(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년03월25일
(11) 등록번호 10-2651288
(24) 등록일자 2024년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 3/00 (2023.01) *C23C 16/00* (2024.01)
G01N 21/88 (2006.01) *G01N 21/95* (2006.01)
G02B 17/08 (2006.01) *G02B 27/00* (2020.01)
H01L 21/66 (2006.01) *H01S 3/10* (2023.01)
(52) CPC특허분류
H01S 3/005 (2013.01)
C23C 16/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-7020036(분할)
(22) 출원일자(국제) 2013년12월03일
심사청구일자 2022년06월13일
(85) 번역문제출일자 2022년06월13일
(65) 공개번호 10-2022-0084448
(43) 공개일자 2022년06월21일
(62) 원출원 특허 10-2020-7028875
원출원일자(국제) 2013년12월03일
심사청구일자 2020년10월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2013/072774
(87) 국제공개번호 WO 2014/089020
국제공개일자 2014년06월12일
(30) 우선권주장
61/733,858 2012년12월05일 미국(US)
13/711,593 2012년12월11일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2006186046 A*
WO2011064059 A1*
KR1020120105016 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
케이엘에이 코포레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크놀로지 드라이브
(72) 발명자
추앙 영호 알렉스
미국 캘리포니아주 95014 쿠퍼티노 패럴론 드라이브 10678
리우 저스틴 디안후안
미국 캘리포니아주 95051 산타클라라 플로라 비스타 애비뉴 3491
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 9 항 심사관 : 홍성의

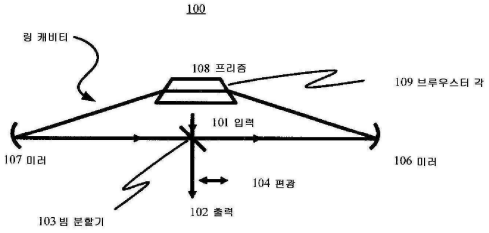
(54) 발명의 명칭 **레이저 펄스 증배기를 이용한 반도체 검사 및 계측 시스템**

(57) 요 약

펄스 증배기는 빔 분할기 및 하나 이상의 미러들을 포함한다. 빔 분할기는 입력 레이저 펄스들의 시리즈를 수신하고 각각의 펄스의 에너지의 일부를 링 캐비티 내로 지향시킨다. 링 캐비티를 일주한 후, 펄스 에너지의 일부는 빔 분할기를 통해 링 캐비티를 떠나고 에너지의 일부는 재순환된다. 링 캐비티 광학 경로 길이를 선택함으로써

(뒷면에 계속)

대 표 도



레이저 펄스들의 출력 시리즈의 반복률은 입력 반복률의 배수가 되도록 이루어질 수 있다. 출력 펄스들의 상대적 에너지들은 빔 분할기의 투과 및 반사 계수들을 선택함으로써 제어될 수 있다. 이러한 펄스 증배기는 최소 총 전력 손실로 초 당 펄스들의 수를 증가시키면서 펄스 당 피크 전력을 저렴하게 감소시킬 수 있다.

(52) CPC특허분류
G01N 21/8806 (2013.01)
G01N 21/9501 (2013.01)
G02B 17/0848 (2013.01)
G02B 27/00 (2013.01)
H01L 22/12 (2013.01)
H01S 3/10 (2019.01)
G01N 2021/8838 (2013.01)

(72) 발명자
암스트롱 제이 조셉
미국 캘리포니아주 94539 프레몬트 갈레고스 애비뉴 43141
뎅 유준
미국 캘리포니아주 95131 산호세 팬 스트리트 1712

명 세 서

청구범위

청구항 1

펄스 증배기에 있어서,

제 1 링 캐비티; 및

제 2 링 캐비티를 포함하고,

상기 제 1 링 캐비티는, 제 1 주파수에서 복수의 연속적인 입력 레이저 펄스들을 수신하는 제 1 빔 분할기, 및 하나 이상의 미러의 제 1 세트를 포함하고,

상기 제 2 링 캐비티는, 제 2 빔 분할기 및 하나 이상의 미러의 제 2 세트를 포함하고,

상기 제 1 빔 분할기는 각각의 입력 레이저 펄스의 제 1 단편을 상기 제 2 빔 분할기로 지향시키고, 제 1 계산된 레이저 펄스로서 각각의 입력 레이저 펄스의 제 2 단편을 상기 제 1 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 2 빔 분할기는 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 제 3 단편을 상기 펄스 증배기의 출력으로 지향시키고, 제 2 계산된 레이저 펄스로서 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 에너지의 제 4 단편을 상기 제 2 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 1 링 캐비티는 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 거리의 1/2인 광학 경로 길이를 갖고, 상기 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 거리는 상기 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 시간 간격 만큼 증배되는 광의 속도와 동일하고,

상기 제 2 링 캐비티의 광학 경로 길이는 상기 제 1 링 캐비티의 광학 경로 길이의 1/2의 홀수 정수배이고,

상기 제 2 빔 분할기는 또한, 상기 제 2 계산된 레이저 펄스의 에너지의 제 3 단편을 상기 제 2 링 캐비티 내로 다시 실질적으로 지향시키면서, 상기 제 2 계산된 레이저 펄스가 상기 제 2 링 캐비티를 한번 트래버싱(traverse)한 후, 상기 제 2 계산된 레이저 펄스의 에너지의 제 4 단편을 상기 펄스 증배기의 출력으로서 상기 제 2 링 캐비티의 외부로 실질적으로 지향시키는, 펄스 증배기.

청구항 2

펄스 증배기에 있어서,

제 1 링 캐비티; 및

제 2 링 캐비티를 포함하고,

상기 제 1 링 캐비티는, 제 1 주파수에서 복수의 연속적인 입력 레이저 펄스들을 수신하는 제 1 빔 분할기, 및 하나 이상의 미러의 제 1 세트를 포함하고,

상기 제 2 링 캐비티는, 제 2 빔 분할기 및 하나 이상의 미러의 제 2 세트를 포함하고,

상기 제 1 빔 분할기는 각각의 입력 레이저 펄스의 제 1 단편을 상기 제 2 빔 분할기로 지향시키고, 제 1 계산된 레이저 펄스로서 각각의 입력 레이저 펄스의 제 2 단편을 상기 제 1 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 2 빔 분할기는 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 제 3 단편을 상기 펄스 증배기의 출력으로 지향시키고, 제 2 계산된 레이저 펄스로서 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 에너지의 제 4 단편을 상기 제 2 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 1 링 캐비티는 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 거리의 1/2인 광학 경로 길이를 갖고, 상기 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 거리는 상기 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 시간 간격 만큼 증배되는 광의 속도와 동일하고,

상기 제 2 링 캐비티의 광학 경로 길이는 상기 제 1 링 캐비티의 광학 경로 길이의 1/2의 홀수 정수배이고,

상기 제 1 단편은 1/3이고, 상기 제 2 단편은 2/3인, 펄스 증배기.

청구항 3

펄스 증배기에 있어서,

제 1 링 캐비티; 및

제 2 링 캐비티를 포함하고,

상기 제 1 링 캐비티는, 제 1 주파수에서 복수의 연속적인 입력 레이저 펄스들을 수신하는 제 1 빔 분할기, 및 하나 이상의 미러의 제 1 세트를 포함하고,

상기 제 2 링 캐비티는, 제 2 빔 분할기 및 하나 이상의 미러의 제 2 세트를 포함하고,

상기 제 1 빔 분할기는 각각의 입력 레이저 펄스의 제 1 단편을 상기 제 2 빔 분할기로 지향시키고, 제 1 계산된 레이저 펄스로서 각각의 입력 레이저 펄스의 제 2 단편을 상기 제 1 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 2 빔 분할기는 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 제 3 단편을 상기 펄스 증배기의 출력으로 지향시키고, 제 2 계산된 레이저 펄스로서 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 에너지의 제 4 단편을 상기 제 2 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 1 링 캐비티는 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 거리의 1/2인 광학 경로 길이를 갖고, 상기 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 거리는 상기 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 시간 간격 만큼 증배되는 광의 속도와 동일하고,

상기 제 2 링 캐비티의 광학 경로 길이는 상기 제 1 링 캐비티의 광학 경로 길이의 1/2의 홀수 정수배이고,

상기 제 3 단편은 1/3이고, 상기 제 4 단편은 2/3인, 펄스 증배기.

청구항 4

펄스 증배기에 있어서,

제 1 링 캐비티; 및

제 2 링 캐비티를 포함하고,

상기 제 1 링 캐비티는, 제 1 주파수에서 복수의 연속적인 입력 레이저 펄스들을 수신하는 제 1 빔 분할기, 및 하나 이상의 미러의 제 1 세트를 포함하고,

상기 제 2 링 캐비티는, 제 2 빔 분할기 및 하나 이상의 미러의 제 2 세트를 포함하고,

상기 제 1 빔 분할기는 각각의 입력 레이저 펄스의 제 1 단편을 상기 제 2 빔 분할기로 지향시키고, 제 1 계산된 레이저 펄스로서 각각의 입력 레이저 펄스의 제 2 단편을 상기 제 1 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 2 빔 분할기는 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 제 3 단편을 상기 펄스 증배기의 출력으로 지향시키고, 제 2 계산된 레이저 펄스로서 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 에너지의 제 4 단편을 상기 제 2 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 1 링 캐비티는 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 거리의 1/2인 광학 경로 길이를 갖고, 상기 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 거리는 상기 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 시간 간격 만큼 증배되는 광의 속도와 동일하고,

상기 제 2 링 캐비티의 광학 경로 길이는 상기 제 1 링 캐비티의 광학 경로 길이의 1/2의 홀수 정수배이고,

상기 제 1 단편, 상기 제 2 단편, 상기 제 3 단편 및 상기 제 4 단편은 실질적으로 동일한 에너지 출력 펄스들이 상기 연속적인 입력 레이저 펄스들에 응답하여 상기 펄스 증배기의 출력에 제공되도록 선택되는, 펄스 증배기.

청구항 5

펄스 증배기에 있어서,

제 1 링 캐비티; 및

제 2 링 캐비티를 포함하고,

상기 제 1 링 캐비티는, 제 1 주파수에서 복수의 연속적인 입력 레이저 펄스들을 수신하는 제 1 빔 분할기, 및 하나 이상의 미러의 제 1 세트를 포함하고,

상기 제 2 링 캐비티는, 제 2 빔 분할기 및 하나 이상의 미러의 제 2 세트를 포함하고,

상기 제 1 빔 분할기는 각각의 입력 레이저 펄스의 제 1 단편을 상기 제 2 빔 분할기로 지향시키고, 제 1 계산된 레이저 펄스로서 각각의 입력 레이저 펄스의 제 2 단편을 상기 제 1 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 2 빔 분할기는 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 제 3 단편을 상기 펄스 증배기의 출력으로 지향시키고, 제 2 계산된 레이저 펄스로서 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 에너지의 제 4 단편을 상기 제 2 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 1 링 캐비티는 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 거리의 1/2인 광학 경로 길이를 갖고, 상기 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 거리는 상기 연속적인 입력 레이저 펄스들 간의 시간 간격 만큼 증배되는 광의 속도와 동일하고,

상기 제 2 링 캐비티의 광학 경로 길이는 상기 제 1 링 캐비티의 광학 경로 길이의 1/2의 홀수 정수배이고,

상기 제 1 링 캐비티에서의 각각의 레이저 펄스는 상기 레이저 펄스가 상기 제 1 링 캐비티를 트래버싱할 때마다 실질적으로 재포커싱되고, 상기 제 2 링 캐비티에서의 각각의 레이저 펄스는 상기 레이저 펄스가 상기 제 2 링 캐비티를 트래버싱할 때마다 실질적으로 재포커싱되는, 펄스 증배기.

청구항 6

펄스 증배기에 있어서,

제 1 링 캐비티; 및

제 2 링 캐비티를 포함하고,

상기 제 1 링 캐비티는, 복수의 연속적인 입력 레이저 펄스들을 수신하는 제 1 빔 분할기; 프리즘; 및 오직 하나인 미러를 포함하고, 상기 미러는 곡면 미러이며,

상기 제 2 링 캐비티는, 제 2 빔 분할기 및 하나 이상의 미러의 제 2 세트를 포함하고,

상기 제 1 빔 분할기는 각각의 입력 레이저 펄스의 제 1 단편을 상기 제 2 빔 분할기로 지향시키고, 각각의 입력 레이저 펄스의 제 2 단편을 상기 제 1 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 2 빔 분할기는 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 제 3 단편을 상기 펄스 증배기의 출력으로 지향시키고, 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 에너지의 제 4 단편을 상기 제 2 링 캐비티 내로 지향시키는, 펄스 증배기.

청구항 7

펄스 증배기에 있어서,

제 1 링 캐비티; 및

제 2 링 캐비티를 포함하고,

상기 제 1 링 캐비티는, 복수의 연속적인 입력 레이저 펄스들을 수신하는 제 1 빔 분할기, 및 하나 이상의 미러의 제 1 세트를 포함하고,

상기 제 2 링 캐비티는, 제 2 빔 분할기; 프리즘; 및 오직 하나인 미러를 포함하고, 상기 미러는 곡면 미러이며,

상기 제 1 빔 분할기는 각각의 입력 레이저 펄스의 제 1 단편을 상기 제 2 빔 분할기로 지향시키고, 각각의 입력 레이저 펄스의 제 2 단편을 상기 제 1 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 2 빔 분할기는 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 제 3 단편을 상기 펄스 증배기

의 출력으로 지향시키고, 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 에너지의 제 4 단편을 상기 제 2 링 캐비티 내로 지향시키는, 펄스 증배기.

청구항 8

펄스 증배기에 있어서,

헤리어트 셀(Herriott cell)을 포함하는 제 1 링 캐비티; 및

제 2 링 캐비티를 포함하고,

상기 제 1 링 캐비티는, 제 1 주파수에서 복수의 연속적인 입력 레이저 펄스들을 수신하는 제 1 빔 분할기, 및 실질적으로 유사한 곡률 반경들을 갖는 적어도 2개의 곡면 미러들을 포함하는 미러들의 제 1 세트를 포함하고,

상기 제 2 링 캐비티는, 제 2 빔 분할기 및 하나 이상의 미러의 제 2 세트를 포함하고,

상기 제 1 빔 분할기는 각각의 입력 레이저 펄스의 제 1 단편을 상기 제 2 빔 분할기로 지향시키고, 각각의 입력 레이저 펄스의 제 2 단편을 상기 제 1 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 2 빔 분할기는 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 제 3 단편을 상기 펄스 증배기의 출력으로 지향시키고, 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 에너지의 제 4 단편을 상기 제 2 링 캐비티 내로 지향시키는, 펄스 증배기.

청구항 9

펄스 증배기에 있어서,

제 1 링 캐비티; 및

헤리어트 셀을 포함하는 제 2 링 캐비티를 포함하고,

상기 제 1 링 캐비티는, 제 1 주파수에서 복수의 연속적인 입력 레이저 펄스들을 수신하는 제 1 빔 분할기, 및 하나 이상의 미러의 제 1 세트를 포함하고,

상기 제 2 링 캐비티는, 제 2 빔 분할기 및 실질적으로 유사한 곡률 반경들을 갖는 적어도 2개의 곡면 미러들을 포함하는 미러들의 제 2 세트를 포함하고,

상기 제 1 빔 분할기는 각각의 입력 레이저 펄스의 제 1 단편을 상기 제 2 빔 분할기로 지향시키고, 각각의 입력 레이저 펄스의 제 2 단편을 상기 제 1 링 캐비티 내로 지향시키고,

상기 제 2 빔 분할기는 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 제 3 단편을 상기 펄스 증배기의 출력으로 지향시키고, 상기 제 2 빔 분할기 상에 입사된 각각의 레이저 펄스의 에너지의 제 4 단편을 상기 제 2 링 캐비티 내로 지향시키는, 펄스 증배기.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] <관련 출원들>

[0002] 본 출원은 2012년 12월 5일 출원되고 발명의 명칭이 "Semiconductor Inspection And Metrology System Using Laser Pulse Multiplier"인 미국 가특허 출원 번호 제61/733,858호를 우선권으로 주장하며, 2011년 6월 13일 출원되고 발명의 명칭이 "Optical Peak Power Reduction Of Laser Pulses And Semiconductor Inspection And Metrology Systems Using Same"인 미국 가특허 출원 번호 제61/496,446호 및 2012년 6월 1일 출원되고 발명의 명칭이 "Semiconductor Inspection And Metrology System Using Laser Pulse Multiplier"인 미국 출원 번호 제13/487,075호와 관련된다. 이 출원들 모두는 인용에 의해 본원에 포함된다.

[0003] <발명의 분야>

[0004] 본 발명은 반도체 검사 및 계측 시스템들(semiconductor inspection and metrology systems)을 위한 레이저 펄스들의 광학 피크 전력 감소를 이용하는 것에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는, 최적화된 펄스 증배기(optimized pulse multiplier)를 생성하기 위해 빔 분할기 및 하나 이상의 미러(mirror)들을 이용하는 것에 관

한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 검사 및 계측을 위해 필요한 조명은 일반적으로 연속파(continuous wave; CW) 광 소스에 의해 최상으로 충족된다. CW 광 소스는 일정한 전력 레벨을 가지며, 이는 이미지들 또는 데이터가 연속적으로 취득되도록 허용한다. 그러나 다수의 관심 파장들, 특히, 자외선(ultraviolet; UV) 파장들에서, 충분한 광휘(radiance)(단위 입체각(unit solid angle) 마다의 단위 면적 당 전력)의 CW 광 소스들은 이용 가능하지 않고, 비싸거나 신뢰할 수 없다.

[0006] 펄싱된 광 소스는 CW 광 소스의 시간-평균화된 전력 레벨보다 훨씬 더 높은 순간 피크 전력 레벨을 갖는다. 그러나 펄싱된 레이저(pulsed laser)가, 관심 파장에서 충분한 시간-평균화된 광휘를 갖는 유일하게 이용 가능하거나 비용-효과적인 광 소스인 경우, 고반복률 및 넓은 펄스 폭을 갖는 레이저를 이용하는 것이 최상이다. 펄스 반복률이 높을수록, 동일한 시간-평균화된 전력 레벨에 대한 펄스 당 순간 피크 전력이 더 낮다. 레이저 펄스들의 더 낮은 피크 전력은 측정되는 샘플 또는 웨이퍼 및 광학계(optics)에 대한 손상을 적게 하는데, 그 이유는 대부분의 손상 메커니즘들은 비-선형적이고 평균 전력보단 오히려 피크 전력에 더 강하게 의존하기 때문이다.

[0007] 몇몇 애플리케이션들에서, 증가된 반복률의 부가적인 이점은, 데이터 취득 당 또는 픽셀 당 더 많은 펄스들이 수집되어 더 나은 펄스 간 변동들의 평균 및 더 나은 신호 대 잡음 비들을 유도한다는 것이다. 또한, 빠르게 이동하는 샘플에 대해, 더 높은 펄스 레이트는, 각각의 펄스 사이의 이동 거리가 더 작기 때문에, 시간의 함수로서 샘플 위치의 더 양호한 샘플링을 유도할 수 있다.

[0008] 레이저 서브시스템의 반복률은 레이저 매체, 펌프 시스템 및/또는 그의 구동 전자기기들을 개선함으로써 증가될 수 있다. 불행히도, 미리 결정된 반복률로 이미 동작중인 UV 레이저를 변형하는 것은 그의 구성 엘리먼트들 중 하나 이상을 개선하기 위해 시간 및 돈의 상당한 투자를 요구할 수 있고, 단지 작은 증분만큼 반복 률을 개선할 수 있다. 또한, UV 레이저의 근본 레이저의 반복률의 증가는 그 근본의 피크 전력을 감소시킨다. 이는 (반드시 비-선형 프로세스인) 주파수 변환의 효율을 감소시키고, 이에 따라 높은 평균 UV 전력 레벨들을 생성하는 것을 더 어렵게 한다.

[0009] 그러므로, 레이저의 출력에서 동작하는 UV 레이저의 반복률을 개선하기 위한 실용적이고 저렴한 기법에 대한 필요성이 발생한다.

발명의 내용

[0010] 일반적으로, 시스템에 대한 최적화된 펄스들을 생성하는 방법이 설명된다. 이 방법에서, 입력 레이저 펄스는 빔 분할기 및 링 캐비티를 이용하여 복수의 펄스들로 광학적으로 분할될 수 있다. 입력 펄스는 빔 분할기에 의해 2개로 분할된다. 펄스들 중 일부는 계속 나아가고, 펄스들 중 일부는 링 캐비티에 진입한다. 펄스가 링 캐비티를 한번 일주한 후, 펄스는 빔 분할기를 다시 직면하고, 재차 2개로 분할된다. 일 부분은 링 캐비티를 떠나고, 나머지 타 부분은 링 캐비티를 재차 일주한다.

[0011] 레이저가 실질적으로 시간적으로 균등하게 분리된 펄스들의 스트림을 생성하는 경우(즉, 펄스들은 실질적으로 일정한 반복률로 생성됨), 링 캐비티 길이는, 캐비티를 한번 일주한 펄스가 입력 레이저 펄스들 중간에 도달하게 되도록 세팅될 수 있다. 예를 들어, 링 캐비티 길이는, 링 캐비티를 한번 일주한 펄스가 2개의 입력 펄스들 간의 시간 간격의 대략 1/2 내에 있도록 세팅될 수 있다.

[0012] 빔 분할기는 각각의 입사 펄스들의 에너지의 어느 단편이 링 캐비티에 진입할지를 결정한다. 빔 분할기는 또한 캐비티를 일주한 펄스의 에너지의 어느 단편이 캐비티를 떠나게 될지를 결정한다. 빔 분할기의 적절한 선택에 의해, 펄스들의 상대적 진폭들이 제어될 수 있다. 일 실시예에서, 링 캐비티 길이는, 펄스가 2개의 입력 펄스들 간의 시간 간격의 대략 1/2 내에 링 캐비티를 일주하도록 선택되고, 빔 분할기는 링 캐비티를 떠난 펄스들이 에너지 면에서 다른 하나와 대략적으로 동일하게 되도록 선택되어서, 레이저의 반복률을 유효하게 배가시킨다.

[0013] 펄스 증배기는 빔 분할기, 및 미러들의 세트를 포함할 수 있다. 빔 분할기는 입력 레이저 펄스를 수신한다. 미러들의 세트는 링 캐비티를 생성한다. 몇몇 실시예들에서, 링 캐비티는 프리즘을 포함하여서, 프리즘 및 미러들이 함께 캐비티를 생성하게 된다. 빔 분할기는 유리하게는, 펄스 증배기의 출력으로서 펄스들의 제 1 세트를 반사(또는 투과)시키고 링 캐비티 내로 다시 펄스들의 제 2 세트를 투과(또는 반사)시킨다.

[0014] 캐비티에서 미러들 중 하나 이상은 링 캐비티에서 펄스들을 재포커싱하기 위해 만곡될 수 있다. 몇몇 실시예들

에서, 하나 이상의 렌즈들은 펄스들을 재포커싱하기 위해 캐비티 내에 통합될 수 있다.

[0015] 일 실시예에서, 하나의 캐비티의 출력은 다른 캐비티의 입력으로 지향될 수 있다. 일 실시예에서, 제 1 링 캐비티는 레이저의 반복률의 2배로 펄스들의 스트림을 생성하고, 제 2 링 캐비티는 반복률을 재차 배가시킬 수 있어서, 레이저 반복률을 4배만큼 증배시키게 된다. 몇몇 실시예들에서, 3개의 링 캐비티들이 8배만큼 반복률을 증배시키는데 이용될 수 있거나, 또는 4개의 링 캐비티들이 16배만큼 반복률을 증배시키는데 이용될 수 있다.

[0016] 위에서 설명된 펄스 증배기들 중 임의의 것이 웨이퍼 검사 시스템, 패터닝된 웨이퍼 시스템, 마스크 검사 시스템, 또는 계측 시스템 내에 통합될 수 있다. 펄스 증배기는 최소 총 전력 손실로 초 당 펄스들의 수를 증가시키면서 펄스 당 피크 전력을 저렴하게 감소시킬 수 있다. 펄스 증배기는 유리하게는, 기성품의 레이저들로 고속 검사 및 계측을 가능하게 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1a는 입력 펄스 트레인의 반복률의 정수배인 반복률을 갖는 펄스 트레인을 생성하도록 구성되는 예시적인 펄스 증배기를 예시한다.

도 1b는 단일 캐비티로부터 획득될 수 있는 더 높은 반복률을 갖는 펄스 트레인을 생성하기 위해 2개의 캐비티들로부터 구성되는 예시적인 펄스 증배기를 예시한다.

도 1c는 입력 펄스 트레인의 반복률의 정수배인 반복률을 갖는 펄스 트레인들을 생성하도록 구성되는 대안적인 예시적 펄스 증배기를 예시한다.

도 1d는 단일 캐비티로부터 획득될 수 있는 더 높은 반복률을 갖는 펄스 트레인을 생성하기 위해 도 1c에 도시된 캐비티들 중 2개가 커플링될 수 있는 하나의 방식을 예시한다.

도 1e는 도 1c에 도시된 펄스 증배기의 일 실시예의 더욱 많은 세부사항들을 예시한다.

도 2a는 도 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 3a, 3b, 4a, 및 4b의 펄스 증배기들 중 하나에 의해 출력된 예시적인 에너지 엔벨로프들을 예시한다. 각각의 에너지 엔벨로프는 출력 펄스 트레인을 포함한다.

도 2b는 피크 전력을 감소시키고 각각의 펄스에서 실질적으로 동일한 에너지를 보장하면서 펄스 증배기가 원래의 펄스 반복률을 배가(double)시킬 수 있다는 것을 예시한다.

도 3a 및 도 3b는 단일 버터플라이 링 캐비티 및 2개의 버터플라이 링 캐비티들을 각각 포함하는 대안적인 예시적 펄스 증배기들을 예시한다.

도 4a는 헤리어트(Herriott) 셀에 기초하는 대안적인 예시적 펄스 증배기를 예시한다.

도 4b는 헤리어트 셀의 1/2에 기초하는 대안적인 예시적 펄스 증배기를 예시한다.

도 5는 펄스 증배기를 포함하는 예시적인 패터닝되지 않은 웨이퍼 검사 시스템을 예시한다.

도 6은 펄스 증배기를 포함하는 예시적인 패터닝된 웨이퍼 검사 시스템을 예시한다.

도 7은 펄스 증배기와 조합될 수 있는 예시적인 코히어런스 감소 및/또는 펄스 성형 방식을 예시한다.

도 8은 펄스 증배기를 포함하는 예시적인 포토 마스크, 레티클 또는 웨이퍼 검사 시스템을 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 개선된 펄스 증배기의 일 양상에 따라, 각각의 레이저 펄스는 선택적으로 복수의 펄스들로 분할될 수 있다. 일 실시예에서, 이들 펄스들은 대략 동일한 에너지를 가질 수 있고, 시간적으로 대략 동일하게 이격될 수 있다. 레이저 펄스의 이러한 분할은 최소 에너지 손실로, 위에 언급된 문제들에 대한 실용적이고 저렴한 해결책을 제공할 수 있다.

[0019] 도 1a는 각각의 입력 펄스로부터 펄스 트레인들(pulse trains)을 생성하도록 구성되는 예시적인 펄스 증배기(100)를 예시한다. 입력 펄스들은 방향(101)으로부터 도달하고, 출력 방향(102)으로 각각의 펄스의 일부를 투과시키고 미러(106)로 일부를 반사시키는 빔 분할기(103)에 부딪힌다. 입력 및 출력 펄스들은 화살표(104)와 평행한 방향으로 실질적으로 편광(polarize)된다. 따라서, 출력 편광은 입력 편광과 실질적으로 평행하다.

[0020] 미러(106)는 입력 펄스의 광을 프리즘(108)으로 지향시킨다. 프리즘(108)을 떠나는 광은, 빔 분할기(103)로 다

시 광을 지향시키는 미러(107)로 지향된다. 그러므로, 2개의 미러들(106 및 107), 프리즘(108) 및 빔 분할기(103)는 링 캐비티를 형성한다. 미러(107)로부터 빔 분할기(103)에 도달하는 각각의 펄스의 일부는 링 캐비티 외부로 반사되고 일부는 빔 분할기(103)를 통해 투과되며, 링 캐비티를 재순환한다. 빔 분할기(103)는 추후에 보다 상세히 설명된다.

[0021] 미러들(106 및 107)은, 적어도 링 캐비티 주위의 몇 번의 라운드 트립(round trip) 동안 레이저 빔 웨이스트 크기(waist size) 및 형상을 실질적으로 또는 부분적으로 보존하기 위해, 이들이 캐비티 내로 광을 재포커싱하도록 선택되는 곡률 반경들(및 이에 따른 초점(focal) 길이)을 갖는다. 제한이 아닌 예로서, 입력 레이저 펄스들은 실질적으로 콜리메이팅(collimate)될 수 있고 미러(106)는 프리즘(108)의 중심 근처의 빔 웨이스트로 각각의 레이저 펄스를 포커싱할 수 있고, 미러(107)는 각각의 레이저 펄스를 실질적으로 재-콜리메이팅할 수 있다. 이 배열은 빔 분할기(103) 상에 또는 근처에 빔 웨이스트를 갖지 않고, 이에 따라 빔 분할기(103)가 최고 전력 밀도들에 처해지지 않는 이점을 갖는다. 당업자는, 다수의 다른 포커싱 배열들이 가능하다는 것을 이해할 것이다.

[0022] 프리즘(108)의 입력면(input face)(109)은 바람직하게는, 입력면(109)으로부터의 반사로 인한 광 손실을 최소화하도록 프리즘의 물질에 대한 브루우스터의 각(Brewster's angle)과 실질적으로 또는 대략적으로 동일한 각도로 광이 입사되도록 절단된다. 바람직하게는, 출력면(라벨링되지 않음)은 또한 출력면에서의 광 손실을 최소화하도록 브루우스터의 각으로 배향된다. 입력 광 펄스들은 방향(104)으로 실질적으로 편광되기 때문에, 양쪽의 프리즘 면들에 대한 브루우스터의 각의 이용은 실질적으로 프리즘(108)으로 인한 광 손실을 제거한다. 몇몇 바람직한 실시예들에서, 프리즘(108)은 자외선(UV)-그레이드 또는 엑시머-그레이드 퓨징 실리카(excimer-grade fused silica), 칼슘 플루오르화물(CaF_2) 또는 마그네슘 플루오르화물(MgF_2)을 포함할 수 있다.

[0023] 바람직한 실시예들에서, 링 캐비티의 광학 경로 길이는 연속의 입력 펄스들 간의 거리의 단위분수(unit fraction)와 실질적으로 또는 대략적으로 동일하게 되도록 세팅되며, 여기서 두 펄스들 간의 거리는 이들 펄스들 간의 시간 간격만큼 증배되는 광의 속도와 동일하다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서 캐비티의 광학 경로 길이는 실질적으로 또는 대략적으로 입력 펄스들 간의 거리의 1/2, 1/3 또는 1/4가 되도록 세팅될 수 있다. 이러한 링 캐비티들에 대해, 펄스들은 각각 하나 걸러, 두 개 걸러, 또는 3개 걸러서 도달하는 입력 펄스와 실질적으로 또는 대략적으로 일치하게 될 것이다. 제한이 아닌 예로서, 입력 레이저 펄스들은 125MHz의 반복률(repetition rate)을 갖는 경우, 1.199m 링 캐비티 광학 경로 길이는, 대안적으로 2개의 입력 펄스들 사이에 실질적으로 중간에 있고 입력 펄스와 대략적으로 일치하는 펄스들을 생성하여, 250MHz의 반복률로 출력 펄스들을 생성한다.

[0024] 몇몇 실시예들에서, 캐비티 광학 경로 길이는 연속의 입력 펄스들 간의 거리의 단위분수의 적절한 배수로 세팅될 수 있다. 예를 들어, 펄스 배가기(pulse doubler)에서, 링 캐비티 광학 경로 길이는 실질적으로 또는 대략적으로, 거리의 1/2 대신, 연속의 입력 펄스들 간의 거리의 3/2 또는 5/2배가 되도록 세팅될 수 있다. 이 길이는 출력 반복률이 높을 때, 예를 들어, 약 1GHz 이상일 때 유리할 수 있는데, 그 이유는 요구되는 물리적 캐비티 길이가 (반복률 및 미러들로부터의 반사 횟수에 의존하여) 단지 15cm 이하일 것이기 때문이다. 이러한 짧은 링 캐비티 길이는 정렬하기 어려울 수 있거나, 또는 1mm 또는 수mm의 레이저 빔 웨이스트를 수용하기 위해 여러 곡면 미러들 중 하나 상에서 너무 큰 입사각을 요구할 수 있다. 일반적으로, 광학 수차들을 작게 유지하기 위해 곡면 미러들 상의 입사각을 작게 유지하는 것이 바람직하다.

[0025] 링 캐비티 광학 경로 길이는 증배 계수(multiplication factor)로 나누어지는 펄스 간격으로부터 직접 계산되는 공칭 길이보다 약간 더 크거나 약간 더 작을 수 있다. 이 길이는 펄스들이 빔 분할기에 정확히 동일한 시간에 도달하지 않게 하고 출력 펄스를 약간 넓게 한다. 제한이 아닌 예로서, 입력 펄스 반복률이 125MHz이고, 입력 펄스 폭이 대략 100ps일 때, 공칭 링 캐비티 지연은 2에 대한 주파수 증배 동안 4ns(즉, 약 1.199m의 캐비티 광학 경로 길이)일 것이다. 일 실시예에서, 4.05ns에 대응하는 링 캐비티 광학 경로 길이(즉, 약 1.214m의 링 캐비티 광학 경로 길이)는, 증배되는 반사된 펄스들이 서로, 또는 입력 펄스들과 약간만 오버랩하도록 이용될 수 있다. 이러한 방식으로, 125MHz 입력 펄스 반복률에 대한 4.05ns 캐비티 길이는 유리하게는, 펄스를 넓게 하고 펄스 높이를 감소시킬 수 있다. 상이한 입력 펄스 레이트들 또는 증배 계수들을 갖는 다른 펄스 증배기는 상이한 캐비티 지연들을 가질 수 있다. 이 예에서, 약 3.95ns에 대응하는 캐비티 광학 경로 길이는 출력 펄스의 높이에 있어 상당히 유사한 감소를 달성할 것이란 점에 주의해야 한다.

[0026] 레이저 펄스들은 통상적으로 가파른 상승 시간 및 하강 시간을 갖지 않으며 다수의 경우들에서, 대략적으로 가우시안 형상을 갖는다는 것에 주의해야 한다. 피크 전력을 감소시키도록 적절한 링 캐비티 길이를 선택하기 위해, 펄스 폭은 펄스의 반치전폭(Full width at half maximum; FWHM), 또는 $1/e^2$ 폭 또는 펄스 폭의 임의의 다른

척도로서 정의될 수 있다. 몇몇 바람직한 실시예들에서, 캐비티 광학 경로 길이는 펄스 폭의 대략 1/2과 대략적으로 동일한 양만큼, 연속적인 펄스들 간의 간격의 1/2의 등가보다 더 길거나 더 짧도록 세팅될 수 있다.

[0027] 명백히, 도 1a의 빔 분할기(103)는 펄스가 링 캐비티를 일주할 때마다 링 캐비티 외부로 각각의 펄스의 일부를 반사시키고 각각의 펄스의 일부를 링 캐비티 내로 다시 투과시킨다. 그러므로 각각의 펄스의 에너지는 링 캐비티 내부에서 트래버싱되는 각각의 라운드 트립마다 줄어든다. 실제로, 각각의 미러 반사 및 각각의 프리즘 면에서 추가의 에너지 손실이 있을 것이지만, 이들 손실은 통상적으로 빔 분할기에 의해 캐비티 외부로 지향되는 에너지의 부분에 비해 작을 것이다. 시간적으로 서로 가까이 빔 분할기에 도달하는 펄스들의 시퀀스는 에너지 엔벨로프(energy envelope)들을 제공하는 것으로서 특징화될 수 있다. 캐비티의 광학 길이가 입력 펄스들 간의 거리의 대략 1/2인 예시적인 실시예에서, 에너지 엔벨로프는 입력 펄스의 도달과 시간적으로 근접하게 빔 분할기에 도달하는 짝수 펄스 트레인(even pulse train)(즉, 복수의 짝수 펄스) 및 두 입력 펄스들 사이에 시간적으로 대략 중간에 도달하는 홀수 펄스 트레인(즉, 복수의 홀수 펄스)으로 구성된다. 본 발명의 바람직한 실시예들의 일 양상에 따라, 이 에너지 엔벨로프들은 에너지 면에서 실질적으로 또는 대략적으로 동일하다.

[0028] 도 2a는 각각 출력 펄스 트레인들(201A, 201B, 201C, 및 201D)을 구성하는 예시적인 에너지 엔벨로프들(202A, 202B, 202C, 및 202D)을 예시한다. 도시된 바와 같이, 출력 펄스 트레인들은 125MHz 입력의 반복률을 배가시키는 펄스 증배기의 전술한 실시예를 예시한다. 즉, 캐비티 길이는 각각의 라운드 트립 마다 대략 0.05ns의 추가 시간 지연을 부가하도록 선택되어서, 단일 펄스가 전체 캐비티를 트래버싱하는데 걸리는 시간(즉, 0→1, 1→2, 2→3 등)은 4.050ns이다.

[0029] 원래의 펄스들(200A 및 200B)은 전력 엔벨로프들(202A 및 200C)의 부분이 아니지만, 문맥을 위해 도시된다는 것에 주의된다. 특히, 도 1a의 빔 분할기(103)는 출력 펄스 트레인들(201A-201D)을 생성하기 위해 원래의 펄스들(200A 및 200B)을 이용한다. 엔벨로프들(202A 및 202C) 하의 개별 펄스들은 0, 2, 4 및 6으로 라벨링되는데, 그 이유는 제 1 펄스는 링 캐비티에 진입하지 않고, 후속 펄스들이 2, 4, 및 6번 캐비티를 돌기 때문이다. 엔벨로프들(202B 및 202D) 하에서, 개별 펄스들은 각각의 펄스마다 캐비티를 도는 횟수를 표시하기 위해 1, 3, 5 및 7로 라벨링된다. 도 2b는, 펄스 트레인들(201A 및 201B) 각각에서 개별 펄스들의 정규화된 합(normalized sum)이, 미러들 및 프리즘으로부터의 캐비티 손실이 최소인 경우, 서로 실질적으로 동일하게 될 수 있고 각각의 입력 펄스의 총 에너지의 1/2과 대략 동일할 수 있다는 것을 예시한다. 따라서, 펄스 증배기(100)에 대해 설명되는 구성은 피크 전력을 감소시키고 각각의 출력 펄스에서 실질적으로 또는 대략적으로 동일한 에너지를 보장하면서 원래의 펄스 반복률을 배가시킬 수 있다.

[0030] 명백히, 도 1a를 다시 참조하면, 링 캐비티의 각각의 트래버싱 동안, 위에서 설명된 바와 같이, 미러들(106 및 107)은, 이들이 링 캐비티를 일주(travel around)할 때마다 광 펄스들을 재포커싱하여서, (예를 들어, 빔 웨이스트 치수들, 빔 웨이스트 타원율 및 M^2(이는 업계에 잘 알려진 ISO 표준이며, 즉 실제 빔의 빔 파라미터 곱 대 동일한 파장의 이상적인 가우시안 빔의 빔 파라미터 곱의 비임)와 같은 파라미터에 의해 측정되는 바와 같은) 각각의 펄스 형상 또는 프로파일은 적어도 몇 번의 라운드 트립 동안 대략 일정하게 유지된다. 이러한 균일성은 (예를 들어, 도 2a 및 도 2b에 도시된 바와 같이) 엔벨로프마다 또는 하나의 엔벨로프의 시작에서 끝까지의 최소 차이로, 펄스들이 부가되도록 허용한다, 각각의 펄스는 그것이 빔 분할기(103)를 통과할 때마다 에너지 면에서 감소되기 때문에, 에너지는 단지 몇 번의 라운드 트립 동안에만 유효하게 남아있게 된다. 그러므로, 예를 들어, 난시(astigmatism)와 같은 광학 수차들에 의해 야기되는 펄스 형상 또는 품질의 작은 변화들은 감내될 수 있는데, 그 이유는 다수의 라운드 트립 후에 유효한 레벨로 수차들이 구축되는 시간만큼, 펄스 에너지는 경미한 레벨로 줄어들었기 때문이다.

[0031] 따라서, 빔 분할기(103)는 방향(101)으로부터 도달하는 각각의 입력 펄스로부터 펄스 트레인들을 생성할 수 있다.

[0032] 빔 분할기(103)에 의해 투과된 에너지의 단편(fraction)이 T(투과(T)로 또한 불림)에 의해 표현되고, 빔 분할기에 의해 반사된 단편은 R(반사(R)로 또한 불림)에 의해 표현되고, 링 캐비티를 한번 돌아 투과되는 에너지의 단편은 C(링-캐비티 투과로 또한 불림)에 의해 표현되는 경우(빔 분할기에 다시 도달하는 하나의 펄스의 에너지 대 그 동일한 펄스가 빔 분할기에 초기에 남아있을 때 그것의 에너지의 비로서 정의됨), 단일 입력 펄스에 대해, 연속적인 펄스의 출력 에너지는 입력 펄스의 에너지의 단편으로서 표현될 때 T, RCR, RC(TC)R, $RC(TC)^2R$, $RC(TC)^3R$, $RC(TC)^4R$, ...가 될 것이다.

[0033] 에너지의 보존은 $T + R \leq 1$ 및 $C \leq 1$임을 암시한다는 것에 주의해야 한다. 무손실 빔 분할기에 대해 $R + T =$

1이고, 무손실 링 캐비티에 대해 C = 1이다.

[0034] 캐비티의 광학 길이가 2개의 연속적인 펄스들 간의 거리의 1/2과 대략적으로 동일한 경우, 도 2a의 출력 엔벨로프(202A)는 입력 펄스(200A)의 단편(T)(이 엔벨로프 아래 0으로 라벨링됨)에 링 캐비티를 짝수번(이 엔벨로프(202A) 아래 2, 4 및 6으로 라벨링됨) 트래버싱한 모든 펄스들을 더한 것을 포함할 것이다. 엔벨로프(202C)는 마찬가지로, 입력 펄스(200B)의 에너지의 단편(T)(엔벨로프(202C) 아래 0으로 라벨링됨), 캐비티를 2번 돈 펄스(200A)의 에너지의 단편($R^2C(TC)$)(엔벨로프(202C) 아래 2로 라벨링됨)에 링 캐비티를, 4번, 6번 등을 돈 앞선 펄스들의 일부들을 더한 것을 포함할 것이다. 이 합은 도 2b에서 201A로서 도시된다. 도 2a의 출력 엔벨로프들(202B 및 202D)은 각각 링 캐비티를 홀수번 트래버싱한 펄스들의 합들을 포함할 것이다. 예를 들어, 엔벨로프(202B) 아래에 1로 라벨링된 펄스는 링 캐비티를 한번 돈 펄스(200A)의 에너지의 단편(R^2C)이다. 이 합은 도 2b에서 201B로서 도시된다.

[0035] 펄스 증배기(100)의 일 양상에 따라, 빔 분할기의 반사(R), 빔 분할기의 투과(T) 및 링 캐비티 투과(C)는, 도 2b의 합들(201A 및 201B)이 실질적으로 또는 대략적으로 동일하게 되도록 선택된다. 이 합들은 $R^2C = T + T^2C$인 경우 동일할 것이다.

[0036] 빔 분할기 손실은 ε_B에 의해 표현되고(여기서 $\varepsilon_B = 1 - T - R$ 임) 링 캐비티 손실이 ε_C에 의해 표현(여기서 $\varepsilon_C = 1 - C$ 임)되는 경우, 동일한 펄스 엔벨로프들에 대해, T는 다음의 수학식에 의해 주어진다.

[0037] $$T = \frac{(1-\varepsilon_C)(1-\varepsilon_B)^2}{1+2(1-\varepsilon_C)(1-\varepsilon_B)} \approx \frac{1-\varepsilon_C-2\varepsilon_B}{3-2\varepsilon_C-2\varepsilon_B}$$

[0038] ε_B 및 ε_C이 둘 다 1과 비견되게 작을 때 근사식이 유용하며, ε_B 및 ε_C은 실제로 그럴 것이다. ε_B 및 ε_C 둘 다 경미한 경우(즉, 빔 분할기 또는 캐비티 손실 둘 다 크지 않음), 동일한 펄스 엔벨로프들에 대해 T = 1/3 및 R = 2/3이라는 것에 주의해야 한다.

[0039] 도 2b에 도시된 수학식들은 도 1a 및 도 1b의 실시예들에 대한 것이라는 것에 주의해야 한다. 추후에 설명되는 바와 같이, 다른 실시예들을 참조하여, T 및 R의 역할들은 상호 교환된다. 이들 실시예들에 대해, 도 2b에 도시된 바와 같은 수학식들에서, T는 R로, R은 T로 교체되어야 한다.

[0040] T, R 및 미러 코팅들(및 이에 따라 ε_B 및 ε_C)은 통상의 제조 변동률로 인해 컴포넌트 마다 약간 변할 수 있기 때문에, 몇몇 애플리케이션들에서, 각각의 출력 펄스에서 실질적으로 동일한 에너지를 달성하기 위해 링 캐비티에 대한 작은 조정들을 행할 수 있게 되는 것이 바람직할 수 있다. 그러므로, 몇몇 실시예들에서, 캐비티 투과 손실(ε_C)은 홀수 엔벨로프들(즉, 합(201B)) 및 짝수 엔벨로프들(즉, 합(201A)) 아래의 에너지들을 실질적으로 매칭시키도록 조정될 수 있다. 이 조정 동안, 프리즘(108)은 광이 바로 그 브루우스터 각에서 더 이상 부딪히지 않도록 약간 회전될 수 있어서, 각각의 펄스의 작은 단편이 링 캐비티 밖으로 반사되게 하고 그 결과 ε_C를 증가시킨다. 링 캐비티의 미러들의 각도의 작은 조정들은 캐비티 정렬을 유지하기 위해 필요한 바와 같이 이루어질 수 있다. 프리즘(108)의 손실은 광이 브루우스터 각으로 프리즘 상에 입사될 때 최소(실질적으로 0)이기 때문에, 공칭 링 캐비티는, 프리즘의 입사 각에 대해, 브루우스터 각 쪽으로 또는 그와 멀어지는 조정이 가능하도록 브루우스터 각으로부터 약간만 변위되어야 한다는 것을 당업자는 인지할 것이다.

[0041] 도 2a 및 도 2b는 링-캐비티 길이가 입력 레이저 펄스들 간의 간격의 1/2보다 약간(예를 들어, 50ps) 더 긴 경우를 예시한다. 도시된 바와 같이, 각각의 출력 펄스의 엔벨로프들은 최대 세기까지 빠르게 증가하고, 이어서 더 약한 펄스들이 출력에 잇따라 도달하기 때문에 더 느리게 약해진다. 링-캐비티 길이가 입력 레이저 펄스들 간의 간격의 1/2보다 약간 더 짧은(예를 들어, 50ps 더 짧음) 경우, 엔벨로프들은 실질적으로 시간적으로 반전될 것이어서, 최대 세기까지 느리게 구축되고, 이어서 더 빠르게 약해질 것이라는 것이 쉽게 인지될 것이다. 위의 수학식들 및 분석들은 출력 엔벨로프들을 계산하고 조정하도록 응용 가능하다. 몇몇 애플리케이션들에서, 어느 접근법도 반복률을 배가시키고 피크 전력을 감소시키는데 효과적이다.

[0042] 캐비티 길이가 입력 펄스 분리의 1/2 이외의 다른 임의의 단편, 예를 들어, 펄스 분리의 1/3과 실질적으로 등가인 경우, 출력 펄스 엔벨로프들은 도 2b의 것들과 상이한 합들에 의해 결정될 것이란 것에 주의해야 한다. 캐비티 길이가 펄스 분리의 1/3과 실질적으로 동일한 경우, 제 1 엔벨로프는 입력 펄스의 단편(T)에 링 캐비티를 3의 배수(3, 6 등)로 돈 펄스들을 더한 합일 것이고, 제 2 엔벨로프는 링 캐비티를, 1번, 4번, 7번 등을 돈 펄스들의 합일 것이고, 제 3 엔벨로프는 링 캐비티를 2번, 5번, 8번 등을 돈 펄스들의 합일 것이다. 이 링 캐비티 길이에 대해, 제 4 엔벨로프는 실질적으로 첫 번째와 유사할 것이다. 링 캐비티를 두 번 돈 펄스는, 링 캐비티가 보통은 무손실(C=1)인 경우 조차도 한번 돈 펄스보다 반드시 더 약할 것이므로(T는 1 미만의 어떤 값이어야 할 것이므로, 상당한 펄스 에너지가 캐비티에 진입하지 않게 됨), 제 2 및 제 3 출력 엔벨로프들을 심지어 대략 동일하게 되게 하는 것조차도 가능하지 않다. 2보다 더 큰 펄스 레이트 증배 계수가 요구되지만, 각각의 출력 펄스에서 동일한 에너지들이 요구되지 않는 경우, 단일 링 캐비티가 적합할 수 있다. 실질적으로 또는 대략적으로 동일한 펄스 에너지들이 2보다 더 큰 펄스 레이트 증배 계수들에 대해 요구되는 경우, 2개 이상의 펄스 증배기들이 이를 달성하도록 커플링되어야 한다.

[0043] 단순화를 위해, 도 1a는, 광학 컴포넌트들이 입력 및 출력 광 방향들(101 및 102)을 또한 포함하는 하나의 평면에 모두 배치된 것처럼 이들 광학 컴포넌트들을 예시한다는 것에 주의해야 한다. 실제 구현들에서, 컴포넌트들은 3차원으로 배치될 수 있다. 예를 들어, 미러(106)는, 방향(101)으로부터의 입력 광이 프리즘(108) 위를 통과하도록 적어도 부분적으로 아래쪽 방향으로 그 미러에 부딪히는 광을 반사할 수 있다. 이러한 구성에서, 프리즘(108)은, 프리즘을 떠나는 광이 미러(107)쪽으로 위쪽으로 이동하게 되도록 배향될 것이다.

[0044] 빔 분할기(103)는 2개의 미러들 사이의 중간에 배치될 필요가 없다는 것에 또한 주의해야 한다. 다른 실시예들에서, 빔 분할기(103)는 어느 한 미러보다 또 다른 하나의 미러에 훨씬 더 근접하게 배치될 수 있다. 당업자는, 컴포넌트들의 다수의 상이한 배열이 가능하다는 것을 이해할 것이다.

[0045] '075 출원의 펄스 증배기는, 링 캐비티에서 각각의 펄스가 순환할 때 그것을 재포커싱하도록 구성될 때, 도 1a의 펄스 증배기보다 더 많은 컴포넌트들을 요구한다. 또한, '075 출원의 펄스 증배기들은 링 캐비티에서 2개의 상이한 편광 상태들을 이용한다. 이들 편광 상태들은 특히 딥(deep) UV 파장들에서 각각의 표면에 대한 코팅들의 설계를 복잡하게 할 수 있다. 입력 레이저 펄스들의 고 피크 전력 레벨을 감내하면서 양자의 편광 상태들에 대해 잘 작동하는 딥 UV 빔 분할기들의 제조는 어려울 수 있다. 마찬가지로, 링 캐비티, 이러한 파장판들('075 실시예들에서), 렌즈들 또는 프리즘들에서 투과 엘리먼트들에 대한 강건한 딥 UV 반사 방지 코팅이 없을 수 있다. 그러므로, 하나의 대안적인 실시예에서, 프리즘(108)의 면들에 대한 브루우스터 각들의 이용은, 최소 광 손실이 프리즘 면들 상의 어떠한 코팅도 없이 달성될 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 아래에서 더 상세히 설명되는 바와 같이, 링의 정렬은 더 적은 컴포넌트들을 이용하여 단순화될 수 있다.

[0046] 도 1b는 단일 링 캐비티로부터 획득될 수 있는 것보다 더 높은 증배 계수를 생성하기 위해 2개의 링 캐비티들을 포함하는 예시적인 펄스 증배기(110)를 예시한다. 예를 들어, 제 1 링 캐비티는 입력 레이저의 반복률의 2배로 실질적으로 동일한 에너지의 펄스들을 생성하도록 구성될 수 있다. 제 2 링 캐비티는 제 1 링 캐비티의 출력의 반복률의 2배로 실질적으로 동일한 에너지의 펄스들을 생성하도록 구성되어서, 각각의 출력 펄스에서 실질적으로 동일한 에너지를 유지하면서 입력 레이저의 반복률을 4만큼 증배하게 된다. 제 1 링 캐비티에 대해 위에서 설명된 모든 방법들 및 구성들 중 임의의 것이 제 2 링 캐비티에 적용될 수 있다.

[0047] 도 1b에서, 제 1 링 캐비티는 위에서 설명된 바와 같은 컴포넌트들(103, 106, 108, 및 107)을 포함한다. 빔 분할기(113), 미러들(116 및 117) 및 프리즘(118)을 포함하는 제 2 링 캐비티는, 제 2 링 캐비티가 직접적으로 레이저의 것이 아니라 제 1 링 캐비티의 출력의 펄스 레이트를 증배한다는 것을 제외하면 제 1 링 캐비티와 유사한 방식으로 기능한다. 제 1 링 캐비티의 빔 분할기(103)로부터의 광은 제 2 링 캐비티의 빔 분할기(113)로 지향된다. 빔 분할기(113)는 빔 분할기(103)과 실질적으로 유사하게 기능한다. 미러들(116 및 117)은 제 2 링 캐비티 내에서 레이저 펄스들을 재포커싱하고, (바람직한 실시예들에서, 제 1 링 캐비티의 광학 경로 길이보다 더 짧은) 제 2 링 캐비티의 광학 경로 길이에 적절한 곡률 반경들(및 이에 따른 초점 길이)을 갖는다. 프리즘(118)은 바람직하게는, 실질적으로 또는 대략적으로 브루우스터 각으로 절단된 입력 및 출력 면들을 갖는다(그 입력면은 119로 라벨링됨). 출력 광은 방향(112)으로 제 2 링 캐비티를 떠나고, 제 1 링 캐비티로부터의 펄스들 및 제 2 링 캐비티를 순환한 펄스들의 조합을 포함한다.

[0048] 도 1c는 (도 1a에 도시된 바와 같이) 2개의 미러들이 아니라 하나의 미러를 이용하는 다른 예시적인 펄스 증배기(120)를 예시한다. 이 실시예에서, 입력 광은 방향(121)으로부터 도달하고 빔 분할기(123)에 의해 출력 방향(122)으로 부분적으로 반사된다(도 1a의 실시예와 비교하면, 입력 광의 일부가 출력 방향으로 투과됨). 빔 분할

기(123)를 통해 투과된 광은, 미러(126), 프리즘(128) 및 빔 분할기(123)를 포함하는 링 캐비티에 진입한다. 미러(126)는 링 캐비티내에서 순환하는 광을 재포커싱한다. 바람직하게는, 미러(126)의 곡률 반경은, 빔 웨이스트가 링 캐비티를 일주할 때마다 1의 배율로 재포커싱되도록 링 캐비티의 광학 경로 길의 1/2과 실질적으로 동일하다. 도 1a의 실시예에서와 같이, 브루우스터 각 절단은 바람직하게는, 이들 면들에서 반사 손실을 최소화하거나 대부분 제거하도록 프리즘(128)의 입력 및 출력 면들에 대해 이용된다(프리즘(128)의 입력면은 도 1c에서 129로 라벨링됨). 더 앞의 실시예들과 유사한 방식으로, 입력 광은 프리즘(128)에서 손실을 대부분 제거하도록 실질적으로 또는 대략적으로 방향(124)으로 편광되어야 한다. 광이 프리즘(128)을 나간 후, 광은 빔 분할기(123)로 다시 지향되며, 여기서 각각의 펄스의 일부가 출력 방향(122)으로 빔 분할기(123)를 통해 투과되고 일부가 링 캐비티 내로 다시 반사된다.

[0049] 펄스 증배기(120)는, 도 1c의 빔 분할기(123)의 투과 및 반사의 역할이 도 1a의 빔 분할기(103)의 그들의 역할들에 대해 서로 교환된다는 것을 제외하면, 도 1a의 펄스 증배기(100)와 실질적으로 유사한 방식으로 기능한다. 위의 수학식들은 R 및 T가 서로 교환되는 한 이 링 캐비티에 적용될 수 있다. 증배기(120)를 이용하여 입력 펄스들의 레이트를 배가시킬 때 실질적으로 동일한 펄스 엔벨로프들을 위해, 캐비티 및 빔 분할기 손실이 경미한 경우 R은 대략 1/3이어야 하고, T는 대략 2/3이어야 한다. 도 1a의 증배기(100)에 대해 위에서 교시된 바와 같이 링 캐비티 및/또는 빔 분할기 손실이 존재할 때 실질적으로 동일한 펄스 엔벨로프들을 유지하기 위해 R 및 T에 대해 약간 상이한 값들이 선택될 수 있다.

[0050] 펄스 증배기(100)(도 1a)보다 나은 펄스 증배기(120)(도 1c)의 하나의 이점은, 펄스 증배기(120)는 2개의 미러들이 아닌 하나를 이용하여 특히 딥 UV 파장들에서 광 손실을 더 적게 한다는 것이다. 더 적은 컴포넌트들은 또한 링 캐비티의 광학 정렬을 단순하게 할 수 있다. 다른 한편, 난시 및 레터럴 컬러(lateral color)와 같은 광학 수차들은 (펄스 증배기(100)에 비해) 펄스 증배기(120)에 대해 더 클 수 있다는 것에 주의해야 한다. 이들 광학 수차들이 허용 가능한지 여부는 레이저의 빔 웨이스트, 링 캐비티 길이 및 요구된 출력 펄스 빔 프로파일에 의존한다. 당업자가 이해할 것처럼, 곡면 미러(126) 상에서 낮은 입사각을 유지하는 것은 광학 수차를 최소화하는데 도움을 준다.

[0051] 도 1d는 단일 링 캐비티로부터 편리하게 획득될 수 있는 것보다 더 높은 증배 계수를 생성하기 위해 도 1c에 도시된 것과 유사한 2개의 링 캐비티들을 포함하는 대안적인 예시적 펄스 증배기(130)를 예시한다. 예를 들어, 제 1 링 캐비티는 입력 레이저의 반복률의 2배로 실질적으로 동일한 에너지의 펄스들을 생성하도록 구성될 수 있다. 제 2 링 캐비티는 제 1 링 캐비티의 출력의 반복률의 2배로 실질적으로 동일한 에너지의 펄스들을 생성하도록 구성될 수 있어서, 각각의 출력 펄스에서 실질적으로 동일한 에너지를 유지하면서 입력 레이저의 반복률을 4만큼 증배하게 된다.

[0052] 도 1d에서, 제 1 링 캐비티는 위에서 설명된 바와 같이, 빔 분할기(123), 미러(126) 및 프리즘(108)을 포함한다. 제 2 링 캐비티는 빔 분할기(133), 미러(137) 및 프리즘(138)을 포함한다. 제 1 링 캐비티의 빔 분할기(123)로부터의 광은 제 2 링 캐비티의 빔 분할기(133)로 지향된다. 빔 분할기(133)는 빔 분할기(123)와 실질적으로 유사하게 기능한다. 미러(137)는 제 2 링 캐비티내에서 레이저 펄스들을 재포커싱하고, 바람직하게는, 제 2 링 캐비티의 광학 경로 길이의 1/2와 실질적으로 동일한 곡률 반경을 갖는다. 다른 실시예들에 대해 위에서 설명된 바와 같이, 프리즘(138)은 바람직하게는, 입사 및 투과 광선들이 입력 및 출력 면들에 대해 실질적으로 또는 대략적으로 브루우스터의 각이 되도록 절단된 입력 및 출력 면들을 갖는다. 출력 광은 방향(132)으로 빔 분할기(133)를 통해 제 2 링 캐비티를 떠나고, 제 1 링 캐비티로부터의 펄스들 및 제 2 링 캐비티 주위를 순환한 펄스들의 조합을 포함한다. 빔 분할기(133)는 또한 이전의 실시예들에 대해 설명된 바와 같이 각각의 펄스의 단편을 재순환시킨다.

[0053] 도 1e는 도 1c의 레이아웃과 상이한 레이아웃(그러나 컴포넌트들은 동일함)을 갖는 다른 예시적인 펄스 증배기(140)를 도시한다. 링 캐비티에서 광의 입사각이 도 1c의 미러(126) 및 빔 분할기(123) 상에서와 실질적으로 유사한 경우, 이들 입사각들을 낮게 유지하는 것은, 미러(126)로부터, 프리즘(128)을 통과하여 빔 분할기(123)까지의 광학 경로 길이가, 빔 분할기(123)로부터 미러(126)까지의 광학 경로 길이보다 약간만 더 길어지게 할 것이다. 미러(126)는 바람직하게는, 캐비티의 총 광학 경로 길이의 1/2과 실질적으로 동일한 곡률 반경을 갖기 때문에, 레이저 펄스들은, 프리즘(128)과 빔 분할기(123) 사이에 있지만 통상적으로 빔 분할기(123)에 상당이 근접한 위치에서 빔 웨이스트로 재포커싱될 것이다. 딥 UV 파장들에서 이용되는 펄스 증배기들에 있어서, 이는 빔 분할기(128)의 표면 상에 입사되는 고전력 밀도를 발생시킬 것이고, 그의 수명을 저하시킬 수 있다.

[0054] 도 1e의 실시예는 빔 분할기(123)의 표면으로부터 추가로 조금 빔 웨이스트를 이동시키기 위해 링 캐비티의 지

오메트리를 변형한다. 몇몇 바람직한 실시예들에서, 빔 웨이스트는 빔 분할기(123)의 표면과 프리즘(128)의 출력면 사이의 대략 중간에 배치된다.

[0055] 도 1e에 도시된 바와 같이, 빔 분할기(123)와 미러(126) 간의 거리는 d1이고, 미러(126)와 프리즘(128)의 입력면 간의 거리는 d2이고, 광이 이어지는 축을 따른 프리즘(128)의 길이는 L1이고, 프리즘(128)의 출력면으로부터 빔 분할기(123)까지의 거리는 d3이다. 그러므로 링 캐비티의 총 광학 경로 길이는 d1 + d2 + d3 + L1*n이며, 여기서 n은 레이저의 파장에서 프리즘 물질의 굴절률이다. 예를 들어, 프리즘(128)이 CaF_2를 포함하고, 레이저 파장이 266nm인 경우, 굴절률은 1.462일 것이다. 예를 들어, 입력 레이저의 반복률이 125MHz이고 반복률의 배가(doubling)가 링 캐비티에 의해 수행되는 경우, 링 캐비티의 광학 경로 길이는 4ns로 광이 이동한 거리, 즉, 약 1.199m와 대략 동일하게 되어야 한다. 위에서 설명된 바와 같이, 특정한 바람직한 실시예들에서, 링 캐비티의 광학 경로 길이는 레이저의 피크 전력을 추가로 감소시키기 위해 이 거리보다 약간 더 길거나 약간 더 짧은 길이로 세팅될 것이다. 예를 들어, 링 캐비티의 광학 경로 길이는 125MHz의 반복률을 갖는 레이저에 대해 대략 1.214m로 세팅될 수 있다.

[0056] 위에서 설명된 바와 같이, 바람직하게는, 미러(126)의 곡률의 반경은 광학 경로 길이의 1/2에 대략 동일하다. 레이저 빔 웨이스트는 미러(126)로부터 광학 경로 길이의 1/2 떨어져서 재포커싱될 것이다. 입력 레이저는 바람직하게는, 레이저 빔 웨이스트로부터 미러(126)까지의 광학 경로 거리는 또한 캐비티의 광학 경로의 1/2와 대략적으로 동일하게 되도록 빔 분할기(123) 앞에서 포커싱되어야 한다.

[0057] 미러(126) 상의 입사각은 Θ_1이 되어서, 미러(126) 상에 입사되는 광은 도시된 바와 같이 $2\Theta_1$의 각도를 통해 반사되게 된다. 빔 분할기(123) 상의 입사각은 Θ_2이다. 프리즘(128)에 대한 브루우스터의 각(Θ_B)은 레이저 파장에서 프리즘 물질의 굴절률에 의해 결정된다. 266nm의 파장의 CaF_2에 대해, 브루우스터의 각은 대략 55.6° 이다. 도시된 바와 같이, 브루우스터의 각으로 프리즘(128)의 면 상에 입사되는 광선은 $2\Theta_B$-90° (즉, 266nm의 파장에서 CaF_2에 대해 약 21.3° 의 각도)와 동일한 각도만큼 벗어나게 된다. 프리즘(128)은 빔 분할기(123)와 미러(126) 사이의 광에 평행한 라인에 대해 각도 δ로 도시된 바와 같이 경사진다.

[0058] 지오메트리에 대해, 다음의 관계가 도출될 수 있다:

$$2\theta_1 = 2\theta_B - 90° + \delta$$

$$2\theta_2 = 2\theta_B - 90° - \delta$$

$$d1 = L1*\cos(\delta) + d2*\cos(2\theta_1) + d3*\cos(2\theta_2)$$

$$d3*\sin(2\theta_2) = d2*\sin(2\theta_1) + L1*\sin(\delta)$$

[0059]

[0060] 원하는 링 캐비티 광학 경로 길이 및 프리즘(128)의 특성들과 조합되는 이들 수학식들은, 광학 수차를 허용 가능하게 유지하도록 미러(126) 상에서 합리적으로 작은 입사각(Θ_1)을 유지하면서, 적절한 각도, 프리즘 길이(L1) 및 컴포넌트 분리(d1, d2 및 d3)의 선택으로, 원하는 위치에 빔 웨이스트를 배치시킬 수 있다.

[0061] 도 1b 및 도 1d에 도시된 것과 유사한 방식으로, 도 1e에 도시된 것과 같은 2개의 캐비티들은 4배 증배율과 같은 더 높은 증배율을 달성하기 위해 포함(즉, 광학적으로 커플링)될 수 있다.

[0062] 도 3a는 프리즘을 포함하지 않고 그에 따라 레이저 파장 및 피크 전력 레벨과 양립 가능한 프리즘에 대해 쉽게 이용 가능하고 및/또는 저렴한 물질이 없을 때 이용될 수 있는 예시적인 레이저 펄스 증배기(300)를 도시한다.

[0063] 레이저 펄스들은 방향(301)으로부터 도달한다. 각각의 펄스의 일부는 빔 분할기(303)로부터 출력 방향(302)으로 반사되고 일부는 (그것의 교차 경로들로 인해 버터플라이 링 캐비티(butterfly ring cavity)라 불릴 수 있는) 링 캐비티에 진입한다. 위에서 설명된 바와 같이, 링 캐비티 및 빔 분할기(303)가 무손실인 경우, 빔 분할기(303)는 바람직하게는, 각각의 레이저 펄스의 에너지 중 약 1/3을 반사시키고 링 캐비티 내로 약 2/3를 투과시킬 것이다. 위에서 설명된 바와 같이, 이들 값들은 펄스 레이트 배가기에서 실질적으로 동일한 에너지 출력 펄스들을 유지하기 위해 빔 분할기 및 링 캐비티 손실을 참작하여 변형될 수 있다.

[0064] 레이저 펄스가 링 캐비티에 진입한 후, 레이저 펄스는 평판 미러(304)로부터 반사되어 곡면 미러(305) 쪽으로 지향된다. 미러(305)는 곡면 미러(306) 쪽으로 레이저 펄스를 반사시킨다. 미러(306)는 빔 분할기(303) 쪽으로

다시 레이저 펄스를 반사시킨다. 미러들(305 및 306)의 곡률들은 링 캐비티 내부로 레이저 펄스를 각각 재포커싱하도록 선택된다. 곡률의 반경 및 그에 따른 미러들(305 및 306)의 초점 길이들의 상이한 조합들이 가능하다. 예를 들어, 입력 레이저 펄스들은 빔 분할기(303)와 미러(304) 사이의 실질적으로 중간에서 빔 웨이스트에 포커싱될 수 있다. 미러(305)는 레이저 펄스들을 콜리메이팅하도록 선택된 곡률의 반경을 가질 수 있다. 미러(306)는 빔 분할기(303)와 미러(304) 사이의 실질적으로 중간에서 빔 웨이스트에 각각의 펄스를 재포커싱하도록 동일한 곡률 반경(컴포넌트들의 대칭적 레이아웃을 가정함)을 가질 수 있다. 다른 실시예에서, 레이저 입력 펄스들이 실질적으로 콜리메이팅된다. 이 경우에, 미러(305)는 미러들(305 및 306) 사이의 실질적으로 중간에서 빔 웨이스트에 레이저 펄스들을 재포커싱할 수 있다. 미러(306)는 이어서 레이저 펄스들을 재-콜리메이팅할 수 있다. 당업자는, 위에서 설명된 2개 이외에도, 다른 재포커싱 방식들이 가능하다는 것을 이해할 것이다.

[0065] 펄스가 빔 분할기(303)에 부딪힐 때, 펄스의 일부는 출력 방향(302)으로 투과되고 일부는 링 캐비티로 재순환된다. 위에서 설명된 바와 같이, 캐비티 길이는 2개의 연속 입력 레이저 펄스들 간의 간격의 1/2보다 약간 더 크거나 약간 더 작은 것과 등가일 수 있다.

[0066] 당업자는 평판 미러(304) 및 곡면 미러들(305 및 306) 중 하나가 곡면 미러들의 초점 길이의 적절한 변화에 따라 위치에 있어서 교환될 수 있다는 것을 이해할 것이다.

[0067] 도 3b는 단일 링 캐비티로부터 편리하게 획득될 수 있는 것보다 더 높은 증배 계수를 생성하기 위해 도 3a에서 예시된 것과 유사한 2개의 링 캐비티들을 포함할 수 있는 대안적인 예시적 펄스 증배기(310)를 예시한다. 예를 들어, 제 1 링 캐비티는 입력 레이저의 반복률의 2배로 실질적으로 동일한 에너지의 펄스들을 생성하도록 구성될 수 있다. 제 2 링 캐비티는 제 1 링 캐비티의 출력의 반복률의 2배로 실질적으로 동일한 에너지의 펄스들을 생성하도록 구성될 수 있어서, 각각의 출력 펄스에서 실질적으로 동일한 에너지를 유지하면서 입력 레이저의 반복률을 4만큼 증배하게 된다.

[0068] 도 3b에서, 제 1 링 캐비티는 위에서 설명된 바와 같이 컴포넌트들(303, 304, 305 및 306)을 포함한다. 제 2 링 캐비티는 빔 분할기(313) 및 미러들(314, 315 및 316)을 포함한다. 제 1 링 캐비티의 빔 분할기(303)로부터의 광은 제 2 링 캐비티의 빔 분할기(313)로 지향된다. 빔 분할기(313)는 빔 분할기(303)와 실질적으로 유사하게 기능한다. 미러(314)는 광을 곡면 미러(315)에 재지향시킨다. 미러들(315 및 316)은 제 2 링 캐비티 내에서 레이저 펄스들을 재포커싱한다. 출력 광은 방향(312)으로 빔 분할기(313)를 통해 제 2 링 캐비티를 떠나고, 제 1 링 캐비티로부터의 펄스들과 제 2 링 캐비티를 순환한 펄스들의 조합을 포함한다. 빔 분할기(313)는 또한 이전의 실시예들에 대해 설명된 바와 같이 각각의 펄스의 단편을 재순환시킨다.

[0069] 도 3b는 컴포넌트들이 하나의 평면으로 배치된 것처럼 컴포넌트들을 도시하지만, 레이아웃은 3차원일 수 있다는 것에 주의해야 한다. 예를 들어, 방향(101)으로부터의 입력 레이저 펄스들은 제 2 링 캐비티의 광학 컴포넌트들 위 또는 아래를 이동할 수 있다.

[0070] 도 4a는 또한 프리즘을 포함하지 않는 다른 예시적인 레이저 펄스 증배기(400)를 도시한다. 이 실시예는 단지 빔 분할기 및 실질적으로 동일한 곡률 반경의 2개의 곡면 미러들만을 포함한다. 이 실시예의 정렬은 특히 단순하다. 이 실시예는 Herriott 등에 의한 "Off-axis Spherical Mirror Interferometers", Applied Optics 3, #4, pp523-526 (1964) 및 Herriott 등에 의한 "Folded Optical Delay Lines", Applied Optics 4, #8, pp883-889 (1965)에서 설명된 바와 같은 해리어트 셀과 유사하다. 명백히, 이 실시예는 펄스 증배를 수행하기 위해 링 캐비티 내에 빔 분할기를 포함한다. 해리어트 등에 의한 인용들은 캐비티 내의 빔 분할기의 통합을 설명하지 않고 펄스 레이트 증배 애플리케이션들을 설명하지 않는다.

[0071] 레이저 펄스들이 방향(401)으로부터 도달한다. 각각의 펄스의 일부는 출력 방향(402)으로 빔 분할기(407)에 의해 투과되고 일부들은 링 캐비티에 진입한다. 도 1a에 대해 위에서 설명된 바와 같이, 펄스 레이트 배가기로서 이용될 때, 링 캐비티 및 빔 분할기(407)는 무손실인 경우, 빔 분할기(407)는 바람직하게는, 각각의 레이저 펄스의 에너지의 약 1/3을 투과시키고 링 캐비티 내로 약 2/3를 반사시킨다. 위에서 설명된 바와 같이, 이들 값들은 펄스 레이트 배가기에서 실질적으로 동일한 에너지 출력 펄스들을 유지하기 위해 빔 분할기 및 캐비티 손실을 참작하도록 변형될 수 있다.

[0072] 레이저 펄스들이 링 캐비티에 진입한 후, 레이저 펄스는 곡면 미러(405)로부터 반사되고 곡면 미러(406) 쪽으로 지향된다. 미러(406)는 미러(405) 쪽으로 다시 광을 재지향시킨다. 2개의 미러들로부터의 다중 반사(도 4a에 도시된 예에서 각각의 미러로부터의 2번의 반사) 후에, 펄스는 재포커싱 후 빔 분할기(407)에 다시 도달한다. 헤리어트 등(1964)에 의해 설명된 바와 같이, 각각의 미러로부터의 반사 횟수는 미러들의 분리(d)에 대한 2개의

미러들의 곡률의 반경들에만 의존하며, 광이 링 캐비티에 진입하는 정확한 각도에 의존하지 않는다. 예를 들어, 2개의 미러들의 곡률의 반경들이 d(즉, 각각의 미러의 초점 길이는 d/2임)인 경우, 각각의 미러로부터의 2번의 반사 후, 각각의 펄스는 재포커싱될 것이고, 빔 분할기(407)에 다시 도달할 것이며, 여기서 펄스의 일부가 방향(402)으로 링 캐비티 외부로 반사될 것이고, 일부는 링 캐비티 내로 다시 투과될 것이다. 해리어트 등(1964)은 각각의 미러의 2, 3, 4, 6, 12 및 24번의 반사에 대해 d의 배수로서 미러들의 초점 길이(및 이에 따른 곡률의 반경)에 대한 값들을 제공한다. 해리어트 등(1964)에 의해 설명된 바와 같이, 다른 횟수의 반사가 가능하다. 해리어트 등에 의해 설명된 바와 같이, 반사는 반사 횟수 및 빔 분할기(407)로부터 미러(405) 상에 광이 입사되는 각도에 의존하여 한 평면에 있지 않을 수 있다. 각각의 미러로부터의 2번 초과의 반사는 각각의 미러로부터의 2번의 반사를 이용하는 캐비티에 비해 캐비티를 더 컴팩트(compact)하게 한다. 그러나 일부 광이 각각의 미러 반사에서 손실되기 때문에, 미러 당 2번의 반사는, 미러 반사 손실이 (예를 들어, 딥 UV 파장들에서만큼) 그리 작지 않을 때 바람직하지만, 미러 당 2번 초과의 반사는, (예를 들어, 적외선, 가시 또는 UV 근처 파장들에서) 반사 당 손실이 작을 때 유용할 수 있다.

[0073] 펄스 증배기(400)는 입력 레이저 펄스들의 빔 웨이스트의 위치에 무관하게 레이저 펄스들을 재포커싱할 것이어서, 방향(402)으로 떠나는 출력 펄스들은 입력 펄스들과 대략적으로 또는 실질적으로 유사한 다이버전스(divergence) 및 빔 웨이스트 위치를 갖는 것으로 나타나게 된다. 펄스 증배기(400)의 몇몇 바람직한 실시예들에서, 방향(401)으로부터의 입력 레이저 펄스들은 빔 분할기(407) 상에 입사되는 전력 밀도를 최소화하도록 실질적으로 콜리메이팅될 것이다. 출력 레이저 펄스들은 이어서 또한 실질적으로 콜리메이팅될 것이다.

[0074] 도 4b는 도 4a의 펄스 증배기(400)보다 더 컴팩트한 다른 펄스 레이트 증배기(410)를 도시한다. 펄스 증배기(410)는 곡면 미러(415)로부터의 광을 레트로-반사(retro-reflect)시키기 위해 평판 미러(416)를 이용하여, 동일한 캐비티 광학 경로 길이에 대한 펄스 증배기(400)에 비해 증배기의 2개의 미러들 간의 거리를 반감(halving)시킨다(즉, 펄스 증배기(410)에 대한 d/2의 미러 분리는 펄스 증배기(400)에 대한 d의 미러 분리와 동일한 광학 경로 길이를 발생시킴). 곡면 미러(415)는 미러(405)(도 4a)와 동일한 곡률 반경을 갖는다. 펄스 증배기(400)보다 나은 펄스 증배기(410)의 다른 이점은, 빔 분할기(417)는 평판 미러(416)와 대략적으로 동일 평면에 배치되고, 그리하여 구성 및 정렬을 단순하게 한다. 빔 분할기(417)의 반사 및 투과의 역할들은 펄스 증배기(400)에서 빔 분할기(407)의 그들의 역할들과 비교해 상호교환된다는 것에 주의해야 한다.

[0075] 펄스 증배기(410)는 입력 및 출력 레이저 펄스들을 분리하기 위해 제 2 빔 분할기(413)를 이용한다. 도 4b에 도시된 실시예에서, 빔 분할기(413)는 입력 레이저 펄스들 중 실질적으로 100%를 투과시키도록 배열된 편광 빔 분할기(polarizing beam splitter)이며, 이는 실질적으로 화살표(404)에 의해 도시된 바와 같이 빔 분할기(413)에 대해 p 편광된다. 특정한 실시예들에서, 이 투과는 방향(411)으로부터의 광이 레이저의 파장에 대해 대략 브루우스터의 각으로 입사되도록 빔 분할기(413)를 배향함으로써 달성된다.

[0076] 빔 분할기(413)가 각각의 출력 펄스의 에너지의 높은 퍼센티지를 반사하기 위해, 출력 펄스들의 편광이 빔 분할기(413)에 대한 s 편광으로서 실질적으로 배향될 필요가 있다. 이 편광은 빔 분할기들(413 및 417) 간에 배치되는 1/4파장판(418)에 의해 달성될 수 있다. 1/4파장판(418)은 입력 편광을 실질적으로 원 편광(circular polarization)으로 변환하도록 배향된다. 링 캐비티 내부에서 홀수의 반사(도 4b에 도시된 실시예에서 7번의 반사) 후에, 원 편광의 핸디드니스(handedness)는 반전되어서(즉, 좌측 원은 우측 원 편광이 되거나 그 반대도 가능함), 출력 펄스들이 1/4파장판(418)을 통과할 때, 이들은 입력 편광에 대해 90° 회전된 실질적으로 선형 편광으로 역으로 변환되게 된다. 1/4파장판(418)은 링 캐비티 내에 파장판들을 포함하는 '075의 실시예에 대조적으로 링 캐비티 외부에 있다는 것에 주의해야 한다.

[0077] 본 명세서에서 설명된 펄스 증배기의 실시예들 중 어느 것도 링 캐비티 내의 파장판을 요구하지 않는다는 것에 주의해야 한다. 대신, 빔 분할기 만이 캐비티를 떠나는 각각의 펄스의 단편 및 캐비티로 재순환되는 단편을 결정하는데 이용된다.

[0078] 펄스 증배기(410) 내의 빔 웨이스트는 미러(416)의 표면 상에 있거나 그 근방에 있을 수 있다는 것에 주의해야 한다. 펄스 증배기(410) 또는 펄스 증배기(400)를 이용할지에 관한 선택은, 레이저의 파장, 전력 밀도, 및 링 캐비티에 대해 이용 가능한 공간에 의존한다.

[0079] 도 1 및 도 3의 실시예들과 유사한 방식으로, 도 4a 및 도 4b에 도시된 실시예들의 2개 이상의 펄스 증배기들은 더 높은 증배 레이트들을 달성하기 위해 함께 커플링될 수 있다.

[0080] 유리하게는, 검사 시스템들은 위에서 설명된 펄스 증배기들을 포함할 수 있다. 검사 시스템은 명-시야(bright-

field) 검사 시스템, 암-시야 검사 시스템, 또는 명-시야 및 암-시야 모드들 둘 다를 갖는 시스템일 수 있다. 검사 시스템은 반도체 웨이퍼들 또는 포토-리소그래피 마스크들을 검사하도록 구성될 수 있다. 특히, 검사 시스템은 패터닝된 샘플 상의 패터닝 결함들을 검출하도록 구성될 수 있거나, 또는 패터닝되거나 패터닝되지 않은 표면 상의 미립자들, 구멍들(pits) 또는 범프들을 검출하도록 구성될 수 있다.

[0081] 예를 들어, 위에서 설명된 펄스 증배기들에 의해 생성된 고반복률 레이저 펄스들은, 단일 레이저 펄스가 검사될 이동 샘플(예컨대, 웨이퍼 또는 레티클)의 부분을 조명하고 이미지가 카메라에 의해 취득되는 플래시-온-더-플라이(flash-on-the-fly) 검사 시스템에서 이용될 수 있다. 각각의 레이저 펄스가 짧은 지속기간을 갖기 때문에, 움직임(motion)이 효과적으로 프리징되고(frozen) 명확한 이미지(un-blurred image)가 취득된다. 유리하게는, 위에서 설명된 펄스 증배기들에 의해 제공된 바와 같은 더 높은 반복률은 단위 시간 당 더 많은 이미지들이 취득되는 것을 가능케 하여 더 빠른 움직임을 허용한다. 플래시-온-더-플라이 검사 시스템에서 이용되는 펄스 증배기의 몇몇 실시예들에서, 일 목적이 움직임을 프리징하는 것이기 때문에, 펄스 레이트를 증배시킬 때 각각의 레이저 펄스를 몹시 넓히지 않는 것이 바람직하다. 이에 따라, 이러한 실시예들에서, 캐비티 길이는 연속의 입력 펄스들 간의 시간 간격의 1/2과 실질적으로 등가가 되도록 세팅될 수 있다.

[0082] 도 5는 펄스 증배기(520)를 포함하는 광 소스를 포함하는 예시적인 패터닝되지 않은 웨이퍼 검사 시스템(500)을 예시한다. 시스템(500)에서, 웨이퍼(501)는 웨이퍼의 전체 표면이 스캐닝 가능한 것을 보장하는 메커니즘(502)을 이용하여 회전 및 병진(translate)될 수 있다. 펄스 증배기(520)는 유리하게는, 웨이퍼(501) 상으로 지향되는 수직 빔(503) 및 경사 빔(504)에 대한 펄스들을 생성할 수 있다. 웨이퍼(501)로부터의 반사된 입사 광은 이어서 예를 들어, 코블렌츠 구(Coblenz sphere)(508) 및 광학계(509)를 이용하여 검출기들(단순함을 위해 도시되지 않음) 상에 지향된다. 시스템(500)은 예를 들어, 좁은 광자 증배기 튜브(photo multiplier tube; PMT)(505) 및 넓은 PMT(506)를 포함하는 좁고 넓은 검출 경로들을 제공할 수 있다. Jann 등에 의해 1993년 2월 23일 발행된 미국 특허 번호 제5,189,481호는 시스템(500)을 더 상세히 설명하며, 본 명세서에서 인용에 의해 포함된다. 명백히, 펄스 증배기(520)는 UV, 딥 UV, 또는 진공 UV 레이저로부터의 펄스들을 증배시킨다. 펄스 증배기(520)는 유리하게는, 어떤 레이저가 이용되든지 간에 피크 전력을 감소시키면서 반복률을 증가시킬 수 있다.

[0083] Vaez-Iravani 등에 의해 2001년 3월 13일 발행된 미국 특허 번호 제6,201,601호 및 Marx 등에 의해, 2001년 8월 7일 발행된 미국 특허 번호 제6,271,916호는 본 명세서에서 설명된 펄스 증배기들 중 임의의 것을 유리하게 포함할 수 있는 패터닝되지 않은 웨이퍼 검사 시스템들에 관한 추가의 세부사항들을 제공한다. 이들 두 특허들은 본 명세서에 인용에 의해 포함된다.

[0084] 도 6은 거의-수직 및 경사 조명(명확성을 위해 경사 조명(602)만이 도시됨)을 제공할 수 있는 펄스 증배기(601)를 포함하는 광 소스를 포함하는 예시적인 패터닝된 웨이퍼 검사 시스템(600)을 예시한다. 펄스 증배기(601)는 UV, 딥 UV, 또는 진공 UV 레이저로부터 펄스들을 생성할 수 있다. 유리하게는, 펄스 증배기(601)는 이용되는 레이저의 피크 전력을 감소시키면서 그것의 반복률을 증가시킬 수 있다. 시스템(600)에서, 다중채널 콜렉션(603)은 증가된 신호 대 잡음 비(SNR)를 갖는 큰 콜렉션 영역, 비닝(binning) 및 채널 융합(channel fusion)을 제공할 수 있다. 펄스 증배기(601)에 의해 생성된 바와 같은 조명 편광은 이전의 층 억제(layer suppression) 및 결함 선택율을 제공할 수 있다. 다중-채널 콜렉션(603)을 용이하게 하는 조명 채널들은 웨이퍼(604) 상의 하나 이상의 스폿들, 하나 이상의 좁은 라인들, 또는 직사각형 영역을 조명할 수 있다. 검출 채널들은 (패턴 억제를 위한) 푸리에 필터링, 편광 선택, 각 범위 및/또는 개구수(NA) 제어를 포함할 수 있다. 2009년 4월 28일 Leong 등에 의해 발행되었으며, 인용에 의해 본원에 포함되는 미국 특허 번호 제7,525,649호는 표면 검사 장치(600) 및 다른 다중 컬렉션 시스템들을 추가로 상세히 설명한다.

[0085] 유리하게는, 계측 시스템들은 또한 위에서 설명된 펄스 증배기들을 포함할 수 있다. 예시적인 계측 시스템들은 엘립소미터(ellipsometer)(예를 들어, 본원에 이용에 의해 포함되는 미국 특허 번호 제6,734,968호를 참조), 각도-분해 반사계(예를 들어, 본원에 인용에 의해 포함되는 미국 특허 번호 제4,999,014호 또는 미국 특허 번호 제7,667,841호를 참조) 또는 광-음향 측정 시스템(예를 들어, 본원에 인용에 의해 포함되는 미국 특허 번호 제4,710,030호를 참조)을 포함(그러나 이것으로 제한되지 않음)할 수 있다. 펄스 증배기를 포함하는 광-음향 측정 시스템의 몇몇 실시예들에서, 각각의 출력 펄스에 대한 높은 피크 전력을 갖기 위해 각각의 레이저 펄스를 몹시 넓히지 않는 것이 바람직하다. 이에 따라, 이러한 실시예들에서, 캐비티의 광학 길이는 연속적인 입력 펄스들 간의 간격의 1/2와 실질적으로 등가가 되도록 세팅될 수 있다.

[0086] 펄스 증배기를 포함하는 임의의 검사 또는 계측 시스템은 펄스-성형 및/또는 코히어런스-감소 디바이스와 조합하여 이용될 수 있다는 것에 주의해야 한다. 예시적인 펄스-성형 및 코히어런스 감소 디바이스는 Chuang 등에

의한 공동-계류중인 미국 공개 특허 출원 2011/0279819 및 2011/0228263 둘 다에서 설명된 것들을 포함(그러나 이것으로 제한되지 않음)한다. 이들 두 출원들은 둘 다 2008년 9월 29일 출원된 미국 가출원 번호 제61/100,990호를 우선권으로 주장한다. 이 출원들 모두는 본원에 인용에 의해 포함된다. 이러한 펄스-성형 디바이스들은 각각의 레이저 펄스의 코히어런스를 감소시키거나, 그렇지 않고 펄스의 형상을 변형하는데 이용될 수 있다.

[0087] 도 7은 본 발명의 실시예들에 따른 검사 또는 계측 시스템 내에 포함하기에 적합한, 펄스 증배기와 함께 이용되는 펄스-성형 또는 코히어런스 감소 디바이스의 양상들을 예시한다. 광 소스(710)는 펄싱된 레이저 및 펄스 증배기를 포함한다. 광 소스(710)는 펄스들의 시리즈를 포함하는 광 빔(712)을 생성한다. 이 실시예의 일 양상은 대략적으로 1/10 피코초 시간 스케일들(1/10 피코초 시간 간격은 스펙트럼 폭에서 약 1pm과 등가임)로 변화될 수 있는, 광 빔(712)의 실질적으로 빠른 시간 변조를 수행하고 시간 변조를 공간 변조로 변환하기 위해 레이저의 유한 스펙트럼 범위(finite spectral range)를 이용한다.

[0088] 분산 엘리먼트(dispersive element) 및 전자-광학 변조기의 이용은 스페클 감소(speckle reduction) 및/또는 펄스 성형을 위해 제공된다. 예를 들어, 조명 서브시스템은 광의 코히어런트 펄스들의 경로에 배치되는 분산 엘리먼트를 포함한다. 도 7에 도시된 바와 같이, 분산 엘리먼트는 광의 코히어런트 펄스들의 단면(x_1)에 대한 각도(Θ_1)로 배열되는 평면(714)에 배치될 수 있다. 도 7에서 추가로 도시된 바와 같이, 광의 펄스들은 단면 치수(x_1')로 그리고 각도 (Θ_1')로 분산 엘리먼트를 빠져 나간다. 일 실시예에서, 분산 엘리먼트는 프리즘이다. 다른 실시예에서, 분산 엘리먼트는 회절 격자이다. 분산 엘리먼트는 광의 펄스들에서 광 분포의 공간 및 시간 특성들을 혼합함으로써 광의 펄스들의 코히어런스를 감소시키도록 구성된다. 특히, 프리즘 또는 회절 격자와 같은 분산 엘리먼트는 광의 펄스들에서 광 분포의 공간 및 시간 특성들 간의 임의의 혼합을 제공한다. 분산 엘리먼트는 조명 서브시스템 및 계측 또는 검사 시스템의 광학 특성들에 의존하여 변동될 수 있는 임의의 적합한 프리즘 또는 회절 격자를 포함할 수 있다.

[0089] 조명 서브시스템은 추가로 분산 엘리먼트를 빠져 나가는 광의 펄스들의 경로에 배치되는 전자-광학 변조기를 포함한다. 예를 들어, 도 7에 도시된 바와 같이, 조명 서브시스템은 분산 엘리먼트를 빠져 나가는 광의 펄스들의 경로에 배치되는 전자-광학 변조기(716)를 포함할 수 있다. 전자-광학 변조기는 광의 펄스들에서 광 분포를 시간적으로 변조함으로써 광 펄스들의 코히어런스를 감소시키도록 구성된다. 특히, 전자-광학 변조기는 광 분포의 임의의 시간 변조를 제공한다. 그러므로, 분산 엘리먼트 및 전자-광학 변조기는 광 소스에 의해 생성된 광의 펄스들에 관한 조합된 효과를 갖는다. 특히, 광학-전자 변조기와 분산 엘리먼트의 조합은 임의의 시간 변조를 생성하고 시간 변조를 출력 빔(718)의 임의의 공간 변조로 변환한다.

[0090] 일 실시예에서, 전자-광학 변조기는 1/10 피코초 시간 간격으로 광의 펄스들에서 광 분포의 시간 변조를 변경하도록 구성된다. 다른 실시예에서, 전자-광학 변조기는 광학-전자 변조기의 변조의 각각의 기간에 약 1000개의 비주기적 샘플들을 제공하여 약 10^{-13}초의 디-코히어런스 시간(de-coherence time)을 제공하도록 구성된다.

[0091] 본 발명의 특정한 실시예에 따라, 펄스 증배기를 포함하는 검사 시스템은 단일 검출기 상에서 2개의 채널들의 데이터를 동시에 검출할 수 있다. 이러한 검사 시스템은 레티클, 포토마스크 또는 웨이퍼와 같은 기판을 검사하는데 이용될 수 있고, Brown 등에 의해 2009년 3월 15일 발행된 미국 특허 제7,528,943호에서 설명된 바와 같이 동작될 수 있다. '943 특허는 본원에 인용에 의해 포함된다.

[0092] 도 8은 하나의 센서(870) 상에서 2개의 채널들의 이미지 또는 신호를 동시에 검출하는 레티클, 포토마스크 또는 웨이퍼 검사 시스템(800)을 도시한다. 몇몇 실시예들에서, 하나 또는 2개의 조명 소스들(809 및 810)은 펄스 증배기를 포함한다. 몇몇 실시예들에서, 펄스 증배기를 포함하는 단일 광 소스는 조명 소스들(809 및 810)에 대해 이용될 수 있다. 2개의 채널들은 검사되는 객체(830)가 투명할 때(예를 들어, 레티클 또는 포토마스크) 반사되고 투과된 세기를 포함할 수 있거나, 또는 입사각, 편광 상태들, 파장 또는 이들의 임의의 조합과 같은 2개의 상이한 조명 모드들을 포함할 수 있다.

[0093] 도 8에 도시된 바와 같이, 조명 중계 광학계(815 및 820)는 각각 소스들(809 및 810)로부터의 조명을 검사되는 객체(830)에 중계한다. 검사되는 객체(830)는 검사될 레티클, 포토마스크, 반도체 웨이퍼 또는 다른 물품일 수 있다. 이미지 중계 광학계(855 및 860)는 검사되는 객체(830)에 의해 센서(870)로 반사 및/또는 투과되는 광을 중계한다. 2개의 채널들에 대한 검출된 신호들 또는 이미지들에 대응하는 데이터는 데이터(890)로서 도시되며 프로세싱을 위해 컴퓨터(도시되지 않음)에 전송된다.

[0094] 레티클 또는 포토마스크로부터 투과되고 반사된 광을 측정하도록 구성될 수 있는 레티클 및 포토마스크 검사 시

스템들 및 방법들의 다른 세부사항들은 Kvamme 등에 의해 2008년 4월 1일 발행되고 본원에 인용에 의해 포함되는 미국 특허 제7,352,457호에서 설명된다. 펄스 증배기를 포함할 수 있는 레티클 및 포토마스크 검사 시스템들 및 방법들에 관한 부가적인 세부사항들은 Emery 등에 의해 1996년 10월 8일 발행되고 인용에 의해 본원에 포함되는 미국 특허 제5,563,702호에서 발견될 수 있다.

[0095] 본 발명의 특정한 실시예들에 따른 펄스 증배기를 포함하는 검사 시스템은, 각각의 채널이 상이한 특성들(예컨대, 타입, 파장 범위 등)을 갖는 광을 포함할 수 있는 다수의 채널들을 포함할 수 있다. 펄스 증배기의 통합에 적합하고 다수의 채널들을 활용하는 검사 시스템들 및 방법들은 Armstrong 등에 의해 2009년 7월 16일 공개되고 본원에 인용에 의해 포함되는 미국 공개 출원 제2009/0180176호에서 설명된다.

[0096] 본 발명의 특정한 실시예들에 따라 펄스 증배기를 포함하는 검사 시스템은 주 조명 소스, 보조 조명 소스 및 반사굴절 대물렌즈(catadioptric objective)를 포함할 수 있으며, 여기서, 조명 소스들 중 적어도 하나는 펄스 증배기를 포함한다. 펄스 증배기의 통합에 적합하고 주 및 보조 조명 소스들 및 반사굴절 대물렌즈를 활용하는 검사 시스템들 및 방법들은 Chuang 등에 의해 2007년 1월 4일 공개되고 본원에 인용에 의해 포함되는 미국 공개 출원 제2007/0002465호에서 설명된다.

[0097] 명백히, 펄스 증배기는 최소 총 전력 손실로 초 당 펄스의 수를 증가시키면서 펄스 당 피크 전력을 저렴하게 감소시킬 수 있다. 펄스 증배기는 기성품의 레이저들을 이용하여 고속 검사 및 계측을 유리하게 가능하게 할 수 있다. 암-시야 검사 시스템은 레이저 광 소스들에 의존한다. 위에서 설명된 펄스 증배기는 이들 시스템들이, 보통은 매우 낮은 펄스 반복률을 갖는 레이저들을 이용하게 하고, 어떠한 적절한 레이저도 이용에 가능하지 않거나 이용 가능한 레이저들이 너무 고가이거나 신뢰할 수 없는 경우에, 극도로 높은 반복률 UV 레이저들 또는 CW 레이저들에 대한 잠재적인 대안을 제공한다.

[0098] 본 발명의 하나 이상의 실시예들의 상세한 설명은 본 발명의 원리들을 예시하는 첨부 도면들과 함께 위에서 제공된다. 본 발명은 이러한 실시예들과 관련하여 설명되지만, 본 발명은 어떠한 실시예로도 제한되지 않는다.

[0099] 예를 들어, 일 실시예에서, 광학 컴포넌트들은 레이저 파장에 대한 적절한 코팅들로 코팅될 수 있다. 파장판들과 같은 임의의 투과성 엘리먼트들의 각각의 표면은 또한 각각의 표면에서 반사되는 레이저 에너지의 양을 최소화하는 반사-방지 코팅을 가질 수 있다. 미러들은 레이저 파장들에서 반사를 최대화하고 스캐터링을 최소화하도록 설계된 코팅들로 코팅될 수 있다.

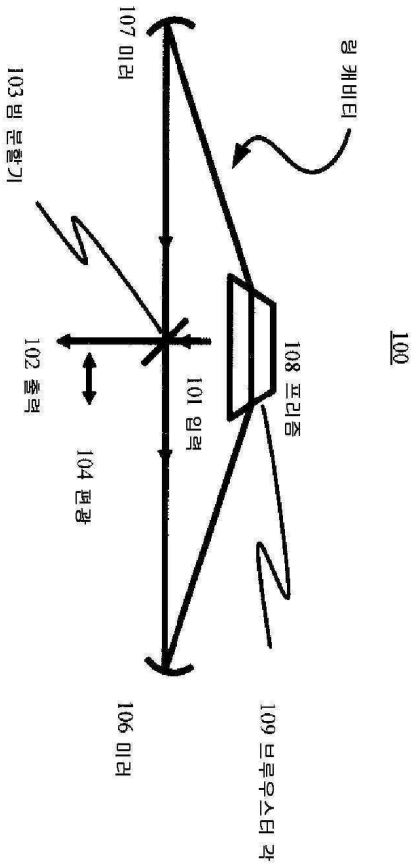
[0100] 다른 예에서, 일 실시예에서, 링 캐비티는 위에서 주어진 예들과 상이한 수의 미러들 또는 상이한 형상을 가질 수 있다. 예를 들어, 화이트 셀(White cell)(J.White, "Long Optical Paths of Large Aperture", Journal of the Optical Society of America 32 #5, p285, 1942) 또는 다른 링 캐비티가 이용될 수 있다.

[0101] 몇몇 실시예들에서, 하나 이상의 미러들은 다수의 링 캐비티들 간에 공유될 수 있다. 몇몇 경우들에서, 이는 별개의 캐비티들에 비해 펄스 증배기를 더 컴팩트하게 하는 것은 물론 정렬을 단순하게 할 수 있다.

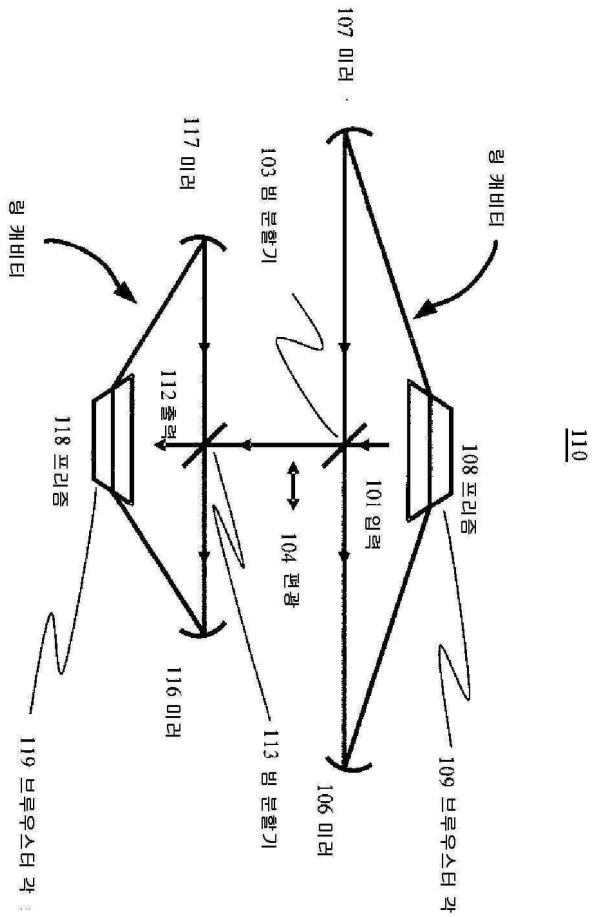
[0102] 본 발명의 범위는 청구항들에 의해서만 제한되며 본 발명은 다수의 변경들, 변형들 및 등가물들을 포함한다. 다수의 특정한 세부사항들은 본 발명의 완전한 이해를 제공하기 위해 위의 설명에서 기술된다. 이들 세부사항들은 예로서 제공되며 본 발명은 이들 특정한 세부사항들 중 일부 또는 모두 다 없이 청구항들에 따라 실시될 수 있다. 명확성을 위해, 본 발명에 관련된 기술 분야에 알려진 기술적인 물질은, 본 발명이 불필요하게 모호하게 되지 않도록 상세히 설명되지 않는다.

도면

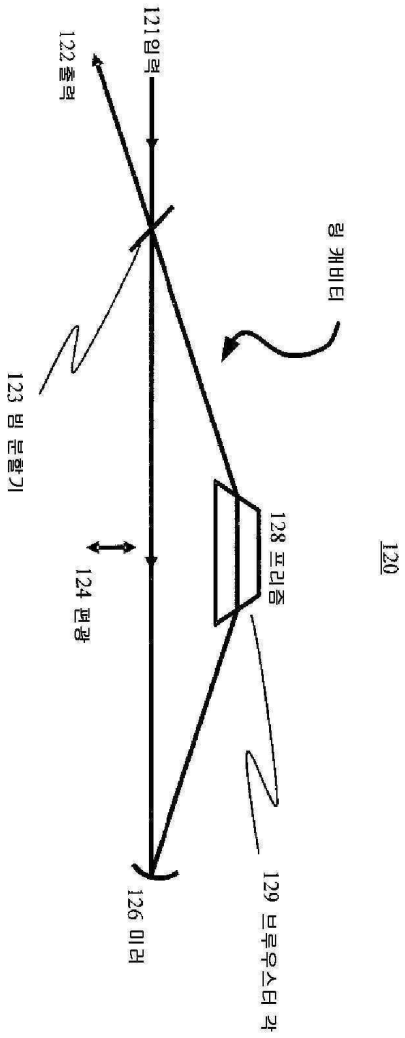
도면1a


107 미러
캘 캐비티
103 빔 분할기
102 출력
101 입력
108 프리즘
100
104 편광
106 미러
109 브루우스터 각

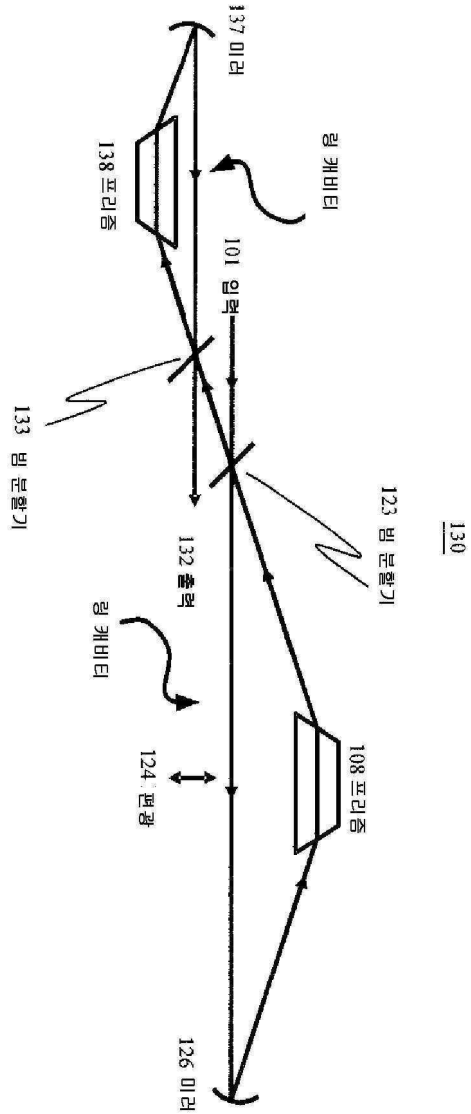
도면1b


107 미러
117 미러
103 빔 분할기
링 캐비티
링 캐비티
112 출력
118 프리즘
104 편광
101 이득
108 프리즘
110
116 미러
113 빔 분할기
106 미러
119 브루우스터 각
109 브루우스터 각

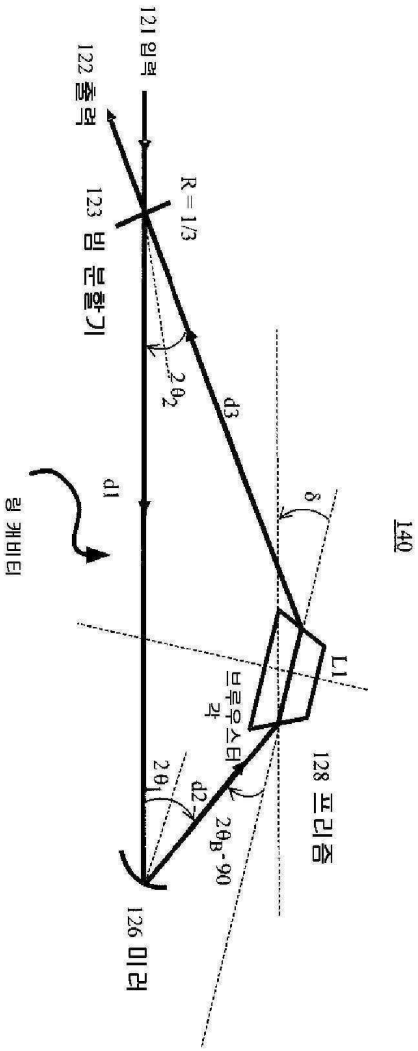
도면1c



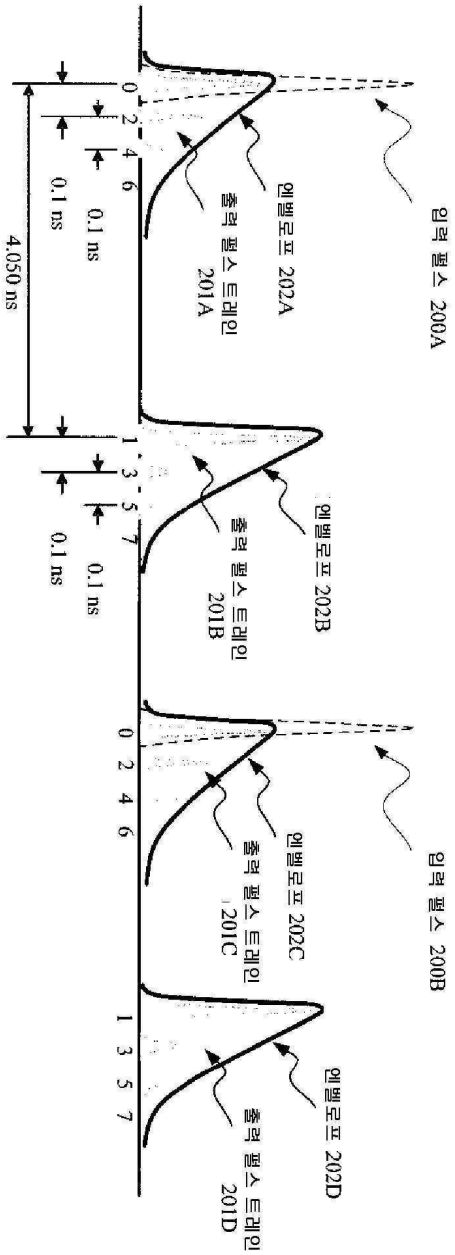
도면1d


137 미러
링 캐비티
138 프리즘
101 입력
133 빔 분할기
123 빔 분할기
130
132 출력
링 캐비티
124 편광
108 프리즘
126 미러

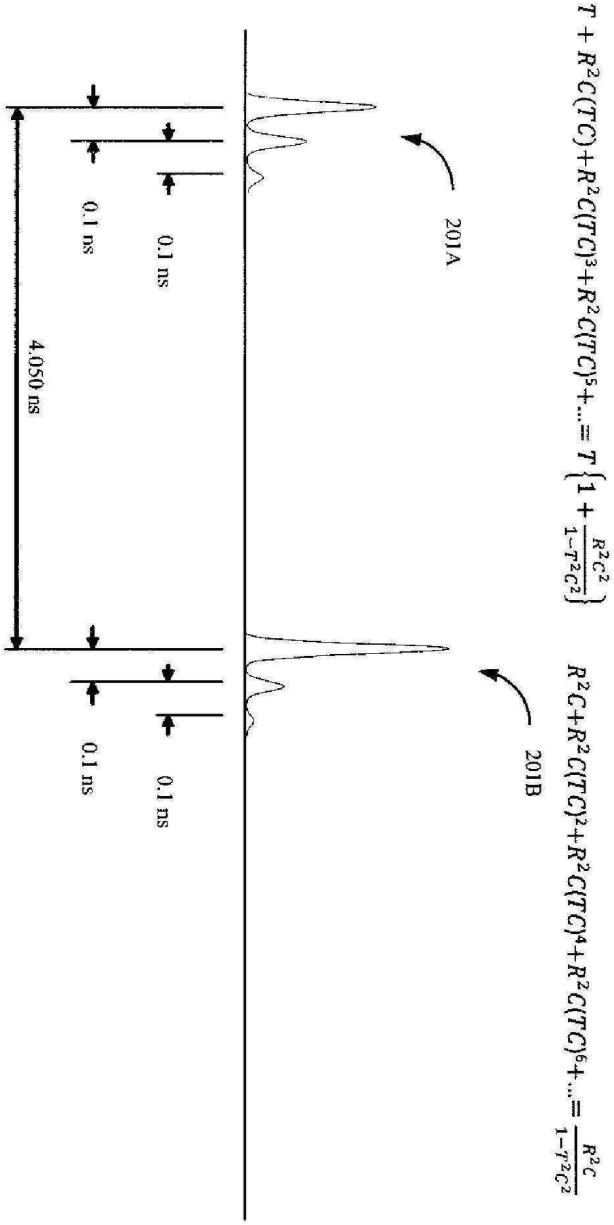
도면1e


121 입력
122 출력
123 빔 분할기
R = 1/3
2θ2
d3
d1
힘 캐비티
δ
140
L1
브루우스터 각
128 프리즘
2θ1
d2
2θB-90
126 미러

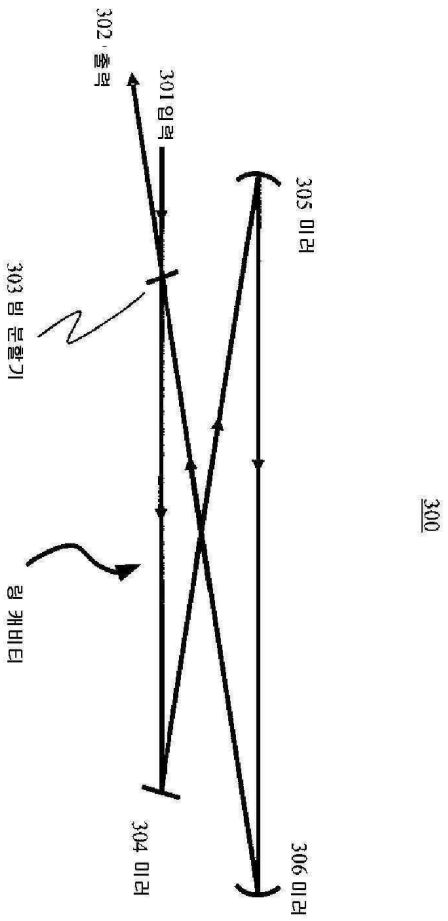
도면2a


입력 펄스 200A
엔벨로프 202A
출력 펄스 트레인
201A
0.1 ns
0.1 ns
4.050 ns
0.1 ns
0.1 ns
엔벨로프 202B
출력 펄스 트레인
201B
입력 펄스 200B
엔벨로프 202C
출력 펄스 트레인
201C
엔벨로프 202D
출력 펄스 트레인
201D

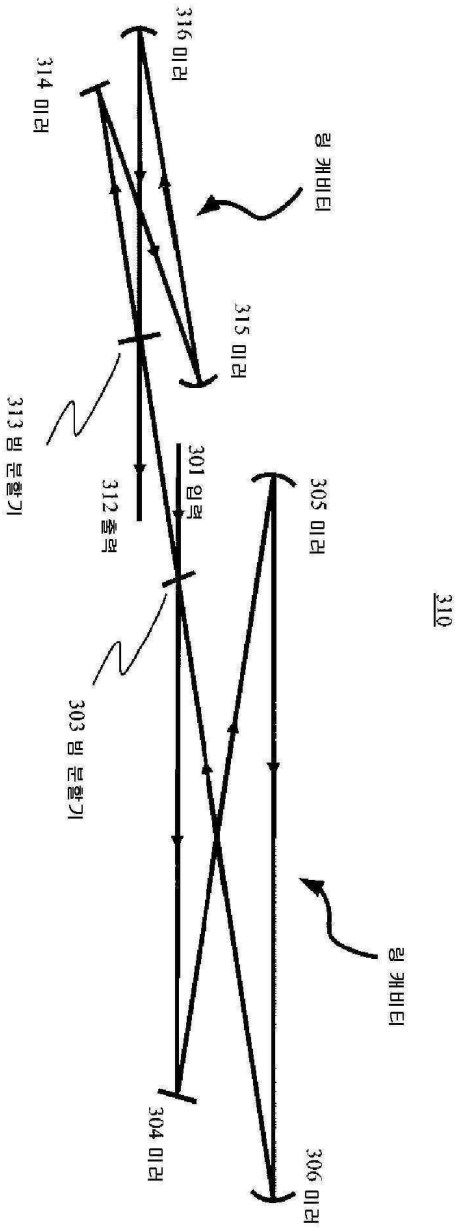
도면2b


201A
201B
0.1 ns
0.1 ns
4.050 ns
0.1 ns
0.1 ns
$T + R^2C(TC) + R^2C(TC)^3 + R^2C(TC)^5 + \ldots = T\left\{1 + \frac{R^2C^2}{1-T^2C^2}\right\}$
$R^2C + R^2C(TC)^2 + R^2C(TC)^4 + R^2C(TC)^6 + \ldots = \frac{R^2C}{1-T^2C^2}$

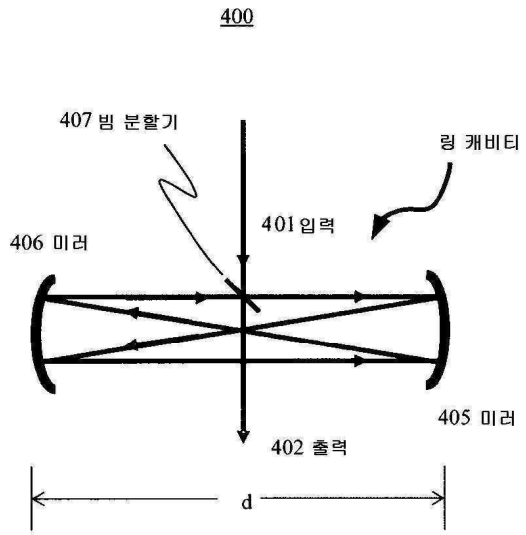
도면3a



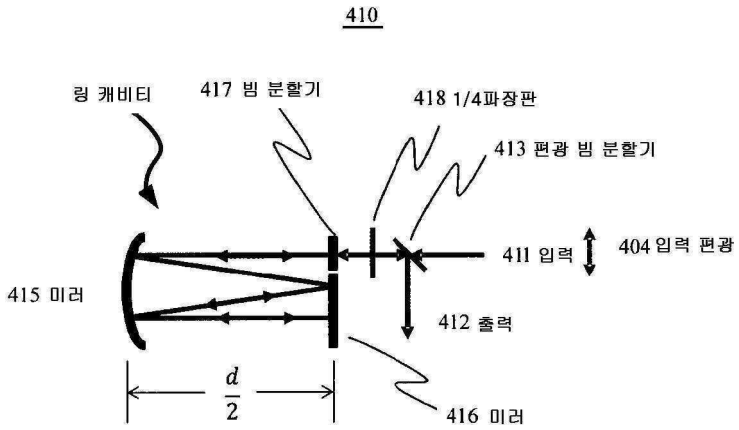
도면3b


316 미러
314 미러
링 캐비티
315 미러
313 빔 분할기
312 출력
301 입력
305 미러
303 빔 분할기
310
링 캐비티
304 미러
306 미러

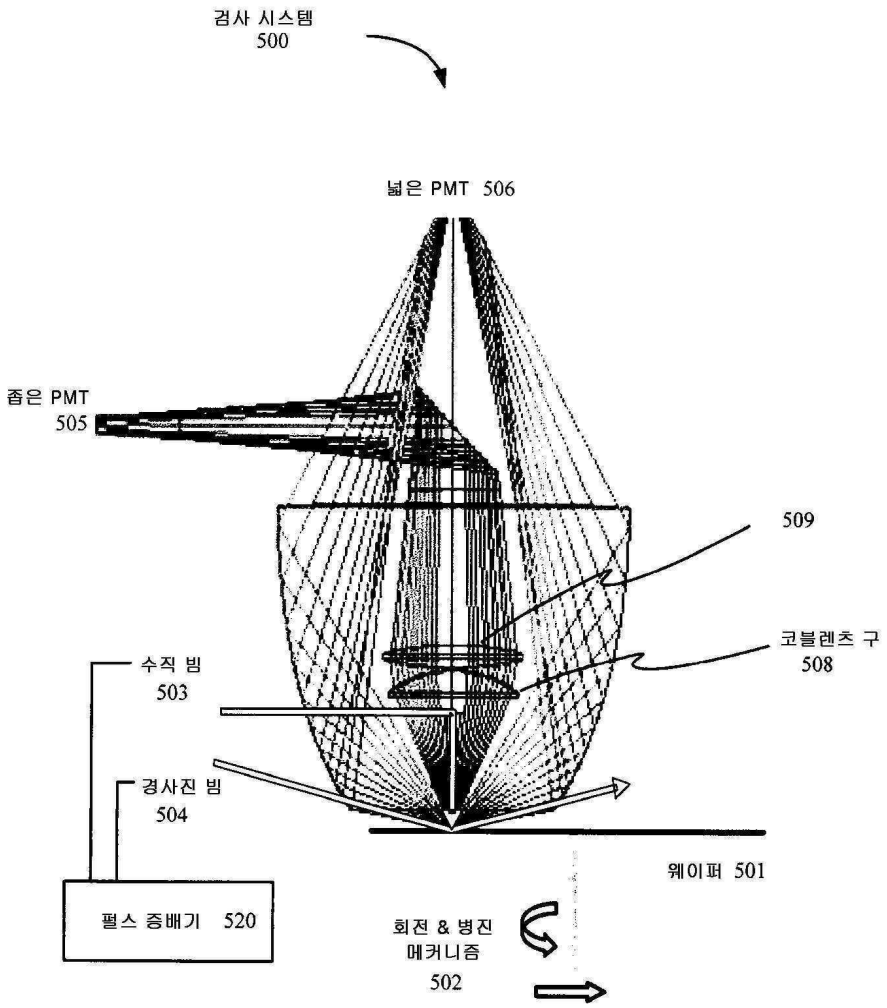
도면4a


400
407 빔 분할기
링 캐비티
401 입력
406 미러
405 미러
402 출력
d

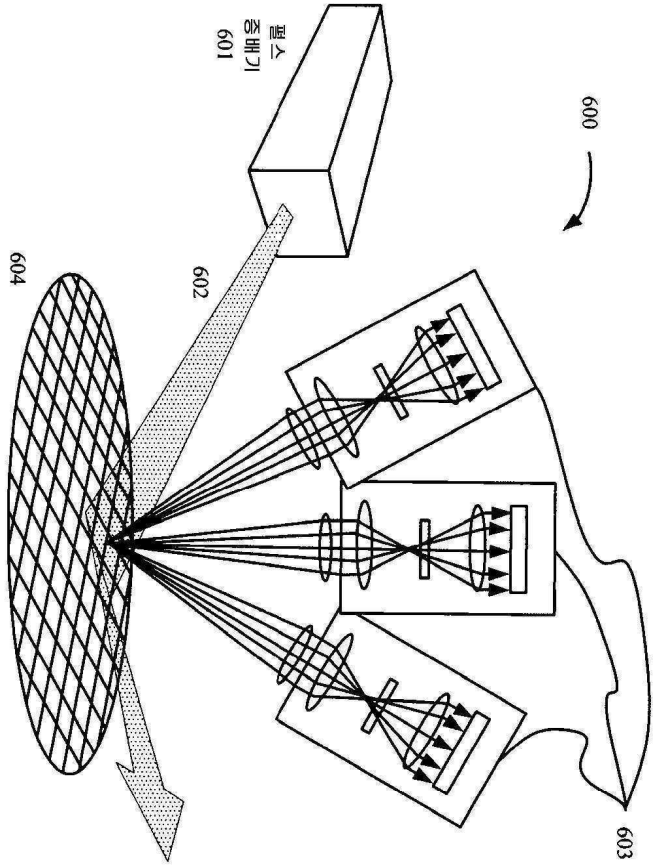
도면4b


410
링 캐비티
417 빔 분할기
418 1/4파장판
413 편광 빔 분할기
411 입력
404 입력 편광
415 미러
412 출력
d/2
416 미러

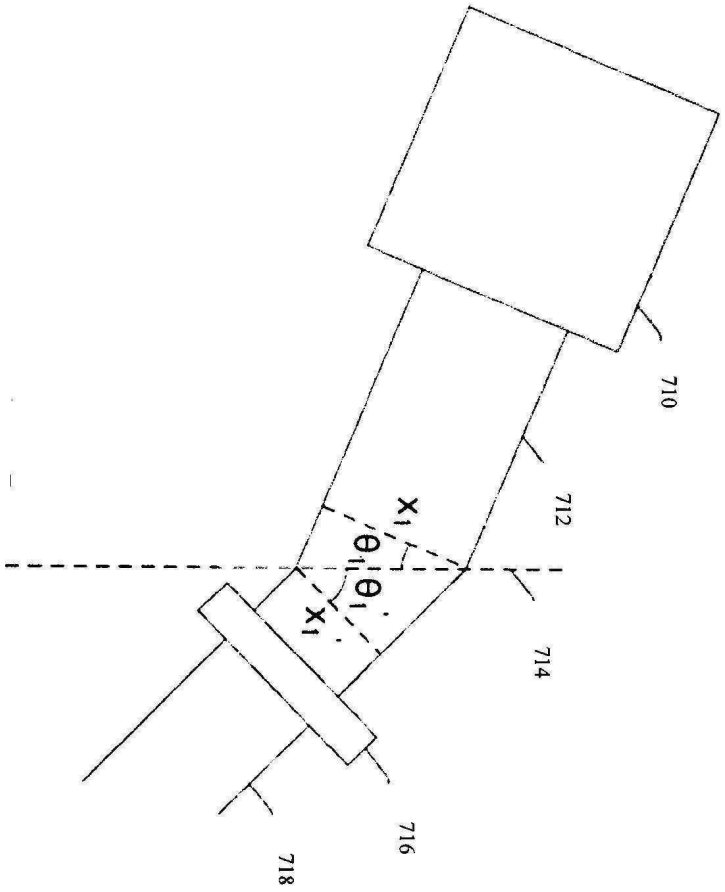
도면5


검사 시스템
500
넓은 PMT 506
좁은 PMT
505
509
코블렌츠 구
508
수직 빔
503
경사진 빔
504
웨이퍼 501
펄스 증배기 520
회전 & 병진
메커니즘
502

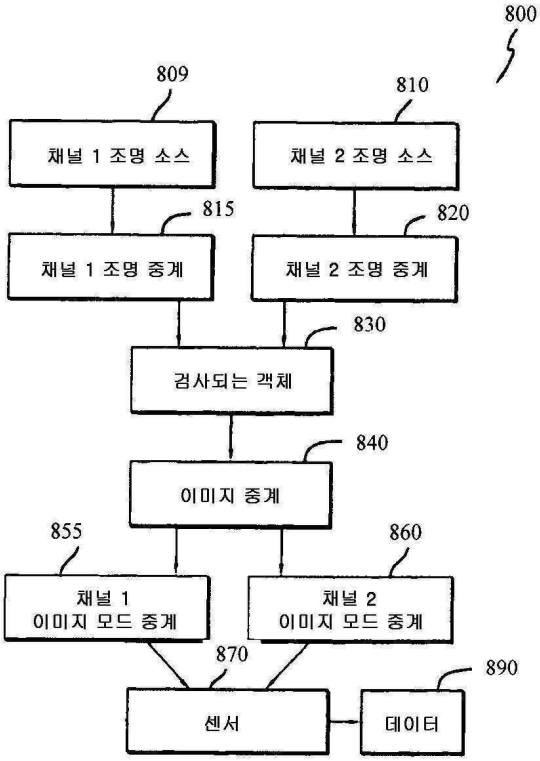
도면6



도면7



도면8


800
809
810
채널 1 조명 소스
채널 2 조명 소스
815
820
채널 1 조명 중계
채널 2 조명 중계
830
검사되는 객체
840
이미지 중계
855
860
채널 1
이미지 모드 중계
채널 2
이미지 모드 중계
870
890
센서
데이터