



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년09월02일
(11) 등록번호 10-1436947
(24) 등록일자 2014년08월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 9/00 (2006.01) G01B 7/02 (2006.01)
G01D 5/24 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7020227
(22) 출원일자(국제) 2010년12월29일
심사청구일자 2014년01월20일
(85) 번역문제출일자 2012년07월31일
(65) 공개번호 10-2012-0102802
(43) 공개일자 2012년09월18일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2010/070890
(87) 국제공개번호 WO 2011/080310
국제공개일자 2011년07월07일
(30) 우선권주장
61/291,411 2009년12월31일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US6249130 B1
JP2005175173 A
JP2007519238 A
전체 청구항 수 : 총 16 항

(73) 특허권자
마퍼 리소그래피 아이피 비.브이.
네덜란드 엔엘-2628 엑스케이 델프트 컴퓨터라안 15
(72) 발명자
드 보레, 귀도
네덜란드 엔엘-4145 엔엘 레르담 리켓 반 테어 리 데 31
반 바르, 요니 요안네스 야코버스
네덜란드 엔엘-7552 티알 행겔로 아르치메데스슈 트라아트13-2
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 남앤드남

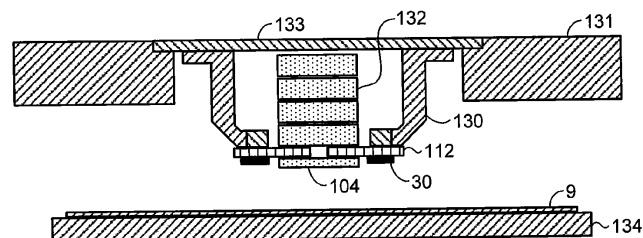
심사관 : 조승현

(54) 발명의 명칭 통합 센서 시스템

(57) 요약

리소그래피 기계(lithography machine)를 위한 통합 센서 시스템(integrated sensor system)이 개시되고, 상기 시스템은 하나 이상의 노출 빔들을 타겟 상에 포커싱하기 위한 투사 렌즈 시스템(132), 타겟(9)을 운반하기 위한 이동 가능한 테이블(134), 투사 렌즈 시스템(104)의 최종 포커싱 엘리먼트 및 타겟(9)의 표면 사이의 거리에 관련된 측정을 하기 위한 용량성 센싱 시스템(capacitive sensing system)(300), 및 용량성 센싱 시스템으로부터의 신호에 적어도 부분적으로 기초하여 타겟(9)의 위치를 조절하기 위해 이동 가능한 테이블(134)의 이동을 제어 하기 위한 제어 유닛(400)을 포함한다. 용량성 센싱 시스템(300)은 복수의 용량성 센서들(30)을 포함하고, 용량성 센서들 각각은 박막 구조를 포함한다. 용량성 센서들 및 상기 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트(104)는 공통 베이스(112)에 직접적으로 장착되고, 센서들은 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트의 에지에 근접하게 위치된다.

대표도 - 도16b



(72) 발명자

파드예, 카우스투브호 프라보드호

네덜란드 엔엘-2726 비비 초에테르메어 피에르 켄
포브

모셀, 로버트

네덜란드 엔엘-2904 피에이 카펠레 에이/디 아이셀
파라디에이셀파크 220

베르게르, 니엘스

네덜란드 엔엘-3037 알브이 로테르담 스체브릭세슈
트라아트 12에이

스텐브링크, 스테인 빌럼 헤르만 카렐

네덜란드 엔엘-2593 이씨 텐 헤이그 게랄드 레인스
트슈트라아트 14

특허청구의 범위

청구항 1

리소그래피 기계(lithography machine)로서,

하나 또는 그 초과 of 노출 빔들을 타겟 상에 포커싱하기 위한 투사 렌즈 시스템(132);

타겟(9)을 운반하기 위한 이동 가능한 테이블(134);

상기 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트(104)와 상기 타겟(9)의 표면 사이의 거리에 관련된 측정을 하기 위한 용량성 센싱 시스템(capacitive sensing system)(300); 및

상기 용량성 센싱 시스템으로부터의 신호에 적어도 부분적으로 기초하여 상기 타겟(9)의 위치를 조절하도록 상기 이동 가능한 테이블(134)의 이동을 제어하기 위한 제어 유닛(400)

을 포함하며, 상기 용량성 센싱 시스템(300)은 복수의 용량성 센서들(30)을 포함하고, 상기 복수의 용량성 센서들 각각은 센싱 전극 및 후방 가드 전극을 포함하는 박막 구조를 포함하고, 상기 박막 구조는 가요성(flexible)이며,

상기 복수의 용량성 센서들 및 상기 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트(104)는 공통 베이스(112)에 직접(directly) 장착되고,

상기 복수의 용량성 센서들은 상기 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트의 에지에 근접하게 위치되는,

리소그래피 기계.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 용량성 센서들(30) 중 적어도 일부는, 상기 타겟(9)의 표면에 수직인 z-축 방향으로 상기 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트(104)의 하부 표면의 50 미크론 내에 위치되는 상기 타겟을 향해 대면하는 용량성 센서의 센싱 전극(31)의 하부 표면을 갖는,

리소그래피 기계.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 용량성 센서들 중 적어도 일부는, 상기 센서의 후방 표면으로부터 상기 타겟을 향해 대면하는 상기 센서의 센싱 전극의 전방 표면까지 50-150 미크론의 두께를 갖는,

리소그래피 기계.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트(104)는 100-150 미크론의 두께인,

리소그래피 기계.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 용량성 센서들은 상기 최종 포커싱 엘리먼트의 에지에 대해 상기 리소그래피 기계의 필드 크기의 폭 또는 길이 내에서 위치되는,

리소그래피 기계.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 용량성 센서들 및 상기 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트(104)는, 상기 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트와 동일한 지지 엘리먼트 상에 상기 복수의 용량성 센서들을 장착함으로써 직접 접속되는,

리소그래피 기계.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 용량성 센싱 시스템(300)은 상기 센싱 전극들로부터 멀리 떨어져(remotely) 위치된 능동 전자 컴포넌트들을 포함하고, 상기 복수의 용량성 센서들에 어떠한 능동 전자 컴포넌트들도 위치되지 않는,

리소그래피 기계.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 용량성 센서들은 박막 절연 베이스 층 상에 복수의 쌍들의 용량성 센서들을 포함하며, 상기 박막 절연 베이스 층은 상기 공통 베이스에 직접(directly) 장착되는,

리소그래피 기계.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 용량성 센서들은 박막 절연 베이스 층 상에 형성된 복수의 쌍들의 용량성 센서들을 포함하며,

상기 기계는, 상기 복수의 쌍들의 용량성 센서들의 한 쌍의 용량성 센서들 중 제 1 용량성 센서를, 상기 복수의 쌍들의 용량성 센서들의 상기한 쌍의 용량성 센서들 중 제 2 용량성 센서에 대한 전류 또는 전압에 대해 180 도 위상차(out of phase)를 갖는 교류 전류 또는 전압으로 동력을 공급하도록 배열된 하나 또는 그 초과 AC 전력 원들을 더 포함하는,

리소그래피 기계.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 용량성 센서들은, 가요성 인쇄 회로 구조에 통합되며, 상기 가요성 인쇄 회로 구조는 가요성 절연 베이스 층을 포함하는,

리소그래피 기계.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 복수의 용량성 센서들의 후방 가드 전극들 및 상기 센싱 전극들은, 접착제(adhesive)를 사용하여 상기 가요성 절연 베이스 층에 고정(fix)되거나, 또는 무접착제 적층판(adhesiveless laminate)으로서 형성되거나, 또는 상기 가요성 절연 베이스 층 상에 인쇄되며,

상기 가요성 절연 베이스 층은 상기 가요성 인쇄 회로 구조를 접속기에 접속하기 위한 세장형 접속 부재들로서 기능하는 확장된 부분들을 포함하며, 그리고

도전성 트랙들이 상기 접속 부재들 상에 인쇄되거나 부착되며(affixed), 상기 도전성 트랙들은, 일 단부에서는 상기 복수의 센서들의 센싱 전극들 및 후방 가드 전극들에 그리고 다른 단부에서는 상기 접속기에 전기적으로

접속되는,
리소그래피 기계.

청구항 12

제 1 항에 있어서,
상기 후방 가드 전극의 주변부는 상기 센싱 전극 너머로 연장되고 이를 둘러싸 상기 후방 가드 전극에 통합된 측면 가드 전극을 형성하는,
리소그래피 기계.

청구항 13

제 1 항에 있어서,
상기 박막 구조는,
도전성 트랙들 중 제 1 도전성 트랙 및 상기 센싱 전극을 포함하는 제 1 도전성 막;
상기 도전성 트랙들 중 제 2 도전성 트랙 및 상기 후방 가드 전극을 포함하는 제 2 도전성 막;
상기 도전성 트랙들 중 제 3 도전성 트랙을 포함하는 제 3 도전성 막
을 포함하며,
상기 제 1 도전성 막은 상기 제 2 도전성 막과 상기 제 3 도전성 막 사이에 배열되며, 상기 도전성 막들은 절연층들에 의해 분리되는,
리소그래피 기계.

청구항 14

제 13 항에 있어서,
상기 도전성 트랙들 중 제 2 도전성 트랙 및 상기 도전성 트랙들 중 제 3 도전성 트랙의 주변부는 상기 도전성 트랙들 중 제 1 도전성 트랙보다 넓어, 상기 도전성 트랙들 중 제 2 도전성 트랙 및 상기 도전성 트랙들 중 제 3 도전성 트랙이 상기 도전성 트랙들 중 제 1 도전성 트랙에 대한 측면 가드 전극들로서 기능하는 주변부를 갖게 되는,
리소그래피 기계.

청구항 15

제 13 항에 있어서,
상기 박막 구조는,
상기 도전성 트랙들 중 제 4 도전성 트랙 및 차폐 전극을 포함하는 제 4 도전성 막; 및
상기 도전성 트랙들 중 제 5 도전성 트랙을 포함하는 제 5 도전성 막
을 더 포함하며, 상기 제 5 도전성 막은 상기 제 4 도전성 막에 전기적으로 접속되며, 상기 제 2 도전성 막은 상기 제 4 도전성 막과 상기 제 1 도전성 막 사이에 배열되며, 상기 제 3 도전성 막은 상기 제 5 도전성 막과 상기 제 1 도전성 막 사이에 배열되며, 상기 도전성 막들은 절연층들에 의해 분리되는,
리소그래피 기계.

청구항 16

제 10 항에 있어서,
상기 가요성 절연 베이스 층은 상기 가요성 인쇄 회로 구조를 접속기에 접속하기 위한 세장형 접속 부재로서 기능하는 확장된 부분을 포함하며, 상기 세장형 접속 부재는 상기 가요성 인쇄 회로 구조로부터 접혀져 상향 연장

되는,
리소그래피 기계.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 거리를 측정하기 위한 용량성 센서, 특히, 리소그래피 장치에서 타겟에 대한 거리를 측정하기 위한 용량성 센서에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 대전 입자 및 광학 리소그래피 기계들 및 검사 기계들은, 통상적으로 반도체 디바이스 제조 프로세스의 부분으로서 웨이퍼들 상의 패턴들 및 다른 타겟들을 노출시키는데 사용된다. 리소그래피 시스템에서, 웨이퍼는 리소그래피 기계에 의해 생성된 광학 또는 입자 노출 빔들에 의해 다수의 위치들에서 항상 노출된다. 웨이퍼는 항상 웨이퍼 테이블 상에 위치되고, 정적 전자/ 광학 컬럼에 관련하여 웨이퍼 테이블의 제어된 변위에 의해 다수의 노출들이 통상적으로 성취된다. 노출들은 통상적으로 웨이퍼 표면 상에서 연속적으로 수행된다.

[0003] 노출될 웨이퍼 표면은 거의 완전하게 평평하지는 않다. 통상적인 웨이퍼는 웨이퍼 테이블에 대한 클램핑 없이 그 안에 50 μm 까지의 보(bow)를 가질 수 있다. 웨이퍼 보 이외에, 웨이퍼 표면은 그의 표면에 걸쳐 다른 불균일성들을 가질 수 있다. 웨이퍼 보 및 다른 불균일성들은 웨이퍼 표면에서 높이 변동들을 야기한다. 현대 리소그래피 기계들에서 요구되는 극히 고정밀성을 성취하기 위해, 광학 또는 입자 노출 빔들을 웨이퍼로 포커싱하는데 사용되는 투사 렌즈의 포커스 평면에서 노출되는 웨이퍼 표면을 유지하도록 이러한 높이 변동을 정정할 필요가 있다.

[0004] 웨이퍼를 유지하는 웨이퍼 테이블은 웨이퍼 표면의 높이에서의 이러한 변동들을 보상하도록 조절될 수 있다. 웨이퍼 테이블의 높이는 노출될 웨이퍼 표면을 투사 렌즈의 포커스 평면으로 유도하도록 조절될 수 있다. 웨이퍼 테이블 높이의 제어는, 웨이퍼 표면의 높이, 예를 들면, 투사 렌즈와 웨이퍼 표면 간의 거리를 측정하는 센서들로부터 전송된 신호들을 사용하여 성취될 수 있다. 고감도 센서들은 현대 리소그래피 기계들에서 요구되는 극도의 정밀도로 웨이퍼 위치의 정확한 제어를 보장하도록 요구된다. 다양한 형태들의 센서들은 용량성 프로브들을 포함하는 이러한 형태의 애플리케이션에서 사용되어 왔다. 그러나, 기존의 용량성 프로브들 및 연관된 측정 및 제어 시스템들은 몇몇의 단점들로 고통받고 있다.

[0005] 기존의 용량성 센서들은 높이 및 센서 면적 양자에 있어서 통상적으로 크다. 도 1a 및 도 1b는 종래 기술의 용량성 센서의 구조를 도시한다. 도 1a는 단면도를 도시하고, 도 1b는 용량성 센서 프로브의 단부도를 도시한다. 도전성 센싱 전극(2)은 도전성 가드 전극(3)에 의해 둘러싸이게 된다. 절연층(4)은 2 개의 전극들을 분리하고, 또 다른 절연층(5)은 하우징(6)으로부터 가드 전극(3)을 분리하는데 사용될 수 있다. 전기 케이블(7) 및 접속기(8)는 원하는 최종 측정 신호를 유도하기 위해 신호 프로세싱 시스템에 용량성 센서를 접속시킨다. 용량성 센서의 동작 범위는 센싱 전극(2) 하에서 센싱 영역에 의존한다. 가드 전극(3)은 센싱 전극(2)과 타겟(9) 사이에 비교적 일정한 전기장을 생성하도록 센싱 영역 내의 전기장을 국한시키기 위해 센싱 전극과 동일한 전위로 설정된다. 이러한 형태의 구조는 비교적 큰 용량성 센서, 일반적으로 높이에서 약 20 mm, 및 비교적 대형 센싱 전극을 야기한다.

[0006] 용량성 센서들의 비교적 큰 높이 및 폭은 용량성 센서들이 투사 렌즈로부터 비교적 멀리 배치될 필요가 있어서, 제조 허용 오차들 및 열 팽창으로 인한 용량성 센서들 및 투사 렌즈의 상대적인 위치 선정에서의 변동으로 인한 에러들을 도입한다. 비교적 큰 크기의 기존의 용량성 프로브들은 또한 다중-센서 구조들의 개별적인 용량성 센서들이 비교적 멀리 이격되는 것을 요구하여, 센싱 시스템의 공간 분해능을 감소시켜서, 웨이퍼 표면의 작은 영역에 걸쳐 발생하는 웨이퍼 표면 내의 불균일성들이 검출될 수 없다. 비교적 넓은 이격은 또한 더 느린 측정 프로세스를 야기하여, 이러한 시스템들을 사용하는 리소그래피 기계의 처리량을 감소시킨다.

[0007] 영국 특허 제 2,131,176 호는, 하나의 시트의 구리 코팅된 면이 다른 시트의 코팅되지 않은 면에 결합되도록, 하나의 측면 상에 증착된 구리 코팅을 갖는 2 개의 열가소성 폴리머 막들을 함께 접착 결합시킴으로써 제조되는 커패시턴스 거리 측정 프로브를 기재하고 있다. 하나의 시트 상의 노출된 구리 코팅은 센싱 전극을 구성하는 제 1 영역 및 센싱 전극을 적어도 부분적으로 둘러싸는 제 2 영역으로 분할되고, 센싱 전극에 대한 가드 전극을 규정하기 위해 다른 시트 상의 구리 코팅과 전기적으로 상호 접속된다. 이러한 구조는 감지 전극을 둘러싸는

가드 전극을 제공함으로써 도 1에 도시된 구조처럼 보이고, 가드 전극 양자는 동일한 표면 상에서 및 적층 디바이스의 동일한 레벨에서 형성된 센싱 전극을 둘러싸고 있다. 이것은 상이한 도전층들 사이에 전기 접촉을 요구하고 따라서 더 복잡하고 비용이 드는 제조 프로세스를 요구하는 구조를 야기한다.

[0008] 또한, 이러한 용량성 센서들에 대한 배선 접속들은 제조하기 어렵고, 배선은 용량성 센서의 관독에 영향을 주는 커패시턴스들을 도입하고, 고려될 필요가 있고, 항상 조합된 용량성 센서 및 배선 설비를 조정할 필요가 있다. 용량성 센서 배선과 조합하여 기존의 용량성 센서들을 조정하기 위한 요건은, 용량성 센서가 대체될 때마다 재조정을 요구하여, 대체를 복잡하고 시간-소모하고, 비용이 들게 한다.

[0009] 미국 특허 제 4,538,069 호는 레티클들을 노출시키기 위한 단일의 전자 빔 리소그래피 기계에 대한 커패시턴스 높이 게이지를 조정하는 방법을 기재하고 있다. 높이 게이지는 먼저 레이저 간섭계를 사용하여 조정 고정 장치(calibration fixture)에서 조정되고, 그후 상기 기계는 레티클을 노출시키기 위해 리소그래피 스테이션에 재위치되고, 커패시턴스 게이지를 사용하여 레티클에 대한 거리가 측정된다. 커패시턴스 게이지들은 전자 빔 광학 하우징의 하부에 고정되는 기관 상에 형성된다. 레티클 타겟이 접지되고, 커패시턴스 게이지는 180° 위상차를 갖는 신호들(out-of-phase signals)에 의해 구동되고, 각각의 게이트로부터의 출력 신호는 4 개의 높이 측정 신호들을 생성하도록 개별적으로 프로세싱된다.

발명의 내용

[0010] 본 발명은 리소그래피 기계를 위한 개선된 통합 센서 시스템을 제공하기 위해 위의 단점들을 해소 또는 감소시키고 하며, 상기 시스템은 하나 이상의 노출 빔들을 타겟으로 포커싱하기 위한 투사 렌즈 시스템, 타겟을 운반하기 위한 이동 가능한 테이블, 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트와 타겟의 표면 사이의 거리에 관련된 측정을 하기 위한 용량성 센싱 시스템, 및 용량성 센싱 시스템으로부터의 신호에 적어도 부분적으로 기초하여 타겟의 위치를 조절하기 위해 이동 가능한 테이블의 이동을 제어하기 위한 제어 유닛을 포함한다. 용량성 센싱 시스템은 복수의 용량성 센서들을 포함하고, 각각의 용량성 센서는 박막 구조를 포함한다. 용량성 센서들 및 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트는 공통 베이스에 직접적으로 장착되고, 용량성 센서들은 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트의 에지에 가깝게 근접하여 위치된다.

[0011] 용량성 센서들 중 적어도 일부는, 타겟을 향해 대면하는 용량성 센서의 센싱 전극의 하부 표면이 타겟의 표면에 대해 수직인 z-축 방향으로 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트의 하부 표면과 실질적으로 동일한 높이이도록 위치될 수 있다. 용량성 센서들 중 적어도 일부는, 타겟의 표면에 수직인 z-축 방향으로 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트의 하부 표면의 50 미크론 내에 위치된 타겟을 향해 대면하는 용량성 센서의 센싱 전극의 하부 표면을 갖도록 배열될 수 있다. 용량성 센서들 중 적어도 일부는 용량성 센서의 후방 표면으로부터 타겟을 향해 대면하는 용량성 센서의 센싱 전극의 전방 표면으로 50-150 미크론, 바람직하게는 약 100 미크론의 두께를 가질 수 있다. 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트는 100-150 미크론 두께일 수 있다.

[0012] 용량성 센서들은 최종 포커싱 엘리먼트에 가깝게 위치되고, 최종 포커싱 엘리먼트의 에지에 대해 리소그래피 기계의 필드 크기의 폭 또는 길이 내에 위치될 수 있다. 최종 포커싱 엘리먼트는 투사 렌즈 시스템의 하부 엘리먼트일 수 있다. 용량성 센서들 및 투사 렌즈 시스템의 최종 포커싱 엘리먼트는 직접적으로 함께 접속된다.

[0013] 용량성 센서들은 각각 박막 구조를 포함할 수 있고, 여기서 박막 구조는 제 1 절연층의 제 1 표면 상에 형성된 센싱 전극을 포함하는 제 1 도전막 및 제 1 절연막, 제 1 절연층의 제 2 표면 및 제 2 절연층의 제 1 표면 상에 배치된 후방 가드 전극을 포함하는 제 2 도전막을 포함하고, 후방 가드 전극의 주변부는 후방 가드 전극에 통합된 측면 가드 전극을 형성하기 위해 센싱 전극을 넘어 연장되고 이를 둘러싼다. 용량성 센서들의 박막 구조는 제 2 절연층의 제 2 표면 상에 배치된 차폐 전극을 포함하는 제 3 도전막을 더 포함할 수 있다. 박막 구조는 가요성일 수 있다.

[0014] 용량성 센싱 시스템은 센싱 전극들로부터 원격으로 위치된 능동 전자 컴포넌트들을 포함할 수 있고, 어떠한 능동 전자 컴포넌트들도 용량성 센서들과 배치되지 않는다. 각각의 용량성 센서는 도전성 트랙들이 인쇄 또는 부착되는 가요성 멤브레인을 포함하는 가늘고 긴 접속 부재를 더 포함할 수 있고, 도전성 트랙들은 하나의 단부에서 용량성 센서의 후방 가드 전극 및 센싱 전극에 전기적으로 접속되고, 다른 단부에서 접속기에 전기적으로 접속된다. 도전성 트랙들은 제 1 절연층 상에 형성될 수 있고, 제 1 절연층은 센싱 전극 및 후방 가드 전극이 위치되는 제 1 영역 및 도전성 트랙들이 형성되는 제 2 가늘고 긴 영역을 포함할 수 있다.

[0015] 용량성 센서들은 박막 절연 기저층 상에 형성된 복수의 쌍들의 용량성 센서들을 포함할 수 있고, 박막 절연 기저층은 공통 베이스에 직접적으로 장착된다. 상기 시스템은 한 쌍의 용량성 센서들 중 제 2 용량성 센서에 대

한 전류 또는 전압에 대해 180 도 위상차를 갖는 교류 전류 또는 전압으로 한 쌍의 용량성 센서들 중 제 1 용량성 센서에 동력을 공급하도록 배열된 하나 이상의 AC 전력원들을 더 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 다양한 양상들은 도면들에 도시된 실시예들을 참조하여 추가로 설명될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0017]

도 1a는 용량성 센서의 단면도.

도 1b는 도 1a의 용량성 센서의 단부도.

도 2는 병렬판 전극 어레이먼트의 간략화된 개략도.

도 3은 용량성 센서 프로브 및 접지된 도전성 타겟의 도면.

도 4는 접지된 도전성 타겟을 갖는 차동 측정 어레이먼트의 2 개의 용량성 센서 프로브들의 도면.

도 5는 박막 구조를 포함하는 용량성 센서의 단면도.

도 6a, 도 6b, 도 6c 및 도 6d는 박막 센서의 다양한 실시예들의 단면도들.

도 6e는 도 6a 및 도 6b의 센서의 상면도.

도 6f는 도 6d의 센서의 상면도.

도 7a는 정사각형 센싱 전극을 갖는 박막 센서의 상면도.

도 7b는 도 8a의 센서의 단면도.

도 8a는 원형 센싱 전극을 갖는 박막 센서의 상면도.

도 8b는 도 8a의 센서의 단면도.

도 9a, 도 9b 및 도 9c는 통합 차동 박막 센서의 다양한 실시예들의 단면도들.

도 9d는 통합 차동 박막 센서의 상면도.

도 10a 내지 도 10d는 박막 용량성 센서들의 단면도들

도 11은 접속 라인들 및 접촉 패드들을 갖는 센서의 상면도.

도 12a 및 도 12b는 접촉 패드 구조들의 단면도들.

도 13a 내지 도 13d는 공통 기관 상에 형성된 센서들, 접속 라인들 및 접촉 패드들의 도면들.

도 14는 리소그래피 기계 상에 장착된 센서들의 측면도.

도 15a 및 도 15b는 플렉스(flex) 인쇄 접속기의 도면들.

도 16a 및 도 16b는 대전 입자 리소그래피 기계의 투사 렌즈 스택의 단면도들.

도 17a 내지 도 17d는 다수의 센서들 및 통합 플렉스 인쇄 접속기들을 갖는 가요성(flexible) 인쇄 회로 구조의 도면들.

도 18은 리소그래피 기계 상의 센서들의 또 다른 접속 어레이먼트를 도시한 도면.

도 19a 및 도 19b는 리소그래피 기계 상에 통합 가요성 인쇄 회로 구조를 장착하기 위한 어레이먼트의 도면들.

도 20a 및 도 20b는 장착판 상의 용량성 센서들의 구조들의 도면들.

도 20c 및 도 20d는 대각선 구조를 배열된 용량성 센서들의 도면들.

도 21a 및 도 21b는 박막 구조 상에 형성된 다수의 용량성 센서들을 갖는 박막 구조의 도면들.

도 21c는 다수의 센서들 및 통합 플렉스 인쇄 접속기들을 갖는 가요성 인쇄 회로 구조의 도면.

도 21d는 통합 플렉스 인쇄 접속기의 단면도.

도 22는 센서 시스템 및 신호 프로세싱 시스템의 간략도.

도 23a는 전류원을 갖는 고임피던스 증폭기 회로의 간략화된 회로도.

도 23b는 전류원을 갖는 차동 센서 어레이먼트의 간략화된 회로도.

도 24a는 전압원을 갖는 휘스톤 브릿지 어레이먼트의 간략화된 회로도.

도 24b는 전압원을 갖는 차동 센서 어레이먼트의 간략화된 회로도.

도 25는 차동 센서 회로 어레이먼트의 간략화된 회로도.

도 26은 동기식 검출기 회로의 간략화된 회로도.

도 27은 센서 시스템 내의 커패시턴스들을 도시하는 간략도.

도 28a 및 도 28b는 센서를 신호 프로세싱 회로에 접속하는 케이블을 갖는 어레이먼트의 간략화된 회로도들.

도 29는 동기식 회로의 또 다른 실시예의 간략화된 회로도.

도 30은 한 쌍의 차동 센서들로부터의 신호들을 프로세싱하기 위한 어레이먼트의 간략화된 회로도.

도 31은 리소그래피 기계에 대해 웨이퍼의 위치 선정을 위한 제어 시스템의 간략도.

도 32a 및 도 32b는 도 31의 제어 시스템에서 사용하기 위한 센서 어레이먼트들의 도면들.

도 32c는 투사 렌즈와 웨이퍼의 표면 사이의 거리 및 웨이퍼의 표면에 걸친 기울기 값들을 결정하기 위한 측정 방법을 예시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 다음은 도면들을 참조하여 단지 예로서 주어지는 본 발명의 다양한 실시예들의 설명이다.

[0019] **용량성 센서들의 이론**

[0020] 용량성 센서는 2 개의 도전성 표면들 사이에서 설정된 균질 전기장을 사용한다. 단거리들에 걸쳐, 인가된 전압은 표면들 사이의 거리에 비례한다. 단일판 센서들은 단일 센서판과 전기적으로 도전성 타겟 표면 사이의 거리를 측정한다.

[0021] 도 2는 병렬판 전극 어레이먼트를 도시한다. 2 개의 전극들(11, 12) 사이의 커패시턴스는, 수학적 1에 표현된 바와 같이, 2 개의 전극들 사이의 전위 차로 인해 전극들 중 하나에서 유도된 전하에 의해 주어지고, 전위 차로 계산된다.

수학적 1

[0022]
$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

[0023] 2 개의 병렬 전극들은 거리 d만큼 분리된다. 2 개의 전극들 사이의 커패시턴스는 필드 벤딩의 효과들 및 유전체의 비균질성(non-homogeneity)을 무시하여 수학적 2에 의해 주어지고,

수학적 2

[0024]
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

[0025] 여기서, C는 2 개의 전극들 사이의 커패시턴스(F)이고, A는 2 개의 전극들의 중첩 면적(m²)이고, ϵ_0 은 자유 공간의 유전율(8.85 x 10¹² F/m)이고, ϵ_r 은 전극들 사이의 매체의 비유전율이고, d는 전극들 사이의 거리(m)이다.

[0026] 교류 전류원(13)이 병렬판 커패시터를 대전하는데 사용될 때, 전압 전위는 전극들의 임피던스에 의존하여 전극들 사이에서 상승한다. 병렬판 커패시턴스의 임피던스는 수학식 3에 의해 주어지고,

수학식 3

$$Z = \frac{1}{2\pi f C}$$

[0027]

[0028]

여기서, Z는 임피던스(Ω)이고, f는 주파수(Hz)이고, C는 커패시턴스(F)이다.

[0029]

수학식 3으로부터, 용량성 임피던스가 커패시턴스의 값 및 커패시터에 인가된 신호의 주파수에 반비례한다는 것을 알 수 있다. 용량성 센서의 경우에, 용량성 센서의 임피던스의 변화에 대응하는 전기 파라미터(전압 또는 전류)의 변화가 측정된다. 용량성 센서에 인가된 신호의 주파수가 일정하게 유지될 때, 임피던스는 커패시턴스의 변화에 반비례하게 될 수 있다. 수학식 2는 커패시턴스가 용량성 센서 전극들의 중첩 면적에 직접적으로 비례하고, 전극들 사이의 거리에서의 변화에 반비례한다는 것을 보여준다. 수학식 2 및 수학식 3을 조합하는 것은 수학식 4를 산출하고,

수학식 4

$$v = \frac{d}{2\pi f \epsilon_0 \epsilon_r A} \cdot i$$

[0030]

[0031]

여기서, i = 전류이다.

[0032]

전극 중첩 면적 및 용량성 센서에 인가된 전기 신호(전류)의 주파수를 일정하게 유지함으로써, 전극들 사이의 거리에서의 변화는 용량성 센서의 임피던스의 변화를 야기한다. 용량성 센서에 걸친 전압은 임피던스에 비례하고, 용량성 센서 전극들 사이의 거리(d)에 비례할 것이며, 이는 거리의 정확한 측정을 가능하게 한다. 다양한 측정 개념들이 후술되는 바와 같이 사용될 수 있다.

[0033]

용량성 센서에 대한 측정 원리

[0034]

도 3은 접지된 도전성 타겟(9)에 대한 분리 거리를 측정하는 단일 용량성 센서 프로브(1)를 도시한다. AC 전류가 공급될 때, 전류는 센서-타겟 커패시턴스(16)를 통해 용량성 센서로부터 타겟으로, 및 타겟-접지 임피던스(17)를 통해 타겟으로부터 접지로의 경로(15)를 따라 흐를 것이다. 거리 측정에 영향을 주는 외부 영향들 또는 변동들로부터의 외란들은 전압(19)으로서 도면에 표현된다. 용량성 센서로부터 타겟으로의 거리 측정의 정확성은 용량성 센서가 센서-타겟 커패시턴스(16)를 얼마나 정확하게 측정할 수 있는지에 의존한다. 타겟-접지 임피던스(17)의 커패시턴스는 센서-타겟 커패시턴스(16)를 종종 크게 초과할 것이고, 타겟이 잘 접지되지 않을 때보다 100 배를 초과할 수 있다. 이러한 높은 커패시턴스는 낮은 임피던스(17)를 야기하여, 용량성 센서에 대한 그의 효과가 작다. 그러나, 임피던스(17)의 변동들은 거리 측정에 영향을 줄 것이고, 이것은 이러한 효과를 최소화하는데 바람직하다.

[0035]

도 4는 타겟(9)에 대한 분리 거리의 차동 측정을 위한 2 개의 용량성 센서 프로브들(1a 및 1b)의 어레이먼트를 도시한다. 용량성 센서들에는 180도만큼 오프셋된 AC 전류가 공급되어, 전류를 센서-타겟 커패시턴스(16a)를 통해 하나의 용량성 센서로부터 타겟으로, 및 다른 센서-타겟 커패시턴스(16b)를 통해 타겟으로부터 다른 용량성 센서로의 경로(18)를 따라 흐를 수 있다. 위상차를 갖는 신호들로 2 개의 용량성 센서들을 구동시키기 위한 이러한 어레이먼트는 타겟을 통한 접지로의 전류의 흐름을 회피하는데 유효하고, 접지 임피던스(17)에 대한 타겟의 효과를 최소화한다. 이것이 접지된 복귀 경로를 필요로 하지 않고 하나의 용량성 센서로부터 다른 용량성 센서로 전류가 흐르도록 허용하기 때문에, 이것은 또한 비접지된 타겟에 대해 유용하다. 위상차를 갖는 신호들로 용량성 센서들을 여기하는 이러한 어레이먼트는, 한 쌍의 용량성 센서들 중 각각의 용량성 센서로부터 별도 및 독립적인 커패시턴스(및 거리) 측정을 유도하는 종래의 측정 시스템에서 사용될 수 있다. 각각의 용량성 센서는 타겟에 대한 거리를 개별적으로 측정한다. 외란(19)은 2 개의 외란 전압들(19a 및 19b)에 의해서 도 4에 표현되고, 전압(19)의 절반값 각각은 각각의 용량성 센서에 동일하게 영향을 주는 공통 모드 외란

(disturbance)에 대한 것이다.

[0036] 차동 측정 어레인지먼트는 또한 용량성 센서들에 공급되는 위상차를 갖는 신호들과 관련하여 사용될 수 있다. 이러한 어레인지먼트에서, 2 개의 용량성 센서들로부터의 출력들은, 용량성 센서(1a)의 센서-타겟 커패시턴스(16a)가 그의 양의 절반 주기 동안에 용량성 센서(1a)의 구동 전압에 의해, 또한 그의 양의 절반 주기 동안에 용량성 센서(1b)의 구동 전압에 의해 대전되고, 한편 용량성 센서(1b)의 센서-타겟 커패시턴스(16b)는 그의 음의 절반 주기 동안에 용량성 센서(1b)의 구동 전압에 의해 및 또한 그의 음의 절반 주기 동안에 용량성 센서(1a)의 구동 전압에 의해 대전되는 그런 방식으로 결합된다. 따라서, 각각의 용량성 센서로부터의 출력 신호는 2 개의 용량성 센서들 및 타겟 사이의 평균 거리에 대응한다.

[0037] 용량성 센서들에는 일정한 슬로프 및 진폭을 갖는 삼각 전압 파형으로 동력이 공급되어, 용량성 센서의 커패시턴스로의 대략적으로 구형파 전류 흐름, 즉, 절반 주기에서 대략적으로 일정한 양의 전류 흐름 및 다른 절반 주기에서 대략적으로 일정한 음의 전류 흐름을 야기한다. 실제로, 전류는 각각의 절반 주기 동안에 실질적으로 정상 상태로 상승하여, 정상-상태 전류 흐름이 도달될 때 각각의 절반 주기의 후반부 동안에 측정들이 바람직하게 이루어진다.

[0038] 용량성 센서를 통한 전류 및 연관된 용량성 센서 커패시턴스가 측정되고, 부가적인 프로세싱을 위해 전압으로 변환될 수 있다. 차동 쌍의 각각의 용량성 센서에 대한 결과적인 값들은 공통 모드 외란들을 감소시키거나 제거하도록 조합될 수 있다. 예를 들면, 양의 전류 흐름 주기 동안에 용량성 센서(1a)를 통한 정상-상태 전류 및 양의 전류 흐름 주기 동안에 용량성 센서(1b)를 통한 정상-상태 전류가 합산될 수 있고, 마찬가지로, 음의 전류 흐름 주기 동안에 용량성 센서(1a)를 통한 정상-상태 전류 및 음의 전류 흐름 주기 동안에 용량성 센서(1b)를 통한 정상-상태 전류가 합산될 수 있다. 합산된 음의 주기 값으로부터 합산된 양의 주기 값을 감산하는 것은 차동 센서 신호, 즉, $V_{diff} = (V_{1pos} + V_{2pos}) - (V_{1neg} + V_{2neg})$ 를 산출한다.

[0039] 한 쌍의 용량성 센서들의 근접도 및 위상차를 갖는 구동으로 인해, 용량성 센서 전류는 용량성 센서 쌍 하에서 센서-타겟 커패시턴스들(16a 및 16b) 양자를 충전 및 방전시켜서, 각각의 측정 값은 타겟에 대한 각각의 용량성 센서의 거리 간의 평균이다. 이것은 용량성 센서 쌍 간의 거리 및 2 개의 용량성 센서 간의 타겟 중간 상의 지점으로서 간주될 수 있다. 각각의 측정 값은 임의의 외란들, 예를 들면, 도 4에 도시된 외란들(19a 및 19b)에 의해 영향을 받을 것이다. 이러한 외란들은 양의 주기 값들 및 음의 주기 값들 양자에서 존재하지만, 차동 센서 신호를 제공하기 위해 양의 값 및 음의 값을 감산함으로써 측정으로 근본적으로 제거된다. 이러한 어레인지먼트의 이점은, 개별적인 용량성 센서들 상의 공통 모드 외란들이 측정 동안에 상쇄된다는 것이다. 측정 동안에 일정하게 유지되는 2 개의 용량성 센서들 내의 임의의 차이들은 정확한 측정을 야기하기 위해 상쇄될 수 있다. 차동 측정 어레인지먼트는 타겟-접지 커패시턴스의 영향을 크게 감소시키고, 센싱 시스템의 감도를 증가시킨다.

[0040] 센서들의 구조

[0041] 도 5는 박막 구조를 포함하는 용량성 센서의 단면도를 도시한다. 도전성 센싱 전극(31) 및 도전성 측면 가드 전극(32)은 절연막(34) 상에 형성되거나 절연막(34)에 부착된다. 도전성 후방 가드 전극(35)은 절연막(34)의 후방측 상에 배치된다. 센싱 전극 및 가드 전극 사이의 갭(39)은 좁고, 통상적으로 마이크로미터들의 수십분의 일이고, 에어 갭일 수 있거나, 절연 재료로 충전된다.

[0042] 센싱 전극 및 타겟 사이에 생성된 전기장은 센싱 전극의 에지들 근처에서 굴절된다. 센싱 전극의 에지 근처의 도전체의 존재는 전기장 및 따라서 용량성 센서의 측정에 대해 크고 예측 불가능한 효과를 가질 수 있다. 이러한 상황을 회피하기 위해(및 전기장이 분석적으로 계산될 수 있도록 모델에 대해 용량성 센서 측정을 더 예측 가능하고 더 용이하게 하기 위해), 센싱 전극은 센싱 전극과 동일한 전위에 의해 동력이 공급되는 가드 전극에 의해 둘러싸인다. 가드 전극은 외부 간섭에 대해 차폐로서 기능하고, 또한 센싱 전극 아래의 센싱 영역 외부의 전기장 굴절 효과들을 이동시켜서, 기생 커패시턴스를 감소시킨다. 전기장은 센싱 전극 및 타겟 사이의 전기장의 한 측면 상에서 가드 전극과 타겟 사이에서 생성된다. 센싱 전극과 가드 전극이 동일한 전위에 있기 때문에, 센싱 전극과 가드 전극 사이에 어떠한 전기장도 생성되지 않는다. 이것은, 필드 밴딩이 가드 전극들의 외부 에지들에서 발생하는 동안에 센싱 전극 아래의 영역에서 실질적으로 균질 전기장을 발생시킨다.

[0043] 센싱 전극(31)의 영역은 타겟으로부터 센싱 전극을 분리시키는 거리와 비교하여 커야 한다. 또한, 센싱 전극(31)과 측면 가드 전극(32) 사이의 갭(39)은 센싱 전극과 타겟 사이의 거리와 비교하여 작아야 하고, 측면 가드 전극(32)의 폭은 센싱 전극과 타겟 사이의 거리와 비교하여 커야 한다. 일 실시예에서, 센싱 전극의 폭은 센싱

전극과 타겟 사이의 거리의 적어도 5 배이고, 센싱 전극과 가드 전극 사이의 갭은 센싱 전극과 타겟 사이의 거리의 1/5 이하이고, 가드 전극의 폭은 센싱 전극과 타겟 사이의 거리의 적어도 5 배이다. 다음의 이러한 비교 설계 규칙들은 용량성 센서 설계 규칙들의 실시예에 높은 예측 가능한 커패시턴스, 예를 들면, 1 ppm의 커패시턴스의 예측 가능성을 제공한다. 예측 가능성은 본원에서, 위의 수학적 2의 이상적인 판-거리 커패시턴스 공식이 무한 전극 차원들 대신에 유한 전극 차원들에 대한 커패시턴스를 계산하는데 사용되는 경우에 발생하는 상대적인 에러로서 규정된다.

[0044] 측정되는 센싱 전극과 타겟 사이의 센싱 커패시턴스(C_1) 이외에, 용량성 센서는 구조의 개별적인 엘리먼트들 각각의 사이에서 진성 기생 커패시턴스들(C_2 및 C_3)을 갖는다. 기생 커패시턴스들(C_2 및 C_3)은 측정되는 커패시턴스(C_1)와 비교하여 작다. 도 5의 실시예에서, 기생 커패시턴스는 센싱 전극과 측면 가드 전극들 사이의 커패시턴스(C_2) 및 센싱 전극과 후방 가드 전극 사이의 커패시턴스(C_3)를 포함한다.

[0045] 용량성 센서의 일 실시예에서, 센싱 전극과 타겟 사이의 센싱 커패시턴스(C_1)는 0.1 pF 내지 1 pF이고, 반면에, 센싱 전극과 측면 가드 전극 사이의 기생 커패시턴스(C_2)는 100 내지 1000배만큼 더 작고, 통상적으로 약 0.001 pF(즉, 10^{-15} F)의 인수이다. 센싱 전극과 후방 전극 사이의 기생 커패시턴스(C_3)는 통상적으로 더 크고, 통상적으로 약 1 내지 1000 pF(즉, 10^{-12} F 내지 10^{-9} F)이 우세하다. 이러한 기생 커패시턴스들의 효과는 센싱 전극과 동일한 전위로 가드 전극에 동력을 공급함으로써 감소된다. 이것은 측면 가드 및 센싱 전극들을 전기적으로 접속함으로써, 또는 아래에 더 상세히 논의되는 능동 가드의 사용에 의해 성취될 수 있다. 능동 가드는 또한 후방 가드 전극에서 사용될 수 있다.

[0046] 진공 챔버 내의 청정 환경에서 동작하는 리소그래피 기계들을 사용한 애플리케이션들에 대해, 용량성 센서들은 진공 환경 내에 있을 때 매우 낮은 레벨들의 오염들을 발산하도록 구성되는 것이 바람직하다. 보호층은, 특히 진공 환경을 오염시킬 수 있는 재료들이 사용되는 경우에 캡톤 폴리이미드 막 또는 유사한 보호막과 같이 이러한 형태의 애플리케이션에서 사용되는 용량성 센서들을 위한 도전체들 위에 형성될 수 있다. 도 6a 내지 도 6d는 보호층들(37 및 38)을 포함하는 박막 용량성 센서의 다양한 실시예들의 단면도들을 도시하고, 도 6e는 도 6a 및 도 6b의 센서의 상면도를 도시하고, 도 6f는 도 6d의 센서의 상면도를 도시한다.

[0047] 도 6a는 절연막(34)의 하나의 표면 상에 형성되거나 이에 부착되는 측면 가드 전극(32) 및 센싱 전극(31), 및 막(34)의 다른 표면 상의 후방 가드 전극(35)을 갖는 실시예의 단면도를 도시한다. 용량성 센서는, 통상적으로, 거리 측정을 요구하는 장비의 구조의 일부분인 판(40)에 부착되거나, 상기 구조의 부분, 예를 들면, 용량성 센서가 렌즈 아래의 웨이퍼 및 투사 렌즈 사이의 거리를 측정하는 경우에 리소그래피 기계의 투사 렌즈 주변에 장착판 또는 스페이서 판에 부착될 수 있다. 판(40)은 도전성일 수 있고, 따라서, 또한 용량성 센서에 대한 차폐 전극으로서 역할을 한다.

[0048] 도 6b는 용량성 센서의 구조의 일부분으로서 제 2 절연막(43) 상에 형성되거나 이에 부착되는 도전성 차폐 전극(44)을 갖는 대안적인 실시예를 도시한다. 이러한 구조는 용량성 센서가 비도전성 표면에 장착되는 것을 가능하게 한다. 도전성 표면에 장착될지라도, 이것은 어느 정도 일관성 및 차폐 전극의 기능을 보장한다. 용량성 센서 구조의 일부분으로서 차폐 전극(44)의 포함은 또한, 그렇지 않다면 지지 표면으로부터 획득될 수 있는 독립적인 접지 전위를 제공한다. 예를 들면, 용량성 센서가 전자 빔 리소그래피 시스템 상에서 사용될 때, 기계로부터의 접지 전위는 투사 렌즈로부터의 전기적 잡음에 의해 영향을 받을 수 있다. 이것은 또한 용량성 센서 차폐 전극이 측정 회로 및 용량성 센서를 측정 회로에 접속하는 케이블들과 동일한 접지를 갖는 것을 가능하게 한다.

[0049] 이것은 용량성 센서 차폐 전극을 접속 케이블로 차폐 도전체에 접속함으로써 성취될 수 있고, 접속 케이블은 그 후 측정 회로들에 의해 사용되는 접지점에 접속된다. 이것은 용량성 센서 및 측정 전자 기기에 대한 개별적인 접지들을 갖는 것을 회피시킨다. 3 개의 도전체 케이블, 예를 들면, 삼축 케이블에 접속될 때, 이러한 구조는 또한 삼축 케이블의 차폐 도전체에 대한 차폐 전극의 접속을 포함하여, 차폐 전극을 포함하는 용량성 센서의 3 개의 도전층들 각각과 삼축 케이블의 대응하는 도전체 사이의 접속을 위해 배열되는 접속점들이 독립적인 접지 전위를 회로로부터의 용량성 센서에 제공하는 것을 가능하게 한다.

[0050] 도 6c는 차폐 전극(44)에 전기적으로 접속된 외부 측면 가드 전극(33)을 포함하는 또 다른 실시예를 예시한다. 이러한 접속은 각각의 레벨 상에서 도전층들의 부분들 사이의 전기적 접속을 허용하기 위해, 예를 들면, 레이저

에 의해 절연층들(34 및 43)에 구멍들 또는 비아들을 형성함으로써 이루어질 수 있다.

[0051] 도 6d는 센싱 전극과 동일한 레벨 또는 표면 상에 측면 가드 전극들이 없는 또 다른 실시예를 도시한다. 측면 가드 전극들은, 비교적 균일한 전기장이 센싱 전극과 타겟 사이에서 생성되고 용량성 센서 근처에 위치한 도전체들의 용량성 센서에 대한 효과를 감소시키도록 센싱 영역 내의 센싱 전극에 의해 생성되는 전기장을 국한시키기 위해 상술된 바와 같은 종래의 설계들에서 필요한 것으로 항상 고려되고 있다. 용량성 센서 전극을 둘러싸기 위해 용량성 센서 전극과 동일한 평면을 향해 아래로 연장되는 가드 전극은, 예를 들면, 도 1a에 도시된 바와 같은 비교적 키가 크고 대형인 종래의 구조들에서 요구되었다. 측면 가드 전극들은 마찬가지로 가드 전극을 용량성 센서 전극과 동일한 레벨로 배치하기 위해 박막 설계들에서 필수적인 것으로 고려되었다. 측면 가드 전극들은 후방 가드 전극에 전기적으로 접속되는 것이 바람직하지만, 이러한 어레인지먼트는 난관들이 있는 이러한 2 개의 전극들 사이의 전기적 접속을 하는 것을 요구한다. 도 6a 내지 도 6c에 도시된 설계들에서, 이러한 접속은 절연층(34)을 통해 이루어진다. 작은 크기의 용량성 센서 및 얇은 절연층(34)으로 인해, 절연층에서 올바른 크기 및 위치의 구멍들을 정확히 제조하는 것이 어렵다. 레이저는 이러한 목적을 위해 사용될 수 있지만, 제조 프로세스는 더 복잡하고 비용이 많이 들게 된다.

[0052] 그러나, 박막 센서의 막들이 충분히 얇기 때문에, 센싱 전극과 동일한 레벨의 측면 가드 전극들이 필요로 되지 않는다는 것이 알려져 있다. 후방 가드 전극(35)보다 작은 센싱 전극(31)을 갖는 용량성 센서를 설계함으로써 동일한 효과가 성취될 수 있어서, 후방 가드 전극의 주변부는 센싱 전극 넘어 측면으로 연장되고, 센싱 전극을 둘러싼다. 그 후, 후방 가드 전극의 이러한 주변부는 측면 가드 전극으로서 수행한다. 후방 가드 전극(35)의 주변부로부터 발산되는 전기장은 절연층(34)을 통해 연장되고, 센싱 영역 내의 센싱 전극에 의해 생성된 전기장을 국한시키도록 동작하여, 비교적 균일한 전기장이 센싱 전극과 타겟 사이에서 생성된다. 용량성 센서 근처에 배치된 도전체에 의해 야기되는 전기장 굴절은 센싱 전극보다는 후방 가드 전극의 주변부의 외부 에지들에서 발생한다. 결과는, 제조하기에 덜 복잡하고, 그래서 생산하기에 더 저렴하지만, 용량성 센서 근처에 위치한 도전체에 의해 발생하는 외란들에 대한 감소된 감도로 센싱 전극 아래의 영역에서 실질적으로 균질 전기장을 생성할 수 있는 더 간단한 설계이다.

[0053] 도 6a 및 도 6b의 실시예의 상면도가 도 6e에 도시되고, 여기서 센싱 전극(31)은 원형 형상으로 형성되고, "C"형상의 측면 가드 전극(32)은 센싱 전극을 거의 완전히 둘러싸고, 센싱 전극(31)의 주변 둘레의 2 개의 전극들 사이에 좁은 갭을 남긴다. 이러한 실시예에서, 측면 가드 전극(32) 및 후방 전극(35)은, 가드 및 후방 전극들이 전기적으로 접촉하도록 허용하는 절연막(34) 내의 개구(37)에 의해 선택적으로 전기적으로 접속된다. 다른 형상들이 사용될 수 있거나 및/또는 다수의 개구들이 사용될 수 있지만, 본 실시예에서 단일의 "C"형상의 개구가 사용된다. 가드 및 후방 전극들을 접속하는 것은 그들 사이에 임의의 커패시턴스의 효과를 제거하기 위해 양자의 전극들을 동일한 전위에 놓고, 능동 가딩을 사용함으로써, 가드 및 후방 전극들과 센싱 전극 사이의 임의의 커패시턴스의 효과가 또한 제거될 수 있다.

[0054] 도 6e의 실시예에서, 내부 센싱 전극(31)은 센싱 전극으로부터 외부 신호 프로세싱 회로들로의 전기적 접속을 하기 위한 접속 라인들(41)을 형성하는 하나 이상의 연장부들을 갖고, 측면 가드 전극(32)은 마찬가지로 전기적 접속들을 하기 위한 접속 라인들(42)을 형성하는 하나 이상의 연장부들을 갖는다. 센싱 전극(31), 측면 가드 전극(32), 접속 라인들(41 및 42)은 박막들로부터 형성된다. 도시된 실시예에서, 전극들(31 및 32) 및 접속 라인들(41 및 42)은 모두 동일한 평면 내에 있고, 레이저를 사용하여 막 제거 부분들을 증착 또는 형성함으로써, 에칭 또는 다른 적절한 제거 기술들에 의해 동일한 박막으로부터 형성될 수 있다. 측면 가드 전극(32)은 센싱 전극과 신호 프로세싱 회로들 사이에 전기적 접속을 제공하기 위해 센싱 전극으로부터 외부로 연장되도록 접속 라인들(41)을 위한 작은 갭을 남겨두고 실질적으로 센싱 전극(31)을 둘러싼다. 접속 라인들은 또한 용량성 센서의 설계에서 고려되어야 하는 기생 커패시턴스를 부가한다.

[0055] 도 6d의 실시예의 상면도가 도 6f에 도시된다(후방 가드 전극(35)이 보일 수 있도록 절연층(34)이 도시되지 않음). 이것은 센싱 전극과 동일한 레벨에서의 측면 가드 전극들의 부재를 제외하고 도 6e의 실시예와 유사하다. 이러한 관점에서, 후방 가드 전극(35)의 주변 영역(35a)은 측면 가드 전극으로서 기능한다. 용량성 센서는 상술된 도 6e의 실시예와 동일한 방식으로 구성될 수 있고, 접속 라인들(41 및 42)은 상술된 바와 같은 전기적 접속들을 제공하기 위해 센싱 및 후방 가드 전극들로부터 외부로 연장된다.

[0056] 이러한 실시예들에서, 전극들(31 및 35), 및 이들이 포함되는 전극들(32 및 44)은 약 18 미크론 두께로 도전층들로부터 형성될 수 있고, 절연막들(34 및 43)은 약 25 미크론 두께일 수 있고, 보호층들(37, 38)은 약 50 미크론 두께일 수 있다. 박막 센서는 약 100-200 미크론의 총 두께, 및 50-150 미크론, 바람직하게는 약 100 미크

론의 용량성 센서 구조의 후방 표면과 센싱 전극의 전방 표면(즉, 거리 측정이 이루어지는 방향을 대면하는 표면) 사이의 두께로 구성될 수 있다. 박막 구조, 작은 영역, 및 용량성 센서의 매우 작은 높이(두께)는, 이용 가능한 공간이 매우 적고(xmrgl, 이용 가능한 높이가 제한되고), 용량성 센서들 사이 또는 용량성 센서들과 다른 장비 사이의 가까운 간격이 요구되는 애플리케이션들에 용량성 센서들을 적용하는 것을 가능하게 한다.

[0057] 도 6a 내지 도 6f에 도시된 작은 크기의 박막 센서(및 후술되는 다른 실시예들에 또한 도시됨)는 많은 이점들을 제공한다. 박막 구조는 최소의 높이를 발생시키고, 용량성 센서의 폭 또는 면적이 또한 매우 작을 수 있다. 이것은 거리 측정이 요구되는 지점에 근접하게 용량성 센서가 장착되는 것을 가능하게 한다. 투사 렌즈 및 노출되는 타겟 사이의 거리를 측정하기 위한 리소그래피 기계에서 사용될 때, 용량성 센서들은 투사 렌즈 옆에 및 동일한 장착 구조 상에 장착될 수 있어서, 용량성 센서들 및 투사 렌즈 양자가 동일한 기준점에 고정된다. 이것은 용량성 센서들과 투사 렌즈 사이의 상대적인 이동으로 인한 에러들을 크게 감소시키고, 용량성 센서 장착 변동에 대한 정정에 대한 필요성을 제거하고, 조정에 대한 요건들을 감소시킨다. 작은 크기의 용량성 센서는 또한 용량성 센서 자체에 대한 평탄 요건들을 감소시킨다.

[0058] 도 7 및 도 8은 센싱 전극(31)과 후방 전극 사이에만 절연층(34)이 형성되어 측면 가드 전극(32) 및 후방 전극(35)이 서로에 직접적으로 접촉할 수 있는 박막 센서의 부가적인 실시예들을 도시한다.

[0059] 도 7a는 정사각형 센싱 전극을 갖는 용량성 센서의 상면도를 도시하고, 도 7b는 상기 용량성 센서의 단면도를 도시한다. 일 실시예에서, 정사각형 용량성 센서는 용량성 센서와 타겟 사이에 100 미크론의 공칭 거리에서 1 pF의 공칭 센서 커패시턴스(센싱 전극과 타겟 사이의 커패시턴스 C_1)를 갖도록 설계된다. 센싱 전극은 3.5 mm(+/- 0.01 mm)의 폭 및 12.25 mm²의 면적을 갖는다. 가드 전극은 1.5 mm(+/- 0.01 mm)의 폭을 갖고, 센싱 전극과 가드 전극 사이의 갭은 0.015 mm(+/- 0.001 mm)이다. 또 다른 실시예에서, 용량성 센서는 용량성 센서와 타겟 사이에 100 미크론의 공칭 거리에서 10 pF의 공칭 센서 커패시턴스를 갖도록 설계된다. 센싱 전극은 11 mm(+/- 0.01 mm)의 폭 및 121 mm²의 면적을 갖는다. 가드 전극 폭 및 갭은 각각 1.5 mm(+/- 0.01 mm) 및 0.015 mm(+/- 0.001 mm)에서 불변한다.

[0060] 도 8a는 원형 센싱 전극을 갖는 용량성 센서의 상면도를 도시하고, 도 8b는 상기 용량성 센서의 단면도를 도시한다. 하나의 실시예에서, 원형 센서는 용량성 센서와 타겟 사이의 100 미크론의 공칭 거리에서 1 pF의 공칭 센서 커패시턴스를 갖도록 설계된다. 센싱 전극은 4 mm(+/- 0.001 mm)의 지름 및 12.25 mm²의 면적을 갖는다. 가드 전극은 4.015 mm(+/- 0.001 mm)의 내부 지름 및 8 mm(+/- 0.001 mm)의 외부 지름을 갖는다. 또 다른 실시예에서, 원형 센서는 센서와 타겟 사이의 100 미크론의 공칭 거리에서 10 pF의 공칭 센서 커패시턴스를 갖도록 설계된다. 센싱 전극은 6.2 mm(+/- 0.001 mm)의 지름 및 121 mm²의 면적을 갖는다. 가드 전극은 6.215 mm(+/- 0.001 mm)의 내부 지름 및 12.4 mm(+/- 0.001 mm)의 외부 지름을 갖는다.

[0061] 도 5 내지 도 8의 실시예들은 용량성 센서와 타겟 사이에 80 - 180 미크론의 측정 범위(센싱 전극 표면에 수직인 z 축에서)를 갖도록 구성될 수 있다. 용량성 센서들의 치수들은 당업자에 의해 인지될 바와 같이 상이한 측정 범위를 수용하도록 변경될 수 있다.

[0062] 도 5 내지 도 8의 실시예들은 또한 재료의 훨씬 더 얇은 층들, 예를 들면, 100 nm(+/- 10 nm)의 두께를 갖는 센싱 전극(31), 두께 150 nm(+/- 10 nm)의 측면 가드 전극(32)(포함되는 경우) 및 후방 전극(35), 및 두께 50 nm(+/- 10 nm)의 절연층(34)을 성취하기 위해 리소그래피 기술들을 사용하여 제조될 수 있다. 이러한 실시예들에서 센싱 전극은 용량성 센서의 전체 치수들을 최소화하면서 용량성 센서의 감도를 최대화하기 위한 대형 센싱 영역을 제공하는 정사각형 또는 원형이다. 그러나, 용량성 센서는 이러한 형상들로부터 이탈할 수 있고, 센싱 전극(및 유사하게 가드 전극들)은 센싱 영역을 최대화하기 위해 직사각형, 타원형 또는 다른 형상의 형태를 취한다.

[0063] 도 5 내지 도 8의 실시예들은 전극들(31, 32)에 대한 도전층이 절연층(35) 상에 증착되거나 접착제 또는 결합층을 사용하여 절연층에 부착되도록 구성될 수 있다. 센싱 전극 및 가드 전극 사이의 갭(39)은 센싱 전극 및 가드 전극 양자에 대한 단일의 도전층을 형성하고, 레이저를 사용하여 재료를 제거하거나 갭을 생성하기 위해 에칭함으로써 형성될 수 있다. 레이저는 매우 작은 갭 폭들을 제조하는데 바람직하고, 작은 편차로 25 미크론 폭의 갭을 제조하는데 사용될 수 있고, 한편 에칭은 일반적으로 덜 정밀하다.

[0064] 용량성 센서들은, 다양한 기술들을 사용하여, 예를 들면, 리소그래피 기술들, MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기술, 또는 가요성 인쇄 회로 기술을 사용하여 제조될 수 있다. 가요성 인쇄 회로 기술을 사용하여,

절연층(34)은, 캡톤 폴리이미드 막 또는 유사한 가요성 절연막과 같이 적절한 재료의 가요성 시트 또는 테이프로서 제공될 수 있다. 도전성 전극들(31, 32 및 35)은 구리 또는 다른 적절한 도전성 재료의 박층으로 형성되고, 접착제를 사용하여 절연층(34)에 고정되고, 예를 들면, 직접 금속화 프로세스를 사용하는 것과 같이 무접착제 적층판(adhesiveless laminate)으로서 형성되거나, 도전성 잉크들 또는 다른 적절한 인쇄 기술들을 사용하여 절연층 상에 인쇄될 수 있다. 보호 절연막들(37 및 38)은 층(34)과 동일한 형태들의 재료들로 형성될 수 있다.

[0065] 가요성 인쇄 박막 센서는 제조하기에 용이하고, 신속하게 제조되어 제조를 위해 짧은 리드 시간을 초래한다. 용량성 센서는 용량성 센서로부터 신호 프로세싱 회로로의 강인한 접속들로 제조될 수 있다. 작은 크기는 거리가 측정되는 지점에서 또는 그 지점 매우 근처에서 배치에 대한 더 많은 유연성을 제공한다. 용량성 센서들은 센싱 시스템을 신속하고 간단하게 조립하기 위해 개별적인 센서 엘리먼트들로서 적소에서 접촉될 수 있다. 개별적인 용량성 센서들의 평탄도 및 기울기는 용량성 센서들이 적소에서 접촉되고 측정 절차에서 조정된 후에 점검될 수 있다. 절연층들에 대해 재료의 가요성 시트가 사용될 때, 전체 용량성 센서는 유연하게 구성될 수 있다.

[0066] 위의 실시예들 중 일부에서 센싱 전극 및 측면 가드 전극 사이의 갭 폭은 상술된 비교 설계 규칙들을 충족하지 않고, 예를 들면, 센싱 전극과 가드 전극 사이의 갭이 센싱 전극과 타겟 사이의 거리의 1/5을 초과한다. 그러나, 박막 구조의 이점들은 용량성 센서들의 많은 애플리케이션들에 대해 이것을 능가한다.

[0067] 도 9a 내지 도 9c는 단일 통합 유닛으로서 구성된 용량성 센서 쌍의 다양한 실시예들을 도시한다. 이러한 실시예들에서, 통합 유닛은 2 개의 용량성 센서들(30a 및 30b)을 포함하고, 각각의 용량성 센서는 그 자신의 센싱 전극(31a, 31b) 및 후방 가드 전극(35a, 35b)을 갖는다. 도 9a의 용량성 센서는 차폐 전극으로서 도전판(40)을 사용하고, 도 9b 및 도 9c의 용량성 센서들은 용량성 센서 쌍과 통합된 단일 차폐 전극(44)을 공유한다. 도 9c의 실시예에서, 용량성 센서는 차폐 전극(44)과 판(40) 사이의 접촉점들 또는 라인들(56)을 사용하여 판(40)에 고정된다. 판(40)이 도전성일 때, 도전성 접착제는 차폐 전극을 더 효과적으로 접지하기 위해 판(40) 및 차폐 전극(44)을 전기적으로 접속하는데 사용될 수 있다. 2 개의 용량성 센서들(30a, 30b)은 상술된 바와 같은 차동 쌍으로서 동작되는 것이 바람직하고, 여기서 각각의 용량성 센서는 용량성 센서 쌍 중 다른 용량성 센서로부터 위상차, 바람직하게는 180 도 위상차를 갖는 전압 또는 전류에 의해 구동되고, 공통 모드 에러들을 상쇄하기 위해 차동 측정이 이루어진다.

[0068] 도 9d는 차동 센서 쌍의 상면도를 도시한다. 후방 가드 및 센싱 전극들은, 예를 들면, 도 20d 및 도 21b에 도시된 영역들(115) 내에 맞춰지도록 설계된 둥근 사각형 형상으로 형성된다. 이러한 형상은 최고의 분해능 측정들을 생성하기 위한 영역(115)의 범위 내의 센싱 전극들에 대한 최대 영역을 발생시킨다. 전극들은 또한 최대 영역 센싱 전극들을 생성하기 위해 영역(115) 내에 또한 단단히 맞춰지는 원형 형상들로 형성될 수 있다.

[0069] 도 10a 내지 도 10d는 용량성 센서 기관에 대해 상이한 재료들을 사용하는 박막 용량성 센서에 대한 다양한 구성들을 도시한다. 이러한 실시예들은, 매우 작은 갭 크기들을 갖는 매우 정밀하게 형상화된 전극들의 제조를 허용하는 리소그래픽 기술들을 사용하여 구조에 대해 적절하다. 이것은 용량성 센서가 상술된 비교 설계 규칙들을 만족시키도록 구성되도록 하여, 매우 작은 피쳐들 및 매우 작은 거리들을 측정하기 위한 매우 높은 분해능을 갖는다. 리소그래픽 프로세스들은 또한 접속 라인들 및 접촉/결합 패드들이 매우 작은 트랙 폭들 및 정밀한 치수들로 제조되도록 한다. 또한, 리소그래픽 프로세스들은 당업자에게 잘 알려져 있고, 일단 프로세스 흐름이 개발되면, 더 높은 분해능을 갖는 용량성 센서들의 제조에 용이하게 적용될 수 있다. 그러나, 프로세스의 초기 개발은 더 긴 제조 리드 시간을 초래하고, 상이한 프로세스 단계들을 검증하기 위해 짧은 루프 실험들을 요구할 것이다. 도 10a 내지 도 10d는 층들의 어레인지먼트들만을 도시하고, 측면 가드 전극을 도시하지 않지만, 포함되면, 측면 가드 전극은 센싱 전극과 동일한 층 상에 형성될 것이고, 도 10a 내지 도 10d는 측면 가드 전극 및 후방 가드 전극의 선택적인 접속을 도시하지 않는다.

[0070] 하나 이상의 용량성 센서들이 리소그래피 기계와 같은 기계 상에 장착되는 애플리케이션들에 대해, 이러한 실시예들에서의 기관은 2 개 이상의 용량성 센서에 대해 공통일 수 있어서, 용량성 센서들의 세트가 하나의 유닛으로 구성된다. 이러한 형태의 어레인지먼트의 예는 도 13a 내지 도 13d에 도시되고, 후술된다. 그후, 기관은 장착판에 접속될 수 있거나, 기관은 용량성 센서들을 기계에 장착하기 위한 장착판으로서 사용될 수 있다.

[0071] 도 10a의 실시예는 양자의 측면들 상에 형성된 절연층들(47a, 47b)을 갖는 실리콘 기관(45)을 갖는다. 센싱 전극(31)은 절연층들 중 하나의 표면 상에 형성되고, 후방 가드 전극(35)은 다른 절연층의 표면 상에 형성된다. 이러한 실시예는 효과적으로 기능하기 위해 가드 전극의 능동 바이어싱을 요구할 수 있고, 이는 용량성 센서가

고정된 판의 패터닝을 요구할 수 있다. 또한, 투사 렌즈와 용량성 센서들 사이의 용량성 결합이 문제가 될 수 있다.

[0072] 도 10b의 실시예는 제 1 절연층(47a), 제 1 절연층 상에 형성된 센싱 전극(31), 제 2 절연층(47b), 및 제 2 절연층 상에 형성된 후방 가드 전극(35)을 포함하여 하나의 측면 상에 형성된 다수의 층들을 갖는 실리콘 기판(45)을 갖는다. 이러한 실시예는 용량성 센서가 고정되는 장착판을 패터닝할 필요성을 회피하고, 또한 투사 렌즈와 용량성 센서들 사이의 용량성 결합을 회피한다. 그러나, 도 10a의 실시예와 비교하여, 부가적인 절연층이 요구된다.

[0073] 실리콘 기판은 양호한 절연체가 아니어서, 절연층들이 이러한 실시예들에 포함된다. 실리콘 기판의 부가적인 단점은, 실리콘 내의 불순물들로 인해 실리콘에서 기생 전류들이 생성될 수 있고 이러한 전류들이 용량성 센서의 커패시턴스 측정을 방해할 수 있다는 것이다.

[0074] 도 10c의 실시예는 하나의 표면 상에 형성된 센싱 전극(31) 및 다른 표면 상에 형성된 후방 전극(35)을 갖는 파이렉스 기판(46)을 갖는다. 능동 가동이 용량성 센서에서 감도의 감소 및 적은 양의 비선형성의 부가로 인해 생략될 수 있지만, 이러한 실시예는 또한 가드 전극들의 능동 바이어싱이 구현되는 경우 용량성 센서가 고정되는 판의 패터닝을 요구한다. 100 μm 의 기판 두께 및 16 μm 의 센싱 전극과 측면 가드 전극 사이의 갭을 갖는 이러한 구조를 갖는 실시예는, 150 kHz에서 50 μA 의 전류로 동력이 공급될 때, 용량성 센서와 타겟 사이의 0.8 μm 의 거리에서 약 11.5 V의 유효 출력 전압, 및 용량성 센서와 타겟 사이의 1.8 μm 의 거리에서 약 13.5 V의 유효 출력 전압을 생성할 수 있다.

[0075] 도 10d의 실시예는 가드 전극(49), 가드 전극 상에 형성된 절연층(47), 및 절연층 상에 형성된 센싱 전극(48)을 포함하여 하나의 측면 상에 형성된 다수의 층들을 갖는 파이렉스 기판(46)을 갖는다. 용량성 센서가 고정되는 판의 패터닝은 이러한 어레이먼트에 대해 요구되지 않고, 투사 렌즈 및 용량성 센서들 사이의 용량성 결합은 100 μm 파이렉스 층으로 인해 감소된다. 파이렉스는 양호한 절연체이고, 실리콘 실시예들에서 사용되는 절연층들은 파이렉스 기판을 사용하는 실시예들에 대해 생략될 수 있다.

[0076] 용량성 센서 전극들(센싱, 측면 가드 및 후방 가드 전극들)과 신호 프로세싱 시스템 사이에 전기적 접속들을 만드는 것은 작은 용량성 센서 엘리먼트들에 대한 강인한 저임피던스 접속을 만드는 것을 요구한다. 상기 접속은 용량성 센서 어레이먼트에서 부가적인 기생 커패시턴스들의 도입을 회피하면서 예상되는 기계적인 스트레스들을 견딜 수 있어야 한다. 리소그래픽 기계들을 사용한 용량성 센서 애플리케이션들에 대해, 접속들은 또한 진공 환경에 대한 오염물들을 발생시킬 재료들의 사용을 회피해야 한다.

[0077] 도 11은 용량성 센서로부터 신호 프로세싱 회로들로의 외부 접속들을 만들기 위한 접속 라인들(41 및 42)의 단부들에 형성되는 접속 패드들(50a, 50b)을 갖는 용량성 센서를 도시한다. 도 12a 및 도 12b는 용량성 센서 전극들에 대한 전기적 접속을 만들기 위한 접속 패드들의 구조의 단면도들을 도시한다. 이들은 특히 실리콘, 파이렉스 및 유사한 재료들의 기판들을 사용하는 실시예들에 대해 적합하다. 이러한 실시예들은 기판의 전방 측면 상에서 용량성 센서 전극들을 전기적으로 접속하기 위해 기판의 후방 측면 상에 접속 패드를 제공한다. 도 12a는 기판(55)을 통한 비아 구멍을 갖는 실시예를 도시한다. 도전성 접속 패드(50)는 실리콘 기판의 후방 측면 상에 형성되고, 도전성 접속(51)은 기판의 전방 측면 상의 도전층(52)과 접속하기 위해 비아 구멍을 통해 형성된다. 도 12b는 기판(55)의 에지에 걸쳐 이루어진 전기적 접속을 갖는 실시예를 도시한다. 도전성 접속 패드(50)는 기판의 후방 측면 상에 형성되고, 도전성 접속(51)은 기판의 전방 측면 상의 도전층(52)과 접속하기 위한 기판의 에지에서 형성된다.

[0078] 실리콘 또는 다른 비유전체 기판을 사용하는 실시예들에 대해, 절연층(53)은 기판으로부터 도전층(52)을 분리하고, 작은 절연층(54)은 기판으로부터 접속 패드(50)를 분리한다. 비아 구멍은 또한 도 12a의 절연층으로 코팅되고, 도전성 접속(51) 하에서 기판의 에지는 도 12b의 절연층으로 코팅된다. 접속 패드에서 요구되는 부가적인 절연층은 부가적인 작은 기생 커패시턴스가 생기게 한다. 파이렉스와 같은 유전체 기판을 사용하는 실시예에 대해, 부가적인 절연층들은 선택적이고, 부가적인 기생 커패시턴스들이 감소된다.

[0079] 도 13a 내지 도 13d는 리소그래피 기계의 투사 렌즈(104)를 둘러싸는 단일 기판(102) 상에 구성된 다수의 용량성 센서들을 갖는 센싱 시스템의 실시예를 도시한다. 도 13a는 기판의 전방 측면, 즉, 노출될 웨이퍼를 향해 및 하향하여 대면하는 측면을 도시한다. 8 개의 용량성 센서들(4 개의 용량성 센서 쌍들을 포함)은 투사 렌즈 주변의 쌍들에서 이격된 기판 상에 형성된다. 이러한 실시예에서, 도전성 센싱 전극(31)은 각각의 용량성 센서에 대한 기판의 전방 측면 상에 형성된다. 측면 가드 전극(32)은 각각의 센싱 전극 사이에 형성된 작은 갭을

갖고 각각의 센싱 전극을 둘러싼다. 접속 라인들(105)은 각각의 센싱 및 가드 전극과 기관의 에지 사이에 전기적 접속들을 만든다. 이러한 실시예에서, 기관은 파이렉스 또는 캡톤과 같은 유전체 재료로 구성되고, 전극들과 기관 사이에 어떠한 부가적인 절연층도 사용되지 않는다. 얇은 보호 절연층은 또한 기관의 전방 측면 상의 용량성 센서 전극들 위에 형성될 수 있다.

[0080] 도 13b는 기관의 후방 측면, 즉 노출될 웨이퍼로부터 떨어져 상향으로 대면하는 측면을 도시한다. 도전성 후방 가드 전극(35)은 각각의 용량성 센서에 대한 기관의 후방 측면 상에 형성된다. 각각의 용량성 센서에 대해, 후방 전극은 기관의 전방 측면 상의 센싱 및 측면 가드 전극들과 정렬된다. 원형 전극들을 갖는 이러한 실시예에서, 모든 전극들의 중심들은 각각의 용량성 센서에 대해 정렬된다. 후방 전극(35)은 센싱 전극(31)보다 더 큰 지름을 갖고, 전방 측면 상의 측면 가드 전극(32)의 지름보다 크거나 동일할 수 있다. 접속 라인들(106)은 후방 가드 전극들 및 기관의 에지 사이에 전기적 접속들을 만든다.

[0081] 기관의 전방 측면 상의 접속 라인들(105) 및 후방 측면 상의 접속 라인들(106)은, 예를 들면, 도 11, 도 12a 또는 도 12b에 도시된 구조를 사용하여 에지에서 기관의 후방 측면 상에 접속 패드들(50a 및 50b)을 형성하도록 배열될 수 있고, 여기서 접촉 패드들(50a)은 센싱 전극들(31)에 전기적으로 접속되고, 접촉 패드들(50b)은 측면 가드 전극들(32) 및 후방 가드 전극들(35)에 접속된다. 이러한 실시예에서, 접촉 패드 영역들은 교번하고, 센싱 전극으로부터의 각각의 접촉 패드(50a)는 어느 한 측면 상에서 대응하는 측면 가드 및 후방 가드 전극으로부터의 접촉 패드(50b)를 갖는다. 부가적인 접촉 패드(50c)는 또한 차폐 전극에 접속하도록 기관의 에지에 형성되며, 차폐 전극은 측정 시스템에 용량성 센서들을 접속하는 케이블에 대한 차폐부에 접속될 수 있다. 접촉 패드 영역들은 함께 기관 상의 용량성 센서 쌍 어레이먼트에 대응하는 개별적인 영역에 배열되는 접촉 패드들(50)을 형성한다.

[0082] 도 13c는 절연층(110)이 기관 위에 형성되어, 기관의 에지 주변에 갭을 남기고, 접촉 패드들(50)이 접속들을 만들기 위해 노출되는 기관의 후방 측면을 도시한다. 도 13d는 스페이서/장착판(112)에 장착되는 기관(102)을 도시한다. 장착판(112)은 도전성일 수 있고, 차폐 전극으로서 기능할 수 있고, 접지될 수 있고, 또는 대안적으로 차폐 전극으로서 기능하는 도전성 차폐판은 개별적인 컴포넌트로서 제공될 수 있다. 접촉 패드(50c)는 차폐 전극에 대한 전기적 접속들을 만들기 위한, 예를 들면, 용량성 센서 차폐에 접속하기 위한 접속 영역으로서 기능한다. 절연층(110)은 장착판/차폐 전극으로부터 가드 전극들을 전기적으로 분리한다. 이러한 실시예에서, 장착판은 전기적 접속들을 만들도록 노출되는 접촉 패드들(50)을 남기기 위해 그의 에지 주변에 차단기들(cut-outs)을 갖는다.

[0083] 일 실시예에서, 도 13a 내지 도 13d의 어레이먼트는 투사 렌즈를 수용하기 위해 정사각형 구멍, 예를 들면, 19 x 19 mm 또는 26 x 26 mm를 갖는 50 mm 지름의 파이렉스 기관을 포함할 수 있다. 센싱 전극들은 3.8 mm의 지름 및 센싱 전극과 가드 전극 사이의 16 μ m의 갭을 갖고, 가드 전극들은 1 mm의 폭을 갖고, 후방 전극들은 6 mm의 지름을 갖는다. 접속 라인들(105)은 0.05 mm의 폭 및 16 μ m의 분리를 갖고, 접속 라인들(106)은 0.5 mm의 폭 및 0.5 mm의 분리를 갖고, 접촉 패드들은 0.5 mm의 폭 및 1.4 mm의 길이일 수 있고, 패드들은 서로로부터 0.5 mm 겹침만큼 분리된다. 용량성 센서에는 200 kHz에서 10 μ A의 전류가 공급될 수 있다.

[0084] 도 13a 내지 도 13d에 도시된 실시예들의 용량성 센서들, 또는 본원에 설명된 다른 용량성 센서 어레이먼트들 중 임의의 용량성 센서 어레이먼트의 용량성 센서는, 예를 들면, 도 6a 내지 도 6f, 도 7a 및 도 7b, 도 8a 및 도 8b, 도 9a 내지 도 9c, 도 10a 내지 도 10d, 도 11 또는 도 12a 및 도 12b에 설명된 실시예들 중 임의의 실시예에 따라 구성될 수 있고, 쌍 내의 각각의 용량성 센서가 쌍의 다른 용량성 센서로부터 위상차를 갖는 전압 또는 전류에 의해 구동되는 차동 쌍들로 배열될 수 있다. 예를 들면, 쌍 중 제 1 용량성 센서는 쌍의 다른 용량성 센서로부터 180 도 위상차를 갖는 전류에 의해 구동될 수 있다. 다수의 차동 쌍들의 용량성 센서들이 함께 사용될 수 있도록 용량성 센서들의 쌍들 사이에 결합을 감소시키기 위해, 각각의 용량성 센서 쌍은 인접한 용량성 센서 쌍으로부터 위상 오프셋된 전압 또는 전류에 의해 구동될 수 있다. 예를 들면, 인접한 쌍들의 용량성 센서들은 서로로부터 90 도 위상차를 갖는 전류에 의해 유도될 수 있다. 예를 들면, 도 13a의 상부에서 용량성 센서들의 쌍은 위상 0 및 180 도들에서 전류에 의해 동력이 공급될 수 있고, 한편 우측 상의 용량성 센서들의 쌍 및 좌측 상의 용량성 센서들의 쌍은 각각 위상 90 및 270 도들에서 동력이 공급되고, 하부에서 용량성 센서들의 쌍은 위상 0 및 180 도들에서 동력이 공급된다. 이러한 방식에서, 인접한 용량성 센서 쌍들을 분리하고 이들 간의 간섭을 감소시키기 위해 인접한 용량성 센서 쌍들의 직교 바이어싱을 통해 위상 분할 기술이 사용된다. 주파수 분할 또는 시 분할과 같은 다른 기술들은 대안적으로 또는 부가적으로 용량성 센서 쌍들 사이의 간섭을 감소시키는데 사용될 수 있다.

- [0085] 용량성 센서 프로브들로부터 신호 프로세싱 시스템으로의 전기적 접속은 용량성 센서의 전기적 신호들을 전송하고, 원(raw) 용량성 센서 신호들을 이용 가능한 포맷으로 변환하기 위해 전기적 신호들을 전송하는데 필요로 된다. 도 14는 리소그래피 기계 투사 렌즈(104) 주변에 기관(102)의 전방 측면 상에 장착되는 용량성 센서들(30)을 갖는 용량성 센서 어레이먼트의 측면도를 도시한다. 기관(102)은 또한 거리 측정이 이루어지는 장비, 예를 들면, 리소그래피 기계의 투사 렌즈에 용량성 센서들을 장착하기 위한 장착판(112)으로서 기능할 수 있다. 접촉 패드들(50)은 기관의 후방 측면 상에 형성되고, 금속 접촉 스프링의 형태의 접촉 배선들(60)은 신호 프로세싱 시스템에 접속하기 위해 패드들과 전기적 접촉을 만든다.
- [0086] 도 15a 및 도 15b는, 도전성 트랙들(114a, 114b, 114c)이 인쇄 또는 부착되는 가요성 멤브레인(111)을 포함하여 가요성 인쇄 회로 접속 부재(110)를 사용하는 대안적인 접속 어레이먼트를 도시한다. 보호 절연층은 도전성 트랙들 위에 형성될 수 있다. 플렉스 인쇄 접속기(110)의 하나의 단부는 접촉 패드들(50) 또는 용량성 센서 전극들의 접촉 영역들에 결합되어, 도전성 트랙들은 용량성 센서 전극들에 대한 전기적 접속을 만든다. 도시된 실시예에서, 도전성 트랙(114a)은 센싱 전극에 대한 접촉 패드에 접속하고, 도전성 트랙들(114b 및 114c)은 측면 가드 전극 및/또는 후방 전극에 대한 접촉 패드들에 접속한다. 차폐 전극이 용량성 센서 구조에 포함되는 경우에, 부가적인 도전성 트랙들은 용량성 센서 및 용량성 센서를 지지하는 구조로부터 원격인 접지 전위에 차폐 전위를 접속하기 위한 플렉스 인쇄 접속기 상에 형성될 수 있다. 접속기 플러그 또는 소켓(116)은, 용량성 센서 신호들을 신호 프로세싱 시스템으로 전송하기 위한 배선들 또는 접속 핀들(120)과 전기적인 접촉을 만들기 위한 접촉 단자들(117)을 갖는 플렉스 인쇄 접속기(110)의 다른 단부에 부착된다. 도 15a는 도전성 트랙들이 접속할 접촉 패드들(50)의 세트의 상부도와 나란히 도전성 트랙들(114a-114c)을 도시하는 플렉스 인쇄 접속기(110)의 실시예의 밑면을 도시한다. 도 15b는 접촉 패드들에 접속될 때 플렉스 인쇄 접속기(110)의 측면도를 도시한다. 플렉스 인쇄 접속기는 가요성이고, 본원에 설명된 용량성 센서 실시예들 중 임의의 실시예에서 사용될 수 있다. 플렉스 인쇄 접속기의 최대 굴절 반경은 특히 매우 작은 도전성 트랙 폭들에 대해 고려되어야 하고, 조립 동안에 플렉스 인쇄 접속기와 용량성 센서 접촉 패드들 사이의 정렬이 중요하다.
- [0087] 절연층(34)이 폴리머 절연막 또는 유사한 것과 같은 적합한 재료로 구성될 때, 가요성 멤브레인(111)은 동일한 재료로 형성되고, 그의 확장으로서 절연층(34)에 통합될 수 있다. 이러한 실시예에서, 도전성 트랙들(114a-c)은 유사하게 동일한 재료로 구성되고, 전극들의 확장으로서 센싱 전극(31) 및 측면 가드 전극(32) 및/또는 후방 전극(35)에 통합될 수 있다. 이러한 구성에서, 전극들과 도전성 트랙들 사이의 접촉 패드들이 불필요할 것이지만, 접촉 패드들은 도전성 트랙들의 단부들에서 사용될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 도전성 트랙들은, 예를 들면, 후방 가드 전극에 접속된 도전성 트랙이 감지 전극에 접속된 도전성 트랙 위에 형성되는 절연층 위에 형성되도록 용량성 센서의 전극들과 동일한 방식으로 적층될 수 있다. 이러한 구조는 또한, 예를 들면, 도 21d에 도시된 바와 같이, 후방 가드 전극에 접속된 도전성 트랙 위에 형성되는 절연층 위에 형성된 차폐 전극에 접속된 도전성 트랙을 포함하도록 확장될 수 있다.
- [0088] 도 16a는 대전 입자 리소그래피 기계의 투사 렌즈 및 디플렉터(deflector) 스택(132)을 통한 단면도를 도시한다. 스택(132)은 통상적으로 수직으로 적층된 투사 렌즈 엘리먼트들 및 리소그래피 기계에 의해 생성된 대전 입자 빔릿들(beamlets)을 웨이퍼의 표면으로 포커싱하고 스캐닝 패턴으로 웨이퍼의 표면에 걸쳐 빔릿들의 방향을 바꾸기 위한 빔릿 디플렉터 엘리먼트들을 포함한다. 각각의 수직으로 적층된 투사 렌즈 엘리먼트는 사실상 대다수의 빔릿들을 웨이퍼 표면으로 동시에 포커싱하기 위한 투사 렌즈들의 어레이를 포함할 수 있고, 각각의 빔릿은 웨이퍼의 상이한 부분을 노출시키고, 각각의 디플렉터 엘리먼트는 유사하게 디플렉터들의 어레이를 포함할 수 있다.
- [0089] 렌즈 스택(132)은 하우징 프레임 부재(130) 내에 장착된다. 렌즈 스택의 2 개의 정전기 렌즈 사이의 스페이서로서 또한 기능할 수 있는 장착판(112)은 프레임 부재(130) 아래에 위치되고, 프레임 부재(130)에 부착되고, 대전 입자 빔이 중앙에 위치한 구멍을 통해 투사된다. 판/스페이서(112)는 렌즈 스택(132) 및 하부 렌즈(104), 웨이퍼, 용량성 센서들, 및 인근의 다른 컴포넌트들에 존재하는 고전압들 사이에 절연층을 제공하기 위해 유리 또는 다른 적절한 절연 재료로 구성될 수 있다. 일반적으로 원통형으로 형상화된 프레임 부재(130) 및 상부 장착판(133)과 함께 판(112)은 투사 렌즈 및 디플렉터 스택(132)을 위한 하우징 구조를 형성한다.
- [0090] 판(112)은 대안적으로 도전성이거나, 용량성 센서들을 위한 차폐 전극으로서 기능하는 도전층을 포함할 수 있다. 판(112)은 또한 용량성 센서들이 형성될 수 있는 기관(102)일 수 있다. 도시된 실시예에서, 투사 렌즈 스택(132)은 주로 판(112) 위에 위치된, 수직 스택으로 배열된 일련의 투사 렌즈 엘리먼트들을 포함하지만, 스택의 최종 포커싱 렌즈 엘리먼트(104)는 판(112)의 하부 표면 상의 판 아래에 위치된다.

- [0091] 도 16b는 투사 렌즈 스택의 하부 투사 렌즈(104) 및 이동 가능한 웨이퍼 테이블(134) 상에 받쳐있는 웨이퍼(9) 사이의 거리에 관련된 거리를 측정하기 위한 용량성 센서들의 어레이먼트를 도시한다. 웨이퍼 및 테이블이 편의상 간략하게 도시되고, 그의 폭은 실제로 렌즈 스택 하우징의 폭보다 훨씬 더 큰다는 것을 유의하라. 통상적으로, 웨이퍼는 지름이 200 또는 300 mm이고 대조적으로 렌즈 스택 하우징에 대해서는 50-70 mm이다. 용량성 센서들(30)은 하부 투사 렌즈(104)와 동일한 판(112) 상에, 및 렌즈(104)에 근접하게 장착된다. 용량성 센서들은 리소그래피 기계의 필드의 크기보다 더 작은 것이 바람직하고, 용량성 센서들 중 일부 또는 모두는 필드 크기의 길이 또는 폭과 동일한 거리보다 투사 렌즈의 에지에 더 가깝게 위치될 수 있다.
- [0092] 이러한 어레이먼트에서, 용량성 센서들은 투사 렌즈에 대한 고정 관계로 장착되어, 하부 투사 렌즈(104)와 웨이퍼(9) 사이의 거리가 용량성 센서들과 웨이퍼 사이의 측정된 거리로부터 결정될 수 있다. 본원에 기재된 매우 작은 크기의 용량성 센서들은 투사 렌즈에 근접하게 용량성 센서들을 장착하는 것을 가능하게 하고, 용량성 센서들이 투사 렌즈의 최종 포커싱 엘리먼트와 동일한 지지 엘리먼트 상에 장착되도록 허용하여, 용량성 센서들 양자가 동일한 기준점에 고정된다. 용량성 센서들이 단일 구조에 대해 하부 투사 렌즈와 통합되기 때문에, 이것은, 예를 들면, 하부 투사 렌즈가 장착되는 지지 엘리먼트와 용량성 센서들이 장착되는 지지 엘리먼트 사이의 이동, 열 팽창 및 수축에 의해 발생하는 용량성 센서들 및 투사 렌즈들의 상대적인 위치들에서의 변화들로 인한 에러들, 및 용량성 센서들 및 하부 투사 렌즈 각각에 대한 상이한 베이스 구조들의 장착 부정확성으로 인한 에러들을 크게 감소시킨다. 이것은 x 및 y 축(즉, 웨이퍼의 표면에 평행) 및 z 축(즉, 웨이퍼의 표면에 수직)에서의 변동에 대한 용량성 센서 시스템의 조정에 대한 필요성을 제거하거나, 그러한 조정에 대한 필요성을 적어도 감소시키게 한다. 종래의 용량성 센서들은 판(112) 상에 장착하기에 너무 크고 넓고, 예를 들면, 프레임 부재(131) 상의 투사 렌즈(104)로부터 더 떨어져 장착되어야 할 것이다.
- [0093] 포커싱 효과는 원칙적으로 최종(하부) 투사 렌즈(104)에 의해 결정된다. 상술된 통합 설계 특징들에서, 용량성 높이 센서들은 투사 렌즈와 통합되어, 용량성 높이 센서들과 최종 투사 렌즈 엘리먼트의 포커스 생성 영역 사이에 어떠한 다른 엘리먼트들도 존재하지 않는다. 통합 시스템에서 단지 중요한 변동은 매우 얇은 엘리먼트(통상적으로 200 μm 이하)인 단일의 투사 렌즈 전극(104)의 허용 오차이다. 용량성 센서와 투사 렌즈 사이의 관계는 최종 엘리먼트(104)의 허용 오차에 의해서만 방해된다. 용량성 센서들의 절대 측정치는, 포커싱 엘리먼트(투사 렌즈의 최종 엘리먼트)의 두께 허용 오차를 제외하고, 포커싱 엘리먼트로부터 웨이퍼의 표면, 즉, 빔들이 포커싱되는 평면/위치로의 거리와 근본적으로 매칭할 것이다. 포커싱 엘리먼트의 이러한 두께 불확실성은 단지 요구된 측정의 작은 부분 및 용량성 센서들의 동작 범위이고, 따라서 용량성 센서들의 나머지 커패시턴스를 결정하기 위해, 무한대 측정을 제외하고, 용량성 센서의 어떠한 부가적인 조정을 요구하지 않는다. 이것은 무한대로 간단히 측정함으로써, 즉, 적소에 웨이퍼가 없이 결정될 수 있다. 용량성 센서들 및 투사 렌즈를 가깝게 통합하는 것은 시스템의 총 허용 오차를 최소화하여, 용량성 센서들의 판독이 부가적인 조정 없이 리소그래피 기계에서 사용되기에 충분히 정확하다. 부가적인 이점은 최소의 설계가 노출 빔들에 가까운 타겟(웨이퍼)에 대한 거리의 측정을 가능하게 하고, 부가적으로 측정 에러를 최소화하는 것이다.
- [0094] 용량성 센서들은 투사 렌즈(104)의 하부에 인접한 판(112) 상에 배치된다. 예를 들면, 도 5 내지 도 9에 도시된 형태의 박막 구조에 따라 개별적으로 구성된 용량성 센서들에 대해, 개별적인 용량성 센서들은, 예를 들면, 접착제를 사용하여 장착판(112)에 직접적으로 고정될 수 있다. 예를 들면, 도 13a 내지 도 13d에 도시된 형태의 공통 기관 상에 형성된 용량성 센서들에 대해, 용량성 센서 기관은 또한 접착제 또는 다른 접착 수단을 사용하여 장착판(112)에 고정될 수 있다. 또한 공통 용량성 센서 기관이 또한 장착판(112)으로서 기능하는 것이 가능하다.
- [0095] 투사 렌즈(104)의 하부는 실질적으로 용량성 센서들(30)의 센싱 전극들의 하부 표면과 동일한 높이에 있을 수 있거나, 약간 더 낮을 수 있다. 측정되길 바라는 거리가 실제로 측정된 거리(즉, 센싱 전극들의 하부 표면과 타겟 사이의 거리가 측정됨)와 거의 동일하도록 시스템을 설계함으로써, 시스템의 감도가 증가된다. 일 실시예에서, 리소그래피 기계에서 사용될 때, 투사 렌즈(104)의 하부는 용량성 센서들(30)의 센싱 전극들의 하부 표면 아래로 50 μm 연장된다. 투사의 포커스 평면은 투사 렌즈의 하부 아래로 50 μm 이고, 센싱 전극들 아래로 100 μm 이다. 웨이퍼 테이블은 100 nm의 위치 선정 정확도로 센싱 전극들의 하부 표면 아래로 80-180 μm 범위의 z-축(수직) 이동을 갖고, 이러한 범위의 최고치(top)는 센싱 전극들의 80 μm 내에 웨이퍼를 유도하고, 이러한 범위의 최저치(bottom)는 센싱 전극들 아래로 180 μm 로 웨이퍼를 이동시킨다.
- [0096] 도 17a 내지 도 17d는 다수의 용량성 센서들(30) 및 통합 플렉스 인쇄 접속기(110)를 갖는 가요성 인쇄 회로 구조(120)를 도시한다. 구조(120)는 캡톤 폴리이미드 막 또는 유사한 가요성 절연막과 같은 절연 재료의 가요성 베이스를 포함한다. 용량성 센서들을 위한 도전성 전극들 및 접속 라인을 만들기 위한 도전성 트랙들은 구리

또는 다른 적절한 도전성 재료의 박층으로 형성되고, 접착제를 사용하여 절연 기저층에 고정되고, 예를 들면, 직접 금속화 프로세스를 사용하여 무접착제 적층판으로서 형성되거나, 도전성 잉크들 또는 다른 적절한 인쇄 기술들을 사용하여 절연층 상에 인쇄된다. 그후, 보호 절연막은 도전층들 위에 형성될 수 있다.

[0097] 도 17b에 도시된 실시예에서, 8 개의 쌍들의 용량성 센서들은 하부 투사 렌즈(104)를 수용하는 정사각형 차단기 (121) 주변에 정사각형 어레이로 배열된다. 단일 용량성 센서들은 또한, 용량성 센서 쌍들 대신에 사용될 수 있고, 용량성 센서들 또는 용량성 센서 쌍들의 상이한 공간 어레이먼트들이 또한 사용될 수 있다. 가요성 기저층은 용량성 센서들과 신호 프로세싱 시스템 사이에 전기적 접속들을 만들기 위한, 상술된 바와 같이 구성된 플렉스 인쇄 접속기들(110)로서 기능하는 확장된 부분들을 포함할 수 있다. 플렉스 인쇄 접속기들(110)은 접속 기들(116)에 접속하고, 접속기들(116)은 원격 신호 프로세싱 시스템에 접속하기 위한 삼축 케이블들(210)에 스트레스 제거(stress relief) 및 인터페이스를 제공한다.

[0098] 더 크고 더 강인한 접속이 이루어질 수 있는 경우에, 용량성 센서로부터 신호들을 용량성 센서로부터 멀리 떨어진 위치로 전송하기 위해 필요한 용량성 센서 및 접속들 및 배선의 통합은 몇몇의 문제점들을 해소한다. 극히 작은 크기의 용량성 센서는 배선 및 접속기 하드웨어의 크기 제한들로 인해 전기적 접속들을 어렵게 만든다. 배선에 의해 도입된 커패시턴스들은, 그들이 용량성 센서 시스템을 지배하지 않도록 제어되어야 한다. 배선의 임의의 작은 이동 또는 진동은 손상 또는 용량성 센서를 재조정할 필요성을 발생시킬 수 있다. 단일의 유연한 인쇄 가요성 기저층 상에 용량성 센서 및 용량성 센서 배선들 양자의 통합은 매우 작은 치수들을 갖는 용량성 센서에서 접속을 가능하게 하고, 배선에 의해 도입된 커패시턴스들은 시스템의 설계 동안에 제어될 수 있고, 단일의 기저층으로의 통합은 기계적으로 강인한 설계를 생성하여 배선의 움직임에 의한 문제점들을 크게 감소시킨다.

[0099] 단일의 기저층으로의 다수의 용량성 센서들 및 그들의 연관된 배선의 통합은 부가적인 이점들을 제공한다. 단일 베이스 상에 용량성 센서들의 어레이를 형성함으로써, 제조될 때 용량성 센서들의 공간 어레이먼트가 고정되고, 더 큰 통합 구조는 장비, 예를 들면, 리소그래피 기계의 취급 및 이에 대한 부착을 용이하게 한다.

[0100] 신호 프리프로세싱 회로들(200)은, 회로들을 가요성 기저층 상에 인쇄 또는 그렇지 않다면 형성함으로써 플렉스 인쇄 접속기 상에 통합될 수 있다. 신호 프리프로세싱 회로들(200)은 용량성 센서 가드 전극들의 능동 바이어싱(후술됨)에서 사용되는 버퍼/증폭기를 포함할 수 있고, 부가적인 회로를 포함할 수 있거나, 투사 렌즈 및 모든 능동 컴포넌트들에 대해 로컬인 접속 하드웨어만이 원격으로 위치되도록 생략될 수 있다. 리소그래피 기계가 진공 환경에서 동작하기 때문에, 진공에서 능동 컴포넌트들을 용량성 센서들에 가깝게 배치하는 것은 진공에서 열 전달의 부재로 인해 능동 컴포넌트들로부터 열을 소멸시키는 문제점들을 초래할 수 있다. 그러나, 능동 가드에 대해 필요로 되는 컴포넌트들을 가드 전극들에 가깝게 위치시키는 것은 시스템의 성능을 증가시킨다. 도시된 실시예에서, 신호 프리프로세싱 회로들(200)은 접속기들(116) 옆에 위치되어, 회로들에 의해 생성된 열이 접속기들(116)을 통해 케이블들(210)로 및 용량성 센서 어레이먼트로부터 멀리 더 효과적으로 전도될 수 있다.

[0101] 도 18은 대안적인 접속 어레이먼트를 도시한다. 플렉스 인쇄 접속기(110)는 접속 배선들 또는 핀들(201)을 통해 장착판(112) 상의 하나의 단부에서 용량성 센서(30)에 접속하고 다른 단부에서 신호 프리프로세싱 회로(200)에 접속한다. 신호 프리프로세싱 유닛(200)은 프레임 부재(131) 상에, 바람직하게는 리세스 또는 칸막이 내에 장착될 수 있다. 신호 프리프로세싱 회로들(200)의 출력은 배선들 또는 핀들(202), 접속기들(204), 및 삼축 케이블(210)을 통해 제어 시스템으로 전송된다.

[0102] 도 19a 및 도 19b는 리소그래피 기계에서 통합 가요성 인쇄 회로 구조(120)(도 17a 내지 도 17d에 도시됨)를 장착하기 위한 어레이먼트를 도시한다. 도 19a는 가시성을 개선하기 위해 제거된 투사 렌즈 스택, 및 프레임 부재(136) 내의 우물(well)에 위치한 가요성 인쇄 회로 구조(120)를 갖는, 위로부터의 어레이먼트를 도시한다. 접속기들(116)은, 결국 원격 신호 프로세싱 시스템에 접속하기 위한 케이블들(214)에 접속하는 케이블링 번들(212)에 삼축 케이블들(210)을 통해 접속한다. 도 19b는 가요성 인쇄 회로 구조(120) 및 웨이퍼를 향해 대면하는 용량성 센서들(30)을 도시하는 하부도를 도시한다.

[0103] 가요성 인쇄 회로 구조(120)는, 접착제 또는 다른 적절한 부착 방법을 사용하여 장착판, 예를 들면, 도 16a 및 도 16b에 도시된 장착판(112)의 하부 표면에 고정될 수 있다. 이것은 단일 구조로 장착판(112)과 연관된 배선 및 하부 투사 렌즈(104)와 용량성 센서 어레이 모두의 통합을 발생시킨다. 이로써 용량성 센서들은 투사 렌즈에 근접하게 및 투사 렌즈에 고정 관계로 장착되어, 도 16a 및 도 16b의 실시예에 대해 설명된 바와 같은 이점들을 발생시킨다.

- [0104] 도 20a, 도 20b 및 도 20d는 리소그래피 기계 투사 렌즈(104)를 둘러싸는 장착판(112) 상의 용량성 센서들의 다양한 구성들을 도시한다. 도 20a에서, 4 개의 용량성 센서 쌍들은 장착판(112)의 4 개의 사분면들에 분산되고, 용량성 센서들은 차동 센싱을 위해 쌍들로 배열된다. 장착판의 하부 측면 상에서, 각각의 용량성 센서는 센싱 전극(31)을 포함하고, 또한 측면 가드 전극(32)을 포함할 수 있다. 이러한 어레인지먼트는 웨이퍼의 높이 및 기울기의 측정에 특히 적합하다. 도 20b는 정사각형 매트릭스에서 쌍들로 배열된 16 개의 용량성 센서들의 어레인지먼트를 도시하고, 투사 렌즈(104)가 위치되는 정사각형의 중간은 어떠한 용량성 센서들도 갖지 않는다. 상술된 구성들 모두에 대해, 후방 가드 전극들은 용량성 센서 기관의 후방 측면 상에 포함되는 것이 바람직하고, 차폐 전극들은 또한 상술된 바와 같이 포함되는 것이 바람직하다. 도 20c는 장착판(112) 및 용량성 센서들에 관련하여 다양한 위치들의 웨이퍼들(9a, 9b, 9c, 9d)을 도시하고, 장착판(112) 상의 4 개의 영역들(115)을 형성하는 4 개의 웨이퍼 위치들 사이의 중첩 영역들은 투사 렌즈(104)의 4 개의 코너들로부터 연장된다. 도 20d는 이러한 4 개의 영역들(115)에 배열된 4 개의 용량성 센서 (차동) 쌍들을 도시한다.
- [0105] 영역들(115)의 이러한 어레인지먼트는 적어도 하나의 용량성 센서 또는 용량성 센서 쌍을 사용하여 웨이퍼 표면에 대한 거리를 측정하기 위한 가능성을 최대화하기 위해 용량성 센서들을 분산시킨다. 단지 하나의 용량성 센서/쌍이 웨이퍼 위에 위치되도록 웨이퍼가 위치되면, 그후 웨이퍼 표면에 대한 거리 측정은 이러한 용량성 센서/쌍에 홀로 기초한다. 또 다른 용량성 센서/쌍이 웨이퍼 위에 위치되자마자, 또한 이러한 용량성 센서/쌍으로부터 측정이 이루어질 것이고, 평균 거리 값이 웨이퍼 위의 2 개의 용량성 센서들/쌍들로부터 계산될 수 있다. 마찬가지로, 제 3 및 제 4 용량성 센서/쌍이 웨이퍼 위에 위치되게 될 때, 제 3 및 제 4 용량성 센서/쌍이 고려될 것이다. 부가적인 용량성 센서들/쌍들의 포함은, 최종 측정된 거리 값에서 갑작스러운 스텝들을 회피하기 위해 페이딩 인(fading in)함으로써, 예를 들면, 부가적인 용량성 센서들/쌍들의 기여를 서서히 포함시킴으로써 평균 거리의 계산에 포함되는 것이 바람직하다.
- [0106] 장착판(112)의 크기는 통상적으로 약 60 mm인 최소 타겟 크기를 결정한다. 300 mm 웨이퍼들에 대해, 웨이퍼 위치들(9a-9d) 사이의 4 개의 중첩 영역들(115)은 용량성 센서들에 대한 적절한 배치 영역들을 나타낸다. 그러나, 용량성 센서들은 리소그래피 기계의 광 또는 전자 빔의 실제 투사 영역에 가능한 가깝게 장착되는 것이 바람직하다. 영역들(115)을 규정하는 원형 섹션들이 직선들을 향하는 경향이 있기 때문에, 450 mm과 같은 더 큰 웨이퍼 크기들은 영역들(115)을 확대하는 경향이 있다.
- [0107] 도 21a 및 도 21b는 4 개의 차동 용량성 센서 쌍들(30a, 30b)을 갖는 가요성 인쇄 회로 구조(120)의 실시예를 도시한다. 구조(120)는 도 17a 내지 도 17d의 실시예와 유사하게 캡톤 폴리이미드 막 또는 유사한 가요성 절연 막과 같은 절연 재료의 가요성 베이스로 형성될 수 있고, 또한 하나 이상의 통합 플렉스 인쇄 접속기들(110)을 포함할 수 있다. 도시된 실시예에서, 센싱 전극들을 대면하는 아래로부터 볼 때(및 센싱 전극들이 보일 수 있도록 용량성 센서들 위의 임의의 절연 보호층을 생략함), 4 개의 용량성 센서 쌍들이 하부 투사 렌즈(104) 주변에 도 20d의 영역들(115)에 위치하도록 배열된다. 단일 용량성 센서들은 또한 용량성 센서 쌍들 대신에 사용될 수 있다. 용량성 센서들 및 배선 접속들의 통합은 매우 작은 용량성 센서들에 대해 간단하고 강인한 접속들 및 배선에 의해 도입되는 커패시턴스들의 제어를 가능하게 한다. 도 21a는 원형 용량성 센서들을 갖는 실시예를 예시한다. 도 21b는 영역(115)의 사용을 최대화하기 위한 사각형으로 형상화된 용량성 센서들을 갖는 실시예를 예시한다(예를 들면, 도 19d에 도시된 바와 같이 둥근 코너들이 바람직하지만, 용량성 센서들은 간략히 하기 위해 날카로운 코너들로 도시됨).
- [0108] 도 21c는 용량성 센서들 뒤로부터 각도에서 가요성 인쇄 회로 구조(120)를 도시한다. 4 개의 통합 유연한 접속기들(110)이 접히고, 기저층(120)으로부터 위로 연장된다. 도전성 트랙들은 유연한 접속기들(110)을 따라 각각의 용량성 센서의 용량성 센서 전극들로부터 및 원격 회로에 접속하기 위한 케이블들에 대한 접속을 위해 가요성 멤브레인들(122 및 123) 주변에서 연장된다. 기저층이 위로부터 보여지고, 용량성 센서들의 후방 가드 전극들(35a, 35b)이 유연한 접속기들(110)의 내부 측면(110b) 상에 형성된 도전성 트랙들(114b)을 갖는 것으로 도시된다(후방 가드 전극들이 보일 수 있도록 절연층들 및 임의의 차폐 전극들이 생략됨). 도전성 트랙들은 또한 유연한 접속기들(110)의 외부 측면(110a) 상에 형성된다. 도 17a 내지 도 17d의 실시예에서와 같이, 도전성 트랙들은 구리 또는 다른 적절한 도전성 재료의 박층으로 형성되고, 접착제를 사용하여 절연층에 고정되고, 무접착제 적층판으로서 형성되거나, 절연층 상에 인쇄될 수 있다.
- [0109] 도 21d는 용량성 센서(30) 및 연관된 유연한 접속기(110)의 단면도이다. 도전성 트랙들(114a-114e)은 용량성 센서를 원격 회로에 접속하기 위한 유연한 접속기(110)를 따라 용량성 센서 전극들로부터 연장된다. 이러한 실시예에서, 도전성 트랙들(114a-114e)은 동일한 재료로 형성되고, 전극들의 확장으로서 용량성 센서 전극들에 통합된다. 도전성 트랙들은 용량성 센서의 전극들과 동일한 방식으로 층들로 배열된다. 절연층(34)은 유연한 접

속기(110)에 대한 연장된 부분을 포함한다. 도전성 트랙(114a)은 센싱 전극(31)으로부터 연장되고, 이들 양자는 절연층(34) 상에 형성된다. 도전성 트랙(114b)은 후방 가드 전극(35)으로부터 연장되고, 이들 양자는 절연층들(34 및 43) 사이에 형성되고, 도전성 트랙(114b)은 도전성 트랙(114a)보다 더 넓어서, 도전성 트랙(114b)은 도전성 트랙(114a)에 대한 측면 가드 전극으로서 기능하는 주변부를 갖는다. 도전성 트랙(114a)은 센싱 전극으로부터 신호를 전달하고, 주변 환경에서 도전체들에 대해 특정 커패시턴스를 가질 것이다. 도전성 트랙(114a) 근처의 도전체들은 그들이 용량성 센서의 센싱 전극에 영향을 주는 것과 동일한 방식으로 이러한 커패시턴스에 영향을 줄 것이다. 따라서, 도전성 트랙(114b)은 인근의 도체들로 인한 외란들을 감소시키기 위해 측면 가드 전극으로서 역할을 하도록 설계된다.

[0110] 용량성 센서가 차폐 전극을 포함하는 경우에, 도전성 트랙(114d)은 차폐 전극(44)으로부터 연장되고, 이들 양자는 절연층들(43 및 38) 사이에 형성된다. 이러한 어레이지먼트는, 거리 측정 및 외부 영향들에 대한 외란들을 감소시키기 위해 센싱 전극으로부터 측정 신호를 전달하는 도전성 트랙(114a)의 길이에 걸쳐 차폐 전극의 효과를 연장시킨다.

[0111] 도 21c의 실시예에서, 도전성 트랙들(114b 및 114d) 및 개재 절연층들은 유연한 접속기들의 내부 표면(110b) 상에서 내부로 연장된다. 유사한 어레이지먼트는 유연한 접속기들의 외부 표면(110a)에 대해 복제될 수 있다. 절연 보호층(37)이 형성되고 도전성 트랙(114a) 위에서 유연한 접속기(110)를 따라 연장될 수 있고, 도전성 트랙(114c)은 도전성 트랙(114a) 위의 유연한 접속기를 따라 연장되고, 주변부들은 도전성 트랙(114a)의 어느 한 측면 상에서 연장된다. 그후, 도전성 트랙(114c)은 후방 가드 전극에 접속된 도전성 트랙(114b)에 전기적으로 접속되고, 따라서 도전성 트랙(114c)을 후방 가드 전극과 동일한 전위로 유도한다. 도전성 트랙(114c)은 또한 후방 가드 전극에 직접적으로 접속되거나 몇몇의 다른 수단에 의해 전기적으로 접속될 수 있다.

[0112] 마찬가지로, 또 다른 절연층(43a)은 도전성 트랙(114c) 위에서 유연한 접속기를 따라 연장하여 형성될 수 있고, 또 다른 도전성 트랙(114e)은 도전성 트랙(114c) 위에서 유연한 접속기를 따라 연장된다. 도전성 트랙(114e)은 도전성 트랙(114d), 또는 접지 전위에 대한 접속을 위해 케이블 도전체, 바람직하게는 용량성 센서로부터 원격의 접지에 전기적으로 접속될 수 있다. 마지막으로, 보호층(38a)은 상부 위에 형성될 수 있다.

[0113] 이러한 2-측면 어레이지먼트를 통해, 센싱 전극으로부터 신호를 전달하는 도전성 트랙(114a)은 후방 가드 전극의 연장부들 사이에 효과적으로 샌드위치되고, 이러한 조합된 구조는 차폐 전극의 연장부들 사이에 샌드위치되고, 따라서 거리 측정 및 외부 영향들에 대한 외란들을 크게 감소시킨다.

[0114] 도전성 트랙들(114a-114e)은 용량성 센서들로부터의 원격의 단부들에서 용량성 센서 신호들을 원격 회로에 전송하기 위한 케이블에 접속될 수 있다. 삼축 케이블이 사용될 수 있고, 중심 케이블 도전체는 도전성 트랙(114a)에 접속되고, 중간 케이블 도전체는 도전성 트랙들(114b 및 114c)에 접속되고, 외부 케이블 도전체는 도전성 트랙들(114d 및 114e)에 접속된다. 이러한 접속들은 위에 놓인 절연층들 내의 구멍들을 통해 각각의 도전성 트랙의 금속의 접촉 패드들을 노출시킴으로써 이루어질 수 있다.

[0115] 도 21c에 도시된 용량성 센서 및 접속기 구조는 리소그래피 기계의 투사 렌즈에 대한 용량성 센서들의 어레이의 접속 및 장착을 위해 적합하다. 이러한 어레이지먼트는, 최종 투사 렌즈 엘리먼트가 장착되는 동일한 장착판에 직접적으로 및 투사 렌즈의 포커스 점에 근접하게 매우 작은 박막 용량성 센서들을 장착하기 위한 가요성 기저층을 제공하여 몇몇의 목표들을 성취한다. 이러한 장착 방법은 센싱 엘리먼트들 및 투사 렌즈 사이의 높이에서의 변동들로 인해 용량성 센서 시스템을 조정할 필요성을 제거한다. 용량성 센서 전극들로부터 연장되는 통합 접속기들은 시스템의 커패시턴스의 최소 변동들을 도입하는 용량성 센서에 대한 강인한 전기적 접속들을 생성하여, 용량성 센서에 대한 접속에서의 변동들로 인한 조정에 대한 필요성을 제거한다.

[0116] 이것은 인-시츄 조정을 요구하지 않는 매우 간단한 시스템을 발생시킨다. 용량성 센서들의 나머지 커패시턴스가 결정되고(이것은 무한대로 측정함으로써, 즉, 용량성 센서의 전방의 웨이퍼 없이, 간단히 수행될 수 있음), 후속으로 오프셋될 수 있다. 용량성 센서들의 나머지 커패시턴스가 근본적으로 고정되기 때문에, 용량성 센서들의 부가적인 조정이 요구되지 않는다. 접속들의 이동 또는 진동이 고정된 접속 구조 및 삼축 케이블에 의해 크게 제거되기 때문에, 기생 커패시턴스들(예를 들면, 배선의 작은 이동들로 인한 것임)은 쉽게 낮게 유지된다. 결과적인 구조는 리소그래피 기계에 용이하게 부착되고, 길이 재조정 없이 용량성 센서들 또는 조합된 투사 렌즈 및 용량성 센서의 합 구조의 제거 및 대체를 용이하게 한다.

[0117] 전자 회로들

[0118] 도 22는 하나 이상의 용량성 센서 프로브들(30), 신호 프로세싱 시스템(301), 및 용량성 센서 프로브들로부터

신호 프로세싱 시스템으로 신호들을 전달하기 위한 접속 시스템(302)을 포함하는 용량성 센서 시스템(300)을 도시한다. 신호 프로세싱 시스템(301)은 용량성 센서 프로브들을 구동시키기 위한 전류원 또는 전압원 회로, 원 용량성 센서 신호를 증폭하기 위한 증폭기/버퍼 회로, 용량성 센서 가드 전극들 및 접속 케이블 도전체들을 바이어싱하기 위한 회로, 프로브들로부터 수신된 신호들을 프로세싱하고, 프로세싱된 신호들을 측정 데이터로서 출력하기 위한 신호 프로세싱 회로, 및 시스템을 조정하기 위한 회로를 포함할 수 있다. 접속 시스템(302)은 용량성 센서들을 신호 프로세싱 시스템에 접속하기 위한 케이블들을 포함할 수 있다.

[0119] 시스템의 각각의 부분은 다양한 형태들의 측정 에러들 및 감도를 감소시키는 요인들에 대한 소스일 수 있다. 에러들은, 용량성 센서 전극들 및 다른 컴포넌트들의 기하학적 구조에서의 불규칙성들 및 부정확성을 발생시키는 제조 프로세스의 제한들 및 프로브들의 유한 기하학적 구조로 인해 용량성 센서 프로브들에 의해 도입된다. 용량성 센서 프로브의 구조로 인한 진성/기생 커패시턴스들, 및 프로브들 근처의 다른 컴포넌트들과의 상호 작용은 용량성 센서들의 감도를 감소시킬 수 있다.

[0120] 에러들은, 장착 표면 또는 프로브들의 비평탄성 또는 기울기의 결과로서 프로브들의 장착, 및 위치에서의 허용 오차들 및 장착에 관련된 다른 요인들에 의해 도입될 수 있다. 에러들은 신호 프로세싱 에러들, 컴포넌트 허용 오차들, 외부 또는 내부 간섭, 및 다른 요인들로 인해 신호 프로세싱 시스템에 의해 도입될 수 있다. 에러들은 또한 접속 라인들, 접속 패드들, 접속 배선들 및 케이블링과 같은 접속 컴포넌트들에 의해 도입되는 부가적인 커패시턴스들과 같이 접속 시스템에 의해 도입될 수 있다.

[0121] 용량성 센서와 타겟 사이의 거리를 나타내는 용량성 센서들의 커패시턴스에서의 변화를 검출하기 위해, 다양한 증폭기 구성들이 사용될 수 있다. 도 23a는 기본적인 고임피던스 증폭기 회로의 간략화된 회로도이다. 고임피던스 증폭기는 단위 이득 비반전 구성의 증폭기(305)를 사용한다. AC 전류원(306)은 증폭기의 입력으로서 용량성 센서 프로브(30)와 병렬로 접속된다. 상기 회로는, 용량성 센서 프로브(30)와 타겟(9) 사이의 거리에 따라 변동하는 커패시턴스의 변화에 비례하는 선형 출력(309)을 생성한다.

[0122] 용량성 센서(30)는 증폭기의 입력 및 접지 또는 가상 접지 사이에 접속되고, 즉, 측정되는 커패시턴스의 하나의 전극은 접지에 접속된다. 그러나, 웨이퍼에 대한 거리 측정들에 대해, 용량성 센서의 센싱 전극은 측정된 커패시턴스의 하나의 전극을 형성하고, 한편 웨이퍼 내의 도전층은 다른 전극을 형성한다. 웨이퍼(9)의 도전층은 통상적으로 웨이퍼 테이블(134)을 통해 접지 및 다른 리소그래피 기계 컴포넌트들에 용량성으로 결합된다. 웨이퍼 및 접지 사이의 커패시턴스는 통상적으로 6 pF 내지 70 nF에서 변동하고, 용량성 센서 커패시턴스의 공칭 값은 통상적으로 약 0.1 pF 내지 1 pF이다. 용량성 센서(30)와 웨이퍼(9) 사이의 거리에서의 작은 변화들을 정확히 측정하기 위해, 용량성 센서의 공칭 커패시턴스보다 적어도 1000 배의 접지 커패시턴스에 대한 웨이퍼를 가질 필요가 있다. 접지 커패시턴스에 대한 웨이퍼의 변동 범위가 상당히 크기 때문에, 이러한 커패시턴스에서의 작은 변화들은 거리 측정에 영향을 줄 수 있다. 접지 커패시턴스에 대한 웨이퍼가 용량성 센서의 공칭 커패시턴스보다 적어도 1000 배가 아닌 경우, 접지 커패시턴스에 대한 웨이퍼의 작은 변화들은 측정된 커패시턴스에서의 변화들 및 거리 측정에서의 원하지 않는 변화들을 발생시킬 것이다.

[0123] 차동 측정 원리에서, 차동 쌍의 2 개의 용량성 센서들(30a, 30b)은 도 23b에 도시된 바와 같이 180 도 위상차를 갖는 전류원들(306a, 306b)에 의해 구동된다. 하나의 프로브를 통한 전류는 타겟 내의 도전층을 통한 경로를 발견한다. 가상 접지, 즉, 전류 경로 내의 최저 전위 또는 일정한 전위가 전류 경로의 중심에서 생성된다. 고임피던스 증폭기들(305a, 305b)은 용량성 센서들 및 타겟 내의 도전층 사이의 거리에서의 변화에 대응하는 전압 신호들을 측정하는데 사용된다. 차동 측정 원리는 거리 측정이 접지 임피던스에 대한 웨이퍼의 변동에 대해 독립적일도록 한다.

[0124] 도 24a는 전압원을 사용하여 용량성 센서(30)를 바이어싱하기 위한 대안적인 회로를 도시한다. 2 개의 고정 임피던스들(71 및 72), 가변 커패시턴스(73), 및 용량성 센서(30)(가변 커패시턴스로서 도시됨)는 전압원(306)에 의해 동력이 공급되는 휘스톤 브릿지 어레이지먼트로 배열된다. 상기 브릿지는 병렬 회로로 배열된 2 개의 레그들, 제 1 노드에서 함께 접속되고 하나의 레그를 형성하는 임피던스(71) 및 가변 커패시턴스(73), 및 제 2 노드에서 접속되고 다른 레그를 형성하는 임피던스(72) 및 용량성 센서(30)를 갖는다. 고정 임피던스들(71 및 72)은 동일한 임피던스 값을 갖고, 가변 커패시턴스(73)는 용량성 센서(30)의 공칭 커패시턴스와 매칭하도록 조절된다. 브릿지의 각각의 레그의 중간 지점에서 2 개의 노드들은 차동 증폭기(75)의 2 개의 입력들에 접속되고, 차동 증폭기(75)는 노드들에 걸쳐, 즉, 가변 커패시턴스(73) 및 용량성 센서(30)에 걸친 전압에서의 차이를 측정한다. 가변 커패시턴스는 차동 증폭기의 널(null) 값을 조절하도록 동조되고, 자동화된 조정 알고리즘에 의해 조절될 수 있다.

- [0125] 브릿지 컴포넌트들 및 차동 증폭기는 용량성 센서에 위치될 수 있다. 도 17a 내지 도 17d에 도시된 바와 같은 유연한 인쇄 구조와 관련하여 사용될 때, 고정 임피던스들(71, 72)은 용량성 센서와 동일한 가요성 기저층 상에 형성될 수 있다. 가변 커패시턴스(73)는 가변 커패시턴스 다이오드(배리캡(varicap)) 또는 다른 적절한 컴포넌트를 사용하여 형성될 수 있다. 가변 커패시턴스(73)는 또한 기저층 상에 장착 또는 형성된 컴포넌트로서 가요성 기저층 상에 통합되거나, 구리 및 절연층들을 사용하여 가요성 구조 자체에 통합될 수 있다. 차동 증폭기는 기저층 상에 형성될 수 있지만, 앞서 논의된 진공 환경에서 능동 컴포넌트들에 관한 고려 사항들이 또한 적용된다. 차동 증폭기가 원격에 위치되고 용량성 센서 및 가변 커패시턴스에 대한 접속을 위해 동일한 케이블 길이가 사용될 때, 케이블 커패시턴스의 효과가 제거될 수 있고, 공통 모드 외란들이 상쇄될 수 있다.
- [0126] 도 24b는 차동 용량성 센서 쌍에 대해 구현된 도 24a의 회로를 도시한다. 차동 용량성 센서 쌍 중 각각의 용량성 센서(30a, 30b)는 고정 임피던스(71, 72)에 접속되고, 전압원(306a, 306b)에 의해 바이어싱된다. 휘스톤 브릿지 어레인지먼트는, 타겟 위에 받쳐진 도전성 웨이퍼를 통해 접속되는 용량성 센서 쌍(30a 및 30b) 및 고정 커패시턴스들(71 및 72)에 의해 이제 형성된다.
- [0127] 도 25는 고임피던스 증폭기 회로들을 통한 차동 측정을 사용하는 실시예를 도시한다. 2 개의 용량성 센서들(30a, 30b)은 차동 쌍으로 배열된다. 용량성 센서(30a)의 센싱 전극(31a)은 AC 전류원(306a)에 의해 구동되고, 용량성 센서(30b)의 센싱 전극(31b)은 AC 전류원(306b)에 의해 구동된다. 2 개의 전류원들(306a, 306b)은 서로에 대해 180 도 위상차를 갖는다. 하나의 절반 주기 동안에, 전류(307)는 용량성 센서(30a) 및 용량성 센서-타겟 커패시턴스(16a)를 통해, 타겟(9)의 도전층을 통해, 및 용량성 센서-타겟 커패시턴스(16b)를 통해 및 용량성 센서(30b)를 통해 하나의 방향으로 흐른다. 다음 절반 주기 동안에, 전류는 역방향으로 흐른다.
- [0128] 증폭기/버퍼(305a)는 부가적인 프로세싱을 위한 출력 신호(309a)를 생성하기 위해 용량성 센서(30a)의 원 출력 전압을 증폭한다. 출력(309a)은 또한 용량성 센서(30a)의 측면 가드 전극(32a) 및/또는 후방 가드 전극(35a)에 피드백될 수 있다. 이것은, 센싱 전극에 존재하는 동일한 전압으로 가드 전극들에 동력을 공급함으로써 능동 가드를 구현하여, 센싱 전극과 가드 전극 사이에 형성되는 전기장이 존재하지 않고, 센싱 전극과 타겟 사이의 전기장이 가능한 균일하다. 마찬가지로, 증폭기/버퍼(305b)는 출력 신호(309b)를 생성하고 용량성 센서(30b)의 가드 전극들에 대한 능동 바이어싱 신호를 제공하기 위해 용량성 센서(30b)의 원 출력 전압을 증폭한다. 출력 신호들(309a, 309b)은 각각 동기식 검출기 회로들(330a, 330b)에 입력될 수 있다.
- [0129] 증폭기들(305a, 305b)은, 용량성 센서로부터 신호 프로세싱이 발생하는 원격 위치로 케이블링함으로써 도입되는 부가적인 커패시턴스들에 의해 야기되는 에러들의 도입을 방지하기 위해, 특히 가드 전극들의 능동 바이어싱이 구현될 때 용량성 센서들(30a, 30b)에 가깝게 위치되는 것이 바람직하다. 진공에서 동작하는 리소그래피 기계에 대한 용량성 센서 애플리케이션들에 대해, 능동 컴포넌트들을 용량성 센서들에 가깝게 배치하는 것은 이러한 컴포넌트들을 진공 챔버 내에 놓는 것을 항상 요구하고, 이것은 진공에서의 방사에 의한 열 전달의 부재로 인해 열 소멸 문제점들을 발생시킬 수 있다(전도에 의한 열 전달이 진공에서 여전히 발생하지만). 이러한 이유로, 전류원들(306a, 306b) 및 동기식 검출기들(330a, 330b)과 같은 부가적인 신호 프로세싱 회로들은 진공 챔버 외부에 용량성 센서들로부터 원격으로 위치될 수 있다. 그러나, 능동 컴포넌트들로부터 멀리 열의 전도를 허용하는 구성에서, 더 낮은 측정 에러를 성취하기 위해 증폭기들(305a, 305b)은 용량성 센서들에 가까운 진공 챔버 내에 위치되는 것이 바람직하다.
- [0130] 도 26은 동기식 검출기 회로(330)의 일 실시예를 도시한다. 기준 발진기(331)는, 용량성 센서를 구동시키기 위한 교류 전류(332)를 생성하기 위해 전류원(306)에 의해 사용되고, 기준 주파수에 관련하여 위상 시프트를 갖는 기준 신호(334)를 (또한 주파수(f1)에서) 생성하기 위해 위상 시프터(333)에 의해 사용되는 기준 주파수(f1)를 생성한다. 기준 신호(334)의 위상 시프트는, 동기식 검출기 회로(330)와 용량성 센서 사이의 케이블링에서 및 센싱 어레인지먼트 내에서 발생하는 위상 시프트를 확인하기 위해 기준 주파수와 용량성 센서로부터의 신호(309) 사이의 위상 시프트와 동일하도록 동조된다.
- [0131] 주파수(f2)에서 용량성 센서로부터의 출력(309)은 입력 버퍼(335)에 대한 입력이다. 곱셈기(337)는 주파수(f2)에서 버퍼링되거나 증폭된 입력 신호(336) 및 주파수(f1)에서 기준 신호(334)를 수신한다. 곱셈기(337)로부터의 출력은 2 개의 입력 주파수들의 합산(f1+f2) 및 2 개의 입력 주파수들 간의 차이(f1-f2)의 컴포넌트들을 포함할 것이다. 곱셈기(337)로부터의 출력은 2 개의 입력 주파수들 간의 차이(f1-f2)를 나타내는 저주파수 컴포넌트를 남겨두기 위해 더 높은 주파수들을 필터링(filter out)하도록 저대역 통과 필터(338)를 통해 통과된다. 이러한 신호는 측정 신호(340)를 생성하기 위해 증폭기(339)에 의해 증폭된다. 이러한 측정 신호(340)는 용량성 센서에 의해 측정되는 임피던스에서의 변화를 나타내고, 이는 용량성 센서와 타겟 사이의 거리

에서의 변화에 의존한다.

- [0132] 위에서 유의된 바와 같이, 용량성 센서들 및 신호 프로세싱 회로들을 구동시키기 위한 전류원은 용량성 센서들로부터 원격으로 위치될 수 있다. 그러나, 용량성 센서들을 원격 회로들에 접속하기 위해 사용되는 케이블링 접속은 시스템에서 부가적인 원하지 않는 커패시턴스들을 도입할 것이다. 도 27은 용량성 센서 시스템에서 커패시턴스들을 도시하는 도면이다. 커패시턴스(C_{in})는 전류원(306)의 출력 커패시턴스 및 케이블 커패시턴스의 합을 나타내고, 커패시턴스(C_s)는 용량성 센서 및 용량성 센서 접속 라인들의 진성(기생) 커패시턴스와 측정된 용량성 센서-타겟 커패시턴스의 합을 나타내고, 커패시턴스(C_{out})는 버퍼(305)의 입력 커패시턴스와 케이블 커패시턴스의 합을 나타낸다. 큰 표유 커패시턴스들(stray capacitances)이 용량성 센서의 감도를 감소시킬 것이기 때문에, 표유 커패시턴스들(C_{in} 및 C_{out})은 C_s 및 측정되는 용량성 센서-타겟 커패시턴스와 비교하여 작아야 한다.
- [0133] 용량성 센서들을 신호 프로세싱 회로들에 접속하는 케이블의 커패시턴스는 클 수 있고, 용량성 센서의 감도에 대해 악영향을 가질 수 있다. 능동 가당은 이러한 문제점을 감소시키거나 제거하기 위해 케이블 도전체들에서 사용될 수 있다. 도 28a는 용량성 센서(30)를 신호 프로세싱 회로(330)에 접속하는 케이블(350)을 갖는 어레인지먼트를 도시한다. 도시된 어레인지먼트에서, 증폭기/버퍼(305)는 용량성 센서(30)에 로컬적으로(수직 점선의 좌측에) 위치되고, 전류원(306)은 용량성 센서로부터 원격으로(수직 점선의 우측에) 위치된다. 전류원(306)은 케이블의 중심 도전체(351)를 통해 전류를 용량성 센서(30)로 전송한다. 버퍼(305)는 용량성 센서의 센싱 전극들 상에 존재하는 것과 동일한 전압으로 동축 도전체(352)에 동력을 공급한다. 중심 도전체(351) 및 동축 도전체(352)가 그들 상에서 동일한 전압을 갖기 때문에, 도전체들 사이의 임의의 표유 커패시턴스의 효과가 효과적으로 무효화된다.
- [0134] 도 28b는 케이블(350)의 도전체들 및 용량성 센서(30)의 도전성 전극들 사이의 접속들을 도시한다. 중앙 도전체(351)는 센싱 전극(31)에 접속되고, 내부 동축 도전체(352)는 후방 가드 전극(35)에 접속되고, 외부 동축 도전체(353)는 차폐 전극(44)에 접속된다.
- [0135] 이러한 실시예에서 케이블은, 차폐로서 기능하고 접지되는 제 3 동축 도전체(353)를 갖는 삼축 케이블이다. 차폐는 케이블의 원격 단부, 예를 들면, 회로(330)에서 개별적인 접지에 접속되는 것이 바람직하다. 이러한 접지는 단지 차폐 접지이고, 용량성 센서에서 임의의 접지에 접속되지 않는 것이 바람직하다.
- [0136] 이러한 어레인지먼트에 대한 많은 대안들이 가능하다. 예를 들면, 비동축 케이블이 또한 사용될 수 있고, 버퍼(305)는, 케이블(350)의 원단(far end)으로부터 로컬적으로 신호 프로세싱 회로들(330)로 도전체(352)에 동력을 공급하기 위해 용량성 센서로부터 원격으로 위치될 수 있다.
- [0137] 용량성 센서 및 신호 프로세싱 회로의 물리적 분리는 종래의 설계들에서 회피되어 왔고, 종래의 설계들에서, 용량성 센서들 및 회로가 하나의 제조자에 의해 함께 공급되고, 전자 회로들을 용량성 센서와 매칭시키고 비선형성들을 회피하기 위한 설정으로서 공장에서 함께 조정되었다. 본원에 기재된 시스템에서, 예를 들면, 웨이퍼 테이블을 알려진 위치들로 이동시키고, 용량성 센서들로부터 측정들을 수행함으로써 센싱 시스템을 신속하게 조정하기 위해 웨이퍼 테이블 제어 시스템과 관련하여 자동화된 스크립트(script)가 사용될 수 있다. 이것은 용량성 센서 및 신호 프로세싱 회로를 매칭된 쌍으로서 처리할 필요성을 제거하고, 또한 신호 프로세싱 회로를 대체하지 않고 용량성 센서의 대체를 허용하여, 유지 보수를 크게 간략화하고, 리소그래피 기계에 대한 비생산 시간을 감소시키고, 따라서 처리량을 증가시킨다.
- [0138] 도 29는 동기식 회로(360)의 또 다른 실시예를 도시한다. 디지털 기준 발진기(376)는 기준 주파수(f_1)를 생성하고, 기준 주파수는 혼합기(372)에 입력되는 기준 신호를 형성하고, 또한 위상 지연을 도입시키기 위해 디지털 위상 시프터(377)에 제공된다. 위상 지연된 기준 주파수는 디지털-아날로그 변환기(378)에 의해 아날로그 신호로 변환되고, 아날로그 위상 지연된 신호는 용량성 센서(30)에 동력을 공급하는 전류원(306)을 구동시킨다. 위상 지연은, 동기식 검출기 회로에 대한 입력에서의 용량성 센서 시스템 출력 신호(361)와 기준 주파수(f_1) 사이의 위상 차이와 같은, 센싱 시스템과 케이블(350)에서 발생하는 위상 시프트와 같게 동조된다. 위상 지연은 최대 출력이 혼합기(372)로부터 획득될 때까지 위상 시프터(377)를 조절함으로써 설정될 수 있다. 센싱 시스템 및 케이블 내의 위상 시프트는 용량성 센서의 커패시턴스가 변할 때조차 일정하게 유지되어야 한다는 것을 유의하라.
- [0139] 입력 버퍼(362)는 용량성 센서 신호(361)를 수신하고, 버퍼링된 신호는 신호로부터 잡음 및 간섭을 필터링하기 위해 대역 통과 필터(363)에 입력된다. 필터링된 신호는 아날로그-디지털 변환기(364)에 의해 디지털 신호로

변환된다. 그후, 디지털 프로세싱이 사용되고, 따라서 회로(360)는 아날로그 및 디지털 양자의 최상의 특징들을 사용하기 위해 신호들의 아날로그 및 디지털 프로세싱을 조합한다. 그후, 디지털 필터링된 용량성 센서 신호는 2 개의 차동 출력들을 갖는 단일-입력 차동-출력, 차동 증폭기(또는 위상 분할기)(371)에 입력되고, 하나의 출력은 입력 신호와 동위상이고, 다른 출력은 입력 신호와 180 도 위상차를 갖는다. 혼합기(372)는 차동 출력들(주파수(f2)에서) 및 기준 신호(주파수(f1)에서)를 수신한다. 입력 주파수(f1)(기준 주파수) 및 입력 주파수(f2)(용량성 센서 신호(361)의 주파수)는 혼합기(372)에서 제거되고, 혼합기 출력은 입력 주파수들의 합산 및 차이(즉, $f1+f2$ 및 $f1-f2$)의 주파수들을 갖는 컴포넌트들을 포함한다. 저대역 통과 필터(373)는 주파수들의 합산을 필터링하여 기준 주파수 및 용량성 센서 신호 주파수 사이의 차이($f1-f2$)를 나타내는 저주파수 컴포넌트들을 남겨 둔다. 주파수들($f1$ 및 $f2$)이 동일하고 동위상일 때, 혼합기는 용량성 센서 신호(361)의 진폭에 비례하는 DC 값을 출력하고, DC 값은 용량성 센서 커패시턴스에 비례하고, 용량성 센서와 타겟 사이의 거리에 비례한다. 증폭기(374)는 저대역 통과 필터로부터의 출력을 증폭하고, 그후 이것은 제어 시스템에 입력될 수 있다.

[0140] 조정 알고리즘은 용량성 센서 시스템에 대해 동기식 검출기 회로를 자동적으로 조정하는데 사용될 수 있다. 상기 알고리즘은 위상 지연을 증가 또는 감소시키기 위한 단계들에서 디지털 위상 시프터(377)를 조절하고, 혼합기(372)의 출력을 모니터링한다. 위상-시프터는, 기준 신호와 용량성 센서 신호가 동위상이라는 것을 나타내는 최대값이 혼합기(372)의 출력에서 성취될 때까지 조절된다.

[0141] 동기식 검출 회로의 디지털 프로세싱은 필드 프로그래밍 가능 게이트 어레이(FPGA)를 사용하여 구현될 수 있고, 조정 알고리즘은 또한 FPGA로 또는 FPGA와 관련하여 작동하는 소프트웨어로 구현될 수 있다.

[0142] 자동화된 조정을 갖는 이러한 설계는, 용량성 센서 또는 용량성 센서들로부터의 측정 신호들을 프로세싱하는 신호 프로세싱 회로를 또한 대체 또는 재조정할 필요성 없이 용량성 센서 또는 용량성 센서들의 어레이를 대체하는 것을 허용한다. 종래의 용량성 센서 시스템 설계들은 매칭된 설정으로서 공장에서 함께 조정되는 용량성 센서들 및 신호 프로세싱 회로를 수반하여, 용량성 센서를 대체하는 것이 신호 프로세싱 회로를 대체하는 것을 또한 요구하였다. 자동화된 조정 알고리즘은 용량성 센서들이 신호 프로세싱 회로들과 독립적으로 대체되도록 하고, 새로운 용량성 센서들과 기존의 신호 프로세싱 회로들의 신속한 조정을 가능하게 하여, 유지 보수를 크게 간략화하고, 리소그래피 기계에 대한 비생산 시간을 감소시킨다. 이것은 더 적은 다운시간 및 결과적으로 리소그래피 기계의 더 높은 처리량을 가능하게 한다.

[0143] 도 30은 차동 쌍의 용량성 센서들(30a, 30b)에 대한 프로세싱 회로의 간략화된 도면이다. 용량성 센서들은 180 도 위상차로 동작하는 전류(또는 전압)원들(306a, 306b)에 의해 바이어싱된다. 각각의 용량성 센서(30a, 30b)의 출력은 각각 동기식 검출기 회로들(360a, 360b)에 제공되고, 동기식 검출기 회로들의 출력들은 감산 함수를 구현하는 회로(380)에 입력된다. 동기식 검출기 회로의 출력들은 180 도 위상차를 갖고, 그래서 감산은 용량성 센서 신호들을 유지하면서 2 개의 동기식 검출기 회로 출력들로부터 공통 모드 간섭을 제거하도록 연산된다.

[0144] 용량성 센서들은 리소그래피 기계에 대한 웨이퍼의 위치 선정의 제어를 위해 사용될 수 있다. 도 31은 그러한 제어 시스템의 간략도이다. 용량성 센서들(30)은 리소그래피 기계의 투사 렌즈(104) 및 이동 가능한 웨이퍼 테이블(134) 상에 받쳐있는 웨이퍼(9) 사이의 거리에 관련된 거리를 측정한다. 이러한 어레이먼트에서, 용량성 센서들은 고정된 관계로 투사 렌즈에 장착되어, 투사 렌즈 및 웨이퍼 사이의 거리가 용량성 센서들 및 웨이퍼 사이에 측정된 거리로부터 결정될 수 있다. 용량성 센서 신호들은 신호 프로세싱 유닛(301)으로 전송되고, 신호 프로세싱 유닛에 의해 출력된 측정된 데이터는 제어 유닛(400)으로 전송된다. 제어 유닛(400)은 리소그래피 기계의 투사 렌즈의 포커스 평면에 웨이퍼를 유지하기 위해 웨이퍼 테이블의 z-축(수직) 이동을 제어하는데 사용될 수 있어서, 웨이퍼가 x 및 y 축으로 이동함에 따라 상기 기계에 의해 생성된 대전 입자 빔들이 웨이퍼의 표면 상에 여전히 포커싱된다.

[0145] 제어 시스템과 관련하여 용량성 센서 시스템은, 웨이퍼가 이동됨에 따라 다양한 지점들에서 투사 렌즈와 웨이퍼 사이의 거리를 정확히 결정하는데 사용될 수 있다. 이것은 상기 시스템이 웨이퍼의 표면의 토폴로지를 결정하게 하여, 웨이퍼 내의 기울기 또는 보(bow)의 존재 및 웨이퍼의 표면 내의 다른 불균일성들을 검출한다. 웨이퍼 표면은 결코 거의 완전히 평평하지는 않다. 통상적인 웨이퍼는 클램핑 없이 웨이퍼 내에 50 μm 까지의 보를 가질 수 있다. 웨이퍼 보 이외에, 웨이퍼 표면은 그의 표면에 걸쳐 다른 불균일성들을 가질 수 있다. 웨이퍼 보 및 다른 불균일성들은 웨이퍼 표면에서 높이 변동들을 야기하고, 이것은 웨이퍼 표면이 투사 렌즈의 포커스 평면 내에 있지 않게 한다. 제어 시스템은, 광학 또는 입자 노출 빔들을 웨이퍼로 포커싱하는데 사용되는 투사 렌즈의 포커스 평면에 웨이퍼 표면을 유지하기 위해 이러한 높이 변동을 정정하는데 사용될 수 있다. 웨이퍼 테이블의 수직 위치는 용량성 센서들로부터 전송된 신호들을 사용하여 웨이퍼 표면의 높이에서의 이러한 변동들

을 보상하도록 조절될 수 있다.

- [0146] 상기 시스템은, 미래에 측정들을 행하는 것보다는 웨이퍼를 프로세싱(예를 들면, 노출)하면서 웨이퍼 표면의 토폴로지를 측정하도록 설계된다. 이것은 전체 웨이퍼 프로세싱 시간을 감소시키고, 처리량을 증가시킨다.
- [0147] 일 실시예에서, 도 32a에 도시된 바와 같이, 투사 렌즈 주변에 정사각형 매트릭스의 8 개의 용량성 센서들의 어레이먼트가 사용된다. 이러한 어레이먼트는 웨이퍼 기울기, 웨이퍼 보 및 다른 불규칙성들의 측정 및 웨이퍼의 노출이 웨이퍼의 단일 스캔으로 이루어지도록 허용한다. 통상적인 어레이먼트에서, 웨이퍼는 기계적인 스캔 방향으로 이동되고, 한편 리소그래피 기계의 광학 또는 대전 입자 빔들은 노출 패턴에 따라 웨이퍼를 노출시키기 위해 웨이퍼의 표면에 걸쳐 스캐닝된다.
- [0148] 도 32a의 실시예에서, 웨이퍼가 기계적인 스캔 방향(405)으로 이동됨에 따라, 제 1 로우(row)의 용량성 센서들(A-C)은 용량성 센서들(A, B 및 C)에 대응하여 웨이퍼의 표면 상의 라인 내의 3 개의 지점들에서 웨이퍼 표면에 대한 거리를 측정한다. 웨이퍼 위치에서의 기울기, 웨이퍼 내의 보, 또는 다른 표면 불규칙성들의 존재 및 크기는, 용량성 센서(B)로부터의 측정과 용량성 센서들(A 및 C)로부터의 측정들을 비교함으로써 계산될 수 있다. 라인을 따라 웨이퍼 기울기, 보 또는 불규칙성의 계산된 값은 제어 시스템 내의 메모리에 저장된다. 웨이퍼가 방향(405)으로 진행됨에 따라, 용량성 센서들(A-C)에 의해 이전에 측정된 라인은 투사 렌즈(104) 아래로 떨어지고, 노출될 준비를 한다. 투사 렌즈의 어느 한 측면 상의 용량성 센서들(D 및 E)은 용량성 센서들(A 및 C)에 의해 이전에 측정된 라인 상의 지점들에 대한 거리를 측정한다. 투사 렌즈 아래의 지점에서 웨이퍼의 높이는 이제 용량성 센서들(D 및 E)로부터 전류 측정들 및 저장된 값에 기초하여 계산될 수 있다. 제어 시스템은, 웨이퍼의 표면이 투사 렌즈의 포커스 평면 내에 머물도록 보장하기 위해 웨이퍼 테이블의 높이를 조정하도록 투사 렌즈 아래의 지점에서 웨이퍼의 높이의 이러한 계산을 사용할 수 있다. 이것은 웨이퍼의 단일 스캔에서 측정 및 정정될 웨이퍼의 표면 내의 기울기, 보 또는 다른 불규칙성에 대한 보상을 가능하게 한다.
- [0149] 즉, 웨이퍼가 방향(405) 또는 반대 방향으로 이동할 때, 상술된 동일한 프로세스가 양자의 기계적 스캔 방향들에서 사용되도록 하는 제 3 로우의 용량성 센서들(F-H)이 제공된다. 도 32a는 8 개의 용량성 센서들의 매트릭스를 예시하지만, 상술된 방법은 상이한 수의 용량성 센서들로 구현될 수 있다. 또한, 도 32a에 도시된 각각의 용량성 센서는 차동 쌍의 용량성 센서들일 수 있어서, 각각의 지점(A-H)에서 차동 측정을 한다.
- [0150] 투사 렌즈(104)의 4 개의 코너들에서 차동 쌍들의 8 개의 용량성 센서들의 어레이먼트를 갖는 또 다른 실시예가 도 32b에 도시된다. 이러한 어레이먼트는, 예를 들면, 수용 가능한 값으로 웨이퍼 보를 감소시키기 위한 노출 동안에 웨이퍼가 충분히 잘 클램핑되는 리소그래피 시스템들에서 적합하다. 그러나, 매우 평평한 웨이퍼 테이블 표면 및 웨이퍼 테이블에 대해 평평한 웨이퍼를 지지하는 양호한 클램프를 갖더라도, 웨이퍼에서의 변동들 및 그의 표면 상의 저항층으로 인해 웨이퍼 표면에서 변동이 여전히 존재할 것이다. 이러한 실시예에서, 웨이퍼가 기계적인 스캔 방향(405)으로 이동됨에 따라, 용량성 센서 쌍들(A 및 B)을 포함하는 제 1 로우는 위치들(A 및 B)에 대응하는 웨이퍼의 표면 상의 라인 내의 2 개의 지점들에서 웨이퍼 표면에 대한 거리를 측정한다. 측정들은 또한 위치들(C 및 D)에서 용량성 센서 쌍들(C 및 D)에 의해 이루어질 수 있다.
- [0151] 지점들(A, B, C 및 D)에서의 웨이퍼에 대한 거리, 웨이퍼에 대한 평균 거리, 및 웨이퍼 내의 기울기(예를 들면, 스캔의 방향 및 다른 방향들의 웨이퍼 기울기)의 존재 및 크기가 계산되고, 제어 시스템 내의 메모리에 저장될 수 있다. 이러한 측정들로부터, 투사 렌즈(104)의 중심 및 웨이퍼의 표면 사이의 거리가 계산될 수 있다.
- [0152] 도 32c는 투사 렌즈 및 웨이퍼의 표면 사이의 거리, 및 웨이퍼의 표면 위의 기울기 값을 결정하기 위한 측정 방법을 예시한다. 노출 전에, 몇몇의 미리 결정된 위치들에서, 예를 들면, 도 32c에 도시된 바와 같이, 웨이퍼에 대한 주변 둘레의 중심 및 4 개의 등거리 위치들에서 웨이퍼의 로컬 경사도들(gradients)이 측정된다. 웨이퍼 테이블은 x-방향에서 웨이퍼 테이블의 기울기(R_x) 및 y-방향에서 웨이퍼 테이블의 기울기(R_y)를 조절하도록 제어 가능하다. 측정들 동안에, 웨이퍼 테이블의 기울기(R_x 및 R_y)는 일정한 값으로 유지된다.
- [0153] 측정 결과들을 사용하여, 프로세싱 유닛에 의해 노출될 웨이퍼의 완전한 영역의 높이 맵이 계산된다. 높이 맵으로부터, 기울기 정정 값들($R_x(x,y)$ 및 $R_y(x,y)$)은 웨이퍼 테이블을 기울이도록 노출 동안에 웨이퍼 테이블을 작동시키는데 있어서 웨이퍼의 표면에 걸친 높이 변동들을 정정하기 위해 계산된다. x- 및 y-방향들에 대해 전체 노출에서 일정한 기울기 정정이 계산될 수 있고, 즉, $R_x(x,y)$ 는 일정한 값이고, $R_y(x,y)$ 는 노출 동안 (어쩌면 상이한) 일정한 값이다. 웨이퍼의 상이한 영역들에서 다수의 기울기 정정 값들(R_x 및 R_y)이 계산되고, 각각의 영역이 노출될 때 웨이퍼 테이블이 이에 따라 조절되는 경우에, 더 복잡한 계산이 또한 이루어질 수 있다.

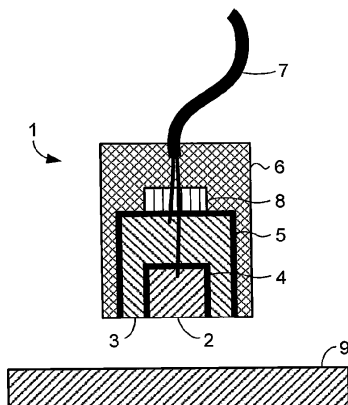
[0154] 노출 동안에, x- 및 y-방향들에서 웨이퍼 테이블의 기울기는 계산된 기울기 정정 값들(R_x 및 R_y)에 따라 제어된다. 이것은, 예를 들면, 웨이퍼 테이블 위치 및 기울기의 피드백에 대한 간섭계(interferometer) 신호들을 사용하여 성취될 수 있다. 그후, 레벨 용량성 센서들은 단지 z-방향 데이터, 즉, 투사 렌즈와 웨이퍼 표면 사이의 거리를 생성하는데 사용될 수 있다.

[0155] 이러한 절차는 상술된 인-라인 측정 방법, 및 웨이퍼에 대한 z-방향 거리가 다양한 위치들에서 측정되는 진보된 웨이퍼 맵핑 방법에서 변동하며, 이로부터 x- 및 y- 방향들의 웨이퍼 표면의 전체 기울기가 계산된다. 그후, 웨이퍼 테이블은 프로젝터 헤드에 대해 명목상으로 평행하는 웨이퍼 표면을 제공하기 위해, 노출 전에 임의의 그러한 기울기를 최적으로 정정하고, 웨이퍼의 스캐닝 동안에 리소그래피 컬럼(column)의 광학 축으로 횡단하도록 조절된다. 스캐닝 동안에, 웨이퍼 표면의 계산된 높이 맵은 z-방향에서의 변동, 즉, 투사 렌즈 및 웨이퍼 표면 사이의 거리에서의 변동에 적응하는데 사용될 수 있다. z-방향 값들은 측정된 값들 사이에 보간을 사용함으로써 또는 이전에 결정된 높이 맵으로부터 직접적으로 알 수 있다.

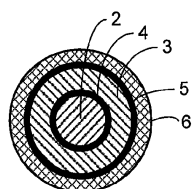
[0156] 본 발명은 상술된 특정 실시예들을 참조하여 설명되었다. 다양한 구조들 및 대안들이 설명되었고, 당업자에 의해 인지될 바와 같이, 다양한 구조들 및 대안들이 본원에 기재된 실시예들 중 임의의 실시예에서 사용될 수 있다는 것이 유의되어야 한다. 또한, 이러한 실시예들이 본 발명의 사상 및 범위에서 벗어나지 않고 당업자에게 잘 알려진 다양한 수정들 및 대안적인 형태들에 영향을 받기 쉽다는 것이 인지될 것이다. 따라서, 특정 실시예들이 설명되었지만, 이것은 단지 예들이고, 본 발명의 범위를 제한하지 않고, 본 발명의 범위는 첨부된 청구항들에 규정된다.

도면

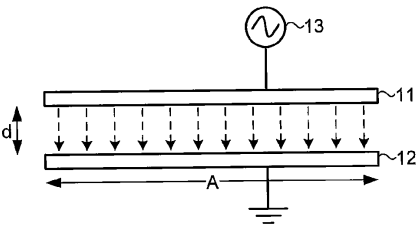
도면1a



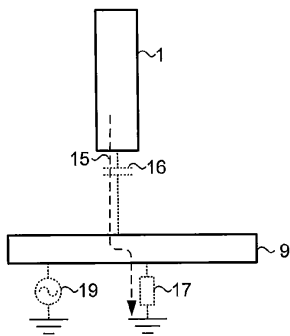
도면1b



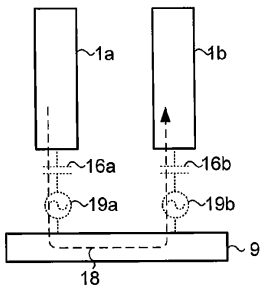
도면2



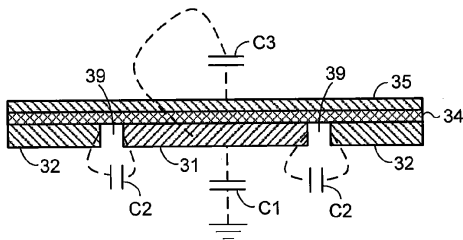
도면3



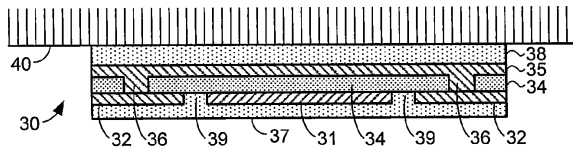
도면4



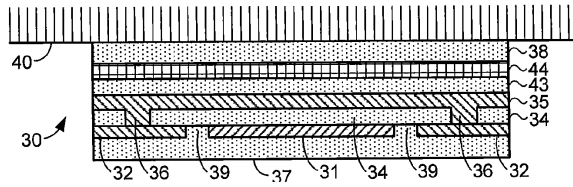
도면5



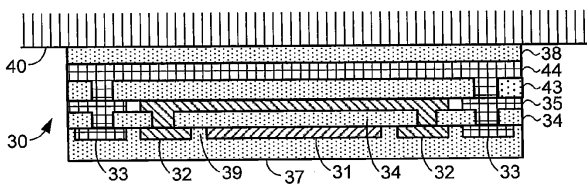
도면6a



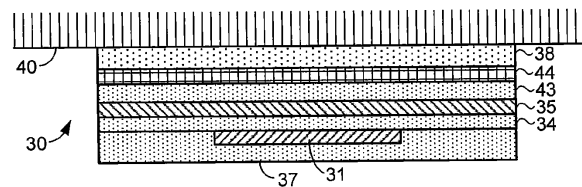
도면6b



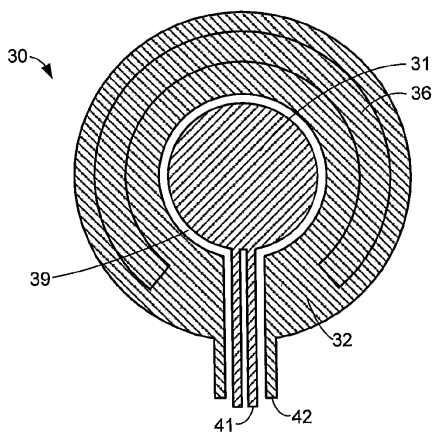
도면6c



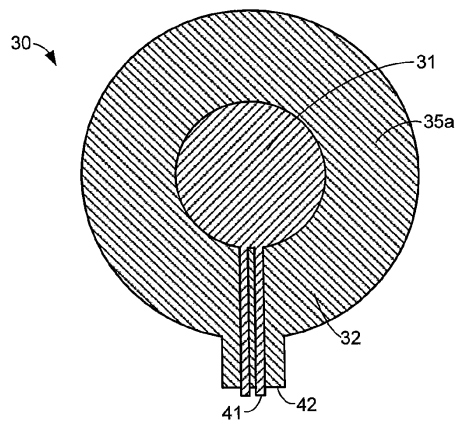
도면6d



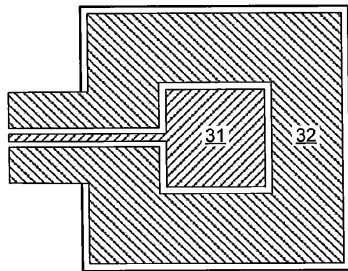
도면6e



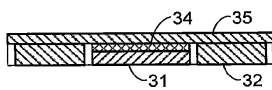
도면6f



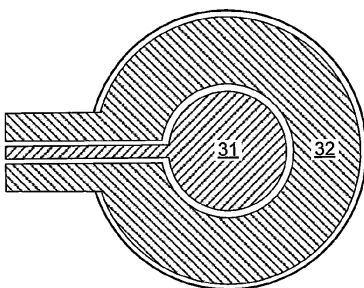
도면7a



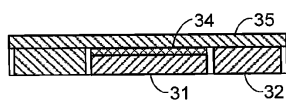
도면7b



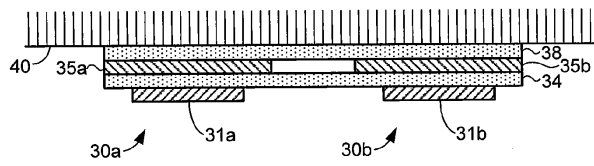
도면8a



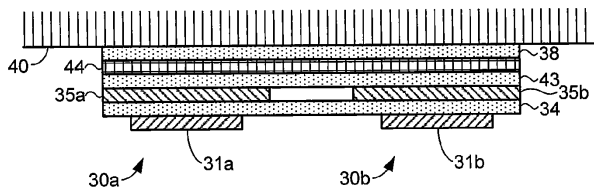
도면8b



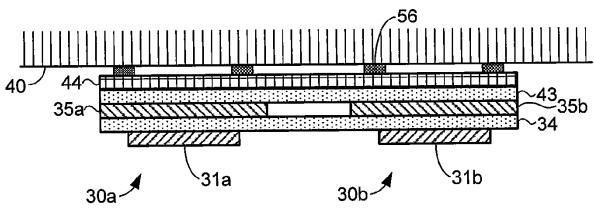
도면9a



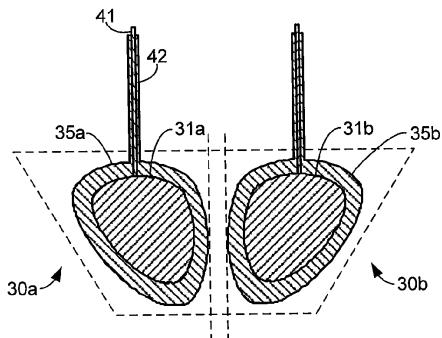
도면9b



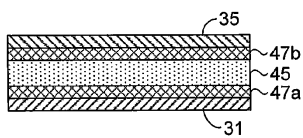
도면9c



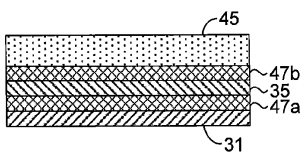
도면9d



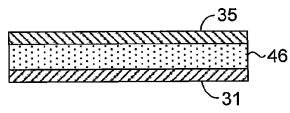
도면10a



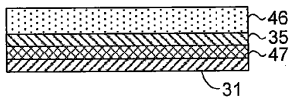
도면10b



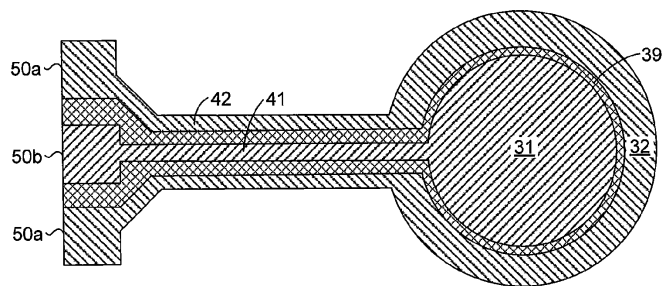
도면10c



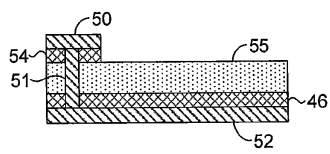
도면10d



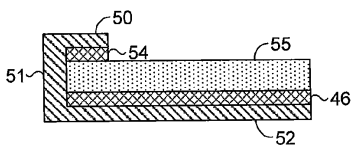
도면11



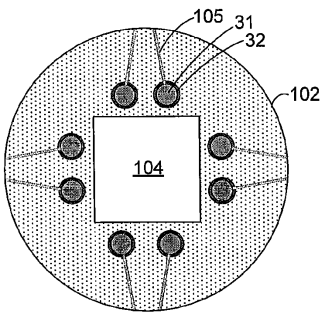
도면12a



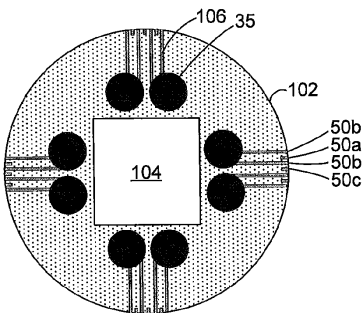
도면12b



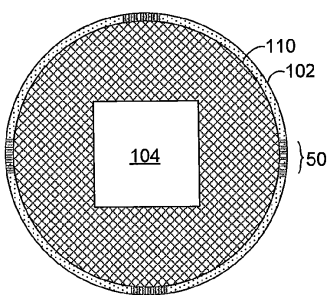
도면13a



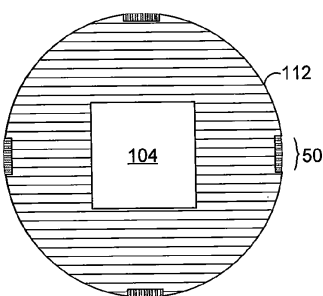
도면13b



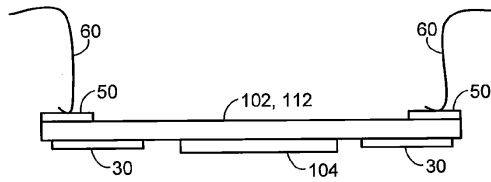
도면13c



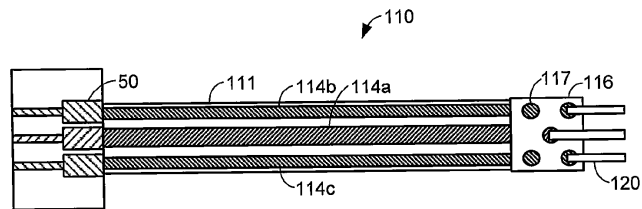
도면13d



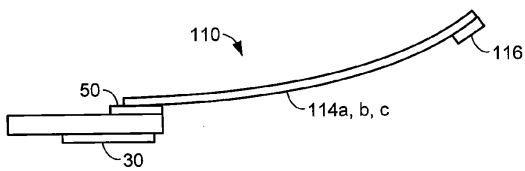
도면14



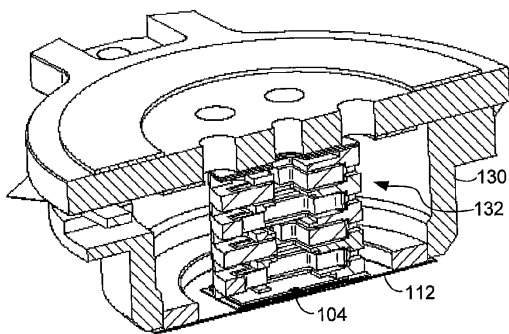
도면15a



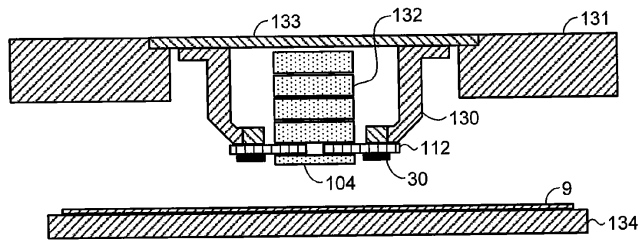
도면15b



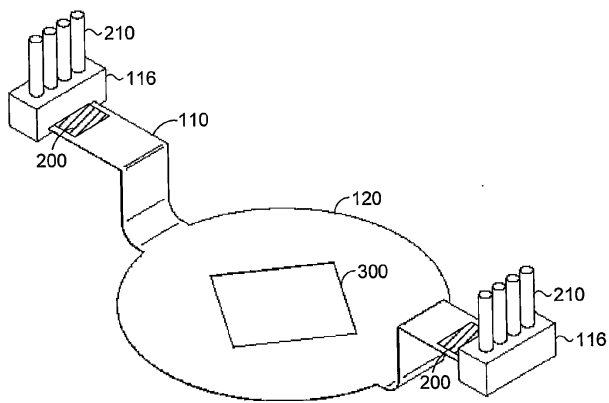
도면16a



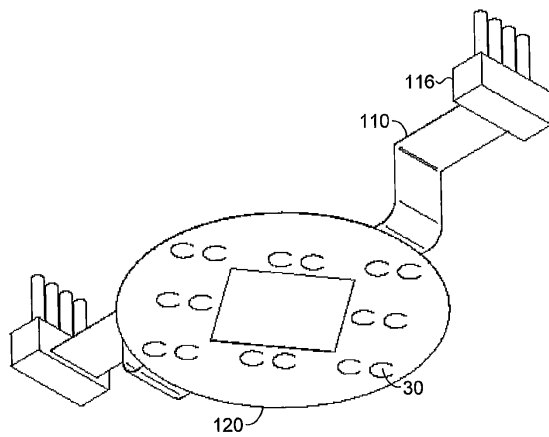
도면16b



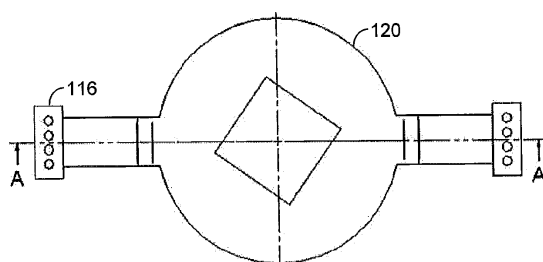
도면17a



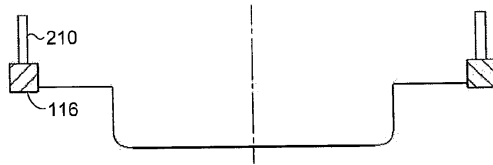
도면17b



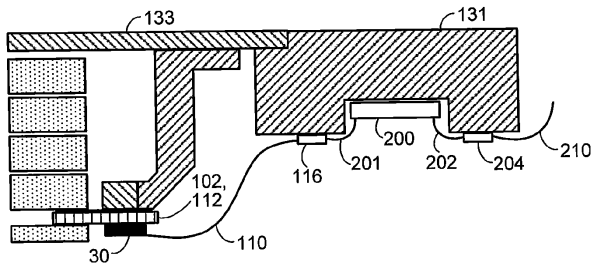
도면17c



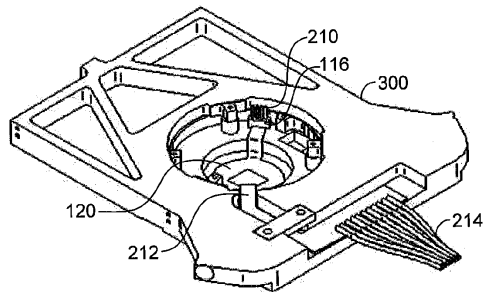
도면17d



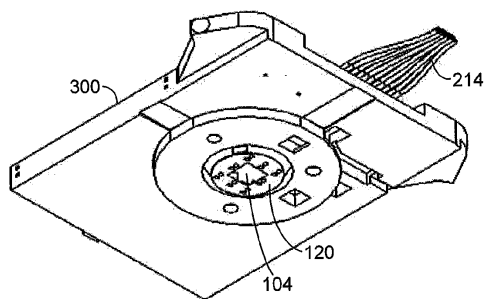
도면18



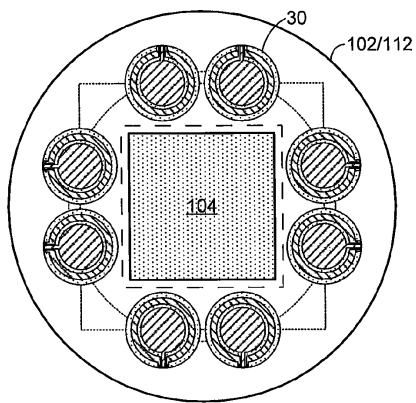
도면19a



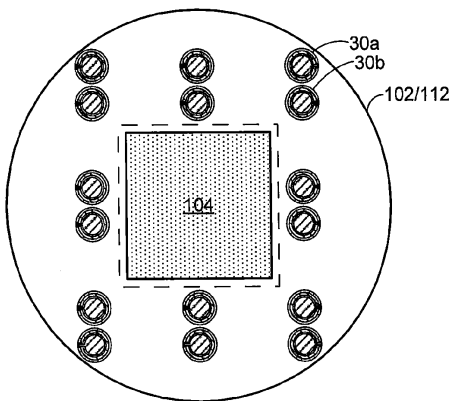
도면19b



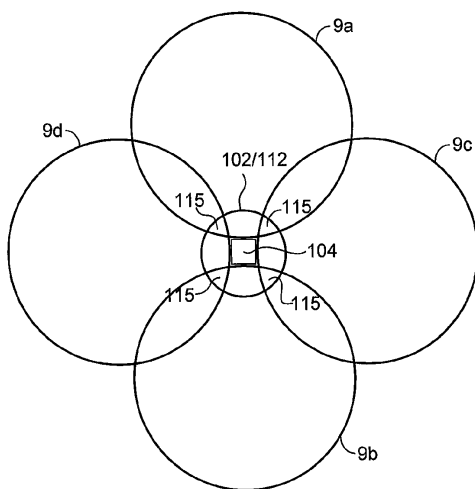
도면20a



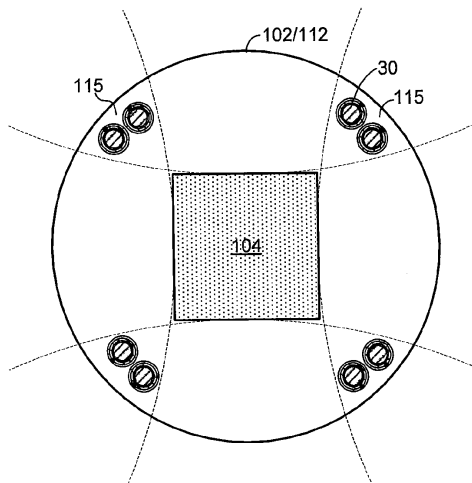
도면20b



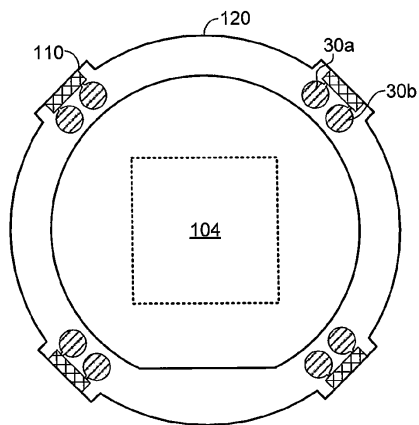
도면20c



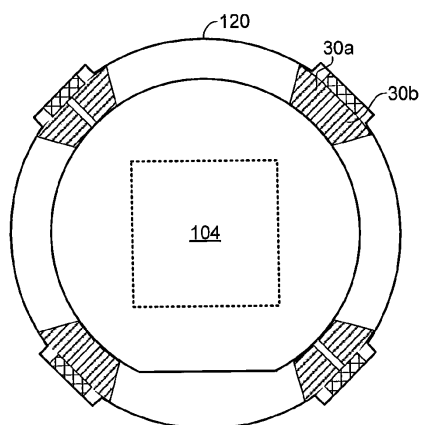
도면20d



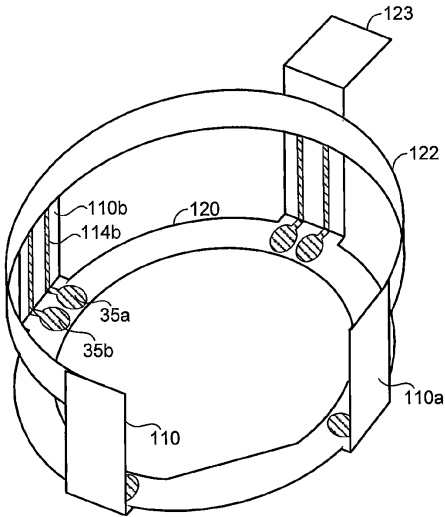
도면21a



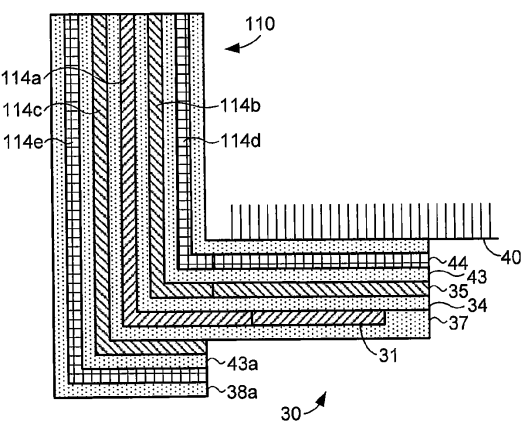
도면21b



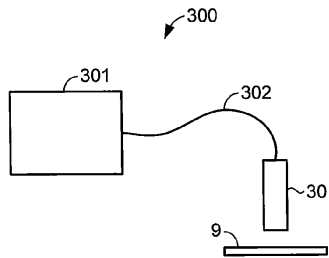
도면21c



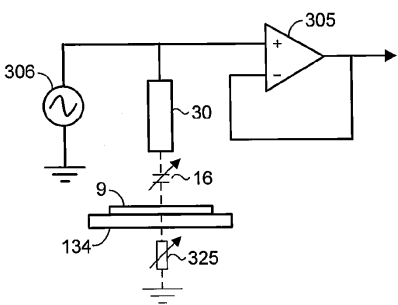
도면21d



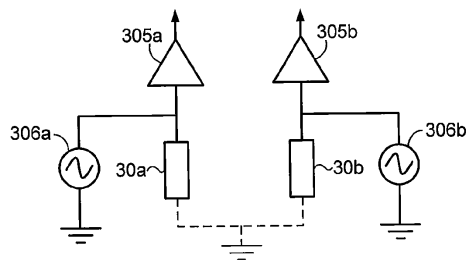
도면22



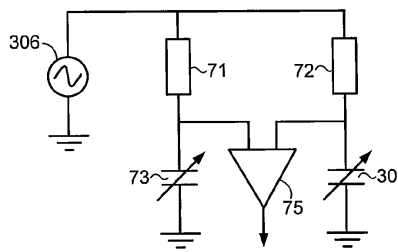
도면23a



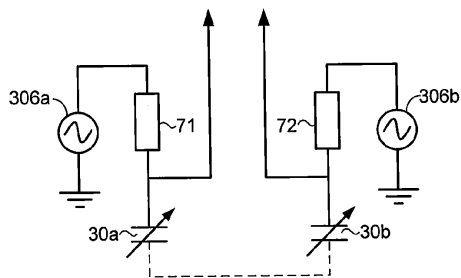
도면23b



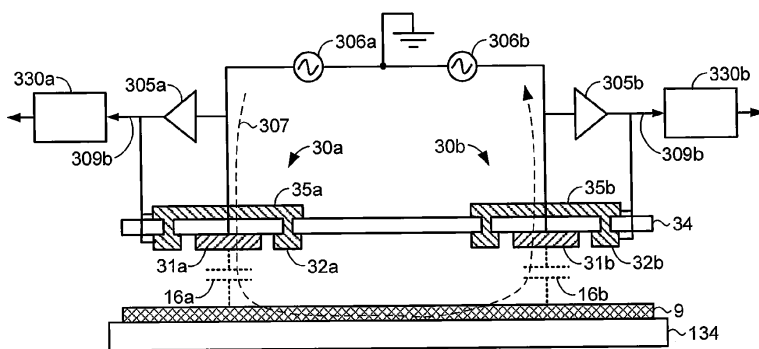
도면24a



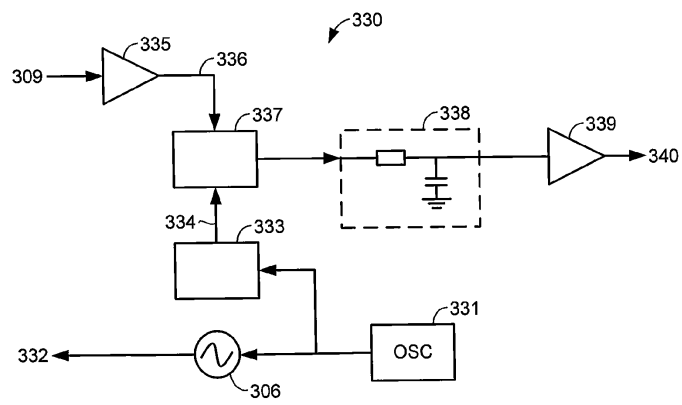
도면24b



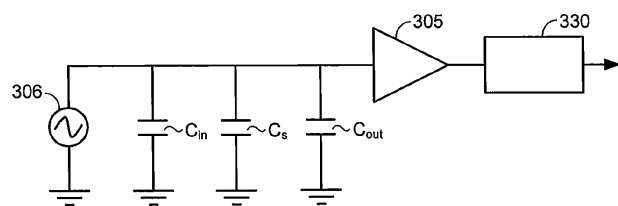
도면25



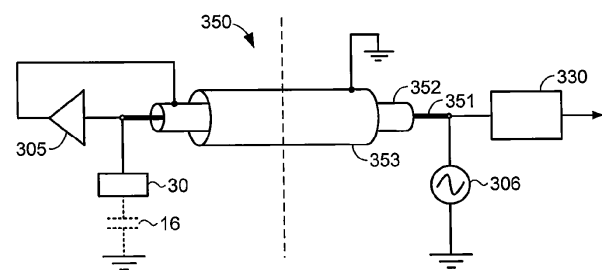
도면26



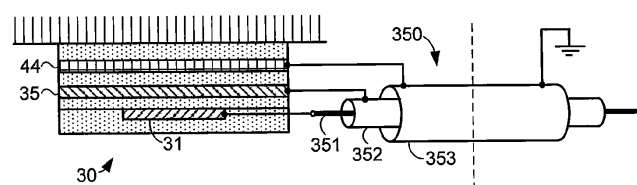
도면27



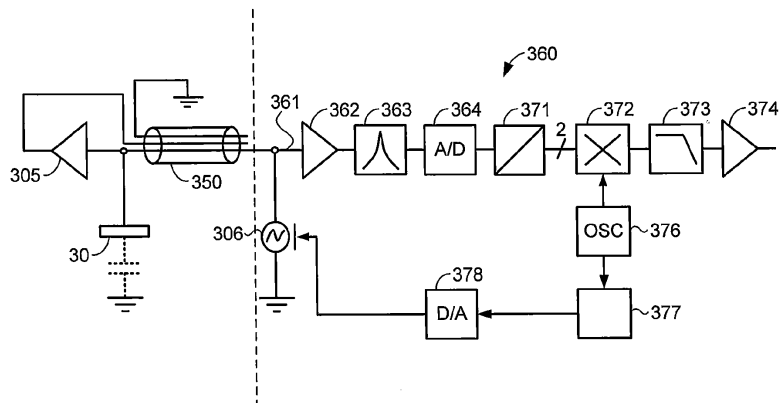
도면28a



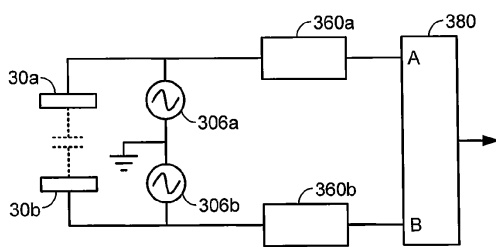
도면28b



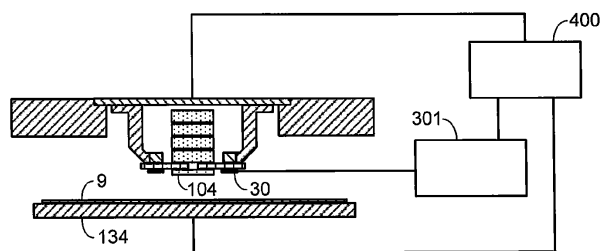
도면29



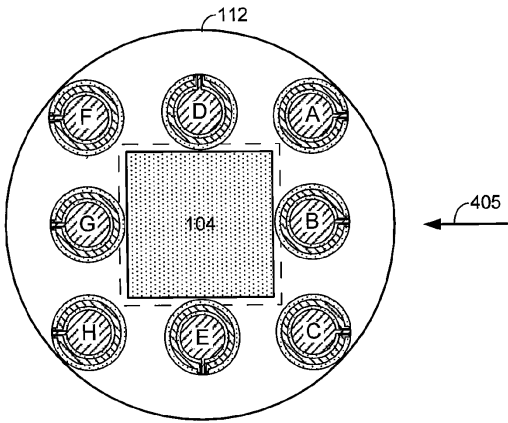
도면30



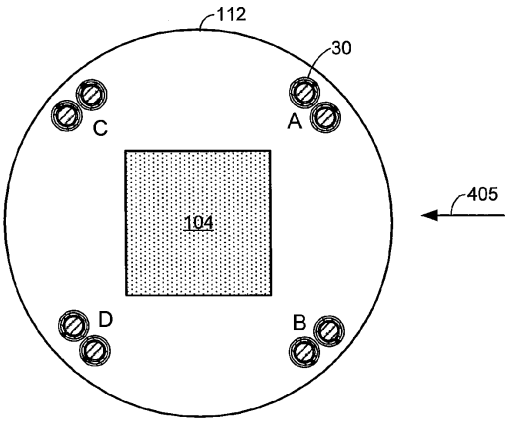
도면31



도면32a



도면32b



도면32c

