



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년09월24일
(11) 등록번호 10-2024950
(24) 등록일자 2019년09월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/301 (2006.01) H01L 21/76 (2006.01)
H01S 3/10 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0055321
(22) 출원일자 2014년05월09일
심사청구일자 2018년05월09일
(65) 공개번호 10-2014-0134220
(43) 공개일자 2014년11월21일
(30) 우선권주장
JP-P-2013-101557 2013년05월13일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2009166103 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
가부시기가이샤 디스코
일본 도쿄도 오타쿠 오모리키타 2쵸메 13반 11고
(72) 발명자
다케다 노보루
일본 143-8580 도쿄도 오타쿠 오모리키타 2쵸메
13-11 가부시기가이샤 디스코 나이
모리카즈 히로시
일본 143-8580 도쿄도 오타쿠 오모리키타 2쵸메
13-11 가부시기가이샤 디스코 나이
(74) 대리인
김태홍

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 이정은

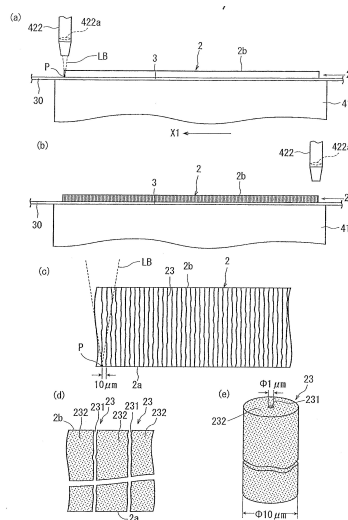
(54) 발명의 명칭 레이저 가공 방법

(57) 요약

본 발명은, 단결정 기판을 분할 예정 라인을 따라 효율적으로 개개의 칩으로 분할할 수 있으며, 칩의 품질을 저하시키지 않는 레이저 가공 방법을 제공한다.

단결정 기판에 펄스 레이저 광선을 조사하여 가공을 실시하는 레이저 가공 방법으로서, 펄스 레이저 광선을 집광하는 집광 렌즈의 개구수(NA)를 단결정 기판의 굴절률(N)로 나눈 값이 0.05~0.2인 범위로 집광 렌즈의 개구수(NA)를 설정하는 개구수 설정 공정과, 펄스 레이저 광선의 집광점이 단결정 기판의 두께 방향의 원하는 위치에 위치되도록 집광 렌즈와 단결정 기판을 상대적으로 광축 방향에 위치시키는 위치 결정 공정과, 펄스 레이저 광선을 조사하여 단결정 기판에 위치된 집광점과 펄스 레이저 광선이 조사된 측 사이에 세공과 세공을 실드하는 비정질을 성장시켜 실드 터널을 형성하는 실드 터널 형성 공정을 포함한다.

대표도 - 도4



(56) 선행기술조사문헌
JP2005303286 A
W02012108052 A1
JP평성10305420 A
JP2002192370 A

명세서

청구범위

청구항 1

단결정 기판에 펄스 레이저 광선을 조사하여 가공을 실시하는 레이저 가공 방법으로서,

펄스 레이저 광선을 집광하는 집광 렌즈의 개구수(NA)를 단결정 기판의 굴절률(N)로 나눈 값이 0.05~0.2의 범위
위가 되도록 집광 렌즈의 개구수(NA)를 설정하는 개구수 설정 공정과,

펄스 레이저 광선의 집광점이 단결정 기판의 두께 방향의 원하는 위치에 위치되도록 집광 렌즈와 단결정 기판을
상대적으로 광축 방향에 위치시키는 위치 결정 공정, 그리고

펄스 레이저 광선을 조사하여 단결정 기판에 위치한 집광점과 펄스 레이저 광선이 입사된 측 사이에 세공(細
孔)과 상기 세공을 실드하는 비정질을 성장시켜 실드 터널을 형성하는 실드 터널 형성 공정

을 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 가공 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 위치 결정 공정에 있어서, 집광점은, 단결정 기판에서의 펄스 레이저 광선이 조사되는 측
과는 반대측의 면에 인접하는 내측에 위치되는 것인 레이저 가공 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 실드 터널 형성 공정에 있어서, 단결정 기판에 설정된 분할 예정 라인을 따라 복수의 실
드 터널을 형성하는 것인 레이저 가공 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 복수의 실드 터널은, 인접하는 비정질끼리가 이어지도록 형성되는 것인 레이저 가공
방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 실드 터널의 길이는, 단결정 기판의 두께가 되도록 펄스 레이저 광선의 에너지가 설정되
는 것인 레이저 가공 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 펄스 레이저 광선의 에너지와 상기 실드 터널의 길이의 상관 관계를 생성하여, 형성하고자 하
는 상기 실드 터널의 길이에 대응한 펄스 레이저 광선의 에너지를 설정하는 것인 레이저 가공 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 펄스 레이저 광선의 에너지가 $5 \mu\text{J}/1$ 펄스 이상이고, 상기 실드 터널의 길이를 $Y(\mu\text{m})$ 로 하며,
펄스 레이저 광선의 에너지를 $X(\mu\text{J}/1 \text{ 펄스})$ 로 한 경우, $Y=(3.0 \mu\text{m}/\mu\text{J} \sim 4.0 \mu\text{m}/\mu\text{J})X+50 \mu\text{m}$ 의 상관 관계를 갖
는 것인 레이저 가공 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 펄스 레이저 광선의 파장은, 단결정 기판의 밴드 갭에 대응하는 파장의 2배 이상으로 설정되는
것인 레이저 가공 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 개구수 설정 공정에 있어서, 단결정 기판이 사파이어(Al_2O_3) 기판인 경우에 집광 렌즈의
개구수(NA)는 0.1~0.35로 설정되고, 단결정 기판이 탄화규소(SiC) 기판인 경우에 집광 렌즈의 개구수(NA)는

0.15~0.55로 설정되며, 단결정 기판이 질화갈륨(GaN) 기판인 경우에 집광 렌즈의 개구수(NA)는 0.1~0.5로 설정되는 것인 레이저 가공 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 실리콘(Si) 기판, 사파이어 기판, 탄화규소(SiC) 기판, 질화갈륨(GaN) 기판 등의 단결정 기판에 레이저 가공을 실시하는 레이저 가공 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 당업자에게는 주지된 바와 같이, 반도체 디바이스 제조 프로세스에 있어서는, 실리콘(Si) 기판의 표면에 절연막과 기능막이 적층된 기능층에 의해 복수의 IC, LSI 등의 디바이스를 매트릭스형으로 형성한 반도체 웨이퍼가 형성된다. 이와 같이 형성된 반도체 웨이퍼는 상기 디바이스가 분할 예정 라인에 의해 구획되어 있고, 이 분할 예정 라인을 따라 분할함으로써 개개의 반도체 칩을 제조하고 있다.

[0003] 또한, 광 디바이스 제조 프로세스에 있어서는, 사파이어 기판(Al_2O_3), 탄화규소(SiC) 기판, 질화갈륨(GaN) 기판의 표면에 n형 질화물 반도체층 및 p형 질화물 반도체층으로 이루어지는 광 디바이스층이 적층되어 격자형으로 형성된 복수의 분할 예정 라인에 의해 구획된 복수의 영역에 발광 다이오드, 레이저 다이오드 등의 광 디바이스를 형성하여 광 디바이스 웨이퍼를 구성한다. 그리고, 광 디바이스 웨이퍼를 분할 예정 라인을 따라 절단함으로써 광 디바이스가 형성된 영역을 분할하여 개개의 칩을 제조하고 있다.

[0004] 전술한 반도체 웨이퍼나 광 디바이스 웨이퍼 등의 웨이퍼를 분할하는 방법으로서, 그 피가공물에 대하여 투과성을 갖는 파장의 펄스 레이저 광선을 이용하여, 분할하여야 하는 영역의 내부에 집광점을 맞추어 펄스 레이저 광선을 조사하는 레이저 가공 방법도 시도되어 있다. 이 레이저 가공 방법을 이용한 분할 방법은, 웨이퍼의 한쪽의 면측으로부터 내부에 집광점을 맞추어 웨이퍼에 대하여 투과성을 갖는 파장의 펄스 레이저 광선을 조사하고, 피가공물의 내부에 분할 예정 라인을 따라 개질층을 연속적으로 형성하며, 이 개질층이 형성됨으로써 강도가 저하한 분할 예정 라인을 따라 외력을 가함으로써, 웨이퍼를 분할하는 기술이다(예컨대, 특허문헌 1 참조).

[0005] 또한, 반도체 웨이퍼나 광 디바이스 웨이퍼 등의 웨이퍼를 분할 예정 라인을 따라 분할하는 방법으로서, 웨이퍼에 대하여 흡수성을 갖는 파장의 펄스 레이저 광선을 분할 예정 라인을 따라 조사함으로써 어블레이션 가공을 실시하여 레이저 가공홈을 형성하고, 이 파단 기점이 되는 레이저 가공홈이 형성된 분할 예정 라인을 따라 외력을 부여함으로써 할단하는 기술이 실용화되어 있다(예컨대, 특허문헌 2 참조).

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 일본 특허 제3408805호 공보
(특허문헌 0002) 특허문헌 2: 일본 특허 공개 평성10-305420호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 그러나, 웨이퍼의 내부에 레이저 광선의 집광점을 위치시켜 개질층을 형성하기 위해서는 개구수(NA)가 0.8 전후인 집광 렌즈를 이용할 필요가 있고, 예컨대 두께가 300 μm 인 웨이퍼를 개개의 디바이스로 분할하기 위해서는 개질층을 다수 단 겹쳐 형성하지 않으면 안 되어 생산성이 나쁘다고 하는 문제가 있다.

[0008] 또한, 웨이퍼에 대하여 흡수성을 갖는 파장의 펄스 레이저 광선을 조사하면, 웨이퍼의 조사면 근방에서 어블레이션 가공이 실시되어 에너지가 웨이퍼의 내부까지 침투하지 않기 때문에, 분할 예정 라인을 따라 복수의 펄스 레이저 광선을 조사하지 않으면 안 되어 생산성이 나쁘며, 데브리가 비산하여 칩의 품질을 저하시킨다고 하는 문제가 있다.

[0009] 본 발명은 상기 사실을 감안하여 이루어진 것으로서, 그 주된 기술적 과제는, 단결정 기판을 분할 예정 라인을 따라 효율적으로 개개의 칩으로 분할할 수 있으며, 칩의 품질을 저하시키지 않는 레이저 가공 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기의 주된 기술 과제를 해결하기 위해, 본 발명에 따르면, 단결정 기판에 펄스 레이저 광선을 조사하여 가공을 실시하는 레이저 가공 방법으로서,
- [0011] 펄스 레이저 광선을 집광하는 집광 렌즈의 개구수(NA)를 단결정 기판의 굴절률(N)로 나눈 값이 0.05~0.2의 범위가 되도록 집광 렌즈의 개구수(NA)를 설정하는 개구수 설정 공정과,
- [0012] 펄스 레이저 광선의 집광점이 단결정 기판의 두께 방향의 원하는 위치에 위치되도록 집광 렌즈와 단결정 기판을 상대적으로 광축 방향에 위치시키는 위치 결정 공정과,
- [0013] 펄스 레이저 광선을 조사하여 단결정 기판에 위치한 집광점과 펄스 레이저 광선이 입사된 측 사이에 세공(細孔)과 이 세공을 실드하는 비정질을 성장시켜 실드 터널을 형성하는 실드 터널 형성 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 가공 방법이 제공된다.
- [0015] 바람직하게는, 상기 위치 결정 공정에 있어서 집광점은, 단결정 기판에 있어서의 펄스 레이저 광선이 조사되는 측과는 반대측의 면에 인접하는 내측에 위치된다.
- [0016] 상기 실드 터널 형성 공정에 있어서, 단결정 기판에 설정된 분할 예정 라인을 따라 복수의 실드 터널을 형성한다. 이 복수의 실드 터널은, 인접하는 비정질끼리가 이어지도록 형성되는 것이 바람직하다.
- [0017] 바람직하게는, 상기 실드 터널의 길이는, 단결정 기판의 두께가 되도록 펄스 레이저 광선의 에너지가 설정된다.
- [0018] 펄스 레이저 광선의 에너지와 실드 터널의 길이의 상관 관계를 생성하고, 형성하고자 하는 상기 실드 터널의 길이에 대응한 펄스 레이저 광선의 에너지를 설정한다. 바람직하게는, 펄스 레이저 광선의 에너지가 5 $\mu\text{J}/1$ 펄스 이상이며, 실드 터널의 길이를 $Y(\mu\text{m})$ 로 하고, 펄스 레이저 광선의 에너지를 $X(\mu\text{J}/1 \text{ 펄스})$ 로 한 경우, $Y=(3.0 \mu\text{m}/\mu\text{J} \sim 4.0 \mu\text{m}/\mu\text{J})X+50 \mu\text{m}$ 의 상관 관계를 갖는다.
- [0019] 바람직하게는, 펄스 레이저 광선의 파장은, 단결정 기판의 밴드 갭에 대응하는 파장의 2배 이상으로 설정된다.
- [0020] 상기 개구수 설정 공정에 있어서는, 단결정 기판이 사파이어(Al_2O_3) 기판인 경우에 집광 렌즈의 개구수(NA)는 0.1~0.35로 설정되고, 단결정 기판이 탄화규소(SiC) 기판인 경우에 집광 렌즈의 개구수(NA)는 0.15~0.55로 설정되며, 단결정 기판이 질화갈륨(GaN) 기판인 경우에 집광 렌즈의 개구수(NA)는 0.1~0.5로 설정된다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따른 레이저 가공 방법에 있어서는, 펄스 레이저 광선을 집광하는 집광 렌즈의 개구수(NA)를 단결정 기판의 굴절률(N)로 나눈 값이 0.05~0.2의 범위가 되도록 집광 렌즈의 개구수(NA)를 설정하고, 펄스 레이저 광선을 조사하여 단결정 기판에 위치한 집광점과 펄스 레이저 광선이 조사된 측 사이에 세공과 이 세공을 실드하는 비정질을 성장시켜 실드 터널을 형성하기 때문에, 두께가 예컨대 300 μm 인 단결정 기판일지라도 조사면(상면)으로부터 하면에 걸쳐 실드 터널을 형성할 수 있기 때문에, 단결정 기판의 두께가 두꺼워도 펄스 레이저 광선을 1회 조사하면 되기 때문에, 생산성이 매우 양호해진다. 또한, 실드 터널 형성 공정에 있어서는 데브리가 비산하지 않기 때문에, 디바이스의 품질을 저하시킨다고 하는 문제도 해소된다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 단결정 기판으로서의 광 디바이스 웨이퍼의 사시도이다.
- 도 2는 도 1에 도시된 광 디바이스 웨이퍼를 환형 프레임에 장착한 다이싱 테이프에 접촉한 상태를 도시하는 사시도이다.
- 도 3은 실드 터널 형성 공정을 실시하기 위한 레이저 가공 장치의 주요부 사시도이다.
- 도 4는 실드 터널 형성 공정의 설명도이다.
- 도 5는 집광 렌즈의 개구수(NA)와 광 디바이스 웨이퍼의 굴절률(N)과 개구수(NA)를 굴절률(N)로 나눈 값

($S=NA/N$)의 관계를 도시하는 도면이다.

도 6은 사파이어 기판과 탄화규소(SiC) 기판과 질화갈륨(GaN) 기판에 있어서 실드 터널이 형성된 상태에 있어서의 펄스 레이저 광선의 에너지와 실드 터널의 길이의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 7은 실드 터널이 형성된 광 디바이스 웨이퍼를 개개의 광 디바이스로 분할하기 위한 분할 장치의 사시도이다.

도 8은 도 7에 도시된 분할 장치에 의해 실시하는 웨이퍼 분할 공정의 설명도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 본 발명에 따른 웨이퍼의 가공 방법에 대해서 첨부 도면을 참조하여, 더욱 상세하게 설명한다.
- [0024] 도 1에는, 본 발명에 따른 레이저 가공 방법에 따라 가공되는 단결정 기판으로서의 광 디바이스 웨이퍼(2)의 사시도가 도시되어 있다. 도 1에 도시된 광 디바이스 웨이퍼(2)는, 두께가 300 μm 인 사파이어 기판의 표면(2a)에 발광 다이오드, 레이저 다이오드 등의 복수의 광 디바이스(21)가 매트릭스형으로 형성되어 있다. 그리고, 각 광 디바이스(21)는, 격자형으로 형성된 분할 예정 라인(22)에 의해 구획되어 있다.
- [0025] 전술한 광 디바이스 웨이퍼(2)를 분할 예정 라인(22)을 따라 분할하기 위해, 분할 예정 라인(22)을 따라 레이저 가공을 실시하는 레이저 가공 방법에 대해서 설명한다.
- [0026] 우선, 광 디바이스 웨이퍼(2)를 환형 프레임에 장착된 다이싱 테이프의 표면에 접촉하는 웨이퍼 지지 공정을 실시한다. 즉, 도 2에 도시하는 바와 같이, 환형 프레임(3)의 내측 개구부를 덮도록 외주부가 환형 프레임(3)에 장착된 다이싱 테이프(30)의 표면에 광 디바이스 웨이퍼(2)의 표면(2a)을 접촉한다. 따라서, 다이싱 테이프(30)의 표면에 접촉된 광 디바이스 웨이퍼(2)는, 이면(2b)이 상측이 된다.
- [0027] 도 3에는, 전술한 웨이퍼 지지 공정이 실시된 광 디바이스 웨이퍼(2)의 분할 예정 라인(22)을 따라 레이저 가공을 실시하는 레이저 가공 장치의 주요부가 도시되어 있다. 도 3에 도시된 레이저 가공 장치(4)는, 피가공물을 유지하는 척 테이블(41)과, 상기 척 테이블(41) 상에 유지된 피가공물에 레이저 광선을 조사하는 레이저 광선 조사 수단(42)과, 척 테이블(41) 상에 유지된 피가공물을 촬상하는 촬상 수단(43)을 구비하고 있다. 척 테이블(41)은, 피가공물을 흡인 유지하도록 구성되어 있고, 도시하지 않은 가공 이송 수단에 의해, 도 3에 있어서 화살표 X로 나타내는 가공 이송 방향으로 이동되며, 도시하지 않은 인덱싱 이송 수단에 의해, 도 3에 있어서 화살표 Y로 나타내는 인덱싱 이송 방향으로 이동되도록 되어 있다.
- [0028] 상기 레이저 광선 조사 수단(42)은, 실질적으로 수평으로 배치된 원통 형상의 케이싱(421)을 포함하고 있다. 케이싱(421) 내에는 도시하지 않은 펄스 레이저 광선 발진기나 반복 주파수 설정 수단을 구비한 펄스 레이저 광선 발진 수단이 설치되어 있다. 상기 케이싱(421)의 선단부에는, 펄스 레이저 광선 발진 수단으로부터 발진된 펄스 레이저 광선을 집광하기 위한 집광 렌즈(422a)를 구비한 집광기(422)가 장착되어 있다. 이 집광기(422)의 집광 렌즈(422a)는, 개구수(NA)가 다음과 같이 설정되어 있다. 즉, 집광 렌즈(422a)의 개구수(NA)는, 개구수(NA)를 단결정 기판의 굴절률(N)로 나눈 값이 0.05~0.2의 범위로 설정된다(개구수 설정 공정). 한편, 레이저 광선 조사 수단(42)은, 집광기(422)의 집광 렌즈(422a)에 의해 집광되는 펄스 레이저 광선의 집광점 위치를 조정하기 위한 집광점 위치 조정 수단(도시 생략)을 구비하고 있다.
- [0029] 상기 레이저 광선 조사 수단(42)을 구성하는 케이싱(421)의 선단부에 장착된 촬상 수단(43)은, 가시 광선에 의해 촬상하는 통상의 촬상 소자(CCD) 외에, 피가공물에 적외선을 조사하는 적외선 조명 수단과, 상기 적외선 조명 수단에 의해 조사된 적외선을 포착하는 광학계와, 상기 광학계에 의해 포착된 적외선에 대응한 전기 신호를 출력하는 촬상 소자(적외선 CCD) 등으로 구성되어 있고, 촬상한 화상 신호를 도시하지 않은 제어 수단에 보낸다.
- [0030] 전술한 레이저 가공 장치(4)를 이용하여, 전술한 웨이퍼 지지 공정이 실시된 광 디바이스 웨이퍼(2)의 분할 예정 라인(22)을 따라 레이저 가공을 실시하기 위해서는, 펄스 레이저 광선의 집광점이 단결정 기판으로서의 광 디바이스 웨이퍼(2)의 두께 방향의 원하는 위치에 위치되도록 집광 렌즈와 단결정 기판을 상대적으로 광축 방향에 위치시키는 위치 결정 공정을 실시한다.
- [0031] 우선, 전술한 도 3에 도시된 레이저 가공 장치(4)의 척 테이블(41) 상에 광 디바이스 웨이퍼(2)가 접촉된 다이싱 테이프(30)측을 배치한다. 그리고, 도시하지 않은 흡인 수단을 작동시킴으로써, 다이싱 테이프(30)를 통해 광 디바이스 웨이퍼(2)를 척 테이블(41) 상에 유지한다(웨이퍼 유지 공정). 따라서, 척 테이블(41)에 유지된

광 디바이스 웨이퍼(2)는, 이면(2b)이 상측이 된다. 또한, 도 3에 있어서는 다이싱 테이프(30)가 장착된 환형 프레임(3)을 생략하여 도시되어 있지만, 환형 프레임(3)은 척 테이블(41)에 설치된 적절한 프레임 유지 수단에 유지된다. 이와 같이 하여, 광 디바이스 웨이퍼(2)를 흡인 유지한 척 테이블(41)은, 도시하지 않은 가공 이송 수단에 의해 촬상 수단(43)의 바로 아래에 위치된다.

[0032] 척 테이블(41)이 촬상 수단(43)의 바로 아래에 위치되면, 촬상 수단(43) 및 도시하지 않은 제어 수단에 의해, 광 디바이스 웨이퍼(2)의 레이저 가공하여야 하는 가공 영역을 검출하는 얼라이먼트 작업을 실행한다. 즉, 촬상 수단(43) 및 도시하지 않은 제어 수단은, 광 디바이스 웨이퍼(2)의 제1 방향으로 형성되어 있는 분할 예정 라인(22)과, 분할 예정 라인(22)을 따라 레이저 광선을 조사하는 레이저 광선 조사 수단(42)의 집광기(422)의 위치 정렬을 행하기 위한 패턴 매칭 등의 화상 처리를 실행하여, 레이저 광선 조사 위치의 얼라이먼트를 수행한다(얼라이먼트 공정). 또한, 광 디바이스 웨이퍼(2)에 상기 제1 방향과 직교하는 방향으로 형성된 분할 예정 라인(22)에 대해서도, 마찬가지로 레이저 광선 조사 위치의 얼라이먼트가 수행된다. 이때, 광 디바이스 웨이퍼(2)의 분할 예정 라인(22)이 형성되어 있는 표면(2a)은 하측에 위치하고 있지만, 전술한 바와 같이, 촬상 수단(43)이 적외선 조명 수단과 적외선을 포착하는 광학계 및 적외선에 대응한 전기 신호를 출력하는 촬상 소자(적외선 CCD) 등으로 구성된 촬상 수단을 구비하고 있기 때문에, 이면(2b)으로부터 투과하여 분할 예정 라인(22)을 촬상할 수 있다.

[0033] 전술한 얼라이먼트 공정을 실시하였다면, 도 4에서 도시하는 바와 같이, 레이저 광선을 조사하는 레이저 광선 조사 수단(42)의 집광기(422)가 위치되는 레이저 광선 조사 영역으로 척 테이블(41)을 이동시키고, 정해진 분할 예정 라인(22)을 집광기(422)의 바로 아래에 위치시킨다. 이때, 도 4의 (a)에 도시하는 바와 같이, 광 디바이스 웨이퍼(2)는, 분할 예정 라인(22)의 일단[도 4의 (a)에 있어서 좌단]이 집광기(422)의 바로 아래에 위치하도록 위치된다. 그리고, 집광기(422)의 집광 렌즈(422a)에 의해 집광되는 펄스 레이저 광선(LB)의 집광점(P)이, 단결정 기관으로서의 광 디바이스 웨이퍼(2)의 두께 방향의 원하는 위치에 위치되도록 도시하지 않은 집광점 위치 조정 수단을 작동시켜 집광기(422)를 광축 방향으로 이동시킨다(위치 결정 공정). 한편, 본 실시형태에 있어서, 펄스 레이저 광선의 집광점(P)은, 광 디바이스 웨이퍼(2)에서의 펄스 레이저 광선이 입사되는 측[이면(2b)측]과는 반대측의 면[표면(2a)]에 인접하는 내측으로 설정되어 있다.

[0034] 전술한 바와 같이 위치 결정 공정을 실시하였다면, 레이저 광선 조사 수단(42)을 작동시켜 집광기(422)로부터 펄스 레이저 광선(LB)을 조사하여 광 디바이스 웨이퍼(2)에 위치된 집광점(P)과 펄스 레이저 광선이 입사된 측[이면(2b)측] 사이에 세공과 이 세공을 실드하는 비정질을 형성시켜 실드 터널을 형성하는 실드 터널 형성 공정을 실시한다. 즉, 집광기(422)로부터 광 디바이스 웨이퍼(2)를 구성하는 사파이어 기관에 대하여 투과성을 갖는 파장의 펄스 레이저 광선(LB)을 조사하면서, 척 테이블(41)을 도 4의 (a)에 있어서 화살표 X1로 나타내는 방향으로 정해진 이송 속도로 이동시킨다(실드 터널 형성 공정). 그리고, 도 4의 (b)에 도시하는 바와 같이, 레이저 광선 조사 수단(42)의 집광기(422)의 조사 위치에 분할 예정 라인(22)의 타단[도 4의 (b)에 있어서 우단]이 도달하였다면, 펄스 레이저 광선의 조사를 정지하며 척 테이블(41)의 이동을 정지한다.

[0035] 전술한 실드 터널 형성 공정을 실시함으로써, 광 디바이스 웨이퍼(2)의 내부에는, 도 4의 (d)에 도시하는 바와 같이, 펄스 레이저 광선(LB)의 집광점(P)이 위치된 표면(2a)(하면)측으로부터 조사면인 이면(2b)(상면)에 걸쳐 세공(231)과 이 세공(231)의 주위에 형성된 비정질(232)이 성장하여, 분할 예정 라인(22)을 따라 정해진 간격[본 실시형태에 있어서는, 10 μm 의 간격(가공 이송 속도: 500 mm/초)/(반복 주파수: 50 kHz)]으로 비정질의 실드 터널(23)이 형성된다. 도 4의 (d) 및 (e)에 도시하는 바와 같이, 이 실드 터널(23)은, 중심에 형성된 직경이 $\phi 1 \mu\text{m}$ 정도인 세공(231)과 이 세공(231)의 주위에 형성된 직경이 $\phi 10 \mu\text{m}$ 인 비정질(232)로 이루어지고, 본 실시형태에 있어서는 서로 인접하는 비정질(232)끼리가 이어지도록 형성되는 형태로 되어 있다. 한편, 전술한 실드 터널 형성 공정에 있어서 형성되는 비정질의 실드 터널(23)은, 광 디바이스 웨이퍼(2)의 표면(2a)(하면)측으로부터 조사면인 이면(2b)(상면)에 걸쳐 형성할 수 있기 때문에, 웨이퍼의 두께가 두꺼워도 펄스 레이저 광선을 1회 조사하면 되기 때문에, 생산성이 매우 양호해진다. 또한, 실드 터널 형성 공정에 있어서는 데브리가 비산하지 않기 때문에, 디바이스의 품질을 저하시킨다고 하는 문제도 해소된다.

[0036] 전술한 바와 같이 정해진 분할 예정 라인(22)을 따라 상기 실드 터널 형성 공정을 실시하였다면, 척 테이블(41)을 화살표 Y로 나타내는 방향으로 광 디바이스 웨이퍼(2)에 형성된 분할 예정 라인(22)의 간격만큼 인덱싱 이동시켜(인덱싱 공정), 상기 실드 터널 형성 공정을 수행한다. 이와 같이 하여 제1 방향으로 형성된 모든 분할 예정 라인(22)을 따라 상기 실드 터널 형성 공정을 실시하였다면, 척 테이블(41)을 90도 회동시켜, 상기 제1 방향으로 형성된 분할 예정 라인(22)에 대하여 직교하는 방향으로 연장되는 분할 예정 라인(22)을 따라 상기 실드

터널이 형성된다. 따라서, 사파이어 기판(굴절률: 1.7)에 있어서는, 펄스 레이저 광선을 집광하는 집광 렌즈(422a)의 개구수(NA)는, 0.1~0.35로 설정하는 것이 중요하다.

[0063] [실험 1-2]

[0064] 두께가 1000 μm 인 탄화규소(SiC) 기판(굴절률: 2.63)을, 다음의 가공 조건으로 실드 터널을 형성하고, 실드 터널의 양부를 판정하였다.

[0065] 가공 조건

[0066] 파장 : 1030 nm

[0067] 반복 주파수 : 50 kHz

[0068] 펄스 폭 : 10 ps

[0069] 평균 출력 : 3 W

[0070] 집광 스폿 직경 : $\phi 10 \mu\text{m}$

[0071] 가공 이송 속도 : 500 mm/초

[0072] 집광 렌즈의 개구수(NA) 실드 터널의 양부 $S=NA/N$

[0073]	0.05	없음	
[0074]	0.1	없음	
[0075]	0.15	약간 양호	0.057
[0076]	0.2	양호	0.076
[0077]	0.25	양호	0.095
[0078]	0.3	양호	0.114
[0079]	0.35	양호	0.133
[0080]	0.4	양호	0.153
[0081]	0.45	양호	0.171
[0082]	0.5	양호	0.19
[0083]	0.55	약간 양호	0.209
[0084]	0.6	불량: 보이드 발생	

[0085] 이상과 같이 탄화규소(SiC) 기판(굴절률: 2.63)에 있어서는, 펄스 레이저 광선을 집광하는 집광 렌즈(422a)의 개구수(NA)를 단결정 기판의 굴절률(N)로 나눈 값($S=NA/N$)이 0.05~0.2인 범위로 설정됨으로써, 실드 터널이 형성된다. 따라서, 탄화규소(SiC) 기판에 있어서는, 펄스 레이저 광선을 집광하는 집광 렌즈(422a)의 개구수(NA)는, 0.15~0.55로 설정하는 것이 중요하다.

[0086] [실험 1-3]

[0087] 두께가 1000 μm 인 질화갈륨(GaN) 기판(굴절률: 2.3)을, 다음의 가공 조건으로 실드 터널을 형성하고, 실드 터널의 양부를 판정하였다.

[0088] 가공 조건

[0089] 파장 : 1030 nm

[0090] 반복 주파수 : 50 kHz

[0091] 펄스 폭 : 10 ps

[0092] 평균 출력 : 3 W

[0093]	집광 스폿 직경 : $\phi 10 \mu\text{m}$		
[0094]	가공 이송 속도 : 500 mm/초		
[0095]	집광 렌즈의 개구수(NA)	실드 터널의 양부	$S=NA/N$
[0096]	0.05	없음	
[0097]	0.1	약간 양호	0.043
[0098]	0.15	양호	0.065
[0099]	0.2	양호	0.086
[0100]	0.25	양호	0.108
[0101]	0.3	양호	0.130
[0102]	0.35	양호	0.152
[0103]	0.4	양호	0.173
[0104]	0.45	양호	0.195
[0105]	0.5	약간 양호	0.217
[0106]	0.55	불량: 보이드 발생	
[0107]	0.6	불량: 보이드 발생	
[0108]	이상과 같이 질화갈륨(GaN) 기판에 있어서는, 펄스 레이저 광선을 집광하는 집광 렌즈(422a)의 개구수(NA)를 단결정 기판의 굴절률(N)로 나눈 값($S=NA/N$)이 0.05~0.2인 범위로 설정됨으로써, 실드 터널이 형성된다. 따라서, 질화갈륨(GaN) 기판에 있어서는, 펄스 레이저 광선을 집광하는 집광 렌즈(422a)의 개구수(NA)는, 0.1~0.5로 설정하는 것이 중요하다.		
[0109]	한편, 실드 터널은 집광점(P)으로부터 레이저 광선이 조사된 측에 형성되기 때문에, 펄스 레이저 광선의 집광점은 펄스 레이저 광선이 조사되는 측과는 반대측의 면에 인접하는 내측에 위치할 필요가 있다.		
[0110]	전술한 실험 1-1, 실험 1-2, 실험 1-3으로부터, 펄스 레이저 광선을 집광하는 집광 렌즈(422a)의 개구수(NA)를 단결정 기판의 굴절률(N)로 나눈 값($S=NA/N$)이 0.05~0.2의 범위로 설정됨으로써, 실드 터널이 형성되는 것이 확인할 수 있었다.		
[0111]	다음에, 펄스 레이저 광선의 에너지와 실드 터널의 길이의 상관 관계에 대해서 검토한다.		
[0112]	[실험 2]		
[0113]	두께가 1000 μm 인 사파이어(Al_2O_3) 기판, 탄화규소(SiC) 기판, 질화갈륨(GaN) 기판에 다음 가공 조건으로 펄스 레이저 광선을 조사하고, 펄스 레이저 광선의 에너지($\mu\text{J}/1$ 펄스)와 실드 터널의 길이(μm)의 관계를 구하였다.		
[0114]	<u>가공 조건</u>		
[0115]	파장	: 1030 nm	
[0116]	반복 주파수	: 50 kHz	
[0117]	펄스 폭	: 10 ps	
[0118]	집광 스폿 직경	: $\phi 10 \mu\text{m}$	
[0119]	가공 이송 속도	: 500 mm/초	
[0120]	평균 출력을 0.05 W($1 \mu\text{J}/1$ 펄스) 간격으로 실드 터널이 형성될 때까지 평균 출력을 상승시키고, 실드 터널이 형성된 후는 0.5 W($10 \mu\text{J}/1$ 펄스) 간격으로 10 W($200 \mu\text{J}/1$ 펄스)까지 평균 출력을 상승시켜, 실드 터널의 길이(μm)를 측정하였다.		
[0121]	펄스 에너지($\mu\text{J}/1$ 펄스)	실드 터널의 길이 (μm)	

[0122]		사파이어	탄화규소	질화갈륨
[0123]	1	없음	없음	없음
[0124]	2	없음	없음	없음
[0125]	3	없음	없음	없음
[0126]	4	없음	없음	없음
[0127]	5	65	65	70
[0128]	10	75	85	85
[0129]	20	125	115	125
[0130]	30	150	155	170
[0131]	40	175	185	205
[0132]	50	190	230	250
[0133]	60	210	265	295
[0134]	70	245	290	330
[0135]	80	260	330	365
[0136]	90	315	370	415
[0137]	100	340	395	450
[0138]	110	365	430	485
[0139]	120	400	470	530
[0140]	130	425	500	565
[0141]	140	455	535	610
[0142]	150	490	570	650
[0143]	160	525	610	685
[0144]	170	550	640	735
[0145]	180	575	675	770
[0146]	190	610	715	815
[0147]	200	640	740	850

[0148] 전술한 사파이어(Al_2O_3) 기판, 탄화규소(SiC) 기판, 질화갈륨(GaN) 기판에 있어서 실드 터널이 형성된 상태에서 펄스 레이저 광선의 에너지($\mu J/1$ 펄스)와 실드 터널의 길이(μm)는, 도 6에 나타내는 그래프와 같이 나타나고, 펄스 레이저 광선의 에너지가 $5 \mu J/1$ 펄스 이상인 것, 및 실드 터널의 길이를 $Y(\mu m)$ 로 하고, 펄스 레이저 광선의 에너지를 $X(\mu J/1$ 펄스)로 한 경우, $Y=(3.0 \mu m/\mu J \sim 4.0 \mu m/\mu J)X+50 \mu m$ 의 상관 관계를 갖는 것을 알았다. 따라서, 두께 $500 \mu m$ 의 사파이어(Al_2O_3) 기판의 경우, 실드 터널의 길이가 단결정 기판의 두께가 되도록 설정되는 펄스 레이저 광선의 에너지는 $160 \mu J/1$ 펄스 이상이 된다.

[0149] 다음에, 펄스 레이저 광선의 파장과 실드 터널의 형성 상황에 대해서 검토한다.

[0150] [실험 3-1]

[0151] 두께가 $1000 \mu m$ 인 사파이어 기판을, 다음의 가공 조건으로 펄스 레이저 광선의 파장을 2940 nm , 1550 nm , 1030 nm , 515 nm , 343 nm , 257 nm , 151 nm 로 낮춰 가며, 밴드 갭 8.0 eV (파장 환산: 155 nm)의 사파이어 기판에 실드 터널을 형성할 수 있을지의 여부를 검증하였다.

[0152]	<u>가공 조건</u>	
[0153]	파장	: 1030 nm
[0154]	반복 주파수	: 50 kHz
[0155]	펄스 폭	: 10 ps
[0156]	평균 출력	: 3 W
[0157]	집광 스폿 직경	: ϕ 10 μ m
[0158]	가공 이송 속도	: 500 mm/초
[0159]	<u>파장(nm)</u>	<u>실드 터널 양부</u>
[0160]	2940	양호
[0161]	1550	양호
[0162]	1030	양호
[0163]	515	양호
[0164]	343	양호
[0165]	257	불량
[0166]	151	조사면에서 어블레이션 불량
[0167]	이상과 같이 사파이어 기판에 있어서는, 펄스 레이저 광선의 파장은 밴드 갭8.0 eV에 대응하는 파장(파장 환산: 155 nm)의 2배 이상으로 설정하면 실드 터널이 형성되는 것을 확인할 수 있었다.	
[0168]	[실험 3-2]	
[0169]	두께가 1000 μ m인 탄화규소(SiC) 기판을, 다음의 가공 조건으로 펄스 레이저 광선의 파장을 2940 nm, 1550 nm, 1030 nm, 515 nm, 257 nm로 낮춰 가며, 밴드 갭 2.9 eV(파장 환산: 425 nm)의 탄화규소(SiC) 기판에 실드 터널을 형성할 수 있는지의 여부를 검증하였다.	
[0170]	<u>가공 조건</u>	
[0171]	파장	: 1030 nm
[0172]	반복 주파수	: 50 kHz
[0173]	펄스 폭	: 10 ps
[0174]	평균 출력	: 3 W
[0175]	집광 스폿 직경	: ϕ 10 μ m
[0176]	가공 이송 속도	: 500 mm/초
[0177]	<u>파장(nm)</u>	<u>실드 터널 양부</u>
[0178]	2940	양호
[0179]	1550	양호
[0180]	1030	양호
[0181]	515	조사면에서 어블레이션 불량
[0182]	257	조사면에서 어블레이션 불량
[0183]	이상과 같이 탄화규소(SiC) 기판에 있어서는, 펄스 레이저 광선의 파장은 밴드 갭 2.9 eV에 대응하는 파장(파장 환산: 425 nm)의 2배 이상으로 설정하면 실드 터널이 형성되는 것을 확인할 수 있었다.	
[0184]	[실험 3-3]	

- [0185] 두께가 1000 μm 인 질화갈륨(GaN) 기판을, 다음의 가공 조건으로 펄스 레이저 광선의 파장을 2940 nm, 1550 nm, 1030 nm, 515 nm, 257 nm로 낮춰 가며, 밴드 갭 3.4 eV(파장 환산: 365 nm)의 질화갈륨(GaN) 기판에 실드 터널을 형성할 수 있는지의 여부를 검증하였다.
- [0186] 가공 조건
- [0187] 파장 : 1030 nm
- [0188] 반복 주파수 : 50 kHz
- [0189] 펄스 폭 : 10 ps
- [0190] 평균 출력 : 3 W
- [0191] 집광 스폿 직경 : $\phi 10 \mu\text{m}$
- [0192] 가공 이송 속도 : 500 mm/초
- | [0193] <u>파장(nm)</u> | <u>실드 터널 양부</u> |
|----------------------|-----------------|
| [0194] 2940 | 양호 |
| [0195] 1550 | 양호 |
| [0196] 1030 | 양호 |
| [0197] 515 | 불량 |
| [0198] 257 | 조사면에서 어블레이션 불량 |
- [0199] 이상과 같이 질화갈륨(GaN) 기판에 있어서는, 펄스 레이저 광선의 파장은 밴드 갭 3.4 eV에 대응하는 파장(파장 환산: 365 nm)의 2배 이상으로 설정하면 실드 터널이 형성되는 것을 확인할 수 있었다.
- [0200] 전술한 실험 3-1, 실험 3-2, 실험 3-3으로부터, 펄스 레이저 광선의 파장은 단결정 기판의 밴드 갭에 대응하는 파장의 2배 이상으로 설정하면 실드 터널이 형성되는 것을 확인할 수 있었다.
- [0201] 전술한 실드 터널 형성 공정을 실시하였다면, 광 디바이스 웨이퍼(2)에 외력을 부여하여 세공(231)과 이 세공(231)의 주위에 형성된 비정질(232)로 이루어지는 실드 터널(23)이 연속하여 형성된 분할 예정 라인(22)을 따라 광 디바이스 웨이퍼(2)를 개개의 광 디바이스(21)로 분할하는 웨이퍼 분할 공정을 실시한다. 웨이퍼 분할 공정 은, 도 7에 도시된 분할 장치(6)를 이용하여 실시한다. 도 7에 도시된 분할 장치(6)는, 상기 환형 프레임(3)을 유지하는 프레임 유지 수단(61)과, 이 프레임 유지 수단(61)에 유지된 환형 프레임(3)에 장착된 광 디바이스 웨이퍼(2)를 확장하는 테이프 확장 수단(62)과, 픽업 콜릿(63)을 구비하고 있다. 프레임 유지 수단(61)은, 환형 프레임 유지 부재(611)와, 이 프레임 유지 부재(611)의 외주에 설치된 고정 수단으로서의 복수의 클램프(612)로 이루어져 있다. 프레임 유지 부재(611)의 상면은 환형 프레임(3)을 배치하는 배치면(611a)을 형성하고 있으며, 이 배치면(611a) 상에 환형 프레임(3)이 배치된다. 그리고, 배치면(611a) 상에 배치된 환형 프레임(3)은, 클램프(612)에 의해 프레임 유지 부재(611)에 고정된다. 이와 같이 구성된 프레임 유지 수단(61)은, 테이프 확장 수단(62)에 의해 상하 방향으로 진퇴 가능하게 지지되어 있다.
- [0202] 테이프 확장 수단(62)은, 상기 환형 프레임 유지 부재(611)의 내측에 설치되는 확장 드럼(621)을 구비하고 있다. 이 확장 드럼(621)은, 환형 프레임(3)의 내경보다 작고, 이 환형 프레임(3)에 장착된 다이싱 테이프(30)에 접촉되는 광 디바이스 웨이퍼(2)의 외경보다 큰, 내경 및 외경을 가지고 있다. 또한, 확장 드럼(621)은, 하단에 지지 플랜지(622)를 구비하고 있다. 테이프 확장 수단(62)은, 상기 환형 프레임 유지 부재(611)를 상하 방향으로 진퇴 가능한 지지 수단(623)을 구비하고 있다. 이 지지 수단(623)은, 상기 지지 플랜지(622) 상에 설치된 복수의 에어 실린더(623a)로 이루어져 있고, 그 피스톤 로드(623b)가 상기 환형 프레임 유지 부재(611)의 하면에 연결된다. 이와 같이 복수의 에어 실린더(623a)로 이루어지는 지지 수단(623)은, 도 8의 (a)에 도시하는 바와 같이 환형 프레임 유지 부재(611)를 배치면(611a)이 확장 드럼(621)의 상단과 대략 동일 높이가 되는 기준 위치와, 도 8의 (b)에 도시하는 바와 같이 확장 드럼(621)의 상단보다 정해진 양 하방의 확장 위치 사이를 상하 방향으로 이동시킨다.
- [0203] 이상과 같이 구성된 분할 장치(6)를 이용하여 실시하는 웨이퍼 분할 공정에 대해서 도 8을 참조하여 설명한다. 즉, 광 디바이스 웨이퍼(2)가 접촉되어 있는 다이싱 테이프(30)가 장착된 환형 프레임(3)을, 도 8의 (a)에 도시

하는 바와 같이 프레임 유지 수단(61)을 구성하는 프레임 유지 부재(611)의 배치면(611a) 상에 배치하고, 클램프(612)에 의해 프레임 유지 부재(611)에 고정한다(프레임 유지 공정). 이때, 프레임 유지 부재(611)는 도 8의 (a)에 도시하는 기준 위치에 위치되어 있다. 다음에, 테이프 확장 수단(62)을 구성하는 지지 수단(623)으로서의 복수의 에어 실린더(623a)를 작동시켜, 환형 프레임 유지 부재(611)를 도 8의 (b)에 도시된 확장 위치에 확장시킨다. 따라서, 프레임 유지 부재(611)의 배치면(611a) 상에 고정되어 있는 환형 프레임(3)도 하강하기 때문에, 도 8의 (b)에 도시하는 바와 같이 환형 프레임(3)에 장착된 다이싱 테이프(30)는 확장 드럼(621)의 상단부 가장자리에 접하여 확장된다(테이프 확장 공정). 이 결과, 다이싱 테이프(30)에 접착되어 있는 광 디바이스 웨이퍼(2)에는 방사형으로 인장력이 작용하기 때문에, 전술한 실드 터널(23)이 연속하여 형성되어 강도가 저하된 분할 예정 라인(22)을 따라 개개의 광 디바이스(21)로 분리되며, 광 디바이스(21) 사이에 간격(S)이 형성된다.

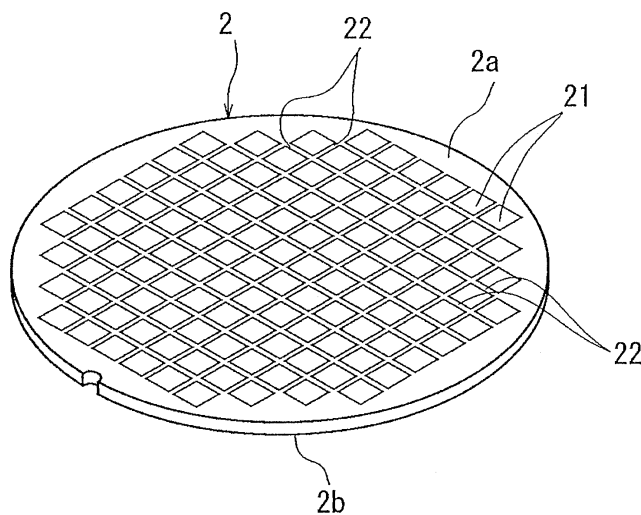
[0204] 다음에, 도 8의 (c)에 도시하는 바와 같이, 픽업 콜릿(63)을 작동시켜 광 디바이스(21)를 흡착하고, 다이싱 테이프(30)로부터 박리하여 픽업하며, 도시하지 않은 트레이 또는 다이본딩 공정에 반송한다. 한편, 픽업 공정에 있어서는, 전술한 바와 같이 다이싱 테이프(30)에 접착되어 있는 개개의 광 디바이스(21) 사이의 간극(S)이 넓어져 있기 때문에, 인접하는 광 디바이스(21)와 접촉하는 일없이 용이하게 픽업할 수 있다.

부호의 설명

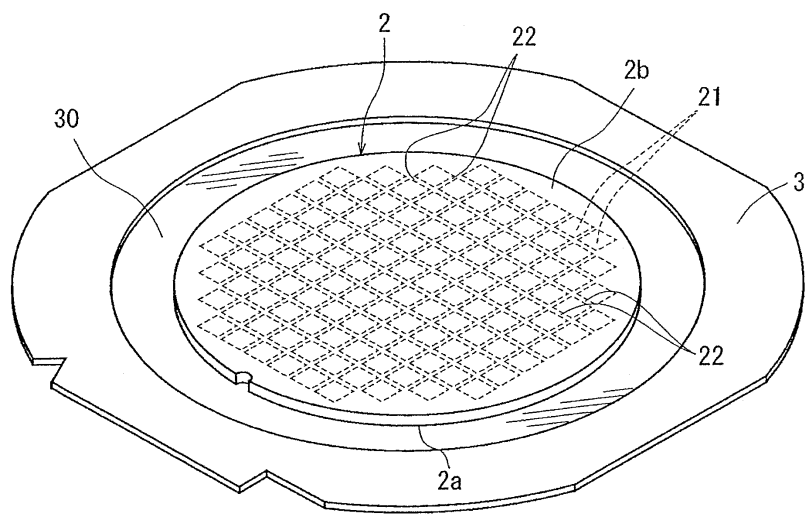
[0205]	2 : 광 디바이스 웨이퍼	21 : 광 디바이스
	22 : 분할 예정 라인	23 : 실드 터널
	3 : 환형 프레임	30 : 다이싱 테이프
	4 : 레이저 가공 장치	41 : 레이저 가공 장치의 척 테이블
	42 : 레이저 광선 조사 수단	422 : 집광기
	6 : 분할 장치	

도면

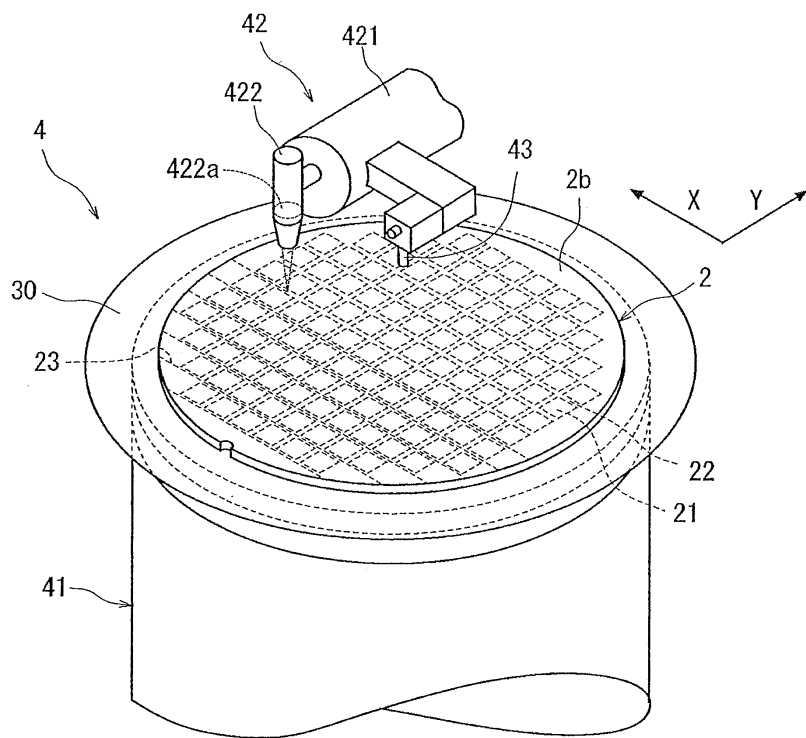
도면1



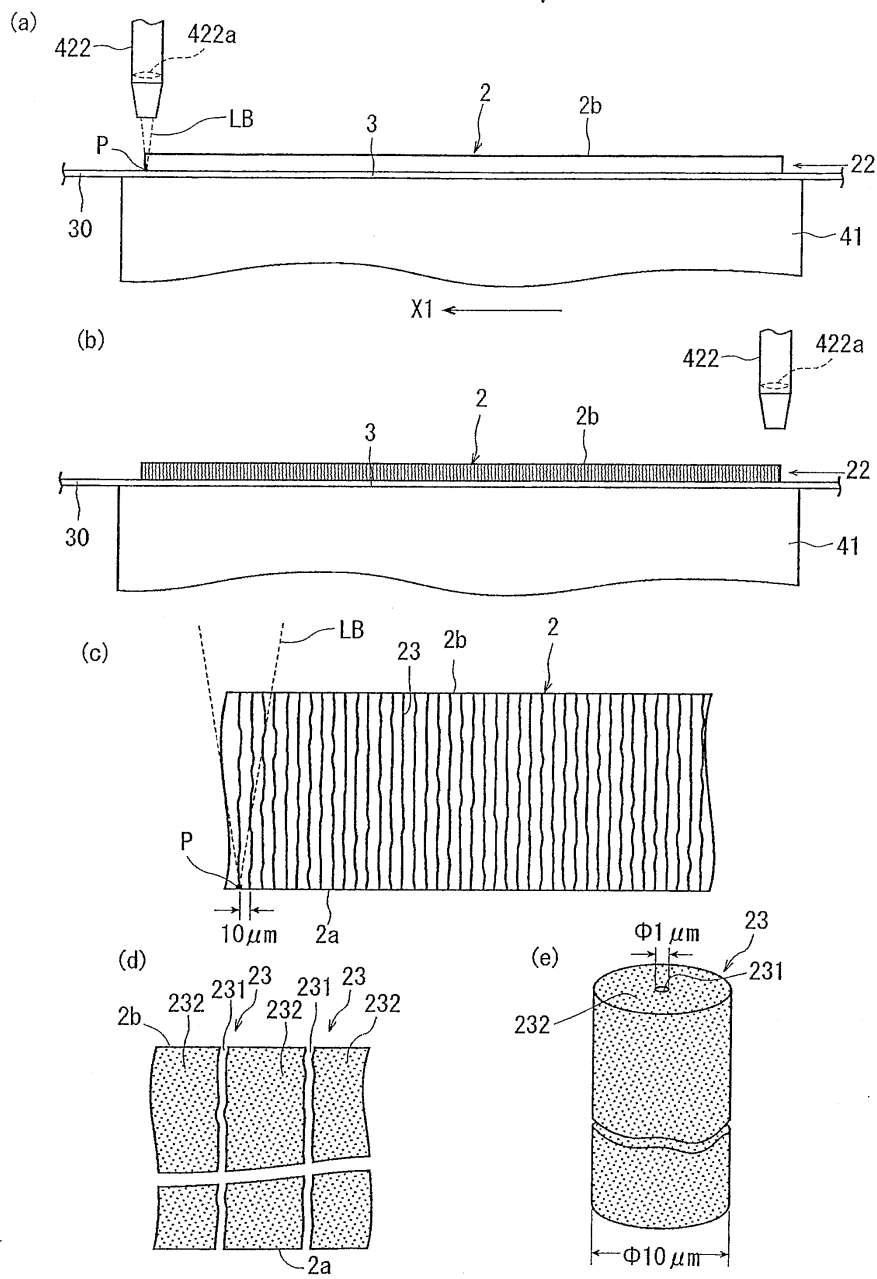
도면2



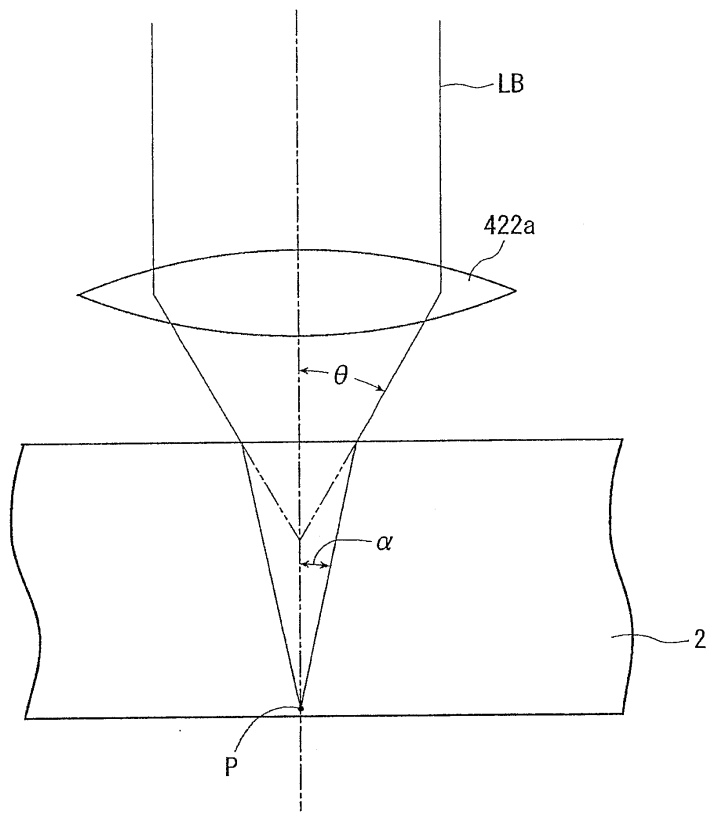
도면3



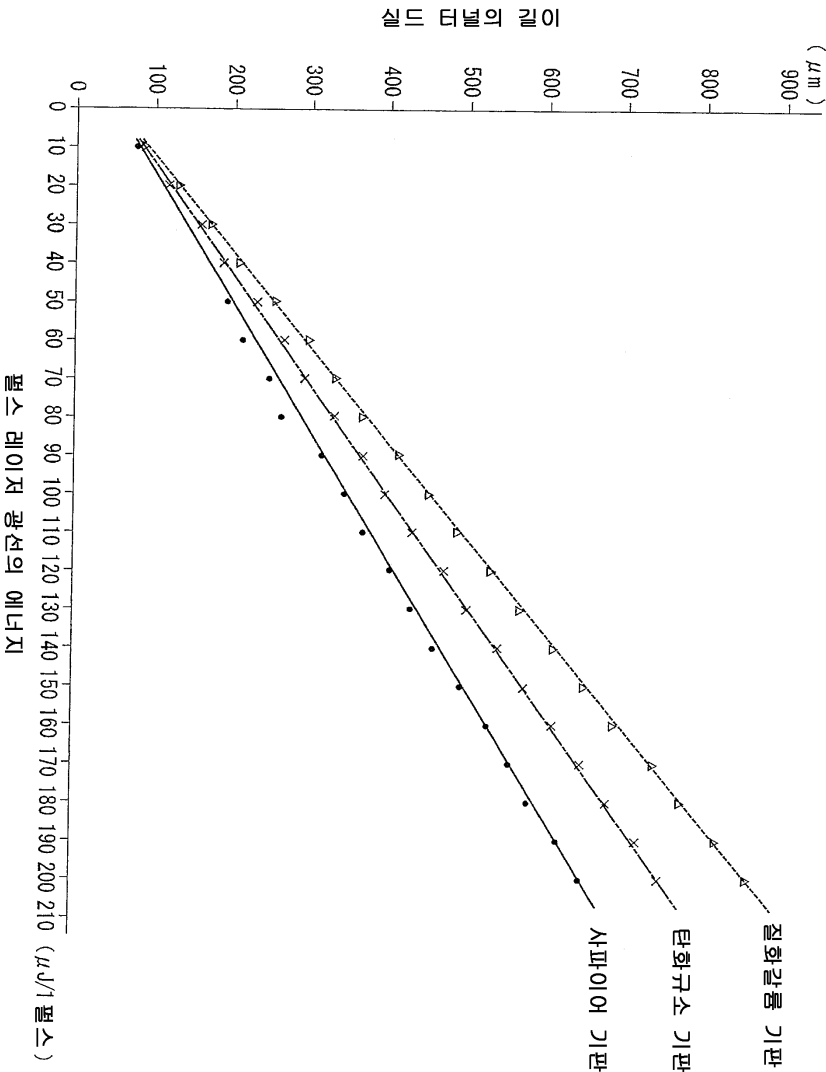
도면4



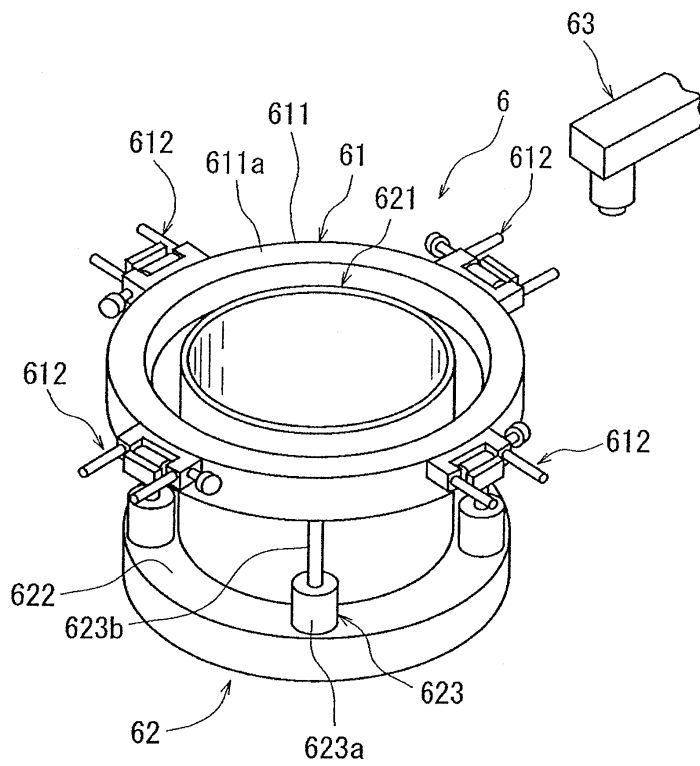
도면5



도면6



도면7



도면8

