(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년02월27일
(11) 등록번호 10-2640881
(24) 등록일자 2024년02월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/382 (2014.01) *B23K 26/40* (2014.01)
(52) CPC특허분류
B23K 26/382 (2015.10)
B23K 26/40 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-7012935
(22) 출원일자(국제) 2019년10월02일
심사청구일자 2022년08월09일
(85) 번역문제출일자 2021년04월28일
(65) 공개번호 10-2021-0057819
(43) 공개일자 2021년05월21일
(86) 국제출원번호 PCT/US2019/054271
(87) 국제공개번호 WO 2020/076583
국제공개일자 2020년04월16일
(30) 우선권주장
62/742,694 2018년10월08일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2017510531 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드
미국 오리건주 97005 비버튼 에스더블유 밀리컨 웨이 14523
(72) 발명자
마츠모토, 히사시
미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드 내
클라이너트, 잔
미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드 내
린, 지빈
미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드 내
(74) 대리인
특허법인 광장리앤고

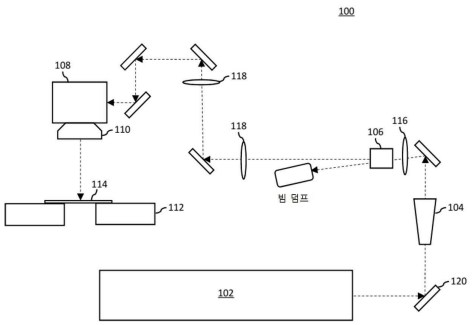
전체 청구항 수 : 총 19 항 심사관 : 이태호

(54) 발명의 명칭 **투명한 재료들에서 비아들을 드릴링하기 위한 시스템들 및 방법들**

(57) 요 약

대향하는 제1 및 제2 표면을 갖는 기판에서 관통-비아를 형성하기 위한 방법은 레이저 펄스들의 집속된 빔을 기판의 제1 표면을 통해, 및 후속적으로 기판의 제2 표면을 통해 기판 내로 지향시키는 단계를 포함할 수 있다. 레이저 펄스들의 집속된 빔은 기판이 적어도 실질적으로 투명한 파장을 가질 수 있고, 레이저 펄스들의 집속된 빔의 빔 웨이스트는 기판의 제1 표면보다 제2 표면에 더 가깝다. 레이저 펄스들의 집속된 빔은 제2 표면 근처의 기판의 영역을 융해시키고 - 그로 인해 기판 내에 융해된 구역을 생성함 -; 융해된 구역을 제1 표면을 향해 전파시키고; 및 융해된 구역 내에 위치된 기판의 재료를 기화시키거나 끓이는데 충분한 펄스 반복률, 기판에서의 피크 광 강도 및 기판에서의 평균 전력에 의해 특징지어진다.

대 표 도



명 세 서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

기판에서 관통-비아(through-via)를 형성하기 위한 방법으로서, 상기 방법은:

제1 표면 및, 상기 제1 표면 반대편의 제2 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계; 및

100 μs 미만인 지속기간을 갖는 드릴링 기간 중에, 레이저 펄스들의 집속된 빔을 상기 기판의 상기 제1 표면을 통해, 및 후속적으로 상기 기판의 상기 제2 표면을 통해 일 위치에서 상기 기판 내로 지향시키는 단계를 포함하고,

상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 상기 기판이 적어도 실질적으로 투명한 파장을 갖고,

상기 기판에서 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔의 광 강도는 상기 기판의 광 파괴 강도(optical breakdown intensity) 미만이고,

상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 가우시안 에너지 분포(Gaussian energy distribution)를 갖고,

상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 5 MHz를 초과하는 펄스 반복률을 갖고, 및

상기 레이저 펄스들의 집속된 빔 내의 레이저 펄스들은 200 fs를 초과하는 펄스 폭을 갖는, 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 기판은 전자기 스펙트럼의 자외선 영역에서의 적어도 하나의 파장에 대해 적어도 실질적으로 투명한, 방법.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 기판은 전자기 스펙트럼의 가시광선 영역에서의 적어도 하나의 파장에 대해 적어도 실질적으로 투명한, 방법.

청구항 10

제7항에 있어서, 상기 기판은 전자기 스펙트럼의 적외선 영역에서의 적어도 하나의 파장에 대해 적어도 실질적

으로 투명한, 방법.

청구항 11

제7항에 있어서, 상기 기판은 유리인, 방법.

청구항 12

제7항에 있어서, 상기 기판은 사파이어인, 방법.

청구항 13

제7항에 있어서, 상기 기판은 실리콘 다이(silicon die)인, 방법.

청구항 14

제7항에 있어서, 상기 기판은 GaN 다이인, 방법.

청구항 15

제7항에 있어서, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 25 MHz를 초과하는 펄스 반복률을 갖는, 방법.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 40 MHz를 초과하는 펄스 반복률을 갖는, 방법.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 300 MHz를 초과하는 펄스 반복률을 갖는, 방법.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 500 MHz를 초과하는 펄스 반복률을 갖는, 방법.

청구항 19

제16항에 있어서, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔 내의 레이저 펄스들은 50 ps 미만의 펄스 폭을 갖는, 방법.

청구항 20

기판에서 관통-비아를 형성하기 위한 방법으로서, 상기 방법은:

30 ㎛ 내지 150 ㎛의 범위의 두께를 갖고, 제1 표면 및 상기 제1 표면의 반대편의 제2 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계; 및

레이저 펄스들의 집속된 빔을 상기 기판의 상기 제1 표면을 통해, 및 후속적으로 상기 기판의 상기 제2 표면을 통해 상기 기판 내로 지향시키는 단계를 포함하고,

상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 상기 기판이 적어도 실질적으로 투명한 파장을 갖고;

상기 기판에서 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔의 광 강도는 상기 기판의 광 파괴 강도 미만이고;

상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 가우시안 에너지 분포(Gaussian energy distribution)를 갖고,

상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 펄스 반복률, 상기 기판에서의 피크 광 강도 및 누적 가열 효과(cumulative heating effect)를 초래하는(driving) 상기 기판에서의 평균 전력을 갖고; 및

상기 레이저 펄스들의 집속된 빔 내의 레이저 펄스들은 펄스 폭을 갖고,

상기 피크 광 강도, 펄스 반복률, 평균 전력 및 펄스 폭은 상기 관통-비아가 40 μs 미만으로 형성되도록 선택되는, 방법.

청구항 21

제20항에 있어서, 상기 피크 광 강도, 펄스 반복률, 평균 전력 및 펄스 폭은 상기 관통-비아가 30 μs 미만으로

형성되도록 선택되는, 방법.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 피크 광 강도, 펄스 반복률, 평균 전력 및 펄스 폭은 상기 관통-비아가 20 μs 미만으로 형성되도록 선택되는, 방법.

청구항 23

제22항에 있어서, 상기 피크 광 강도, 펄스 반복률, 평균 전력 및 펄스 폭은 상기 관통-비아가 10 μs 미만으로 형성되도록 선택되는, 방법.

청구항 24

제21항에 있어서, 상기 피크 광 강도, 펄스 반복률, 평균 전력 및 펄스 폭은 상기 관통-비아가 5 μs 내지 15 μs의 범위 내에 형성되도록 선택되는, 방법.

청구항 25

기판에서 관통-비아를 형성하기 위한 방법으로서, 상기 방법은:

제1 표면 및, 상기 제1 표면 반대편의 제2 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계; 및

레이저 펄스들의 집속된 빔을 상기 기판의 상기 제1 표면을 통해, 및 후속적으로 상기 기판의 상기 제2 표면을 통해 상기 기판 내로 지향시키는 단계를 포함하고,

상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 상기 기판이 적어도 실질적으로 투명한 파장을 갖고, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔의 빔 웨이스트는 상기 기판의 상기 제1 표면보다 상기 기판의 상기 제2 표면에 더 가깝고, 및

상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은:

상기 제2 표면 근처의 상기 기판의 영역을 융해시키고 - 그로 인해 상기 기판 내에 융해된 구역을 생성함 -;

상기 융해된 구역을 상기 제1 표면을 향해 전파시키고; 및

상기 융해된 구역 내에 위치된 상기 기판의 재료를 기화시키거나 끓이기에 충분한, 펄스 반복률, 상기 기판에서의 피크 광 강도 및 상기 기판에서의 평균 전력에 의해 특징지어지는, 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 연관된 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 그 전체가 본원에 참조로 통합되는, 2018년 10월 8일에 출원된 미국 가출원 제62/742,694호의 이익을 주장한다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 발명의 실시예는 일반적으로 기판들의 처리에 관한 것이고, 더 구체적으로 기판에서의 관통-비아들(through-via)과 같은 비아들을 레이저 드릴링(laser-drilling)하는 것에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 전자 응용들을 위해 정밀-형성된 홀들을 갖는 얇은 유리에 대한 관심이 높다. 홀들은 전도성 재료로 채워지고 하나의 부분으로부터 다른 부분으로 전기 신호들을 전달하는(conduct) 데 사용되며, 중앙 처리 유닛, 메모리 칩, 그래픽 처리 유닛 또는 다른 전자 구성요소의 정밀한 연결을 허용한다. 이러한 응용들에 대해, 이들에 금속화된 홀들이 있는 기판들은 일반적으로 "인터포저들(interposers)"로 불린다. 섬유 강화된 폴리머 또는 실리콘과 같이 현재 사용되는 인터포저 재료들에 비해, 유리는 다수의 유리한 특성들을 갖는다. 유리는 연마할 필요 없이 대형 시트들에서 얇고 매끄럽게 형성될 수 있고, 이는 유기 대체품들보다 더 높은 강성 및 더 높은 치수 안정성을 갖고, 이는 실리콘보다 더 나은 전기 절연체이고, 이는 유기 옵션들(organic options)보다 더 나은 치

수(열 및 강성) 안정성을 갖고, 이는 집적 회로들의 스택 뒤틀림(stack warp)을 제어하기 위해 상이한 열 팽창 계수로 맞춰질 수 있다.

[0006] 핫 프레싱(hot pressing), 포토-기계 가공 가능 유리(photo-machinable glass)의 리소그래피(lithography), 전기-방전 드릴링(electric-discharge drilling), 분말 블라스팅(powder blasting) 및 다양한 레이저 드릴링 프로세스들과 같은 다양한 홀 형성 방법들이 유리에 홀들을 생성하는 데 사용될 수 있다. 상기 기법들 중 어느 것을 통해서도, 과제는 일반적으로, 충분히 높은 비아-형성 속도(홀/초)로 충분한 품질의 홀(낮은 균열, 적절한 크기 또는 원마도(roundness))을 형성하는 것이며, 이는 결국 비용에 영향을 미친다. 예를 들어, 유리의 핫 프레싱은 (약 100 마이크론 이하의) 충분히 작은 치수들의 홀들을 형성하는 데 어려움을 겪고, 전기 방전 드릴링은 타이트한 홀 피치(즉, 약 50 마이크론 미만의 홀 대 홀 거리)를 통해 하기에 어려울 수 있고, 빔 트리패닝(beam trepanning)을 사용한 홀들의 레이저 드릴링은 (예를 들어, 약 1 홀/초로) 느릴 수 있고, 엑시머 레이저 처리 및 포토 기계 가공 가능한 유리는 큰 초기 자본 비용을 가질 수 있다.

[0007] 특히 고품질의 홀들을 만드는 종래의 레이저 드릴링 프로세스들이 개발되었다. 예를 들어, UV 나노초 레이저는 홀당 다수의(예를 들어, 수백 개의) 레이저 펄스들을 사용하여 유리 부분에 (각각 직경이 약 10 마이크론인) 파일럿 홀들(pilot holes)을 만들기 위한 충격식 드릴링 프로세스(percussion drilling process)에서 사용될 수 있다. 그 후, 부분은 파일럿 홀들을 넓히고 목표 치수들을 달성하기 위해 산으로 식각된다(etched). 식각된 홀들이 이후에 금속화되고, 전기 신호들을 팬 아웃(fan out)하기 위해 재분배 층들이 추가되며, 기능성 인토포저들을 생성하기 위해 부분이 더 작은 조각으로 다이싱된다(diced into). 하지만, UV 나노초 레이저들을 통한 레이저 드릴링은 시간 소모적인 프로세스일 수 있고, 충격식 드릴링(즉, 동일한 위치에서 하나의 펄스씩)을 통해서는 개별적인 홀을 원하는 깊이로 드릴링하는데 수백 개의 펄스를 취할 수 있다. 정밀 레이저 드릴링 플랫폼의 자본 비용이 상당할 수 있으므로($1M/기계에 근접), 홀 형성의 속도는 전체 인터포저 생산 비용의 주요 파라미터이다. 또한, 유리 부분을 식각하는 것은, 상이한 유리 부분들이 식각되면, 이들이 실질적으로 동일한 두께를 갖는다는 것을 보장하는 것을 어렵게 한다. 다른 종래의 레이저 드릴링 프로세스는 단일-샷 레이저 프로세스를 수반하며, 상기 단일-샷 레이저 프로세스는 베셀 빔 프로파일(Bessel beam profile)을 갖는 단일 레이저 펄스가 비아가 바람직한 경우에 유리 부분을 수정하는 데 사용된다. 그리고 상기 부분은 그 후 산(acid)으로 식각되고 비아들을 형성한다. 상기 프로세스가 5000 비아/초(200 μs/비아) 까지 생산하는 데 사용될 수 있는 한편, 상기 프로세스는 위에서 논의된 바와 같이 완성된 제품에서 유리 부분들의 균일한 두께를 보장하는 것을 어렵게 할 수 있는 식각을 여전히 요구한다. 또한, 베셀 빔 프로파일들을 갖는 레이저 펄스들은 종래의 빔 조향 기술들(예를 들어, 검류계 미러들 등)을 사용하여 빠르게 편향시키기 어렵다. 따라서, 비아들의 상대적으로 희박한 패턴을 형성하는 데 요구되는 시간은 통상적으로 5000 비아/초보다 매우 느리다.

[0008] Karimelahi, Samira, Ladan Abolghasemi 및 Peter R. Herman.의 "Rapid micromachining of high aspect ratio holes in fused silica glass by high repetition rate picosecond laser" - Applied Physics A 114.1(2014) : 91-111 -에서, 철저한 연구가, IR 및 녹색 초고속 레이저들 및 가우시안 초점 스팟들(Gaussian focal spots)이 유리에 높은 종횡비의 비아들을 생성하는 데 사용될 수 있지만, 비아들이 열악한 품질이거나, 또는 후속 식각 단계를 요구한다는 것을 증명하였다. 그러므로, 위에서 언급된 문제들을 최소화하거나 제거하는, 유리와 같은 재료를 레이저 드릴링하기 위한 방법에 대한 요구가 있다.

발명의 내용

[0009] 일 실시예는 물품(article)으로서 특징지어질 수 있으며, 상기 물품은 기판의 제1 표면으로부터 상기 기판의 제1 표면 반대편의 상기 기판의 제2 표면으로 연속적으로 연장하는 복수의 레이저-드릴링된 관통 홀들(laser-drilled through-holes)을 갖는 기판을 포함하고, 상기 복수의 레이저-드릴링된 관통 홀들은 10 ㎛ 이상의 직경을 갖고; 인접한 식각된 관통 홀들 사이의 간격은 30 ㎛ 이상이고; 상기 복수의 레이저-드릴링된 관통-홀들은 상기 제1 표면에서의 개구부, 상기 제2 표면에서의 개구부, 상기 제1 표면에서의 상기 개구부와 상기 제2 표면에서의 상기 개구부 사이에 위치된 웨이스트(waist)를 포함하고; 상기 웨이스트의 직경은 상기 제1 표면에서의 상기 개구부 또는 상기 제2 표면에서의 상기 개구부의 직경의 적어도 75%이고; 및 상기 제1 표면에서의 상기 개구부의 직경과 상기 제2 표면에서의 상기 개구부의 직경 사이의 차이는 3.5 ㎛ 이하이다.

[0010] 다른 실시예는 기판에서 관통-비아를 형성하기 위한 방법으로서, 상기 방법은: 제1 표면 및, 상기 제1 표면 반대편의 제2 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계; 및 100 μs 미만인 지속기간을 갖는 드릴링 기간 중에, 레이저 펄스들의 집속된 빔을 상기 기판의 상기 제1 표면을 통해, 및 후속적으로 상기 기판의 상기 제2 표면을 통해 일 위치에서 상기 기판 내로 지향시키는 단계를 포함하고, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 상기 기판이 적어도

실질적으로 투명한 파장을 갖고, 상기 기판에서 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔의 광 강도는 상기 기판의 광 파괴 강도(optical breakdown intensity) 미만이고, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 가우시안 에너지 분포(Gaussian energy distribution)를 갖고, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 5 MHz를 초과하는 펄스 반복률을 갖고, 및 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔 내의 레이저 펄스들은 200 fs를 초과하는 펄스 폭을 갖는다.

[0011] 다른 실시예는 기판에서 관통-비아를 형성하기 위한 방법으로서, 상기 방법은 30 ㎛ 내지 150 ㎛의 범위의 두께를 갖고, 제1 표면 및 상기 제1 표면의 반대편의 제2 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계; 및 레이저 펄스들의 집속된 빔을 상기 기판의 상기 제1 표면을 통해, 및 후속적으로 상기 기판의 상기 제2 표면을 통해 상기 기판 내로 지향시키는 단계를 포함하고, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 상기 기판이 적어도 실질적으로 투명한 파장을 갖고; 상기 기판에서 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔의 광 강도는 상기 기판의 광 파괴 강도 미만이고; 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 가우시안 에너지 분포를 갖고, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 펄스 반복률, 상기 기판에서의 피크 광 강도 및 누적 가열 효과(cumulative heating effect)를 초래하는(driving) 상기 기판에서의 평균 전력을 갖고; 및 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔 내의 레이저 펄스들은 펄스 폭을 갖고, 상기 피크 광 강도, 펄스 반복률, 평균 전력 및 펄스 폭은 상기 관통-비아가 40 μs 미만으로 형성되도록 선택된다.

[0012] 또 다른 실시예는 기판에서 관통-비아를 형성하기 위한 방법으로서, 상기 방법은: 제1 표면 및, 상기 제1 표면 반대편의 제2 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계; 및 레이저 펄스들의 집속된 빔을 상기 기판의 상기 제1 표면을 통해, 및 후속적으로 상기 기판의 상기 제2 표면을 통해 상기 기판 내로 지향시키는 단계를 포함하고, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은 상기 기판이 적어도 실질적으로 투명한 파장을 갖고, 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔의 빔 웨이스트는 상기 기판의 상기 제1 표면보다 상기 기판의 상기 제2 표면에 더 가깝고, 및 상기 레이저 펄스들의 집속된 빔은, 상기 제2 표면 근처의 상기 기판의 영역을 융해시키고 - 그로 인해 상기 기판 내에 융해된 구역을 생성함 -; 상기 융해된 구역을 상기 제1 표면을 향해 전파시키고; 및 상기 융해된 구역 내에 위치된 상기 기판의 재료를 기화시키거나 끓이기에(boil) 충분한, 펄스 반복률, 상기 기판에서의 피크 광 강도 및 상기 기판에서의 평균 전력에 의해 특징지어진다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 레이저 드릴링 프로세스를 구현하기 위한 예시적인 레이저 처리 시스템을 도시한다.

도 2 및 도 3은 일 실시예에 따른 레이저 드릴링 프로세스를 사용하여 예시적인 유리 기판을 통해 드릴링된 관통-비아를 나타내는 사진이다.

도 4는 일부 실시예에 따라 유리 기판이 레이저 드릴링 프로세스를 거친 실험들의 결과를 나타낸 그래프이다.

도 5 내지 도 8은 본원에서 논의된 실시예들에 따라 관통-비아들을 형성하도록 처리된 단면 유리 기판들의 사진들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 첨부 도면들을 참조로 예시적인 실시예들이 여기에서 설명된다. 달리 명시하지 않는 한, 도면들에서 구성요소들, 피처들(features), 요소들 등의 크기들, 위치들 등과 이들 사이의 어느 거리들은 축적대로 도시된 것은 아니고, 명료함을 위해 과장된다. 도면들에서, 유사한 부호들은 전체에 걸쳐 유사한 요소들을 지칭한다. 따라서, 동일하거나 유사한 부호들은 대응하는 도면에서 언급되지 않거나 설명되지 않더라도, 다른 도면들을 참조로 설명될 수 있다. 또한, 참조부호들로 표기되지 않은 요소들도 다른 도면들을 참조로 설명될 수 있다.

[0015] 본원에서 사용되는 용어는 단지 특정한 예시적인 실시예들을 설명하기 위한 것이며, 제한하려는 것으로 의도되지 않는다. 달리 정의되지 않는 한, 본원에 사용된(기술적 및 과학적 용어들을 포함하는) 모든 용어들은 통상의 기술자에 의해 보통 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다. 본원에 사용된 단수형들인 "하나의(a, an)" 및 "그(the)"는 문맥상 분명히 달리 지시하지 않는 한 복수형들도 포함하는 것으로 의도된다. "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"이란 용어들은, 본 명세서에서 사용될 때, 명시된 피처들, 정수들, 단계들, 동작들, 요소들 및/또는 구성요소들의 존재를 나타내지만, 하나 이상의 다른 피처들, 정수들, 단계들, 동작들, 요소들, 구성요소들 및/또는 이들의 그룹들의 존재 또는 추가를 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다. 달리 명시되지 않는 한, 값들의 범위는, 언급될 때 범위의 상한 및 하한은 물론, 그 사이의 임의의 하위 범위들을 모두 포함한다. 달리 지시되지 않는 한, "제1", 제2" 등과 같은 용어들은 하나의 요소를 다른 요소와 구분하기 위해서만 사용된다. 예를 들어, 하나의 노드는 "제1 노드"로 지칭될 수 있고, 마찬가지로 다른 노드는 "제2 노드"로 지칭될 수 있으며 그 역으로도 가능하다.

[0016] 달리 지시되지 않는 한, "약", "대략", "거의" 등의 용어는, 양들, 크기들, 제제들, 파라미터들 및 다른 양들 및 특성들이 정확하지 않고, 정확할 필요는 없지만, 원하는 경우, 공차들, 변환 인자들, 반올림, 측정 오차 등 및 이 기술분야의 기술자에게 알려진 다른 인자들을 반영하여, 근사치이거나, 및/또는 이보다 크거나 작을 수 있음을 의미한다. "아래의(below)", "아래쪽의(beneath)", "낮은(lower)", "위의(above)" 및 "높은(upper)" 등과 같은 공간적으로 상대적인 용어들은 도면들에 도시된 것처럼, 하나의 요소 또는 피처와 다른 요소 또는 피처의 관계를 설명하는 설명의 용이함을 위해 본원에서 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어들이 도면들에 도시된 배향에 부가하여 다른 배향들도 포괄하는 것으로 의도된다는 것이 인식되어야 한다. 예를 들어, 도면들에서 객체가 회전되면, 다른 요소들 또는 피처들 "아래의" 또는 "아래쪽"으로 설명된 요소들은 다른 요소들 또는 피처들의 "위"로 배향될 것이다. 따라서, "아래의"란 예시적인 용어는 위 및 아래의 배향 모두를 포괄할 수 있다. 객체는 다르게 배향될 수 있고(예를 들어, 90도 또는 다른 배향들로 회전됨), 본원에서 사용되는 공간적으로 상대적인 기술자는 그에 따라 해석될 수 있다.

[0017] 본 개시의 사상 및 교시들을 벗어나지 않으면서 다수의 상이한 형태들, 실시예들 및 조합들이 가능할 수 있음이 인식될 것이고, 따라서 본 개시는 본원에 제시된 예시적인 실시예들로 제한되는 것으로 해석되지 않아야 한다. 오히려, 이들 예시들 및 실시예들은 본 개시가 철저하고 완전하며, 이 기술분야의 기술자에게 본 개시의 범주를 전달하도록 제공된다.

[0018] 본원에서 논의된 실시예들에서, 기판에서 관통-비아를 드릴링하기 위한 레이저 드릴링 프로세스는 레이저 펄스들의 빔이 기판의 제1 표면을 통해 기판 내로 투과되고, 제1 표면과 대향하는 기판의 제2 표면을 향해 기판 내부로 전파하도록 빔 레이저 펄스들을 기판으로 지향시키는 것을 포함한다. 일반적으로, 레이저 펄스들의 빔은 제2 표면(즉, 기판 내부 또는 외부)에 또는 그 근처에 위치된 빔 웨이스트(beam waist)를 생성하도록 집속된다.

[0019] 일부 실시예들에서, 기판은 유리의 물품(예를 들어, 보로실리케이트 유리(borosilicate glass), 알루미노보로실리케이트 유리(aluminoborosilicate glass), 알루미노실리케이트 유리(aluminosilicate glass), 알칼리-리드 실리케이트 유리(alkali-lead silicate glass), 알칼리 알카라인 토류 실리케이트 유리, 게르마늄 산화물 유리, 융해 실리카 등), 합성 석영, 유리 세라믹(예를 들어, 리튬-알루미늄-실리케이트), 세라믹, 사파이어, 반도체 재료(예를 들어, Si, SiGe, GaAs, GaN, SiC 등) 등 또는 이들의 임의의 조합으로 제공된다. 따라서, 물품은 유리 인터포저, 실리콘 인터포저, 반도체 웨이퍼, 반도체 다이, 기판(예를 들어, 디스플레이 스크린을 위한, 웨이퍼 레벨 패키징 또는 다른 반도체 패키징을 위한, 디스플레이 패널 레벨 패키징을 위한, MEMS 또는 센서 디바이스 등을 위한) 등 또는 이들의 임의의 조합일 수 있다. 일부 실시예들에서, 기판은 (예를 들어, 30 ㎛(또는 그 정도) 내지 150 ㎛(또는 그 정도) 범위의 두께를 갖는) 물품으로서 제공된다. 하지만, 기판에 의해 구체화된 특정 물품에 의존하여, 기판의 두께는 30 ㎛ 미만 또는 150 ㎛ 초과일 수 있음이 인식되어야 한다.

[0020] 일반적으로, 기판으로 지향된 레이저 펄스들의 빔은 기판이 실질적으로 투명한 파장을 갖는다. 본원에서 사용된, 기판에 의한 레이저 펄스들의 빔의 흡수가 이 파장에서 재료 깊이의 ㎜ 당 약 20% 미만(예를 들어, 약 15% 미만, 약 10% 미만, 약 5% 미만, 약 1% 미만)일 때, 기판은 레이저 펄스들의 빔의 파장에 대해 "실질적으로 투명한"것으로 간주될 수 있다. 따라서, 기판이 형성되는 재료에 의존하여, 레이저 펄스들의 빔은 전자기 스펙트럼의 자외선, 가시광선 또는 적외선 영역의 파장을 가질 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 기판이 유리, 석영 또는 사파이어의 물품으로서 제공되는 경우, 레이저 펄스들의 빔은 300 nm(또는 그 정도) 내지 1064 nm(또는 그 정도) 범위의 파장을 가질 수 있다.

[0021] 아래에서 더 상세히 논의될 바와 같이, 레이저 드릴링 프로세스는 펄스 파장, 펄스 폭, 펄스 에너지, 펄스 반복률, 기판에서의 피크 광 강도, 드릴링 기간(즉, 레이저 펄스가 관통-비아를 형성하기 위해 기판에서의 특정 위치로 지향되는 일정 기간) 및 기판에서 레이저 펄스들의 빔의 평균 전력을 포함하는 파라미터들에 의해 특징지어질 수 있다. 일반적으로, 레이저 드릴링 프로세스 중에 기판으로 최종적으로 지향된 레이저 펄스들의 빔은 가우시안 에너지 프로파일을 갖는다. 가우시안 에너지 프로파일을 갖는 레이저 펄스들의 빔의 사용은 기판에서 관통-비아들을 형성하기 위해 종래의 빔-조향 기술들(예를 들어, 검류계 미러들, 고속-조향 미러들, 회전 다각형 미러들, 음향-광학 편향기들, 전자-광학 편향기들 등)을 사용하여 레이저 펄스들의 빔이 빠르게 편향되는 것을 허용한다. 원하는 비아의 직경에 의존하여, (예를 들어, 1 ㎛ 내지 100 ㎛의 범위, 예를 들어 10 ㎛, 20 ㎛, 30 ㎛, 50 ㎛ 등의 직경을 갖는 비아를 형성하기 위해) 충격식 드릴링이 이용될 수 있거나, 또는 더 작거나 더 큰 직경들을 갖는 비아들을 형성하기 위해 빔이 (예를 들어, 위에서 설명된 바와 같이) 편향될 수 있다. 빔이 빠르게 편향될 수 있기 때문에, 종래의 레이저 드릴링 프로세스들보다 더 높은 처리량으로 상대적으로 희박한 관통-비아의 패턴도 형성하는 것이 또한 가능할 수 있다. 마지막으로, 본원에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스는 허용 가능한 직경들 또는 표면 모폴로지들(morphologies)을 갖는 관통-비아들을 획득하기 위해 산 식각 프로세스

(acid etch process)를 필요로 하지 않는다.

[0022] 레이저 드릴링 프로세스는 또한 본원에서 "z 범위"로서 지칭되는 파라미터에 의해 특징지어질 수 있다. z 범위는 기판의 제2 표면과, 레이저 드릴링 프로세스가 수행되는 동안 기판에 관통-비아를 생성하는 레이저 펄스들의 빔의 빔 웨이스트 사이의 거리들의 범위이다. z 범위는 본 발명자들에 의해 레이저 드릴링 프로세스의 다른 전술한 파라미터들 중 적어도 일부에 의존하는 것으로 밝혀졌다. 예를 들어, 주어진 펄스 파장, 펄스 폭 및 펄스 반복률에서, 임계 드릴링 기간 및 기판의 평균 전력을 초과하여, z 범위는 레이저 드릴링 프로세스 동안 기판에서의 드릴링 기간 및 평균 전력에 의존하여 달라진다는 것이 발견되었다. 기판이 통상적으로 완벽하게 균일한 두께이지 않거나(즉, 대략 10 ㎛ 이상의 두께 변형이 있을 수 있음) 및/또는 레이저 드릴링 프로세스가 수행될 때 완벽하게 균일하지 않고(즉, 기판에 대략 10 ㎛ 이상의 일부 표면 파형(waviness)이 있을 수 있음), 하나의 기판의 두께는 다른 기판의 두께와 다를 수 있기 때문에, 상당히 큰 z 범위를 생성하는 레이저 드릴링 프로세스 파라미터들(예를 들어, 기판에서의 드릴링 기간 및 평균 전력, 주어진 펄스 파장에 대한 펄스 폭 및 펄스 반복률)에 대한 값들을 식별하는 것이 중요하다. 따라서 z 범위가 기판 두께 또는 평탄도의 변화들을 수용하지 않으면, 레이저 드릴링 프로세스는 관통-비아들을 안정적으로 형성하지 못할 것이다.

[0023] 드릴링되면, 관통-비아들은 전기적으로 전도성인 재료 등으로 코팅되거나 및/또는 충전될 수 있다. 예를 들어, 관통-비아들은 유리 인터포저와 같은 기판에 형성되고, 전기적으로 전도성인 재료(예를 들어, 구리, 알루미늄, 금, 은, 납, 주석, 인듐 주석 산화물 등 또는 이들의 임의의 조합 또는 합금)로 코팅되거나 및/또는 충전될 수 있다. 관통-비아들의 내부를 금속화하는 데 사용되는 프로세스는 예를 들어, 전기 도금, 무전해 도금, 물리적 기상 증착 또는 다른 증발 코팅 방법들일 수 있다. 관통-비아들은 또한 백금, 팔라듐, 이산화 티타늄 또는 홀들 내에서 화학 반응들을 촉진하는 다른 재료들과 같은 촉매 재료들로 코팅될 수 있다. 대안적으로, 관통-비아들은 표면 습윤 특성들을 변경하거나 또는 생체 분자들의 부착을 허용하기 위한 다른 화학적 기능화를 통해 코팅될 수 있으며, 생화학 분석에 사용될 수 있다. 이러한 화학적 기능화는 관통-비아들의 유리 표면의 실란 처리(silanization), 및/또는 원하는 적용들을 위해 생체 분자들의 부착을 촉진하도록 설계된 특정 단백질들, 항체들 또는 다른 생물학적 특정 분자들의 추가적인 부착일 수 있다.

[0024] 일반적으로 레이저 펄스들의 빔은 펄스 반복률, 펄스 에너지 및 펄스 폭과 같은 파라미터들에 의해 특징지어질 수 있다. 펄스 에너지 및 펄스 폭은 레이저 펄스들의 빔이 집속될 때 빔 웨이스트가 오프셋 거리만큼 기판의 제2 표면과 이격되도록 선택되며, 레이저 펄스들의 집속된 빔에서의 각 레이저 펄스는 기판의 광학적 파괴 강도보다 낮은 피크 광 강도에서 (즉, 기판의 영역에서 레이저 펄스의 스폿 크기에 대응하는) 기판의 영역을 조사한다(irradiate). 더욱이, 레이저 펄스들의 빔의 펄스 반복률은 기판의 조사된 영역이 초기의 일정 기간(예를 들어, 또한 "인큐베이션 기간(incubation period)"으로 지칭됨)에 걸쳐 열을 축적할 수 있도록 충분히 높게(예를 들어, 각 레이저 펄스에 의해 기판의 영역이 조사되는 피크 광 강도를 고려하여) 선택된다. 인큐베이션 기간 동안 기판의 가열은 주로 기판의 재료에 의한 다중-광자 흡수에 기인하여 시작한다. 인큐베이션 기간 동안 레이저 펄스들의 흡수는 또한, 광 흡수를 위해 전도대(conduction band)와 가전자대(valence band) 사이에 존재하는 결함 상태들을 생성할 수 있는 기판의 점 결함들에서 발생할 수 있다.

[0025] 인큐베이션 기간의 종료 시, (예를 들어, 기판의 제2 표면에 또는 그 근처에, 기판의 제1 표면에 또는 그 근처에 또는 이의 임의의 조합에 있을 수 있는) 기판의 조사된 영역은 기판의 온도를 로컬로(locally) 증가시키고 그의 밴드 갭 에너지(band gap energy)를 감소시키기 위해 충분한 양의 열을 축적하고, 기판의 조사된 영역이 융해(melt)되고 결국 기화(evaporate)될 수 있는 체제(regime)로의 전환을 가능하게 한다. 기판 재료의 밴드 갭은 열 이온화의 결과 즉, 분자들의 전자 및 진동 상태들에 의해 고온들에서의 밴드 갭의 점진적인 중첩에 의해 감소하는 것으로 의심된다. 기판의 고온 영역 내에서 충격 이온화 및 캐스케이드 이온화가 또한 발생할 수 있다는 것이 가능하며, 이는 또한 그 안에 향상된 레이저 흡수에 기여할 수 있는 캐리어 밀도의 증가로 이어질 수 있다. 레이저 드릴링 프로세스 중에 융해되는 기판의 영역은 "융해된 구역"으로서 특징지어질 수 있다. 기판 내의 고온 영역의 가장자리 또는 경계 또는 계면에서 레이저 펄스들의 흡수율의 상당한 증가는 융해된 구역이 제1 표면을 향해(즉, 스캔 렌즈(110)로부터 레이저 펄스들의 빔의 전파 방향에 반대인 방향으로) 빠르게 점진적으로 증가하게 한다. 덧붙여, 기판 내의 극도로 높은 온도들에서(즉, 3000 ° C를 초과하는 온도에서) 충격 이온화 및 캐스케이드 이온화는 또한, 다중-광자 흡수의 기여들 없이 열적으로 이온화된 자유 전자들에 의해 시드될 수 있으며(seeded), 이는 레이저 펄스들의 흡수에서 상당한 증가를 야기한다. 기판 재료의 기화점/끓는점을 초과하는 융해 구역의 온도를 증가시키는 것은 결국, 관통-비아를 생성하기 위해 (즉, 적어도 주로 제2 표면을 통해) 비아로부터 융해된 기판 재료를 밀 수 있는 높은 증기 압력을 생성할 것이다. 따라서, 레이저 펄스들의 집속된 빔은 관통-비아를 형성하기 위해 기판의 조사된 영역을 (즉, 기판의 전체 두께를 통해) 가열, 융해 및 기화시키기

위해 인큐베이션 기간 이후에 바로, (예를 들어, 본원에서 "제거 기간"으로서 지칭되는) 추가적인 일정 기간 동안 기판의 조사된 영역에서 유지될 수 있다. 인큐베이션 기간의 시작으로부터 제거 기간의 종료까지의 총 일정 기간은 본원에서 "드릴링 기간"으로 지칭된다.

[0026] 위의 관점에서, 본원에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스는 (즉, 레이저 펄스들의 집속된 빔에 의해 조사될 시) 기판의 열 축적 역학에 크게 의존한다는 것이 명백해야 한다. 따라서, 레이저 펄스들의 빔은 레이저 펄스들의 집속된 빔을 생성하기 위해 이 기술분야에서 알려진 임의의 방식으로 생성되고 집속될 수 있고, 레이저 펄스들의 집속된 빔의 각 레이저 펄스는 기판을 가열하기에 충분한(하지만, 이를 삭마하거나, 균열을 일으키거나 또는 다르게 손상시키지 않는) 피크 전력 및 피크 광 강도를 갖는다. 레이저 펄스들의 빔은 기판이 레이저 펄스들 사이에서 실질적으로 냉각되는 것을 방지하기에 충분한 펄스 반복률에서 충분한 피크 전력을 갖는 레이저 펄스들을 생성하기 위해 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이, 기판이 인큐베이션 기간 동안 열을 축적하고, 제거 기간 동안 열을 계속 축적시키는 것을 가능하게 하기 위해) 통상의 기술자에게 알려진 방식으로 추가로 생성된다. 하지만, 레이저 펄스들의 집속된 빔의 피크 전력, 피크 광 강도 및 펄스 반복률은 레이저 펄스들의 빔에 의해 조사되지 않는 기판의 영역들의 균열 및 기판 외부의 바람직하지 않은 큰 영역에 융해된 재료의 방출과 같은 바람직하지 않은 현상을 초래할 수 있는, 기판이 너무 빨리 열을 축적하는 것을 방지하도록 선택되어야 한다.

[0027] 일 실시예에서, 본원에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스를 구현하기 위해 생성되고, 집속되고 및 기판에 전달되는 레이저 펄스들의 빔은 $1.27 \cdot 10^{11}$ W/cm^2(또는 그 정도)의 (예를 들어, 이 기술분야에 알려진 피크 전력 및 스폿 크기에 의해 결정되는) 피크 광 강도에서 기판에 조사하기 위해 약 78 kW의 (예를 들어, 이 기술분야에 알려진 펄스 에너지 및 펄스 폭에 의해 결정되는) 기판의 피크 전력 및 30 MHz의 펄스 반복률을 갖는 것으로서 특징지어질 수 있다. 레이저 펄스들의 빔은 30 MHz보다 크거나 작은 펄스 반복률을 가질 수 있으며, 기판에서의 레이저 펄스들의 빔의 피크 전력이 (예를 들어, 레이저 펄스들의 빔 내의 레이저 펄스들의 펄스 폭 또는 펄스 에너지를 조정함으로써) 유지될 수 있거나, 또는 그렇지 않으면 필요에 따라 펄스 반복률의 변화를 보상하기 위해 조정될 수 있다는 것이 인식되어야 한다. 마찬가지로, 기판의 피크 광 강도는 선택적으로 (예를 들어, 레이저 펄스들의 빔 내의 레이저 펄스들의 펄스 폭, 펄스 에너지, 또는 기판의 제2 표면에서의 스폿 크기를 조정함으로써) 유지될 수 있거나, 그렇지 않으면 필요에 따라 펄스 반복률에서의 변화를 보상하기 위해 조정될 수 있다. 드릴링 기간 동안, 레이저 펄스들의 빔 내의 레이저 펄스들의 펄스 반복률, 피크 전력, 펄스 폭 또는 펄스 에너지는 일정하거나 가변적일 수 있다. 일반적으로, 레이저 드릴링 프로세스가 구현될 수 있는 충분히 높은 펄스 반복 주파수들 및 피크 전력들을 갖는 레이저 펄스들의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저들은 200 fs(또는 그 정도) 내지 50 ps(또는 그 정도)의 범위의 펄스 폭들을 갖는 레이저 펄스들을 생성할 수 있는 QCW 레이저들이다. 예를 들어, 레이저 펄스들은 200 fs, 400 fs, 800 fs, 1 ps, 2 ps, 5 ps, 10 ps, 20 ps, 25 ps, 30 ps, 40 ps, 45 ps, 50 ps 등이거나 또는 이들 값들 중 어느 것 사이의 펄스 폭을 가질 수 있다.

[0028] 따라서, 본원에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스를 구현하기 위해, 레이저 펄스들의 빔의 피크 전력 및 선택적으로 기판에서 피크 광 강도가 필요한 경우 펄스 반복률에서의 변화를 보상하도록 조정되는 경우, 레이저 펄스들의 빔의 펄스 반복률은 5 MHz(또는 그 정도) 내지 5 GHz(또는 그 정도)의 범위 내에 있을 수 있다. 일 실시예에서, 펄스 반복률은 5 MHz(또는 그 정도) 내지 500 MHz(또는 그 정도)의 범위 내에 있을 수 있다. 다른 실시예들에서, 펄스 반복률은 25 MHz(또는 그 정도) 내지 40 MHz(또는 그 정도)의 범위, 150 MHz(또는 그 정도) 내지 180 MHz(또는 그 정도)의 범위에 있을 수 있다.

[0029] 기판의 두께, 레이저 펄스들의 빔의 펄스 반복률, 레이저 펄스들의 빔에서의의 레이저 펄스들의 펄스 에너지, 레이저 펄스들의 빔에서의 레이저 펄스들의 펄스 폭, 기판에서의 피크 전력, 기판에서의 광 강도와 같은 하나 이상의 인자들에 의존하여, 드릴링 기간은 5 μs(또는 그 즈음) 내지 120 μs(또는 그 즈음)의 범위에 있을 수 있다. 일부 실시예들에서, 드릴링 기간은 유리하게는, 50 μs(또는 그 정도) 이하, 30 μs(또는 그 정도) 이하, 20 μs(또는 그 정도) 이하, 15 μs(또는 그 정도) 이하, 10 μs(또는 그 정도) 이하 등, 또는 이들 값들의 어느 것 사이일 수 있다.

[0030] 레이저 펄스들의 집속된 빔의 빔 웨이스트가 기판 외부, 제2 표면 근처에 있을 때, 레이저 에너지의 흡수는 기판의 제2 표면 및 주변 환경(즉, 공기)의 계면에서 발생한다. 상기 계면은 레이저 펄스들의 빔에서 레이저 에너지를 기판에 커플링하는 것을 시작하기 위해, 삭마 임계치를 낮추는 데 도움을 준다. 상대적으로 높은 피크 강도는 기판의 제2 표면에 흡수성 코팅에 대한 요구를 제거하는데 도움을 준다. 본 발명자들에 의해 수행된 실험들로부터, 레이저 펄스들의 집속된 빔이 기판을 손상시키지 않는 초기 인큐베이션 기간이 있는 것으로 여겨진다.

[0031] 일부 실시예들에서, 기판의 제1 표면은 레이저 펄스들의 빔 내에서 에너지를 흡수할 제1 표면 상의 오염 물질들을 제거하기 위해(또는 그 양을 감소시키기 위해) 세척된다. 본 발명자들에 의해 수행된 실험들에서, 레이저 에너지의 빔이 세척되지 않은 제1 표면의 일부를 통해 투과될 때, 기판 내에 형성된 관통-비아들은 제1 표면에서 상대적으로 큰 개구부를 갖고 제2 표면에서 상대적으로 작은 개구부를 갖는 경향이 있음이 발견되었다. 레이저 에너지의 빔이 적합하게 세척된 제1 표면의 일부를 통해 투과될 때, 기판 내에 형성된 임의의 관통-비아들은 제1 표면 및 제2 표면에서 거의 동일한 직경인(예를 들어, 서로 2 ㎛ 내지 5 ㎛ 범위 내인) 개구부들을 갖는 경향이 있다.

[0032] 따라서, 레이저 드릴링 프로세스 중에 기판으로부터의 재료의 제거는 기판 재료의 융해 및 삭마(ablation)의 조합을 수반하는 것으로 보이며, 재료 제거율은 레이저 펄스들의 빔이 상대적으로 낮은 평균 전력을 갖는다는 사실에도 불구하고 종래의 레이저 드릴링 프로세스들에 비해 상당히 높다. 실제로, 본원에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스는 종래의 레이저 드릴링 프로세스들에 비해 비아-형성율에서 상당한 개선을 제공한다. 본 발명자들에 의해 ~100 ㎛ 두께의 광학적으로 투명한 유리 기판들에 대해 행해진 실험들(즉, 충격식 드릴링 기술에 따라 본원에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스를 수행함)은 약 10 μm의 직경을 갖는 관통-비아들이 15 μs(또는 그 정도)에서 안정적으로 형성될 수 있음을 나타낸다. 본 발명자들에 의해 ~50 ㎛ 두께의 광학적으로 투명한 유리 기판들에 대해 행해진 실험들(즉, 충격식 드릴링 기술에 따라 본원에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스를 수행함)은 약 10 μm의 직경을 갖는 관통-비아들이 5 μs(또는 그 정도) 만에 형성될 수 있고, 15 μs(또는 그 정도)에서 안정적으로 형성될 수 있음을 나타낸다. 본원에서 설명된 실시예들의 레이저 드릴링 프로세스와는 대조적으로, 투명한 파장들에서 10 피코초(picoseconds) 미만의 펄스 폭들을 갖는 레이저 펄스들을 사용하는 광학적으로 투명한 유리 기판들에서의 종래의 레이저 드릴링 프로세스들은 비선형 흡수에 의존하고, 하나의 관통-비아를 형성하는 데 요구되는 시간은 본원에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스에 따라 하나의 관통-비아를 형성하는 데 요구되는 시간보다 어느 정도(a couple of magnitudes) 더 느린 경향이 있다.

[0033] 도 1은 상기 실시예에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스를 구현하기 위한 예시적인 레이저 처리 시스템을 도시한다. 도 1을 참조하면, 레이저 처리 시스템(100)은 레이저(102), 빔 확장기(104), 빔 변조기(106), 빔 스캐너(108), 스캔 렌즈(110) 및 스테이지(stage, 112)를 포함한다.

[0034] 레이저(102)는 위에서 언급된 특성들을 갖는 레이저 펄스들의 빔을 생성할 수 있는 임의의 적합한 레이저(예를 들어, 위에서 언급된 특성들을 갖는 레이저 펄스들의 빔을 생성할 수 있는 QCW 레이저)로서 제공될 수 있다. 예를 들어, 레이저(102)는 100 W(또는 그 정도)의 평균 전력, 515 nm(또는 그 정도 예를 들어, 532 nm)의 파장, 20 ps(또는 그 정도) 내지 40 ps(또는 그 정도)의 범위 내의 펄스 폭 및 25 MHz(또는 그 정도) 내지 40 MHz(또는 그 정도) 범위의 펄스 반복률의 범위 내의 펄스 폭의 레이저 펄스들의 빔을 생성하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 레이저 펄스들의 펄스 폭은 28 ps(또는 그 정도)이고 펄스 반복률은 30 MHz(또는 그 정도)이다.

[0035] 빔 확장기(104)는 제1 빔 크기(예를 들어, 2 ㎜ 또는 그 정도의 직경)로부터 제2 빔 크기(예를 들어, 4.5 ㎜ 또는 그 정도의 직경)로 입사 빔을 확장시킬 수 있는 임의의 적합한 디바이스로서 제공될 수 있다. 일 실시예에서, 빔 확장기는 전동 가변 빔 확장기로서 제공될 수 있다.

[0036] 빔 변조기(106)는 레이저 에너지의 빔을 선택적으로 감쇠(예를 들어, 부분적으로, 완전히 또는 전혀 아님)할 수 있는 임의의 적합한 디바이스로서 제공될 수 있다. 일 실시예에서, 빔 변조기(106)는 음향 광학(AO) 변조기(AOM) 또는 AO 편향기(AOD)로서 제공될 수 있다.

[0037] 빔 스캐너(108)는 레이저 펄스들의 입사 빔을 (예를 들어, 1차원 스캔 필드 내로, 2차원 스캔 필드 내로 등) 편향시킬 수 있는 임의의 적합한 디바이스(또는 디바이스들)로서 제공될 수 있다. 따라서, 빔 스캐너(108)는 하나 이상의 검류계 미러들, 하나 이상의 고속 조향 미러들, 하나 이상의 변형 가능한 미러들, 하나 이상의 AOD들, 회전 다각형 미러들 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다.

[0038] 스캔 렌즈(110)는 레이저 펄스들의 집속된 빔을 생성하기 위해 레이저 펄스들의 입사 빔을 집속할 수 있는 임의의 적합한 디바이스(또는 디바이스들)로서 제공될 수 있다. 일 실시예에서, 스캔 렌즈(110)는 텔레센트릭 스캔 렌즈(telecentric scan lens)로서 제공된다. 다른 실시예에서, 스캔 렌즈(110)는 100 ㎜(또는 그 정도)의 초점 거리가 및 약 0.5 이하의 개구 수(NA)를 갖는다. 일 실시예에서, 스캔 렌즈(110)는 10 ㎛(또는 그 정도) 내지 13 ㎛(또는 그 정도)의 범위 예를 들어, 11 ㎛ 내지 12 μm의 범위의 직경을 갖는 빔 웨이스트(예를 들어, 스캔 렌즈(110)의 초점면에서)를 생성하기 위해 레이저 펄스들의 빔을 집속할 수 있다.

[0039] 스테이지(112)는 전술한 기판(예를 들어, 114로 식별됨)을 지지하고 이를 이동시킬 수 있는 임의의 적합한 디바

이스(또는 디바이스들)로서 제공될 수 있다. 일 실시예에서, 스테이지(112)는 기판(114)을 하나의 축을 따라, 두 개의 축들을 따라 등 또는 이들의 임의의 조합을 따라 선형으로 이동시키도록 구성된다. 일반적으로, 기판(114)은 (예를 들어, 스캔 렌즈(110)를 향하는) 제1 표면 및 (예를 들어, 스캔 렌즈(110)로부터 제1 표면의 반대편인(예를 들어, 스캔 렌즈(110)를 향하지 않는) 제2 표면을 포함하는 것으로서 특징지어질 수 있다. 스테이지(112)는 기판(114)의 제2 표면이 스테이지(112)와 같은 기본 구조와 접촉하지 않도록 기판(114)을 지지하도록 구성된다. 본원에서 사용되는 바와 같이, 기판(114)의 제1 표면은 또한, 기판(114)의 "전면"으로 지칭되고, 기판(114)의 제2 표면은 또한 기판(114)의 "후면"으로 지칭된다.

[0040] 일 실시예에서, 스테이지(112)는 스캔 렌즈(110)의 초점면이 기판(114) 외부(즉, 기판(114)의 제2 표면 아래)에 위치되도록 기판(114)을 지지한다. 기판(114)의 제2 표면과 스캔 렌즈(110)의 초점면 사이의 거리(즉, 전술한 "오프셋 거리")는 레이저 펄스들의 집속된 빔이 위에서 논의된 바와 같이 기판에서 관통-비아를 여전히 생성하면서, 기판의 광 파괴 강도 미만인 피크 강도에서 기판의 영역을 조사하도록 설정된다. 오프셋 거리는 실험적으로 결정될 수 있거나, 또는 (예를 들어, 레이저 드릴링 프로세스의 파라미터를 기초로, 기판의 재료를 기초로 등, 또는 이들의 임의의 조합을 기초로) 계산될 수 있다는 것을 인식될 것이다.

[0041] 시스템(100)은 (예를 들어, 도 1에 예시적으로 도시된 파선을 따라) 레이저(102)로부터 스캔 렌즈(110)로 전파하는 레이저 펄스들의 빔을 편광, 반사, 확장, 집속 등을 하기 위한 하나 이상의 다른 구성요소들을 더 포함할 수 있다. 이러한 구성 요소들의 예시들은 반파장판(116), 한 쌍의 릴레이 렌즈들(118), 및 복수의 접이식-미러들(예를 들어, 접이식 미러(120))을 포함한다. 일 실시예에서, 한 쌍의 릴레이 렌즈들은 빔 변조기(106)로부터 출력되는 레이저 펄스들의 빔을 (예를 들어, 빔 변조기(106)로부터 출력되는 레이저 펄스들의 빔의 빔 크기의 두 배로) 확대하도록 배열되고 구성된다. 따라서, 빔 변조기(106)로부터 출력되는 레이저 펄스들의 빔이 4.5 mm(또는 그 정도)의 전술한 제2 빔 크기를 가지면, 한 쌍의 릴레이 렌즈들로부터 출력되는 레이저 펄스들의 빔은 9 mm (또는 그 정도)의 제3 빔 크기를 갖는 것으로서 특징지어질 수 있다.

[0042] 도 2 및 도 3은 각각, 전술한 레이저 처리 시스템(100)을 사용하고 위에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스를 구현하여, 유기 기판의 제1 및 제2 표면으로부터 취해진, 50 ㎛ 두께의 유리 기판(즉, SCHOTT Corporation에 의해 상용화된 AF 32®로 형성된 기판)을 통해 드릴링된 관통-비아를 예시하는 사진들이다. 유리 기판은 코팅되지 않았는데, 이는 양면에 흡수 코팅을 갖지 않았고 기판에서의 레이저 펄스들의 빔의 평균 전력이 (즉, 레이저 처리 시스템(100)의 전술한 구성요소들에 의해 반사되거나, 투과되거나 또는 회절된 이후에) 66 W(또는 그 정도) 내지 67 W(또는 그 정도)의 범위에 있었기 때문이다. (도 2에 도시된 바와 같이) 제1 표면에서 관통-비아의 직경은 9.5 ㎛ 내지 10.1 ㎛ 범위에 있었고; (도 3에 도시된 바와 같이) 제2 표면에서 관통-비아의 직경은 9 ㎛였다.

[0043] 도 4는 50 ㎛ 두께의 유리 기판(즉, SCHOTT Corporation에서 제조된 AF 32®로 형성된 코팅되지 않은 기판)을 위에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스를 거친 실험들의 결과들을 예시하는 그래프이다. 실험들에서, 기판에서 레이저 펄스들의 빔의 평균 전력은 25 W(또는 그 정도)로부터 67 W(또는 그 정도)까지 다양하였고, 비아를 형성하려는 시도가 이루어진 기판에서의 각 위치에서의 드릴링 기간은 5 μs 간격으로 5 μs로부터 120 μs까지 다양하였다. 그래프의 점들은 각 실험으로부터 획득된 실제 데이터 점들을 나타내고, 윤곽들의 경계들은 SAS INSTITUTE, INC에서 상용화된 통계 분석 소프트웨어 JPM을 사용하여 실험적으로 획득된 데이터로부터 도출되었다.

[0044] 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명자들에 의해 수행된 실험들은 25 W의 평균 전력 및 120 μs의 드릴링 기간에서, 레이저 드릴링 프로세스가 기판을 전혀 손상시키지 않았고, 그러므로 임의의 관통-비아들을 형성하지 않는다는 것을 나타냈다. 25 W/40 μs, 30 W/40 μs, 35 W/ 40 μs, 40 W/30 μs, 40 W/20 μs, 40 W/10 μs, 50 W/10 μs의 평균 전력/드릴링 기간 페어링들에서도 마찬가지이다. 67 W의 평균 전력 및 5 μs의 드릴링 기간에서, z 오프셋이 0.05 mm일 때 관통-비아들이 기판에 형성되었지만, 0.05 mm보다 큰 z 오프셋들에서는 관통-비아들이 형성되지 않았다. 따라서, 66 W(또는 그 정도)에서 67 W(또는 그 정도)의 평균 전력 및 5 μs의 드릴링 기간에서, 레이저 드릴링 프로세스의 z 범위는 0.05 mm이다. 레이저 드릴링 프로세스의 z 범위는 도 4에 예시된 바와 같이, 기판에서 평균 전력을 증가시키거나 및/또는 각 드릴링 위치에서 드릴링 기간을 증가시킴으로써 확장할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 예를 들어, (30 W의 평균 전력에서) 40 μs로부터 120 μs(30 W의 평균 전력에서)로 드릴링 기간을 증가시킴으로써, 0.075 mm의 z 오프셋에서 관통-비아가 형성될 수 있다. 마찬가지로, 40 W의 평균 전력 및 40 μs의 드릴링 기간에서, z 오프셋이 0.075 mm일 때 기판에 관통-비아가 형성되었다(그러나 0.075 mm보다 큰 z 오프셋에서는 관통-비아들이 형성되지 않았다). 중요하게, 작업물에서의 평균 전력이 66 W (또는 그 정도) 내지 67 W(또는 그 정도) 범위에 있을 때, 15 μs의 드릴링 기간에 형성된 관통-비아들은 적어

도 0.2 mm(또는 그 정도)에서의 z 오프셋에서 형성될 수 있다는 것이 발견되었다. 따라서 66 W(또는 그 정도) 내지 67 W(또는 그 정도)의 평균 전력 및 15 μs의 드릴링 기간에서, 레이저 드릴링 프로세스의 z 범위는 0.2 mm보다 크다. 다수의 경우들에서, 상기 z 범위는 기판 두께 또는 평탄도의 변화들을 바람직하게 수용하며, 따라서 관통-비아들이 기판을 통해 빠르고 안정적으로 형성될 수 있음을 보장한다.

[0045] 도 5 내지 8은 관통 비아들을 형성하기 위해 (예를 들어, 위에서 설명된 레이저 처리 시스템(100) 및 레이저 드릴링 프로세스를 사용하여) 처리된, (도 5 및 7의 경우) 50 ㎛ 두께 또는 (도 6 및 8의 경우) 100 ㎛ 두께인 단면 유리 기판들(즉, SCHOTT Corporation에서 제조된 AF 32®로 형성됨)의 사진이며, 각 비아는 15 ㎲의 드릴링 기간 동안 형성된다. 유리 기판들은 어느 표면 상에 형성된 임의의 흡수 코팅을 갖지 않았고, 기판에서 레이저 펄스들의 빔의 평균 전력(즉, 레이저 처리 시스템(100)의 전술한 구성요소에 의해 반사되거나, 투과되거나 또는 회절된 이후)은 67 W(또는 그 정도) 내지 69 W(또는 그 정도)의 범위에 있었다. 도 5 내지 8에서, 단면 평면에서 들쑥날쑥한(ragged) 가장자리 품질은 기판의 횡단면을 만드는데 사용되는 기계적인 연마 방법에 대한 유리 재료의 취약성에 기인한다. 따라서, 도 5 내지 도 8에서 확인된 직경들은 횡단면을 만들기 전에 위에서 주석으로 달린 것들보다 작을 수 있다. 도 5 내지 도 8의 주요 목적은 관통-비아들의 측벽들이 얼마나 직선인지, 및 기판의 전체 두께를 통한 관통-비아들의 직경의 균일성을 예시하기 위한 것이다.

[0046] 전술한 것으로부터, 복수의 관통-비아들을 형성하기 위해 (예를 들어, 빔 스캐너(108)에 의해) 레이저 펄스들의 빔이 스캔될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 본원에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스에서, 최소 비아 대 비아 피치(via-to-via pitch)(즉, 가장 가까운 인접한 비아들 사이의 거리)는 일반적으로 기판의 제2 표면에서 각 관통-비아의 개구부 주변의 "스플래시 구역(splash zone)"의 직경에 의해 제한된다. 일반적으로, 스플래시 구역은 관통-비아의 형성 동안 융해된 재료가 기판으로부터 배출되는 제2 표면에서의 개구부 주변의 구역이다. 일부 실시예에서, 위에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스는 약 30 ㎛의 직경을 갖는 스플래시 구역을 생성한다. 따라서, 비아 대 비아 피치는 적어도 30 ㎛(또는 그 정도)일 수 있다.

[0047] 전술한 것은 본 발명의 실시예들 및 예시들을 예시하는 것이며, 본 발명을 제한하려는 것으로 해석되어서는 안 된다. 수개의 특정한 실시예들 및 예시들이 도면들을 참조로 기술되었지만, 이 분야의 기술자들은 본 발명의 새로운 교시들과 장점들을 실질적으로 벗어나지 않으면서, 개시된 실시예들 및 예시들은 물론 다른 실시예들에 대한 다수의 변형들이 가능함을 쉽게 인식할 것이다.

[0048] 예를 들어, 50 ㎛ 또는 100 ㎛의 두께를 갖는 기판들의 제1 표면 및 제2 표면에서 약 10 ㎛의 직경을 갖는 개구부들을 갖는 관통-비아들이 설명되었지만, 50 ㎛ 미만, 50 ㎛와 100 ㎛ 사이, 또는 100 ㎛을 초과하는 두께를 갖는 기판들에 유사한 크기의 개구부들을 갖는 관통 비아들이 형성될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 더욱이, 0.5보다 높은 NA를 갖는 스캔 렌즈(110)를 사용함으로써 더 작은 직경을 갖는 제1 및 제2 표면들에서 개구부들을 갖는 관통 비아들이 획득될 수 있다.

[0049] 다른 예시에서, 레이저 시스템(100)이 515 nm(또는 그 정도)에서의 파장에서 레이저 펄스들의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저(102)를 포함하는 것으로 위에서 설명되었지만, 상기 실시예들에서 설명된 레이저 드릴링 프로세스는 기판에서의 평균 전력, 펄스 폭, 펄스 반복률, 기판이 형성되는 재료 등과 같은 하나 이상의 다른 인자들에 의존하여, 515 nm(또는 그 정도) 이외의 파장들에서의 레이저 펄스들을 사용하여 달성될 수 있음이 인식될 것이다. 예를 들어, 레이저 펄스들의 빔이 위에서 논의된 펄스 반복률을 갖고, 또한 기판에서 레이저 펄스들의 빔의 평균 전력이 100 W(또는 그 정도) 또는 그 이상(예를 들어, 110 W, 120 W, 130 W 등 또는 이들 값들 중 어느 것 사이)으로 주어지면, 전술한 레이저 드릴링 프로세스는 전자기 스펙트럼의 근적외선 영역(예를 들어, 1030 nm, 1064 nm 등)에서의 파장들에서의 레이저 펄스들의 빔을 사용하여 수행될 수 있다. 근적외선 영역에서의 파장들에서, 레이저 펄스들의 빔에서의 레이저 펄스들은 위에서 논의된 펄스 폭들을 가질 수 있다. 하지만, 펄스 폭의 선택은 드릴링 기간의 지속 시간에 영향을 미칠 수 있다는 것이 유의되어야 한다. 일반적으로, 주어진 평균 전력 및 펄스 반복률에서, 상대적으로 짧은 펄스 폭(예를 들어, 10 ps 또는 그 정도)을 갖는 레이저 펄스들의 빔이 상대적으로 긴 펄스 폭(예를 들어, 30 ps 또는 그 정도)을 갖는 레이저 펄스들의 빔보다 짧은 드릴링 기간 내에 관통-비아를 형성할 수 있다는 것이 발견되었다.

[0050] 다른 예시에서, 레이저 드릴링 프로세스가 기판의 제2 표면에서 흡수성 코팅에 대한 필요성을 제거하는 것으로 위에서 설명되었지만, 기판의 제2 표면은 기판보다 레이저 펄스들의 빔에 대해 더 흡수성이거나 또는 레이저 펄스들에 대해 (예를 들어, 그의 제2 표면에서 또는 그 근처에서) 기판의 흡수율을 변경하는 재료로 코팅되거나 또는 다른 방식으로 처리될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

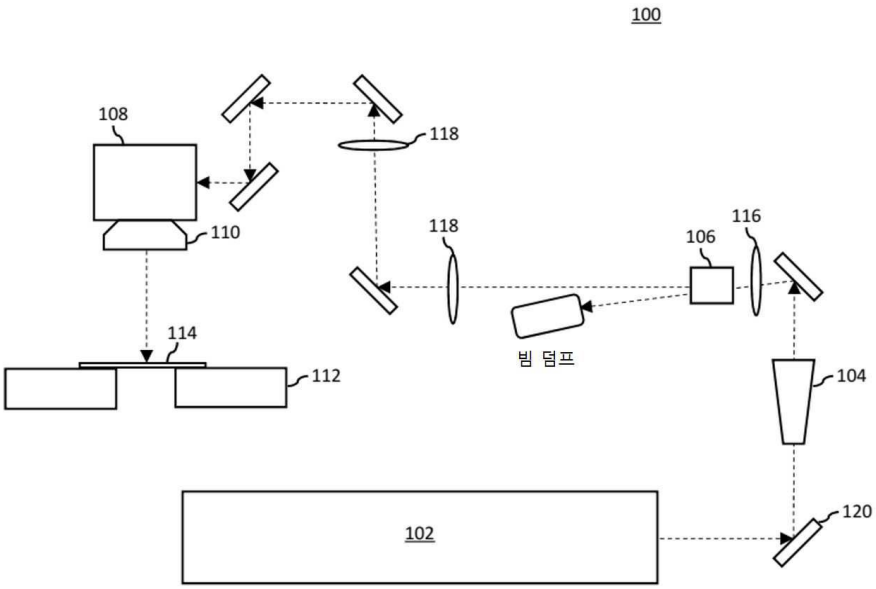
[0051] 다른 예시에서, 기판은 관통-비아들을 형성하기 위해 레이저 드릴링 프로세스가 수행된 이후에 선택적으로 열

어닐링(thermal annealing) 프로세스를 거칠 수 있다. 이 경우, 열 어닐링은 레이저 드릴링 프로세스 동안 스플래시 영역으로 분사되는 융해 재료의 응고에 기인하여 기판에 존재하는 내부 응력을 감소시키는 역할을 할 수 있다.

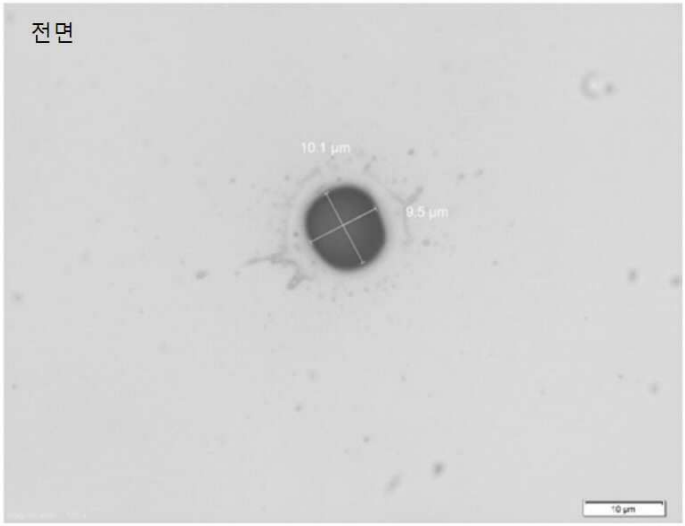
[0052] 따라서, 이러한 모든 변형들은 청구 범위로 한정된 본 발명의 범주 내에 포함되는 것으로 의도된다. 예를 들어, 기술자들은 임의의 문장, 단락, 예시 또는 실시예의 주제가 그 조합이 상호 배타적인 경우를 제외하고, 다른 문장들, 단락들, 예시들 또는 실시예들 중 일부 또는 전체의 주제와 조합될 수 있다는 점을 인식할 것이다. 그러므로, 본 발명의 범위는 다음의 청구범위에 의해 결정되어야 하고, 청구범위의 균등물도 그 안에 포함된다.

도면

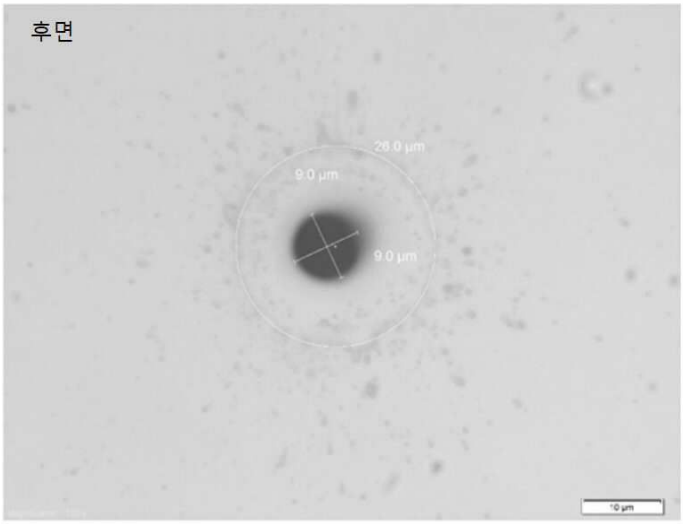
도면1



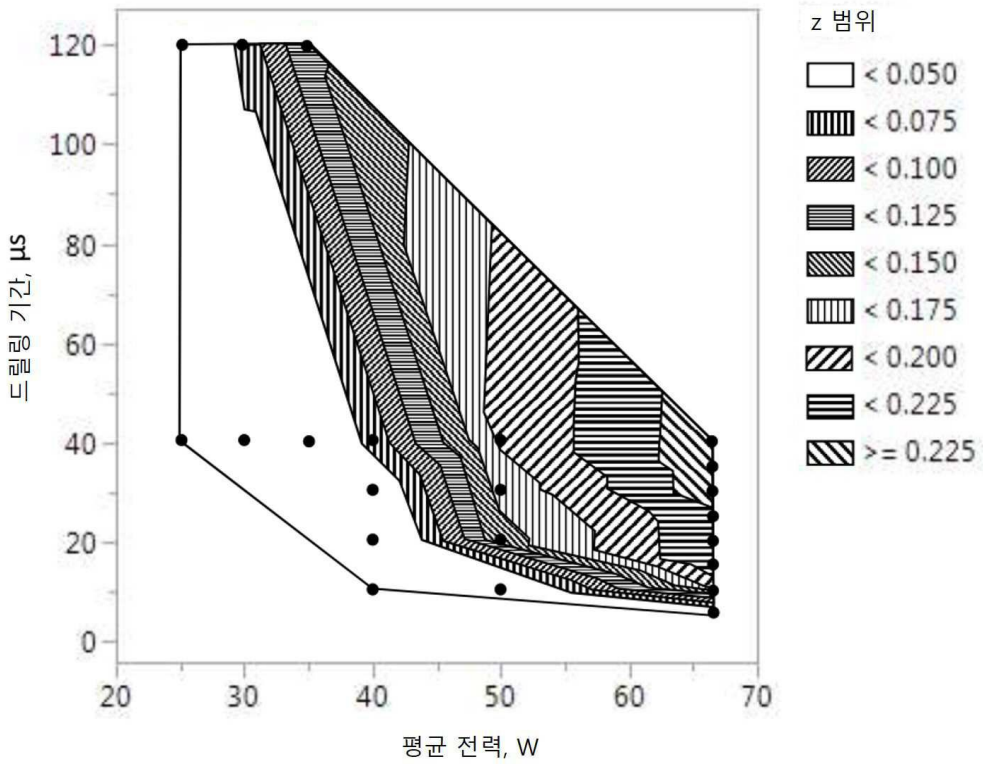
도면2



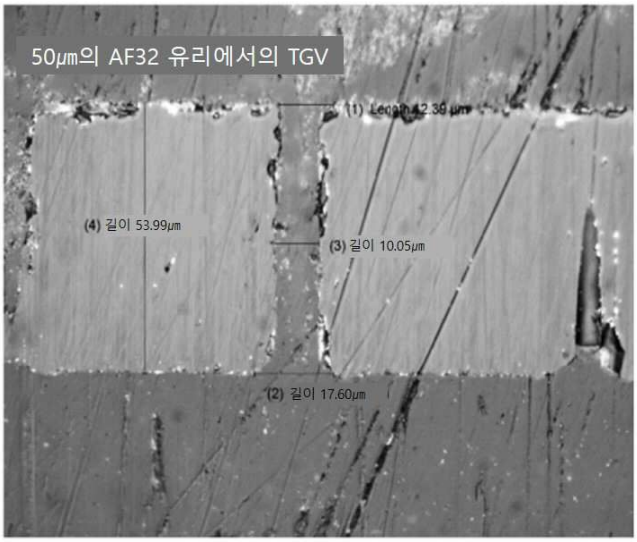
도면3


후면
26.0 µm
9.0 µm
9.0 µm

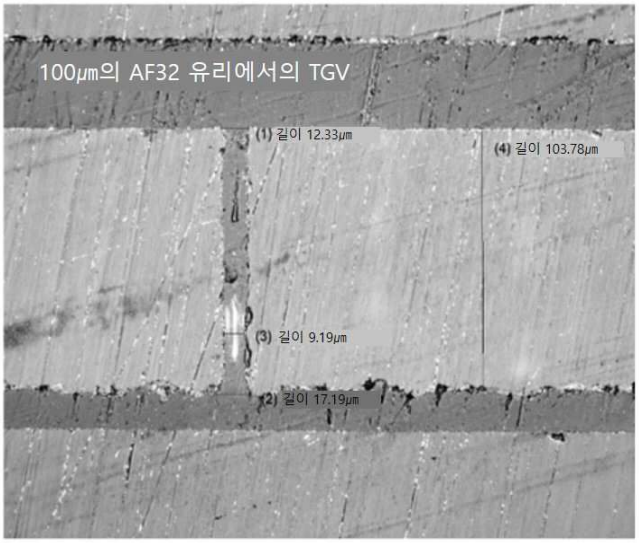
도면4


z 범위
< 0.050
< 0.075
< 0.100
< 0.125
< 0.150
< 0.175
< 0.200
< 0.225
>= 0.225
드릴링 기간, µs
120
100
80
60
40
20
0
20
30
40
50
60
70
평균 전력, W

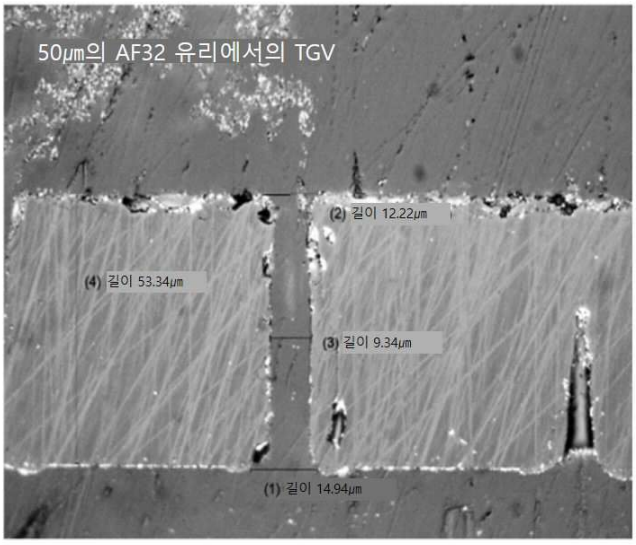
도면5


50㎛의 AF32 유리에서의 TGV
(1) Length 12.36 ㎛
(4) 길이 53.99㎛
(3) 길이 10.05㎛
(2) 길이 17.60㎛

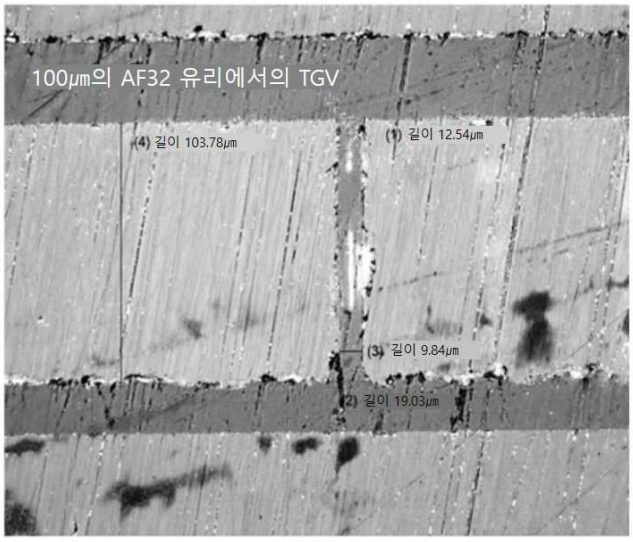
도면6


100㎛의 AF32 유리에서의 TGV
(1) 길이 12.33㎛
(4) 길이 103.78㎛
(3) 길이 9.19㎛
(2) 길이 17.19㎛

도면7


50㎛의 AF32 유리에서의 TGV
(2) 길이 12.22㎛
(4) 길이 53.34㎛
(3) 길이 9.34㎛
(1) 길이 14.94㎛

도면8


100㎛의 AF32 유리에서의 TGV
(4) 길이 103.78㎛
(1) 길이 12.54㎛
(3) 길이 9.84㎛
(2) 길이 19.03㎛