

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일

2021년 9월 16일 (16.09.2021)



(10) 국제공개번호

WO 2021/182839 A1

(51) 국제특허분류:

H01S 3/11 (2006.01)

H01S 3/10 (2006.01)

H01S 3/067 (2006.01)

B23K 26/0622 (2014.01)

B23K 26/38 (2006.01)

(21) 국제출원번호:

PCT/KR2021/002889

(22) 국제출원일:

2021년 3월 9일 (09.03.2021)

(25) 출원언어:

한국어

(26) 공개언어:

한국어

(30) 우선권정보:

10-2020-0029148 2020년 3월 9일 (09.03.2020) KR

(71) 출원인: 한국기계연구원 (KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS) [KR/KR]; 34103 대전시 유성구 가정북로 156, Daejeon (KR).

(72) 발명자: 정광연 (JUNG, Kwangyun); 35219 대전시 유성구 가정북로 156, Daejeon (KR). 안상훈 (AHN, Sang Hoon); 35219 대전시 유성구 가정북로 156, Daejeon (KR). 최지연 (CHOI, Jiyeon); 35219 대전시 유성구

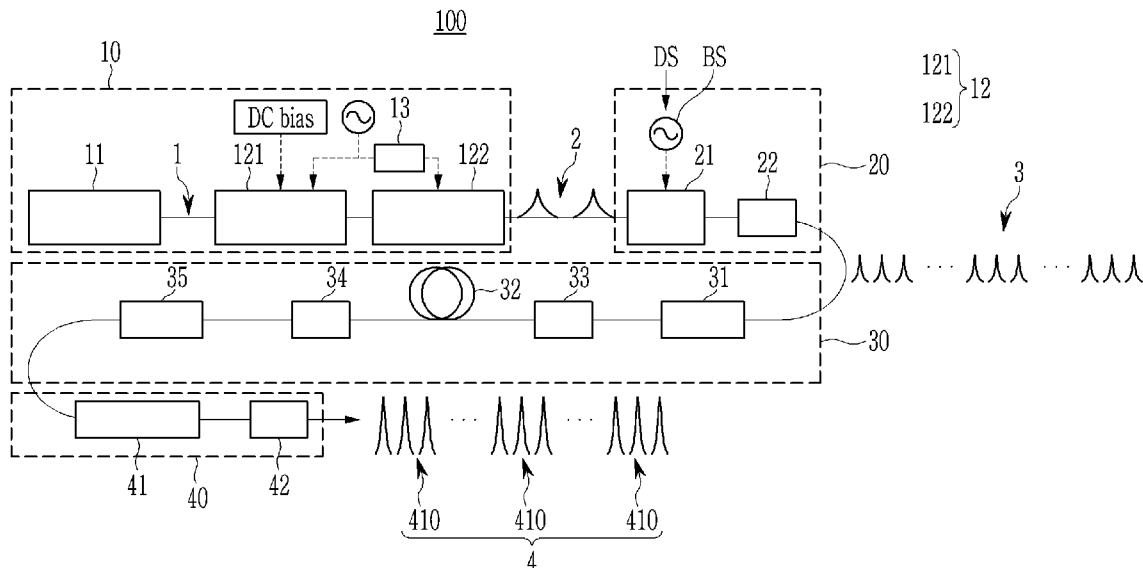
가정북로 156, Daejeon (KR). 김도현 (KIM, Dohyun); 35219 대전시 유성구 가정북로 156, Daejeon (KR). 노지환 (NOH, Ji-Whan); 35219 대전시 유성구 가정북로 156, Daejeon (KR). 강희신 (KANG, Hee-shin); 35219 대전시 유성구 가정북로 156, Daejeon (KR).

(74) 대리인: 팬코리아특허법인 (PANKOREA PATENT AND LAW FIRM); 06234 서울시 강남구 논현로85길 70 13F, Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: OPTICAL FIBER-BASED HIGH-REPETITION-RATE FEMTOSECOND LASER GENERATOR AND LASER PROCESSING SYSTEM COMPRISING SAME

(54) 발명의 명칭: 광섬유 기반 고반복률 펄초 레이저 발생기 및 이를 포함하는 레이저 가공 시스템



(57) Abstract: A femtosecond laser generator according to an embodiment of the present invention comprises: a pulse generation unit for converting a continuous-wave laser into an optical pulse train; a burst generation unit for dividing the optical pulse train into multiple burst pulses; a pulse amplification and spectrum expansion unit for amplifying the multiple burst pulses and thereby expanding a spectrum; and a pulse compression unit for compressing the multiple amplified burst pulses and thereby generating a femtosecond laser having a pulse width of 1 picosecond (10^{-12} s) or lower.

(57) 요약서: 본 발명의 일 실시예에 따른 펄초 레이저 발생기는, 연속파 레이저를 광 펄스열로 변환하는 펄스 생성부, 상기 광 펄스열을 복수개의 버스트 펄스로 분리하는 버스트 생성부, 상기 복수개의 버스트 펄스를 증폭하여 스펙트럼을 확장하는 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부, 그리고 상기 증폭된 복수개의 버스트 펄스를 압축하여 1 피코초(10^{-12} s) 이하의 펄스폭을 가지는 펄초 레이저를 발생시키는 펄스 압축부를 포함한다.

[다음 쪽 계속]



(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

명세서

발명의 명칭: 광섬유 기반 고반복률 펄스 레이저 발생기 및 이를 포함하는 레이저 가공 시스템

기술분야

- [1] 본 발명은 펄스 레이저 발생기 및 이를 포함하는 레이저 가공 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 광섬유 기반 고반복률 펄스 레이저 발생기 및 이를 포함하는 레이저 가공 시스템이다.

배경기술

- [2] 레이저 가공은 기계 가공에 비하여 정밀도가 높고 초미세 가공이 가능하여 디스플레이, 반도체, PCB 기판 및 정밀 부품 제작에 많이 활용되고 있다. 레이저 가공은 비열적(non-thermal) 가공이 가능하여 가공 품질이 우수한 펄스 레이저가 점차 도입되고 있으나, 도입 비용이 커서 아직은 경제성이 높은 나노초 레이저가 주로 사용되고 있다.
- [3] 이와 같이, 펄스 레이저는 가공 품질이 높음에도 불구하고 비싼 비용 및 낮은 가공 속도 때문에 산업계에 널리 적용되지 못하고 있다. 정밀 가공이 필요한 공정임에도 불구하고 비용 문제로 펄스 레이저를 도입하지 못하고, 가공 후 별도의 공정을 추가하여 처리하고 있다. 또한, 펄스 레이저는 나노초 레이저에 비하여 단위시간당 가공량이 적어 가공 속도가 느리다.
- [4] 펄스 레이저의 가공 품질을 유지하면서 가공 속도를 향상시키기 위하여 펄스 레이저와 나노초 레이저를 시간 및 공간상에서 결합하여 재료를 가공하는 연구가 진행되고 있으나, 여전히 고출력의 펄스 레이저가 필요하여 비용 문제는 해결하지 못하고 있다.
- [5] 한편, 고반복률 펄스 레이저 가공 시 발생하는 어블레이션 쿨링(Ablation cooling) 효과를 이용하여, 비교적 낮은 펄스 에너지로 고품질의 고속 가공이 가능하나, 여전히 고출력의 펄스 레이저가 필요하므로, 비용 문제가 발생한다.
- [6] 또한, 광섬유 기반 고반복률 펄스 레이저는 직접 구현하기 매우 어려워서, 저반복률 레이저를 만든 후 광섬유 인터리버(fiber interleaver)로 반복률을 증배하는 방법을 사용할 수 있으나, 인터리버의 비대칭 광섬유가 매우 길고 정밀한 길이 조절이 필요하여, 잡음 및 온도 변화에 취약하고 엔지니어링 비용이 발생한다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [7] 본 발명은 전술한 배경 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 저비용으로 고품질 및 고속의 레이저 가공이 가능한 펄스 레이저 발생기 및 이를 포함하는 레이저 가공 시스템을 제공하고자 한다.

과제 해결 수단

- [8] 본 발명의 일 실시예에 따른 펨토초 레이저 발생기는 연속파 레이저를 광 펄스열로 변환하는 펄스 생성부, 상기 광 펄스열을 복수개의 버스트 펄스로 분리하는 버스트 생성부, 상기 복수개의 버스트 펄스를 증폭하여 스펙트럼을 확장하는 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부, 그리고 상기 증폭된 복수개의 버스트 펄스를 압축하여 1 피코초(10^{-12} s) 이하의 펄스폭을 가지는 펨토초 레이저를 발생시키는 펄스 압축부를 포함한다.
- [9] 상기 펄스 생성부는 연속파 레이저를 발생시키는 레이저 다이오드, 상기 연속파 레이저를 변조시켜 0.5GHz 이상의 반복률을 가지는 광 펄스열을 생성하는 변조기, 그리고 상기 광 펄스열의 처핑 상태를 조절하는 위상 천이기를 포함할 수 있다.
- [10] 상기 변조기는 상기 연속파 레이저의 세기를 변조시키는 세기 변조기(intensity modulator), 그리고 상기 연속파 레이저의 위상을 변조시키는 위상 변조기(phase modulator)를 포함할 수 있다.
- [11] 상기 버스트 생성부는 상기 광 펄스열을 복수개의 버스트 펄스로 분리하는 광 변조기를 포함하고, 상기 광 변조기는 음향 광 변조기 또는 전기 광 변조기를 포함할 수 있다.
- [12] 상기 버스트 펄스의 버스트내 반복률은 상기 버스트 펄스의 버스트간 반복률보다 클 수 있다.
- [13] 상기 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부는 복수개의 버스트 펄스를 증폭시키는 광섬유 증폭기, 그리고 상기 복수개의 버스트 펄스의 스펙트럼을 확장시키는 단일 모드 광섬유를 포함할 수 있다.
- [14] 상기 단일 모드 광섬유를 통과한 상기 복수개의 버스트 펄스의 증폭 자발 방출 신호를 제거하는 대역 통과 필터를 더 포함할 수 있다.
- [15] 상기 펄스 압축부는 상기 증폭된 복수개의 버스트 펄스를 압축하는 디처핑부를 포함하고, 상기 디처핑부는 회절 격자쌍 또는 처프 광섬유 브래그 격자를 포함할 수 있다.
- [16] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 가공 시스템은 0.5GHz 이상의 버스트내 반복률 및 1 피코초(10^{-12} s) 이하의 펄스폭을 가지는 펨토초 버스트 펄스로 이루어진 펨토초 레이저를 발생시키는 펨토초 레이저 발생기, 나노초 레이저를 발생시키는 나노초 레이저 발생기, 그리고 상기 펨토초 레이저와 상기 나노초 레이저를 결합시키는 결합기를 포함하고, 상기 펨토초 레이저의 펄스 에너지는 가공 대상물의 가공 문턱값보다 크고, 상기 나노초 레이저의 펄스 에너지는 상기 가공 대상물의 가공 문턱값보다 낮다.
- [17] 상기 펨토초 레이저 발생기는 연속파 레이저를 광 펄스열로 변환하는 펄스 생성부, 상기 광 펄스열을 복수개의 버스트 펄스로 분리하는 버스트 생성부, 상기 복수개의 버스트 펄스를 증폭하여 스펙트럼을 확장하는 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부, 그리고 상기 증폭된 복수개의 버스트 펄스를 압축하여 1 피코초(10^{-12} s) 이하의 펄스폭을 가지는 펨토초 레이저를 발생시키는 펄스

압축부를 포함할 수 있다.

[18] 상기 버스트 생성부는 상기 광 펄스열을 복수개의 버스트 펄스로 분리하는 광 변조기를 포함하고, 상기 버스트 펄스의 버스트내 반복률은 상기 버스트 펄스의 버스트간 반복률보다 클 수 있다.

[19] 상기 결합기는 상기 펨토초 레이저와 상기 나노초 레이저를 공간상에서 결합시키는 공간 결합부, 그리고 상기 펨토초 레이저의 펨토초 버스트 펄스와 상기 나노초 레이저의 나노초 펄스를 시간상에서 결합시키는 시간 결합부를 포함할 수 있다.

[20] 시간 결합부는 상기 펨토초 버스트 펄스의 중심과 나노초 버스트 펄스의 중심을 일치시키는 딜레이 발생기를 포함하고,

[21] 상기 딜레이 발생기에서 생성되는 딜레이 신호를 이용하여 상기 펨토초 레이저 발생기의 버스트 생성부의 광변조기를 구동하는 구동 신호를 변조시켜 상기 펨토초 버스트 펄스의 버스트간 반복률과 상기 나노초 펄스의 반복률을 일치시킬 수 있다.

발명의 효과

[22] 본 발명의 일 실시예에 따른 펨토초 레이저 발생기 및 이를 포함하는 레이저 가공 시스템은 0.5GHz 이상의 고반복률을 가지는 저출력의 펨토초 레이저를 제조함으로써, 가공 대상물의 가공 문턱값을 감소시킬 수 있어 낮은 펄스 에너지로 가공할 수 있으므로, 증폭 비용을 절감시킬 수 있다.

[23] 또한, 고가의 펄스 증폭 시스템을 저렴한 나노초 레이저로 대체함으로써, 전체 레이저 가공 시스템의 비용을 절감할 수 있다.

[24] 또한, 고반복률을 가지는 가공 문턱값 이상의 저출력 펨토초 레이저에 가공 문턱값 이하의 고출력 나노초 레이저를 결합함으로써, 혼합 레이저는 펨토초 레이저의 가공 품질을 유지하면서, 나노초 레이저의 가공 속도로 가공할 수 있다.

[25] 또한, 본원의 펨토초 레이저 발생기는 광섬유 인터리버 없이 0.5 GHz 이상의 고반복률 및 1 피코초(10^{-12} s) 이하의 펄스폭을 가지는 펨토초 레이저를 광섬유 기반으로 발생시킬 수 있으므로, 안정적이다.

도면의 간단한 설명

[26] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 펨토초 레이저 발생기의 개략적인 도면이다.

[27] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 펨토초 레이저 발생기를 포함하는 레이저 가공 시스템의 개략적인 도면이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

[28] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 여러 실시예들에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며

여기에서 설명하는 실시예들에 한정되지 않는다.

- [29] 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조 부호를 붙이도록 한다.
- [30] 그러면 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 레이저 발생기 및 이를 포함하는 레이저 가공 시스템에 대하여 도 1 및 도 2를 참고로 상세하게 설명한다.
- [31] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 레이저 발생기의 개략적인 도면이다.
- [32] 도 1에 도시한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 레이저 발생기(100)는 펄스 생성부(10), 버스트 생성부(20), 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부(30), 그리고 펄스 압축부(40)를 포함한다.
- [33] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 레이저 발생기(100)는 광섬유 기반 레이저 발생기로서, 발생기를 구성하는 각 부품(펄스 생성부, 버스트 생성부, 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부, 펄스 압축부)은 서로간 광섬유로 연결될 수 있으며, 또한, 각각의 부품을 구성하는 구성요소들 간에도 광섬유로 연결될 수 있다.
- [34] 펄스 생성부(10)는 연속파 레이저(1)를 광 펄스열(2)로 변환할 수 있다.
- [35] 이러한 펄스 생성부(10)는 레이저 다이오드(Laser diode)(11), 변조기(Modulator)(12), 그리고 위상 천이기(Phase shifter)(13)를 포함할 수 있다.
- [36] 레이저 다이오드(11)는 순방향 반도체 접합 부재를 이용하여 연속파 레이저(1)를 발생시킬 수 있다.
- [37] 변조기(12)는 연속파 레이저(1)를 변조시켜 0.5GHz 이상의 반복률을 가지는 광 펄스열(2)로 변환시킬 수 있다. 변조기(12)는 연속파 레이저(1)의 세기를 변조시키는 세기 변조기(intensity modulator)(121), 그리고 연속파 레이저(1)의 위상을 변조시키는 위상 변조기(phase modulator)(122)를 포함할 수 있다. 이 때, 세기 변조기(121)는 연속파 형태의 레이저를 펄스 형태로 변환해주며, 위상 변조기(122)는 광 펄스를 추후 1ps 이하로 압축할 수 있도록 광 펄스열에 처핑을 걸어주는 역할을 한다. 이 때, 0.5GHz 이상의 주파수로 세기 변조기(121) 및 위상 변조기(122)를 구동시킴으로써, 0.5GHz 이상의 반복률을 가지는 광 펄스열(2)을 생성할 수 있다. 이와 같은 광 변조 기반 펄스 생성 방법은, 기존의 모드 잠금 방법 대비 안정성 및 재현성이 뛰어나서, 대량생산 및 가혹한 산업 환경에 적합한 방식이다.
- [38] 위상 천이기(13)는 광 펄스열(2)의 처핑 상태를 조절할 수 있다. 이 때, 깨끗한 펄스 모양이 나오도록 직류 바이어스 전압(DC bias voltage)을 세기 변조기(121)에 걸어주고 위상 천이기(13)를 조절할 수 있다.
- [39] 버스트 생성부(20)는 광 펄스열(2)을 복수개의 버스트 펄스(Burst pulse)(3)로 분리할 수 있다. 이 때, 버스트 펄스(3)의 버스트내 반복률(Intra-burst repetition rate)은 버스트 펄스(3)의 버스트간 반복률(Inter-burst repetition rate)보다 클 수

있다. 버스트 펄스(3)의 버스트내 반복률은 0.5GHz 이상의 고반복률이며, 버스트 펄스(3)의 버스트간 반복률은 10MHz 이하의 반복률일 수 있다.

[40] 이러한 버스트 생성부(20)는 광 펄스열(2)을 복수개의 버스트 펄스(3)로 분리하는 광 변조기(21), 그리고 역방향으로의 신호 전파를 차단하는 제1 아이솔레이터(Isolator)(22)를 포함할 수 있다.

[41] 0.5GHz 이상의 고반복률을 가지는 광 펄스열(2)의 펄스 에너지를 증폭하기 위해서는 매우 큰 출력의 펌핑 소스가 필요하게 된다. 이 경우, 광 변조기(21)를 이용하여 광 펄스열(2)을 주기적으로 끊어서 버스트 펄스(3)로 만듦으로써, 펄스 에너지를 증폭하기 위해 매우 큰 출력의 펌핑 소스가 요구되지 않으므로, 제조 비용을 절감할 수 있다.

[42] 광 변조기(21)는 음향 광 변조기(acousto-optic modulator, AOM) 또는 전기 광 변조기(electro-optic modulator, EOM)를 포함할 수 있다.

[43] 이 때, 광 펄스열(2)을 끊어주는 시간 및 주기(duty cycle)는 광 변조기(21)를 구동하는 구동 신호(BS)로 조절할 수 있다.

[44] 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부(30)는 복수개의 버스트 펄스(3)를 증폭하여 스펙트럼을 확장할 수 있다.

[45] 0.5GHz 이상의 고반복율인 버스트내 반복률을 가지는 버스트 펄스(3)는 광 스펙트럼이 좁아서 펄스폭을 최대한 압축해도 수십 피코초가 한계이다. 따라서, 본 발명의 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부(30)는 광 스펙트럼을 확장시켜 펄스폭을 최대한 압축시킬 수 있다.

[46] 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부(30)는 복수개의 버스트 펄스(3)를 증폭시키는 광 섬유 증폭기(31), 복수개의 버스트 펄스(3)의 광 스펙트럼을 확장시키는 단일 모드 광 섬유(32), 광 섬유 증폭기(31)와 단일 모드 광 섬유(32) 사이에 위치하는 제2 아이솔레이터(33)를 포함할 수 있다.

[47] 광 섬유 증폭기(31)는 이터븀 도핑 광 섬유 증폭기(Ytterbium-doped fiber amplifier, YDFA)를 포함할 수 있다. 그러나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 다양한 종류의 광 섬유 증폭기가 사용될 수 있다.

[48] 단일 모드 광 섬유(32)는 단일 모드 광 섬유(32)의 비선형성에 의한 자체 위상 변조(self-phase modulation)를 유발하여 복수개의 버스트 펄스(3)의 광 스펙트럼을 확장시킬 수 있다. 도면에 도시되지 않았지만, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 자체 위상 변조 현상을 강화하기 위하여 단일 모드 광섬유(32)를 거치기 전에 미리 펄스폭을 압축하는 장치를 추가할 수 있다. 이 때, 펄스폭을 압축하는 장치는, 회절 격자(Diffraction grating)쌍 또는 처프 광섬유 브래그 격자(Chirped fiber bragg grating, CFBG)를 포함할 수 있다.

[49] 광 섬유 증폭기(31)의 전후로 각각 제1 아이솔레이터(22) 및 제2 아이솔레이터(33)를 설치함으로써, 잔류 펌프 및 원치 않는 신호가 되돌아오는 것을 차단할 수 있다.

[50] 또한, 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부(30)는 한정된 범위의 주파수 대역만

통과시키는 대역 통과 필터(Band Pass Filter, BPF)(34), 그리고 보조 광 섬유 증폭기(35)를 더 포함할 수 있다. 이 경우, 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 레이저 발생기(100)는 더욱 좋은 신호 대 잡음비(Signal to Noise ratio, S/N)를 가지는 보다 큰 펄스 에너지를 발생시킬 수 있다.

- [51] 대역 통과 필터(34)는 단일 모드 광 섬유(32)를 통과하여 광 스펙트럼이 확장된 복수개의 버스트 펄스(3)의 증폭 자발 방출 신호(Amplified spontaneous emission signal)를 제거할 수 있다.
- [52] 그리고, 보조 광 섬유 증폭기(35)를 이용하여 복수개의 버스트 펄스(3)를 다시 한번 증폭시킬 수 있다. 보조 광 섬유 증폭기(35)의 코어 크기는 광 섬유 증폭기(31)의 코어 크기보다 클 수 있다.
- [53] 펄스 압축부(40)는 증폭된 복수개의 버스트 펄스(3)를 압축하여 1 피코초(10^{-12} s) 이하의 펄스폭(d1)을 가지는 복수개의 펄스 레이저(4)로 이루어진 펄스 레이저(4)를 발생시킬 수 있다.
- [54] 펄스 압축부(40)는 증폭된 복수개의 버스트 펄스(3)를 압축하는 디처핑부(Dechirping unit)(41), 그리고 제3 아이솔레이터(42)를 포함할 수 있다.
- [55] 디처핑부(41)는 회절 격자(Diffraction grating)쌍 또는 처프 광섬유 브레그 격자(Chirped fiber bragg grating, CFBG)를 포함할 수 있다.
- [56] 제3 아이솔레이터(42)는 펄스 압축부(40)를 통과한 펄스 레이저(4)가 다시 되돌아오는 것을 차단할 수 있다.
- [57] 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 레이저 발생기(100)는 0.5 GHz 이상의 버스트내 반복률 및 1 피코초(10^{-12} s) 이하의 펄스폭(d1)을 가지는 저출력의 펄스 레이저(4)를 발생시킬 수 있다.
- [58] 이러한 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 레이저 발생기(100)를 포함하는 레이저 가공 시스템에 대해 이하에서 도면을 참고로 상세히 설명한다.
- [59] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 레이저 발생기를 포함하는 레이저 가공 시스템의 개략적인 도면이다.
- [60] 도 2에 도시한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 가공 시스템은 펄스 레이저 발생기(100), 나노초 레이저 발생기(200), 그리고 결합기(300)를 포함할 수 있다.
- [61] 펄스 레이저 발생기(100)는 0.5GHz 이상의 버스트내 반복률 및 1 피코초(10^{-12} s) 이하의 펄스폭(d1)을 가지는 복수개의 펄스 레이저(4)로 이루어진 저출력의 펄스 레이저(4)를 발생시킬 수 있다. 이 때, 복수개의 펄스 레이저(4)간의 버스트간 반복률은 10MHz 이하의 반복률일 수 있다.
- [62] 이 때, 펄스 레이저(4)의 펄스 에너지는 가공 대상물의 가공 문턱값(ablation threshold)보다 클 수 있다. 이 때, 펄스 레이저(4)는 버스트 내 반복률이 높으므로, 펄스 레이저(4)를 이용하여 가공 대상물을 가공시 어블레이션 쿨링(Ablation cooling) 효과 때문에 가공 대상물의 가공 문턱값이 10 내지 100배 정도 감소된다. 이에 따라, 펄스 레이저(4)의 펄스 에너지는 가공 대상물의

가공 문턱값보다 클 수 있다. 따라서, 낮은 펄스 에너지로도 가공이 가능하므로, 증폭 비용이 절감될 수 있다.

[63] 나노초 레이저 발생기(200)는 나노초(10⁻⁹s)의 펄스폭(d2)을 가지는 나노초 펄스(51)로 이루어진 고출력의 나노초 레이저(5)를 발생시킬 수 있다.

[64] 나노초 레이저(5)의 펄스 에너지는 가공 대상물의 가공 문턱값(ablation threshold)보다 낮을 수 있다.

[65] 원하는 가공 속도를 얻기 위해서는 나노초 레이저(5)의 출력을 조절하여야 한다. 이 때, 나노초 레이저(5)의 출력은 펄스 에너지와 반복률의 곱으로 계산될 수 있다. 예컨대, 100W의 출력을 가지는 나노초 레이저(5)를 발생시키기 위해서는 펄스 에너지가 10 μ J일 경우, 반복률이 10 MHz인 나노초 레이저여야 한다.

[66] 가공 대상물은 실리콘 웨이퍼(Si wafer), 유리 기판(SiO₂), 유기 발광 다이오드(OLED) 등의 비금속 재료일 수 있다.

[67] 결합기(300)는 펨토초 레이저(4)와 나노초 레이저(5)를 결합시켜 가공 속도를 향상시킨 혼합 레이저(6)를 형성할 수 있다.

[68] 결합기(300)는 펨토초 레이저(4)와 나노초 레이저(5)를 공간상에서 결합시키는 공간 결합부(310), 그리고 펨토초 레이저(4)의 펨토초 버스트 펄스(410)와 나노초 레이저(5)의 나노초 펄스(51)를 시간상에서 결합시키는 시간 결합부(320)를 포함할 수 있다.

[69] 공간 결합부(310)는 빔 스플리터(Beam splitter)를 포함할 수 있으며, 빔 스플리터를 이용하여 펨토초 레이저(4)와 나노초 레이저(5)를 공간상에서 결합시킬 수 있다.

[70] 시간 결합부(320)는 나노초 레이저(5)의 모니터링 신호(MS)를 전기 신호(ES)로 변환하는 광 다이오드(321), 광 다이오드(321)에서 발생한 전기 신호(ES)를 증폭하여 트리거 신호(TS)를 생성하는 RF 증폭기(322), 그리고 트리거 신호(TS)를 이용하여 펨토초 버스트 펄스(410)의 중심과 나노초 펄스(51)의 중심을 일치시키는 딜레이 신호(DS)를 발생시키는 딜레이 발생기(323)를 포함한다.

[71] 도 1에 도시한 바와 같이, 딜레이 발생기(323)는 딜레이 신호(DS)를 이용하여 펨토초 레이저 발생기(100)의 버스트 생성부(20)의 광 변조기(21)를 구동하는 구동 신호(BS)를 변조시켜 복수개의 펨토초 버스트 펄스(410)의 버스트간 반복률(Inter-burst repetition rate)과 복수개의 나노초 펄스(51)의 반복률을 일치시킬 수 있다.

[72] 이와 같이, 저출력 펨토초 레이저(4)의 버스트간 반복률을 고출력 나노초 레이저(5)의 반복률과 일치시킴으로써, 혼합 레이저(6)의 가공 속도를 향상시킬 수 있다.

[73] 밴드갭 (Band gap)이 큰 비금속 재료로 이루어진 가공 대상물에 혼합 레이저(6)를 조사하는 경우, 고반복률을 가지는 펨토초 레이저(4)의 강한 피크

세기(intensity)로 일부의 전자를 가전자대(Valence band)에서 전도대(Conduction band)로 올려놓아 이온화시킨다(Photo-ionization). 그리고, 이온화된 전자는 고출력을 가지는 나노초 레이저(5)의 방대한 에너지를 역제동 복사로 흡수하면서 가속되어 주변의 전자들을 이온화시킨다(Impact ionization). 이러한 전자의 이온화가 연쇄적으로 일어나면서(Avalanche ionization) 쿨롱 폭발(Coulomb explosion)이 발생하여 가공 대상물이 가공된다.

- [74] 고출력을 가지는 나노초 레이저(5)의 펄스 에너지는 가공 대상물의 가공 문턱값 이하이므로, 혼합 레이저(6)는 펨토초 레이저(4)의 가공 품질을 악화시키지 않고 가공 속도만 향상시킬 수 있다. 펨토초 레이저(4)의 경우 버스트내 반복률이 높으므로, 가공열이 주변으로 확산되기 전에 가공부의 국소 부위만 열축적이 일어나서 제거되는 어블레이션 쿨링(Ablation cooling) 효과가 발생하여 가공 대상물의 가공 문턱값이 10 내지 100 배 정도 감소된다. 따라서 낮은 펄스 에너지로도 가공이 가능하므로, 증폭 비용이 절감될 수 있다.
- [75] 본 발명을 앞서 기재한 바에 따라 바람직한 실시예를 통해 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되지 않으며 다음에 기재하는 특허청구범위의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한, 다양한 수정 및 변형이 가능하다는 것을 본 발명이 속하는 기술 분야에 종사하는 자들은 쉽게 이해할 것이다.
- [76] (부호의 설명)
- [77] 100: 펨토초 레이저 발생기 200: 나노초 레이저 발생기
- [78] 300: 결합기 310: 공간 결합부
- [79] 320: 시간 결합부

청구범위

- [청구항 1] 연속과 레이저를 광 펄스열로 변환하는 펄스 생성부,
상기 광 펄스열을 복수개의 버스트 펄스로 분리하는 버스트
생성부,
상기 복수개의 버스트 펄스를 증폭하여 스펙트럼을 확장하는 펄스
증폭 및 스펙트럼 확장부, 그리고
상기 증폭된 복수개의 버스트 펄스를 압축하여 1 피코초(10^{-12} s)
이하의 펄스폭을 가지는 펨토초 레이저를 발생시키는 펄스 압축부
를 포함하는 펨토초 레이저 발생기.
- [청구항 2] 제1항에서,
상기 펄스 생성부는
연속과 레이저를 발생시키는 레이저 다이오드,
상기 연속과 레이저를 변조시켜 0.5GHz 이상의 반복률을 가지는
광 펄스열을 생성하는 변조기, 그리고
상기 광 펄스열의 처핑 상태를 조절하는 위상 천이기
를 포함하는 펨토초 레이저 발생기.
- [청구항 3] 제2항에서,
상기 변조기는 상기 연속과 레이저의 세기를 변조시키는 세기
변조기(intensity modulator), 그리고 상기 연속과 레이저의 위상을
변조시키는 위상 변조기(phase modulator)를 포함하는 펨토초
레이저 발생기.
- [청구항 4] 제1항에서,
상기 버스트 생성부는 상기 광 펄스열을 복수개의 버스트 펄스로
분리하는 광 변조기를 포함하고,
상기 광 변조기는 음향 광 변조기 또는 전기 광 변조기를 포함하는
펨토초 레이저 발생기.
- [청구항 5] 제4항에서,
상기 버스트 펄스의 버스트내 반복률은 상기 버스트 펄스의
버스트간 반복률보다 큰 펨토초 레이저 발생기.
- [청구항 6] 제1항에서,
상기 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부는
복수개의 버스트 펄스를 증폭시키는 광섬유 증폭기, 그리고
상기 복수개의 버스트 펄스의 스펙트럼을 확장시키는 단일 모드
광섬유
를 포함하는 펨토초 레이저 발생기.
- [청구항 7] 제6항에서,
상기 단일 모드 광섬유를 통과한 상기 복수개의 버스트 펄스의

- 증폭 자발 방출 신호를 제거하는 대역 통과 필터를 더 포함하는 펄스 레이저 발생기.
- [청구항 8] 제6항에서,
상기 펄스 압축부는
상기 증폭된 복수개의 버스트 펄스를 압축하는 디처핑부를 포함하고,
상기 디처핑부는 회절 격자쌍 또는 처프 광섬유 브레그 격자를 포함하는 펄스 레이저 발생기.
- [청구항 9] 0.5GHz 이상의 버스트내 반복률 및 1 피코초(10^{-12} s) 이하의 펄스폭을 가지는 펄스 레이저 발생기,
나노초 레이저를 발생시키는 나노초 레이저 발생기, 그리고
상기 펄스 레이저와 상기 나노초 레이저를 결합시키는 결합기를 포함하고,
상기 펄스 레이저의 펄스 에너지는 가공 대상물의 가공 문턱값보다 크고,
상기 나노초 레이저의 펄스 에너지는 상기 가공 대상물의 가공 문턱값보다 낮은 레이저 가공 시스템.
- [청구항 10] 제9항에서,
상기 펄스 레이저 발생기는
연속파 레이저를 광 펄스열로 변환하는 펄스 생성부,
상기 광 펄스열을 복수개의 버스트 펄스로 분리하는 버스트 생성부,
상기 복수개의 버스트 펄스를 증폭하여 스펙트럼을 확장하는 펄스 증폭 및 스펙트럼 확장부, 그리고
상기 증폭된 복수개의 버스트 펄스를 압축하여 1 피코초(10^{-12} s) 이하의 펄스폭을 가지는 펄스 레이저를 발생시키는 펄스 압축부를 포함하는 레이저 가공 시스템.
- [청구항 11] 제10항에서,
상기 버스트 생성부는 상기 광 펄스열을 복수개의 버스트 펄스로 분리하는 광 변조기를 포함하고,
상기 버스트 펄스의 버스트내 반복률은 상기 버스트 펄스의 버스트간 반복률보다 큰 레이저 가공 시스템.
- [청구항 12] 제11항에서,
상기 결합기는
상기 펄스 레이저와 상기 나노초 레이저를 공간상에서 결합시키는 공간 결합부, 그리고
상기 펄스 레이저의 펄스 버스트 펄스와 상기 나노초

[청구항 13]

레이저의 나노초 펄스를 시간상에서 결합시키는 시간 결합부를 포함하는 레이저 가공 시스템.

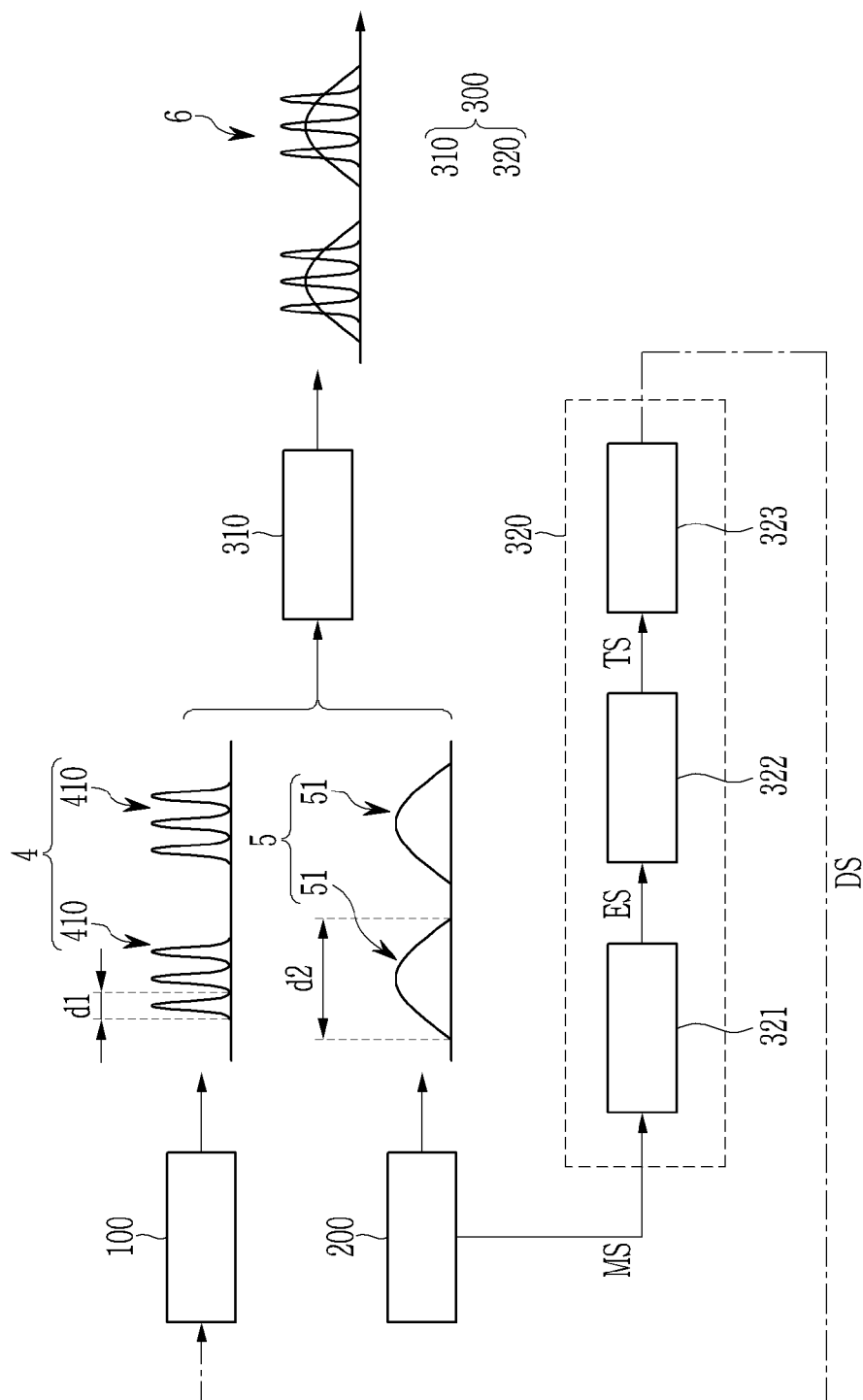
제12항에서,

상기 시간 결합부는

상기 펨토초 버스트 펄스의 중심과 나노초 펄스의 중심을 일치시키는 딜레이 발생기를 포함하고,

상기 딜레이 발생기에서 생성되는 딜레이 신호를 이용하여 상기 펨토초 레이저 발생기의 상기 버스트 생성부의 상기 광변조기를 구동하는 구동 신호를 변조시켜 상기 복수개의 펨토초 버스트 펄스의 버스트간 반복률과 상기 복수개의 나노초 펄스의 반복률을 일치시키는 레이저 가공 시스템.

[Fig. 2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2021/002889

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01S 3/11(2006.01)i; H01S 3/10(2006.01)i; H01S 3/067(2006.01)i; B23K 26/0622(2014.01)i; B23K 26/38(2006.01)i**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S 3/11(2006.01); H01S 3/00(2006.01); H01S 3/06(2006.01); H01S 3/067(2006.01); H01S 3/10(2006.01);
H01S 3/16(2006.01); H01S 3/23(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 펄스(pulse), 버스트(burst), 증폭(amplification), 압축(compress)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2019-138192 A1 (AMPLITUDE SYSTEMES) 18 July 2019 (2019-07-18) See claims 1-13 and figures 1-5.	1-8
A		9-13
Y	KR 10-2015-0136487 A (ELECTRO SCIENTIFIC INDUSTRIES, INC) 07 December 2015 (2015-12-07) See paragraphs [0031]-[0050].	1-8
A	KR 10-2018-0006675 A (HANDONG GLOBAL UNIVERSITY FOUNDATION) 19 January 2018 (2018-01-19) See claims 1-11 and figure 3.	1-13
A	KR 10-2016-0093801 A (KOREA ELECTROTECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE) 09 August 2016 (2016-08-09) See claims 1-5 and figures 9-11d.	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 June 2021

Date of mailing of the international search report

25 June 2021

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2021/002889

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-2013-0142056 A (KOREA ELECTROTECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE) 27 December 2013 (2013-12-27) See claims 1-4 and figures 7 and 13.	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2021/002889

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2019-138192	A1	18 July 2019	CN	111869019	A	30 October 2020
				EP	3738180	A1	18 November 2020
				FR	3076959	A1	19 July 2019
				FR	3076959	B1	17 July 2020
				JP	2021-510930	A	30 April 2021
				KR	10-2020-0104875	A	04 September 2020
				US	2020-0343682	A1	29 October 2020
KR	10-2015-0136487	A	07 December 2015	CN	105264725	A	20 January 2016
				EP	2982012	A2	10 February 2016
				JP	2016-518024	A	20 June 2016
				TW	201448386	A	16 December 2014
				US	2014-0293404	A1	02 October 2014
				WO	2014-162209	A2	09 October 2014
				WO	2014-162209	A3	31 December 2014
KR	10-2018-0006675	A	19 January 2018	JP	2019-522383	A	08 August 2019
				US	2019-0305501	A1	03 October 2019
				WO	2018-012856	A1	18 January 2018
KR	10-2016-0093801	A	09 August 2016	None			
KR	10-2013-0142056	A	27 December 2013	JP	2014-003262	A	09 January 2014
				JP	5658207	B2	21 January 2015
				KR	10-1377003	B1	25 March 2014
				KR	10-2013-0142886	A	30 December 2013
				US	2013-0336345	A1	19 December 2013
				US	8582613	B1	12 November 2013
				US	8891564	B2	18 November 2014

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) H01S 3/11(2006.01)i; H01S 3/10(2006.01)i; H01S 3/067(2006.01)i; B23K 26/0622(2014.01)i; B23K 26/38(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) H01S 3/11(2006.01); H01S 3/00(2006.01); H01S 3/06(2006.01); H01S 3/067(2006.01); H01S 3/10(2006.01); H01S 3/16(2006.01); H01S 3/23(2006.01) 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 펄스(pulse), 버스트(burst), 증폭(amplification), 압축(compress)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y	WO 2019-138192 A1 (AMPLITUDE SYSTEMES) 2019.07.18 청구항 1-13 및 도면 1-5	1-8
A		9-13
Y	KR 10-2015-0136487 A (일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드) 2015.12.07 단락 [0031]-[0050]	1-8
A	KR 10-2018-0006675 A (학교법인 한동대학교) 2018.01.19 청구항 1-11 및 도면 3	1-13
A	KR 10-2016-0093801 A (한국전기연구원) 2016.08.09 청구항 1-5 및 도면 9-11d	1-13
A	KR 10-2013-0142056 A (한국전기연구원) 2013.12.27 청구항 1-4 및 도면 7, 13	1-13
☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2021년06월25일(25.06.2021)		국제조사보고서 발송일 2021년06월25일(25.06.2021)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 박혜련 전화번호 +82-42-481-3463

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
WO 2019-138192 A1	2019/07/18	CN 111869019 A	2020/10/30
		EP 3738180 A1	2020/11/18
		FR 3076959 A1	2019/07/19
		FR 3076959 B1	2020/07/17
		JP 2021-510930 A	2021/04/30
		KR 10-2020-0104875 A	2020/09/04
		US 2020-0343682 A1	2020/10/29
KR 10-2015-0136487 A	2015/12/07	CN 105264725 A	2016/01/20
		EP 2982012 A2	2016/02/10
		JP 2016-518024 A	2016/06/20
		TW 201448386 A	2014/12/16
		US 2014-0293404 A1	2014/10/02
		WO 2014-162209 A2	2014/10/09
		WO 2014-162209 A3	2014/12/31
KR 10-2018-0006675 A	2018/01/19	JP 2019-522383 A	2019/08/08
		US 2019-0305501 A1	2019/10/03
		WO 2018-012856 A1	2018/01/18
KR 10-2016-0093801 A	2016/08/09	없음	
KR 10-2013-0142056 A	2013/12/27	JP 2014-003262 A	2014/01/09
		JP 5658207 B2	2015/01/21
		KR 10-1377003 B1	2014/03/25
		KR 10-2013-0142886 A	2013/12/30
		US 2013-0336345 A1	2013/12/19
		US 8582613 B1	2013/11/12
		US 8891564 B2	2014/11/18