



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년06월11일  
(11) 등록번호 10-1866601  
(24) 등록일자 2018년06월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/301 (2006.01) H01L 21/28 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2013-7023434  
(22) 출원일자(국제) 2012년03월23일  
심사청구일자 2017년03월17일  
(85) 번역문제출일자 2013년09월04일  
(65) 공개번호 10-2014-0047590  
(43) 공개일자 2014년04월22일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/030375  
(87) 국제공개번호 WO 2012/135039  
국제공개일자 2012년10월04일  
(30) 우선권주장  
13/076,754 2011년03월31일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2002205179 A  
(뒷면에 계속)  
전체 청구항 수 : 총 27 항

(73) 특허권자  
일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드  
미국, 오리건 97229, 포트랜드, 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브13900  
(72) 발명자  
알페이 메흐멧 이.  
미국, 오리건 97229, 포트랜드, 엔더블유 레인디어 드라이브 17517  
마츠모토 히사시  
미국, 오리건 97124, 힐스보로, 에이피티. 824, 엔더블유 오버룩 드라이브 2599  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인 광장리앤코

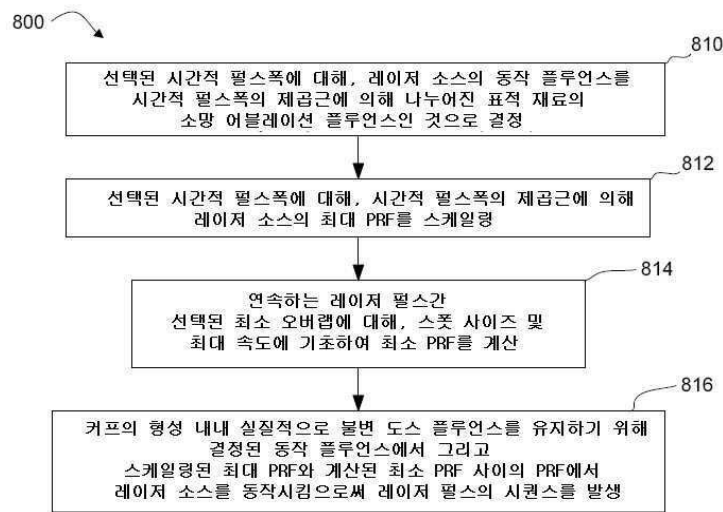
심사관 : 오순영

(54) 발명의 명칭 높은 펄스 반복 주파수에서의 피코초 레이저 펄스에 의한 레이저 다이렉트 어블레이션

(57) 요약

레이저 다이렉트 어블레이션(LDA)은 제어된 신호 전파 특성을 갖는 전기적 도전성 트레이스의 형성을 위해 유전체층 내로 베어낸 패턴을 생성한다. LDA 프로세싱은, 워크피스의 표면 상의 스크라이브 라인을 따라 재료의 소망 깊이를 제거하기 위한 도스 플루언스를 선택하는 단계, 일련의 레이저 펄스에서의 각각의 레이저 펄스에 대해 시간적 펄스폭을 선택하는 단계, 및 일련의 레이저 펄스에 대해 펄스 반복 주파수를 선택하는 단계를 포함한다. 펄스 반복 주파수는 스크라이브 라인을 따라 선택된 도스 플루언스를 유지하도록 선택된 시간적 펄스폭에 적어도 일부 기초한다. 선택된 펄스 반복 주파수는 스크라이브 라인을 따라 레이저 스폿의 소망 최소 오버랩을 제공한다. LDA 프로세스는 선택된 도스 플루언스, 시간적 펄스폭 및 펄스 반복 주파수에 따라 일련의 레이저 펄스를 포함하는 레이저 빔을 발생시키는 단계를 더 포함한다.

대표도 - 도8



(72) 발명자

**윤라트 마르크 에이.**

미국, 오리건 97225, 포틀랜드, 에스더블유 66번  
애비뉴 2840

**리 구양유**

미국, 오리건 97229, 포틀랜드, 엔더블유 라이그래  
스 스트리트 16181

(56) 선행기술조사문헌

JP2002316278 A

JP2002542555 A

US20100301023 A1

W02009117451 A1

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

제어된 신호 전파 특성을 갖는 전기적 도전성 트레이스의 형성을 위해 유전체층을 포함하는 워크피스(workpiece) 내로 베어낸 패턴을 생성하는 레이저 다이렉트 어블레이션(laser direct ablation)을 위한 방법으로서, 상기 방법은

상기 워크피스의 표면 상의 스크라이브 라인(scribe line)을 따라 유전체 재료의 소망 깊이를 제거하기 위한 도스 플루언스(dose fluence)를 선택하는 단계;

일련의 레이저 펄스에서의 각각의 레이저 펄스에 대해 시간적 펄스폭을 선택하는 단계;

상기 일련의 레이저 펄스에 대해 펄스 반복 주파수를 선택하는 단계;

상기 선택된 도스 플루언스, 시간적 펄스폭 및 펄스 반복 주파수에 따라, 레이저 소스를 사용하여, 상기 일련의 레이저 펄스를 포함하는 레이저 빔을 발생시키는 단계; 및

제어된 신호 전파 특성을 갖는 전기 전도성 트레이스를 제공할 수 있는 커프를 형성하기 위해 유전체 재료를 에블레이팅하도록, 상기 레이저 빔의 경로가 선택된 속도로 상기 워크피스의 상기 표면을 따라 스크라이브 라인 위치를 따르도록, 상기 워크피스와 상기 레이저 빔 사이에 상대 운동을 제공하는 단계를 포함하되,

상기 펄스 반복 주파수의 선택은 상기 스크라이브 라인을 따라 상기 선택된 도스 플루언스를 유지하도록 상기 선택된 시간적 펄스폭에 적어도 일부 기초하고, 상기 선택된 펄스 반복 주파수는 상기 스크라이브 라인을 따라 레이저 스폿의 소정 최소 오버랩을 제공하는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 선택된 시간적 펄스폭은  $1\mu\text{s}$ 보다 작거나 같은 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 선택된 시간적 펄스폭은 10ps 내지 29ns 범위 내에 있는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 상기 선택된 속도는 1m/s 내지 10m/s 범위 내에 있는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서, 상기 선택된 속도는 2m/s 내지 4m/s 범위 내에 있는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서, 상기 스크라이브 라인을 따라 레이저 스폿의 상기 소정 최소 오버랩은 스폿 사이즈 직경의 60%인 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

#### 청구항 7

제1항에 있어서, 스폿 사이즈 직경은  $5\mu\text{m}$  내지  $30\mu\text{m}$  범위 내에 있는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

#### 청구항 8

제1항에 있어서, 상기 선택된 펄스 반복 주파수는 750kHz 내지 5MHz 범위 내에 있는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

**청구항 9**

제1항에 있어서,

상기 레이저 소스의 동작 플루언스를 상기 선택된 시간적 펄스폭의 함수로서 결정하는 단계를 더 포함하되, 상기 동작 플루언스는 상기 선택된 시간적 펄스폭의 제공근에 의해 나누어진 상기 선택된 도스 플루언스를 포함하는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

**청구항 10**

제1항, 제6항 또는 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 펄스 반복 주파수를 선택하는 단계는,

상기 펄스폭의 제공근에 의해 상기 레이저 소스의 최대 펄스 반복 주파수를 스케일링(scaling)하는 단계;

상기 스크라이브 라인을 따라 레이저 스폿의 상기 선택된 최소 오버랩에 대해, 스폿 사이즈 및 상기 선택된 속도에 기초하여 최소 펄스 반복 주파수를 계산하는 단계; 및

상기 스케일링된 최대 펄스 반복 주파수와 상기 계산된 최소 펄스 반복 주파수 사이에 있도록 상기 펄스 반복 주파수를 선택하는 단계를 포함하는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

**청구항 11**

제1항에 있어서,

상기 레이저 빔의 상기 경로가 상기 선택된 속도로 상기 워크피스의 상기 표면을 따라 상기 스크라이브 라인 위치를 따르는 동안 디더 방향(dither direction)으로 앞뒤로 상기 레이저 빔을 디더링하는 단계를 더 포함하는, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

**청구항 12**

제1항에 있어서, 상기 도스 플루언스는  $(k \cdot P) / (v \cdot D)$ 를 특징으로 하며, 여기서 k는 상기 레이저 펄스의 가우시안 본질에 기초한 인자를 나타내고, P는 상기 레이저 펄스의 전력을 나타내며, v는 스크라이브 라인을 따라 상기 레이저 빔의 선택된 속도를 나타내며, D는 상기 레이저 펄스의 스폿 직경을 나타내는, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

**청구항 13**

제12항에 있어서, k는 2인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법.

**청구항 14**

제어된 신호 전파 특성을 갖는 전기적 도전성 트레이스의 형성을 위해 유전체층을 포함하는 워크피스 내로 베어낸 패턴을 생성하는 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템으로서, 상기 시스템은,

프로세서;

상기 프로세서로 하여금

a) 상기 워크피스의 표면 상의 스크라이브 라인을 따라 재료의 소망 깊이를 제거하기 위한 도스 플루언스를 선택하고,

b) 일련의 레이저 펄스에서의 각각의 레이저 펄스에 대해 시간적 펄스폭을 선택하고,

c) 상기 일련의 레이저 펄스에 대해 펄스 반복 주파수를 선택하게 하는

컴퓨터-실행가능한 명령어를 저장하는, 컴퓨터가 읽을 수 있는 매체;

상기 선택된 도스 플루언스, 시간적 펄스폭 및 펄스 반복 주파수에 따라 상기 일련의 레이저 펄스를 포함하는 레이저 빔을 발생시키는 레이저 소스; 및

상기 레이저 빔의 경로가 선택된 속도로 상기 워크피스의 상기 표면을 따라 스크라이브 라인 위치를 따르고 상기 레이저 빔이 제어된 신호 전파 특성을 갖는 전기 전도성 트레이스를 제공할 수 있는 커프를 형성하기 위해 유전체 재료를 에블레이팅하도록 동작하도록 상기 워크피스와 상기 레이저 빔 사이에 상대 운동을 제공하는 모션 엘리먼트(motion element)를 포함하되,

상기 펄스 반복 주파수의 선택은 상기 스크라이브 라인을 따라 상기 선택된 도스 플루언스를 유지하도록 상기 선택된 시간적 펄스폭에 적어도 일부 기초하고, 상기 선택된 펄스 반복 주파수는 상기 스크라이브 라인을 따라 레이저 스폿의 소정 최소 오버랩을 제공하는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 15**

제14항에 있어서, 상기 선택된 시간적 펄스폭은 1 $\mu$ s보다 작거나 같은 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 16**

제14항에 있어서, 상기 선택된 시간적 펄스폭은 10ps 내지 29ns 범위 내에 있는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 17**

제14항에 있어서, 상기 선택된 속도는 1m/s 내지 10m/s 범위 내에 있는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 18**

제14항에 있어서, 상기 선택된 속도는 2m/s 내지 4m/s 범위 내에 있는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 19**

제14항에 있어서, 상기 스크라이브 라인을 따라 레이저 스폿의 상기 소정 최소 오버랩은 스폿 사이즈 직경의 60%인 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 20**

제14항에 있어서, 스폿 사이즈 직경은 5 $\mu$ m 내지 30 $\mu$ m 범위 내에 있는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 21**

제14항에 있어서, 상기 선택된 펄스 반복 주파수는 750kHz 내지 5MHz 범위 내에 있는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 22**

제14항에 있어서, 상기 컴퓨터-실행가능한 명령어는 더욱 상기 프로세서로 하여금 상기 레이저 소스의 동작 플루언스를 상기 선택된 시간적 펄스폭의 함수로서 결정하게 하고, 상기 동작 플루언스는 상기 선택된 시간적 펄스폭의 제공근에 의해 나누어진 상기 선택된 도스 플루언스를 포함하는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 23**

제14항, 제19항 또는 22항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 컴퓨터-실행가능한 명령어는 더욱 상기 프로세서로 하여금,

상기 펄스폭의 제공근에 의해 상기 레이저 소스의 최대 펄스 반복 주파수를 스케일링하고;

상기 스크라이브 라인을 따라 레이저 스폿의 상기 선택된 최소 오버랩에 대해, 스폿 사이즈 및 상기 선택된 속도에 기초하여 최소 펄스 반복 주파수를 계산하며;

상기 스케일링된 최대 펄스 반복 주파수와 상기 계산된 최소 펄스 반복 주파수 사이에 있도록 상기 펄스 반복 주파수를 선택함으로써,

상기 펄스 반복 주파수를 선택하게 하는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 24**

제14항에 있어서, 상기 모션 엘리먼트는 하나 이상의 검류계를 포함하는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 25**

제14항에 있어서, 상기 모션 엘리먼트는 X-Y 모션 스테이지를 더 포함하는 것인, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 26**

제14항에 있어서,

상기 레이저 빔의 상기 경로가 상기 선택된 속도로 상기 워크피스의 상기 표면을 따라 상기 스크라이브 라인 위치를 따르는 동안 디더 방향으로 앞뒤로 상기 레이저 빔을 디더링하는 하나 이상의 음향-광학 편향기를 더 포함하는, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**청구항 27**

제14항에 있어서,

상기 도스 플루언스는  $(k \cdot P) / (v \cdot D)$ 를 특징으로 하며, 여기서 k는 상기 레이저 펄스의 가우시안 본질에 기초한 인자를 나타내고, P는 상기 레이저 펄스의 전력을 나타내며, v는 스크라이브 라인을 따라서의 상기 레이저 빔의 선택된 속도를 나타내며, D는 상기 레이저 펄스의 스폿 직경을 나타내는, 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 시스템.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 레이저 미세기계가공에 관한 것이다. 구체적으로, 본 발명은 제어된 신호 전파 특성을 갖는 전기적 도전성 트레이스의 형성을 위해 워크피스(workpiece)에 패턴을 스크라이빙하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 집적 회로(IC) 기관 제조 기술은 기관 사이즈 및 비용을 줄이고 기능성을 증가시키는 것을 목표로 하고 있다. 최근의 진전은, 종래의 리소그래피 기술을 사용하여 유전체층의 표면 상에 신호 트레이스를 형성하는 것과는 달리, 유전체층 내측에 전기적 신호 트레이스 또는 경로를 형성하도록 레이저 다이렉트 어블레이션(laser direct ablation; LDA) 및 특수 도금 프로세스를 사용한다. 매립된 트레이스 접근법은 신호 길이를 줄이고 트레이스 라우팅(trace routing)을 최적화함으로써 전반적인 층 카운트를 줄이고, 비용 및 수율을 개선하고, 전기적 성능을 개선한다. 매립된 트레이스 접근법은 패드리스 마이크로비아 설계(padless microvia design)와 결합하여 10 $\mu$ m 이하인 폭을 갖는 신호 트레이스를 형성함으로써 달성될 수 있다. 그렇지만, 유전체 제거를 위한 알려져 있는 방법은 하이-볼륨 생산에 적합한 생산적이고 비용 효과적인 제조 기술이 부족하다.

[0003] 자외선(UV) 엑시머 및 이트륨 알루미늄 가닛(YAG) 레이저 소스가 LDA에 대해 논의되어 왔다. UV YAG 시스템은 벡터와 래스터 스캐닝 방법 둘 다로 동작될 수 있다. 일반적으로 UV YAG 아키텍처는 이미징 마스크를 필요로 하지 않는다. 그러므로, UV YAG 시스템은 설계 변경의 유연성 및 신속한 적응을 제안한다. 다른 한편으로, 엑시머 레이저 어블레이션은 큰 영역에서 재료를 제거하도록 마스크 프로젝션 기술을 사용한다. 그러므로, 엑시머 레이저 어블레이션은 패턴이 많은 랜드, 그라운드 플레인 또는 다른 더 큰 특징을 포함할 때 높은 처리량(throughput)을 제공할 수 있다. 엑시머 레이저를 사용할 때의 처리량은 마스크 영역 내측의 패턴 밀도와는 독

립적이다. 그렇지만, 패턴 밀도 증가는 UV YAG 레이저를 사용하는 다이렉트 라이팅(direct writing) 방법의 경우에 처리량에 상당히 충격을 줄 수 있다. 엑시머 어블레이션은 마스크 영역 위 균일한 그리고 증분적 유전체 제거 때문에, UV YAG 레이저를 사용할 때에 비해, 더 좋은 해상도 및 깊이 제어를 나타내 보인다. UV YAG 레이저의 전력 레이팅은 대략 3 와트 내지 대략 40 와트일 수 있고, 엑시머 레이저의 전력 레이팅은 대략 300 와트까지일 수 있다. 일반적으로 UV YAG 레이저는 대략 50kHz 내지 대략 250kHz의 펄스 반복률로 동작하는 한편, 엑시머 레이저의 펄스 반복률은 일반적으로 수 백 헤르츠이다. UV YAG 및 엑시머 레이저 시스템은 둘 다 UV 파장으로 더 높은 어블레이션에 기인하여 유전체 재료의 넓은 선택에 대해 프로세싱을 제공한다(예컨대, UV YAG 레이저에 대해서는 대략 355nm가 전형적이고, 엑시머 레이저에 대해서는 대략 248nm 및 대략 308nm가 전형적이다).

**발명의 내용**

[0004] 시스템 및 방법은 유효 LDA 프로세싱을 위해 높은 펄스 반복 주파수를 갖는 짧은 시간적 펄스폭 레이저를 사용한다. 높은 펄스 반복 주파수는 레이저 빔이 충분한 펄스 오버랩을 유지하면서 (높은 처리량을 위해) 워크피스를 급속히 가로질러 이동하게 한다. 짧은 시간적 펄스폭은 더 효율적이고 깨끗한 재료 제거에 기여한다. 소정의 실시예에 있어서는, UV 레이저가 사용된다. 또 다른 실시예에 있어서는, 그린 레이저가 사용된다.

[0005] 레이저 다이렉트 어블레이션을 위한 방법은 제어된 신호 전파 특성을 갖는 전기적 도전성 트레이스의 형성을 위해 유전체층 내로 베어낸 패턴을 생성한다. 그 방법은 워크피스의 표면 상의 스크라이브 라인(scribe line)을 따라 재료의 소망 깊이를 제거하기 위한 도스 플루언스(dose fluence)를 선택하는 단계, 일련의 레이저 펄스에서의 각각의 레이저 펄스에 대해 시간적 펄스폭을 선택하는 단계, 및 일련의 레이저 펄스에 대해 펄스 반복 주파수를 선택하는 단계를 포함한다. 펄스 반복 주파수의 선택은 스크라이브 라인을 따라 선택된 도스 플루언스를 유지하도록 선택된 시간적 펄스폭에 적어도 일부 기초한다. 선택된 펄스 반복 주파수는 스크라이브 라인을 따라 레이저 스폿의 소정 최소 오버랩을 제공한다. 그 방법은 선택된 도스 플루언스, 시간적 펄스폭 및 펄스 반복 주파수에 따라, 레이저 소스를 사용하여, 일련의 레이저 펄스를 포함하는 레이저 빔을 발생시키는 단계를 더 포함한다. 그 방법은 또한 레이저 빔의 경로가 선택된 속도로 워크피스의 표면을 따라 스크라이브 라인 위치를 따르도록 워크피스와 레이저 빔 사이에 상대 운동을 제공하는 단계를 더 포함한다.

[0006] 소정의 실시예에 있어서는, 선택된 시간적 펄스폭은 1μs보다 작거나 같고, 선택된 시간적 펄스폭은 대략 10ps 내지 대략 29ns 범위 내에 있고, 선택된 속도는 대략 1m/s 내지 대략 10m/s 범위 내에 있다. 다른 실시예에 있어서는, 선택된 속도는 대략 2m/s 내지 대략 4m/s 범위 내에 있다. 부가적으로, 또는 다른 실시예에 있어서는, 스크라이브 라인을 따라 레이저 스폿의 소정 최소 오버랩은 스폿 사이즈 직경의 대략 60%이고, 스폿 사이즈 직경은 대략 5μm 내지 대략 30μm 범위 내에 있고, 선택된 펄스 반복 주파수는 대략 750kHz 내지 대략 5MHz 범위 내에 있다.

[0007] 소정의 실시예에 있어서는, 그 방법은 레이저 소스의 동작 플루언스를 선택된 시간적 펄스폭의 함수로서 결정하는 단계를 더 포함한다. 동작 플루언스는 선택된 시간적 펄스폭의 제곱근에 의해 나누어진 선택된 도스 플루언스를 포함한다. 펄스 반복 주파수를 선택하는 단계는 펄스폭의 제곱근에 의해 레이저 소스의 최대 펄스 반복 주파수를 스케일링(scaling)하는 단계, (스크라이브 라인을 따라 레이저 스폿의 선택된 최소 오버랩에 대해) 스폿 사이즈 및 선택된 속도에 기초하여 최소 펄스 반복 주파수를 계산하는 단계, 및 스케일링된 최대 펄스 반복 주파수와 계산된 최소 펄스 반복 주파수 사이에 있도록 펄스 반복 주파수를 선택하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 소정의 실시예에 있어서는, 그 방법은 레이저 빔의 경로가 선택된 속도로 워크피스의 표면을 따라 스크라이브 라인 위치를 따르는 동안 디더 방향(dither direction)으로 앞뒤로 레이저 빔을 디더링하는 단계를 더 포함한다.

[0009] 부가적 태양 및 이점은 수반 도면을 참조하여 바람직한 실시예의 이하의 상세한 설명으로부터 명백해질 것이다.

**도면의 간단한 설명**

[0010] 도 1은 유전체 재료의 상부 표면 상의 제1 전기적 도전성 트레이스 및 제2 전기적 도전성 트레이스의 측면 개략도;

도 2a는 일 실시예에 따라 레이저 어블레이션을 사용하여 유전체 재료의 상부 표면 내로 베어낸 제1 커프 및 제2 커프를 포함하는 워크피스의 측면 개략도;

도 2b는 일 실시예에 따라 제1 커프에 형성된 제1 전기적 도전성 트레이스 및 제2 커프에 형성된 제2 전기적 도

전성 트레이스를 갖는, 도 2a에 도시된 워크피스의 측면 개략도;

도 3은 일 실시예에 따라 레이저 어블레이션을 사용하여 유전체 재료의 상부 표면 내로 베어낸 복수의 커프를 포함하는 워크피스의 측면 개략도;

도 4는 소정의 실시예에 따라 유전체 재료에 대해 펄스 당 어블레이션 레이트의 그래픽 예시도;

도 5는 소정의 실시예에 따라 선형 도스 플루언스의 함수로서의 어블레이션 레이트의 그래픽 예시도;

도 6은 소정의 실시예에 따라 커프 폭과 광학 스폿 직경간 비 대  $1/e^2$  가우시안 스폿에서의 도스 플루언스의 그래픽 예시도;

도 7은 소정의 실시예에 따라 볼륨 제거 효율 비교의 그래픽 예시도;

도 8은 일 실시예에 따라 유전체 재료 내로 커프를 레이저 어블레이팅하기 위한 방법의 흐름도;

도 9는 일 실시예에 따라 355nm 레이저로 ABF GX-13 수지의 어블레이션 레이트의 그래픽 예시도;

도 10은 소정의 실시예에 따라 불변 전력을 사용하여 ABF GX-13의 UV LDA 프로세싱을 위한 펄스 에너지 및 PRF 대 펄스폭의 그래픽 예시도;

도 11은 소정의 실시예에 따라 펄스 주기의 제공근에 의해 나누어진 불변 플루언스를 사용하여 ABF GX-13의 UV LDA 프로세싱을 위한 플루언스 및 PRF 대 펄스폭의 그래픽 예시도; 및

도 12는 일 실시예에 따라 LDA 프로세싱 시스템의 예의 블록도.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0011]

**I. 개관**

[0012]

시스템 및 방법은 레이저 다이렉트 어블레이션(LDA) 응용에서 높은 처리량을 갖는 (예컨대, 벡터 스캔 접근법을 사용하는) 생산 프로세싱을 제공한다. 고속 빔 포지셔닝 및 높은 펄스 반복 주파수(pulse repetition frequency: PRF)는 유전체 재료 내로 베어낸 커프의 균일성 및 특성을 제어하도록 연속하는 레이저 펄스간 충분한 오버랩을 제공한다. 그 후 알려져 있는 도금 프로세스는 소망의 신호 전파 특성(예컨대, 임피던스, 저항 및 커패시턴스)을 갖는 커프 내 전기적 경로를 형성하는데 사용될 수 있다.

[0013]

소정의 실시예에 있어서, 고속 빔 포지셔닝 기법은 모드 잠금 레이저(mode locked laser)와 조합하여 사용된다. 빔 포지셔닝 기술이 진전됨에 따라, 레이저 소스의 펄스 반복률은 제한하는 인자로 되고 있다. 예컨대, 워크피스에서 10 $\mu$ m 스폿 사이즈에 대해, 레이저 소스는 10kHz 펄스 반복 주파수(PRF)에서 가동 중이고, 워크피스의 표면에 대한 레이저 빔의 속도는 100mm/초보다 더 높고, 바이트 사이즈(레이저 스폿과 다음 레이저 스폿간 거리)는 10 $\mu$ m이거나 더 크다. 그러므로, 이러한 예에 있어서는, 펄스 오버랩이 없고 레이저 빔은 워크피스에서 이산 도트 또는 파선을 생성하여 (전기적 도전성 재료로 도금될 때) (연속적이고 균일한 라인에 비해) 신호 전파를 막고/막거나 신호 전파 특성을 저하시킨다.

[0014]

고속 빔 포지셔닝 기법을 이용하기 위해, 높은 PRF는 소정의 실시예에 의하면 소망의 펄스 오버랩 퍼센티지를 제공하도록 사용된다. 스폿 직경이 더 작아짐에 따라 더 높은 PRF가 사용될 수 있다. 펄스 오버랩 퍼센티지는 (스포트 사이즈-바이트 사이즈)/스포트 사이즈\*100%로 정의된다. 일 실시예에 있어서, 펄스 오버랩 퍼센티지는 가우시안 빔을 사용하여 안정적인 누적 플루언스 분포를 제공하기 위해 적어도 60%이다. 모드 잠금 레이저는 그 고주파수 동작 때문에 높은 펄스 오버랩 퍼센티지를 갖는 것을 허용한다. 그렇지만, 본 명세서는 모드 잠금 레이저 동작에 한정되는 것은 아니고 당업자는 본 명세서로부터 다른 유형의 레이저가 사용될 수도 있음을 인식할 것이다. 환언하면, PRF가 소망의 펄스 오버랩 퍼센티지를 제공하기에 충분히 높은 한, 고속 빔 포지셔닝 기법은 여전히 이용될 수 있다.

[0015]

소정의 실시예에 있어서, 레이저는 짧은 시간적 펄스폭을 갖는 레이저 펄스를 생성한다. 레이저 빔이 재료 표면 위로 이동함에 따른 연속파(CW) 레이저 동작은 스폿 대 스폿 거리에 대한 걱정을 없애지만, CW 동작은 원하지 않는 열 축적을 야기시킬 수 있다. 짧은 시간적 펄스폭을 사용하여 모드 잠금 레이저는 원하지 않는 열 축적을 줄이거나 최소화한다. 부가적으로, 짧은 시간적 펄스폭은 어떤 파장에서 레이저 에너지의 재료 흡수를 증가시킬 수 있다. 유효 어블레이션 역치는 파장 및 시간적 펄스폭에 의존하여 달리 된다. 짧은 시간적 펄스폭 레이저를 갖는 높은 강도 빔으로, 비-선형 흡수는 재료를 어블레이팅하기 위해 온도 증가율이 유기 수지의 열 분해 온도



를 증가하도록 야기시킬 수 있다. 그래서, 어블레이션 역치 플루언스는 더 낮은 측으로 편이된다.

[0016] 소정의 실시예에 있어서, 레이저 펄스는 UV 파장이다. LDA 프로세스는 유전체 수지 내 트렌치를 형성하고 트렌치는 추후 금속화되어 트렌치를 전기적 도전성 트레이스로 만든다. UV 파장은 인쇄 배선 기판 재료에서의 더 좋은 흡수 때문에 유용할 수 있다. 어블레이션 효율은 더 높을 수 있고, 어블레이션 역치 플루언스는 UV 범위 내 더 짧은 파장으로 더 낮을 수 있다. 다른 실시예에 있어서, 가시 파장이 사용될 수 있다. 예컨대, 나노초 범위 내 시간적 펄스폭을 갖는 레이저 펄스를 생성하는 그린 레이저가 사용될 수도 있다. 그렇지만, 그러한 그린 레이저는, 피코초 범위 내 시간적 펄스폭을 갖는 레이저 펄스를 생성하는 UV 레이저에 비해, 대략 5배 더 높은 평균 전력을 필요로 하고 대략 8배 더 느릴 수 있다.

[0017] 이제 유사한 참조 숫자가 유사한 엘리먼트를 가리키는 도면을 참조한다. 이하의 설명에 있어서, 수많은 특정 상세는 본 명세서에 개시된 실시예의 철저한 이해를 위해 제공된다. 그렇지만, 당업자는 그들 실시예가 특정 상세 중 하나 이상 없이, 또는 다른 방법, 컴포넌트 또는 재료로 실시될 수 있음을 인식할 것이다. 더욱, 어떤 경우에 있어서는, 주지의 구조, 재료 또는 동작은 실시예의 태양을 모호하게 하는 것을 회피하기 위해 상세하게 도시되거나 설명되지는 않는다. 더욱, 설명되는 특징, 구조 또는 특성은 하나 이상의 실시예에서 어떠한 적합한 방식으로라도 조합될 수 있다.

[0018] II. LDA 프로세싱

[0019] 도 1은 유전체 재료(116)의 상부 표면(114) 상의 제1 전기적 도전성 트레이스(110) 및 제2 전기적 도전성 트레이스(112)의 측면을 개략적으로 예시하고 있다. 전기적 도전성 트레이스(110, 112)는, 예컨대, 구리(Cu)를 포함할 수 있다.

[0020] 도 2a는 일 실시예에 따라 레이저 어블레이션을 사용하여 유전체 재료(216)의 상부 표면(214) 내로 베어낸 제1 커프(210) 및 제2 커프(212)를 포함하는 워크피스(200)의 측면을 개략적으로 예시하고 있다. 유전체 재료(216)는 (무기 강화 입자 및/또는 금속을 포함할 수도 있는) 유기 수지를 포함할 수 있다. 소정의 실시예에 있어서, 유전체 재료(216)는 일본 가와사키 소재 Ajinomoto Fine-Techno Co., Inc.로부터 이용가능한 ABF GX-3 또는 ABF GX-13 유전체 필름을 포함한다.

[0021] 도 2b는 도 2a에 도시된 워크피스(200)에서 일 실시예에 따라 제1 커프(210) 내에 제1 전기적 도전성 트레이스(218)가 형성되고 제2 커프(212) 내에 제2 전기적 도전성 트레이스(220)가 형성된 워크피스의 측면도를 개략적으로 예시하고 있다. 전기적 도전성 트레이스(218, 220)는 구리(Cu) 또는 또 다른 전기적 도전성 재료를 포함할 수 있다. 도 2b에 도시된 바와 같이, 각자의 커프(210, 212) 내에 전기적 도전성 트레이스(218, 220)를 형성하는 것은 (도 1에 비해) 워크피스(200)의 전반적 높이를 줄인다. 더욱, 도 1에 도시된 전기적 도전성 트레이스(110, 112)는 각각 유전체 재료(116)의 상부 표면(114)에 단 하나의 면 상에 결속되는 반면, 도 2b에 도시된 전기적 도전성 트레이스(218, 220)는 각각 유전체 재료(216)에 3개의 면 상에 결속되어 있어, 유전체 재료(216)로부터 전기 회로의 분리 및 스트레스 하의 트레이스 크래킹을 줄인다. 각자의 커프(210, 212) 내에 전기적 도전성 트레이스(218, 220)를 형성하는 것은 또한 신호 길이를 줄이고 트레이스 라우팅을 최적화함으로써 전반적인 층 카운트를 줄이고, 비용 및 수율을 개선하고, 전기적 성능을 개선한다.

[0022] 도 3은 일 실시예에 따라 레이저 어블레이션을 사용하여 유전체 재료(312)의 상부 표면 내로 베어낸 복수의 커프(310)(6개 도시)를 포함하는 워크피스(300)의 측면을 개략적으로 예시하고 있다. 소정의 실시예에 있어서, 커프(310)는 각각 대략 5 $\mu$ m 내지 대략 15 $\mu$ m 범위에 있는 폭을 갖는다. 당업자는 본 명세서로부터 더 큰 커프 및/또는 더 큰 특징(예컨대, 패드)이 유전체 재료(312)의 표면 내로 스크라이빙될 수도 있음을 인식할 것이다. 예컨대, 도 3은 또한 본 명세서에서 설명되는 레이저 어블레이션 기술을 사용하여 유전체 재료(312)에 형성된 복수의 비아(314)(3개 도시)를 나타내고 있다. 비아는 다이 패키지 기판 또는 회로 기판을 통해 뻗어 있는 전기적 도전성 구조이다. 전형적으로 전기적 경로는 비아 홀의 내벽 상에 도전성 재료의 층을 성막함으로써 제공된다. 종래의 패드형 비아에 있어서, 비아 패드는 비아에 의해 소비된 큰 퍼센티지, 예컨대, 50% 초과인 총 측방향 영역을 표현할 수 있다. 본 명세서에서 개시된 레이저 프로세싱 실시예는 비아(314)의 표면 풋프린트를 실질적으로 감소시키도록 비아 패드를 줄이거나 없애고, 그에 대응하여, 이용가능한 표면 공간 및 상호접속 라우팅 유연성 및 효율 둘 다 강화된다.

[0023] 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 유전체 재료(216) 내 커프(210, 212)의 레이저 어블레이션은 도스 플루언스를 사용하는 것을 특징으로 할 수 있는데, 워크피스(200)에 대한 레이저 빔의 속도, 전력 및 스폿 사이즈와 같은 파라미터에 의해 제어될 수 있다. 예컨대, 도스 플루언스에 대한 아래의 식을 참조하라.

$$\text{도스플루언스} = \text{계수} \cdot \frac{\text{전력}}{\pi \cdot \text{속도} \cdot \omega_0},$$

[0024]

[0025]

여기서,  $\omega_0$ 는 스폿 반경이다.

[0026]

도스 플루언스가 높을수록 표적 재료의 볼륨 제거가 더 높다. 커프(210, 212)의 소망 폭 및 깊이가 주어질 때, 도스 플루언스가 결정될 수 있다. 더 빠른 재료 제거(예컨대, 더 높은 처리량)에 대해서는, 빔 스캐닝의 속도가 인자일 수 있다. 레이저 전력은 도스 플루언스의 상수 범위를 제공하기 위해 유지될 수 있다.

[0027]

피코초 UV 레이저 소스(도 12 참조)는 유전체 재료(216)를 직접 어블레이팅하는데 사용될 수 있다. 일 실시예에 있어서, 레이저 소스는 대략 80MHz까지 PRF에서 동작할 수 있는 모드 잠금 레이저를 포함한다. 레이저 소스의 펄스 당 에너지는 수 나노줄(nJ)처럼 낮아서, 10 $\mu$ m 미만 스폿 직경 위에 수 mJ/cm<sup>2</sup>처럼 작은 동작 플루언스를 제공한다. 다른 실시예는 다른 파장 및/또는 시간적 펄스폭을 사용한다. 예컨대, 도 4, 도 5, 도 6 및 도 7은 피코초 그린 레이저, 나노초 그린 레이저, 피코초 UV 레이저, 및 나노초 UV 레이저를 사용하여 유전체(ABF GX-13)를 프로세싱하는 것 사이의 차이를 예시하고 있다.

[0028]

III. UV 및 그린 레이저에 대한 예시적 레이저 파라미터

[0029]

도 4는 소정의 실시예에 따라 유전체 재료(ABF GX-13)에 대해 펄스 당 어블레이션 레이트를 예시하는 그래프이다. 그래프의 x-축을 따라 도시된 플루언스는 가우시안 스폿의 중심에 있다. 펄스 당 어블레이션 깊이 값은 그래프의 y-축을 따라 도시되어 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, UV 파장은 소정의 실시예에 있어서 재료 제거 효율에 대해 그린 파장보다 이점을 가질 수 있다. 나노초 UV 레이저의 어블레이션 레이트는 피코초 그린 레이저의 어블레이션 레이트보다 거의 2배 높다. 또한 도 4에 도시된 바와 같이, 피코초 시간적 펄스폭은 소정의 실시예에 있어서 나노초 시간적 펄스폭보다 이점을 가질 수 있다. 나노초 레이저를 사용하여 유효 어블레이션을 개시하는 역치 플루언스는 피코초 레이저를 사용하여 유효 어블레이션을 개시하는 역치 플루언스보다 실질적으로 더 높다.

[0030]

도 5는 소정의 실시예에 따라 선형 도스 플루언스의 함수로서 어블레이션 레이트를 예시하는 그래프이다. 도 4에 도시된 "스폿 센터 플루언스"는 워크피스 상의 단일 포인트에 영향을 미치는 단일 레이저 펄스와 연관된 에너지 밀도를 지칭하는 한편, 도 5의 "선형 도스 플루언스"는 워크피스 상의 라인 세그먼트를 가로질러 배달되는 일련의 펄스와 연관된 누적 에너지 밀도를 지칭한다. 스폿 센터 플루언스는 2\*(펄스 에너지/펄스 면적)이다. 2라는 인자는 각각의 레이저 펄스 내 에너지 분포가 가우시안인 것에 기인한다(평균 밀도의 2배는 스폿 센터에서이다). 선형 도스 플루언스에 대하여, 반복률(R) 및 전력(P)으로 레이저를 발사하면서 속도(v)로 길이(L)의 라인 세그먼트 위로 스폿 직경(D)을 갖는 레이저 빔을 이동시키는 것은 P/R의 에너지를 갖는 각각의 펄스를 갖는 R\*L/v를 전달하는 결과를 초래한다. 그러므로, "L x D"의 직사각 영역 위에 P\*L/v의 총 에너지가 전달되고 선형 도스는 다음과 같다.

[0031]

$$k*(P*L/v)/(L*D) = k*P/(v*D)$$

[0032]

k라는 인자는 개개의 레이저 펄스의 가우시안 본질로부터 나온다.

[0033]

그래프의 x-축을 따라 나타난 선형 도스 플루언스는 가우시안 스폿의 중심에 있고, 레이저 빔이 워크 영역 위로 이동함에 따라 스폿 면적에 대한 누적 플루언스에 의해 정의된다. 어블레이션 깊이 값은 그래프의 y-축을 따라 나타낸다. 도 5에 도시된 바와 같이, UV 파장은 소정의 실시예에 있어서는 그린 파장보다 이점을 가질 수 있다. 피코초 및 나노초 시간적 펄스폭을 사용하여 UV 레이저의 어블레이션 레이트는 매우 잘 매칭(즉, UV 피코초 및 나노초 데이터 포인트는 서로 비교적 가깝다)하는 반면, 나노초 그린 레이저는 피코초 그린 레이저로 획득된 것보다 유사한 어블레이션 깊이를 획득하기 위한 실질적으로 더 높은 선형 도스 플루언스를 필요로 한다.

[0034]

도 6은 소정의 실시예에 따라 커프 폭과 광학 스폿 직경간 비 대 1/e<sup>2</sup> 가우시안 스폿에서의 도스 플루언스를 예시하는 그래프이다. 커프 폭과 광학 스폿 직경간 비는 그래프의 y-축을 따라 나타내고, 1/e<sup>2</sup> 가우시안 스폿에서의 도스 플루언스는 그래프의 x-축을 따라 나타낸다. 도 6에 도시된 바와 같이, 소정의 실시예에 있어서 도스 플루언스의 유효 역치는 피코초 UV 레이저에 대해 가장 낮고 나노초 그린 레이저에 대해 가장 높다. 피코초 UV 결과는 동일한 도스 플루언스범에서 나노초 UV 결과보다 다소 더 넓은 커프를 나타내고 있다.

[0035] 도 7은 소정의 실시예에 따라 볼륨 제거 효율의 비교를 예시하는 그래프이다. 상대적 볼륨 제거는 그래프의 y-축을 따라 임의 단위(au)로 나타내고,  $1/e^2$  가우시안 스폿에서의 도스 플루언스는 그래프의 x-축을 따라 나타낸다. 도 7에 도시된 작은 차이 때문에, 피코초 UV 레이저는 나노초 UV 레이저보다 단지 사소하게 더 좋은 볼륨 제거 효율을 나타내 보인다.

[0036] IV. LDA 프로세싱 방법

[0037] 도 8은 일 실시예에 따라 유전체 재료 내에 커프를 레이저 어블레이팅하기 위한 방법(800)의 흐름도이다. 방법(800)은, 예컨대, 제어된 신호 전파 특성을 갖는 전기적 도전성 트레이스의 형성을 위해 유전체 재료 내로 베어낸 패턴을 생성하는 LDA 프로세스의 일부로서 사용될 수 있다. 방법(800)은, 선택된 시간적 펄스폭에 대해, 시간적 펄스폭의 제공근에 의해 나누어진 표적 재료의 소망 어블레이션 플루언스로서 레이저의 동작 플루언스를 결정하는 단계(810)를 포함한다. 그후, 선택된 시간적 펄스폭에 대해, 시간적 펄스폭의 제공근에 의해 레이저 소스의 최대 PRF를 스케일링하는 단계(812)이다. 방법(800)은 또한, 연속하는 레이저 펄스간 선택된 최소 오버랩에 대하여, 워크피스의 표면에 대한 레이저 빔의 최대 속도 및 스폿 사이즈에 기초하여 최소 PRF를 계산하는 단계(814)를 포함한다. 일 실시예에 있어서, 선택된 최소 오버랩은 빔 스폿 직경의 60%이다, 즉, (스폿 사이즈 - 바이트 사이즈)/스폿 사이즈\*100% = 60%이다. 방법(800)은, 커프의 형성 내내 실질적으로 불변 도스 플루언스를 유지하기 위해, 결정된 동작 플루언스에서 그리고 스케일링된 최대 PRF와 계산된 최소 PRF 사이의 PRF에서 동작함으로써 레이저 펄스의 시퀀스를 발생시키는 단계(816)를 더 포함한다.

[0038] V. 예시적 LDA 프로세싱 파라미터

[0039] 다음의 예는 시간적 펄스폭, 플루언스, PRF 및 다른 프로세싱 파라미터에 대한 특정 값을 사용하여 ABF GX-13을 LDA 프로세싱하는데 도 8의 방법이 어떻게 사용될 수 있는지 예시하고 있다. 당업자는 예시의 재료 및 파라미터 값이 단지 예로써이고 한정적 방식으로 제공되는 것은 아님을 인식할 것이다. 그 예는 UV 레이저 소스를 사용한다. 그렇지만, 위에서 논의된 바와 같이, 다른 파장이 사용될 수도 있다(예컨대, 그린).

[0040] UV 레이저 소스를 사용하여 유기 재료의 벌크 어블레이션 레이트, X(또는 에치 레이트(etch rate))는 일반적으로 다음에 의해 모델링된다:

[0041] 
$$\chi = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln\left(\frac{\theta}{\theta_{th}}\right),$$

[0042] 여기서,  $\alpha$ 는 레이저 파장에서 재료의 흡수 계수 [ $cm^{-1}$ ]이고,  $\theta$ 는 레이저 소스의 동작 플루언스 [ $J/cm^2$ ]이고,  $\theta_{th}$ 는 재료에서 어블레이션을 개시하기 위한 역치 플루언스이다. 이미징된 옵션을 갖는 다양한 나노초 UV 레이저를 사용하는 ABF GX-13 수지 드릴링 프로세스에 대해,  $\alpha$ 는 대략  $18513.57471cm^{-1}$ 로 회귀되었는데, 여기서  $\theta_{th}$ 는 대략  $0.104887849J/cm^2$ 였다. 예컨대, 일 실시예에 따라 355nm 레이저로 ABF GX-13 수지의 어블레이션 레이트를 예시하는 그래프인 도 9를 참조하라. 도 9에서 데이터 포인트에 대한 어블레이션 핏 곡선은  $y = (1/1.851357471E+04)^{\ln(F/0.104887849)}$ 로 주어진다.

[0043] 일반적으로, 폴리머는 증착 전에 분해되려는 경향이 있다. 분자의 긴 사슬은 재료의 벌크를 남길 수 있기 전에 조각으로 절단된다. 어블레이션의 열적 활성화는 유한 어블레이션 역치 대신 전형적 "아레니우스 꼬리"로 보일 수 있다. 이것은 레이저 어블레이션이 레이저 가열로부터 기원하는 재료의 벌크 내 광열 본드-브레이킹 리액션인 것에 기반한다. 여러 다른 어블레이션 모델이 고려될 수 있다. 광화학 기반 모델에 있어서, 전자 여기는 열 운동화 없이 다이렉트 본드 브레이킹의 결과를 초래한다. 열 기반 모델에 있어서, 본드는 열로 브레이킹되고, 어블레이션 프로세스의 열 본질은 레이저 펄스 반복률 및 펄스 폭에 대한 어블레이션 레이트 및 어블레이션 역치의 의존성뿐만 아니라 아레니우스 꼬리의 관찰에 의해 지지된다. 광물리 모델에 있어서, 열적 및 비-열적 특징은 본드 브레이킹의 2개의 독립적 채널로서, 또는 그라운드 상태 및 전자적으로 여기된 크로모포어에 대해 여러 다른 본드 브레이킹 에너지를 내포하는 것으로서 사용되고 고려된다.

[0044] 역치 플루언스는, 감소하는 역치 플루언스가 레이저 파장에서의 감소와 관련되는지, 도펀트의 부가와 관련되는지 또는 결함의 발생과 관련되는지에 무관하게, 흡수 계수를 증가시킴으로써 감소한다. 또는, 역치 플루언스는 시간적 펄스폭을 감소시킴으로써 감소될 수 있다. 더 짧은 펄스로는, 여기 에너지의 공간적 소실이 줄어들고 역치 플루언스는 더 낮은 플루언스에서 도달된다. 이러한 관찰은 다광자 여기에 기인하여 흡수 계수에서의 증가

및/또는 열 침투 깊이에서의 감소와 관련될 수 있다.

[0045] 어블레이션이 최초로 재료 가열에 의해 이루어진다고 상정하면, 재료 온도는 플루언스 및 시간적 펄스폭을 사용함으로써 근사될 수 있다. 다음의 식은 어느 펄스 동안 그리고 그 펄스 후에 일차원(1D) 표면 온도 모델에 기반한다. 이러한 분석 모델은 단순함을 위해 시간적 및 공간적 형상 둘 다에 대해 탑 햇 빔 프로파일을 사용한다. 다른 시간적 및 공간적 형상이 사용될 수도 있다. 그 모델은 빔 직경이 더 크면 그리고 수지 두께가 수지의 열적 확산 거리보다 더 두꺼우면 꽤 정확하다.

[0046] 표면 온도 모델에 대하여, 펄스 주기 동안 표면 온도에 대한 식은 다음에 의해 주어진다:

$$T(0,t)_{0 \leq t \leq \tau} = \frac{2\varepsilon \cdot I}{K} \sqrt{\frac{\kappa \cdot t}{\pi}} + T_0,$$

[0047]

[0048] 여기서,  $\tau$ 는 펄스 주기이고,  $\varepsilon$ 는 흡수이고,  $I$ 는 조사 강도이고,  $K$ 는 열적 전도도이고,  $\kappa$ 는 열적 확산도이고,  $T_0$ 는 펄스 주기 전 최초 표면 온도이다.

[0049] 펄스 주기 후 표면 온도에 대한 식은 다음에 의해 주어진다:

$$T(0,t)_{t \geq \tau} = \frac{2\varepsilon \cdot I}{K} \cdot \sqrt{\frac{\kappa}{\pi}} \cdot (\sqrt{t} - \sqrt{t - \tau}) + T_0.$$

[0050]

[0051]  $T=T_d$ (분해 온도)일 때,  $t=\tau$ 에서:

$$T(0,\tau) = T_d = \frac{2\varepsilon \cdot I}{K} \sqrt{\frac{\kappa \cdot \tau}{\pi}} + T_0.$$

[0052]

[0053] 모든 재료 관련 상수를 단일 상수  $C$ 로 단순화하면,

$$C = \frac{\sqrt{\pi} K (T_d - T_0)}{2\varepsilon \sqrt{\kappa}},$$

[0054]

[0055] 식은 다음과 같이 된다:

$$\frac{\theta}{\sqrt{\tau}} = C \quad \text{or} \quad I\sqrt{\tau} = C.$$

[0056]

[0057] 상수  $C$ 가 동일하면, 재료의 표면 온도( $T$ )는 여러 다른 조사 강도 및 시간적 펄스폭 값에 대해서도 동일하다. 폴리머 재료의 분해 온도가 초과되는  $C$ 의 값이 몇몇 있다. 이러한 방법은 블라인드 비아 형성에 있어서 구리 캡처 패드의 코스메틱 특을 특징화하는데 성공적으로 적용되어 왔다.

[0058] 다음의 식은 펄스 동안 그리고 그 펄스 후 재료의 내측 온도를 포함한다.

[0059] 펄스 주기 동안의 온도에 대한 식은 다음에 의해 주어진다:

$$T(z,t)_{0 \leq t \leq \tau} = \frac{2\varepsilon \cdot I}{K} \sqrt{\kappa \cdot t} \cdot \text{ierfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{\kappa \cdot t}}\right) + T_0,$$

[0060]

[0061] 여기서,  $z$ 는 재료 내측의 깊이이고,  $\text{ierfc}$ 는 컴플리멘터리 에러 함수(complimentary error function)의 적분이다(아래의 식 참조).

[0062] 펄스 주기 후 온도에 대한 식은 다음에 의해 주어진다:

$$T(z,t)_{t \geq \tau} = \frac{2\varepsilon \cdot I \cdot \sqrt{\kappa}}{K} \cdot \left[ \sqrt{t} \cdot \text{ierfc} \left( \frac{z}{2\sqrt{\kappa \cdot t}} \right) - \sqrt{(t-\tau)} \cdot \text{ierfc} \left( \frac{z}{2\sqrt{\kappa(t-\tau)}} \right) \right] + T_0$$

[0063]

[0064] 여기서

$$\text{ierfc}(x) = \frac{e^{-x^2}}{\sqrt{\pi}} - x \cdot \text{erfc}(x) \quad \text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-\zeta^2} d\zeta.$$

[0065]

[0066] 이러한 예에 있어서, 흡수 계수  $\alpha=10563.0357\text{cm}^{-1}$ (침투 깊이,  $1/\alpha=0.95033\mu\text{m}$ ), 그리고 반사  $R=0.063149$ 인 결과, 수지의 엘립소미터 측정으로부터  $\varepsilon=(1-R)=0.936851$ , 열적 전도도  $K=0.003\text{W}/\text{cm}^2$ , 그리고 열적 확산도  $\kappa=0.0025\text{cm}^2/\text{s}$ 이다. 열적 분해 온도는  $583^\circ\text{K}$ 이고, 유리 전이 온도는  $363^\circ\text{K}$ 이다.

[0067] 이러한 예에 있어서, UV 레이저의 추정된 효과적 어블레이션 역치는 대략 50ps의 시간적 펄스폭을 사용할 때 대략  $4.55\text{mJ}/\text{cm}^2$ 이고, 대략 29ns의 시간적 펄스폭으로는 대략  $110\text{mJ}/\text{cm}^2$ 이다. 이들 조건에 대해 계산된 상수 C 또는  $\Theta/\tau^{1/2}$  값은 50ps 및 29ns 시간적 펄스폭에 대해 대략 동일한 값  $20.34\text{mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{ns}^{1/2}$ 으로 판명된다.

[0068] 도 11에 도시된 "로우-엔드 플루언스"(low-end fluence)에 대한 그래프를 참조하라. 피코초 레이저로는, 첨예한 온도 전이가 관찰되고, 재료에서의 온도 상승은 얇은데, 펄스 당 더 낮은 어블레이션 레이트를 설명한다. 도 4 및 도 5를 참조하라.

[0069] 이러한 예에 있어서, 레이저 소스에 대해 유용한 동작 플루언스는 대략  $72.45\text{mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{ns}^{1/2}$ 이다. 50ps의 시간적 펄스폭을 갖는 UV 레이저 펄스에 대해 플루언스는 다음과 같다:

$$72.45\text{mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{ns}^{1/2} * (5000\text{ns})^{1/2} = 16.2\text{mJ}/\text{cm}^2.$$

[0071] 29ns의 시간적 펄스폭을 갖는 UV 레이저 펄스에 대해, 플루언스는 다음과 같다:

$$72.45\text{mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{ns}^{1/2} * (29\text{ns})^{1/2} = 390\text{mJ}/\text{cm}^2.$$

[0073] 이러한 예에 대해, 도 10은 소정의 실시예에 따라 불변 전력을 사용하여 ABF GX-13의 UV LDA 프로세싱에 대해 펄스 에너지 및 PRF 대 펄스폭을 도시하는 그래프이다. 도 10은 로우-엔드 펄스 에너지, 동작 펄스 에너지, 스케일링된 최대 PRF(80MHz로부터 스케일링됨) 및 하한 PRF(3m/s의 빔 속도에서 연속하는 레이저 스폿의 60% 오버랩을 사용)에 대한 그래프를 포함한다. 또한 이러한 예에 대하여, 도 11은 소정의 실시예에 따라 펄스 주기의 제공근에 의해 나누어진 불변 플루언스를 사용하여 ABF GX-13의 UV LDA 프로세싱에 대해 플루언스 및 PRF 대 펄스폭을 예시하는 그래프이다. 도 11은 ( $20.34\text{mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{ns}^{1/2}$ 에서의) 로우-엔드 플루언스, ( $72.45\text{mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{ns}^{1/2}$ 에서의) 동작 플루언스, (80MHz로부터 스케일링된) 스케일링된 최대 PRF 및 (3m/s의 빔 속도에서 연속하는 레이저 스폿의 60% 오버랩을 사용하여) 하한 PRF에 대한 그래프를 포함한다. 도 10 및 도 11에 나타난 추정된 값은 이러한 예에서의 어블레이션 메커니즘이 (위에서 논의된 광화학 또는 광물리 모델과 달리) 열적 모델 쪽으로 더 따른다는 가정에 기초한다.

[0074]  $72.45\text{mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{ns}^{1/2}$ 의 동작 플루언스 값은  $10\mu\text{m}$  스폿을 갖는 워크 표면에서 적어도 1.02W의 평균 전력 요건으로 번역된다. 도스 플루언스가 처리량 결정에 실질적 역할을 하므로 전력은 소정의 실시예에 따라 여러 다른 시간적 펄스폭에 대해 상수로 유지되어야 한다.

[0075] 50ps 레이저로 80MHz PRF에 기초하여, 최대 PRF는 특정 시간적 펄스폭 값의 제공근에 대한 동일 플루언스를 유지 함으로써 스케일링된다. 예컨대, 1ns 레이저는  $72.45\text{mJ}/\text{cm}^2$ 의 동작 플루언스를 제공하기 위해 다음보다 더 높지 않은 주파수에서 동작되어야 한다:

$$\text{스케일링된 PRF}_{\text{MAX}} = 80\text{MHz} * (.05)^{1/2} = 17.9\text{MHz}$$

[0077] 최소 PRF는 사용할 빔 속도 및 스폿 사이즈에 의해 결정되는데, 펄스 오버랩 퍼센티지를 결정한다. 위에서 논의

된 바와 같이, 60%보다 더 높은 펄스 오버랩은 레이저 펄스와 깊이 변화 사이의 갭을 줄인다. 빔 속도가 3m/초 이고 스폿 사이즈 직경이 10 $\mu$ m이면, PRF는 대략 750kHz보다 더 높도록 선택되고, 다음에 의해 주어진다:

[0078]  $10\mu\text{m} * (1-60\%) = 4\mu\text{m}$ ,

[0079]  $\text{PRF}_{\text{MIN}} = (3\text{m/s}) / (4\mu\text{m}) = 750\text{kHz}$ .

[0080] 그러므로, 소정의 실시예에 따른 LDA 프로세싱에 대한 레이저 파라미터의 선택 또는 전개에 있어서, 펄스폭은 무시될 수 없다. 주어진 시간적 펄스폭에 대해, 레이저 소스의 동작 플루언스는 펄스폭의 제공근에 대한 표적 재료의 소망 어블레이션 플루언스이다. 예컨대,  $(16.2 \text{ mJ/cm}^2) / (5000\text{ns})^{1/2} = 72.45 \text{ mJ/cm}^2 \cdot \text{ns}^{1/2}$ 이다. 그 후, 레이저 소스의 최대 PRF(예컨대, 80MHz)는 주어진 펄스 폭 및 요구된 플루언스에 대한 기존 동작 조건에 기초하여 스케일링된다. 최소 PRF는 최소 허용가능한 펄스 오버랩에 대한 최대 속도 및 스폿 사이즈에 기초하여 결정된다. 높은 처리량을 달성하도록 도스 플루언스를 유지하기 위해 평균 전력이 유지된다.

[0081] VI. 예시의 LDA 프로세싱 시스템

[0082] 도 12는 일 실시예에 따라 예시의 LDA 프로세싱 시스템(1200)의 블록도이다. 시스템(1200)은 레이저 빔을 디더링하기 위해 검류계(갈보(galvo)) 서브시스템(1208) 및 AOD 서브시스템(1206)을 포함한다. 본 명세서에서 논의된 높은 PRF는 아래에 논의되는 바와 같이 레이저 빔의 급속한 디더링을 위해 AOD 서브시스템(1206)의 사용을 가능하게 한다. 시스템(1200)은 AOD 서브시스템(1206)에 프로세스 빔(1212)을 제공하도록 레이저 소스(1210)를 포함한다. 일 실시예에 있어서, 레이저 소스(1210)는 펄싱된 레이저 소스를 포함하는데 프로세스 빔(1212)이 일련의 레이저 펄스를 포함하게 된다. 또 다른 예에 있어서, 레이저 소스(1210)는 연속파(CW) 레이저 소스를 포함하는데 프로세스 빔(1212)이 CW 레이저 빔을 포함하게 된다. 어떤 그러한 실시예에 있어서, AOD 서브시스템(1206)은 이산("펄스") 인터벌에서 프로세스 빔(1212)을 편향시킴으로써 CW 레이저 빔으로부터 레이저 펄스를 발생시킨다. 시스템(1200)은 본 명세서에서 설명된 프로세스를 수행하기 위해 컴퓨터가 읽을 수 있는 매체(메모리 디바이스(1205)로 도시) 상에 저장된 컴퓨터-실행가능한 명령어를 실행하도록 구성된 프로세서(1203)를 더 포함한다. 예컨대, 프로세서(1203)는 도 8에 관해 위에서 설명된 방법을 수행하는 명령어를 실행시킬 수 있다.

[0083] AOD 서브시스템(1206)은 프로세스 빔(1212)의 1차 빔(1213)을 AOD 편향각(1214)으로 그리고 프로세스 빔(1212)의 영차 빔(1215)을 빔 덤프(1216)로 편향시킨다. 시스템(1200)은 1차 빔(1213)을 갈보 서브시스템(1208)으로 편향시키는 고정 미러(1218), 및 워크피스(1224) 상에 또는 그 내부에 레이저 빔 스폿(1222)을 포커싱하는 스캔 렌즈(1220)를 더 포함할 수 있다. 스캔 렌즈(1220)의 출력은 본 명세서에서는 포커싱된 레이저 빔(1225)이라 지칭될 수 있다. 또한 시스템은 레이저 빔(1225)과 워크피스(1224) 사이에 상대 운동을 제공하기 위한 모션 스테이지(motion stage)(1209)를 포함한다. 예컨대, 모션 스테이지(1209)는 선형 X-Y 스테이지 및/또는 Z 스테이지를 포함할 수 있다.

[0084] 일 실시예에 있어서, AOD 서브시스템(1206)은 제1 방향(예컨대, 디더 방향)으로 앞뒤로 편향을 제공하는데 사용되는 단일 AOD를 포함할 수 있는 한편, 갈보 서브시스템(1208)은 프로세싱 궤도(1226)를 따라 제2 방향으로 편향을 제공한다. 그렇지만, 증가된 속도 및 다제다능을 위해, 도 12에 도시된 실시예에서의 AOD 서브시스템(1206)은 워크피스(1224)의 표면에 대해 X-축 및 Y-축을 따라 2-D 편향을 제공한다. 이러한 예에 있어서, Y-축은 프로세싱 궤도(1226)에 평행한 것으로 지칭될 수 있고 X-축은 프로세싱 궤도(1226)에 수직인 것으로 지칭될 수 있다. 그러므로, X-축은 디더링 방향으로 지칭될 수 있다. 프로세싱 궤도(1226)는, 예컨대, 시스템(1200)이 워크피스(1224)의 표면 내로 (예컨대, 갈보 서브시스템(1208)의 제어 하에) 트렌치(1228)를 스크라이빙 또는 베어내는 방향에 대응할 수 있다.

[0085] 예시된 2-D 편향을 제공하기 위해, AOD 서브시스템(1206)은, 갈보 서브시스템(1208)이 프로세싱 궤도(1226)를 따라 빔 축을 이동시킴에 따라, 제1 방향으로 1차 빔(1213)을 편향시키는 제1 AOD(1230) 및 제2 방향으로 1차 빔(1213)을 편향시키는 제2 AOD(1232)를 포함한다. 환언하면, AOD 서브시스템(1206)에 의해 제공된 빔 스폿 위치의 이동은 갈보 서브시스템(1208)에 의해 제공된 빔 스폿 위치의 이동 상에 겹쳐진다. 도 12에 도시된 바와 같이, 갈보 서브시스템(1208)은 또한 1차 빔(1213)을 워크피스(1224)의 표면에 대해 X-축과 Y-축 둘 다의 방향으로 편향시키기 위해 제1 갈보 미러(1233) 및 제2 갈보 미러(1235)를 포함할 수 있다.

[0086] AOD 편향의 방향은 갈보 서브시스템(1208)의 편향축과 정렬하지 않을 수 있다. 일반적으로, 좌표 변환이 AOD 편향 커맨드에 적용되어 결과적인 AOD 편향이 소망의 좌표 프레임과 정렬할 수 있다. 이러한 좌표 변환은 또한 속도의 함수일 수 있고, AOD 빔 편향을 갈보 서브시스템(1208)에 의해 정의된 프로세싱 궤도에 수직으로 유지하기

위해 AOD 편향 좌표 프레임을 회전시킨다.

- [0087] 시스템(1200)에 포함된 AOD 서브시스템(1206)으로, 수 개의 동작 모드가 가능하게 된다. 일 실시예에 있어서, 동작 모드는 워크피스(1224)에서 레이저 빔 스폿(1222)을 효과적으로 넓히도록 프로세스 빔(1212)을 디더링하는 능력을 포함한다. 환언하면, 프로세스 빔(1212)을 디더링하는 것은 스캔 렌즈(1220)에 의해 포커싱된 개개의 레이저 빔 스폿(1222)의 것보다 더 큰 치수를 갖는 기하학적 특징을 생성하기 위해 일련의 포커싱된 레이저 빔 스폿(1234)을 공간적으로 위치시키는 것을 포함한다. 예시의 목적으로, 도 12는 트렌치(1228)가 프로세싱 궤도(1226)의 방향으로 프로세싱됨에 따라 워크피스(1224)의 표면 위로부터 볼 때 디더링된 레이저 빔 스폿(1234)을 도시하고 있다. 그러므로, 예컨대, 주어진 (높은) 반복률에서 일련의 디더링된 레이저 빔 스폿(1234)은 더 낮은 펄스 반복률에서 프로세싱 궤도(1226)의 방향으로 연속하여 가해진 일련의 더 큰 직경 레이저 빔 스폿의 효과를 갖는다.
- [0088] 소정의 실시예에 있어서, AOD(1230, 1232)는 대략  $0.1\mu s$  내지 대략  $10\mu s$ 의 차수로 그 각자의 음향 필드를 업데이트할 수 있다(광학 애퍼처를 신규 음향 파형으로 채운다). 대략  $1\mu s$ 의 공칭 업데이트 레이트를 상정하면, 프로세스 빔의 위치는 급속하게 업데이트되어, 디더링된 레이저 빔 스폿(1234) 중 수 개가 프로세싱 동안 오버랩할 수 있다. 디더링된 레이저 빔 스폿(1234)은 프로세싱되고 있는 특징(예컨대, 트렌치(1228))을 넓히기 위해 프로세싱 궤도(1226)에 수직인 차원으로 (예컨대, X-축 또는 디더 방향을 따라) 오버랩할 수 있다. 도 12에 도시된 바와 같이, 디더링된 레이저 빔 스폿(1234)은 프로세싱 궤도(1226)의 방향으로 오버랩할 수도 있다. 디더링된 빔을 프로세싱 궤도(1226)에 수직으로 향하게 유지하기 위해, 소정의 실시예에 의하면, 디더 축은 프로세싱 궤도(1226)의 각이 변화함에 따라 끊임없이 조절될 수 있다. 부가적으로, 디더 축은 프로세스 궤도 속도의 함수로 디더 포인트의 라인 상에 주어진 각을 보상하도록 조절될 수 있다. 궤도 속도  $V$ , 디더 업데이트 주기  $T_d$ , 디더 포인트의 수  $N_{pts}$ , 및 디더 편위(dither excursion)  $D_d$ 가 주어질 때, 이러한 각은  $\text{atan}[T_d * (N_{pts} - 1) * V / D_d]$ 와 같다.
- [0089] 워크피스(1224)의 표면에 대해 빔 위치를 디더링하는 것에 부가하여, 또는 다른 실시예에 있어서, AOD 서브시스템(1206)은 디더 축에서의 강도 프로파일을 달리 하는데 사용될 수 있다. 디더 축을 따라 프로세스 빔(1212)의 강도 프로파일의 조작은 프로세싱된 트렌치(1228)의 횡단면의 성형을 가능하게 한다. 예컨대, 트렌치(1228)은 직사각형, U형 또는 V형 횡단면으로 프로세싱될 수 있다. 측면 경사와 같은 성형 특징은 교차 형성과 같은 상황에서 유용할 수 있다. 성형 분해능은 기본 스폿 사이즈에 기초할 수 있고, 성형된 강도 프로파일은 디더 패턴(위치 및 강도)과 스폿 강도 프로파일(예컨대, 가우시안 또는 또 다른 프로파일 형상)의 컨벌루션일 수 있다. 특징은, 예컨대, 표적 재료의 선택된 양을 제거하도록 디더 축을 따라 어떤 위치에서 펄스를 오버랩함으로써(예컨대, 동일 위치에 2개 이상의 펄스가 가해질 수 있다) 및/또는 디더 축을 따라 편향 위치의 함수로서 레이저 펄스의 전력 진폭을 변조함으로써, 성형될 수 있다.
- [0090] 디더 축을 따라 특징의 성형에 부가하여, 또는 다른 실시예에 있어서, AOD 서브시스템(1206)은 프로세싱된 선형 특징의 "엔드포인트"의 유사한 성형을 허용하도록 프로세싱 궤도(1226)를 따라 위치의 함수로서 전력을 제어하는데 사용될 수 있다. 프로세싱 궤도(1226)를 따라 위치의 함수로서 전력을 제어하는 것은 또한 교차 형성과 같은 응용에서 유용할 수 있다. AOD 서브시스템(1206)의 사용은 전력 변조가 초고속(예컨대, 마이크로초 차수)으로 일어날 수 있게 하는데 높은 프로세싱 속도(예컨대, 대략  $1m/s$  내지 대략  $5m/s$  범위)로 (예컨대, 특징 치수가 대략  $5\mu m$  내지 대략  $50\mu m$  범위에 있는) 강도 프로파일의 미세한 제어가 가능하게 될 수 있는 것이다.
- [0091] AOD 서브시스템(1206)은 소정의 실시예에서는 패드를 형성하도록 워크피스(1224)의 영역을 래스터 스캔 또는 비아를 형성하도록 스타 스캔하는데 사용될 수도 있다.
- [0092] LDA 프로세싱에 대해 위에서 논의된 바와 같이, 워크피스(1224)는 (무기 강화 입자 및/또는 금속을 포함할 수 있는) 유기 수지의 층을 포함할 수 있다. 레이저 소스(1210)의 프로세싱 플루언스는, 그것이 워크피스(1224) 내 표적 재료의 유효 어블레이션 역치보다 더 높은 한, 위에서 설명된 바와 같이 선택될 수 있다. LDA에 사용된 펄스 에너지는 (예컨대,  $10ps$  펄스폭에 대해) 수 나노줄을 넘지 않을 수 있다. 위에서 논의된 바와 같이, 짧은 펄스폭은 유효 어블레이션 역치를 낮추는데 도움을 줄 수 있고, 재료 제거는 그러한 낮은 펄스 에너지(또는 플루언스)에 대해서도 여전히 관찰될 수 있다. 짧은 펄스의 지속시간으로부터의 가열 영향은 워크피스(1224)의 표적 재료 내 수지(예컨대, 절연 재료)의 낮은 열적 확산도 때문에 LDA 프로세싱에 대해 작을 수 있다. 가열 영향은 소정의 실시예에서는 펄스폭이  $1\mu s$ 보다 더 길다면 문제가 될 수 있다.
- [0093] 위에서 논의된 바와 같이, 레이저 소스(1210)는 컷을 따라 균일한 기하학적 펄스 분포를 위해 소망의 펄스 오버랩을 유지하도록 높은 PRF에서 동작될 수 있다. 펄스 오버랩은 소정의 실시예에 의하면 60%보다 더 높을 수 있

다. 최소 소망 PRF는 워크피스(1224)의 표면에 대한 레이저 빔(1225)의 속도를 바이트 사이즈에 승산함으로써 계산될 수 있다. 예컨대, 7 $\mu$ m 스폿 사이즈에 대해 60% 펄스 오버랩을 유지하기 위한 최대 바이트 사이즈는 7 $\mu$ m \* (1-60%) = 2.86 $\mu$ m로 주어질 수 있다. 속도가 10m/s까지 올라갈 수 있으면, 예컨대, 최소 PRF는 (10m/s)/(2.86 $\mu$ m) = 3.5 M $\mu$ 이다. PRF가 높게 높게 되어감에 따라, 펄스 지속시간은 어블레이션이 여전히 더 낮은 펄스 에너지 (또는 플루언스)로 일어나도록 짧게 될 수 있다.

[0094] 평균 전력은 소망의 깊이 및 이용가능한 속도에 의해 결정될 수 있다. 일 실시예에 있어서, 표적 깊이가 7 $\mu$ m 스폿 사이즈를 사용하여 대략 13 $\mu$ m이고 스캐닝 속도가 1m/s일 때, 평균 전력은 0.7W처럼 낮을 수 있다. 또 다른 실시예에 있어서, 표적 깊이가 14 $\mu$ m 스폿 사이즈를 사용하여 대략 18 $\mu$ m이고 스캐닝 속도가 10m/s일 때, 평균 전력은 25W처럼 높을 수 있다. 더 높은 처리량을 위해 하나보다 많은 파트를 동시에 프로세싱하도록 다중 빔을 발생시킴으로써 가외의 전력이 이용될 수 있다.

[0095] 소정의 실시예에 있어서, 시스템(1200)은 10m/s까지의 스캐닝 속도를 제공한다. 다른 실시예에 있어서, 10m/s보다 더 높은 스캐닝 속도가 사용될 수 있다.

[0096] 일 실시예에 있어서, 레이저 소스(1210)는 2.5W보다 큰 전력, 50ps 시간적 펄스폭, 355nm의 파장 및 80M $\mu$ 의 펄스 반복 주파수 능력의 모드 잠금 UV 레이저일 수 있다. 워크피스(1224)는 고밀도 상호접속(high density interconnect: HDI)일 수 있고, 특징 사이즈는 IC 패키징(ICP)에 대한 것보다 더 클 수 있다. 그래서, 스캔 렌즈(1220)는 레이저 빔(1225)을 대략 21 $\mu$ m까지 내려 포커싱하도록 250.8mm 초점 길이 렌즈를 포함할 수 있다. 스캐닝 필드 사이즈는 대략 100mm $\times$ 대략 100mm일 수 있고, 전 회로 패턴은 갈보 필드(예컨대, 갈보 서브시스템(1208)에 의해 제공된 워크피스(1224)와 레이저 빔(1225) 사이의 상대 운동)만을 사용하여 스크라이빙될 수 있다. 워크피스(1224) 전체를 프로세싱하기 위해, 모션 스테이지(1209)가 점진적 반복적 방식으로 사용될 수 있다.

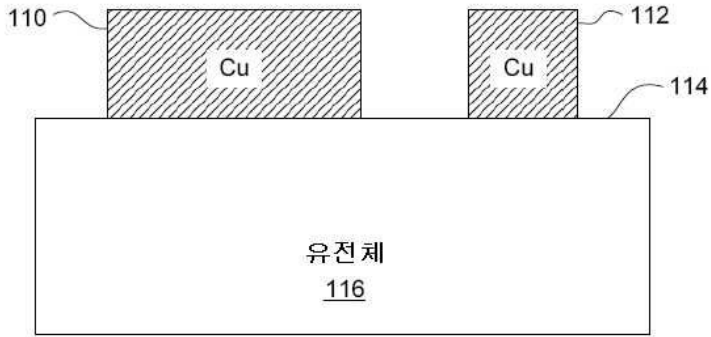
[0097] 일 실시예에 있어서, 레이저 소스(1210)는 캘리포니아 산타 클라라 소재의 Spectra-Physics로부터 이용가능한 355nm, 50ps, 12W, 80M $\mu$  펜테라(Pantera)(등록상표) 레이저를 포함한다. 또 다른 실시예에 있어서, 레이저 소스(1210)는 Spectra-Physics로부터 이용가능한 355nm, 12ps, 2.5W, 80M $\mu$  벵가드(Vanguard)(등록상표) 레이저를 포함한다. 또 다른 실시예에 있어서, 레이저 소스(1210)는 캘리포니아 산타 클라라 소재의 Coherent Inc.로부터 이용가능한 355nm, 10ps, 10W, 80M $\mu$  파라딘(Paradin)(등록상표) 레이저를 포함한다. 또 다른 실시예에 있어서, 레이저 소스(1210)는 Coherent Inc.로부터 이용가능한 355nm, 20 내지 30ns, 7W, 30-70kHz 아비아(Avia)(등록상표) 7000 레이저를 포함한다. 또 다른 실시예에 있어서, 레이저 소스(1210)는 Spectra-Physics로부터 이용가능한 532nm, 10 내지 15ns, 15-50kHz, 11W 히포(Hippo)(등록상표) 레이저를 포함한다. 또 다른 실시예에 있어서, 레이저 소스(1210)는 (예컨대, 스위스 취리히 소재의 Time-BandWidth Products AG로부터 이용가능한 1064nm 듀토(Duetto)(등록상표) 레이저를 사용하여 변환된) 532nm, 10ps, 200kHz 내지 4M $\mu$ , 1W를 포함한다. 당업자는 본 명세서로부터 레이저 소스(1210)가 다른 유형의 레이저 또는 레이저 모델을 포함할 수도 있음을 인식할 것이다.

[0098] 본 발명의 근본 원리로부터 벗어남이 없이 상기 실시예들의 상세에 많은 변경이 이루어질 수 있음을 당업자는 이해할 것이다. 그래서, 본 발명의 범위는 이하의 청구범위에 의해서만 결정되어야 한다.



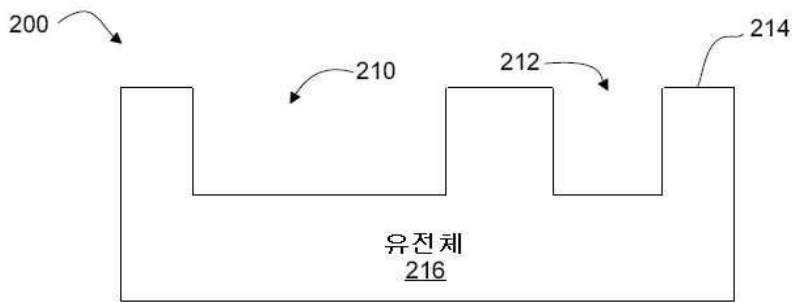
도면

도면1

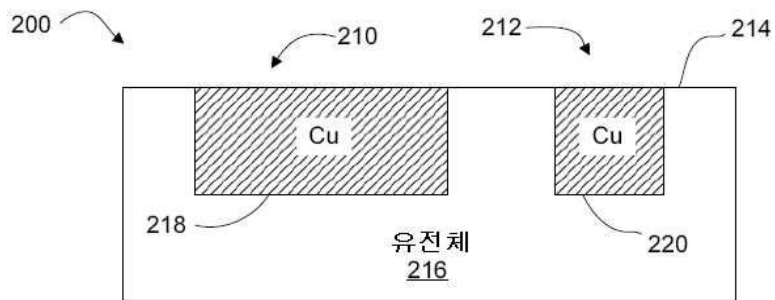


(종래기술)

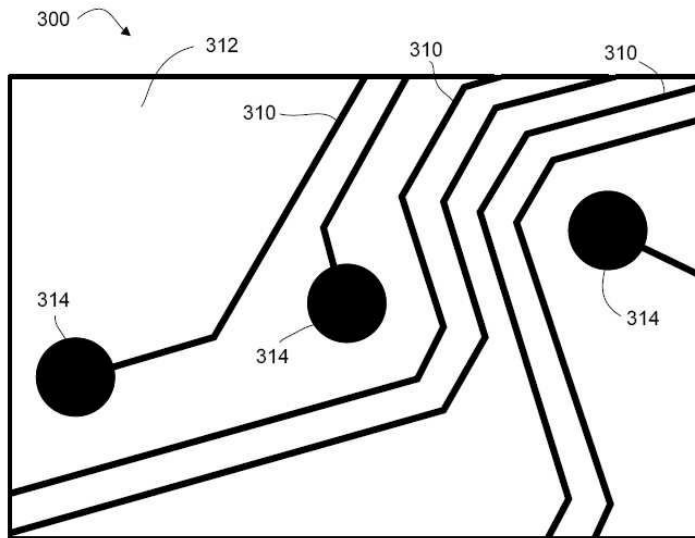
도면2a



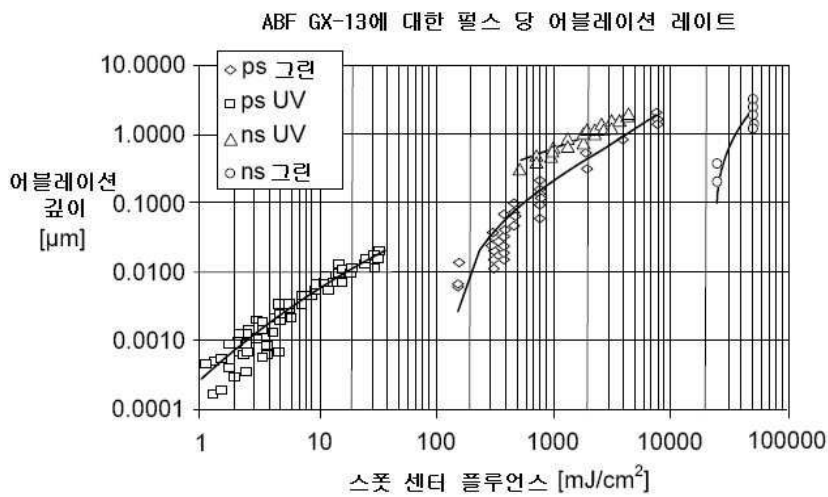
도면2b



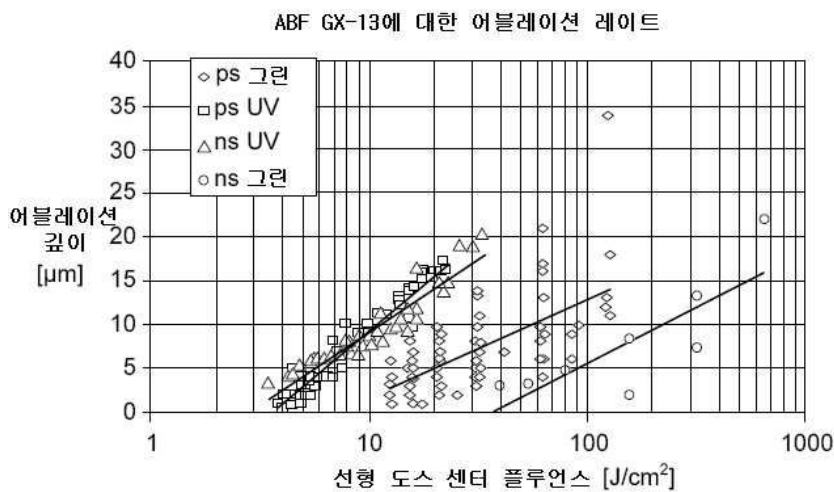
도면3



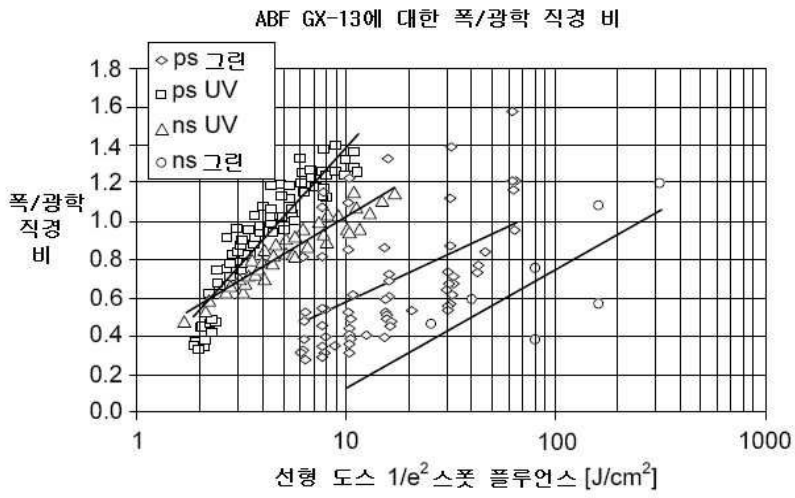
도면4



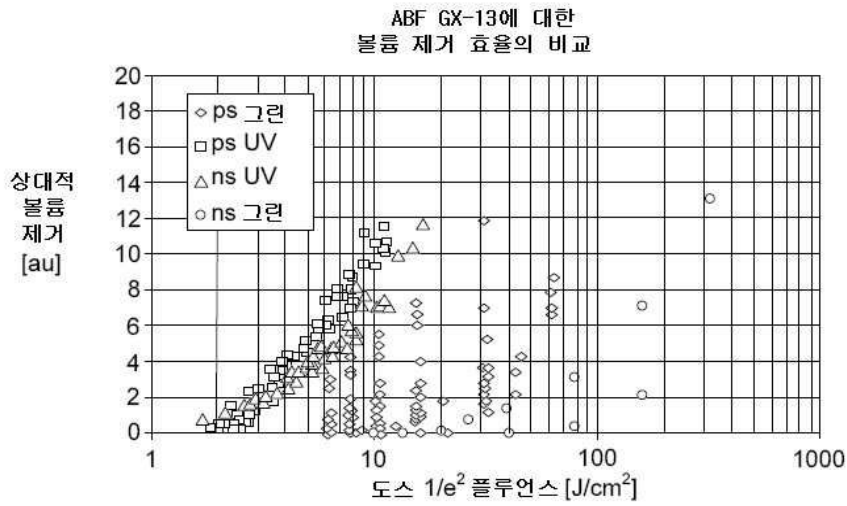
도면5



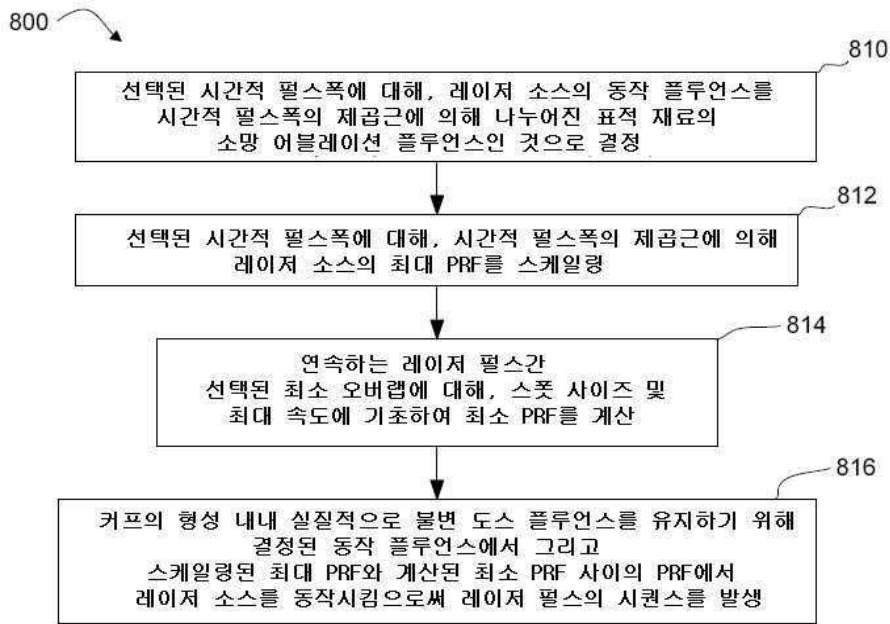
도면6



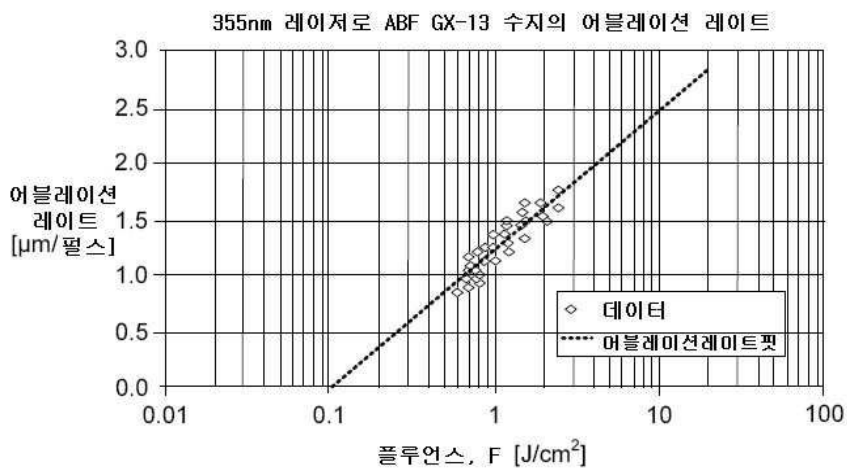
도면7



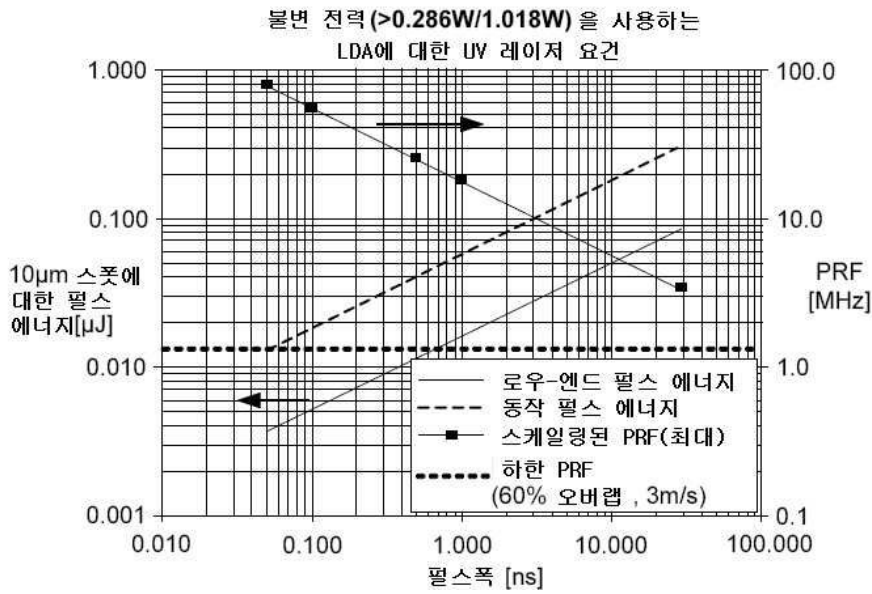
도면8



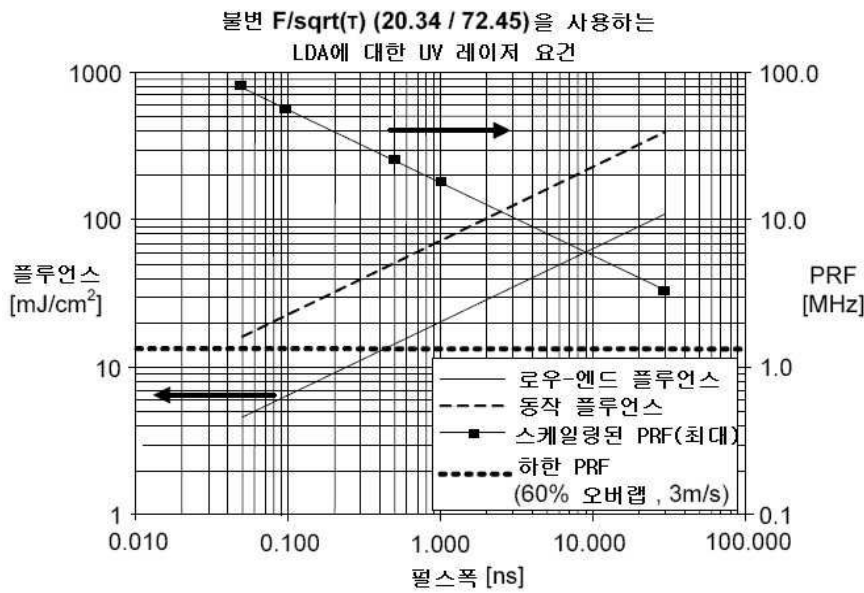
도면9



도면10



도면11



도면12

