



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년06월10일

(11) 등록번호 10-1987398

(24) 등록일자 2019년06월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 21/324 (2017.01) H01L 21/26 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-7001261

(22) 출원일자(국제) 2012년06월20일

심사청구일자 2017년06월20일

(85) 번역문제출일자 2014년01월16일

(65) 공개번호 10-2014-0039300

(43) 공개일자 2014년04월01일

(86) 국제출원번호 PCT/US2012/043323

(87) 국제공개번호 WO 2012/177743

국제공개일자 2012년12월27일

(30) 우선권주장

13/194,552 2011년07월29일 미국(US)

(뒷면에 계속)

(56) 선행기술조사문헌

JP2005217267 A*

KR1020100114920 A*

US20090032511 A1*

WO2011027972 A2*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

어플라이드 머티어리얼스, 임코포레이티드

미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050

(72) 발명자

모파트, 스티븐

영국 제이이3 8큐에이 저지 채널 아이슬랜드 ; 세인트 부를라드 루 드 라 고르비에 벨레 캐너트 더반

홈그렌, 더글라스, 이.

미국 97219 오리곤 포틀랜드 사우스웨스트 오키드 스트리트 5031

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 남엔남

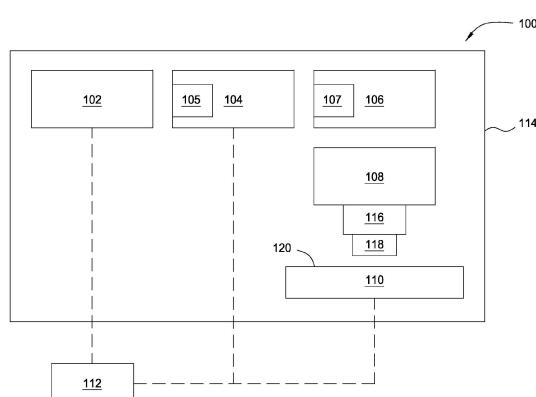
전체 청구항 수 : 총 15 항

심사관 : 김종희

(54) 발명의 명칭 신규한 열적 프로세싱 장치

(57) 요약

기판의 표면 상에 포함된 어닐링 영역을 가로질러 균일한 양의 에너지를 신뢰가능하게 전달할 수 있는 광학적 시스템이 설명된다. 광학적 시스템은 기판의 표면 상의 희망 영역 상으로 희망하는 2-차원적인 형상을 가지는 균일한 양의 에너지를 전달 또는 투사하도록 구성된다. 광학적 시스템을 위한 에너지 공급원이, 전형적으로, 복수의 레이저들이고, 상기 복수의 레이저들이 조합되어 에너지 필드를 형성한다.

대 표 도

(72) 발명자

호웰스, 사무엘, 씨.

미국 97206 오리곤 포틀랜드 사우스이스트 43로드
3327

통, 에드리

미국 94086 캘리포니아 씨니베일 락스퍼 애비뉴
955

아담스, 브루스, 이.

미국 97239 오리곤 포틀랜드 사우스웨스트 13 애비
뉴 3411

리, 지평

미국 94306 캘리포니아 팔로 알토 미들필드 로드
3510

현터, 아론, 무이르

미국 95060 캘리포니아 산타 크루즈 에멀린 애비뉴
430

(30) 우선권주장

13/194,775 2011년07월29일 미국(US)

61/500,727 2011년06월24일 미국(US)

명세서

청구범위

청구항 1

기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치로서:

전자기적 에너지의 펄스들을 생성하도록 동작가능한 전자기적 에너지의 공급원;

펄스 조합기, 펄스 성형기, 균질화기, 및 상기 공급원으로부터 전자기적 에너지의 펄스들을 수신하도록 배치되어 반사 부분을 갖는 조리개 부재(aperture member)를 포함하는 광학적 시스템 - 상기 반사 부분은 상기 균질화기의 출력부에 위치된 렌즈로부터 전달되는 전자기적 에너지의 초점 평면에 배치됨 -;

상기 광학적 시스템에 대해서 기판을 이동시키도록 동작가능한 기판 지지부; 및

상기 광학적 시스템의 광학적 경로를 따라서 상기 기판을 관찰하도록 동작가능하고, 이미지 조향 광학장치(image steering optic) 및 이미징 검출기(imaging detector)를 포함하는 이미징 시스템을 포함하는, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 펄스 조합기가 제 1 펄스를 편광화(polarizing)하기 위한 제 1 편광화기, 제 2 펄스를 편광화하기 위한 제 2 편광화기, 및 편광화 표면을 가지는 조합 광학장치(combining optic)를 포함하고, 상기 제 1 펄스 및 상기 제 2 펄스가 상기 편광화 표면의 대향 측부들로 지향되는, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 이미징 시스템은 기판으로부터 반사된 광을 관찰 광학장치로 선택적으로 반사시키는 반사기를 포함하는, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

제 2 펄스 조합기를 더 포함하는, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 5

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 전자기적 에너지의 공급원은 적어도 2개의 펄스형 레이저(pulsed laser)를 포함하는, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 6

기판을 프로세싱하기 위한 시스템으로서:

전자기적 에너지의 공급원;

균질화기를 포함하며 상기 전자기적 에너지를 포커스(focus)하기 위한 광학적 시스템; 및

내부에 매립된 반사 부분을 갖는 조리개 부재로서, 상기 반사 부분이 개구부를 가지고, 상기 개구부를 통해서 상기 전자기적 에너지가 투사되고, 상기 반사 부분의 표면이 상기 균질화기의 출력부에 위치된 렌즈로부터 전달되는 전자기적 에너지의 초점 평면에 배치된, 상기 조리개 부재를 포함하는, 기판을 프로세싱하기 위한 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 조리개 부재가 석영이고 그리고 상기 반사 부분이 유전체 거울인, 기판을 프로세싱하기 위한 시스템.

청구항 8

제 6 항 또는 제 7 항에 있어서,

제 1 조리개 부재의 상기 개구부와 크기가 상이한 개구부를 갖는 제 2 조리개 부재를 더 포함하는, 기판을 프로세싱하기 위한 시스템.

청구항 9

기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치로서:

전자기적 에너지의 펄스들을 생성하도록 동작가능한 전자기적 에너지의 공급원;

상기 전자기적 에너지에 대해서 기판을 이동시키도록 동작가능한 기판 지지부; 및

상기 전자기적 에너지의 공급원과 상기 기판 지지부의 사이에 배치되고, 펄스 조합기, 펄스 성형기, 균질화기, 및 내부에 매립된 에너지 차단 부재를 갖는 조리개 부재를 포함하는 광학적 시스템 - 상기 에너지 차단 부재는 상기 균질화기의 출력부에 위치된 렌즈로부터 전달되는 전자기적 에너지의 초점 평면에 배치됨 -;을 포함하는, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 펄스 조합기는 선택 표면(selecting surface)과 2개의 회전가능한 편광화 필터들을 갖는 조합 광학장치를 포함하고,

상기 조리개 부재는 봉입된 엣지들(enclosed edges)을 갖는, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

제 2 펄스 조합기를 더 포함하는, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

상기 전자기적 에너지의 공급원은 복수의 고체 레이저들(solid state lasers)을 포함하는, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 13

기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치로서:

전자기적 에너지의 펄스들을 생성하도록 동작가능한 전자기적 에너지의 공급원;

상기 전자기적 에너지에 대해서 기판을 이동시키도록 동작가능한 기판 지지부; 및

상기 전자기적 에너지의 공급원과 상기 기판 지지부의 사이에 배치되고, 2개의 펄스 조합기, 복수의 거울들과 분할기들을 포함하는 펄스 성형기, 2개의 정사각형의 마이크로렌즈 어레이들을 포함하는 균질화기, 및 내부에 매립된 에너지 차단부재와 봉입된 엣지들을 갖는 조리개 부재를 포함하는 광학적 시스템을 포함하고,

상기 2개의 펄스 조합기 각각은, 선택 표면과 2개의 회전가능한 편광화 필터들을 갖는 조합 광학장치를 포함하고,

상기 에너지 차단부재는 상기 전자기적 에너지의 초점 평면에 배치된, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 기판 지지부 및 검출 광학장치(detecting optic)에 광학적으로 커플링되는 샘플링 광학장치(sampling optic)를 갖는 이미징 시스템을 더 포함하는, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 기판 지지부 및 CCD 어레이에 광학적으로 커플링되는 반사 샘플링 광학장치(reflective sampling optic)를 갖는 이미징 시스템을 더 포함하고,

상기 균질화기는 교정 렌즈(corrrection lens)를 더 포함하고,

상기 펄스 조합기는 포토다이오드 어레이 및 열전쌍을 더 포함하고,

상기 복수의 거울들은 상기 펄스 성형기의 기준선으로부터 상이한 거리에 배열된 거울 쌍들을 포함하는, 기판을 열적 프로세싱하기 위한 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

여기에서 기재된 실시예들은 열적 프로세싱 장치들 및 방법들에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 여기에서 기재된 장치들 및 방법들은 반도체 기판들의 레이저 열처리에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

열적 프로세싱은 반도체 산업에서 일반적으로 실시된다. 반도체 기판들은, 게이트, 소오스, 드레인, 및 채널 구조물들의 도핑, 활성화, 및 어닐링, 질리사이딩, 결정화, 및 산화, 등을 포함한, 많은 변형들(transformations)의 상황(context)에서 열적 프로세싱을 받는다. 수년에 걸쳐서, 열적 프로세싱의 기술들이 단순한 퍼니스(furnace) 베이킹으로부터 RTP, 스파이크 어닐링, 및 레이저 어닐링과 같은 여러 가지 형태들의 점점 더 신속한 열적 프로세싱으로 진행되어 왔다.

[0003]

통상적인 레이저 어닐링 프로세스들은, 레이저 광을 희망하는 형상으로 포커스, 디포커스, 또는 다양하게 이미징하는 광학장치들을 구비한 반도체 또는 고체 레이저들(solid state lasers)일 수 있는 레이저 방출기들을 이용한다. 통상적인 접근방식은 레이저 광을 라인 또는 얇은 직사각형 이미지로 이미지화하는 것이다. 레이저 광이 기판(또는 레이저 광 아래에서 이동되는 기판)에 걸쳐서 스캐닝되어, 기판의 전체 표면을 프로세스한다.

[0004]

디바이스의 기하학적 구조가 지속적으로 감소됨에 따라, 열적 프로세싱과 같은 반도체 제조 프로세스들이 증가된 정밀도 개발 문제에 직면한다. 많은 경우들에서, 전체적인 열적 부담(thermal budget)을 감소시키기 위해서 그리고 기판에서의 에너지 노출의 깊이 및 지속시간을 감소시키기 위해서, 펄스형 레이저 프로세스들이 연구되고 있다. 그러나, 기판의 표면에 걸친 균일한 프로세싱을 위해서 요구되는 균일성과 함께, 희망하는 프로세싱 성능을 제공하는 시간적인(temporal) 형상을 가지는 레이저 펄스들을 생성하는데 있어서 난제들이 여전히 남아 있다. 따라서, 반도체 기판들을 열적 프로세싱하기 위한 새로운 장치들 및 방법들이 지속적으로 요구되고 있다.

발명의 내용

[0005]

기판들을 열적 프로세싱하기 위한 시스템이 개시된다. 그러한 시스템은 기판으로 인가되는 에너지 필드(field)를 생성하기 위한, 전형적으로 복수의 레이저들인, 에너지 공급원을 구비한다. 에너지는, 조합된 에너지 펄스들을 형성하기 위한 펄스 제어 모듈을 이용하여 조합되고 계량된다. 조합된 에너지 펄스들의 시간적인 형상이 펄스 성형 모듈 내에서 조정된다. 에너지의 공간적인 분포가 균질화기(homogenizer) 내에서 조정된다. 이어서, 조정된 에너지 펄스들이 에너지 펄스들의 광학적 경로를 따라서 기판을 관찰(view)하기 위해서 이미징 시스템을 통과한다.

[0006]

전형적으로, 각각의 에너지 공급원이 약 100 nsec 또는 그 미만의 지속시간에 걸쳐서 적어도 약 10 MW의 고파

워(power) 에너지 펄스를 전달한다. 펄스 제어 모듈은, 각각의 펄스 경로에 대한 감쇠기들(attenuators)과 함께, 2개의 에너지 펄스들을 하나의 에너지 펄스로 조합하는 조합 광학장치를 구비한다. 진단 모듈은, 제어 신호들을 감쇠기들로 전송하는 제어기로 피드백하기 위해서, 펄스들의 에너지 함량(content) 및 시간적인 형상을 측정한다. 조합된 펄스들은, 각각의 펄스를 복수의 하위-펄스들로 분할하는 광학적 분할기들(splitters) 및 상기 하위-펄스들을 상이한 길이들을 가지는 광학적 경로들을 따라서 전송하여 상기 하위-펄스들을 출구에서 재조합하는 거울 경로들을 이용하여, 펄스 성형기에서 시간적으로 조정된다. 펄스들은 적어도 2개의 마이크로렌즈 어레이들을 가지는 균질화기 내에서 공간적으로 조정된다. 이미징 시스템은, 상기 기판으로부터 반사된 광을 캡쳐하고 그리고 그 광을 이미지장치로 전송하는 광학적 요소를 가진다. 여기에서 기재된 프로세싱 모듈들은, 시간적으로 무관련화되고(decorrelated) 그리고 약 4% 이하의 에너지 세기의 공간적 표준 편차를 가지는 성형된 에너지 필드를 제공할 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0007] 본원 발명의 앞서서 인용된 특징들이 상세히 이해될 수 있는 방식으로, 앞서 간략히 요약된 본원 발명의 보다 구체적인 설명이 실시예들을 참조로 하여 이루어질 수 있는데, 이러한 실시예들의 일부는 첨부된 도면들에 예시되어 있다. 그러나, 첨부된 도면들은 본원 발명의 단지 전형적인 실시예들을 도시하는 것으로 본원 발명의 범위를 제한하는 것으로 간주되지 않아야 한다는 것이 주목되어야 하는데, 이는 본원 발명이 다른 균등하게 유효한 실시예들을 허용할 수 있기 때문이다.

도 1은 일 실시예에 따른 열적 프로세싱 장치의 개략도이다.

도 2a 및 2b는 2개의 실시예들에 따른 펄스 제어기들의 평면도들이다.

도 2c-e는 3개의 실시예들에 따른 펄스 제어기들 및 에너지 공급원들의 상이한 구성들의 개략도들이다.

도 3a는 일 실시예에 따른 펄스 성형기의 개략도이다.

도 3b 및 3c는 도 3a의 펄스 성형기를 이용하여 펄스 타이밍 및 펄스 에너지 프로파일을 도시한 그래프들이다.

도 3d는 다른 실시예에 따른 도 3a의 펄스 성형기의 개략도이다.

도 3e 및 3f는 도 3d의 펄스 성형기를 이용하여 펄스 타이밍 및 펄스 에너지 프로파일을 도시한 그래프들이다.

도 3g는 다른 실시예에 따른 펄스 성형기의 개략도이다.

도 4a 및 4b는 2개의 실시예들에 따른 균질화기들의 개략도들이다.

도 5a 및 5b는 다른 실시예에 따른 조리개 부재(500)의 측면도들이다.

도 6은 다른 실시예에 따른 이미징 시스템(600)의 개략도이다.

이해를 돋기 위해서, 가능한 경우에, 도면들에서 공통되는 동일한 요소들을 나타내기 위해서 동일한 참조 번호들을 사용하였다. 특별한 언급이 없이도, 일 실시예에 개시된 요소들이 다른 실시예들에서 유리하게 이용될 수 있다는 것으로 생각된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 도 1은 기판들의 레이저 프로세싱을 위한 시스템(100)의 평면도이다. 시스템(100)은, 복수의 펄스형 레이저 펄스들을 생산하는 복수의 펄스형 레이저 공급원들을 가지는 에너지 입력 모듈(102), 개별적인 펄스형 에너지 펄스들을 조합 펄스형 레이저 펄스들로 조합하고 그리고 조합 펄스형 레이저 펄스들의 세기, 주파수 특성들, 및 극성(polarity) 특성들을 제어하는 펄스 제어 모듈(104), 조합된 펄스형 레이저 펄스들의, 펄스들의 시간적인 프로파일을 조정하는 펄스 성형 모듈(106), 상기 펄스들의 공간적 에너지 분포를 조정하여 상기 조합 펄스형 레이저 펄스들을 단일의 균일한 에너지 필드로 중첩시키는 균질화기(108), 상기 에너지 필드로부터 잔류 엣지 불균일성(non-uniformity)을 제거하는 조리개 부재(116, aperture member), 및 상기 레이저 에너지 필드와 상기 기판 지지부(110) 상에 배치된 기판의 정밀한 정렬을 허용하는 정렬 모듈(118)을 포함한다. 제어기(112)가 상기 에너지 모듈(102)에 커플링되어 상기 레이저 펄스들의 생산을 제어하고, 상기 펄스 제어 모듈(104)에 커플링되어 펄스 특성들을 제어하며, 그리고 상기 기판 지지부(110)에 커플링되어 상기 에너지 필드에 대한 상기 기판

의 이동을 제어한다. 전형적으로, 외장(enclosure)(114)이 시스템(100)의 동작 성분들을 둘러싼다.

[0009] 레이저들은, 예를 들어 약 100 nsec 미만의 지속시간(duration)의, 고 파워 레이저 복사선의 짧은 펄스들을 형성할 수 있는 임의의 타입의 레이저일 수 있을 것이다. 전형적으로, 약 30 초파의 M^2 를 가지는 500 초파의 공간적 모드들을 가지는 큰 조성(調性; modality) 레이저들이 이용된다. Nd:YAG, Nd:유리, 티타늄-사파이어, 또는 다른 희토류 도핑형 결정 레이저들과 같은 고체 레이저들이 빈번하게 이용되나, 엑시머 레이저들, 예를 들어 $XeCl_2$, ArF, 또는 KrF 레이저들과 같은 가스 레이저들이 이용될 수도 있을 것이다. 레이저들이, 예를 들어 q-스위칭(수동형 또는 능동형), 게인(gain) 스위칭, 또는 모드 록킹(mode locking)에 의해서, 스위칭될 수 있을 것이다. 또한, 레이저에 의해서 방출되는 비임을 중단시키는 것에 의해서 펄스들을 형성하기 위해서 레이저의 출력부 근처에서 Pockels 셀(cell)을 또한 사용할 수 있을 것이다. 일반적으로, 펄스형 레이저 프로세싱을 위해서 이용가능한 레이저들은 약 1 nsec 내지 약 100 μ sec의 지속시간을 가지는 약 100 mJ 내지 약 10 J, 전형적으로 약 8 nsec에서 약 1 J의 에너지 함량을 가지는 레이저 복사선의 펄스들을 생산할 수 있다. 레이저들은 약 200 nm 내지 약 2,000 nm, 예를 들어 약 400 nm 내지 약 1,000 nm, 예를 들어 약 532 nm의 파장을 가질 수 있을 것이다. 일 실시예에서, 레이저들이 q-스위치드 주파수-배가된(q-switched frequency-doubled) Nd:YAG 레이저들이다. 레이저들은 모두 동일한 파장에서 동작될 수 있고, 또는 하나 또는 둘 이상의 레이저들이 에너지 모듈(102) 내의 다른 레이저들과 상이한 파장들에서 동작할 수 있을 것이다. 레이저들이 증폭되어 희망하는 파워 레벨들을 발전시킬 수 있을 것이다. 대부분의 경우들에, 증폭 매체가 레이싱 매체(lasing medium)와 동일한 또는 유사한 조성을 가질 것이다. 각각의 개별적인 레이저 펄스가 일반적으로 홀로(by itself) 증폭되나, 일부 실시예들에서, 모든 레이저 펄스들이 조합 후에 증폭될 수 있을 것이다.

[0010] 기판으로 전달되는 전형적인 레이저 펄스는 다수의 레이저 펄스들의 조합이다. 다수의 펄스들이 제어된 시간들에서 그리고 서로에 대해서 제어된 관계로 생성되어, 조합되었을 때, 제어된 에너지 상승, 지속시간, 및 쇠퇴(decay) 및 에너지 불균일성의 제어된 공간적 분포와 함께, 제어된 시간적 및 공간적 에너지 프로파일을 가지는 레이저 복사선의 단일 펄스를 초래한다. 각각의 레이저로부터의 펄스들의 생성을 제어하기 위해서, 제어기(112)는, 각각의 레이저, 예를 들어 각각의 레이저의 각각의 스위치에 커플링된 전압 공급원에 커플링된 펄스 발생기, 예를 들어, 전자 타이머를 구비할 수 있을 것이다.

[0011] 각각의 레이저가 하나 또는 둘 이상의 펄스 제어기들(105)을 구비할 수 있는 펄스 제어 모듈(104)로 방출되는 펄스들을 생성하도록, 복수의 레이저들이 배열된다. 도 2a는 일 실시예에 따른 펄스 제어기(200A)의 평면도이다. 도 1과 관련하여 전술한 하나 또는 둘 이상의 펄스 제어기들(105)이 각각 도 2a에 도시된 펄스 제어기(200A)와 같은 펄스 제어기가 될 수 있을 것이다. 광 오염(pollution)을 방지하기 위해서 외장(299) 내에 수용된 광학장치들을 이용하여, 펄스 제어기(200A)는 에너지 모듈(102)로부터 수신된 제 1 입력 펄스(224A) 및 에너지 모듈(102)로부터 수신된 제 2 입력 펄스(224B)를 하나의 출력 레이저 펄스(238)로 조합한다. 2개의 입력 레이저 펄스들(224A/B)이 외장(299)의 개구부들 내에 배치된 입력 렌즈들(202A 및 202B)을 통해서 펄스 제어기(200A)로 진입한다. 도 2a의 실시예에서, 2개의 입력 렌즈들(202A/B)이 외장(299)의 하나의 표면을 따라서 정렬되고, 레이저 펄스들(224A/B)이 실질적으로 평행한 배향으로 외장(299)으로 진입한다.

[0012] 2개의 입력 펄스들(224A/B)은, 2개의 펄스들을 하나의 펄스(238)로 조합하는 조합 광학장치(208)로 지향된다. 조합 광학장치(208)로 진입할 때 입력 펄스들(226A/B)의 임의의 굴절을 피하기 위해서, 조합 광학장치는 입사 펄스(226A)의 진입 경로에 수직으로 배향된 제 1 진입 표면(207A) 및 입사 펄스(226B)의 진입 경로에 수직으로 배향된 제 2 진입 표면(207B)을 가진다. 도 2a의 조합 광학장치(208)는, 제 1 및 제 2 입사 펄스들(226A/B) 각각이 약 45°의 각도로 선택 표면(209)을 타격하도록 배향된 선택 표면(209)을 가지는 결정(crystal)이다. 선택 표면(209)은 광의 성질들에 의존하여 선택적으로 광과 상호작용한다. 조합 광학장치(208)의 선택 표면(209)이, 조합된 펄스(228)를 생성하기 위해서, 제 1 입사 펄스(226A)를 반사할 수 있고 그리고 제 2 입사 펄스를 투과시킬 수 있다. 펄스들의 조합을 돋기 위해서, 입사 펄스들(226A/B)의 각각이 특별한 방식으로 선택 표면(209)과 상호작용하도록 맞추어 변경(tailored) 수 있을 것이다.

[0013] 일 실시예에서, 선택 표면(209)이 편광화(polarizing) 표면이다. 편광화 표면의 축에 평행하게 입사 펄스(226B)를 편광화하는 것이 입사 펄스(226B)로 하여금 편광화 표면에 대해서 투과되게 허용할 수 있도록, 그리고 편광화 표면의 축에 수직으로 입사 펄스(226A)를 편광화하는 것이 입사 펄스(226A)로 하여금 편광화 표면에 대해서 반사되게 허용할 수 있도록, 편광화 표면이 극성의 선형 축을 가질 수 있을 것이다. 편광화 표면 상의 동일한 위치에 대해서 2개의 입사 펄스들(226A/B)을 정렬하는 것은, 조합된 펄스(228)의 임의의 굴절을 피하기 위해서, 표면(207C)에 대해서 수직인 조합 광학장치(208)의 제 1 탈출 표면(207C)으로부터 빠져나오는 조합된 펄스

스(228)를 생성한다. 대안적으로, 선택 표면(209)은 원형 편광화기일 수 있고, 입사 펄스(226A)가 반사를 위해 서 원형 편광화기의 센스(sense)에 반대로 원형으로 편광화되고, 그리고 입사 펄스(226B)가 투과를 위해서 원형 편광화기와 동일한 센스로 원형으로 편광화된다. 다른 실시예에서, 입사 펄스들(226A/B)이 상이한 파장들을 가질 수 있고, 그리고 유전체 거울(dielectric mirror)을 이용하는 것과 같이, 선택 표면(209)이 하나의 파장의 광을 반사시키도록 그리고 다른 파장의 광을 투과시키도록 구성될 수 있을 것이다.

[0014] 편광화 실시예에서, 입사 펄스들(226A/B)의 편광화는 편광화 필터와 같은 편광화기들(206A/B)을 이용하여 달성된다. 편광화기들(206A/B)은, 조합 광학장치(208)의 선택 표면(209)에 의해서 선택적으로 반사되도록 또는 투과되도록 입력 펄스들(224A/B)을 편광화한다. 편광화기들(206A/B)은 파동 플레이트들, 예를 들어 절반-파동 플레이트들 또는 1/4-파동 플레이트들일 수 있고, 편광화 축들이 서로에 대해서 직교하여 배향되어 선택 표면(209)에서의 선택적인 반사 및 투과를 위해서 직교하여 편광화된 광을 생산한다. 입사 펄스들(226A/B)의 편광화를 선택 표면(209)의 편광화 축과 정밀하게 정렬시키기 위해서, 또는 입력 펄스(224A/B)의 편광화 축과 선택 표면(209)의 편광화 축 사이에 희망 각도의 편차를 제공하기 위해서, 각각의 편광화기(206A/B)의 축이, 예를 들어 회전 액추에이터들(205A/B)로 독립적으로 조정될 수 있다.

[0015] 입사 펄스들(226A/B)의 편광화 축을 조정하는 것은 조합된 펄스(228)의 세기를 제어하는데, 이는 편광화 필터가 Malus의 법칙에 따라서 입사 광을 투과시키기 때문이고, 상기 법칙은 편광화 필터에 대해서 투과되는 광의 세기가 입사 세기 및 필터의 편광화 축과 입사 광의 편광화 축 사이의 각도의 코사인의 제곱에 비례한다는 것을 나타낸다. 그에 따라, 편광화기(206A)의 편광화 축이 선택 표면(209)의 편광화 축에 수직인 배향으로부터 이탈(deviate)하도록 편광화기(206A)를 회전시키는 것은, 선택 표면(209)을 통해서 투과되는 입사 펄스(226A)의 부분을 초래한다. 유사하게, 편광화기(206B)의 편광화 축이 선택 표면(209)의 축에 평행인 배향으로부터 이탈하도록 편광화기(206B)를 회전시키는 것은, 선택 표면(209)으로부터 반사되는 입사 펄스(226B)의 부분을 초래한다. 입사 펄스들(226A/B)의 각각으로부터의 이러한 "비-선택된" 광이 거부된(rejected) 펄스(230)로 조합되고, 그러한 거부된 펄스는 제 2 출구 표면(207D)을 통해서 펄스 덤프(dump)(210)로 조합 광학장치(208)를 빠져나간다. 이러한 방식에서, 편광화기의 각각은 편광화 필터들을 통과하는 펄스들의 세기를 감쇠시키기 위한 조광기(dimmer) 스위치로서 작용한다.

[0016] 조합 광학장치(208)에 대해서 조합되어야 하는 2개의 펄스들(226A/B)이 선택적인 반사 및 투과를 위해서 선택 표면(209)의 대향 축부들을 향해서 지향된다는 것에 주목해야 한다. 따라서, 제 1 입력 펄스(202A)는, 반사기(204)에 대해서, 제 1 입력 펄스(202A)가 선택 표면(209)의 반사 축부를 향하게 하는 경로를 따라서 지향되는 한편, 제 2 입력 펄스(202B)는 선택 표면(209)의 투과 축부를 향해서 지향된다. 당연히, 펄스 제어 모듈(104) 내의 희망 경로를 따라서 광을 조향하기 위해서 반사기들의 임의의 조합이 이용될 수 있을 것이다.

[0017] 조합된 펄스(228)는, 조합된 펄스(228)를 출력 펄스(238) 및 샘플링된 펄스(232)로 분할하는 제 1 분할기(212)와 상호작용한다. 분할기(212)는 부분적인 거울 또는 펄스 분할기일 수 있을 것이다. 샘플링된 펄스(232)는, 출력 펄스(238)의 성질들을 나타내기 위해서 샘플링된 펄스(232)의 성질들을 분석하는 진단 모듈(233)로 지향된다. 도 2a의 실시예에서, 진단 모듈(233)은, 펄스의 세기 프로파일 및 펄스의 전체 에너지 함량을 각각 검출하는 2개의 검출기들(216 및 218)을 가진다. 제 2 분할기(214)가 각각의 검출기들로의 입력을 위한 제 1 펄스(236) 및 제 2 펄스(234)를 형성한다. 세기 프로파일 검출기(216)는 세기 모니터이며, 세기 모니터는 매우 짧은 시간 스케일들(scales)로 모니터 상으로 입사되는 광의 세기를 신호로 알린다. 세기 프로파일 검출기 상으로 입사되는 광 펄스들이 1 피코초(psec) 내지 100 nsec의 총 지속시간을 가질 수 있을 것이고, 그에 따라 포토다이오드 또는 포토다이오드 어레이일 수 있는 세기 프로파일 검출기가 이러한 시간 스케일들의 유용한 하위분할들(subdivisions)에서 세기 신호들을 제공한다. 에너지 검출기(218)는, 입사 전자기 복사선을 에너지 샘플 펄스(234)의 에너지 함량을 나타내기 위해서 측정될 수 있는 전압으로 변환하는, 열전쌍과 같은 초전성(pyroelectric) 디바이스일 수 있을 것이다. 제 1 및 제 2 분할기들(212 및 214)이 제 1 및 제 2 분할기들(212 및 214)의 투과 분율(fraction)을 기초로 입사 광의 알고 있는 분율을 샘플링하기 때문에, 출력 펄스(238)의 에너지 함량이 에너지 샘플 펄스(234)의 에너지 함량으로부터 계산될 수 있을 것이다.

[0018] 진단 모듈(233)로부터의 신호들이 도 1의 제어기(112)로 루트연결(routed) 수 있을 것이고, 상기 제어기는 희망 결과들을 달성하기 위해서 레이저 동작 또는 펄스 제어 동작을 조정할 수 있을 것이다. 제어기(112)는, 시간적인 형상 검출기(216)로부터의 결과들에 응답하여 펄스 타이밍을 제어하기 위해서 각각의 레이저의 능동적인 q-스위치에 커플링된 전자 타이머를 조정할 수 있을 것이다. 능동적인 q-스위치를 보다 빨리 사이클링시키는 것은 펄스들을 보다 짧아지게 하며, 그리고 그 반대도 적용된다. 편광화 필터들(206A/B)을 통과하는 광의 편광화 각도를 조정하는 것에 대해서, 에너지 검출기(218)로부터의 결과들을 기초로, 출력 펄스(238)의 세기를 조정

하기 위해서, 제어기(112)가 회전 액추에이터들(205A/B)에 커플링될 수 있을 것이다. 이러한 방식에서, 출력 펄스(238)의 지속시간 및 에너지 함량이 독립적으로 제어될 수 있을 것이다. 제어기(112)는 또한 각각의 레이저에 대한 파워 입력을 조정하도록 구성될 수 있을 것이다.

[0019] 필요한 경우에, 출력 펄스(238)가 셔터(220)에 의해서 중단될 수 있을 것이다. 펄스 제어 모듈(104)에 후속하는 성분에 대한 조정을 이루기 위해서 펄스 제어 모듈(104)로부터 방출되는 레이저 에너지가 중단되어야 하는 경우에, 셔터(220)(도 2a 및 2b에 개략적으로 도시됨)가 안전 디바이스로서 제공될 수 있을 것이다. 출력 펄스(238)는 출력 렌즈(222)를 통해서 펄스 제어 모듈(104)을 빠져나간다.

[0020] 출력 펄스(238)는 2개의 입사 펄스들(226A/B)의 조합이다. 따라서, 출력 펄스(238)는 2개의 입사 펄스들(226A/B)의 성질들의 조합을 나타내는 성질들을 가진다. 전술한 편광화 예에서, 출력 펄스(238)는, 선택 표면(209)에서 입사 펄스들(226A/B)의 각각의 투과/반사의 정도에 따라서 상이한 세기들을 가지는 2개의 직교하여 편광화된 입사 펄스들(226A/B)의 조합을 나타내는 타원형 편광화를 가질 수 있을 것이다. 2개의 펄스들을 조합하기 위해서 선택 표면(209)에서 입사 파장을 이용하는 예에서, 출력 펄스(238)는, 그들의 각각의 세기들에 따른 2개의 입사 펄스들(226A/B)의 조합된 파장을 나타내는 파장을 가질 것이다.

[0021] 예를 들어, 1,064 nm 반사 유전체 거울이 조합 광학장치(208)의 선택 표면(209)에 배치될 수 있을 것이다. 입사 펄스(226A)가 선택 표면(209)으로부터의 반사를 위한 세기(A)를 가지는 약 1,064 nm의 파장을 가질 수 있을 것이고, 그리고 입사 펄스(226B)가 선택 표면(209)을 통한 투과를 위한 세기(B)를 가지는 532 nm의 파장을 가질 수 있을 것이다. 조합된 펄스(228)는 2개의 펄스 에너지들의 합계인 전체 에너지 함량을 갖는 입사 펄스들(226A/B)의 파장들 및 세기들을 가지는 2개의 광양자들의 공동-전파(co-propagating) 바이-펄스(bi-pulse)가 될 것이다.

[0022] 도 2b는 다른 실시예에 따른 펄스 제어 모듈(200B)의 평면도이다. 도 1과 관련하여 전술한 하나 또는 둘 이상의 펄스 제어기들(105)이 각각 펄스 제어기(200B) 또는 펄스 제어기(200A)와 같은 펄스 제어기일 수 있을 것이다. 펄스 제어기(200B)는 펄스 제어기(200A)와 동일하고, 이하의 차이점들을 가진다. 도 2b의 실시예에서, 입력 렌즈(202A)는 외장(299)의 동일한 표면 상의 입력 렌즈(202B)를 근처에 위치되지 않는다. 도 2b에서, 입력 렌즈(202A)는, 입력 렌즈(202B)가 위치되는 표면에 실질적으로 직교하는 외장(299)의 표면 상에, 이러한 실시예에서 직사각형 외장의 근처 벽 상에 위치된다. 따라서, 제 1 입력 펄스(224A)가 제 1 입력 렌즈(202A)를 통해서 (도 2b의 지면 내로의 방향으로) 진입하고 그리고 도 2b의 관점에서 제 1 입력 렌즈(202a)에 의해서 가려진 반사기에 대해서도 2b의 평면 내로 전환된다. 반사기들(240 및 242)은 편광화기(206B) 내로의 진입을 위해서 입력 펄스(224B)를 배치하여, 임의의 희망 경로 상으로 펄스들을 배치하기 위한 반사기들의 이용을 설명한다. 펄스 제어 모듈(104) 주위로 펄스들을 조향하는 것은, 레이저 에너지 공급원들의 배치가 공간적으로 구속되는 경우들에서 도움이 될 수 있을 것이다.

[0023] 도 2c 및 2d는 다수의 펄스 제어기들(200A/B)을 가지는 실시예들을 도시하는 개략도들이다. 도 2c의 실시예에서, 도 2a의 펄스 제어기(200A) 구성의 2개의 펄스 제어기들이 4개의 레이저 공급원들(102A-D)과 정렬되어 2개의 조합된 펄스들(238)을 형성한다. 도 2d의 실시예에서, 2개의 조합된 펄스들(238)이 그들 사이에 희망 거리("d")를 가지고 형성된다. 2개의 펄스 제어기들(200C/D)은, 도 2d의 평면을 따라서 2개의 에너지 공급원들(102A 및 102C)로부터 그리고 도 2d의 평면에 수직하게 도 2d의 관점에서 볼 수 없는 2개의 에너지 공급원들로부터 입력 펄스들을 수용한다. 2개의 펄스 제어기들(200C/D)은 다음의 차이들을 갖는 펄스 제어기(200B)와 동일하다. 펄스 제어기(200D)는 출력 반사기(254)를 이용하여 출력 렌즈(246)를 통해서 출력 펄스(244)를 지향시키도록 구성된다. 출력 렌즈(246)는 출력 펄스(244)를 펄스 제어기(200C)의 입력 렌즈(248) 내로 그리고 펄스 제어기(200C)의 반사기(250) 및 출력 렌즈(252)로 지향시킨다. 이러한 방식에서, 2개의 출력 펄스들(238)은, 펄스 제어 모듈(104)(도 1)을 빠져나갈 때, 서로로부터 임의의 희망 거리("d")로 배치될 수 있을 것이다. 대부분의 실시예들의 경우에, 거리("d")는 약 1 mm 내지 약 1,000 mm, 예를 들어 50 mm 미만, 예를 들어 약 35 mm 가 될 것이다. 도 2d에 도시된 바와 같이, 거리("d")는 펄스 제어기(200C)의 치수 미만이 될 수 있을 것이다.

[0024] 도 2e는 도 2d의 장치의 개략적인 평면도이며, 에너지 공급원들(102)이 각각 관계로 구성된 실시예를 도시한다. 도 2e에서 볼 수 있는 에너지 공급원들(102B/D)은 도 2d의 관점에서는 볼 수 없었다. 에너지 공급원들(102A/B)은 펄스 제어기(200C)에서의 프로세싱을 위한 입력 펄스들(224A/B)을 생성하는 한편, 에너지 공급원들(102C/D)은 펄스 제어기(200D)에서의 프로세싱을 위한 입력 펄스들(224C/D)을 생성한다. 펄스 제어기들(200C/D)의 출력 펄스들이 도 2d에 도시된 바와 같이 희망 거리("d") 만큼 분리되어 배열되고, 이는 도 2e의 관점에서는 볼 수 없다. 일부 실시예들에서, 펄스 제어기들(200A-200D)이 펄스 조합기들일 수 있다는 것을 주목

하여야 한다.

[0025] 하나 또는 둘 이상의 펠스들이 펠스 제어 모듈(104)을 빼져나가고 그리고 펠스 성형 모듈(106)로 진입하고, 상기 펠스 성형 모듈(106)은, 도 1에 개략적으로 도시된 바와 같이, 하나 또는 둘 이상의 펠스 성형기들(107)을 가진다. 도 3a는 펠스 성형기(306)의 하나의 실시예의 개략도이다. 펠스 성형 모듈(106)의 하나 또는 둘 이상의 펠스 성형기들(107)이 각각 펠스 성형기(306)와 같은 펠스 성형기일 수 있을 것이다. 도 3a의 펠스 성형기는, 바람직한 특성들(예를 들어, 펠스 폭 및 프로파일)을 가지는 복합 펠스를 제공하기 위해서 레이저 에너지 펠스의 부분들을 지연(delay)시키기 위해서 이용되는, 복수의 거울들(352)(예를 들어, 16개의 거울들이 도시되어 있다) 및 복수의 분할기들(예를 들어, 참조 번호들(350A-350E))을 포함할 수 있을 것이다. 하나의 예에서, 펠스 성형 모듈로 진입하는 레이저 에너지 펠스(302)가 공간적으로 코히런트(coherent)일 수 있을 것이다. 제 1 분할기(350A)를 통과한 후에, 레이저 에너지의 펠스가 2개의 성분들, 또는 하위-펠스들(354A, 354B)로 분할된다. 여러 광학적 성분들에서의 손실들을 무시하면, 제 1 분할기(350A) 내의 투과 대 반사 비율에 의존하여, 일정 비율의 레이저 에너지(즉, X%)가 제 1 하위-펠스(354A)에서 제 2 분할기(350B)로 전달되고, 그리고 제 2 하위-펠스(354B)의 일정 비율의 에너지(즉, 1-X%)가, 제 2 분할기(350B)를 타격하기 전에 다수의 거울들(352)에 대해서 반사됨에 따라, 경로(A-E)(즉, 세그먼트들(A-E))를 따른다.

[0026] 하나의 예에서, 펠스의 에너지의 70%가 반사되고 그리고 30%가 분할기를 통해서 투과되도록, 제 1 분할기(350A)의 투과 대 반사 비율이 선택된다. 다른 예에서, 펠스의 에너지의 50%가 반사되고 그리고 50%가 분할기를 통해서 투과되도록, 제 1 분할기(350A)의 투과 대 반사 비율이 선택된다. 경로(A-E)의 길이, 또는 세그먼트들(A-E)의 길이들의 합(즉, 도 3a에 도시된 바와 같이, 전체 길이 = A + B + C + D + E)이 하위-펠스(354A)와 하위-펠스(354B) 사이의 지연을 제어할 것이다. 일반적으로, 제 1 하위-펠스(354A)와 제 2 하위-펠스(354B) 사이의 경로 길이의 차이를 조정하는 것에 대해서, 1 미터의 경로 길이 차이 마다 약 3.1 나노초(ns)의 지연이 실현될 수 있다.

[0027] 제 1 하위-펠스(354A)에서 제 2 펠스(350B)로 전달되는 에너지는 제 3 분할기(350C)로 직접적으로 투과되는 제 2 하위-펠스(356A) 및 제 3 분할기(350C)를 타격하기 전에 경로(F-J)를 따르는 제 2 하위-펠스(356B)로 분할된다. 제 2 하위-펠스(354B)에서 전달되는 에너지는 또한 제 3 분할기(350C)로 직접적으로 투과되는 제 3 하위-펠스(358A) 및 제 3 분할기(350C)를 타격하기 전에 경로(F-J)를 따르는 제 3 하위-펠스(358B)로 분할된다. 하위-펠스들의 각각을 분할 및 지연하는 이러한 프로세스는, 하위-펠스들의 각각이 후속 분할기들(즉, 참조 번호들(350D-E)) 및 거울들(352)을 타격함에 따라, 그러한 하위-펠스들이 열적 프로세싱 장치(100) 내의 다음 성분으로 에너지를 일차적으로 전달하도록 구성된 최종 분할기(350E) 내에서 모두 재조합될 때까지, 지속된다. 최종 분할기(350E)는, 희망 방향으로 지향될 수 있도록, 지연 영역들로부터 또는 분할기 이전으로부터 수신된 하위-펠스들 내의 에너지의 편광화를 조정하는 편광화 분할기일 수 있을 것이다.

[0028] 일 실시예에서, 과동 플레이트(364)가 편광화 타입의 최종 분할기(350E) 이전에 배치되며, 그에 따라 그 편광화가 경로(360)를 따라서 하위-펠스들에 대해서 회전될 수 있다. 편광화에 대한 조정이 없는 상태에서, 에너지의 일부가 최종 펠스 분할기에 대해서 반사될 것이고 그리고 다른 분지(branch)와 재조합되지 않을 것이다. 하나의 예에서, 펠스 성형기(306) 내의 모든 에너지가 S-편광화되고, 그에 따라 비-편광화 큐브(cube) 분할기들이 유입 펠스들을 분할하나, 편광화 큐브인 최종 분할기는 그것이 수신하는 에너지를 조합한다. 경로(360)를 따르는 하위-펠스들 내의 에너지는 P로 회전된 에너지의 편광화를 가질 것이고, 편광화 펠스 분할기를 직선적으로 통과하는 한편, 경로(362)를 따르는 다른 하위-펠스들은 S-편광화되고 그에 따라 반사되어 조합된 펠스를 형성한다.

[0029] 일 실시예에서, 최종 펠스 분할기(350E)가 비-편광화 분할기, 및 지연 영역들로부터 또는 이전 분할기로부터 수신된 에너지를 조합하도록 배치된 거울을 포함한다. 이러한 경우에, 분할기는 에너지의 일부를 희망 지점을 향해서 투사하고, 수신된 에너지의 다른 부분을 희망 지점을 향해서 투과시킬 것이고, 그리고 거울은 상기 분할기를 통해서 투과된 에너지의 나머지 양을 동일한 희망 지점으로 지향시킬 것이다. 바람직한 펠스 지속시간 및 바람직한 펠스 프로파일을 달성하기 위해서 여기에서 제시된 바와 같은 구성에 펠스 분할 타입 성분들 및 거울들을 부가함으로써, 펠스가 분할되고 지연되는 횟수들이 변경될 수 있다는 것을 주목할 것이다. 도 3a가 분할기들 및 거울들과 함께 4개의 펠스 지연 영역들을 이용하는 펠스 성형기 디자인을 도시하고 있지만, 이러한 구성은 발명의 범위에 대해서 제한하는 것으로 의도된 것이 아니다.

[0030] 도 3b는, 도 3a에 도시된 펠스 성형기의 처음 2개의 펠스 지연 영역들과 유사한, 2개의 펠스 지연 영역 펠스 성형기를 통과한 여러 가지 하위-펠스들의 에너지 대 시간 그래프의 예를 도시한다. 도 3b에 도시된 바와 같이,

펄스 성형기(도 3a)의 입력부로 전달된 펄스 트레인(train) 패턴(307)이 t_1 과 동일한 개별적인 펄스 지속시간을 가진다. 이러한 경우에, 패턴(307A)은 제 1 펄스 트레인이고, 패턴(307B)은 제 2 펄스 트레인이며, 패턴(307C)은 제 3 펄스 트레인이며, 그리고 패턴(307D)은 도 3a의 펄스 성형기(306)를 빠져나가는 제 4 펄스 트레인이다. 일반적으로, 하위-펄스들의 각각의 지속시간이 약 t_1 이 될 것인데, 이는 원래의 패턴(307)의 펄스들의 이러한 성질이 도 3a에 도시된 펄스 성형 프로세스로 인해서 비교적 변화되지 않고 유지될 것이기 때문이다. 도 3b를 참조하면, 가장 짧은 거리가 이동된 패턴(307A)의 펄스들 및 패턴(307D)의 펄스들이 펄스 성형기(306)를 통해서 가장 긴 거리가 이동될 것이라는 결론이 나온다. 하나의 예에서, 4개의 패턴들의 합은, 초기 펄스의 지속시간(t_1) 보다 더 긴 지속시간(t_2)을 가지는 펄스들을 가지는 복합 에너지 프로파일(312)을 전달할 것이다. 복합 에너지 프로파일(312)은 또한 원래의 펄스(307)보다 더 낮은 단위 시간 당 평균 에너지를 가질 것이다. 도 3c는, 시간의 함수로서, 프로파일(312)을 가지는 펄스 에너지에 노출된 기관의 표면 영역의 예상되는 온도 프로파일의 플롯(plot)을 도시한다. 시스템 내의 선택된 분할기들의 각각의 투과 대 반사 비율에 의존하여, 하위-펄스들의 에너지가 희망 펄스 프로파일을 전달하도록 조정될 수 있다는 것을 주목하여야 할 것이다. 예를 들어, 반사 보다는, 더 투과적인 분할기들의 조합을 선택하는 것에 의해서, 복합 에너지 프로파일(312)의 프로파일이 보다 높은 시작 에너지를 가질 것이고, 그러한 시작 에너지는 복합 에너지 프로파일(312)의 종료점을 향해서 강하될 것이다. 도 3b가 동일한 진폭을 가지는 직사각형 형상의 펄스들을 도시하고 있지만, 이러한 것이 발명의 범위에 관해 제한하기 위한 것이 아님을 주목하여야 할 것인데, 이는 보다 바람직한 프로파일을 가지는 복합 에너지 프로파일(312)을 전달하기 위해서 다른 펄스 형상들이 이용될 수 있기 때문이다.

[0031] 도 3d는, 도 1-3c와 관련하여 각각 전술한, 출력이 펄스 제어 모듈(106)을 통해서 그리고 펄스 성형기(306)로 루트 연결된(routed) 둘 또는 셋 이상의 동기화된 에너지 공급원들(예를 들어, 레이저 공급원들(102A-D))을 이용함으로써 바람직한 펄스 프로파일을 전달하기 위해서 이용되는 본원 발명의 다른 실시예를 개략적으로 도시한다. 이러한 구성에서, 펄스 성형기(306)로부터 방출되는 복합 펄스들(312)이 바람직한 프로파일을 가지도록 펄스 성형기(306)에 대한 입력으로서 동기화된 펄스들(304)을 형성하기 위해서, 제어기(112)가 레이저 공급원들(102A-D)의 출력을 동기화한다. 복합 펄스(312)는, 레이저 공급원들(102A-D)의 각각으로부터 전달되는 동기화된 펄스들의 각각에 대해서 펄스 연신기(stretcher) 조립체(306) 내에서 생성된 하위-펄스들의 각각의 복합을 포함할 수 있을 것이다. 하위-펄스들(307A-D)로부터 형성된 도 3c에 도시된 복합 펄스(312)의 프로파일, 또는 형상은 본원 발명의 범위에 대해 제한하는 것으로 의도된 것이 아닌데, 이는 최적화된 어닐 프로세스를 제공하기 위해서 임의의 펄스 프로파일이 이용될 수 있기 때문이다. 펄스들의 상이한 동기화 및 상이한 복합 펄스 형상(312) 및 온도 프로파일(311)을 보여주는 도 3e 및 3f에 도시된 바와 같이, 교변적인 복합 펄스 형상들이 펄스들의 동기화를 변화시키는 것에 의해서 실현될 수 있을 것이다.

[0032] 도 3g는 펄스 성형을 위한 추가적인 기술을 보여주는 펄스 성형기(320)의 다른 실시예를 개략적으로 도시한다. 도 3g의 펄스 성형기(320)에서, 펄스 성형기(320)를 통한 광의 광학적 경로를 변경하기 위해서, 반사기들의 적어도 일부가 기준선(322 또는 324)으로부터 변위된다. 하위-펄스에 대한 특정의 시간적인 변위를 달성하기 위해서, 거울의 변위가 희망 거리("x")로 설정될 수 있을 것이다. 전형적으로, 거울들이 쌍들로 변위될 것이고, 주어진 거울 쌍 내의 각각의 거울이 기준선으로부터 거의 동일한 변위를 가진다. 임의의 희망하는 펄스 형상을 달성하기 위해서, 거울들의 쌍들의 변위들이 당연히 상이하게 될 수 있을 것이다. 일 실시예에서, 제 1 거울 쌍의 변위(x_1)가 약 10 mm이고, 제 2 거울 쌍의 변위(x_2)가 약 7.5 mm이며, 제 3 거울 쌍의 변위(x_3)가 약 20 mm이며, 그리고 제 4 거울 쌍의 변위(x_4)가 약 15 mm이다.

[0033] 다른 실시예에서, 복수의 레이저들로부터 방출되는 모든 펄스들이 조합기를 먼저 통과하지 않고 펄스 성형기 내로 지향될 수 있을 것이다. 펄스들 모두가 펄스 성형기(예를 들어, 도 3a 및 3d의 350A 또는 306A)의 제 1 분할기를 타격하도록, 광학장치들을 이용하여 펄스들이 물리적으로 아주 근접하게 할 수 있다. 펄스들이 모두 제 1 분할기를 통해서 이동하도록, 펄스 성형기의 제 1 분할기의 횡단면 치수 미만의 치수를 가지는, 소정 구성(configuration)으로, 예를 들어 정사각형 구성으로 펄스들이 배열될 수 있다.

[0034] 펄스 성형 모듈(106)로부터의 성형된 펄스들이 균질화기(108) 내로 루트연결된다. 도 4a는 일 실시예에 따른 균질화기(400)의 개략도이다. 도 1의 균질화기(108)가 도 4a의 균질화기(400)가 될 수 있을 것이다. 비임 통합기(integrator) 조립체(410)는, 이러한 통합기 조립체를 통과하는 에너지를 균질화하는 마이크로-렌즈 어레이들(404 및 406)의 쌍 및 렌즈(408)를 포함한다. 마이크로-렌즈 어레이, 또는 플라이스-아이(fly's-eye) 렌즈라는 용어는 일반적으로 다수의 가까운 렌즈들을 포함하는 통합 렌즈 어레이를 기술하기 위한 의미라는 것을 주목

해야 할 것이다. 디자인된 바에 따라서, 비임 통합기 조립체(410)는 일반적으로, 공간적 코히런스 길이가 단일 마이크로-렌즈 어레이들의 치수들보다 훨씬 더 짧은 인코히런트(incoherent) 공급원 또는 넓은(broad) 부분적 코히런트 공급원을 이용하여 가장 잘 작동한다. 요약하면, 비임 통합기 조립체(410)는, 렌즈(408)의 후방 초점(back focal) 평면에 위치된 평면에서 마이크로-렌즈 어레이들의 확대된 이미지들을 중첩시키는 것에 의해서 비임을 균질화한다. 필드 왜곡을 포함한 수차들을 최소화하기 위해서, 렌즈(408)가 교정될 수 있을 것이다.

[0035] 이미지 필드의 크기는 제 1 마이크로렌즈 어레이의 개구들의 형상의 확대된 버전이고, 그 확대 배율은 F/f_1 에 의해서 주어지며, 이때 f_1 는 제 1 마이크로-렌즈 어레이(404) 내의 마이크로렌즈들의 초점 거리이고 그리고 F는 렌즈(408)의 초점 거리이다. 하나의 예에서, 약 175 mm의 초점 거리를 갖고 그리고 마이크로-렌즈 어레이 내의 마이크로-렌즈들이 4.75 mm의 초점 거리를 가지는 렌즈(408)가 11 mm 정사각형 필드 이미지를 형성하기 위해서 이용된다.

[0036] 비록 이러한 성분들에 대한 많은 상이한 조합들이 이용될 수 있지만, 일반적으로 가장 효과적인 균질화기들은, 동일한, 제 1 마이크로-렌즈 어레이(404) 및 제 2 마이크로-렌즈 어레이(406)를 가질 것이다. 제 1 마이크로-렌즈 어레이(404) 및 제 2 마이크로-렌즈 어레이(406)가 전형적으로 거리를 두고 이격되며, 그에 따라 제 1 마이크로-렌즈 어레이(404)로 전달되는 에너지 밀도(Watts/mm²)가 증가되거나, 또는 제 2 마이크로-렌즈 어레이(406) 상에서 포커스된다. 그러나, 이는, 에너지 밀도가 광학적 성분 및/또는 광학적 성분들 상에 배치된 광학적 코팅의 손상 문턱값을 초과할 때, 제 2 마이크로-렌즈 어레이(406)에 대한 손상을 유발할 수 있다. 전형적으로, 제 2 마이크로-렌즈 어레이(406)가, 제 1 마이크로-렌즈 어레이(404) 내의 렌슬렛들(lenslets)의 초점 거리와 동일하게 제 1 마이크로-렌즈 어레이(404)로부터 거리(d_2)를 두고 이격된다.

[0037] 하나의 예에서, 각각의 마이크로-렌즈 어레이들(404, 406)은, 정사각형 형상이고 약 300 미크론의 옛지 길이를 가지는 7921개의 마이크로-렌즈들(즉, 89 x 89 어레이)을 포함한다. 일반적으로, 렌즈(408) 또는 푸리에 렌즈는 마이크로-렌즈 어레이들(404, 406)로부터 수신된 이미지를 통합하기 위해서 이용되고 그리고 제 2 마이크로-렌즈 어레이(406)로부터 거리(d_3)로 이격된다.

[0038] 코히런트 또는 부분적으로 코히런트인 공급원들이 이용되는 적용예들에서, 비임 통합기 조립체(410)가 이용될 때 여러 가지 간섭(interference) 및 회절 인공 구조물들(artifacts)이 문제가 될 수 있는데, 이는 그러한 인공 구조물들이 투사된 비임의 관찰 필드 내에서 큰 세기 영역들 또는 스포들을 생성하기 때문이고, 그러한 큰 세기 영역들 또는 스포들은 여러 가지 광학적 성분들의 손상 문턱값을 초과할 수 있다. 그에 따라, 렌즈들 또는 간섭 인공 구조물들의 구성으로 인해서, 비임 통합기 조립체(410) 및 시스템 내의 여러 가지 광학적 성분들의 사용 수명이 주요 디자인 및 제조 고려 사항이 되었다.

[0039] 랜덤 확산기(402)가 비임 균질화기 조립체(400)의 전방에 또는 그 내부에 배치될 수 있고, 그에 따라 유출 에너지(A_5)의 균일성이 유입 에너지(A_1)와 관련하여 개선된다. 이러한 구성에서, 제 1 마이크로-렌즈 어레이(404), 제 2 마이크로-렌즈 어레이(406) 및 렌즈(408) 각각에 의해서 수신되고 균질화되는 에너지(A_2 , A_3 및 A_4)에 앞서서, 유입 에너지(A_1)가 랜덤 확산기(402)의 배치에 의해서 확산된다. 랜덤 확산기(402)는 보다 넓은 범위의 각도들(α_1)에 걸쳐서 유입 에너지(A_1)의 펄스가 분포되도록 할 것이고, 따라서 투사된 비임의 콘트라스트를 감소시키고 그에 따라 펄스의 공간적인 균일성을 개선한다. 일반적으로, 랜덤 확산기(402)는 이를 통과하는 광을 넓게 확장(spread out)시키고, 그에 따라 제 2 마이크로-렌즈 어레이(406)에 의해서 수신되는 에너지(A_3)의 조도(W/cm²)는 확산기가 없는 경우보다 더 낮아진다. 확산기는 또한 각각의 마이크로-렌즈 어레이를 타격하는 비임의 위상(phase)을 랜덤화하기 위해서 이용된다. 이러한 부가적인 랜덤적 위상은, 확산기가 없는 경우에 관찰되는 큰 세기의 스포들을 넓게 확장시킴으로써, 공간적인 균일성을 개선한다. 일반적으로, 랜덤 확산기(402)는, 펄스로 수신된 에너지를 이전에 배치된 렌즈의 수용가능한(acceptable) 각도보다 더 큰 각도로 확산시키지 않도록 선택된 좁은 각도 광학적 확산기이다.

[0040] 하나의 예에서, 확산기 각도(α_1)가 제 1 마이크로-렌즈 어레이(404) 또는 제 2 마이크로-렌즈 어레이(406) 내의 마이크로-렌즈들의 수용(acceptance) 각도 보다 작도록, 랜덤 확산기(402)가 선택된다. 하나의 실시예에서, 랜덤 확산기(402)는, 제 1 마이크로-렌즈 어레이(404)에 앞서서 배치되는 0.5° 내지 5° 확산기와 같은 단일 확산기를 포함한다. 다른 실시예에서, 랜덤 확산기(402)는, 추가적으로 넓게 확장시키기 위해서 희망 거리로 떨어져 이격되고 그리고 펄스의 투사된 에너지를 균질화하는 0.5° 내지 5° 확산기 플레이트들과 같은 둘 또는 셋

이상의 확산기 플레이트들을 포함한다. 일 실시예에서, 랜덤 확산기(402)가 제 1 마이크로-렌즈 어레이(404)로부터 떨어져서 거리(d_1) 만큼 이격될 수 있고, 그에 따라 제 1 마이크로-렌즈 어레이(404)가 유입 에너지(A_1)로 전달되는 에너지의 실질적으로 전부를 수신할 수 있다.

[0041] 도 4b는 다른 실시예에 따른 균질화기(450)의 개략도이다. 도 1의 균질화기(108)가 도 4b의 균질화기(450)일 수 있을 것이다. 균질화기(450)는, 이하의 사항들을 제외하고, 균질화기(400)와 동일하다. 유출 에너지의 균일성을 개선하기 위해서 랜덤 확산기(402)를 이용하는 대신에, 제 3 마이크로-렌즈 어레이(412)가 이용될 수 있을 것이다.

[0042] 다시 도 1을 참조하면, 균질화기(108)로부터의 에너지가 전형적으로, 기판의 표면 상의 어닐링하고자 하는 지역과 대략적으로 들어 맞는, 정사각형 또는 직사각형 형상과 같은 패턴으로 배열된다. 에너지에 대해서 적용되는 프로세싱 및 재배열은, 평균 값으로부터 약 15% 이하, 가령 약 12% 미만, 예를 들어 약 8% 미만 만큼 변화되는 세기를 가지는 에너지 필드를 초래한다. 그러나, 장치 전체에 걸친 여러 가지 경계 조건들로 인해서, 에너지 필드의 옆지를 근처에서 보다 현저한 불균일성들이 지속될 수 있을 것이다. 이들 옆지 불균일성들은 조리개 부재(116)를 이용하여 제거될 수 있을 것이다. 전형적으로, 조리개 부재(116)는, 개구부와 유사하게 성형된 횡단면으로 에너지가 통과할 수 있는 개구부를 가지는 불투명한 객체이다.

[0043] 도 5a는 일 실시예에 따른 조리개 부재(500)의 측면도이다. 도 1의 조리개 부재(116)가 도 5a의 조리개 부재(500)일 수 있을 것이다. 조리개 부재(500)는, 선택된 파장을 가지는 광 또는 레이저 복사선과 같은 선택된 형태들의 에너지에 대해서 실질적으로 투명한 제 1 부재(502)를 가진다. 불투명하거나 반사적일 수 있는 에너지 차단 부재(504)는, 개구부(508)를 형성하는 제 1 부재(502)의 표면의 일부 위에 형성되며, 이 개구부(508)를 통해 에너지가 개구부(508)의 형상으로 통과할 것이다. 제 2 부재(506)는 제 1 부재(502) 및 에너지 차단 부재(504) 위에 배치되어, 개구부(508)를 커버한다. 또한, 제 2 부재(506)가 조리개 부재(500)를 통해서 투과되는 에너지에 대해서 실질적으로 투명하고, 그리고 제 1 부재(502)와 동일한 재료일 수 있을 것이다. 조리개 부재(500)의 옆지들은, 미립자들이 개구부(508)로 진입하지 않도록 보장하는 커버링(510)에 의해서 봉입된다.

[0044] 에너지 차단 부재(504)가 조리개 부재(500) 상으로 입사되는 에너지의 초점 평면(512)에 위치되어, 에너지 필드의 정확한 절단(truncation)을 보장하도록, 조리개 부재(500)가 배치된다. 개구부(508)가 에너지의 초점 평면에 배치되기 때문에, 개구부 내에, 예를 들어 제 1 부재(502)의 표면 상에 수집되는 임의의 입자들이 투과되는 에너지 필드 내에 음영들(shadows)을 드리우고, 그러한 음영들은 기판의 불균일한 프로세싱을 유도한다. 제 2 부재(506)로 개구부(508)를 커버하는 것 및 조리개 부재(500)의 옆지들을 봉입하는 것은, 조리개 부재(500)에 부착된 임의의 입자들이 최종 에너지 필드 내의 포커스를 벗어나도록 제 1 초점 평면으로부터 충분히 멀리 위치되게 보장하고, 그에 따라 입자들의 음영들로 인한 최종 에너지 필드의 세기의 변동이 감소된다.

[0045] 전형적으로, 제 1 및 제 2 부재들(502 및 506)은 동일한 재료로, 일반적으로 유리 또는 석영으로 제조된다. 에너지 차단 부재(504)는, 금속, 백색 페인트, 또는 유전체 거울과 같은, 불투명한 부분 또는 반사적인 부분일 수 있을 것이다. 에너지 차단 부재(504)가 형성되고 성형될 수 있고, 그리고 형성되고 성형된 에너지 차단 부재(504)가 Canada 발삼(balsam)과 같은 적합한 접착제를 이용하여 제 1 부재(502)에 적용될 수 있을 것이다. 대안적으로, 에너지 차단 부재(504)가 제 1 부재(502) 상에 증착(deposit)될 수 있고 이어서 에칭되어 개구부(508)를 제공할 수 있을 것이다. 전형적으로, 제 2 부재(506)가 접착제를 이용하여 에너지 차단 부재(504)에 적용된다.

[0046] 커버링(510)은, 가스들에 대해서 침투적인 또는 불침투적인 재료일 수 있을 것이다. 커버링이 접착제이거나 접착제를 이용하여 적용된 경질 재료일 수 있을 것이다. 대안적으로, 커버링은 제 1 및 제 2 부재들(502 및 506)의 옆지들과 에너지 차단 부재(504)의 옆지들을 용융-융합시키는 것에 의해서 형성될 수 있을 것이다.

[0047] 조리개 부재(500)의 굴절 효과들을 피하기 위해서, 에너지 차단 부재(504)의 내부 옆지(514)에 의해서 형성된 개구부(508)의 측벽들이 균질화기(108)로부터 방출되는 광양자들의 전파 방향과 합치되도록 테이퍼링되거나, 각도를 이루거나, 또는 경사질 수 있을 것이다.

[0048] 도 5b는 다른 실시예에 따른 조리개 부재(520)의 측면도이다. 도 1의 조리개 부재(116)가 도 5b의 조리개 부재(520)일 수 있을 것이다. 조리개 부재(520)는, 조리개 부재(520)가 중앙 개구부(508)를 가지지 않는다는 것을 제외하고, 도 5a의 조리개 부재(500)와 동일하다. 조리개 부재(520)는 에너지 차단 부재(504)가 내부에 매립된 투과성 부재(522)를 포함한다. 조리개 부재(520) 내의 상이한 매체들 사이의 경계들의 수를 감소시키는 것은 굴절 효과들을 감소시킬 수 있을 것이다. 도 5a와 관련하여 전술한 바와 같이, 에너지 차단 부재(504)의 내부

엣지(514)가 도 5b의 실시예에서 테이퍼링되어 도시되어 있다.

[0049] 도 5b의 조리개 부재(520)가 제 1 투과성 부재의 중앙 단(dais) 주위의 환형 선반(shelf)을 에칭 또는 연마하는 것, 상기 환형 선반에 환형 에너지 차단 부재를 부착하는 것, 이어서 Canada 발삼과 같은 광학적으로 비활성적인 접착제를 이용하여, 제 2 투과성 부재를 상기 에너지 차단 부재 및 상기 제 1 투과성 부재의 중앙 단에 부착하는 것에 의해서 제조될 수 있을 것이다. 대안적으로, 에너지 차단 부재가 중앙 단을 가지지 않는 제 1 투과성 부재, 및 상기 에너지 차단 부재 및 제 1 투과성 부재의 노출된 부분 위에 재료를 중착하는 것, 투과성 재료로 중앙 개구부를 충진하는 것에 의해서 형성된 제 2 투과성 부재에 부착될 수 있을 것이다. 투과성 재료들의 중착은 당업계에 잘 알려져 있고, 그리고 임의의 공지된 중착 또는 코팅 프로세스를 이용하여 실시될 수 있을 것이다.

[0050] 조리개 부재들은 크기가 변경될 수 있을 것이다. 투파된 에너지 필드의 크기를 감소시키기 위해서, 보다 작은 개구를 가지는 조리개 부재가 보다 큰 개구를 가지는 조리개 부재 근처에 배치될 수 있을 것이다. 보다 큰 개구를 이용하기 위해서, 보다 작은 조리개 부재가 다시 제거될 수 있을 것이다. 상이한 크기들을 가지는 지역들을 어닐링하기 위해 에너지 필드의 크기를 변화시킬 수 있도록 허용하기 위해서, 상이한 크기들을 가지는 다수의 조리개 부재들이 제공될 수 있을 것이다. 대안적으로, 단일 조리개 부재가 가변적인 개구 크기를 가질 수 있을 것이다. 2개의 직사각형 채널들이 투명한 하우징 내에 형성될 수 있고, 한 쌍의 절반-플레이트들이 투명 하우징의 중앙 부분에 맞춰지도록 두 쌍의 불투명한 또는 반사적인 작동형(actuated) 절반-플레이트들이 직사각형 채널들 내에 배치된다. 절반-플레이트들의 쌍들이 직교하는 축들을 따라서 이동하도록 배향될 수 있고, 그에 따라 절반-플레이트들의 각각의 쌍을 직사각형 채널들 내에서 함께 더 근접하게 또는 더 멀리 이동시킴으로써 가변적인 크기의 직사각형 개구가 형성될 수 있을 것이다.

[0051] 조리개 부재들(500 및 520)이 임의의 희망하는 방식으로 개구를 통과하는 광의 이미지를 확대 또는 축소할 수 있을 것이다. 조리개 부재들이 본질적으로 확대가 아닌 1:1의 확대 배율을 가질 수 있을 것이고, 또는 약 1.1:1 내지 약 5:1, 예를 들어 약 2:1 또는 약 4:1의 배율 만큼 이미지의 크기가 감소될 수 있을 것이다. 크기 감소가 일부 실시예들에서 유용할 수 있는데, 이는 이미지화된 에너지 필드의 엣지들이 크기 감소에 의해서 날카로워질 수 있기 때문이다. 이미지화된 에너지 필드의 커버리지 지역을 증가시킴으로써 효율 및 처리량을 개선하기 위해서, 약 1:1.1 내지 약 1:5, 예를 들어 약 1:2의 배율 만큼의 확대가 일부 실시예들에서 유용할 수 있을 것이다.

[0052] 다시 도 1을 참조하면, 이미징 광학장치(118)가 성형되고, 평탄화되고(smoothed), 그리고 절단된 에너지 필드를 조리개 부재(116)로부터 수신하고 그리고 그 에너지 필드를 기판 지지부(110)의 작업 표면(120) 상에 배치된 기판 상으로 투사한다. 도 6은 일 실시예에 따른 이미징 시스템(600)의 개략도이다. 도 1의 이미징 시스템(118)이 도 6의 이미징 시스템(600)이 될 수 있을 것이다. 이미징 시스템(118)은 투과 모듈(602) 및 검출 모듈(616)을 가진다. 투과 모듈(602)은 제 1 투과 광학장치(610) 및 제 2 투과 광학장치(614)를 가지고, 샘플링 광학장치(612)가 상기 제 1 투과 광학장치(610)와 제 2 투과 광학장치(614) 사이에 배치된다.

[0053] 샘플링 광학장치(612)는 상기 기판 지지부에 그리고 상기 검출 모듈(616)에 광학적으로 커플링된 반사 표면(618)을 가진다. 조리개 부재(116)로부터의 에너지가 투과 광학장치(602)로 진입하고, 제 1 투과 광학장치(610), 샘플링 광학장치(612), 및 제 2 투과 광학장치(614)를 통하여 기판 지지부(110)의 작업 표면(120) 상에 배치된 기판을 조명한다. 기판으로부터 반사된 에너지가 제 2 투과 광학장치(614)를 통해서 뒤쪽으로 이동하고 그리고 샘플링 광학장치(612)의 반사 표면(618)으로부터 반사된다. 반사된 에너지가 검출 광학장치(616)로 지향된다.

[0054] 검출 광학장치(616)는 제 1 조향 광학장치(604), 제 2 조향 광학장치(606), 및 검출기(608)를 가진다. 제 1 및 제 2 조향 광학장치들(604 및 606)은 기판으로부터 반사된 에너지 필드를 검출기(608) 상의 희망 위치에 배치하도록 동작할 수 있다. 이는, 증가된 정밀도로 에너지 필드의 여러 부분들을 검출기(608)에서 이미징할 수 있도록 허용한다. 검출기(608)는, 기판과 상호작용하는 에너지 필드의 가시화를 허용하는, 포토다이오드 어레이 또는 CCD 매트릭스와 같은 관찰 광학장치일 수 있을 것이다. 기판이 에너지 필드에 의해서 조명될 때 에너지 필드를 기판 상의 희망 구조물들과 정렬시키는 것을 돋기 위해서, 기판 상의 마커들이 이미징 시스템(600)을 이용하여 관찰될 수 있을 것이다. 대안적으로, 기판이 에너지 필드에 의해서 조명되지 않을 때 이미징 시스템(600)을 통해서 기판을 관찰하는 것을 돋기 위해서, 일정한 낮은-세기 주변 광 공급원이 제공될 수 있을 것이다. 기판의 제 1 어닐링 영역을 프로세싱하기 위해 에너지 및 기판의 정밀한 정렬 및 포커스를 달성하기 위해서, 이미징 시스템(600)을 이용한 관측들(observations)을 기초로 기판의 x, y, z, 및 θ 배치에 대한 버나이어리

(venire) 조정들이 이루어질 수 있을 것이다. 이어서, 후속 배치가 제어기(112)의 지시하에서 기판 지지부(110)에 의해서 자동적으로 실행된다.

[0055] 어닐링 중에 기판의 성질들을 나타내기 위해서, 진단 기구들이 제공될 수 있을 것이다. 이미징 모듈(118 또는 600)이 온도의 함수로서 기판에 의해서 방출되는 복사선의 세기를 나타내기 위한 하나 또는 둘 이상의 온도 센서들(618)을 구비할 수 있을 것이다. 고온계가 그러한 목적들을 위해서 이용될 수 있을 것이다. 또한, 이미징 모듈(118 또는 600)이 기판의 흡수도의 변화를 나타내기 위해서 하나 또는 둘 이상의 표면 흡수 모니터(622)를 가질 수 있을 것이다. 기판을 어닐링하기 위해서 이용되는 광장을 내의 반사된 광의 세기를 측정함으로써, 표면 흡수 모니터(622)가 보다 반사적인 상태로부터 보다 흡수적인 상태로의, 그리고 그 반대로의 상태 변화를 신호로 알린다. 반사계가 그러한 목적들을 위해서 이용될 수 있을 것이다. 일부 실시예들에서, 둘 또는 셋 이상의 온도 센서들 및 둘 또는 셋 이상의 표면 흡수 모니터들을 제공하는 것에 의해서, 개선된 정확도를 위해서 둘 또는 셋 이상의 판독값들을 비교할 수 있을 것이다.

[0056] 2개의 진단 기구들(620 및 622)이 도 6의 이미징 모듈(600) 내에 도시되어 있지만, 임의의 수의 진단 기구들이 기판의 조건을 모니터링하기 위한 위치에 배치될 수 있을 것이다. 일부 실시예들에서, 음향 검출기 또는 포토어쿠스틱(photoacoustic) 검출기, 또는 양자 모두가 기판 상에서의 어닐링 에너지의 음향 효과들을 검출하도록 배치될 수 있을 것이다. 기판으로부터의 음향 응답을 이용하여, 위상 변화와 같은, 기판 재료의 상태의 변화를 나타낼 수 있을 것이다. 일 실시예에서, 청취 디바이스(listening device)가 기판의 일부의 용융을 검출할 수 있을 것이다.

[0057] 열적 에너지가 여기에 개시된 방법들을 이용하여 기판 지지부의 작업 표면 상에 배치된 기판으로 커플링된다. 약 1 nsec 내지 약 100 nsec, 예를 들어 약 5 nsec 내지 약 50 nsec, 예를 들어 약 10 nsec의 짧은 지속시간의 펄스들로 약 0.2 J/cm^2 내지 약 1.0 J/cm^2 의 평균 세기의 전자기적 에너지를 기판 표면의 연속적인 부분들로 인가함으로써, 열적 에너지가 생성된다. 다음 펄스가 도달하기 전에 기판을 통한 열적 에너지의 완전한 소산(dissipation)을 허용하기 위해서, 약 500 nsec 내지 약 1 msec, 가령 약 $1 \mu\text{sec}$ 내지 약 $500 \mu\text{sec}$, 예를 들어 약 $100 \mu\text{sec}$ 의 펄스들 사이의 지속시간을 가지고, 복수의 그러한 펄스들이 기판의 각각의 부분으로 인가될 수 있을 것이다. 전형적으로 에너지 필드가 약 0.1 cm^2 내지 약 10.0 cm^2 , 예를 들어 약 6 cm^2 의 지역을 커버하여, 각각의 펄스로 약 0.2 MW 내지 약 10 GW 의 파워 전달을 초래한다. 대부분의 적용예들에서, 각각의 펄스로 전달되는 파워가 약 10 MW 내지 약 500 MW 가 될 것이다. 전달되는 파워 밀도는, 전형적으로, 약 2 MW/cm^2 내지 약 1 GW/cm^2 , 가령 약 5 MW/cm^2 내지 약 100 MW/cm^2 , 예를 들어 약 10 MW/cm^2 이다. 각각의 펄스에서 인가되는 에너지 필드는, 평균 세기의 약 4% 이하, 가령 약 3.5% 미만, 예를 들어 약 3.0% 미만인 세기의 공간적인 표준 편차를 가진다.

[0058] 기판들을 어닐링하기 위해서 가장 요구되는 높은 파워 및 균일한 에너지 필드의 전달은, 어닐링하고자 하는 기판에 의해서 용이하게 흡수되는 복사선을 방출하는 복수의 레이저들을 가지는 에너지 공급원(102)을 이용하여 달성될 수 있을 것이다. 하나의 양태에서, 복수의 주파수-배가된 Nd:YAG 레이저들을 기초로, 약 532 nm의 광장을 가지는 레이저 복사선이 이용된다. 실리콘 기판의 적합한 어닐링을 위해서, 약 50 MW의 개별적인 파워 출력을 가지는 4개의 그러한 레이저들이 함께 이용될 수 있을 것이다.

[0059] 에너지의 펄스들이 에너지의 비임의 발생 또는 전달을 중단시키는 것에 의해서 형성될 수 있을 것이다. 비임의 광학적 경로를 가로질러 신속(fast) 셔터를 배치함으로써, 에너지의 비임이 중단될 수 있을 것이다. 셔터는, 전압의 인가시에 10 nsec 또는 그 미만에서 투명으로부터 반사로 변화될 수 있는 LCD 셀일 수 있을 것이다. 또한, 셔터가 회전하는 천공된 플레이트일 수 있을 것이고, 이때 천공부들의 크기 및 간격은, 개구부들을 통해서 선택된 지속시간을 가지는 에너지 펄스들을 전달하기 위해서 선택된 회전 레이트와 결부된다(coupled). 그러한 디바이스는 에너지 공급원 자체에 부착될 수 있을 것이고, 또는 에너지 공급원으로부터 이격될 수 있을 것이다. 능동적 또는 수동적 q-스위치, 또는 게인 스위치가 이용될 수 있을 것이다. Pockels 셀이 또한 레이저 근처에 배치되어 레이저에 의해서 방출되는 레이저 광의 비임을 중단시킴으로써 펄스들을 형성할 수 있을 것이다. 요구되는 경우에, 다수의 펄스 발생기들이 에너지 공급원에 커플링되어 상이한 지속시간들을 가지는 펄스들의 주기적인 시퀀스들을 형성할 수 있을 것이다. 예를 들어, q-스위치가 레이저 공급원에 적용될 수 있을 것이고 그리고 q-스위치의 주기와 유사한 주기를 가지는 회전 셔터가 q-스위치된 레이저에 의해서 생성된 펄스들의 광학적 경로를 가로질러 배치되어 상이한 지속시간들을 가지는 펄스들의 주기적인 패턴을 형성할 수 있을 것이다.

- [0060] 펠스들의 공간적인 그리고 시간적인 모드들의 수를 증가시킴으로써, 펠스들의 자체-상호관련(self-correlation)이 감소된다. 공간적 또는 시간적 상호관련은 상이한 광양자들이 위상적으로 관련되는 정도(extent)이다. 만약 동일한 파장의 2개의 광양자들이 동일한 방향으로 공간을 통해서 전파되고 그들의 전기장 벡터들이 동시에 동일한 방향을 향한다면, 그러한 광양자들은, 그들의 공간적 관계와 관계 없이, 시간적으로 상호관련된다. 만약 2개의 광양자들(또는 그들의 전기장 벡터들)이 전파 방향에 수직한 평면 내의 동일한 지점에 위치된다면, 그러한 2개의 광양자들은, 임의의 시간적인 위상 관계와 무관하게, 공간적으로 상호관련된다.
- [0061] 상호관련은 코히런스와 관련되고, 그리고 그러한 용어들은 거의 상호교환 가능하게 사용된다. 광양자들의 상호관련은 에너지 필드의 균일성을 감소시키는 간접 패턴들을 발생시킨다. 코히런스 길이는 소정의(a) 거리로서 규정되는데, 상기 거리를 넘어서는 경우에 공간적 또는 시간적 코히런스 또는 상호관련이 일부 문턱값 아래로 떨어진다.
- [0062] 연속적인 분할기들을 이용하여 펠스를 많은 수의 하위-펠스들로 분할함으로써, 그리고 임의의 2개의 광학적 경로 길이들 사이의 차이가 원래의 펠스의 코히런스 길이보다 더 길도록, 각각의 하위-펠스를 상이한 광학적 경로를 가지는 상이한 경로를 따라서 루트연결함으로써, 펠스들 내의 광양자들이 시간적으로 무관련화될 수 있다. 이는, 이동된 거리에 따른 코히런스의 자연적인 감소로 인해서 상이한 경로 길이들 이후에 초기에 상호관련된 광양자들이 상이한 위상을 가질 가능성이 있도록 주로 보장한다. 예를 들어, Nd:YAG 레이저들 및 Ti:사파이어 레이저들은, 전형적으로, 약(the order of) 몇 밀리미터의 코히런스 길이를 가지는 펠스들을 생성한다. 그러한 펠스들을 분할하는 것 그리고 각각의 펠스의 부분들을 몇 밀리미터 초과의 길이 차이들을 가지는 경로들을 따라서 전송하는 것은 시간적인 무관련화를 초래할 것이다. 상이한 길이들을 가지는 다수-반사 경로들을 따라서 하위-펠스들을 전송하는 것이, 이용될 수 있는 하나의 기술이다. 상이한 굴절률들에 의해서 규정되는 상이한 유효 길이들을 가지는 다수-굴절 경로들을 따라서 하위-펠스들을 전송하는 것이 다른 기술이 된다. 도 3a, 3d, 및 3g와 관련하여 설명한 펠스 성형 모듈들이 펠스들의 시간적인 무관련화를 위해서 이용될 수 있을 것이다.
- [0063] 펠스로부터 에너지 필드를 형성하고 그러한 에너지 필드의 부분들을 중첩시키는 것에 의해서, 공간적인 무관련화가 달성될 수 있을 것이다. 예를 들어, 공간적으로 무관련화된 이미지를 형성하기 위해서, 에너지 필드의 부분들이 동일한 지역 상으로 분리되어 이미지화될 수 있을 것이다. 이는, 임의의 초기에 상호관련된 광양자들이 공간적으로 분리되는 것을 주로 보장한다. 하나의 예에서, 정사각형 에너지 필드가 정사각형 부분들의 체커보드-스타일의 8 x 8 샘플링으로, 그리고 모든 이미지들이 중첩하도록 원래의 에너지 필드와 동일한 크기의 필드 상으로 이미지화된 각각의 정사각형 부분으로 분할될 수 있을 것이다. 보다 큰 수의 중첩 이미지들은 에너지를 보다 무관련화시켜, 보다 균일한 이미지를 초래한다. 도 4a 및 4b의 균질화기들(400 및 450)이 펠스들을 공간적으로 무관련화시키는데 있어서 유용할 수 있을 것이다.
- [0064] 일반적으로, 전술한 무관련화 동작들 이후에 이미지화된 레이저 펠스는 균일한 에너지 세기를 가지는 횡단면을 가진다. 정확한 실시예에 따라서, 상기 프로세스들에 따라서 처리된 펠스형 에너지 필드의 횡단면 에너지 세기가 약 3.0% 또는 그 미만, 가령 약 2.7% 또는 그 미만, 예를 들어 약 2.5%의 표준 편차를 가질 수 있을 것이다. 에너지 필드의 옛지 영역은, 에너지 필드의 치수의 약 10% 미만, 가령 에너지 필드의 치수의 약 5% 미만, 예를 들어 에너지 필드의 약 1% 미만인 치수를 따라서 $1/e$ 만큼 감소될 수 있는 감소 에너지 세기를 나타낼 것이다. 옛지 영역은, 도 5a 및 5b의 조리개 부재들(500 및 520)과 같은, 개구를 이용하여 절단될 수 있거나, 또는 처리 구역 외부에서, 예를 들어 기판 상의 디바이스 지역들 사이의 커프(kurf) 공간 내에서 기판을 조명하도록 허용될 수 있을 것이다.
- [0065] 만약 에너지 필드가 절단된다면, 조리개 부재가 전형적으로 펠스들의 광학적 경로를 가로질러 배치되어 불균일한 옛지 영역들을 트리밍(trim)한다. 이미지의 깨끗한 절단을 달성하기 위해서, 개구가 에너지 필드의 초점 평면 근처에 위치된다. 펠스 내의 광양자들의 전파 방향에 합치되도록 개구 내부 옛지를 테이퍼링함으로써, 개구 내부 옛지의 굴절 효과들이 최소화될 수 있을 것이다. 희망 크기 및/또는 형상을 가지는 조리개 부재를 삽입 또는 제거함으로써, 상이한 개구 크기들 및 형상들을 가지는 다수의 제거가능한 조리개 부재들을 이용하여 개구의 크기 및/또는 형상을 변화시킬 수 있을 것이다. 대안적으로, 가변 조리개 부재가 이용될 수 있을 것이다.
- [0066] 에너지 필드가 기판의 부분을 향해서 지향되어 기판을 어닐링할 수 있을 것이다. 필요한 경우에, 에너지 필드의 광학적 경로를 따라서 기판 표면을 관찰함으로써, 에너지 필드가 기판 표면 상의 정렬 마크들과 같은 구조물들과 정렬될 수 있을 것이다. 기판으로부터 반사된 광은 카메라 또는 CCD 매트릭스와 같은 관찰 디바이스를 향해서 지향되고 캡쳐될 수 있을 것이다. 도 6의 이미징 시스템(600)에서와 같이, 일-방향 거울과 같은 반사 표

면이 에너지 필드의 광학적 경로를 따라서 배치되어 반사된 광을 캡쳐할 수 있을 것이다.

[0067] 프로세싱 중에 기판에 의해서 방출, 반사, 또는 투과되는 복사선을 관찰함으로써, 기판의 열적 상태가 모니터링 될 수 있을 것이다. 기판에 의해서 방출되는 복사선은 기판의 온도를 나타낸다. 기판에 의해서 반사되는 또는 투과되는 복사선은 기판의 흡수도를 나타내고, 그러한 흡수도는 다시 반사 상태로부터 흡수 상태로 그리고 그 반대로 기판의 물리적 구조의 변화를 신호로 알린다. 다수의 디바이스들을 이용하여 결과들을 비교함으로써, 그러한 디바이스들로부터의 신호들의 정확도가 개선될 수 있을 것이다.

[0068] 열적 프로세싱 장치가: 전자기적 에너지의 펄스들을 생성하도록 동작될 수 있는 전자기적 에너지의 공급원; 펄스 조합기, 펄스 성형기, 균질화기, 및 상기 공급원으로부터의 전자기적 에너지의 펄스들을 수신하도록 배치된 조리개 부재를 포함하는 광학적 시스템; 상기 광학적 시스템에 대해서 기판을 이동시키도록 동작가능한 기판 지지부; 및 상기 광학적 시스템의 광학적 경로를 따라서 기판을 관찰하도록 동작가능한 이미징 시스템을 가질 수 있을 것이다.

[0069] 전자기적 에너지의 펄스들을 조합하기 위한 장치가 제 1 에너지 입력, 제 2 에너지 입력, 상기 제 1 에너지로 제 1 성질을 부여하기 위한 제 1 광학장치, 상기 제 2 에너지로 제 2 성질을 부여하기 위한 제 2 광학장치, 상기 제 1 성질 및 상기 제 2 성질을 기초로 에너지를 반사 또는 투과하는 선택 표면, 상기 제 1 에너지를 상기 선택 표면의 제 1 측부 상의 제 1 위치로 조향하기 위한 그리고 상기 제 2 에너지를 상기 선택 표면의 제 1 측부에 반대되는 상기 선택 표면의 제 2 측부 상의 제 2 위치로 조향하기 위한 조향 광학장치로서, 상기 제 1 위치 및 제 2 위치가 정렬되는, 조향 광학장치, 그리고 상기 선택 표면에 광학적으로 커플링된 진단 모듈을 가질 수 있을 것이다.

[0070] 열적 프로세싱 시스템이 전자 타이머에 커플링된 능동적 q-스위치를 각각 가지는 복수의 레이저 에너지 공급원들, 상기 레이저 에너지 공급원들에 광학적으로 커플링된 적어도 2개의 조합기들로서, 상기 각각의 조합기가 선택 표면을 가지는 선택 광학장치를 가지는, 적어도 2개의 조합기들, 상기 레이저 에너지 공급원들로부터 선택 표면의 대향 측부들로 광을 지향시키기 위한 광학적 시스템, 및 적어도 3개의 마이크로렌즈 어레이들을 포함하는 균질화기를 가질 수 있을 것이다.

[0071] 기판 프로세싱 시스템이 전자기적 에너지의 공급원, 상기 전자기적 에너지를 포커스하기 위한 광학적 시스템, 및 반사 부분이 내부에 매립된 조리개 부재를 가질 수 있고, 상기 반사 부분이 개구부를 포함하고, 상기 개구부를 통해서 상기 전자기적 에너지가 투사되고, 상기 반사 부분의 표면이 상기 전자기적 에너지의 초점 평면에 배치된다.

[0072] 전자기적 에너지의 필드를 기판의 부분을 향해서 지향시키는 것에 대해서 기판이 프로세스될 수 있고, 상기 전자기적 에너지의 필드가 복수의 레이저들로부터의 광을 포함하고, 상기 광은 조합 광학장치의 선택 표면의 2개의 측부들을 통과하는 것에 대해서 조합되고, 시간적으로 무관련화되고, 공간적으로 무관련화되고, 그리고 기판에 광학적으로 커플링된 반사기를 통과하였다.

[0073] 또한, 전자기적 에너지의 필드를 기판의 부분을 향해서 지향시키는 단계로서, 상기 필드가 둘 또는 셋 이상의 레이저들로부터의 펄스형 광을 포함하는, 지향시키는 단계, 포토다이오드를 이용하여 상기 필드의 시간적인 형상을 검출하는 단계, 초전성 검출기를 이용하여 상기 필드의 에너지 함량을 검출하는 단계, 상기 포토다이오드에 대해서 검출된 시간적인 형상을 기초로 하나 또는 둘 이상의 레이저들의 펄스 타이밍을 조정하는 단계, 및 상기 초전성 검출기에 대해서 검출된 상기 필드의 에너지 함량을 기초로 하나 또는 둘 이상의 레이저들을 감쇠시키는 단계에 대해서, 기판이 프로세스될 수 있을 것이다.

[0074] 또한, 둘 또는 셋 이상의 레이저들로부터 편광화된 광을 조합하고 상기 광을 시간적으로 그리고 공간적으로 무관련화시키는 것에 대해서 세기 불균일성의 공간적인 표준 편차가 약 3% 이하이고 에너지 함량이 적어도 약 0.2 J/cm² 인 에너지 필드를 형성하는 단계, 상기 에너지 필드를 펄스로 상기 기판 표면의 제 1 부분을 향해서 지향시키는 단계, 상기 기판을 이동시키는 단계, 및 상기 에너지 필드를 상기 기판 표면의 제 2 부분을 향해서 지향시키는 단계에 대해서, 기판이 프로세스될 수 있을 것이다.

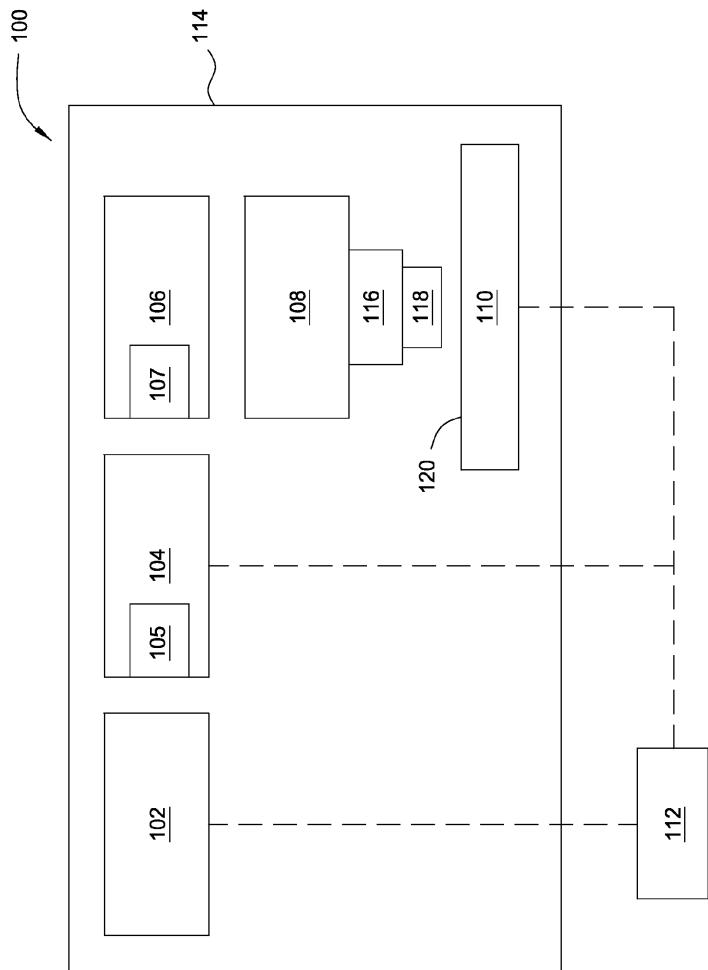
[0075] 또한, 기판에 광학적으로 커플링된 반사기를 통해서 상기 기판을 향해 성형된 전자기적 에너지의 필드를 지향시키는 단계, 반사기를 이용하여 상기 기판으로부터 반사된 광을 관찰하는 것에 대해서 상기 기판 및 상기 에너지 필드의 정렬을 검출하는 단계, 및 상기 에너지 필드로 상기 기판의 정렬을 조정하는 단계에 대해서, 기판이 프로세스될 수 있을 것이다.

[0076]

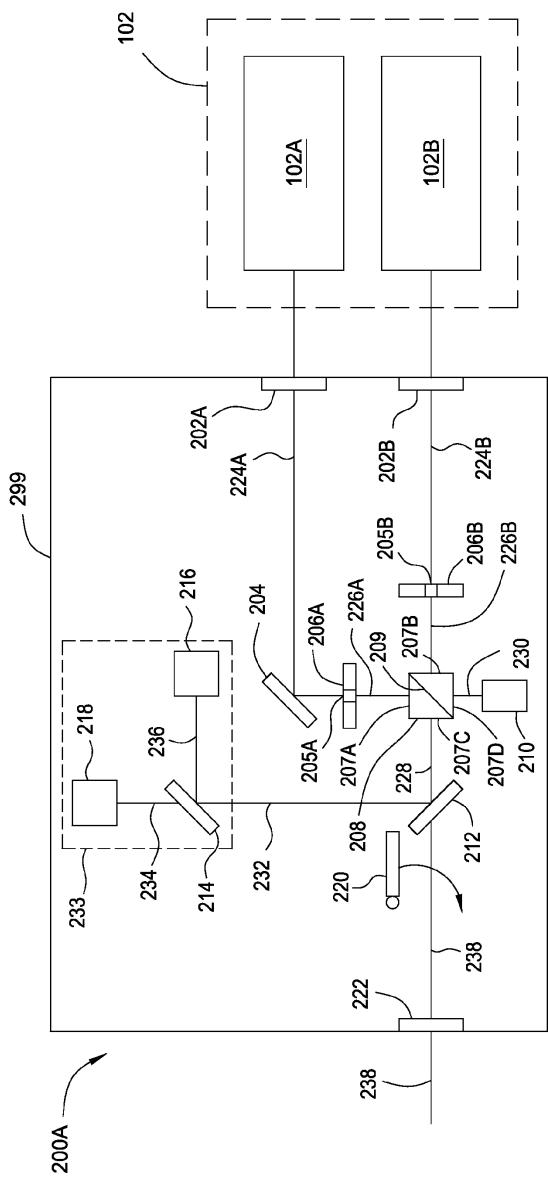
전술한 내용들은 본원 발명의 실시예들에 관한 것이지만, 발명의 다른 그리고 추가적인 실시예들이 발명의 기본적인 범위로부터 벗어나지 않고도 안출될 수 있을 것이고, 본원 발명의 범위는 이하의 청구항들에 의해서 결정된다.

도면

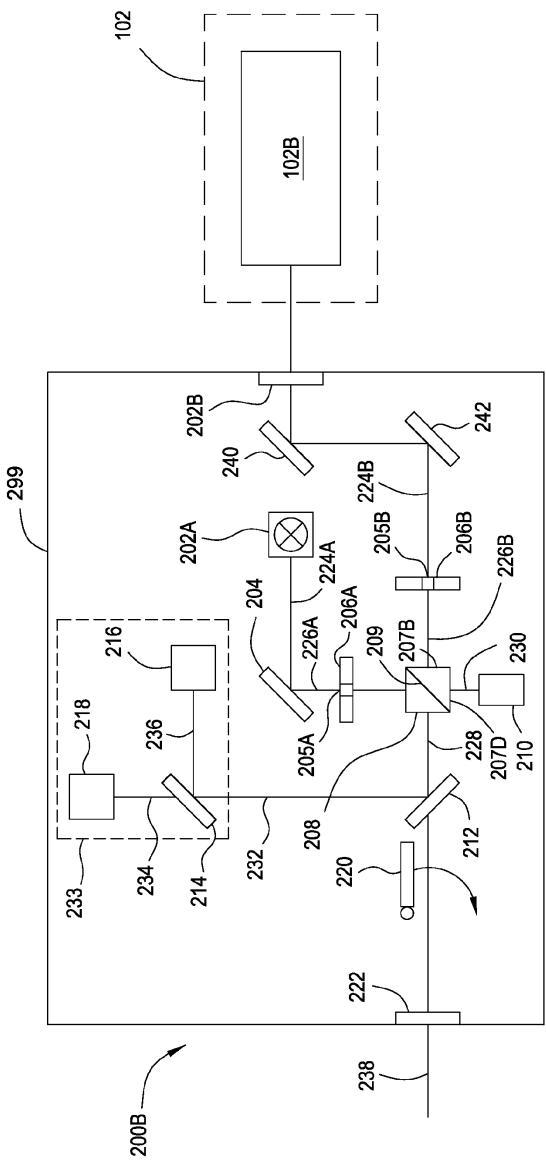
도면1



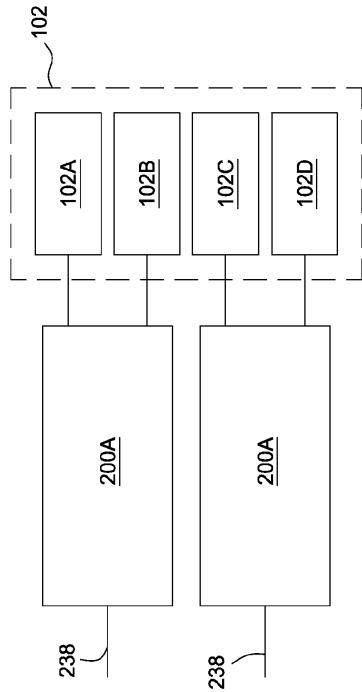
도면2a



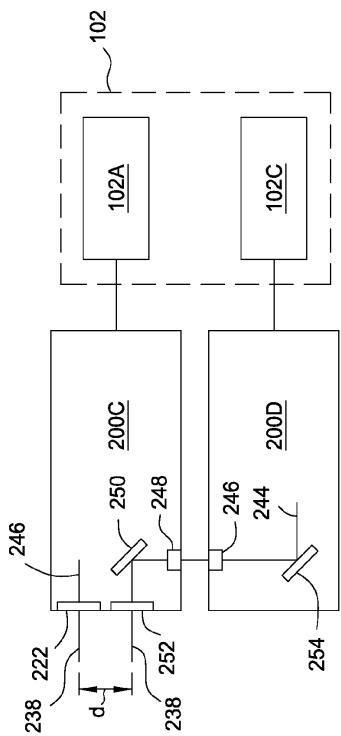
도면2b



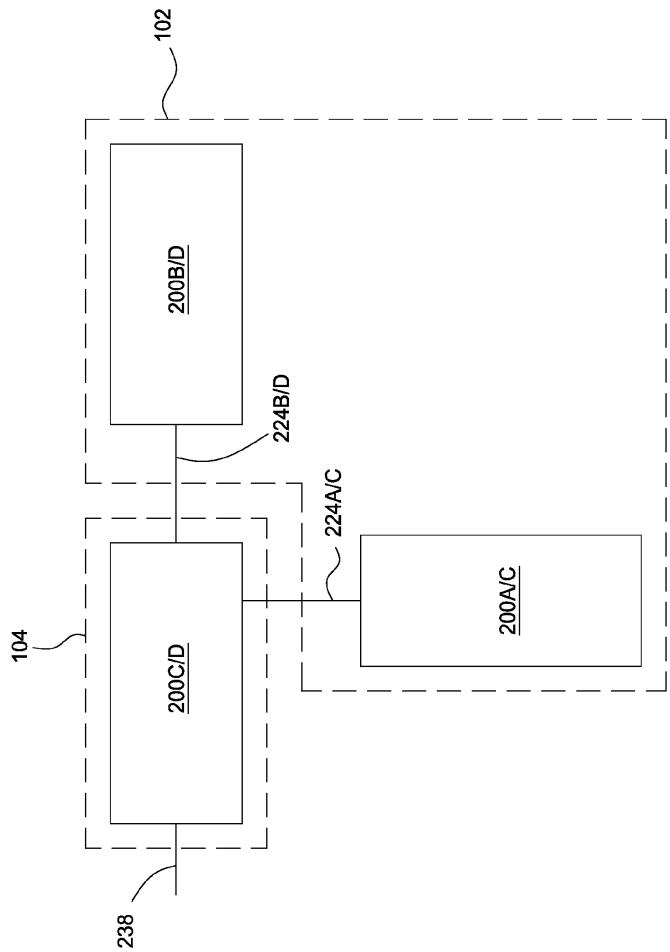
도면2c



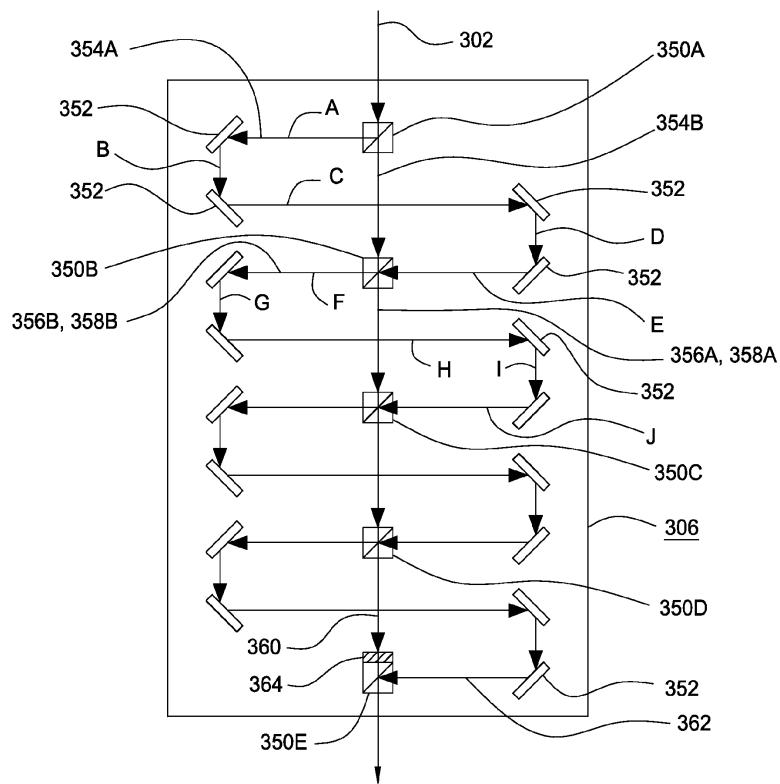
도면2d



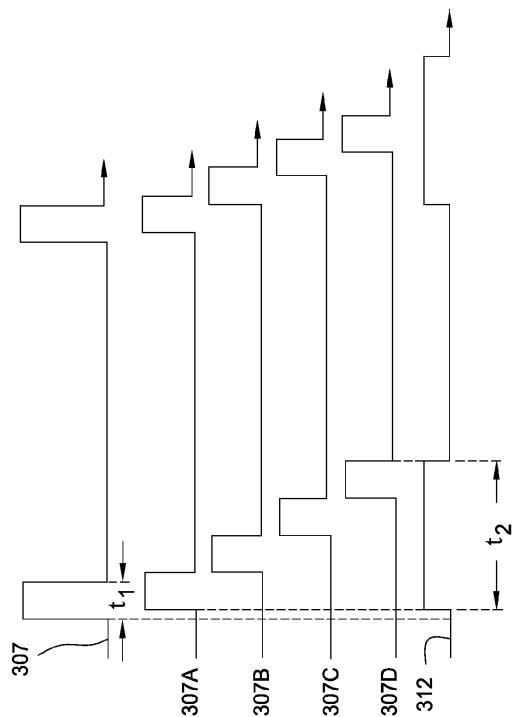
도면2e



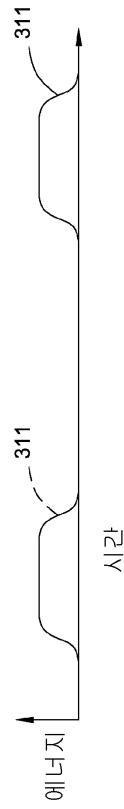
도면3a



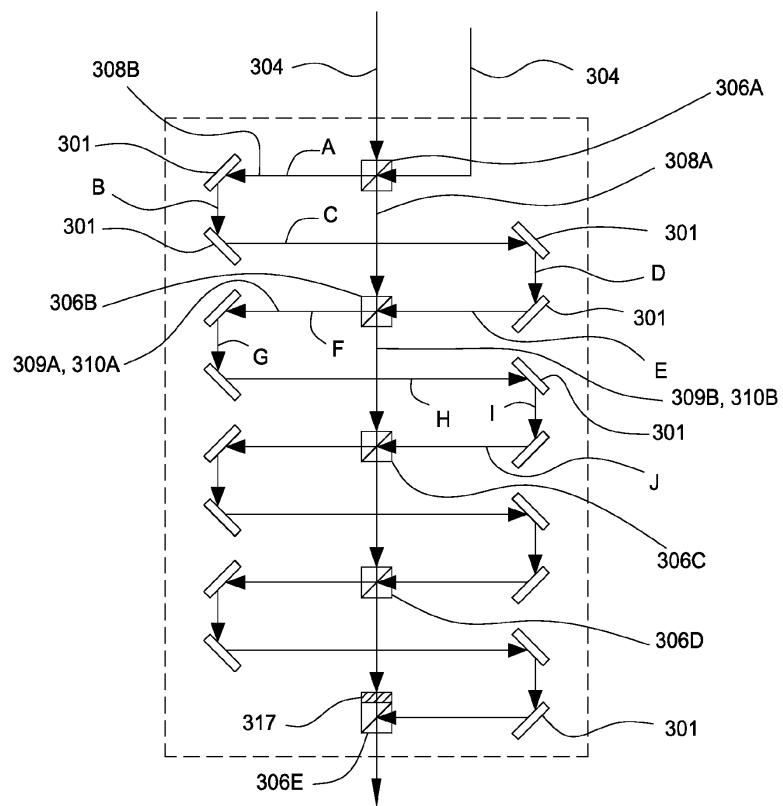
도면3b



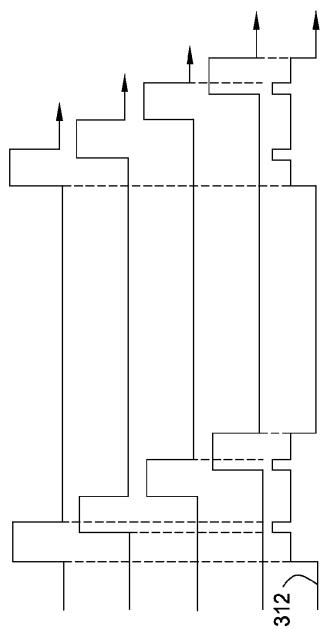
도면3c



도면3d



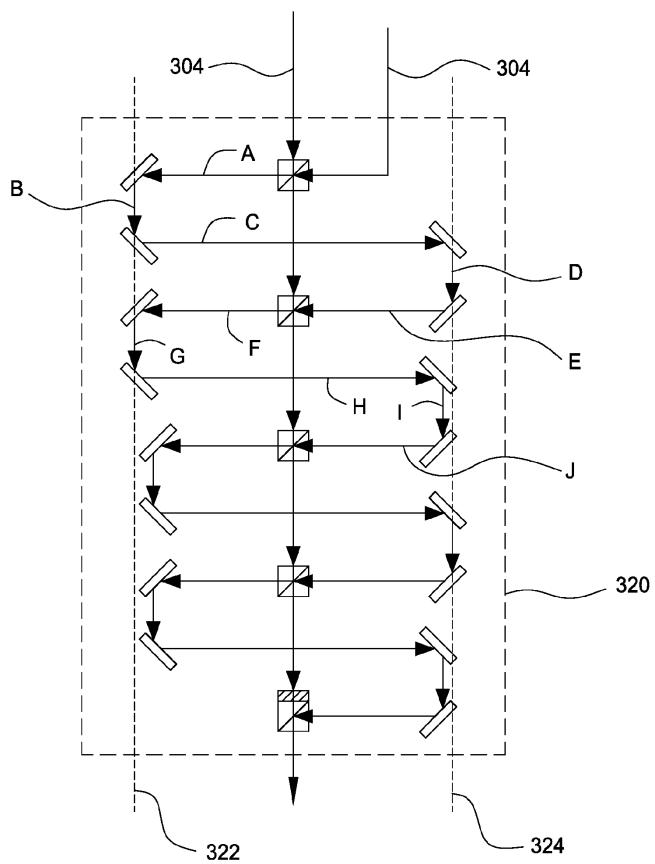
도면3e



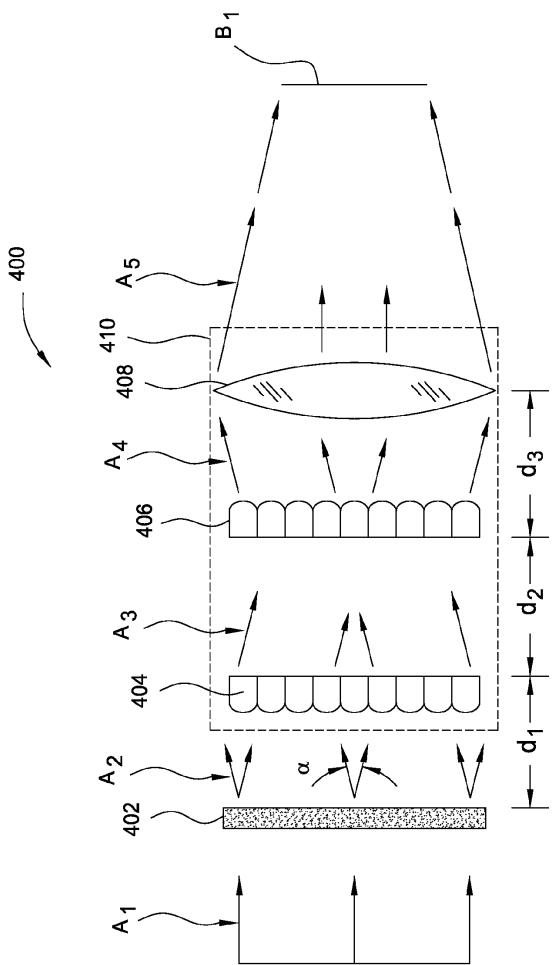
도면3f



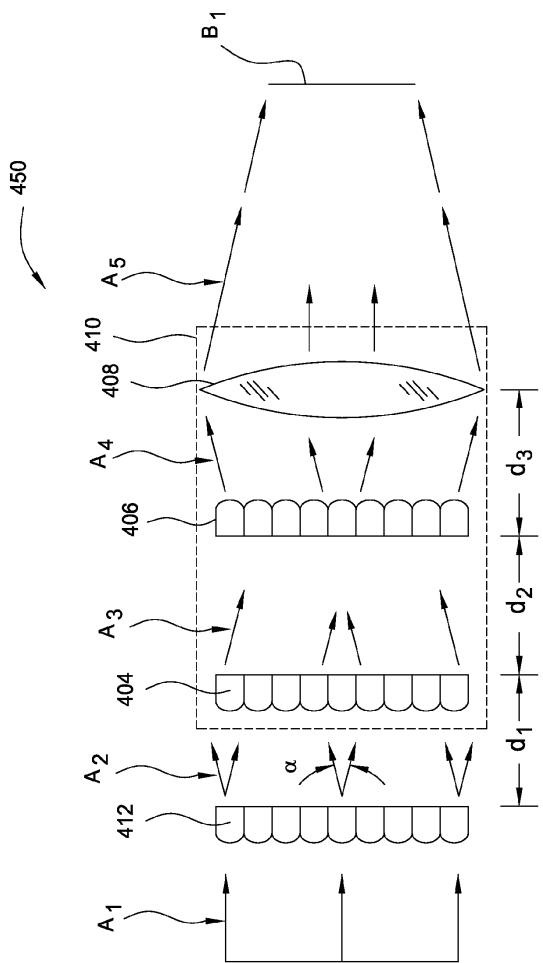
도면3g



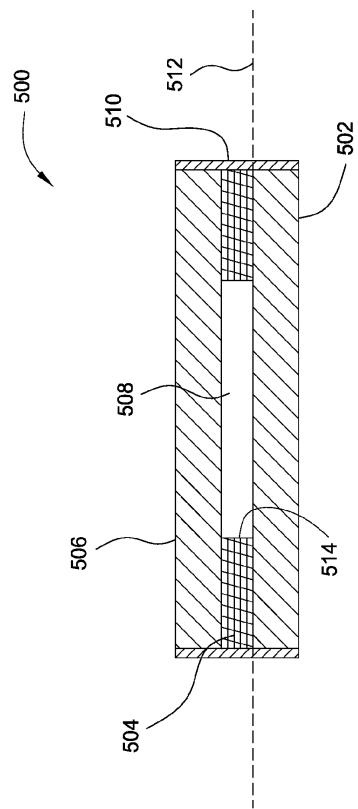
도면 4a



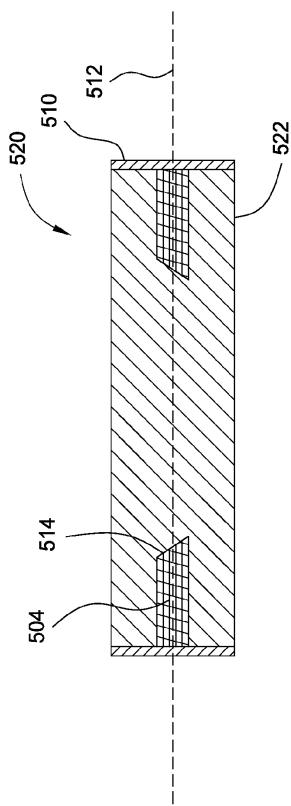
도면4b



도면5a



도면5b



도면6

