있다.

[0072] [0077] 결함이 없는 기판에 대한 스캐닝 이후, 블록(648)에서, 재료 층, 예컨대, 도 4의 재료 층(430)은, 증착 프로세스에서 기판 위에 형성될 수 있거나 적용될 수 있다. 재료 층의 증착은, 기판 위에 재료 층을 증착시키기 위해, CVD, PLD, ALD, 및 FCVD 방법들을 포함할 수 있다. 다양한 실시예들에서, 예컨대, 재료 층은 실리콘 또는 몰리브덴을 포함할 수 있다. 또한 예컨대, Si 및 Mo 층들은, 많은 재료 층들로 구성된 다층 스택 내에서 교번할 수 있다.

[0073] [0078] 블록(650)에서, 다층 스택은 증착 프로세스 동안 모니터링될 수 있다. 블록(650) 동안 모니터링은, 예컨대, 도 2의 광 소스(204), 도 2의 콜리메이터(212), 및 도 2의 분광기(210)를 사용하여, 연속적인 스캔, 또는 증착된 층들 각각의 또는 전체의 완성 이후의 스캔을 포함할 수 있다. 모니터링은 또한, 예컨대, 센서 어레이(436)를 사용하여 이루어질 수 있다. 다층 스택의 모니터링은 전체 증착 프로세스 동안 연속적일 수 있다. 다층 스택의 연속적인 스캔 또는 층별(layer-by-layer) 스캔은, 각각의 재료 층에 대해 스펙트럼 시그니처를 생성할 수 있다. 각각의 재료 층에 대한 스펙트럼 시그니처가 분석을 위해 기록될 수 있다는 것이 밝혀졌다.

[0074] [0079] 예로서, 다층 스택의 층들의 전체 스택을 증착시키기 이전에 증착된 하나 또는 그 초과의 더미 테스트 필름들로부터의 피드백을 통해서, 필름 증착 레이트들은 전체 증착 이전에 튜닝될 수 있다. 테스트 필름들 또는 테스트 층들의 증착 이후, 이러한 층들은, 예컨대, 증착이 예상된 바와 같이 진행되는지를 결정하기 위해 스캐닝될 수 있다. 다른 예로서, 기판은, 스캔 동안 기판에 걸친 두께 결과들의 공간적 평균화(spatial averaging)를 제공하기 위해, 회전식 정전 척 상에서 회전될 수 있다. 그러한 스캔으로부터의 결과들은, 필름 증착의 균일성을 최적화하기 위해 증착 프로세스에 대한 조정들을 허용할 수 있다.

[0075] [0080] 증착 동안 다층 스택의 연속적인 스캐닝은, 각각의 층들에 대한 두께의 실시간 최적화를 허용한다는 것이 발견되었다. 증착 동안의 자연적인 변화들 때문에, 규칙적인 프로세스 최적화는, 층 두께들이, 수용 가능한 파라미터들 내에 있도록 보장하는 데에 매우 유용하다. 예컨대, 두께 최적화는 층 내에서(증착 동안 두께 피드백에 기초한 각각의 층 증착의 엔드포인트), 층마다(다음 층을 증착시키기 위한 프로세스를 최적화하기 위해, 하나의 층으로부터의 결과들을 사용), 또는 스택마다(다음 스택을 위한 증착 프로세스를 최적화하기 위해, 하나의 스택으로부터의 결과들을 사용) 수행될 수 있다.

[0076] [0081] 일 예로서, 다층 스택은 각각의 층의 완성 이후에 스캐닝될 수 있고 모니터링될 수 있다. 예컨대, 다층 스택의 정상부 표면은 실리콘 층, 몰리브덴 층, 또는 Mo/Si 쌍의 완성 이후에 스캐닝될 수 있다. 또 다른 재료 층의 증착 이후에, 층 정상부 표면은, 기판 상에 증착되는 층들의 개수에 따라 스캐닝될 수 있다.

[0077] [0082] 증착 동안의 재료 층의 모니터링 동안, 블록(652)에서, 에러가 검출될 수 있다. 에러는, 규격을 벗어난 두께 층(예컨대, 너무 얇거나 너무 두꺼움)과 같은, 재료 층의 결함으로서 정의된다. 에러는, 예컨대, 개별 층의 증착 프로세스 동안 발견된, 임의의 입자들, 조성, 인터페이스 거칠기, 표면 거칠기, 또는 두께 균일성에서의 규격 조건으로부터의 벗어남의 결과일 수 있다.

[0078] [0083] 블록(654)에서, 재료 층의 에러에 기초한 경고가 생성될 수 있다. 경고는, 스캐닝될 때, 에러를 생성한 재료 층의 스펙트럼 시그니처 정보가 있는 보고를 포함할 수 있다.

[0079] [0084] 블록(656)에서, 결함이 있는 기판(이는, 다층 스택 내의 층들 중 임의의 층의 결함들을 포함함) 또는 마스크 블랭크 샘플은 폐기될 수 있다. 모니터링 시스템에 의해 제공되는 층별 모니터링은, 결함이 있는 샘플에 대해 낭비되는 재료들 및 시간의 양을 감소시킴으로써, 결함이 없는 EUVL 마스크들의 수율을 증가시킨다는 것이 밝혀졌다. 예컨대, 기판 또는 마스크 블랭크 샘플 상에 결함있게 증착된 재료 층은, 전체 마스크의 완성 이후보다는, 개별 층의 증착 에러 시에 폐기될 수 있다. 이는, 더 적은 낭비되는 재료 및 더 적은 낭비되는 시간으로부터 비용 절감들을 제공한다.

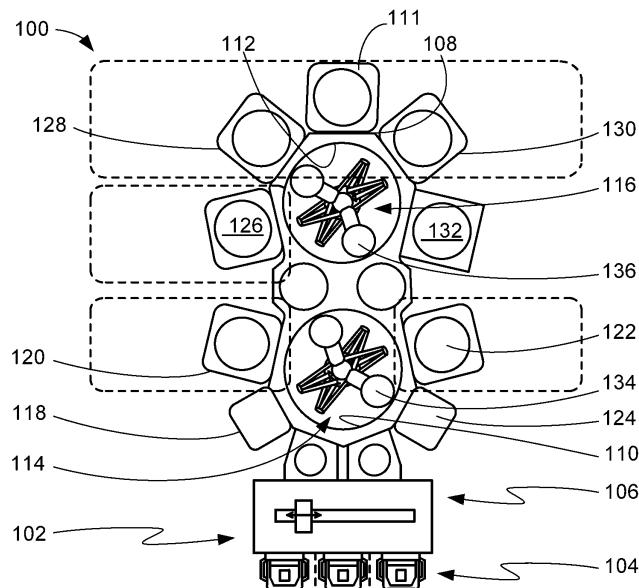
[0080] [0085] 증착 동안 모니터링 프로세스가 어떤 결함들 또는 에러들도 검출하지 않는 경우, 블록(658)에서, 증착 프로세스는 종료될 수 있다. 증착 프로세스를 완료한 이후의 샘플은, 추가적인 증착 또는 제조 단계들을 위해, 블록(660)에서, 다른 챔버 내로 이송될 수 있다. 블록(662)에서, EUVL 마스크 샘플은 또한, 완료 이후(post

completion) 스캔을 위해, 도 1의 검사 챔버(111) 내로 이송될 수 있다.

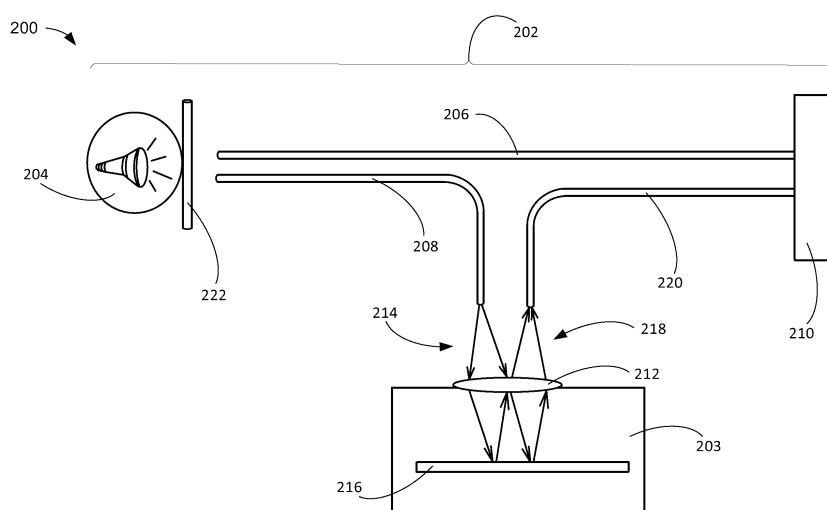
- [0081] [0086] 결과적인 방법, 프로세스, 장치, 디바이스, 제품, 및/또는 시스템은, 간단하고, 비용-효과적이며, 복잡하지 않고, 매우 다용도이며, 정확하고, 섬세하며, 효과적이고, 그리고, 준비된, 효율적인, 그리고 경제적인 제조, 어플리케이션, 및 활용을 위해, 공지된 컴포넌트들을 적응시킴으로써(adapt) 구현될 수 있다.
- [0082] [0087] 본 발명의 다른 중요한 양태는, 본 발명이 가지있게, 비용들을 감소시키고, 시스템들을 단순화하며, 성능을 증가시키는 역사적인 경향을 지원하고 서비스한다는 점이다.
- [0083] [0088] 본 발명의 이러한 그리고 다른 가치있는 양태들은 결과적으로 기술의 상태를 적어도 다음 수준으로 발전시킨다(further).
- [0084] [0089] 본 발명은 특정 실시예들과 함께 설명되었지만, 전술한 설명을 고려하여, 많은 대안들, 수정들, 및 변형들이 당업자에게 자명할 것이라는 점이 이해되어야 한다. 따라서, 본 발명은, 포함된 청구항들의 범위 내에 있는 그러한 모든 대안들, 수정들, 및 변형들을 포함하도록 의도된다. 지금까지 본원에서 열거되거나 첨부된 도면들에 도시된 모든 사항들은 예시적인 것이며 비-제한적인 의미로 이해되어야 한다.

도면

도면1



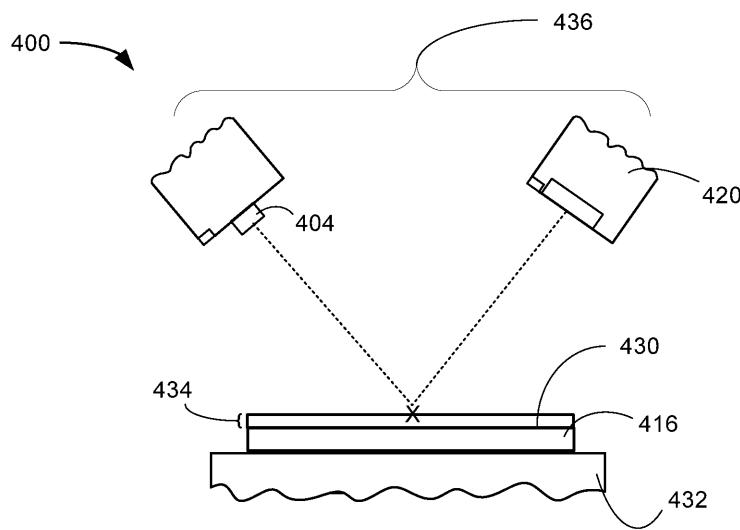
도면2



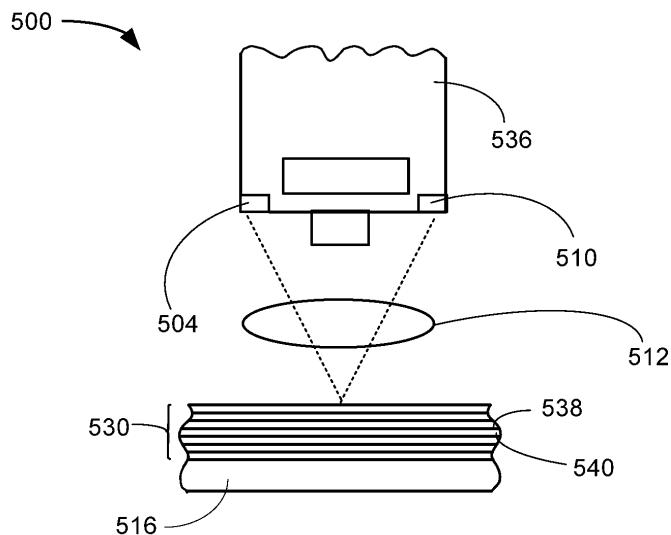
도면3



도면4



도면5



도면6

