



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월21일

(11) 등록번호 10-1485069

(24) 등록일자 2015년01월15일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/66 (2006.01) **H04N 21/00** (2011.01)
- (21) 출원번호 10-2011-0100231
- (22) 출원일자 2011년09월30일
- 심사청구일자 2014년06월12일
- (65) 공개번호 10-2012-0036756
- (43) 공개일자 2012년04월18일
- (30) 우선권주장
61/391,672 2010년10월10일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문현
KR1020060119636 A
KR1020070058724 A
KR1020100013696 A

- (73) 특허권자
어플라이드 머티리얼즈 이스라엘 리미티드
이스라엘 레호보트 파크 래빈 오펜하이머 스트리트 9 (우: 76705)
- (72) 발명자
펠드만, 하임
이스라엘 99785 이스라엘 노프-아얄론 바라켓 2에 이
모겐스테인, 보리스
이스라엘 63474 텔-아비브 비트킨 스트리트 26/1
바어, 아담
이스라엘 99735 이스라엘 케이파 유리야 케이파 유리야 104
- (74) 대리인
특허법인 남앤드남

전체 청구항 수 : 총 7 항

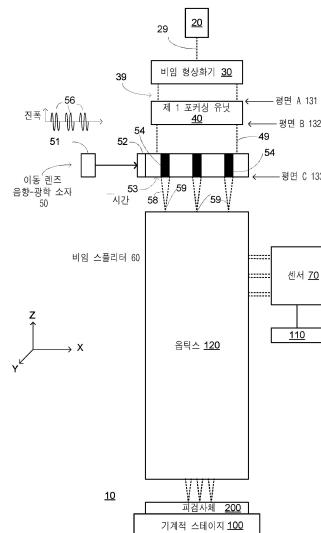
심사관 : 홍종선

(54) 발명의 명칭 **포커스의 빠른 변경을 위한 방법 및 검사 시스템**

(57) 요 약

검사 시스템은 투사 광 비임에 인가된 제 1 포커싱 기능에 대한 빠른 포커스 변경을 수행하도록 구성된 제 1 포커싱 유닛을 포함한다. 이동 렌즈 음향-광학 소자는 라디오 주파수 신호들에 응하여 생성된 복수의 이동 렌즈들을 이용하여 포커스된 점들을 만들고 제 1 포커싱 기능에 의해 포커스된 광 비임을 수용하도록 배열된다. 이동 렌즈들은 제 2 포커싱 기능을 인가하고, 이동 렌즈 음향-광학 소자는 빠른 속도로 제 2 포커싱 기능을 변경하도록 배열된다. 또한, 검사 시스템은 피검사체 상에 포커스된 점들을 지향시키고 피검사체로부터 센서로 복사를 지향시키도록 배열된 옵틱스를 포함한다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

복수의 면들(facets)을 갖는 코어 - 상기 코어의 굴절률들은 상기 코어 상에 인가된 전기장에 대응하고, 상기 코어는 자외선에 내구성이 있는 물질로 만들어짐 - ;

상기 코어의 제 1 면에 커플링된 제 1 세트의 전극들;

상기 코어의 제 2 면에 커플링된 제 2 세트의 전극들;

을 포함하고,

상기 제 1 세트의 전극들 및 제 2 세트의 전극들이 제 1 방향을 따라 파라볼릭 형상을 가지는 크기를 갖는 전기장을 유도할 때, 상기 코어는 상기 제 1 면 및 제 2 면과 상이한 상기 코어의 입력면을 통해 상기 코어로 들어가는 제 1 광 비임 상에 상기 제 1 방향을 따라 제 1 포커싱 기능을 적용하여, 상기 제 1 방향은 상기 제 1 광 비임의 전파 방향을 따라 배향되고,

상기 전기장의 변화들은 상기 제 1 포커싱 기능의 변화들을 야기하고,

상기 제 1 포커싱 기능의 변화 속도는 상기 전기장의 변화 속도에 따르는 것을 특징으로 하는 포커싱 유닛.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 코어는 포타슘 디-듀테륨 포스페이트(Phosphate), KH_2PO_4 , 암모늄 디하이드로젠 포스페이트 및 실리콘 디옥사이드 중 하나로 만들어지는,

포커싱 유닛.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 세트의 전극들 및 제 2 세트의 전극들 중 첫 번째 세트는 상기 제 1 방향을 따라 파라볼릭 형상을 가지는 제 1 크기를 갖는 전기장을 유도하도록 배치되고,

상기 제 1 세트의 전극들 및 제 2 세트의 전극들 중 두 번째 세트는 상기 제 1 방향을 따라 반전된 파라볼릭 형상을 가지는 제 2 크기를 갖는 전기장을 유도하도록 배치되는,

포커싱 유닛.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 세트의 전극들 및 제 2 세트의 전극들 중 첫 번째 세트는 상기 제 1 방향을 따라 상기 코어의 중심에 근접할수록 증가하는 제 1 크기를 가지는 전기장을 유도하도록 배치되고,

상기 제 1 세트의 전극들 및 제 2 세트의 전극들 중 두 번째 세트는 상기 제 1 방향을 따라 상기 코어의 중심에 근접할수록 감소하는 제 2 크기를 가지는 전기장을 유도하도록 배치되는,

포커싱 유닛.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 세트의 전극들 및 제 2 세트의 전극들은, 상기 코어가 상기 제 1 방향을 따라 포지티브 렌즈로서 작용하도록 그리고 제 3 방향을 따라 네거티브 렌즈로서 작용하도록 하는 전기장을 유도하도록 배치되는,

포커싱 유닛.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 세트의 전극들 및 제 2 세트의 전극들은, 상기 코어가 상기 제 1 방향을 따라 네거티브 렌즈로서 작용하도록 그리고 제 3 방향을 따라 포지티브 렌즈로서 작용하도록 하는 전기장을 유도하도록 배치되는,

포커싱 유닛.

청구항 7

자외선에 내구성이 있는 물질로 만들어진 코어의 입력면을 통해 제 1 광 비임을 수용하는 단계 - 상기 코어의 굴절률들은 상기 코어 상에 인가된 전기장에 대응함 - ;

상기 입력면과 상이한 상기 코어의 제 1 면에 연결된 제 1 세트의 전극들에 의해서, 제 1 방향을 따라 파라볼릭 형상을 가지는 크기를 가진 전기장을 유도함으로써, 상기 코어가 상기 제 1 광 비임 상에 상기 제 1 방향을 따라 제 1 포커싱 기능을 적용하도록 하는 단계 - 상기 제 1 방향은 상기 제 1 광 비임의 전파 방향을 따라 배향됨 - ; 및

상기 제 1 세트의 전극들에 의해 유도된 전기장의 변화들을 수행함으로써 상기 제 1 포커싱 기능의 변화들을 수행하고, 상기 제 1 포커싱 기능의 변화 속도는 상기 전기장의 변화 속도에 따르는 것을 특징으로 하는 단계;

를 포함하는,

포커스를 변경하기 위한 방법.

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

명세서

기술분야

관련 출원

[0001]
본 출원은 2010년 10월 10일에 출원된 미국 가출원 제 61/391,672호에 대한 우선권을 주장하고 있고 상기 가출원은 인용에 의하여 본 명세서에 편입된다.

[0002]
기술 분야

[0004] 본 발명은 포커스의 빠른 변경을 위한 방법 및 검사 시스템에 관한 것이다.

배경기술

[0005] 현대의 제조 프로세스들은 나노-메트릭 구조 성분들을 가진 물체들을 생산할 수 있다. 이러한 피검사체들은 반도체 웨이퍼들, 레티클들, 태양광 패널들 및 이와 유사한 것들일 수 있다. 이러한 피검사체의 검사되는 표면은 평평하지 않고, 이는 포커스 오차들을 초래할 수 있다.

[0006] 느리게 발생되는 포커스 오차들은 피검사체를 상승시키거나 또는 하강시킬 수 있는 기계적 모듈에 의해 보상될 수 있다. 이러한 보상은 비교적 느리고 기계적 제약(constraint)들에 의해 제한된다.

[0007] 고속 포커스 변경 성능(focus alteration capabilities)을 가진 검사 시스템 및 고속 포커스 오차 수정 방법을 제공하는 것에 대한 증가하는 요구가 있다.

발명의 내용

[0008] 검사 시스템이 제공될 수 있는데, 상기 검사 시스템은, 센서; 제 1 속도보다 느린 속도로 상기 센서 및 피검사체 사이의 거리를 변경시키도록 배치된 기계적 모듈; 제 1 비임을 수용하며 제 2 비임을 제공하기 위해 제 1 방향을 따라 제 1 포커싱 기능을 적용하도록 배치된 제 1 포커싱 유닛 - 상기 제1 포커싱 유닛은 상기 제 1 속도를 초과하는 속도로 상기 제 1 포커싱 기능을 변경시키도록 배치됨 - ; 라디오 주파수 신호들에 대응하여 복수의 이동 렌즈들을 생성하도록 배치된 이동 렌즈 음향-광학 소자 - 각각의 이동 렌즈는 상기 제 2 비임의 적어도 일부를 수용하고 복수의 포커스된 점들을 생성하도록 제 2 방향을 따라 제 2 포커싱 기능을 적용하도록 배치되고, 상기 이동 렌즈 음향-광학 소자는 상기 제 1 속도를 초과하는 속도로 상기 제 2 포커싱 기능을 변경시키도록 배치됨 - ; 그리고 상기 피검사체 상에 복수의 포커스된 점들을 지향(direct)시키고 상기 피검사체로부터 상기 센서로 복사를 지향시키도록 배치된 옵틱스(optics)를 포함할 수 있다.

[0009] 포커싱 유닛이 제공될 수 있는데, 상기 포커싱 유닛은, 복수의 면들을 갖는 코어 - 상기 코어의 굴절률은 상기 코어 상에 인가된 전기장에 대응하고, 상기 코어는 자외선에 내구성이 있는 물질로 만들어짐 - ; 상기 코어의 제 1 면에 커플링된 제 1 세트의 전극들; 상기 코어의 제 2 면에 커플링된 제 2 세트의 전극들;을 포함할 수 있는데, 상기 전극들이 제 1 방향을 따라 실질적으로 파라볼릭 형상을 가지는 크기를 갖는 전기장을 유도할 때, 상기 코어는 제 1 광 비임 상에 제 1 방향을 따라 제 1 포커싱 기능을 적용하며, 상기 제 1 방향은 상기 제 1 광 비임의 전파 방향을 따라 지향되고; 상기 제 1 광 비임은 상기 코어의 입력면을 통해 상기 코어로 들어가고, 상기 코어의 입력면은 상기 제 1 면 및 상기 제 2 면과 상이하며; 상기 전기장의 고속 변경은 상기 제 1 포커싱 기능의 고속 변경을 야기한다.

포커스 수정 방법이 제공될 수 있다. 상기 방법은 원하는 포커스 오차 수정량을 받는 단계; 그리고 상기 원하는 포커스 오차 수정량에 응하여 제 1 속도를 초과하는 속도로 제 1 포커싱 기능 및 제 2 포커싱 기능 중 하나 이상의 포커싱 기능을 변경시키는 단계;를 포함할 수 있는데, 상기 제 1 속도는 피검사체 및 센서 사이의 거리를 변경시키도록 배치된 기계적 모듈에 의해 적용되는 거리 변경의 속도보다 빠르며; 상기 제 1 포커싱 기능은 제 1 포커싱 유닛에 의해 제 1 방향을 따라 적용되며; 상기 제 2 포커싱 기능은 라디오 주파수 신호들에 응하여 복수의 이동 렌즈들을 생성하도록 배치된 이동 렌즈 음향-광학 소자에 의해 적용되며; 상기 이동 렌즈들의 각각은 상기 제 2 비임의 적어도 일부를 수용하고 제 2 방향을 따라 상기 제 2 포커싱 기능을 적용하여 복수의 포커스된 점들을 생성하도록 배치된다.

[0010] 방법이 제공될 수 있다. 상기 방법은, 기계적 모듈에 의해 제 1 속도보다 느린 속도로 피검사체 및 센서 사이의 거리를 변경시키는 단계; 제 1 포커싱 모듈에 의해 제 1 비임을 수용하고 제 2 비임을 제공하기 위해 제 1 방향을 따라 제 1 포커싱 기능을 인가하는 단계; 이동 렌즈 음향-광학 소자에 의해 라디오 주파수 신호에 응하여 복

수의 이동 렌즈들을 생성하는 단계; 각각의 이동 렌즈에 의해 상기 제 2 비임의 적어도 일부를 수용하는 단계; 각각의 이동 렌즈에 의해 복수의 포커스된 점들을 생성하도록 제 2 방향을 따라 제 2 포커싱 기능을 인가하는 단계; 피검사체 상에 상기 복수의 포커스된 점들을 지향시키는 단계; 상기 피검사체로부터 센서로 복사를 지향시키는 단계; 상기 센서 상에 충돌하는 복사를 감지하는 단계; 상기 제 1 속도를 초과하는 속도로 상기 제 1 포커싱 기능을 변경시키는 단계; 및 상기 제 1 속도를 초과하는 속도로 상기 제 2 포커싱 기능을 변경시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 포커스 변경 방법이 제공될 수 있다. 상기 방법은 자외선에 내구성이 있는 물질로 만들어진 코어의 입력면을 통해 제 1 광 비임을 수용하는 단계로서, 상기 코어의 굴절률은 상기 코어 상에 인가된 전기장에 응하는, 제 1 광 비임을 수용하는 단계; 상기 입력면과 상이한 상기 코어의 제 1 면에 연결된 제 1 세트의 전극들에 의해 제 1 방향을 따라 실질적인 파라볼릭 형상을 갖는 크기를 가진 전기장을 유도하여 상기 코어가 상기 제 1 광 비임 상에 상기 제 1 방향을 따라 제 1 포커싱 기능을 인가하게 하는 단계로서, 상기 제 1 방향은 상기 제 1 광 비임의 전파 방향을 따라 지향되는, 단계; 상기 제 1 세트의 전극들에 의해 유도된 상기 전기장에서의 빠른 변경을 수행하여 상기 제 1 포커싱 기능에서의 빠른 변경을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 본 발명의 추가적인 상세한 내용, 태양 및 실시예는 도면을 참고로 하여 예시적으로 설명될 것이다. 도면에서, 동일한 도면 부호들은 동일하거나 또는 기능적으로 유사한 요소들을 식별하는데 이용되었다. 도면에서의 요소들은 단순성 및 명확성을 위해 도시되고, 반드시 스케일에 맞추어 그려진 것은 아니다.

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 검사 시스템을 도시한다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 검사 시스템을 도시한다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 검사 시스템을 도시한다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 제 1 포커싱 유닛을 도시한다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛의 코어의 단면 위에서 발생된 전기장을 도시한다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛의 코어의 단면 위에서 발생된 전기장을 도시한다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛의 코어 위에 발생된 위상차(retardation)를 도시한다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛의 코어의 단면 위에 발생된 전기장을 도시한다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛의 코어의 단면 위에 발생된 전기장을 도시한다.

도 10은 본 발명의 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛의 코어의 단면 위에 발생된 전기장을 도시한다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛을 빠져나가는 제 2 비임의 파면을 도시한다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛의 코어의 단면 위에 발생된 전기장 및 타원형 단면을 가진 제 1 비임을 도시한다.

도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따른 제 1 포커싱 유닛을 도시한다.

도 14는 본 발명의 실시예에 따른 방법을 도시하는 흐름 차트이다.

도 15는 본 발명의 실시예에 따른 방법을 도시하는 흐름 차트이다.

도 16은 본 발명의 실시예에 따른 방법을 도시하는 흐름 차트이다.

도 17은 본 발명의 실시예에 따른 제 1 포커싱 유닛을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 본 발명으로서 간주되는 주제는 명세서의 결론 부분에서 구체적으로 나타나고 명확하게 청구된다. 그러나, 첨부된 도면과 함께 이하의 상세한 설명을 참고하는 것에 의해, 본 발명을 그 목적, 특징 및 장점과 함께 구성 및

작동 방법 양쪽에 관해서 가장 잘 이해할 수 있다.

[0014] 일러스트레이션의 단순성 및 명확성을 위해, 도면에서 도시된 요소들이 반드시 스케일에 따라 그려질 필요는 없다는 것이 이해될 것이다. 예를 들면, 일부 요소들의 치수는 명확화를 위해 다른 요소들에 비해 과장될 수 있다. 또한, 적절하다고 판단되는 경우에, 도면 부호들은 대응하거나 또는 유사한 요소들을 나타내기 위해 도면들에서 반복될 수 있다.

[0015] 이하의 상세한 설명에서, 다수의 특정한 상세한 설명들은 본 발명의 완전한 이해를 제공하기 위해 개진된다. 그러나, 당업자는 이러한 상세한 설명 없이 본 발명이 실시될 수 있음을 이해할 것이다. 다른 경우들에, 잘 알려진 방법들, 과정들, 및 구성요소들은 본 발명을 불명료하게 하지 않도록 상세하게 설명되지는 아니하였다.

[0016] 이하의 상세한 설명은 본 발명의 예시적인 실시예들이나, 본 발명은 여기에 제한되는 것은 아니며, 변경들 및 보충적인 구조들이 부가될 수 있음을 당업자에게 명확하다. 특히, 이에 제한되는 것은 아닌 예시적인 실시예로서 피검사체의 공통 면 상에 배치된 광원 및 탐지 유닛("반사 시스템")을 이용하여 반사된 광을 탐지하는 것에 의한 피검사체 표면의 검사에 관해 개시할 수 있으나, 이러한 내용을 광원의 면과 반대인 피검사체의 면 상에 있는 탐지 유닛("투과 시스템")으로 전송된 광을 탐지하는 것에 의한 피검사체의 검사에 쉽게 적용 가능하다는 것이 당업자에게 쉽게 이해될 것이다. 반사 시스템 및 투과 시스템은 예를 들어 투과 시스템에서 비임 스플리터가 없다는 점에서 상이하지만, 본 발명의 원리는 두 유형의 시스템들 모두에 적용 가능하다. 당업자에 의해 이해되는 것처럼, 두 유형의 시스템들 모두는 본 발명에 따라 피검사체의 검사에서 개별적으로 또는 함께 이용될 수 있다.

[0017] 이하의 예에서, 좌표(coordinate)들 및 방향들의 세트가 정의된다. 이러한 정의들은 오직 설명의 단순화를 위해 제공된다. 방향들은 X, Y, 및 Z 축에 평행하고 서로에 대해 상호간에 수직인 것으로 언급된다. 이는 반드시 그러한 것은 아니다. 도 1-4에서 설명된 예들에서, 광은 Z축을 따라 전파되고, 이동 렌즈들은 X축을 따라 이동하며, 포커스 오차 수정은 초점면을 상승시키거나 또는 하강시키기 위한 것이며, 제 1 방향은 Y축에 평행하고, 제 2 및 제 3 방향은 X축에 평행하다.

[0018] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 검사 시스템(10) 및 피검사체(200)를 도시한다.

[0019] 제한이 아닌 오직 예시로서, 피검사체(200)는 복수의 제작 단계들의 임의의 단계에서, 상부에 복수의 반도체 소자들을 가지는 8인치 또는 12인치 웨이퍼 또는 그밖의 유사한 것과 같은 어떠한 반도체 제품일 수 있거나, 또는 제작 프로세스에서 이용되는 마스크, 레티를 또는 그밖의 유사한 것일 수 있으며, 이러한 피검사체는 결함들, 이물들 또는 패턴 정확도에 대해 검사될 수 있다. 이러한 시스템들에서 높은 정확도 및 신뢰성을 가지고 피검사체 표면상에서 나타나는 구조, 결함 또는 물체의 크기, 위치 및 유형을 식별하는 것이 바람직하다. 또한, 검사 및 품질 확인 단계들로 제공되는 제작 프로세스에서의 지연을 최소화하기 위해 빠른 속도로 이러한 식별을 수행하는 것이 바람직하다.

[0020] 시스템(10)은 최초 비임(29)을 만드는 연속적인(또는 펄스된) 레이저(20)와 같은 밝은 광원에 의존할 수 있다. 최초 비임(29)은 종래의 디자인을 가진 비임 형상화기(30)에 인가되고, 비임 형상화기(30)는 기술분야에 종래 알려진 방식에 따라 균일한 강도의 비임 프로파일을 갖는 제 1 비임(39)을 형성하기 위해 비임(29)을 팽창시키고 줄맞춤을 할 수 있다. 웨이퍼 검사에서는, 레이저는 안정적인 출력 파워(또는 안정적인 펄스 에너지 및 펄스 속도), 안정적인 횡단 모드(transverse mode) 및 안정적인 비임 포인팅과 함께 고해상도를 만들기 위해, 예를 들어 248nm 또는 193nm인 짧은 파장에서 바람직하게 작동한다.

[0021] 본 발명의 실시예에 따르면, 비임 형상화기(30)는 원하는 단면을 제공하기 위해 포커싱, 디포커싱(defocusing), 필터링(filtering) 또는 다른 잘 알려진 기술들을 이용하여 제 1 비임(39)의 단면을 형상할 수 있다. 예를 들면, 제 1 비임(39)은 도 12에서 도시된 것처럼 타원 형상을 가질 수 있고, 이 경우에 제 1 비임(39)의 단면(1601)은 좁은 타원 형상이며, 제 1 축을 따라 메이저 축(major axis) 및 제 3 축을 따라 훨씬 더 작은 마이너 축(minor axis)을 갖는다.

[0022] 제 1 비임(39)은 제 1 포커싱 유닛(40)에 제공된다. 제 1 포커싱 유닛(40)은 제 2 비임(49)을 출력한다.

[0023] 제 2 비임(49)은 복수의 비임들(59)로 제 2 비임(49)을 변환시키도록 작동하는 이동 렌즈 음향-광학 소자(50)로 투사된다. 3개의 비임들(59)이 예시적으로 편의를 위해 도 1에서 도시되었지만, 비임들의 개수는 더 클 수 있고, 예시적인 실시예에서 동시에 10개 또는 그 초과인 스캐닝 비임일 수 있다.

[0024] 이동 렌즈 음향-광학 소자(50)는 라디오 주파수 생성기(51), 라디오 주파수 입력부(52) 및 크리스탈(crystal; 53)을 포함한다. 라디오 주파수(RF) 생성기(51)는 RF 입력부(52)로 쳐프된(chirped) RF 펄스들(56)을 생성하고 보내며, 이 경우 단일 RF 펄스는 단일 렌즈(54)의 생성을 초래하고, 일련의 펄스들은 이동 렌즈 음향-광학 소자(50)의 크리스탈(53)에서 복수의 캐스케이드된(cascaded) 렌즈들의 형성을 초래한다.

[0025] 각각의 렌즈들(54)은 출력부에서 제 2 비임(49) 또는 그 일부를 수용하고 포커스할 것이고, 이에 의해 원하는 숫자의 비임들을 형성한다. RF 펄스들(56)이 크리스탈(53)을 통해 이동한다면, 연관된 렌즈들은 이동할 것이고, 이에 의해 비임들의 각각은 스캔의 본질에 따라 이동할 것이다.

[0026] 음향 광학 셀의 기본적 이론, 구조 및 물질들은 Gerald F. Marshall, Chapter 11(1991년 Marcel Dekker, Inc.에 의해 공개됨)에 의해 편집 발행된 "광학 스캐닝"에 개시되어 있다. 페이지 675-677에서 설명된 것처럼, 단일 비임의 주파수 쳐프 스캐닝은 선형 주파수 스윕("쳐프")이 인가되는 음향 광학 브래그 셀(acousto optic Bragg cell)을 포함한다. 셀의 광학적 구멍에 걸쳐 만들어진 주파수 변화도는 원통형 렌즈로서 작용할 것이고, 그 초점 거리는 쳐프 속도에 기초한다. 선형으로 스윕된 음향 주파수에 의해 회절된 광은 수렴하거나 또는 발산할 수 있고, 상호보완적인 광학 렌즈에 의해 보상될 수 있다.

[0027] 크리스탈(53)은 UV 광원과 호환 가능한 물질, 바람직하게는 융합된 실리카, GaAs 또는 TeO_2 유리로 만들어진 음향-광학 매체를 가진 물질로 만들어질 수 있지만 UV 광 호환성을 가진 다른 공지된 물질이 이용될 수도 있다. 크리스탈(53)은 메이저 축부 각각의 위에 반사방지 코팅을 가질 수 있고, 반사 방지 코팅은 양 축부에 대해서 0.5% 미만의 비율이다. 이러한 소자는 130MHz의 대역폭을 가진 200MHz의 중심 주파수로 그리고 266nm의 파장에서 중방향 음향 모드로 작동한다. RF 전력은 3.0와트 미만일 수 있다. 이러한 소자의 활성 구멍(active aperture)은 일 예시적 실시예에서 1.0mm "H" 및 60mm "L"일 수 있다.

[0028] RF 생성기(51)는 일련의 "쳐프" 또는 펄스된 RF 파형들(56)을 제공할 수 있고, 이는 예시적인 실시예에서 최적으로 지속 시간 및 진폭이 동일하지만 이동 렌즈의 원하는 광학 효과에 따라 RF 입력 포트(52)에 대해 달라질 수 있다. RF 입력 포트(52)는 광의 경로에 대해 횡방향이 되도록 위치하고, RF 파형들이 크리스탈(53)의 에지(edge)에서 주입되는 것을 가능하게 하며, 예시적 실시예에서 대략 음속 또는 5.96mm/micro-second의 속도로 크리스탈(53)의 길이를 가로지르는 압력파를 확립한다. 크리스탈 매체를 통해 나아가는 이러한 압력파(wave)들은 크리스탈(53)의 상부면으로 들어가고 크리스탈(53)의 하부면으로부터 나오는 제 2 광 비임(49)에 대해 캐스케이드된 포커싱 렌즈(54)들을 제공하도록 정렬된다.

[0029] 크리스탈(53)(음향 광학 소자(50)의 활성 영역)에서 복수의 캐스케이드된 렌즈들(54)의 생성의 효과는 생성된

렌즈들의 각각에 대한 이동 렌즈 음향 광학 소자(50)의 초점면에서 비점(飛點)(flying spots; 59)을 갖는 비임렛(beamlet; 58)을 만드는 결과를 나타낸다. 비점(59)은 피검사체(200)의 상부면 상에 복수의 점을 형성하도록 옵틱스(120)에 의해 피검사체(200) 상에 이미지될 수 있다.

[0030] 피검사체(200)로부터 반사되는 광은 옵틱스(120)의 적어도 일부를 통해 다시 통과하고, 센서(70)를 향해 지향된다.

[0031] 센서(70)는 그 위에 충돌하는 광에 대응하는 탐지 신호를 생성한다. 이러한 탐지 신호는 프로세서(110)에 의해 프로세스될 수 있다.

[0032] 프로세서(110)는 포커스 오차를 탐지하거나 또는 계산할 수 있고 제 1 포커싱 유닛(40), 이동 렌즈 음향-광학 소자(50) 또는 둘 모두의 포커싱 특성을 제어할 수 있다. 따라서, 비점들의 초점면은 더 높은 또는 더 낮은 포인트에서 정의될 수 있고(피검사체(200)를 향해 전파되는 축을 따라 측정됨), 또한 제 1 포커싱 유닛(40)의 초점면은 더 높은 또는 더 낮은 포인트에서 정의될 수 있다.

[0033] 본질적으로, 포커스 오차가 J의 거리만큼 점들의 초점 포인트를 상승시키는 것에 의해 수정되는 경우, 이후 제 1 포커싱 유닛(40) 및 이동 렌즈 음향-광학 소자(50) 각각은 개별적인 초점면을 K만큼 변경시키도록 지시될 수 있으며, 이 경우 옵틱스(120)의 전달 함수는 상기 두 개의 구성요소들(40, 50)에 의한 K의 초점면 변경을 피검사체(200)의 표면 근처에서의 J의 초점면 변경으로 "변환(translate)"시킬 수 있으므로 K는 J 및 옵틱스(120)의 전달 함수에 대응한다.

[0034] 초점 수정은 개별 광학 경로, 개별 센서 및 개별 초점 오차 계산기 중 어느 하나를 이용할 수 있으나, 이러한 개별 구성요소들은 설명의 단순화를 위해 도시되지 않았다.

[0035] 도 2는 본 발명의 실시예에 따라 검사 시스템(11) 및 피검사체(200)를 도시한다.

[0036] 검사 시스템(10)의 옵틱스(120)는 검사 시스템(11)의 줄맞춤 렌즈(collimating lens)(62), 원통형 렌즈(60), 비임 스플리터(splitter)(65), 텔레스코프(telescope)(80) 및 대물 렌즈(90)로 대체된다.

[0037] 원통형 렌즈(60)는 제 1 방향을 따라 또는 제 2 방향을 따라 고정된 포커싱 기능을 수행할 수 있다.

[0038] 원통형 렌즈(60) 다음에는 줄맞춰진 비임들을 제공하기 위해 비임렛들(58)을 조준하는 줄맞춤 렌즈(62)가 뒤따를 수 있다. 줄맞춰진 비임들(각각의 이동 렌즈에 대해 하나)은 비임 스플리터(59)로 보내지고, 비임 스플리터는 이러한 비임들을 텔레스코프(80) 및 대물 렌즈(90)를 향해 통과시키며, 이에 의해 피검사체(200)의 표면 상에 일련의 비점이 형성된다. 피검사체(200)로부터의 광은 대물 렌즈(90) 및 텔레스코프(80)를 통과하여 지향되고, 센서(70)를 향해 광을 지향시키는 비임 스플리터(65) 상에 충돌한다.

[0039] 도 3은 본 발명의 실시예에 따라 검사 시스템(12) 및 피검사체(200)를 도시한다.

[0040] 검사 시스템(12)은: (i) 제 1 포커싱 유닛(40)이 줄맞춰지지 않은 광을 수용하도록 입력 비임을 포커스하기 위한 목적을 가진 포커싱 렌즈(31)를 제 1 포커싱 유닛(40) 앞에 가진다는 점, 및 (ii) 이동 렌즈 음향-광학 소자(50)에 도달하기 이전에 제 1 광 비임(39)을 줄맞추게 하기 위한 목적을 가진 줄맞춤 렌즈(32)를 제 1 포커싱

유닛(40) 뒤에 가진다는 점에 의해서 검사 시스템(11)과 상이하다

[0041] 포커싱 렌즈(31)는 제 1 포커싱 유닛의 코어의 입력면(49) 상에 제 1 비임(39)을 포커스 하거나 또는 입력면(29)이 위치하는 평면(A)(131) 앞 또는 뒤의 다른 어떤 평면 상에 제 1 비임(39)을 포커스할 수 있다.

[0042] 제 1 비임(39)을 포커스하거나 또는 다르게는 제 3 방향을 따라 제 1 비임의 단면의 폭을 좁게 하여, (제 3 방향을 따라) 제 1 포커싱 유닛(40)에 의해 인가된 원하지 않는 디포커싱(defocusing)이 감소될 수 있다. 제 1 비임(39)의 형상화는 비임 형상화기(30)에 의해 (적어도 부분적으로) 실행될 수 있다.

[0043] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 제 1 포커싱 유닛(40)을 도시한다. 제 1 포커싱 유닛(40)은 복수의 전극들에 연결된 코어(43)를 포함한다. 전극들은 전극들의 하나의 세트로부터 그 이상의 세트들 내에 배열될 수 있다.

[0044] 코어(43)는 대칭 중심이 없는 크리스탈로 만들어질 수 있고, 이러한 크리스탈의 원자 구조는 대칭 중심을 갖지 않는다. 코어(43)의 굴절률은 코어(43)에 인가된 전기장에 대응할 수 있다.

[0045] 코어(43)는 자외선에 내구성이 있는 물질(및 특히 깊은 자외선(deep ultra violet; DUV)에 내구성이 있는 물질)로 만들어져야 하고, 이러한 물질은 또한 좋은 광학 성질들(대부분의 복사를 투과함) 및 큰 EO 계수를 가져야 한다. 비한정적인 예들은 포타슘 디-듀테륨(Di-deuterium) 포스페이트(KD*P), KH_2PO_4 (KDP), 암모늄 디하이드로젠 포스페이트(ADP) 및 실리콘 디옥사이드(SiO_2)를 포함한다.

표 1

대칭	ℓ/ℓ_0	굴절률	$n_{03r}(10-12)$ V/m	EO (10-12) V/m	물질
4^-2m	$\ell/\ell_0 c=20$	$n_0=1.51$	29	$R_{41}=8.6$	KDP
	$\ell/\ell_0 c=45$	$n_e=1.47$	34	$R_{63}=10.6$	
4^-2m	$\epsilon \parallel c = 50$	$n_0=1.49$	80	$R_{41}=8.8$	KD*P
	$\epsilon \perp c = 47$	$n_e=1.45$		$R_{63}=23.6$	
4^-2m	$\epsilon \parallel c = 12$	$n_0=1.52$	95	$R_{41}=28$	ADP
	$\epsilon \perp c = 55$	$n_e=1.48$	27	$R_{63}=8.5$	
32	$\epsilon \parallel c = 4.3$	$n_0=1.54$	0.7	$R_{41}=0.2$	SiO_2
	$\epsilon \perp c = 3.3$	$n_e=1.55$	3.4	$R_{63}=0.93$	

[0046]

[0047] 코어(43)는 KD*P로 만들어졌다. KD*P는 수용성이기 때문에 전극은 물이 없는 프로세스에서 증착되어야 하고, 따라서 화학적 프로세스는 이용될 수 없다. 코어(43)는 상부면 및 바닥면(46, 45) 상의 균일한 금 층에 의해 증발될 수 있다. 이후, 포커스된 적외선 레이저 비임은 코어(43)의 표면을 가로질러 금으로 된 베닝 라인들(burning lines)을 새기는데 이용될 수 있다. 새기는 프로세스 동안 생성된 폐기물은 공기압에 의해 수집될 수 있다.

[0048]

전극 계면을 보호하고 공기 습기와의 접촉으로부터 코어(43)를 보호하기 위해, 각각의 전극은 터미널 와이어에 용접된 금으로 된 팁(tip)에 연결될 수 있다. 터미널 와이어들은 전압 공급원(44)에 연결된다. 다른 대안적인 해법들이 적용될 수 있음에 주의해야 한다.

[0049]

도 4는 제 1 세트의 전극들(41) 및 제 2 세트의 전극들(42)을 도시한다. 이러한 두 세트들의 전극들은 전압 공급 유닛(44)으로부터 전압을 받는다. 각각의 전극은 상이한 전압 레벨들을 수용할 수 있고, 코어(43)가 하나 또는 이상의 포커싱 기능들을 인가하도록 야기할 수 있다.

[0050]

도 4는 두 개의 대향면들(도 5 및 6에서 45 및 46으로 표시됨)에 연결된 전극들(41, 42)의 두 세트들을 도시한다. 전극들이 코어의 둘 이상의 면들에 연결될 수도 있고, 코어(43)가 상이한 방식들로 형상화될 수도 있음에 주의해야 한다. 예를 들면, 코어(43)는 도 16에서 도시된 것과 같은 동등-포텐셜의 형태들에 따라 형상화될 수 있다.

[0051]

도 4는 서로 평행한 전극들을 도시하고, 각각의 전극은 Z축을 따라 연장할 수 있다. 전극들이 상이한 방식들로 위치될 수도 있고, 상이한 형상들을 가질 수도 있음에 주의해야 한다. 예를 들면, 전극들은 매트릭스로 형성될 수 있거나 또는 Z축을 따라 상이한 전압값들의 제공을 가능하게 하도록 형성될 수 있다.

[0052]

또한, 세트당 전극들의 숫자가 9개(도 5 및 6에서 도시됨) 또는 6개(도 4에서 도시됨)와는 상이할 수 있음을 주의해야한다.

[0053]

또한, 코어(43)는 제 1 방향과 실질적으로 수직인 제 3 방향을 따라 제 3 포커싱 기능을 인가할 수 있다. 예를 들어 이는 도 15에서 도시된다. 제 1 포커싱 기능이 제 1 방향을 따라 제 1 비임을 포커스할 때 제 3 포커싱 기능은 제 3 방향을 따라 제 1 비임을 디포커스한다.

[0054]

본 발명의 실시예에 따르면, 일 세트의 전극들(42)은 제 1 방향을 따라 코어의 중심에 인접함에 따라 증가하는 크기를 가진 전기장을 유도하도록 배열된다. 제 2 세트의 전극들(41)은 제 1 방향을 따라 코어의 중심에 인접함에 따라 감소하는 크기를 가진 전기장을 유도하도록 배열된다.

[0055]

전극들은 전기장을 유도하도록 배열되고, 이러한 전기장은 코어(43)가 제 1 방향을 따라 포지티브 렌즈로 작용하고 제 3 방향을 따라 네거티브 렌즈로 작용하게 한다. 이러한 전극들에는 상이한 전압들이 제공될 수 있고, 이러한 전압들은 코어(43)가 제 1 방향을 따라 네거티브 렌즈로 작용하고 제 3 방향을 따라 포지티브 렌즈로 작용하게 한다.

[0056]

도 5는 본 발명의 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛의 코어의 단면 위에 전개되는 전기장을 도시한다. 단면은 평면 A (131) 및 평면 B (132) 사이에 위치한 X-Y 평면을 따라 취해졌다.

[0057]

커브(302)는 제 1 방향을 따라 거의 역전된 파라볼릭 형상을 가지며 전극들(42)의 세트에 의해 유도된 크기를 가진 전기장을 도시한다.

[0058]

커브(301)는 제 1 방향을 따라 거의 파라볼릭 형상을 가지며 전극들(41)의 세트에 의해 유도된 크기를 가진 전기장을 도시한다.

[0059] 도 6은 본 발명의 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛의 코어의 단면 위에서 전기장을 도시한다.

[0060] 파라볼릭 형상의 전기장은 유한한 숫자의 개별 단계들에 의해 실제 대략적으로 근사될 수 있다. 이러한 대략적인 근사(rough approximation)는 코어(43)의 중심을 향해 매끄러워져 전기장이 어떠한 불연속을 가지지 않을 것을 이라고 예상되고, 따라서 중심 근처에서 점진적으로 그리고 매끄럽게 변할 것이다. 불연속은 무한한 전하 밀도가 있는 경우에만 일어날 수 있고, 본 발명의 모델에서는 크리스탈 내부의 (매크로스코픽) 전하는 없다. 한편, 시뮬레이션으로부터 보여질 수 있는 것처럼, 전극들에 인접하여 전기장의 크기에서 갑작스런 "점프(jumps)"가 있을 것이다.

[0061] 커브(304)는 전극들(42)의 세트에 의해 유도된 제 1 방향을 따라 역전된 파라볼릭 형상의 대략적인 근사인 크기를 가진 전기장을 도시한다.

[0062] 커브(303)는 전극들(41)의 세트에 의해 유도된 제 1 방향을 따라 파라볼릭 형상의 대략적인 근사인 크기를 가진 전기장을 도시한다.

[0063] 도 7은 크리스탈의 길이 및 크리스탈의 굴절률을 고려함에 의해 전기장의 이상적인 E_y 성분으로부터 계산된 위치의 함수로서, 광이 크리스탈(코어)을 통과하는 것에 의해 초래되는 위상 지연(위상차; retardation)을 도시한다.

[0064] 도 8은 코어 내에 X-Y 평면을 따라 동등-포텐셜 라인들을 도시한다.

[0065] 도 9는 전기장의 E_x 성분을 도시하는 반면, 도 10은 전기장의 E_y 성분을 도시한다.

[0066] 도 11은 본 발명의 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛(40)을 빠져나가는 제 2 비임(49)의 파면(wave front)을 도시한다. 파면(1501)은 제 1 방향을 따라 파라볼릭 형상을 그리고 제 3 방향을 따라 역전된 파라볼릭 형상(안장(saddle))을 갖는다.

[0067] 도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따라 제 1 포커싱 유닛(40)을 도시한다.

[0068] 제 1 포커싱 유닛(40)은 제 1 포커싱 유닛(40)을 통해 전파되는 제 1 비임(39)의 광학 경로의 길이를 변경시킴에 의해 초점면을 변경시킨다.

[0069] 제 2 거울(142)은 X축을 따라 (모터(143)에 의해) 이동 가능하고, 이에 의해 비임 스플리터(145) 및 제 2 거울(142) 사이의 거리 D (149)를 변경시키며, 따라서 광학 경로의 길이를 변경시킨다. 제 2 거울(142)은 작고 가벼우며 비교적 빠르게 이동될 수 있다.

[0070] 제 1 비임(39)은 Z축에 평행하게 제 1 포커싱 유닛(40)으로 들어간다. 제 1 비임(39)은 제 2 거울(142)을 향해 비임 스플리터(145)에 의해 반사된다. 제 2 거울(142)은 제 1 거울(141)에 광이 충돌할 때까지 비임 스플리터(145)를 통과하는 광을 반사한다. 제 1 거울(141)은 수직으로 전파하는 제 2 비임(49)을 제공하도록 비임을 반사한다.

- [0071] 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 방법(1800)을 도시한다.
- [0072] 방법(1800)은 원하는 포커스 오차 수정량(corrrection measure)을 받는 단계(1810)로 시작한다. 원하는 포커스 오차 수정량은 임의의 종래의 수단에 의해 계산될 수 있다.
- [0073] 단계(1810)는 제 1 포커싱 기능 및 제 2 포커싱 기능 중 적어도 하나의 포커싱 기능을 변경하는(제 1 속도를 초과하는 속도로 그리고 원하는 포커스 오차 수정량에 대응하여) 단계(1820)에 선행한다.
- [0074] 제 1 속도는 피검사체 및 센서 사이의 거리를 변경하도록 배열된 기계적 모듈에 의해 인가된 거리 변경의 속도보다 더 빠르다.
- [0075] 제 1 포커싱 기능은 제 1 포커싱 유닛에 의해 제 1 방향을 따라 인가된다.
- [0076] 제 2 포커싱 기능은 라디오 주파수 신호들에 대응하여 복수의 이동 렌즈들을 생성하도록 배열된 이동 렌즈 음향-광학 소자에 의해 인가된다. 각각의 이동 렌즈는 제 2 비임의 적어도 일부를 수용하도록 그리고, 복수의 포커스된 점들을 생성하기 위해 제 2 방향을 따라 제 2 포커싱 기능을 인가하도록 배열된다.
- [0077] 도 15는 본 발명의 실시예에 따라 방법(1900)을 도시한다.
- [0078] 방법(1900)은 제 1 포커싱 모듈에 의해 제 1 비임을 수용하고, 제 2 비임을 제공하기 위해 제 1 방향을 따라 제 1 포커싱 기능을 인가하는 단계(1920)로 시작한다.
- [0079] 단계(1920) 이후 단계(1930)가 뒤따르고, 단계(1930)는 이동 렌즈 음향-광학 소자에 의해 라디오 주파수 신호들에 대응하는 복수의 이동 렌즈들을 생성한다.
- [0080] 단계(1930) 이후 제 2 비임의 적어도 일부를 각각의 이동 렌즈에 의해 수용하는 단계(1940)가 뒤따른다.
- [0081] 단계(1940) 이후 각각의 이동 렌즈에 의해 복수의 포커스된 점들을 생성하기 위해 제 2 방향을 따라 제 2 포커싱 기능을 인가하는 단계(1950)가 뒤따른다.
- [0082] 단계(1950) 이후 피검사체 상에 복수의 포커스된 점들을 지향시키는 단계(1960)가 뒤따른다.
- [0083] 단계(1960) 이후 피검사체로부터 센서로 복사를 지향시키는 단계(1970)가 뒤따른다.
- [0084] 단계(1970) 이후 센서 상에 충돌하는 복사(radiation)를 감지하는 단계(1980)가 뒤따른다.
- [0085] 단계(1920-1980)의 실행 동안, 방법(1900)은 또한 포커스 오차 수정을 수행하는 단계(1990)에 의해 도시된 것처럼, 포커스 오차 수정을 수행한다.

- [0086] 단계(1990)는 단계(1992, 1993, 1994) 중 임의의 하나를 포함할 수 있다.
- [0087] 단계(1992)는 제 1 속도보다 느린 속도로 피검사체 및 센서 사이의 거리를 기계적 모듈에 의해 변경시키는 단계를 포함한다.
- [0088] 단계(1993)는 제 1 속도를 초과하는 속도로 제 1 포커싱 기능을 변경하는 단계를 포함한다.
- [0089] 단계(1994)는 제 1 속도를 초과하는 속도로 제 2 포커싱 기능을 변경하는 단계를 포함한다.
- [0090] 도 16은 본 발명의 실시예에 따른 방법(2000)을 도시한다.
방법(2000)은 단계(2010) 및 단계(2020)에 의해 시작한다.
- [0091] 단계(2010)는 자외선 내구성을 가진 물질로 만들어진 코어의 입력면을 통해 제 1 광 비임을 수용하는 단계를 포함하고; 이 경우에 코어의 굴절률은 코어 상에 인가된 전기장에 대응한다.
- [0092] 단계(2020)는, 입력면과 상이한 코어의 제 1 면에 연결된 제 1 세트의 전극들에 의해, 제 1 방향을 따라 거의 파라볼릭 형상을 가진 크기를 가진 전기장을 유도하는 단계를 포함하고, 이에 의해 코어가 제 1 광 비임 상에서 제 1 방향을 따라 제 1 포커싱 기능을 인가하게 하며; 제 1 방향은 제 1 광 비임의 전파 방향으로 지향된다.
- [0093] 단계(2010) 및 단계(2020)는 여러 번 반복될 수 있다.
- [0094] 이러한 단계들의 실행과 평행하게, 방법(2000)은 또한 제 1 세트의 전극들에 의해 유도된 전기장에서 빠른 변경을 수행하여 제 1 포커싱 기능에서 빠른 변경을 수행하는 단계(2030)에 의해 도시된 것처럼 포커스 오차 수정 프로세스를 수행하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 변경은 빠르고, 피검사체, 옵틱스 및 이와 유사한 것의 이동(상승 또는 하강)을 필요로 하는 포커스의 변경보다 고속(그리고 훨씬 더 고속)이다.
- [0095] 도 17은 본 발명의 다른 실시예에 따른 제 1 포커싱 유닛(40)을 도시한다.
- [0096] 제 1 포커싱 유닛(40)은 코어(43), 회전 옵틱스(1701) 및 추가적인 코어(43')를 포함한다. 코어(43)는 코어(43)에 대해 약 90도 만큼 (Z축 주위로) 회전한다. 만약, 예를 들어 전극들(41, 42)의 세트들이 도 17을 포함하는 페이지의 평면에 평행하다면, 추가적인 코어(43')의 전극들(41', 42')의 세트들은 도 17을 포함하는 페이지의 평면에 수직이다.
- [0097] 제 1 비임은 - 코어(43) 상에 충돌할 때 - 좁은 타원형 형상을 갖는 단면(1710)을 갖는다 - 좁은 타원형 형상은 Y축에 대해 평행한 메이저 축을 가지고 따라서 제 3 방향을 따른 디포커싱 효과 또는 원하지 않는 포커싱을 최소화함.
- [0098] 코어(43)로부터의 출력인 비임은 회전 옵틱스(1701)(프리즘들의 세트와 같은 공지된 회전 옵틱스를 포함할 수 있음)에 의해 약 90도 만큼 회전되고, 이에 의해 비임이 추가적인 코어(43') 상에 충돌할 때 그 단면은 X축에 평

행한 메이저 축을 가진 좁은 타원형 형상을 갖는다.

[0099] 이러한 구성은 제 1 및 제 3 방향을 따라 포커싱을 제어하는 것을 가능하게 하고, 이동 렌즈 음향-광학 소자(50)에 의해 인가된 포커싱 기능의 변경을 대신하여 또는 추가적으로 인가될 수 있다.

[0100] 계산, 이론

[0101] 이하의 계산들은 코어(43)와 같은 광학 전기적 렌즈 – 파워가 전기적 포텐셜에 의해 제어될 수 있는 렌즈 – 상에 인가된 전기장의 예를 제공한다. 유도된 렌즈는 등급 인덱스 유형(graded index type)이다. 이는 파라볼릭 굴절률을 갖고 포커싱 렌즈로서 작용하며, 넌제로(non-zero) 전자 광학 계수를 가진 물질을 고려하고 진폭이 함수 x^2 로서 변하는 전기장을 렌즈 내에 유도함에 의해 렌즈가 형성될 것이다. 전자 옵틱스 텐서(tensor)를 이용함에 의해 새로운 인덱스 타원체가 계산될 수 있으며 렌즈 성능이 평가되고 최적화된다.

[0102] 전기장 계산

[0103] 파라볼릭 굴절률을 얻기 위해, 전기장은 $E_y \propto \alpha x^2$ 의 형태일 수 있다.

[0104] 또는 더욱 일반적인 형태는 다음과 같다:

[0105] $E_y = \alpha x^2 \cdot f(y) + g(y)$

[0106] 전기장은 맥스웰(Maxwell) 방정식을 따라야 한다:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0; \Rightarrow \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0; \Rightarrow \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = 0$$

[0107] 이러한 두 방정식들은 아래의 내용을 제공한다:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \alpha x^2 f'(y) + g'(y) = 0$$

$$2\alpha x f(y) - \frac{\partial E_x}{\partial y} = 0$$

[0108] 이러한 두 방정식들은 적분되어 이하의 내용을 얻을 수 있다:

$$E_x = -\frac{\alpha x^3}{3} f'(y) - g'(y)x + c(y)$$

$$\Rightarrow 2\alpha x f(y) + \frac{\alpha x^3}{3} f''(y) + g''(y)x + c'(y) = 0$$

[0109] E_y 는 x 방향으로 2차 방정식이어야 하기 때문에, 이하의 제한이 강제된다:

$$f''(y) = 0; \Rightarrow f(y) = a_1 y + b_1$$

$$2\alpha f(y) - g''(y) = 0$$

$$c'(y) = 0 \Rightarrow c(y) = \text{const} = c$$

[0114] $g(y)$ 에 대해 풀면:

$$g(y) = -2\alpha \left(a_1 \frac{y^3}{6} + b_1 \frac{y^2}{2} + c_1 y + d_1 \right)$$

[0115] g 및 f 가 얻어졌기 때문에, 전기장은 아래와 같이 계산될 수 있다:

$$E_x = -\alpha \frac{x^3}{3} a_1 - 2\alpha x \left(a_1 \frac{y^2}{2} + b_1 y + c_1 \right) + c$$

$$E_y = \alpha x^2 (a_1 y + b_1) - 2\alpha (a_1 \frac{y^3}{6} + b_1 \frac{y^2}{2} + c_1 y + d_1)$$

[0118] 이러한 방정식들로부터 포텐셜이 계산될 수 있다:

$$\vec{E} = -\nabla \phi;$$

$$E_x = -\frac{\partial \phi}{\partial x}; \quad E_y = -\frac{\partial \phi}{\partial y}$$

[0120] 그리고 직접 적분(direct integration)에 의해:

$$\phi(x, y) = -\alpha \frac{x^4}{12} a_1 + \alpha x^2 \left(a_1 \frac{y^2}{2} + b_1 y + c_1 \right) + cx - 2\alpha \left(a_1 \frac{y^4}{24} + b_1 \frac{y^3}{6} + c_1 \frac{y^2}{2} + d_1 y \right)$$

[0122] 실제적인 관점에서, 다음과 같은 결과가 바람직하다: $\phi(x, y) = -\phi(x, -y)$

[0123] 이는 대칭적인 공급 전압들을 이용하는 것을 가능하게 한다.

[0124] 이러한 조건은 $a_1=0$ 임을 의미한다. C 및 d_1 은 오직 일정한 전기장에만 기여할 것이고, 최종 결과는 다음과 같다:

$$\phi(x, y) = b_1 x^2 y - b_1 \frac{y^3}{3};$$

$$-E_y = \frac{\partial \phi}{\partial y} = b_1 (x^2 - y^2);$$

$$-E_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} = 2b_1 x \cdot y;$$

[0126] E_y 는 원하는 대로 움직이나, E_x 는 이러한 원하는 목적과는 상이하며 따라서 크리스탈이 EO 텐서(tensor)에 커플링될 때 이러한 전기장 성분에 대해 주의해야한다는 것이 나타난다.

[0127] E_y 전기장은 새들 포인트의 형상(역전된 파라볼릭 형상)을 갖으므로, 일 방향으로 포지티브 렌즈가 제공되며 수직 방향으로 네거티브 렌즈가 제공되는 것이 나타난다.

[0128] 포타슘 디-듀테륨 포스페이트(Potassium Di-deuterium Phosphate)는 아래의 굴절률 타원체(index ellipsoid) 방정식을 갖는다:

$$\frac{x^2}{n_o^2} + \frac{y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} + 2r_{41}E_x yz + 2r_{41}E_y xz + 2r_{63}E_z xy = 1$$

[0130] 좌표계는 크리스탈 시스템이다. 혼란을 제거하기 위해, 크리스탈 좌표 시스템은 $(x, y, z) \Rightarrow (s, v, t)$ 로서 표시될 것이고, 이 경우 t 는 크리스탈의 c 방향이다(상이한 굴절률을 가진 방향).

[0131] EO 렌즈를 얻기 위해, E_y 는 t 방향으로 인가될 것이다. 굴절률 타원체 방정식은 아래와 같을 것이다:

$$\frac{s^2}{n_o^2} + \frac{v^2}{n_o^2} + \frac{t^2}{n_e^2} + 2r_{63}E_y sv = 1$$

[0132] 좌표 변형에 의해, 이 방정식은 대각행렬로 될 수 있다:

Define: $s = s' \cos 45^\circ - v' \sin 45^\circ$
 $v = s' \sin 45^\circ + v' \cos 45^\circ$

[0134] 굴절률 타원체 방정식은 다음과 같다:

$$\left(\frac{1}{n_o^2} + r_{63}E_y \right) s'^2 + \left(\frac{1}{n_o^2} - r_{63}E_y \right) v'^2 + \frac{t^2}{n_e^2} = 1$$

[0136] 전기장의 효과는 굴절률을 변경시키고 새로운 광학 방향은 크리스탈 방향에 대해 45° 로 생성된다. 굴절률의 변경은 아래와 같이 계산될 수 있다:

$$n_{s'} = n_o - \frac{n_o^3}{2} r_{63} E_y$$

$$n_{v'} = n_o + \frac{n_o^3}{2} r_{63} E_y$$

[0138] 광이 크리스탈의 110 방향으로 전파되고 편향이 110 방향이라면, 굴절률은 n_s 일 것이다.

[0140] 전기장 방정식에서 E_x 는 제거될 수 없기 때문에, 굴절률 상의 그 효과가 고려되어야 한다. E_x 를 가진 굴절률 타원체의 경우는 다음과 같다:

$$\left(\frac{1}{n_o^2} + r_{63}E_y \right) s'^2 + \left(\frac{1}{n_o^2} - r_{63}E_y \right) v'^2 + \frac{t^2}{n_e^2} + 2r_{41}E_x \left(\frac{s'}{\sqrt{2}} + \frac{v'}{\sqrt{2}} \right) t = 1$$

[0142] 일정한 대수학(algebra) 이후:

$$\frac{s'^2}{n_{o1}^2} + \frac{v'^2}{n_{o2}^2} + \frac{t^2}{n_e^2} + \sqrt{2}r_{41}E_x s't + \sqrt{2}r_{41}E_x v't = 1$$

[0144] 굴절률 타원체의 새로운 메이저 방향을 찾기 위해, 2차 형식 행렬의 고유 값들(igen value) 및 고유 벡터들은 아래와 같이 발견될 것이다:

$$\Delta = \begin{bmatrix} \frac{1}{n_{o1}^2} & 0 & \frac{r_{41}}{\sqrt{2}} E_x \\ 0 & \frac{1}{n_{o2}^2} & \frac{r_{41}}{\sqrt{2}} E_x \\ \frac{r_{41}}{\sqrt{2}} E_x & \frac{r_{41}}{\sqrt{2}} E_x & \frac{1}{n_e^2} \end{bmatrix}$$

[0146]

결정 인자는 다음과 같다:

$$\Delta = \left(\frac{1}{n_{o1}^2} - \lambda \right) \cdot \left(\frac{1}{n_{o2}^2} - \lambda \right) \cdot \left(\frac{1}{n_e^2} - \lambda \right) - \frac{r_{41}^2}{2} E_x^2 \cdot \left(\frac{1}{n_{o1}^2} + \frac{1}{n_{o2}^2} - 2\lambda \right)$$

[0147]

$r_{41}^2/2 * E_x^2$ 는 매우 작기 때문에, 루츠(roots)에 대한 수정을 찾기 위해 Newton-Raphson 방법을 이용하여 루츠

$\left(\frac{1}{n_{o1}^2}; \frac{1}{n_{o2}^2}; \frac{1}{n_e^2} \right)$ 에 대한 섭동(perturbation)으로서 처리될 수 있다. 즉,

$$\lambda_{i+1} = \lambda_i - \frac{\Delta(\lambda_i)}{\Delta'(\lambda_i)}$$

[0149]

[0150]

로 하여, 루츠에 대한 수정이 얻어진다:

$$\delta\left(\frac{1}{n_{o1}^2}\right) = \frac{\frac{r_{41}^2}{2} E_x^2 \left(\frac{1}{n_{o2}^2} - \frac{1}{n_{o1}^2} \right)}{\frac{r_{41}^2}{2} E_x^2 - \left(\frac{1}{n_{o2}^2} - \frac{1}{n_{o1}^2} \right) \left(\frac{1}{n_e^2} - \frac{1}{n_{o1}^2} \right)} \cong \frac{\frac{r_{41}^2}{2} E_x^2}{\left(\frac{1}{n_e^2} - \frac{1}{n_{o1}^2} \right)}$$

$$\delta\left(\frac{1}{n_{o2}^2}\right) = \frac{\frac{r_{41}^2}{2} E_x^2 \left(\frac{1}{n_{o1}^2} - \frac{1}{n_{o2}^2} \right)}{\frac{r_{41}^2}{2} E_x^2 - \left(\frac{1}{n_{o1}^2} - \frac{1}{n_{o2}^2} \right) \left(\frac{1}{n_e^2} - \frac{1}{n_{o2}^2} \right)} \cong \frac{\frac{r_{41}^2}{2} E_x^2}{\left(\frac{1}{n_e^2} - \frac{1}{n_{o2}^2} \right)}$$

$$\delta\left(\frac{1}{n_e^2}\right) = \frac{\frac{r_{41}^2}{2} E_x^2 \left(\frac{1}{n_{o2}^2} + \frac{1}{n_{o1}^2} - \frac{2}{n_e^2} \right)}{\frac{r_{41}^2}{2} E_x^2 - \left(\frac{1}{n_{o1}^2} - \frac{1}{n_e^2} \right) \left(\frac{1}{n_{o2}^2} - \frac{1}{n_e^2} \right)}$$

[0151]

$\delta\left(\frac{1}{n_{o1}^2}\right); \delta\left(\frac{1}{n_{o2}^2}\right)$ 에 대한 수정은 n_0 에 대한 수정인 $r_{63}E_y$ 에 비교하여 매우 작은 $r_{41}^2/2 * E_x^2$ 에 비례하고, 따라서 E_x 는 렌즈를 방해하지 않음이 나타난다.

[0153]

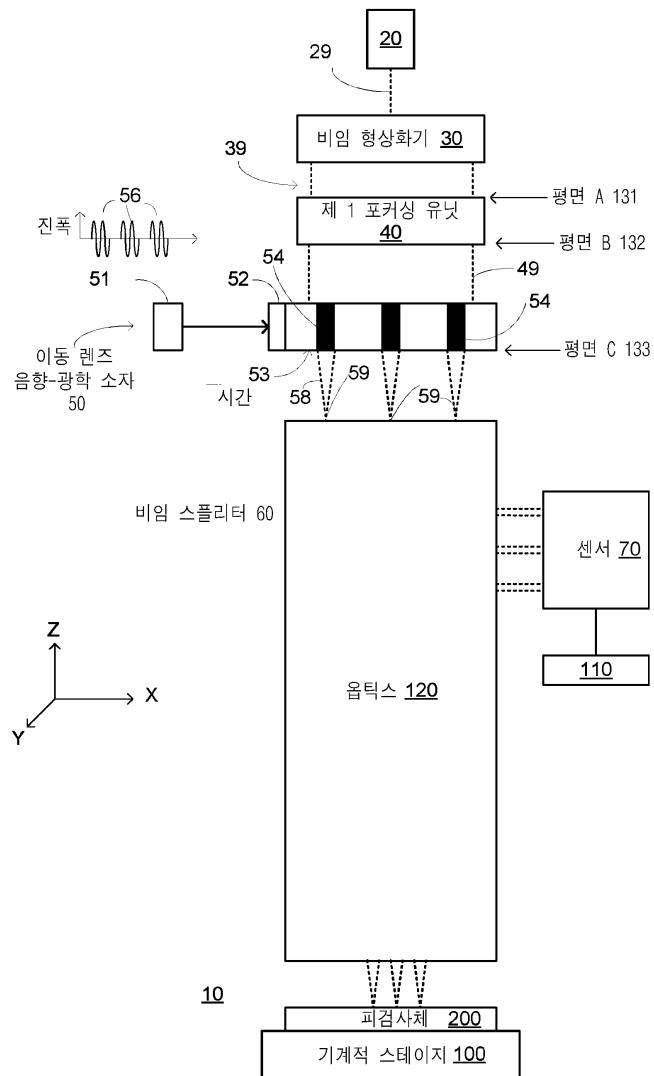
도 9는 10mm 길이의 크리스탈에 대해 도 12에서 도시된 포텐셜을 위한 위상 지연을 도시한다.

[0154]

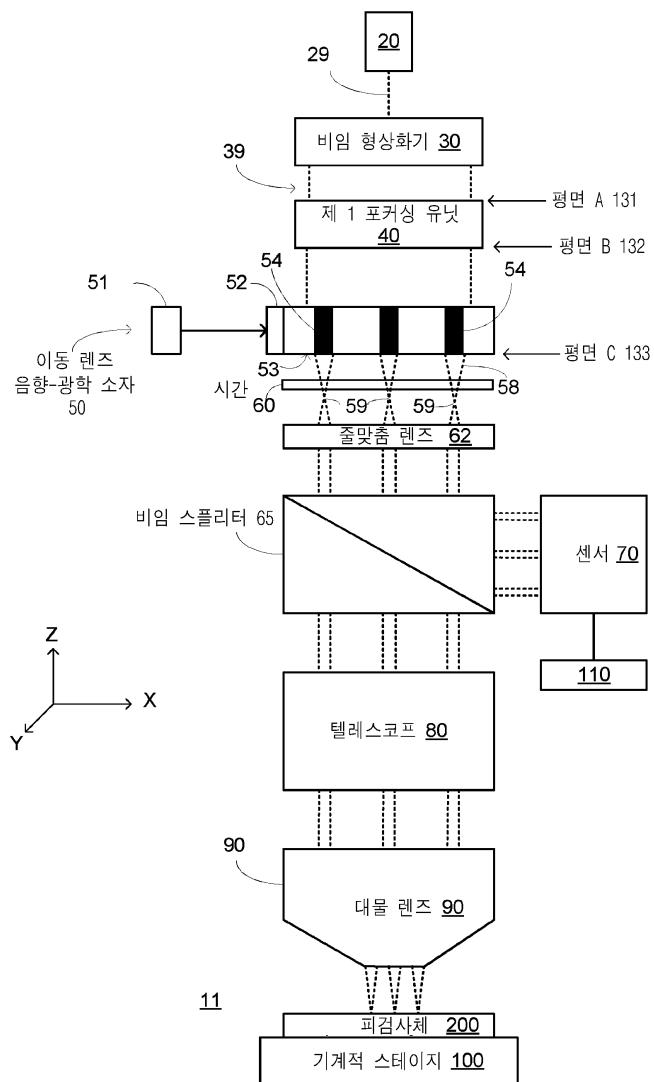
본 발명의 일정한 특징들이 여기서 도시되고 설명되었지만, 많은 수정들, 치환들, 변경들 및 동등물들이 이 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 나타날 것이다. 따라서, 첨부된 청구항은 본 발명의 진정한 사상 내에 포함되는 모든 이러한 수정들 및 변경들을 커버하는 것으로 이해되어야 한다.

도면

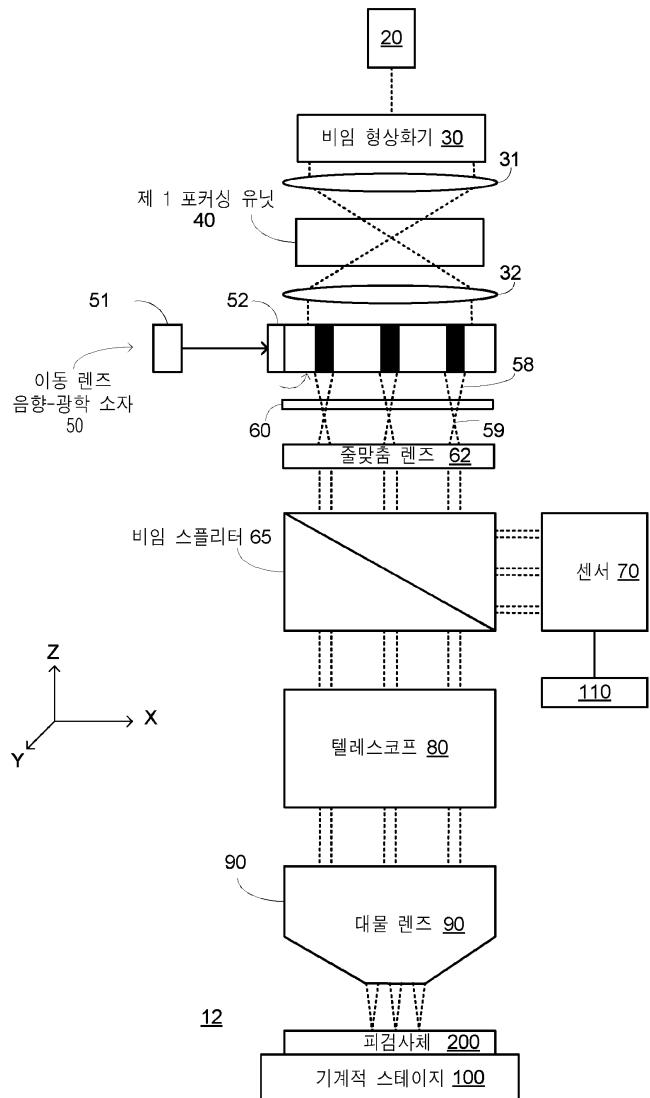
도면1



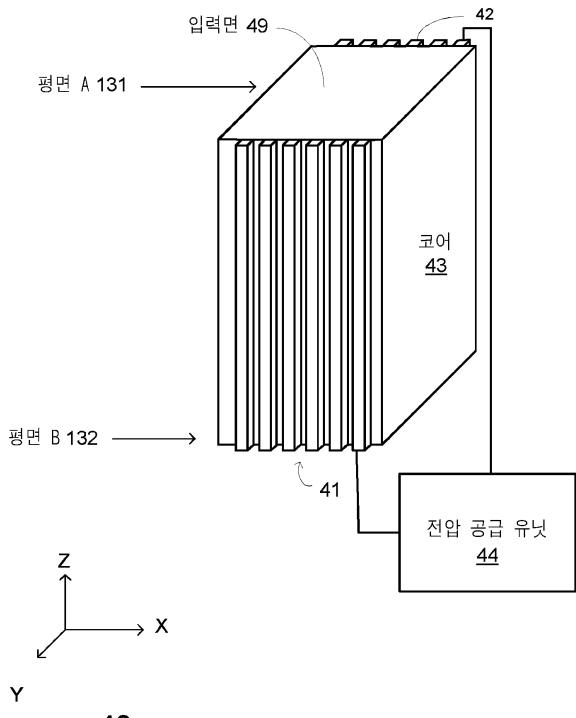
도면2



도면3

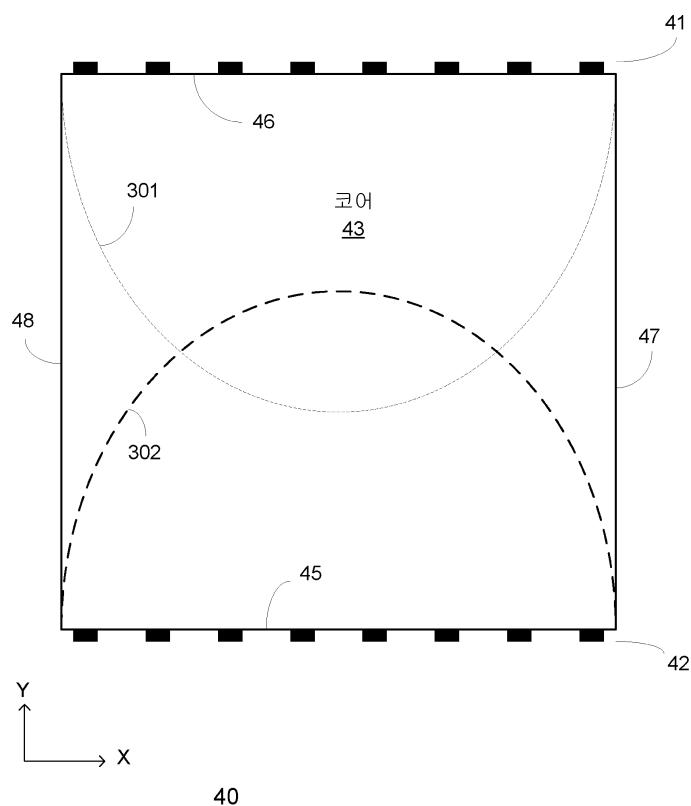


도면4

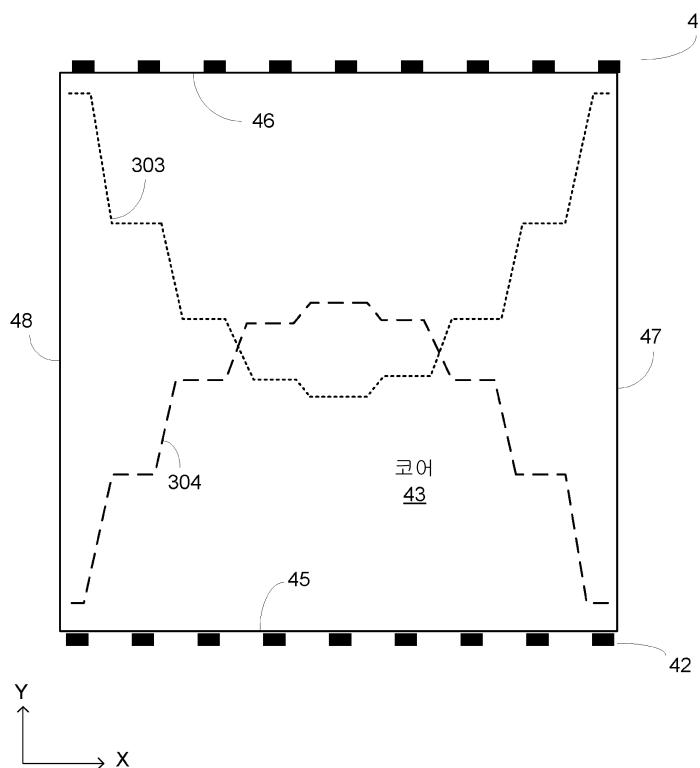


40

도면5

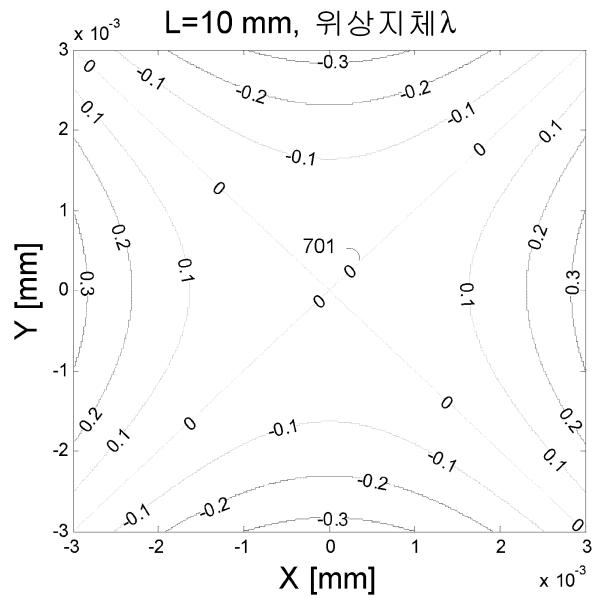


도면6



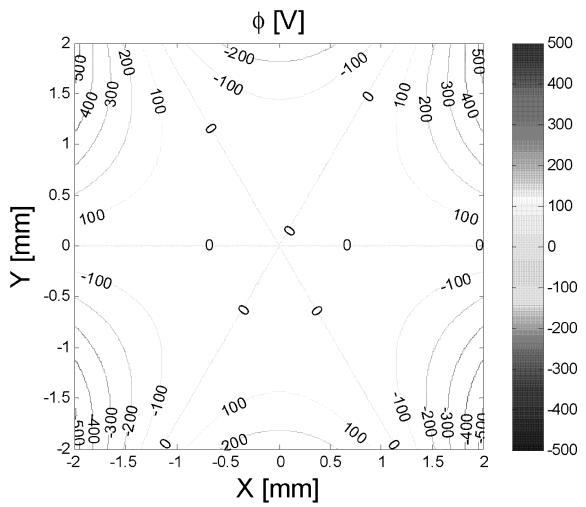
40

도면7



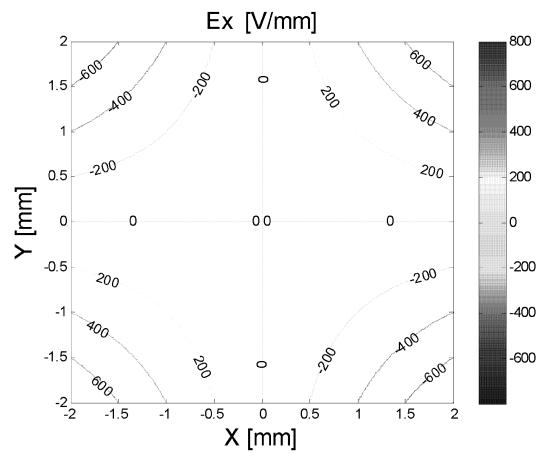
1100

도면8



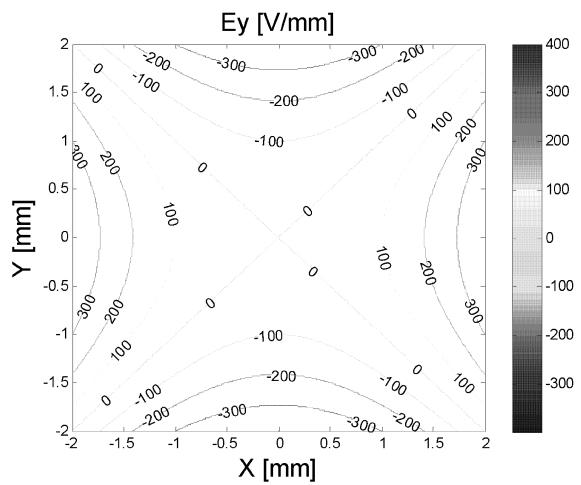
1200

도면9



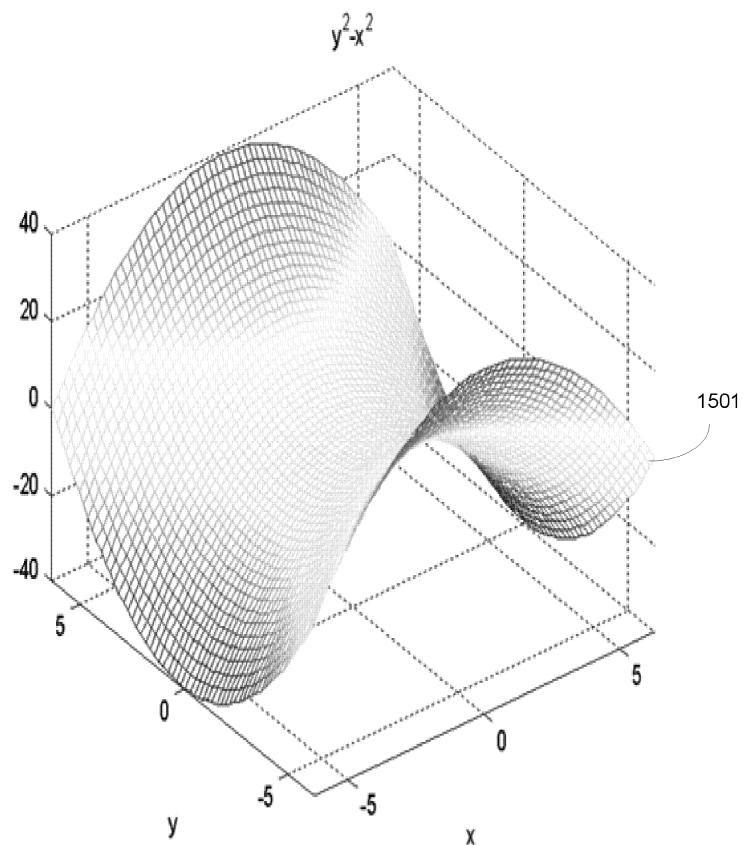
1300

도면10



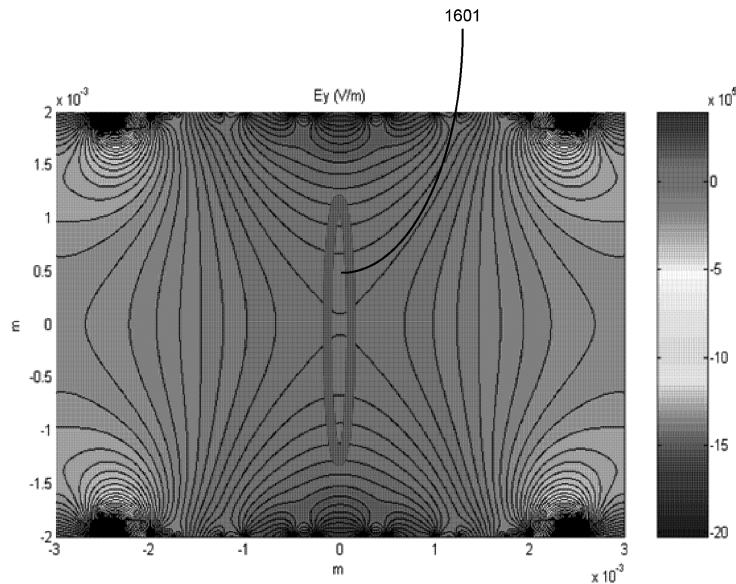
1400

도면11



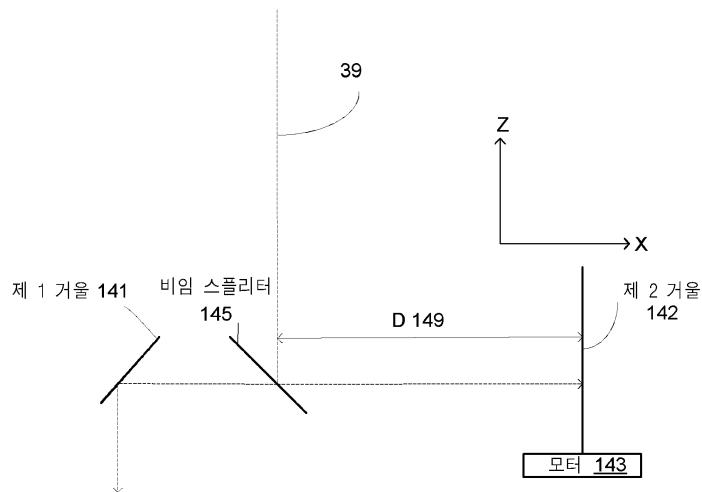
1500

도면12



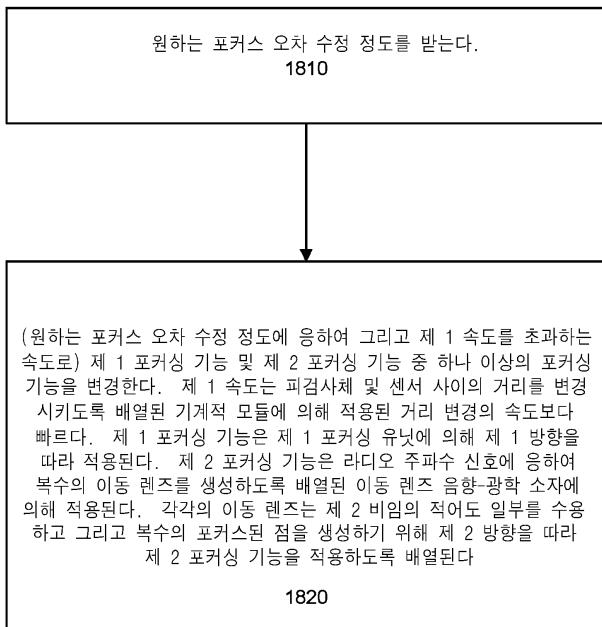
1600

도면13



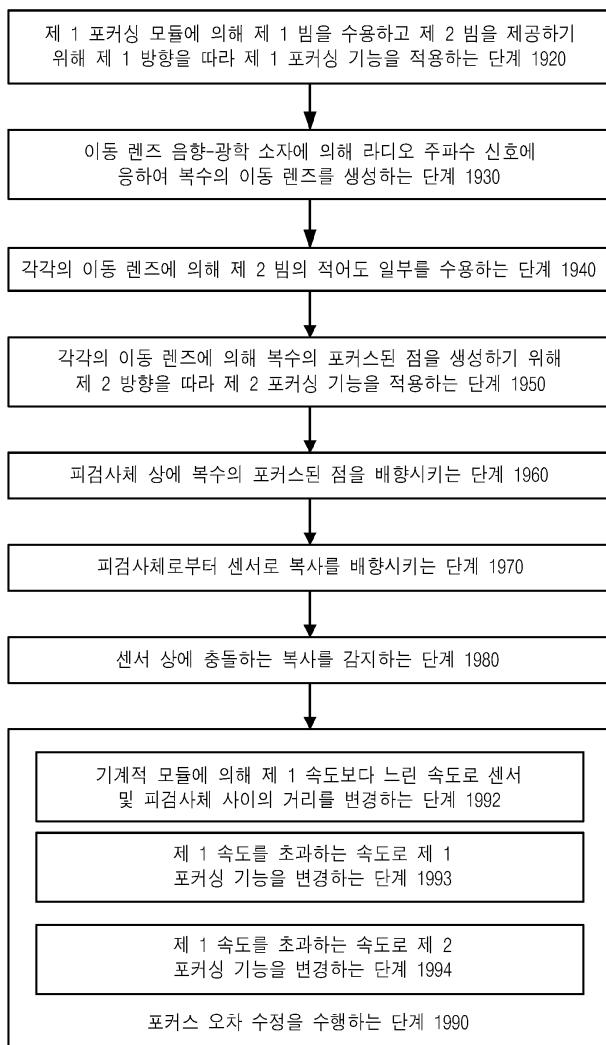
40

도면14

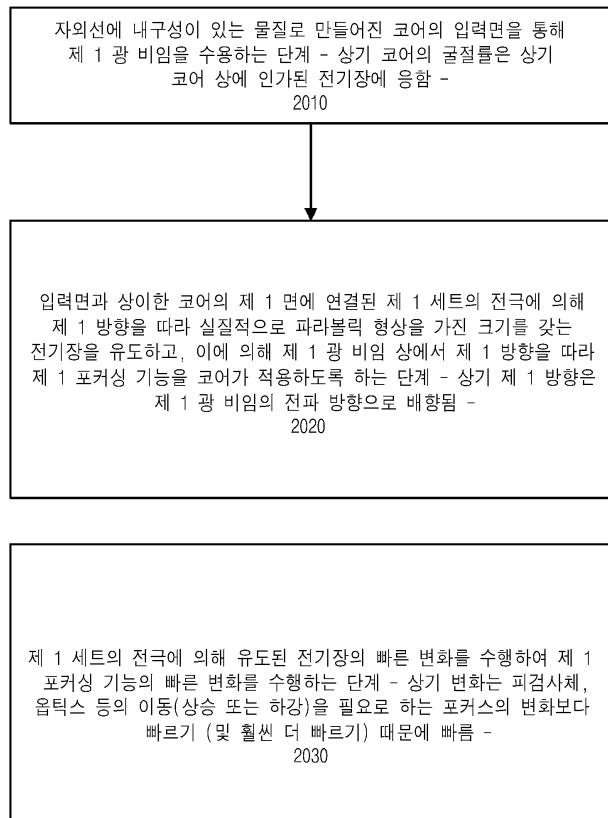


1800

도면15



도면16



2000

도면17

