(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0130097
(43) 공개일자 2023년09월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/0622 (2014.01) *B23K 26/53* (2014.01)
C03B 33/02 (2006.01) *H01L 21/67* (2006.01)
B23K 101/40 (2006.01) *B23K 103/00* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23K 26/0624 (2015.10)
B23K 26/53 (2018.08)
(21) 출원번호 10-2023-7027585
(22) 출원일자(국제) 2022년01월10일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2023년08월14일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2022/050305
(87) 국제공개번호 WO 2022/152637
국제공개일자 2022년07월21일
(30) 우선권주장
10 2021 100 675.9 2021년01월14일 독일(DE)

(71) 출원인
프라운호퍼 게젤샤프트 쭈르 푀르데룽 데어 안겐반텐 포르슝 에. 베.
독일 80686 뮌헨 한자슈트라쎄 27 체
트룸프 레이저-운트 시스템테크닉 게엠베하
독일 디트진겐 데-71254 요한 마우스 슈트라쎄 2
(72) 발명자
블로세, 마쿠스
독일, 07745 예나, 칼라이쉐 스트라세 63
샹보노, 막심
독일, 07749 예나, 에리히바이너트 스트라세 23
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인에이아이피

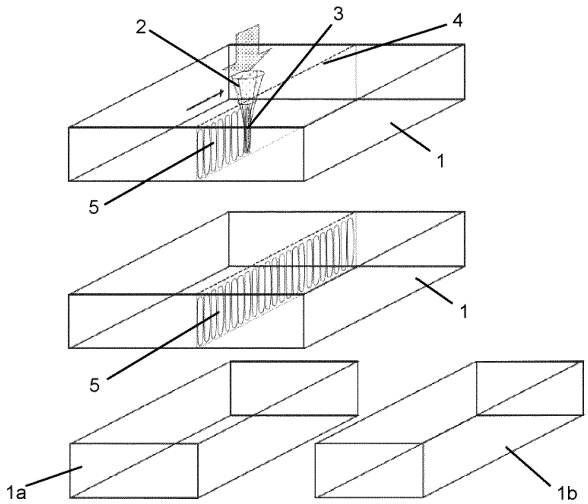
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **투명 작업물을 분할하기 위한 방법**

(57) 요 약

본 발명은 레이저 방사(2)의 강도가 비-선형적인 흡수에 대한 임계 값을 초과하는 빔 수렴 구역(3)을 작업물의 볼륨에 생성하는 것에 의해 펄스형 레이저 방사(2)에 의해 투명 작업물(1)을 분할하기 위한 방법에 관한 것이며, 여기서 빔 수렴 구역(3) 및 작업물(1)은 서로에 대해 이동되어 미리 결정된 분리 라인(4)을 따라 연장되는 2-차원 약화부(weakening)를 작업물(1)에 생성하고, 여기서 작업물(1)은 그 후에 분리 라인(4)을 따라 분할된다. 본 발명은, 공간적 빔 성형에 의해 그리고 펄스형 레이저 방사의 비-선형적인 흡수에 의해 생성된 에너지 입력의 지속기간을 선택함으로써, 빔 수렴 구역(3) 외부의 작업물의 볼륨(1)에서 레이저 방사(2)의 비-선형적인 전파가 억제되는 것을 제안한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C03B 33/0222 (2013.01)
H01L 21/67092 (2013.01)
B23K 2101/40 (2018.08)
B23K 2103/52 (2018.08)
B23K 2103/54 (2018.08)
B23K 2103/56 (2018.08)
(72) 발명자
놀트, 스테판
독일, 07751 예나, 스타베그 5
쿰카르, 말테
독일, 99425 바이마르, 암 밸첸 10

명 세 서

청구범위

청구항 1

레이저 방사(2)의 강도가 비-선형적인 흡수에 대한 임계 값을 초과하는 빔 수렴 구역(3)을 작업물의 볼륨에 생성하는 것에 의해 펄스형 레이저 방사(2)에 의해 투명 작업물(1)을 분할하기 위한 방법으로서, 상기 빔 수렴 구역(3) 및 상기 작업물(1)은 서로에 대해 이동되어 미리 결정된 분리 라인(4)을 따라 연장되는 2-차원 약화부(weakening)를 상기 작업물(1)에 생성하고, 상기 작업물(1)은 그 후에 상기 분리 라인(4)을 따라 분할되며,

공간적 빔 성형에 의해 및/또는 상기 빔 수렴 구역에서 상기 펄스형 레이저 방사의 상기 비-선형적인 흡수에 의해 생성된 에너지 입력의 지속기간을 선택함으로써, 상기 빔 수렴 구역(3) 외부의 상기 작업물의 볼륨(1)에서 상기 레이저 방사(2)의 비-선형적인 전파가 억제되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 레이저 방사(2)의 파장은, 이러한 파장에서의 상기 레이저 방사(2)의 선형적인 흡수가 센티미터당 20% 미만, 바람직하게는 센티미터당 10% 미만, 특히 바람직하게는 센티미터당 5% 미만이라는 조건에 따라 선택되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 레이저 방사(2)의 파장은, 이러한 파장에서의 상기 작업물(1)의 볼륨에서의 비-선형적인 굴절률이 가능한 한 낮으며, 특히 이러한 파장에서의 상기 작업물(1)의 볼륨에서의 비-선형적인 굴절률이 너무 낮아서 비-선형적인 전파가 상기 빔 수렴 구역 내로 상기 약화부를 생성하기에 충분한 에너지 입력을 방해하지 않는다는 조건에 따라 선택되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 4

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 펄스형 레이저 방사의 펄스 지속기간은 임계 값보다 더 크며, 상기 임계 값은, 그 이상에서 비-선형적인 전파, 특히 자체-포커싱이 상기 작업물(1)의 볼륨에서 발생하는 펄스 에너지와 재료-특정 임계 파워의 비율(quotient)인 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 5

청구항 1 내지 청구항 4 중 어느 한 항에 있어서,

상기 펄스형 레이저 방사(2)의 펄스 지속기간 및 펄스 에너지는, 수정은 단일 레이저 펄스 또는 미리 결정된 수의 레이저 펄스들의 시퀀스로 구성된 레이저 펄스 버스트에 의한 상기 빔 수렴 구역(3) 내의 상기 작업물의 볼륨에서의 상기 레이저 방사(2)의 비-선형적인 흡수에 의해 달성된다는 조건에 따라 선택되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 6

청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 80%, 바람직하게는 적어도 90%, 특히 바람직하게는 적어도 95%의 확률로 수정이 발생하는 에너지 입력의 가장 짧은 가능한 지속기간이 결정되며, 상기 에너지 입력의 지속기간은, 이러한 결정된 가장 짧은 가능한 값과 동일하거나 또는 더 크도록, 바람직하게는 1-20 배 더 크도록, 특히 바람직하게는 1.1-5 배 더 크도록 선택되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 7

청구항 1 내지 청구항 6 중 어느 한 항에 있어서,

상기 빔 수렴 구역(3)은 작업물 표면에 실질적으로 수직으로 배향된 빔 축(8)을 따라 세장형 형상을 가지며, 빔 방향으로 상기 빔 수렴 구역의 길이는 이에 수직인 상기 빔 수렴 구역의 범위보다 적어도 10 배, 바람직하게는 적어도 50 배, 특히 바람직하게는 적어도 100 배 더 큰 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 빔 축을 가로지르는 상기 빔 수렴 구역(3)의 범위는 약화 평면에 수직인 방향보다 약화 평면에 평행한 방향으로 더 크며, 바람직하게는 1.2 배 이상 더 크고, 특히 바람직하게는 2 배 이상 더 큰 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 9

청구항 1 내지 청구항 8 중 어느 한 항에 있어서,

상기 빔 성형은, 상기 작업물의 볼륨에서 상기 작업물 표면에 더 가깝게 수렴하는 상기 레이저 방사의 이러한 빔 컴포넌트들(6, 7, 9, 10, 11, 12)이 빔 축(8)과 함께 상기 작업물(1)의 볼륨에서 상기 작업물 표면으로부터 더 멀리 수렴하는 이러한 빔 컴포넌트들(6, 7, 9, 10, 11, 12)과 동일하거나 또는 이보다 더 작은 각도를 둘러싸는 방식으로 수행되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 10

청구항 1 내지 청구항 9 중 어느 한 항에 있어서,

상기 작업물의 재료는 실리콘이며, 상기 펄스형 레이저 방사의 펄스 지속기간은 20-500 ps의 범위 내이고, 상기 레이저 방사의 파장은 1300-2500 nm의 범위 내인 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 11

반도체 웨이퍼들을 칩들로 분할하기 위한 청구항 1 내지 청구항 10 중 어느 한 항에 따른 방법의 사용.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 레이저 방사의 강도가 비-선형적인 흡수에 대한 임계 값을 초과하는 빔 수렴 구역을 작업물의 볼륨에 생성함으로써 펄스형 레이저 방사에 의해 투명 작업물을 분할하기 위한 방법으로서, 여기서 빔 수렴 구역 및 작업물은 서로에 대해 이동되며, 그럼으로써 미리 결정된 분리 라인을 따라 연장되는 2-차원 약화부(weakening)를 작업물

에 생성하고, 여기서 작업물은 그 후에 분리 라인을 따라 분할된다.

배 경 기 술

[0002] 웨이퍼 기판들을 칩들로 분할하는 것, 즉, 소위 웨이퍼들의 다이싱(dicing)은 점점 더 소형화되고 복잡해지고 있는 반도체 디바이스들의 생산에서 중요한 역할을 한다. 다이싱의 고전적인 방법은 100㎛보다 더 두꺼운 웨이퍼들에 대해 다이아몬드 톱을 사용하는 것을 기반으로 한다. 더 얇은 웨이퍼들에 대해, 레이저-기반 방법들이 점점 더 많이 사용된다.

[0003] WO 2016/059449 A1은, 레이저 방사의 강도가 비-선형 흡수에 대한 임계 값을 국부적으로 초과하는 빔 수렴 구역을 작업물, 즉, 반도체 기판의 볼륨에 생성하기 위해 사용되는 다이싱 방법을 설명한다. 빔 수렴 구역에서, 그에 따라 다광자 프로세스들은, 예를 들어, 플라즈마의 형성으로 이어지는 다광자 이온화 또는 애벌런치(avalanche) 이온화의 형태로 발생한다. 플라즈마 형성 속도는 작업물의 재료와 레이저 방사의 파라미터들에 의존하는 임계치 이상으로 급격히 증가한다. 따라서, 이는 "광학적 항복"으로도 지칭된다. 작업물의 결과적인 수정 및 그에 따른 프로세싱은, 공간적으로 국부화된 재현가능하게 작은 양의 에너지가 재료 내로 도입되기 때문에 높은 정밀도를 나타낸다. 양호한 공간적 국부화는 주로, 가능한 한 수차가 없는(aberration-free) 고 개구수 광학적 프로브를 사용하여 레이저 방사를 포커싱함으로써 달성된다. 빔 수렴 구역은 레이저 빔 축의 방향으로 인용된 프린트 "뾰족한(spiky)" 포커스 볼륨에서 확장된 형태로 생성된다. 이러한 빔 수렴 구역은 작업물에 대해 이동되어, 결과적으로 미리 결정된 분리 라인을 따라 연장되는 2차원 약화부를 작업물에 생성한다. 도입된 수정들로 인한 가능한 약화 메커니즘들은 공극 및/또는 크랙 형성, 작업물의 재료의 구조적 변경들, 각각의 경우에 수정 영역에 결합된 크랙들, 과도 또는 영구 응력들, 열기계적 응력들, 국부적 볼륨 증가 또는 감소로 인한 응력들, 응고 크랙들, 등이다. 마지막으로, 작업물의 실제 절단(parting)은, 작업물이 약화 영역에서, 즉, 분할 라인을 따라 파단(break)되게 하는 작은 기계적 힘 또는 응력의 적용에 의해 발생한다.

[0004] 결정적으로 중요한 것은 작업물의 주어진 깊이에 걸친 그리고 주어진 깊이에 내로의 재료의 균일한 수정이다. 이는 분할가능성을 개선하고, 치핑(chipping) 또는 재료 뒤틀림과 같은 생산 결함이 최소화되며, 더 높은 에지 강도들이 달성된다. 알려진 방법에서, 작업물에서의 수정들은 500 nm 내지 2000 nm 파장의 파장 및 10 kHz 내지 2 MHz 반복 레이트에서 100-15000 fs의 범위 내의 펄스 지속기간의 레이저 펄스들로 생성된다. 알려진 방법에서, 빔 수렴 구역을 생성하기 위한 빔 성형(beam shaping)은 작업물의 볼륨에서 레이저 방사의 방해를 받지 않은 선형적인 전파에 기반하여 설계된다. 그러나, 조각화(fragmentation)를 가능하게 하는 재료의 약화부를 생성하기 위한 필요한 플루언스(fluence)에서, 작업물 내에서의 레이저 방사의 전파는 전술된 펄스 지속기간 범위에서 비-선형적인 효과들을 겪는다. 낮은 펄스 지속기간 및 높은 에너지 밀도에서, 작업물의 볼륨에서의 레이저 방사의 전파는, 빔 수렴 영역의 희망되는 영역 내로의 효과적인 에너지 결합이 상당한 정도로 방지되는 비-선형적인 효과들(예를 들어, 이미 빔 수렴 영역 외부에 있는 2-광자 흡수뿐만 아니라 자체-포커싱)에 의해 크게 방해를 받는다. 에너지 증착(energy deposition)의 정의된 국부화 및 작업물의 재료의 결과적인 수정은, 이것이 짧은 펄스 지속기간에서 존재하기 때문에 방사의 높은 피크 강도에서 달성될 수 없다.

[0005] 긴 펄스 지속기간(예를 들어, > 1 ns) 및 그에 따른 더 낮은 피크 강도로 재료가 수정될 수 있지만, 전형적으로 더 높은 에너지가 요구되고 확산 효과들이 유효하게 되기 때문에, 증가된 열적으로 부하를 받는 볼륨으로 인한 더 큰 손상이 허용된다. 따라서, 분리 프로세스의 결과는 파단 라인의 품질과 관련하여 만족스럽지 못하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0006] 이러한 배경기술에 대해, 본 발명의 근본적인 목적은 투명 작업물을 분할하기 위한 개선된 방법을 제공하는 것이다. 알려진 방법들의 이상에서 언급된 단점들이 회피될 것이다.

[0007] 본 발명은, 공간적 빔 성형에 의해 및/또는 빔 수렴 구역에서 펄스형 레이저 방사의 비-선형적인 흡수에 의해 생성된 에너지 입력의 지속기간을 선택함으로써 빔 수렴 구역 외부의 작업물의 볼륨에서 레이저 방사의 비-선형적인 전파를 억제함으로써 처음에 표시된 유형의 방법을 기반으로 이러한 목적을 달성한다.

[0008] 본 발명의 핵심은 작업물 내로의 약화부의 도입을 위한 비-선형적인 전파 특성들의 고려이다. 빔 수렴 구역 외부에서 레이저 방사의 비-선형적인 전파를 억제하기 위해, 즉, 상당히 감소시키기 위해, 빔 성형 및/또는 에너지 입력의 지속기간에 대해 가장 최적의 가능한 프로세스 파라미터들이 정의되며, 그럼으로써 에너지 증착의 개선된 제어를 가능하게 한다. 이러한 맥락에서, 작업물의 볼륨에서 국부적인 에너지 밀도는 궁극적으로는 에너지 입력의 지속기간에 의해 제어되고, 빔 수렴 구역 내의 에너지 결합을 개선한다. 주변 볼륨, 즉, 빔 수렴 구역 외부에서의 손상이 최소화된다. 본 발명은, 간섭하는 비-선형적인 효과들(예를 들어, 자체-포커싱, 비-선형적인 흡수) 또는 다른 전파 방해들을 최소화하기 위해 빔 수렴 구역 외부, 특히 빔 수렴 구역 전방에서 레이저 방사의 전파 방향에서 가능한 가장 낮은 상호작용이 달성되는 것을 달성한다. 빔 수렴 구역에서 비-선형적인 흡수의 지속기간 동안, 빔 방향에서 먼저 발생하는 높은 전자 밀도의 수정들 또는 구역들은 빔 방향에서 나중에 도달되는 빔 수렴 구역의 부분들로부터의 입사 에너지의 50% 이상, 바람직하게는 20% 이하, 특히 바람직하게는 10% 이하를 차폐하지 않는다는 것이 또한 보장된다.

[0009] 비-선형적인 전파를 최소화함으로써, 빔 수렴 구역에서 빔 포커싱에 의해 목표되고 정의된 방식으로 적절한 플루언스가 달성될 수 있다. 결과적으로, 이러한 영역에서 희망되는 수정만이 발생한다. 시간적 및 공간적 빔 성형의 조합은 전체 지정된 빔 수렴 구역에 걸쳐 균일한 맞춤화된 에너지 증착을 가져온다. 결과적으로, 분할 프로세스가 촉진된다. 치핑 또는 재료 응력들이 최소화된다. 파단 라인 에지의 품질이 종래 기술과 비교하여 개선된다.

[0010] 본 발명에 따른 프로세스 파라미터들(에너지 입력의 양 및 지속기간, 공간적 빔 성형)의 목표된 선택에 의해, 다시 말해서, 다음이 달성된다

[0011] a) 비-선형적인 흡수에 대한 강도 임계치는 빔 수렴 구역에서 초과된다,

[0012] b) 빔 수렴 영역 외부의 바람직하지 않은 비-선형적인 효과들에 대한 파워 또는 강도 임계치들은 아래로 떨어진다,

[0013] c) 희망되는 수정에 대해 요구되는 에너지는, 희망되는 표면의 약화부가 희망되는 기하구조로 발생하도록 제어되고 국부화된 방식으로 도입된다

[0014] 이상적으로, 레이저 방사의 파장은, 작업물의 재료에서 레이저 방사의 선형적인 흡수가 레이저 빔 방향으로 1 센티미터의 길이에 걸쳐 20% 미만, 더 바람직하게는 10% 미만, 특히 바람직하게는 5% 미만이 되도록 선택되어야 한다. 또한, 레이저 방사의 파장은, 이러한 파장에서의 작업물의 볼륨에서의 비-선형적인 굴절률이 너무 낮아서 비-선형적인 효과들이 빔 수렴 구역에서 충분한 에너지 증착을 방해하지 않는다는 조건에 따라 선택되어야 한다. 동시에, 파장은, 양호한 포커싱 능력(focusability)이 보장되는 범위 내에 있어야 한다.

[0015] 본 발명에 따르면, 빔 수렴 구역에서, 즉, 분리 라인을 따른 작업물의 특정 위치에서 펄스형 레이저 방사의 비-선형적으로 도입되는 흡수에 의한 에너지 입력의 지속기간의 적절한 선택이 중요하다. 에너지 입력의 지속기간은, 예를 들어, 펄스형 레이저 방사의 펄스 지속기간에 의해 지정될 수 있다. 지속기간의 상한은 열 확산으로 인한 열 손상 구역의 허용가능(tolerable) 크기로부터 기인한다. 또한, 지속기간에 대한 상한은 빔 수렴 구역에서 흡수되는 최대 허용가능 에너지에 의해 주어진다. 지속기간이 더 클수록, 강도가 비-선형적인 흡수에 대한 임계 값보다 높을 때 에너지 입력이 더 크다. 너무 많은 에너지 및/또는 너무 긴 시간 기간에 걸쳐 도입되는 에너지는 빔 수렴 구역에 대한 약화부의 국부적인 제한을 방지할 것이다. 빔 수렴 구역 외부에서 레이저 방사의 비선형적인 전파를 회피하는 것과 관련하여, 에너지 입력 지속기간의 하한이 중요하다. 특히, 펄스 지속기간은 임계 값보다 더 커야 하며, 여기서 임계 값은, 예를 들어, 그 이상에서 비-선형적인 전파, 특히 자체-포커싱이 작업물의 볼륨에서 발생하는, 펄스 에너지와 재료-특정 임계 파워의 비율(quotient)이다. 이는 에너지 증착이 비-선형적인 효과들에 의해 과도하게 방해를 받지 않는 것을 보장하며, 따라서 빔 수렴 구역에서 충분히 높고 국부화된 에너지 증착을 보장한다.

[0016] 적절하게는, 펄스 이벤트에서 에너지 입력의 지속기간(예를 들어, 펄스 지속기간) 및 에너지 입력(예를 들어, 펄스 에너지)의 양은, 빔 수렴 구역 내의 작업물의 볼륨에서 손상, 즉, 희망되는 수정이 단일 레이저 펄스 또는 레이저 펄스들의 미리 결정된 수의 시퀀스로 구성된 레이저 펄스 버스트(burst)에 의해 발생한다는 조건으로 선택되어야 한다. 적절한 단일 펄스는, 예를 들어, 특정 펄스 지속기간의 가우시안 시간 프로파일을 갖는 레이저 펄스일 수 있다. 버스트는 작은 시간 간격(GHz 또는 THz 범우의 펄스 반복 주파수)을 갖는 미리 결정된 수의 레이저 펄스들을 포함한다. 서로의 버스트들의 시간 간격이 개별적인 버스트의 지속기간보다 적어도 100 배 더 큰 경우, 이러한 버스트도 펄스 이벤트로 간주된다. 작업물 상의 특정 위치에서의 수정은 이러한 단일 "펄스 이벤

트"(단일 펄스 또는 버스트) 동안 완전히 생성되어야 한다. 따라서, 본 발명의 맥락에서 에너지 입력은 빔 수렴 구역에서 비-선형적인 유도된 흡수에 의한 단일 펄스 이벤트 동안의 에너지 입력을 나타낸다. 에너지 입력의 지속기간은 펄스 지속기간 또는 버스트 지속기간으로부터 그에 따라 기인한다. 레이저 펄스들은 반드시 가우시안 형상, "플랫 탑(flat top)" 형상 또는 임의의 다른 일반적인 형상을 가져야 할 필요는 없다는 것을 유의해야 한다. 임의의 펄스 형상이 가능하다. 결정적인 것은 에너지 입력의 유효 지속기간이다. 본 발명에 따른 방법에서, 이는 바람직하게는 20-500 ps이다.

[0017] 그러면, 2차원 약화부는, 펄스 이벤트로부터 펄스 이벤트로 분할 라인을 따라 빔 수렴 구역에 대해 작업물을 점진적으로 이동시킴으로써 생성된다. 가능한 경우, 약화부는 분할 라인을 따른 단일 모션 이벤트 동안 생성된다. 이러한 방식으로, 높은 프로세스 속도가 달성될 수 있으며, 작업물은 분리 라인을 따른 높은 품질의 분할 에지로 신뢰할 수 있게 파단된다.

[0018] 바람직하게는, 희망되는 수정이 적어도 80%, 바람직하게는 적어도 90%, 더 바람직하게는 적어도 95%의 확률로 발생하는 에너지 입력의 가장 짧은 가능한 지속기간이 결정된다. 그런 다음, 약화부가 도입될 때 에너지 입력의 지속기간은 이러한 결정된 가장 짧은 가능한 값보다 더 크거나 또는 동일하도록 선택되며, 이는 다수의 인자들(재료, 빔 수렴 구역의 크기 및 기하구조, 파장, 펄스 형상, 등)에 의존할 수 있다. 예를 들어, 에너지 입력의 선택된 지속기간은, 결정된 가장 짧은 가능한 값보다 10 배, 바람직하게는 5 배, 특히 바람직하게는 2 배 이상일 수 있다. 이상적으로, 계수(factor)는 1.1 내지 5의 범위 내일 수 있다. 이는 약화부의 희망되는 생성에 대한 에너지 입력의 양호한 제어를 제공한다.

[0019] 더 바람직하게는, 빔 수렴 구역은 작업물 표면에 수직하는 세장형 형상을 가져야 한다. 이상에서 언급된 WO 2016/059449 A1과 유사하게, 빔 수렴 구역은 빔 방향으로 세장형이어야 하고 따라서 적절한 약화를 보장하기 위해 작업물의 전체 두께의 대부분에 걸쳐 연장되어야 한다. 예를 들어, 빔 방향으로 빔 수렴 구역의 길이는, 희망되는 2차원 약화부에 수직인 빔 수렴 구역의 범위보다 적어도 10 배, 바람직하게는 적어도 50 배, 특히 바람직하게는 적어도 100 배만큼 더 클 수 있다. 레이저 빔은 초기에 가우시안 프로파일 또는 임의의 다른 실현 가능한 입력 빔 형상을 가질 수 있다. 가우스-베셀(Gauss-Bessel) 빔들 또는 실질적으로 비-회절 빔들로서 설명될 수 있는 다른 빔 형상들이 특히 적합하다. 빔 수렴 구역에서 맞춤화된(tailored) 공간적 강도 분포는 빔 성형 광학부와 결합된 포커싱 광학부와 같은 적절한 광학적 구성요소들에 의해, 또한 공간적 광 변조기(spatial light modulator; SLM)들 또는 피에조 거울(piezo mirror)들과 같은 적응적 빔 성형 구성요소들로 편리하게 달성된다. 깊이-종속 수차 보정에 의해 개선이 달성될 수 있다. 공간적 빔 성형의 목표는, 작업물 표면(빔 입장 표면)으로부터 분리 프로세스를 위해 요구되는 작업물 내로의 깊이까지 희망되는 빔 수렴 구역 내로 가능한 가장 방해를 받지 않는 에너지 입력을 달성하는 것이다.

[0020] 동시에, 빔 축을 가로지르는 빔 수렴 구역의 범위는 이것에 대한 수직인 방향보다 약화 평면에 평행한 방향으로 더 커야 한다. 이는, 작업물 및 빔 수렴 구역의 상대적인 움직임으로 수정들의 반복적인 도입 동안 이상에서 언급된 도입된 수정들에 의해 영향을 받는(차폐되는) 레이저 방사의 부분을 최소화한다.

[0021] 이상에서 언급된 바와 같이, 본 발명은, 방해하는 비선형적인 효과들을 최소화하기 위해 외부, 특히 빔 수렴 구역의 전방의 레이저 방사의 전파 방향에서 가능한 가장 낮은 상호작용을 달성하는 것이다. 또한, 빔 수렴 구역에서 펄스 이벤트 동안, 먼저 발생하는 높은 전자 밀도의 구역들 또는 수정들이 나중에 도달되는 빔 수렴 구역의 부분들로부터 입사 빔 에너지의 가능한 한 작은 부분만을 차폐한다는 것이 보장되어야 한다. 적절한 빔 성형이 이에 기여할 수 있다. 빔 성형은 유익하게는, 작업물의 볼륨에서 작업물 표면에 더 가깝게 수렴하는 레이저 방사의 이러한 빔 컴포넌트들(개별적인 빔들 또는 개별적인 빔들의 번들(bundle)들로 구성됨)이 빔 축과 함께 작업물의 볼륨에서 작업물 표면으로부터 더 멀리 수렴하는 이러한 빔 컴포넌트들과 동일하거나 또는 이보다 더 작은 각도를 둘러싸도록 수행될 수 있다. 이는 임의의 경우에 빔 수렴 구역에서 수렴하는 빔 컴포넌트들 중 대부분에 적용되어야 하며; 이러한 기하구조로부터의 빔 컴포넌트들의 작은 부분의 편차는 비선형적인 효과들이 충분히 억제된다는 것을 조건으로 개별적인 경우들에서 허용될 수 있다.

[0022] 본 발명에 따른 방법은 반도체 웨이퍼들을 칩들로 다이싱하기에 특히 적합하다. 본 발명에 의해 제안되는 시간적 및 공간적 빔 성형은 다이싱 프로세스에 유해한 레이저-방사의 비-선형적인 전파를 방지하거나 또는 적어도 최소화한다. 결과적으로, 기판의 재료에서 레이저 방사의 전파는 방해를 받지 않으며, 세장형 수정 구역이 각각의 펄스 이벤트로 도입될 수 있다. 기판 및 레이저 빔의 상대적인 이동으로 절차를 반복함으로써, 2차원 약화부가 미리 결정된 분리 라인을 따라 생성된다. 이는, 그 후에 가해지는 인장 응력에 의해 분열(fracture)되는 동안 미리 결정된 파단점으로서 역할한다. 따라서, 한편으로는 얇지만 다른 한편으로는 훨씬 두꺼운 반도체 기판

들은 최소화된 열 응력을 받아 또는 달리 파단점을 최소로 손상시키면서 효과적으로 분리될 수 있다. 약화 평면을 가로지르는 수정 구역의 작은 연장으로 인해, 이상에서 언급된 도입되는 수정들에 의해 빔 전파가 상당히 방해를 받지 않고 공급 방향으로 서로 밀접하게 인접한 수정들을 도입하는 것이 가능하다. 분리 라인의 윤곽 정확도가 특히 높다. 생산 오차들 및 불량품들이 최소화된다. 동시에, 높은 프로세스 속도가 달성될 수 있다.

[0023] 본 발명에 따른 방법은 또한, 평평한 유리 제품들 또는 세라믹 및 결정질 작업물들을 분할하는데 적합하다.

발명의 효과

도면의 간단한 설명

[0024] 본 발명의 추가적인 특징들, 세부사항들 및 이점들은 청구항들의 문구로부터 그리고 도면들에 기초한 예시적인 실시예들의 다음의 설명으로부터 명백하다. 도면들은 다음을 도시한다.

도 1은 투명 작업물을 나누거나(split) 또는 분할하기 위한 본 발명에 따른 방법의 개략적인 예시를 도시한다.

도 2는 본 발명에 따른 공간적 빔 성형의 개략적인 예시를 도시한다.

도 3은 상이한 간격들을 갖는 수정 구역들의 반복적인 도입을 도시한다.

도 4는 방법 파라미터들을 최적화하는 프로세스를 순서도로서 도시한다.

도 5는 펄스 지속기간을 최적화하는 프로세스를 순서도로서 도시한다.

도 6은 펄스 에너지를 최적화하는 프로세스를 순서도로서 도시한다.

도 7은 수정 구역들의 반복적인 도입과 방법 파라미터들의 상호관계들을 예시하는 도면을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 도 1은, 작업물(1), 예를 들어, 반도체 제조에서 웨이퍼를 나누거나 또는 분할하기 위한 본 발명에 따른 방법의 본질적인 단계들을 예시한다. 펄스형 레이저 방사 형태의 레이저 빔(2)이 위로부터 작업물 상으로 방사된다. 레이저 빔(2)은, 작업물(1)의 볼륨에 빔 방향으로 세장형인 빔 수렴 구역(3)이 생성되는 방식으로 (예를 들어, 도시되지 않은 공간적 광 변조기와 조합된 포커싱 광학부에 의해) 성형된다. 빔 수렴 구역(3) 내에서, 레이저 방사의 강도는 비-선형적인 흡수에 대한 임계 값을 초과하며, 그 결과 작업물(1)의 재료의 대응하는 공간적으로 제한된 수정이 발생한다. 빔 수렴 구역(3)은 (화살표 방향으로) 작업물에 대해 점진적으로 이동된다. 이 프로세스에서, 분리 라인(4)을 따라 서로 옆에 놓여 있는 복수의 수정 구역들(5)이 작업물(1)의 볼륨에 생성되며, 이들은 함께 약화 평면을 형성한다. 그 후에, 작업물(1)은 작은 기계적 힘을 가함으로써 분리 라인(4)을 따라 2개의 부분들(1a, 1b)로 파단된다. 분리 라인은 도 1과 같이 직선일 필요는 없다. 만곡된 분리 라인을 따른 작업물 부분들(1a, 1b)의 분리를 또한 생각할 수 있다.

[0026] 본 발명의 핵심은 작업물(1) 내로의 수정 구역들(5)의 도입을 위한 레이저 방사(2)의 비-선형적인 전파 특성들의 고려이다. 작업물(1)의 볼륨에서의 레이저 방사(2)의 전파는, 한편으로 빔 수렴 구역(3)의 희망되는 영역으로 제한되지만 다른 한편으로는 이를 가능한 한 완전하게 채우는 유효 에너지 결합이 상당한 정도로 방지되는 이러한 정도로 비-선형적인 효과들(예를 들어, 이미 빔 수렴 구역 외부에 있는 2-광자 흡수뿐만 아니라 자체 포커싱)에 의해 매우 강하게 방해를 받을 것이다. 빔 수렴 구역(3) 외부에서 레이저 방사(2)의 이러한 비-선형적인 전파를 억제하기 위해, 즉, 감소시키기 위해, 빔 성형 및 에너지 입력의 지속기간에 대해 가장 최적의 가능한 프로세스 파라미터들이 본 발명에 따라 정의되며, 그에 따라 에너지 증착의 광범위한 제어를 가능하게 한다. 주변 볼륨, 즉, 빔 수렴 구역(3) 외부에서의 손상이 최소로 감소된다.

[0027] 도 2는, 작업물(1)을 통한 섹션들에 의한 본 발명에 따른 공간적 빔 성형을 개략적으로 예시한다. 도 2의 좌측 묘사에서, 위(도 1)로부터 입사하는 레이저 방사(2)의 2개의 빔 컴포넌트들(6, 7)은 작업물 표면(빔 입장 표면) 훨씬 아래의 빔 수렴 구역(3)에서 수렴한다. 빔 컴포넌트들(6, 7)은 빔 축(8)과 함께 예각을 둘러싸서 세장형 빔 수렴 구역(3)을 야기한다. 빔 축(8)에 대해 소정의 각도로 작업물(1)의 볼륨을 통해 전파하는 빔 컴포넌트들(6, 7)은, 빔 컴포넌트들(6, 7)의 중첩이 빔 수렴 구역(3)에서만 독점적으로 발생한다는 것을 보장한다. 빔 수렴 구역 외부에서, 작업물의 볼륨에서의 레이저 방사의 플루언스는 너무 낮게 남아 있어서 비-선형적인 효과들이 가능한 한 거의 발생하지 않는다. 도 2의 중간 묘사에서, 레이저 방사(2)(도 1)의 추가적인 빔 컴포넌트들

(9, 10, 11, 12)이 추가되며, 이들은 추가적인 빔 수렴 구역들(3', 3'')로 가장 낮은 빔 수렴 구역(3) 사이의 영역을 "채운다(fill up)". 빔 수렴 구역들(3, 3', 3'') 외부에서의 레이저 방사(2)의 비선형적인 전파를 방지하기 위해, 작업물의 볼륨에서 작업물 표면에 더 가깝게 수렴하는 레이저 방사(2)의 이러한 빔 컴포넌트들(9, 10, 11, 12)은, 작업물(1)의 볼륨에서 작업물 표면으로부터 더 멀리 수렴하는 이러한 빔 컴포넌트들(6, 7)과 동일하거나(도 2에 도시된 바와 같음) 또는 이보다 더 작은 빔 축(8)과의 각도를 갖는다. 이는, 상이한 빔 구성요소들(6, 7, 9, 10, 11, 12)이 빔 수렴 구역들(3, 3', 3'') 외부에서 중첩하여 비-선형적인 효과들을 가능하게 하는 플루언스를 생성할 가능성을 배제한다. 도 2의 우측 묘사의 예에서, 다양한 빔 컴포넌트들(6, 7, 9 및 10, 11, 12)은 각각 2개의 더 큰 빔 컴포넌트들(13, 14)로 서로 병합되며, 그 결과 단일 세장형 빔 수렴 구역(3)이 형성된다. 빔 성형은, 빔 수렴 구역(3)에서의 펄스 이벤트(단일 레이저 펄스 또는 펄스 버스트) 동안, 먼저 발생하는(즉, 도 2에서 더 위에서 발생하는) 수정들(또는 높은 전자 밀도의 구역들)이 나중에 도달되는(더 아래에서 도달되는) 빔 수렴 구역(3)의 부분들로부터 입사 에너지의 작은 부분만을 차폐하는 것을 보장한다. 이는 일반적으로 빔 축(8)에 대한 입사 레이저 방사의 빔 컴포넌트들(6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14)의 가장 좁은 가능한 각도 스펙트럼에 의해 달성될 수 있다.

[0028] 도 3은, 작업물(1)의 단면도들(상부 묘사들)에 의해 그리고 상면도들(하부 묘사들)에 의해, 레이저 방사(2)의 수렴 빔 컴포넌트들(13, 14)에 의한 복수의 수정 구역들(5)의 연속적인 도입을 차례로 예시한다. 이러한 프로세스에서, 이상에서 설명된 바와 같이, 작업물(1)은 (도 3에서 우측으로) 빔 수렴 구역(3)에 대해 이동된다. 좌측 묘사에서, 수정 구역들(5)은 매우 근접하게 도입된다. 이러한 프로세스에서, 레이저 방사(2)의 부분은 이미 미리 도입된 개별적인 수정 구역들(5)에 의해 차폐된다. 대응하는 차폐 각도 세그먼트는 도 3의 하부 묘사들에 도시된다. 각도 세그먼트가 더 넓게 이격된 수정 구역들(중간 예시)보다 밀접하게 이격된 수정 구역들(5)(좌측 도시)에 대해 더 크다는 것이 확인될 수 있다. 우측 도시에서, 수정 구역들은 다시 밀접하게 인접한다. 그러나, 여기서 빔 성형은, 빔 수렴 구역(3)의 범위 및 대응하여 각각의 경우에 도시된 수정 구역(5)의 범위가 이에 대해 수직인 방향 보다 약화 평면에 평행한 방향(즉, 분리 라인(4)을 따른 방향)에서 빔 축(8)에 대해 횡방향으로 더 큰 방식으로 발생한다. 결과적으로, 수정 구역들(5)의 반복적인 도입 동안 개별적인 이상에서 언급된 이미 도입된 수정 구역들(5)에 의해 차폐되는 레이저 방사(2)의 해당 부분이 감소된다. 우측 하부 묘사에서, 차폐 각도 세그먼트가 좌측 하부 묘사보다 더 작다는 것이 확인될 수 있다. 따라서, 분할 라인(4)을 가로지르는 수정 구역들(5)의 더 작은 확장은 밀접하게 이격된 수정 구역들을 허용하며, 그 결과 전반적인 영역의 더 큰 비율이 약화될 수 있고 그에 따라서 분열의 품질이 개선될 수 있다.

[0029] 도 4는 본 발명에 따른 프로세스 파라미터들을 최적화하기 위한 절차의 일 예를 도시한다. 먼저, 레이저 방사의 파장이 작업물(1)의 조건들(재료 및 두께)에 기초하여 지정된다. 이상적으로, 레이저 방사의 파장은, 작업물의 재료에서 레이저 방사의 선형적인 흡수가 레이저 빔 방향으로 1 센티미터의 길이에 걸쳐 20% 미만, 더 바람직하게는 10% 미만, 특히 바람직하게는 5% 미만이 되도록 선택되어야 한다. 또한, 레이저 방사의 파장은, 이러한 파장에서 작업물의 볼륨에서의 비-선형적인 굴절률이 가능한 한 낮다는 조건에 따라 선택되어야 한다. 예를 들어, 더 긴 파장은 빔 수렴 구역 외부에서 2-광자 흡수를 감소시킨다. 동시에, 파장은, 양호한 포커싱 능력이 보장되는 범위 내에 있어야 하며, 이러한 관점에서 더 짧은 파장이 바람직하다. 상이한 최적화 기준에 기초하여, 적절한 파장이 지정된다. 다음 단계에서, 빔 성형은 작업물의 두께 및 재료(굴절률)를 또한 고려하여 이상에서 설명된 기준에 따라 결정된다. 그런 다음, 다시 빔 수렴 구역(3) 외부에서 작업물(1)의 볼륨을 통한 레이저 방사(2)의 전파에서의 비-선형적인 효과들이 회피되거나 또는 적어도 감소된다는 조건으로, 펄스 지속기간 및 펄스 에너지의 반복적인 최적화가 수행된다. 이에 대한 더 상세한 내용들은 이하에서 도 5 및 도 6을 참조하여 설명된다.

[0030] 에너지 증착의 가능한 최상의 제어를 달성하기 위해, 펄스형 레이저 방사의 비-선형적인 흡수에 의해 생성되는 에너지 입력의 가장 짧은 가능한 지속기간, 즉, 이러한 경우에 작업물(1) 내의 희망되는 수정의 달성을 위한 가장 짧은 가능한 펄스 지속기간이 결정된다. 이는 이미 미리 결정된 파라미터들, 즉, 재료, 빔 수렴 구역(3)의 기하구조, 즉, 빔 형상 및 파장에 의존한다. 도 5에 도시된 최적화 단계들은 최적 펄스 지속기간을 찾기 위해 사용된다. 반복적인 최적화에 대한 가능한 시작점은, 한편으로 작업물(1)의 재료의 수정을 위한 필요 에너지 밀도, 및 다른 한편으로 이로부터 작업물(1)의 볼륨에서 전파하는 레이저 방사(2)의 자체-포커싱이 발생하는 개별적인 임계 파워로부터 기인할 수 있다. 펄스 지속기간은, 달성되는 레이저 방사의 피크 파워들이 자체-포커싱에 임계적인 재료-특정 파라미터 미만이 되도록 적어도 충분히 길게 선택되어야 한다. 도 5 및 도 6에 도시된 시퀀스에서 적어도 95% 확률을 갖는 성공적인 수정의 검증은, 예를 들어, ISO 21254("Lasers and laser-related equipment - Test methods for laser-induced damage threshold")에 따라 수행된다. 펄스형 레이저 방사(2)의 펄스 지속기간 및 펄스 에너지는, 단일 레이저 펄스 또는 레이저 펄스들의 미리 결정된 시퀀스로 구성된 레이저

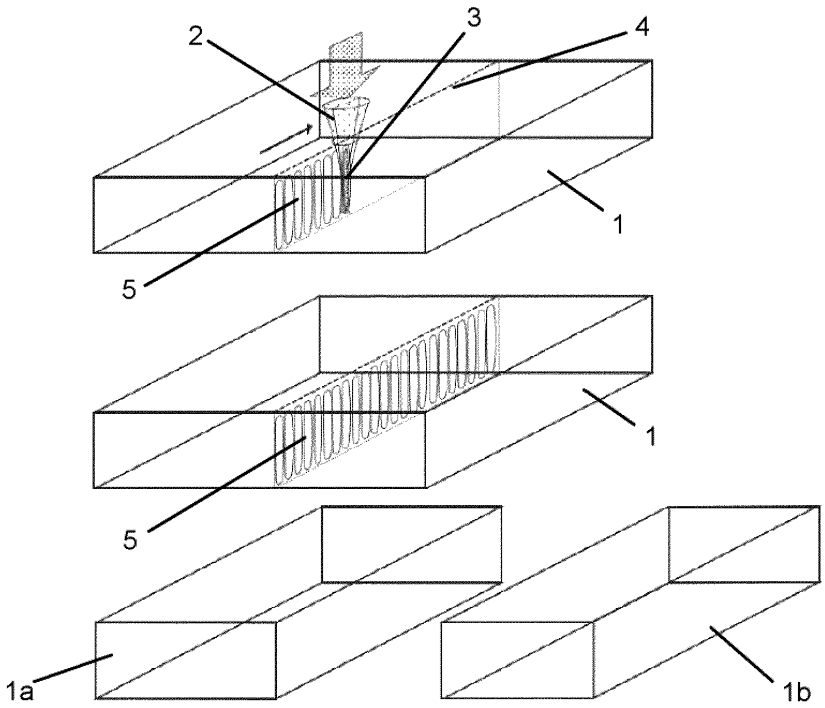
펄스 버스트에 의한 수정이 (적어도 95% 확률로) 신뢰할 수 있게 발생하는 방식으로 최적화에 의해 결정된다. 동시에, 수정이 계속해서 신뢰할 수 있게 발생하는 최소 필요 펄스 지속기간이 선택된다. 도 5에 따른 펄스 지속기간의 최적화 이후에, 펄스 지속기간은 선택적으로, 개선된 결과 및/또는 증가된 프로세스 안정성이 달성될 수 있는 경우 결과에 의존하여 상향 조정될 수 있다. 상한은 레이저 방사 동안 열 손상 범위에 의해 추가로 결정된다. 도 6에 따르면, 그러면 희망되는 수정 범위에서의 플루언스(>95% 확률)는 유사한 절차에 따라 펄스 에너지를 증가시키거나 또는 감소시킴으로써 조정된다. 도 5 및 도 6의 최적화 단계들은, 최적 펄스 지속기간 및 펄스 에너지가 선택된 빔 성형에 대해, 즉, 수정 구역(5)의 희망되는 기하구조에 대해 사용된다는 것을 보장한다.

[0031] 본 발명의 실제적인 구현예에서, 525 μm 두께의 실리콘 웨이퍼가 1960 nm의 파장에서 펄스형 레이저 방사로 조사된다. 비-선형적인 전파의 상당한 감소 및 그에 따른 수정의 첫 번째 발생이 20 ps 펄스 지속기간으로부터 관찰될 수 있다. 단일 레이저 펄스에 의한 수정 확률의 결정은, >95%의 확률이 25 ps 펄스 지속기간으로부터 도달된다는 것을 보여준다. 이러한 경우에, 펄스 에너지는 15 μJ이다. 따라서, 빔 방향으로 350 μm의 길이 및 5 μm의 직경을 갖는 수정 구역들이 공간적 펄스 성형에 의해 생성될 수 있다. 수정 구역들은, 웨이퍼에 대해 레이저 방사의 포커스, 즉, 빔 수렴 구역을 이동시킴으로써 10 μm의 간격으로 정렬된다. 그 후에, 웨이퍼는 작은 기계적 힘으로 직각으로 파단될 수 있다. 정확한 파단 라인이 형성된다. 파단 라인을 따른 열에 영향을 받는 영역이 작다. 표면의 거칠기는 5 μm보다 더 작다.

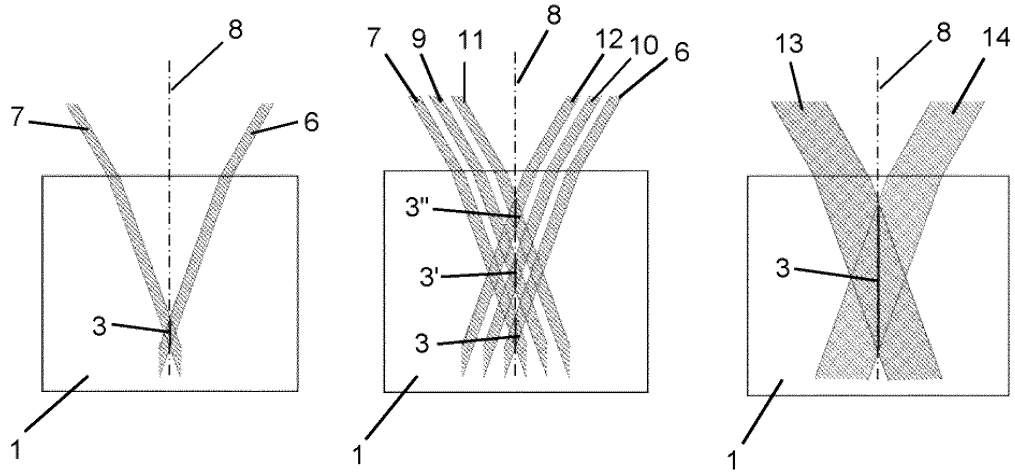
[0032] 작업물(1)의 재료에 연속적인 약화부를 생성하기 위해, 레이저 빔(2) 및 작업물(1)의 상대 이동의 속도는, 작업물(1)의 볼륨에서 수정 구역들(5)의 중첩이 존재하는 정도까지 낮춰질 수 있다. 도 7의 도면은, 공급 속도(feed speed) v, 수정 확률 P 및 입력 에너지 E_{in}의 파라미터들의 상호작용이 상이한 레짐(regime)들을 형성하는 방법을 보여준다. X1은, 수정들이 연속적인 방식(서로 중첩함)으로 도입되는 영역을 나타낸다. 빔 전파에 수직인 수정 구역들(5)의 확장에 영향을 갖는 개별적인 선택된 에너지 E_{in}에서, 중첩이 발생한다. 공급 레이트가 증가되는 경우, 펄스 이벤트들의 동일한 반복 레이트에서, 도입된 수정 구역들(5) 사이의 거리들은 증가되며, 분리된, 즉, 비-중첩하는 수정 구역들(5)의 형성이 발생한다(레짐 X2). 레짐 X3에서, 펄스 에너지는 너무 낮으며, 그 결과 수정의 확률이 너무 낮다. 분열을 가능하게 하기 위한 작업물(1)의 충분한 약화가 달성되지 않는다.

도면

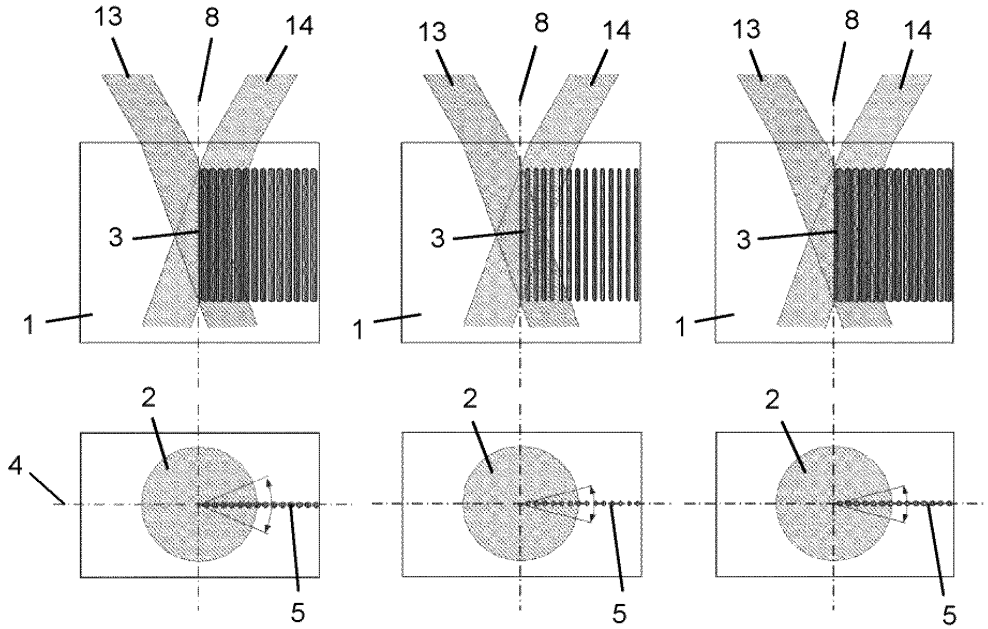
도면1



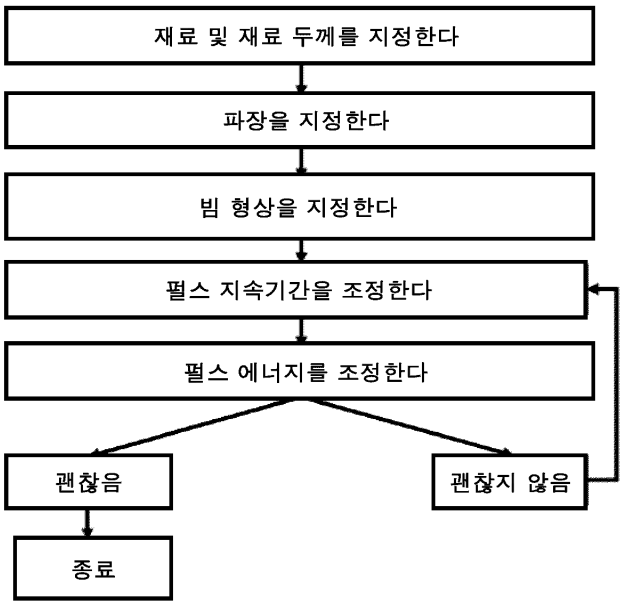
도면2


8
7
6
3
1
7
9
11
8
12
10
6
3"
3'
3
1
13
8
14
3
1

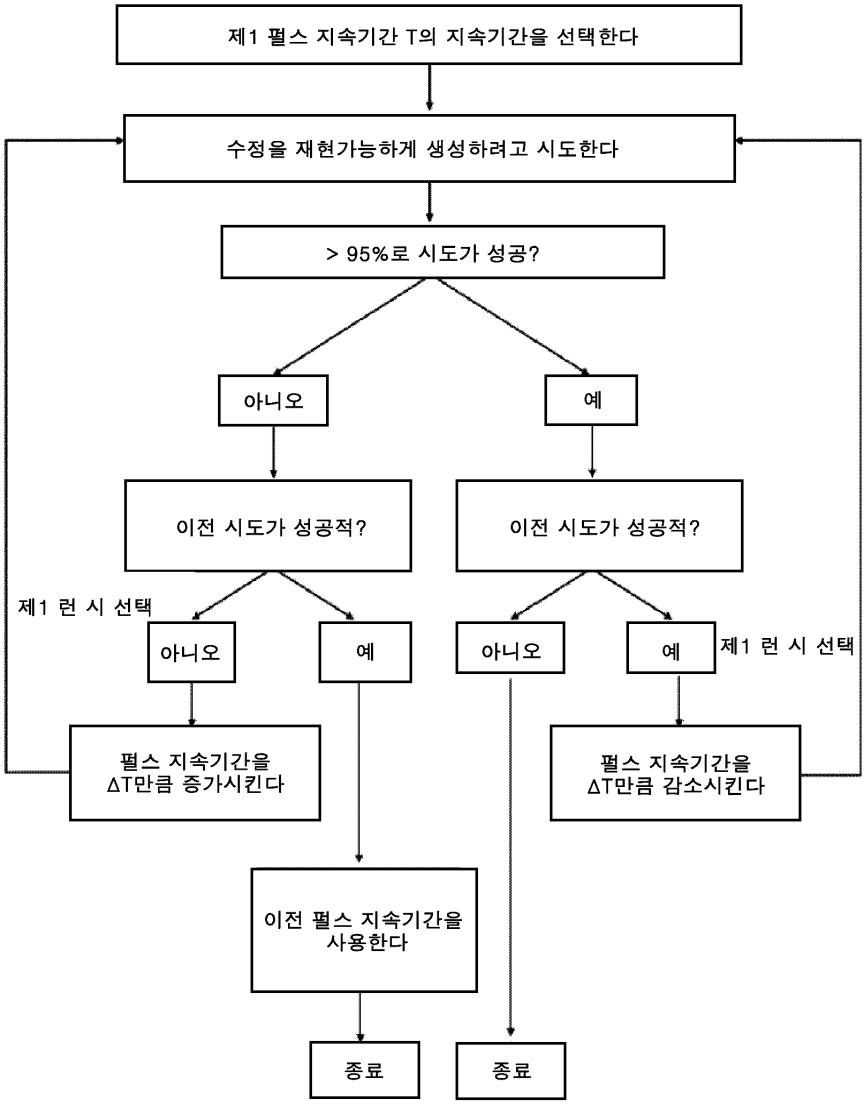
도면3


13
8
14
3
1
2
4
5
13
8
14
3
1
2
5
13
8
14
3
1
2
5

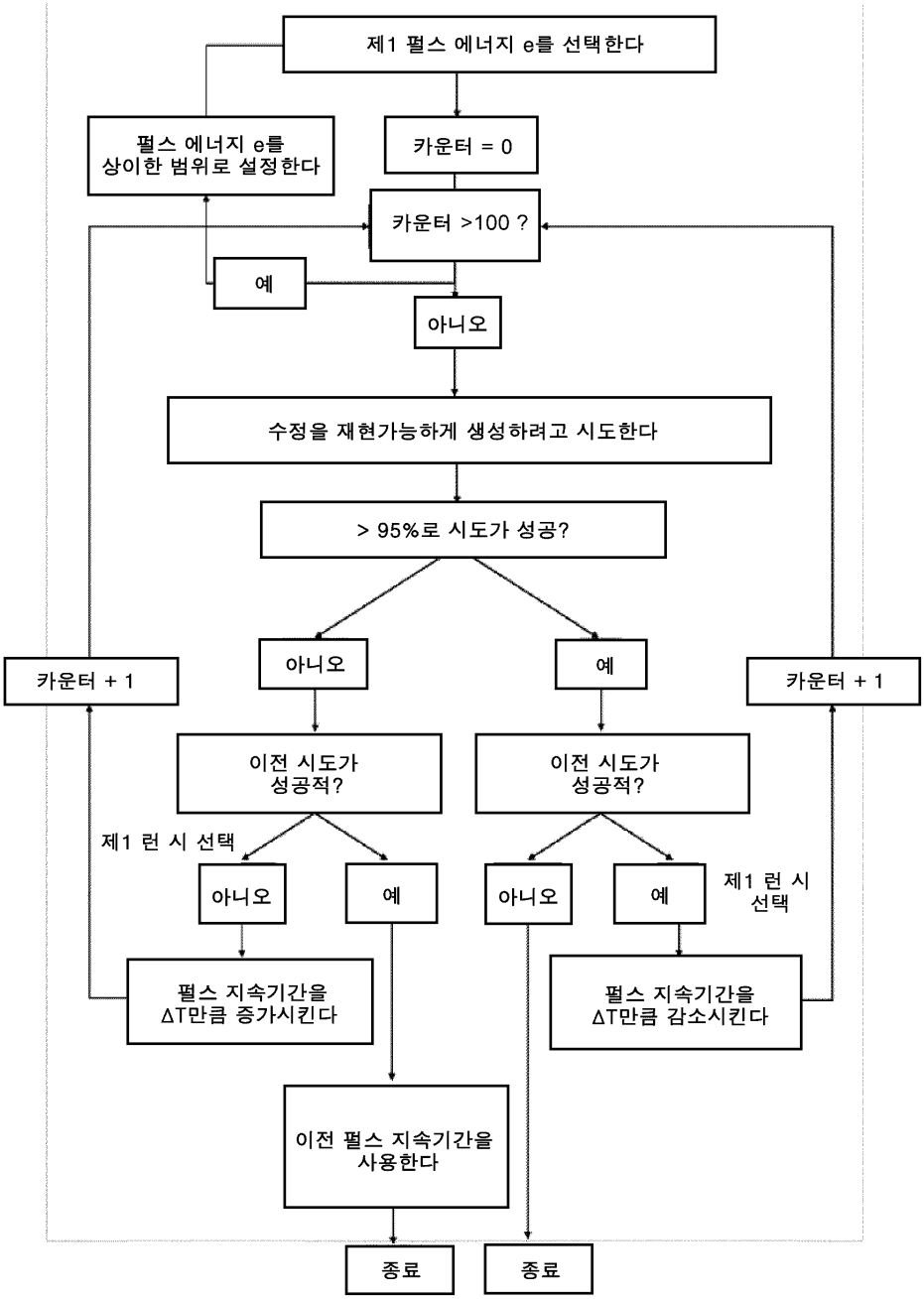
도면4


재료 및 재료 두께를 지정한다
파장을 지정한다
빔 형상을 지정한다
펄스 지속기간을 조정한다
펄스 에너지를 조정한다
괜찮음
괜찮지 않음
종료

도면5


제1 펄스 지속기간 T의 지속기간을 선택한다
수정을 재현가능하게 생성하려고 시도한다
> 95%로 시도가 성공?
아니오
예
이전 시도가 성공적?
이전 시도가 성공적?
제1 런 시 선택
아니오
예
아니오
예
제1 런 시 선택
펄스 지속기간을 ΔT만큼 증가시킨다
펄스 지속기간을 ΔT만큼 감소시킨다
이전 펄스 지속기간을 사용한다
종료
종료

도면6


제1 펄스 에너지 e를 선택한다
펄스 에너지 e를 상이한 범위로 설정한다
카운터 = 0
카운터 >100 ?
예
아니오
수정을 재현가능하게 생성하려고 시도한다
> 95%로 시도가 성공?
아니오
예
카운터 + 1
카운터 + 1
이전 시도가 성공적?
이전 시도가 성공적?
제1 런 시 선택
아니오
예
아니오
예
제1 런 시 선택
펄스 지속기간을 ΔT만큼 증가시킨다
펄스 지속기간을 ΔT만큼 감소시킨다
이전 펄스 지속기간을 사용한다
종료
종료

도면7

