



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년05월14일
(11) 등록번호 10-0829008
(24) 등록일자 2008년05월06일

(51) Int. Cl.
B23K 26/36 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2002-7008479
(22) 출원일자 2002년06월28일
심사청구일자 2005년11월30일
번역문제출일자 2002년06월28일
(65) 공개번호 10-2002-0080355
(43) 공개일자 2002년10월23일
(86) 국제출원번호 PCT/US2000/034470
국제출원일자 2000년12월19일
(87) 국제공개번호 WO 2001/47659
국제공개일자 2001년07월05일
(30) 우선권주장
09/473,926 1999년12월28일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US 5694408A
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 17 항

(73) 특허권자
지에스아이 루모닉스 인코퍼레이티드
캐나다 온타리오주 카나타 슈나이더 로드 105
(72) 발명자
도날드, 브이. 스마트
미국매사추세츠02110, 보스턴, 루이스워프524
(74) 대리인
이경란

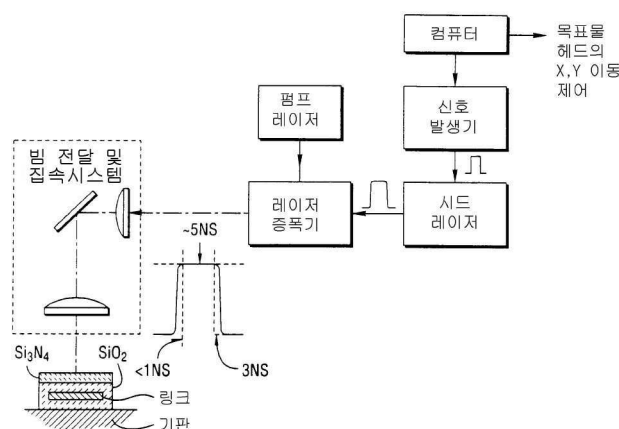
심사관 : 최은석

(54) 표적 물질 처리를 위한 에너지 효율적인 레이저 기반 방법 및 시스템

(57) 요약

표적 물질 주변의 물질의 전기적 및/또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 미세(microscopic) 영역에 있는, 마이크로구조체 등의 표적 물질을 처리하기 위한 방법 및 시스템이 제공된다. 이 시스템은 제어 신호를 발생하는 제어기와 변조된 구동 파형을 제어 신호에 근거하여 발생하는 신호발생기를 포함한다. 이 시스템은 또한 소정의 반복률로 레이저 펄스 트레인을 발생하는, 파장을 가진 이득 스위치 펄스 시드 레이저를 포함한다. 구동 파형은 펄스 트레인의 각 펄스가 미리 결정된 형상을 가지도록 펌핑(pumping)한다. 더 나아가, 이 시스템은 펄스의 미리 결정된 형상이 현저히 변화되지 않도록 펄스 트레인을 광학적으로 증폭시켜 증폭된 펄스 트레인을 획득하게 하는 레이저 증폭기를 포함한다. 증폭된 펄스 각각은 실질적으로 사각형인 임시의 파워 밀도 분포, 가파른 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가진다. 시스템은 또한 증폭된 펄스 트레인의 적어도 일부분을 표적 물질 물질의 스폿(spot)에 전달하여 집속(focusing)하는 빔 전달 및 집속 서브시스템을 포함한다.

대표도 - 도5



(56) 선행기술조사문헌

JP06-142968A

US5,998,759A

US4,114,018A

EP0367507A

W098/42050A

W096/16484A

US5,662,822A

(81) 지정국

국내특허 : 일본, 대한민국, 미국

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일,
덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드,
이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투
갈, 스웨덴, 핀란드, 사이프러스

특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

청구항 69

삭제

청구항 70

삭제

청구항 71

삭제

청구항 72

삭제

청구항 73

삭제

청구항 74

삭제

청구항 75

삭제

청구항 76

삭제

청구항 77

삭제

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

청구항 81

삭제

청구항 82

삭제

청구항 83

삭제

청구항 84

표적 물질 주변의 물질의 전기적 또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 미세(microscopic) 영역에서 특정된 크기를 갖는 표적 물질을 처리하기 위한 에너지 효율적 레이저 기반 방법으로서,

소정의 반복물로 소정의 파장을 가진 레이저를 이용하여 레이저 펄스 트레인(laser pulse train)을 발생하는 단계 - 상기 펄스 트레인의 펄스 각각은 미리 결정된 형상을 가짐-;

증폭된 펄스 트레인을 획득하기 위하여 상기 펄스의 미리 결정된 형상이 현저히 변화되지 않도록 상기 펄스 트레인을 광학적으로 증폭하는 단계 - 상기 증폭된 펄스 각각은 실질적으로 사각형인 시간적 파워 밀도 분포, 급한(sharp) 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가짐 -;

상기 증폭된 펄스 트레인의 적어도 일부분을 상기 표적 물질의 스폿(spot)에 전달 및 집속(focusing)하는 단계를 포함하되,

상기 상승시간은 레이저 에너지를 상기 표적 물질에 효율적으로 연결할 만큼 빠르고, 상기 펄스 지속 시간은 상기 표적 물질을 처리할 정도이며, 상기 하강시간은 상기 표적 물질 주변의 물질에 바람직하지 않은 변화를 방지할 만큼 빠른, 에너지 효율적 레이저 기반 방법.

청구항 85

표적 물질 주변의 물질의 전기적 또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 미세(microscopic) 영역에서 특정된 크기를 갖는 표적 물질을 처리하기 위한 에너지 효율적 레이저 기반 시스템으로서,

처리 제어 신호를 발생하는 제어기와;

상기 처리 제어 신호에 근거하여 변조된 구동 파형을 발생하는 신호발생기와 - 상기 파형은 서브나노초(sub-nanosecond) 상승시간을 가짐 -;

소정의 반복물로 레이저 펄스 트레인을 발생하기 위한 소정의 파장을 가진 이득 스위칭 펄스 시드 레이저(gain-switched, pulsed seed laser)와 - 상기 구동 파형은 상기 펄스 트레인의 각 펄스가 미리 결정된 형상을 가지도록 상기 레이저를 펌핑(pumping)함 -;

증폭된 펄스 트레인을 획득하기 위하여 상기 펄스의 미리 결정된 형상이 현저히 변화됨이 없이 상기 펄스 트레인을 광학적으로 증폭하는 레이저 증폭기와 - 상기 증폭된 펄스 각각은 실질적으로 사각형인 시간적 파워 밀도 분포, 가파른 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가짐 -;

상기 증폭된 펄스 트레인의 적어도 일부분을 상기 표적 물질 상의 스폿(spot)에 전달하여 집속(focusing)하는 빔 전달 및 집속 서브시스템을 포함하되,

상기 상승시간은 레이저 에너지를 상기 표적 물질에 효율적으로 연결할 만큼 빠르고, 상기 펄스 지속 시간은 상기 표적 물질을 처리할 정도이며, 상기 하강시간은 상기 표적 물질 주변의 물질에 바람직하지 않은 변화를 방지할 만큼 빠른, 에너지 효율적 레이저 기반 시스템.

청구항 86

제85항에 있어서,

광학 스위치와, 상기 광학 스위치에 연결되는 컴퓨터와, 상기 펄스 트레인의 물질 처리 펄스를 선택하여 상기 표적 물질에 대한 선택된 펄스의 위치를 제어하는 서브 시스템을 더 포함하는 에너지 효율적 레이저 기반 시스템.

청구항 87

금속 링크 주변의 적어도 하나의 패시베이션층(passivation)의 전기적 또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 적어도 하나의 패시베이션층에 내장된 특정된 크기를 갖는 금속 링크를 제거(ablating)하기 위한 에너지 효율적 레이저 기반 방법으로서,

소정의 반복물로 소정의 파장을 가진 레이저를 이용하여 레이저 펄스 트레인(laser pulse train)을 발생하는 단계 - 상기 펄스 트레인의 펄스 각각은 미리 결정된 형상을 가짐 -;

증폭된 펄스 트레인을 획득하기 위하여 상기 펄스의 미리 결정된 형상이 현저히 변화되지 않도록 상기 펄스 트레인을 광학적으로 증폭하는 단계 - 상기 증폭된 펄스 각각은 실질적으로 사각형인 시간적 파워 밀도 분포, 급한(sharp) 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가짐 -; 및

상기 증폭된 펄스 트레인의 적어도 일부분을 상기 금속 링크의 스폿(spot)에 전달 및 집속(focusing)하는 단계를 포함하되,

상기 상승시간은 레이저 에너지를 상기 금속 링크에 효율적으로 연결할 만큼 빠르고, 상기 펄스 지속 시간은 상기 금속 링크를 제거할 정도이며, 상기 하강시간은 상기 금속 링크 주변의 적어도 하나의 패시베이션층에 바람직하지 않은 변화를 방지할 만큼 빠른 것을 특징으로 하는 에너지 효율적 레이저 기반 방법.

청구항 88

금속 링크 주변의 적어도 하나의 패시베이션층의 전기적 또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 적어도 하나의 패시베이션(passivation)층에 내장된 특정된 크기를 갖는 금속 링크를 제거(ablating)하기 위한 에너지 효율적 레이저 기반 시스템으로서,

처리 제어 신호를 발생하는 제어기와;

상기 처리 제어 신호에 근거하여 변조된 구동 파형을 발생하는 신호발생기와 - 상기 파형은 서브나노초(sub-nanosecond) 상승시간을 가짐 -;

소정의 반복물로 레이저 펄스 트레인을 발생하기 위한 소정의 파장을 가진 이득 스위치 펄스 시드 레이저와 - 상기 구동 파형은 상기 펄스 트레인의 각 펄스가 미리 결정된 형상을 가지도록 상기 레이저를 펌핑함. -;

증폭된 펄스 트레인을 획득하기 위하여 상기 펄스의 미리 결정된 형상이 현저히 변화됨이 없이 상기 펄스 트레인을 광학적으로 증폭하는 레이저 증폭기와 - 상기 증폭된 펄스 각각은 실질적으로 사각형인 시간적 파워 밀도 분포, 가파른 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가짐 -;

상기 증폭된 펄스 트레인의 적어도 일부분을 상기 금속 링크 상의 스폿(spot)에 전달하여 집속하는 빔 전달 및 집속 서브시스템을 포함하되,

상기 상승시간은 레이저 에너지를 상기 금속 링크에 효율적으로 연결(couple) 할 만큼 빠르고, 상기 펄스 지속 시간은 상기 금속 링크를 제거할 정도이며, 상기 하강시간은 상기 금속 링크 주변의 적어도 하나의 패시베이션층에 바람직하지 않은 변화를 방지할 만큼 빠른 것을 특징으로 하는 에너지 효율적 레이저 기반 시스템.

청구항 89

표적 물질 주변의 적어도 하나의 물질의 전기적 또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 미세(microscopic) 영역에서 특정된 크기와 반사성을 갖는 표적 물질을 처리하기 위한 에너지 효율적 레이저 기반 방법으로서,

소정의 반복물로 소정의 파장을 가진 레이저를 이용하여 레이저 펄스 트레인(laser pulse train)을 발생하는 단계;

증폭된 펄스 트레인을 획득하기 위하여 상기 펄스 트레인의 적어도 일부분을 광학적으로 증폭하는 단계 - 상기 증폭된 펄스 각각은 시간적 파워 밀도 분포, 급한(sharp) 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가짐 -; 및

상기 증폭된 펄스 트레인의 근접하게 이격된 복수의 펄스를 상기 표적 물질에 전달 및 집속(focusing)하는 단계를 포함하되,

상기 근접하게 이격된 복수의 펄스의 파워 밀도 분포는 충분히 높고, 상기 상승시간은 레이저 에너지를 상기 표적 물질에 효율적으로 연결하고 상기 표적 물질의 반사성을 감소시킬 만큼 빠르며, 상기 증폭된 펄스 각각의 펄스 지속 시간은 수 피코초에서 18 나노초 이하의 범위이고, 상기 하강시간은 상기 표적 물질 주변의 적어도 하나의 물질에 바람직하지 않은 변화를 방지할 만큼 빠른 것을 특징으로 하는 에너지 효율적 레이저 기반 방법.

청구항 90

적어도 하나의 패시베이션층(passivation)의 전기적 또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 적어도 하나의 패시베이션층에 의하여 지지된 특정된 크기와 반사성을 갖는 금속 링크를 제거(ablating)하기 위한 에너지 효율적 레이저 기반 방법으로서,

소정의 반복률로 소정의 파장을 가진 레이저를 이용하여 레이저 펄스 트레인(laser pulse train)을 발생하는 단계;

증폭된 펄스 트레인을 획득하기 위하여 상기 펄스 트레인의 적어도 일부분을 광학적으로 증폭하는 단계 - 상기 증폭된 펄스 각각은 시간적 파워 밀도 분포, 급한(sharp) 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가짐 -; 및

상기 증폭된 펄스 트레인의 근접하게 이격된 복수의 펄스를 상기 금속 링크에 전달 및 집속(focusing)하는 단계를 포함하되,

상기 근접하게 이격된 복수의 펄스의 파워 밀도 분포는 충분히 높고, 상기 상승시간은 레이저 에너지를 상기 금속 링크에 효율적으로 연결하고 상기 금속 링크의 반사성을 감소시킬 만큼 빠르며, 상기 증폭된 펄스 각각의 펄스 지속 시간은 수 피코초에서 18 나노초 이하의 범위이고, 상기 하강시간은 상기 적어도 하나의 패시베이션층에 바람직하지 않은 변화를 방지할 만큼 빠른 것을 특징으로 하는 에너지 효율적 레이저 기반 방법.

청구항 91

표적 물질 주변의 적어도 하나의 물질의 전기적 또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 미세(microscopic) 영역에서 특정된 크기와 반사성을 갖는 표적 물질을 처리하기 위한 에너지 효율적 레이저 기반 시스템으로서,

처리 제어 신호를 발생하는 제어기와;

상기 처리 제어 신호에 근거하여 변조된 구동 파형을 발생하는 신호발생기와 - 상기 파형은 서브나노초(sub-nanosecond) 상승시간을 가짐 -;

소정의 반복률로 레이저 펄스 트레인을 발생하기 위하여, 소정의 파장을 가진 이득 스위치 펄스 시드 레이저(gain-switched, pulsed seed laser)와;

증폭된 펄스 트레인을 획득하기 위하여 상기 펄스 트레인의 적어도 일부분을 광학적으로 증폭하는 레이저 증폭기와 - 상기 증폭된 펄스 각각은 시간적 파워 밀도, 가파른 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가짐 -; 및

상기 증폭된 펄스 트레인의 근접하게 이격된 복수의 펄스를 상기 표적 물질에 전달하여 집속(focusing)하는 빔 전달 및 집속 서브시스템을 포함하되,

상기 근접하게 이격된 복수의 펄스의 파워 밀도 분포는 충분히 높고, 상기 상승시간은 레이저 에너지를 상기 표적 물질에 효율적으로 연결하고 상기 표적 물질의 반사성을 감소시킬 만큼 빠르며, 상기 증폭된 펄스 각각의 펄스 지속 시간은 수 피코초에서 18 나노초 이하의 범위이고, 상기 하강시간은 상기 표적 물질 주변의 적어도 하나의 물질에 바람직하지 않은 변화를 방지할 만큼 빠른 것을 특징으로 하는 에너지 효율적 레이저 기반 시스템.

청구항 92

제91항에 있어서,

광학 스위치와, 상기 광학 스위치에 연결되는 컴퓨터와, 상기 펄스 트레인의 물질 처리 펄스를 선택하여 상기 표적 물질에 대한 선택된 펄스의 위치를 제어하는 서브 시스템을 더 포함하는 에너지 효율적 레이저 기반 시스템.

템.

청구항 93

기관 상에 형성된 회로에서 한 쌍의 전기 전도성 접점 사이에 위치하는 전기 전도성 메모리 링크를 절단(severing)하는 에너지 효율적 레이저 기반 방법으로서,

상기 회로에서 전기 전도성 메모리 링크의 하나 이상의 위치를 나타내는 처리 제어 신호를 발생하는 단계;

적어도 두개의 근접하게 이격된 레이저 출력 펄스를 발생하는 단계 - 상기 레이저 출력 펄스 각각은 수 피코초에서 18 나노초 이하의 범위의 펄스 지속 시간을 가짐 -;

상기 처리 제어 신호에 따라 상기 레이저 출력 펄스를 위치시켜, 제1 접점들 사이의 제1 위치에서 제1 전기 전도성 용장성 메모리 링크에 충돌시키는 단계 - 상기 출력 펄스는 상기 제1 접점 사이의 상기 제1 전도성 링크를 절단함. - 를 포함하는 에너지 효율적 레이저 기반 방법.

청구항 94

기관 상에 형성된 회로에서 한 쌍의 전기 전도성 접점 사이에 위치하는 전기 전도성 메모리 링크를 절단하기 위한 에너지 효율적 레이저 기반 시스템으로서,

상기 회로에서 전기 전도성 메모리 링크의 하나 이상의 위치를 나타내는 처리 제어 신호를 발생하는 제어기와;

제1 시간 간격 동안 적어도 두개의 근접하게 이격된 레이저 출력 펄스를 발생하는 레이저 수단과 - 상기 레이저 출력 펄스 각각은 수 피코초에서 18 나노초 이하의 범위의 펄스 지속 시간을 가짐 -;

상기 제어 신호에 따라 상기 레이저 출력 펄스를 위치시켜, 제1 접점들 사이의 제1 위치에서 제1 전기 전도성 메모리 링크에 충돌시키는 수단 - 상기 출력 펄스는 상기 제1 접점 사이의 상기 제1 전도성 링크를 절단함 - 을 포함하는 에너지 효율적 레이저 기반 시스템.

청구항 95

제94항에 있어서,

상기 레이저 수단은 시드 레이저 다이오드와 광학 증폭기를 포함하는 것을 특징으로 하는 에너지 효율적 레이저 기반 시스템.

청구항 96

제84항, 제87항, 제89항 또는 제90항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전달 및 집속하는 단계는 일정한 속도로 상대적인 이동 동안에 수행되는 것을 특징으로 하는 에너지 효율적 레이저 기반 방법.

청구항 97

제93항에 있어서,

상기 레이저 출력 펄스를 위치시키는 단계는 일정한 속도로 상대적인 이동 동안에 수행되는 것을 특징으로 하는 에너지 효율적 레이저 기반 방법.

청구항 98

제94항에 있어서,

상기 레이저 출력 펄스를 위치시키는 수단은, 일정한 속도로 상대적인 이동 동안에 상기 레이저 출력 펄스를 위치시키도록 형성되는 것을 특징으로 하는 에너지 효율적 레이저 기반 시스템.

청구항 99

제89항, 제90항 또는 제93항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 복수의 근접하게 이격된 펄스는 빠르게 연속하는 짧은 펄스의 시퀀스(sequence)를 포함하는 것을 특징으로

하는 에너지 효율적 레이저 기반 방법.

청구항 100

제99항에 있어서,

레이저 다이오드로 빠르게 연속하는 짧은 펄스를 발생시키는 단계를 더 포함하는 에너지 효율적 레이저 기반 방법.

명세서

기술분야

<1> 본 발명은 에너지 효율적인, 레이저 기반의 표적 물질 처리 방법 및 시스템에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 반도체 기판 상의 회로 소자의 일부분을 제거(ablate)하거나 또는 변경시키기 위하여 펄스 레이저 빔을 이용하는 것에 관한 것이며, 특히 메모리 수리(memory repair)를 위하여 금속, 폴리실리사이드 및 폴리실리콘 링크들을 증발시키는 것에 적용 가능하다. 추가 적용례가 레이저 기반의 마이크로기계 가공(micromachining) 및 기타 수리 작업에서 발견될 수 있으며, 특히 종종 비동질적(non-homogeneous)인 광학 및 열적 특성을 갖는 주변 영역 및 구조체를 손상시키지 않고 미시 구조체를 제거 또는 변경하고자 하는 것이 요구되는 경우, 추가 실시예가 발견될 수 있다. 마찬가지로, 물질 처리 작업은 기타 미시 반도체 디바이스, 예를 들면 마이크로전자기계 장치(microelectromechanical machines)에 적용될 수 있다. 미세 섬유 광학 프로브(fiber optic probes)에 의한 미세 섬유(tissue) 또는 세포 제거(ablation)와 같은, 의료용으로 적용되는 적용례가 또한 존재할 수 있다.

배경기술

<2> 메모리와 같은 반도체 디바이스는 통상적으로 주 실리콘 기판에 의해 지지되는 실리콘 산화물과 같은 투명 절연층에 부착된 도전성 링크를 가진다. 이러한 반도체 디바이스를 레이저 처리하는 동안, 빔이 링크 또는 회로에 입사될 때, 그 에너지의 일부가 상기 기판 및 다른 구조체에도 도달한다. 빔의 파워, 빔을 가하는 시간의 길이, 및 기타 작동 파라미터에 따라, 실리콘 기판 및/또는 그 인접부위가 과열 및 손상될 수 있다.

여러 문헌의 종래 기술이 기판 손상의 통제를 위한 임계적 파라미터로서 파장 선택의 중요성을 기술한다. 미국 특허 5,265,114호, 5,473,624호, 5,998,759호는 실리콘 기판 손상을 방지하기 위해 1.2 μm 이상의 범위 내에서 파장을 선택하는 것에 대한 장점을 개시하고 있다.

상기 '759호 특허에는 추가적으로 실리콘의 파장 특성이 상세히 설명되어 있다. 실리콘 내에서의 흡수는 약 1 미크론 후부터 급격히 하강하는데, 실온에서 약 1.12 미크론의 흡수단(absorption edge)을 가진다. 1.12 미크론 이상의 파장에서는 실리콘은 점점 더 용이하게 전달되기 시작하며, 따라서 실리콘으로부터 물질을 제거하자마자 더 나은 부품 수율(part yields)을 얻는 것이 가능하다. 1 미크론 정도의 범위에서, 흡수계수는 0.9 미크론으로부터 1.2 미크론까지 가는 동안 10^4 배 만큼 낮아진다. 표준 레이저 파장인 1.047 미크론으로부터 1.2 미크론까지 가는 동안곡선은 10^2 크기의 하강을 나타낸다. 이것은 파장의 매우 적은 변화에 대하여 흡수에 격심한 변화가 있음을 나타낸다. 따라서 기판의 흡수단 이상의 파장에서 레이저를 작동시킴으로써 기판에 손상을 주는 것을 회피한다. 이는 레이저 빔이 링크에 대해서 약간의 정렬 불량(misalignment)이 있는 경우 또는 집중된(focused) 스폿이 링크 구조체를 지나 연장되는 경우 특히 중요하다. 더 나아가, 처리 중에 기판 온도가 상승하면, 적외선 방향으로 흡수 곡선 이동(shifts)이 더 일어나며, 이는 열폭주(thermal runaway) 상태 및 매우 심각한 손상으로 이어질 수 있다.

액정(liquid crystal)을 수리하는 문제는 금속 링크를 제거하는 문제와 유사하다. 흡수 콘트라스트(absorption contrast) 최대화를 위한 파장 선택 원리는 동일한 목적을 위해, 즉 기판을 손상시키지 않고 금속을 제거하기 위해, 상기 기재 문헌에서와 비슷한 방식으로 녹색 파장 영역 내에서 유용하게 적용되었다. 플로로드(Florod)에 의해 제조된 시스템이 간행물 "Xenon Laser Repairs Liquid Crystal Displays," LASERS AND OPTRONICS, 1988년 4월, 39-41 페이지에 설명되어 있다.

파장 선택이 유용한 것으로 판명된 것과 같이, 레이저 처리 창(window)을 향상시키기 위해 다른 파라미터가 조절될 수 있다는 점이 파악되었다. 예를 들어, L. M. Scarfone 및 J. D. Chlipala 저, "Computer Simulation of Target Link Explosion in Laser Programmable Redundancy for Silicon Memory, 1986, 371 페이지에서는 "구조체의 나머지 부분에 대한 손상을 방지하도록 하기 위하여, 링크 제거 처리를 위하여는 흡수를 증가시키고 다

른 목적을 위해서는 흡수를 감소시키도록 레이저 파장 및 물질의 두께가 선택되는 것이 좋다"고 밝히고 있다. 일반적으로 링크 또는 회로 소자 아래에 보다 두꺼운 절연층을 두는 것의 유용성 및 가열 펄스의 지속 시간을 제한하는 것의 유용성이 또한 파악되었으며, 이는 출원인이 공동 집필한 "Laser Adjustment of Linear Monolithic Circuits," Litwin and Smart, 100/L. I. A., Vol. 38, ICAELO (1983)에 나타난 바와 같다.

상기 '759호 특허는 보다 긴 파장을 선택하는 것과 함께 존재하는 교환(tradeoff)에 대해, 보다 구체적으로는 Nd:YAG 레이저로부터 이용가능한 스폿 크기, 초점(focus)의 깊이, 및 펄스 폭에 관한 절충안에 대해 기술한다. 이러한 파라미터는 보다 더 세밀해지고 있는 치수에서의 레이저 처리에 있어서, 그리고 주변 구조체를 부수적으로 손상시킬 가능성이 존재하는 경우 지극히 중요하다.

실제적으로 산업에서는, 깊이 또는 측면 치수(lateral dimension)가 일 마이크론의 몇분의 일인 보다 고밀도의 마이크로구조체 및 관련 기하 구조체 geometries를 추구하기 때문에, 처리 창(processing window)을 넓히는 개선은 어떠한 것이든 유용하다. 이러한 스케일에서는, 에너지 제어 및 표적 흡수에 있어서의 공차가 미세구조체를 처리하는 데 요구되는 에너지에 비해 크다. 전술한 내용에서, 약 $1\mu\text{m}$ 의 작은 레이저 스폿이 요구되는 마이크로 기계 가공(micromachining) 적용례에서 레이저 처리 파라미터가 반드시 각각 독립적이지는 않다는 점을 유의하여야 한다. 예를 들어, 스폿 크기 및 펄스 폭은 약 $1.2\mu\text{m}$ 이하의 단파장에서 일반적으로 최소화되지만, 흡수 콘트라스트(absorption contrast)는 최대화되지 않는다. 반도체 디바이스 제조사는, 통상적으로 상이한 구조체 및 프로세스를 사용하는 보다 향상된 버전의 제품을 개발하고 그 생산을 시작하는 동안에도, 이전에 개발된 제품의 생산을 계속하는 것이 통상적이다. 다수의 최근 메모리 제품은 폴리실리사이드 또는 폴리실리콘 링크를 사용하는데, 256 메가비트 메모리와 같은 보다 향상된 제품에서는 보다 작은 금속 링크 구조체가 사용된다. 이러한 대용량 메모리에서는 0.3 내지 0.5 마이크론의 얇은 실리콘 산화물층 상에 놓인, 1 마이크론의 폭과 1/3 마이크론 깊이의 링크가 사용되고 있다. 생산 설비로서 통상적으로 Q-스위칭 다이오드 펌프 YAG 레이저와 $1.047\mu\text{m}$ - $1.32\mu\text{m}$ 의 기존 파장에서 작동가능한 관련 장비 및 실리콘에 의한 흡수가 낮은 것으로 파악된 파장 범위 내에서 작동가능한 관련 장비가 활용되어 왔다. 그러나 그 사용자는 제거 영역(site) 주위의 오염물 또는 전도성 잔여물에 의한 후발적인 칩 파손의 위험이 없이 링크 구조체를 깨끗하게 절단할 수 있는 장비 개선의 필요성을 또한 인식하고 있다.

기타 자유도에는 (표적 물질에 전달되는) 레이저 펄스 에너지 밀도 및 펄스 지속 시간이 포함된다. 종래기술에서는 마이크로기계 가공 적용시에 손상을 방지하기 위해 펄스 폭이 제한되어야 하는 것으로 기술되어 있다. 예를 들어, 미국 특허 5,059,764호에는 레이저 처리 작업대가 개시되어 있는데, 여기에서는 여러 가지 중 특히 10-50ns 차수의 상대적으로 짧은 펄스를 생성하기 위하여 Q-스위칭 레이저 시스템이 활용된다. 여기에서는, (링크 블로잉(link blowing) 및 정밀 인그레이빙(precision engraving)을 통한 반도체 메모리 수리와 같은) 물질 처리 응용에 있어서는 출력 펄스 폭이 상대적으로 짧아야 하며, 그리고 다수의 응용에 있어서 50ns 이하, 예를 들면 30ns의 펄스 폭이 요구된다는 점이 개시되어 있다. 펄스 폭을 적절하게 선택함으로써 제거(용융 없는 증발)가 가능하다.

고속 펄스 레이저 디자인은 Q-스위칭, 이득 스위칭(gain-switched), 또는 모드-록(mode-locked) 작업을 활용할 수 있다. 표준 Q-스위칭 및 기타 펄스 레이저의 펄스 지속 시간 및 형상은, 펄스 개시시에 레이저 동작 임계치(lasing threshold)에 관계된 광자 수 밀도와 확률 밀도 반전(population inversion)을 기술하는 결합된 비율 방정식을 적분함으로써 기본 레벨에서 추정할 수 있다. Q-스위칭의 경우, 정규화된 스케일에서, 임계치에 대하여 반전된 확률 밀도 내에 원자의 수가 많을수록 펄스 상승 시간이 빠르고, 폭이 좁을수록, 피크 에너지가 높다. 이 비율이 낮아짐에 따라 펄스 형상은 넓어지고 더 낮은 에너지 농도를 갖는다.

흔히 Q-스위칭 레이저 펄스는 가우시안 시간 분포, 즉 지수형 붕괴 꼬리(exponential decaying tail)를 갖는 가우시안의 혼합 형태를 닮았다. '759 특허에 개시된 바와 같이, 보다 짧은 파장의 다이오드 펌프 시스템은, 1/2 파워점(half power points)(즉, 펄스 지속 시간의 표준 정의)에서 측정되고, 바람직한 파장 영역에서 작동될 때, 약 10ns의 상대적으로 짧은 펄스를 생성할 수 있다. 성공적인 작동에도 불구하고, 출원인은 표준 다이오드 펌프 Q-스위칭 레이저 시스템의 시간적 펄스 형상 특성과 관련되는 여러 가지 제한점을 발견하였다. 여기에는 실제 상승 시간의 제한, 1/2 최고점(half maximum points) 사이의 파워 분포, 및 펄스 붕괴 특성이 포함된다. 본 발명에 따른 방법 및 시스템을 사용하여 개선된 금속 링크 블로잉(metal link blowing) 응용에는 이에 대한 뚜렷하게 더 나은 결과를 제공한다.

본 명세서의 나머지 부분에 걸쳐, "펄스 형성(pulse shaping)"은 전자기 방사 검출기로 검출되는 레이저 펄스의 발생을 지칭하고, 이 때, "형상(shape)"은 시간의 함수로서 검출기에 나타난 파워를 지칭한다. 더 나아가, "펄

스 폭(pulse width)" 또는 "펄스 지속 시간(pulse duration)"은 달리 기재되어 있지 않은 한, 반치폭(full width at half maximum, FWHM)을 지칭한다. 또한, Q-스위칭 펄스(Q-switched pulses)는, 예를 들면 실질적으로 매우 느리게 붕괴하는 지수형 꼬리와 가우시안 중앙로브(Gaussian central lobe)가 복합된 형태를 띠는, 예를 들어, 표준 Q-스위칭 시스템 내에서 얻어진 펄스의 시간적 분포를 일괄적으로 지칭한다. 이러한 파형 형상은 레이저 관련 문헌에서는 공식적으로 "Q-스위칭 펄스 포락선(Q-switched pulse envelope)"으로 지칭된다. 도 1c는 이러한 펄스를 도시한다.

미국특허 제5,208,437호 (즉, '437호 특허)에서는, 메모리 수리에 적용하기 위한 1ns 이하의 펄스 폭 규격(specification)이 특정되어 있다. '437호 특허의 공동발명자에 의한 이전의 성과가 "Laser Cutting of Aluminum Thin Film With No Damage to Under Layers", ANNALS OF THE CIRP, Vol 28/1, 1979, 에 기재되어 있는데, 여기에는 앞서 정의된 바와 같이 "가우시안(Gaussian)" 형상을 가진 상대적으로 짧은 레이저 펄스의 실험 결과가 포함되어 있다. 상기 결과는 알루미늄 등으로 만들어진 "바람직한 상호 접속 패턴(interconnection pattern) 부분"이 "상호 접속 패턴 하부에 위치한 층이 손상되지 않고 절단될 수 있다"고 지적한다. 에너지 밀도가 실질적으로 10^6 W/cm^2 인, 실질적으로 1ns 이하의 펄스 폭에 대한 규격(specifications)이 해당 장치에 대해 개시되어 있다. 그러나 공간적으로는 빔이 상호 접속 패턴에 상응하도록 형성되었지만, 시간적 펄스 형성 방법에 관해서는 개시되지 않았다. 더 나아가, '437호 특허에서 사용된 100-300ps로 접근되는 초고속 범위(ultrafast range)에서, 특정된 펄스 폭을 갖는 복수의 층을 구비한 고밀도 메모리 디바이스에 대한 출원인의 분석은 만족스럽지 못하였다. 이러한 제한점을 극복하기 위해서는 레이저 처리 속도를 용납할 수 없는 수준으로 느리게 할 수 있는 각각의 표적 위치를 처리하기 위하여 복수의 펄스를 생성하기 위한 초고속 레이저 시스템이 요구된다.

초고속 스케일에 계속하여, 마이크로기계 가공 작업에 대한 실험결과가 개시된 바 있다. 초고속 펄스는 fs (10-15 sec) 내지 ps (10-12) 차수의 지속 시간을 가지며, 감소된 스케일에서는 수백 ps 내지 ns의 범위에서 발견되는 것과는 근본적으로 다른 원자 및 분자 수준의 물질 특성을 나타낸다.

미국특허 제5,656,186호 및 간행물 "Ultrashort Laser Pulses tackle precision Machining", 레이저 포커스 월드(LASER Focus WORLD), 1997년 8월호, 101-118 페이지에서는 여러 가지 파장에서의 기계 가공 작업이 분석되었으며, 기계 가공된 구조물(feature)의 크기가 집속된 빔의 회절 제한(diffraction limited) 스폿 크기보다 현저히 작은 경우가 제시되었다.

초고속 펄스 발생을 위한 레이저 시스템은 복잡성 면에서 다양하며, 예시적인 실시예가 미국특허 제5,920,668호 및 제5,400,350호에, 그리고 포토닉스 스펙트라(PHOTONICS SPECTRA), 1998년 7월호, 157-161 페이지의 "초고속 레이저 실험실을 벗어나다(Ultrafast Lasers Escape The Lab)"에 설명되어 있다. 이 실시예는 일반적으로 극도로 좁은 폭으로의 압축이 뒤따르는 증폭기 포화(amplifier saturation)를 방지하기 위하여 증폭하기 전에 모드로 초고속 펄스를 펄스 스트레칭(pulse stretching)하는 방법을 포함한다. 이러한 기술은 마이크로기계 가공 및 가능하게는 보다 세밀한 스케일의 "나노기계 가공(nanomachining)" 작업의 일부 종류에 대한 전제를 유지하는데, 이 때 나노 기계 가공의 장점은 회절 한계 이하에서의 기계 가공에 의해 얻어진다. 그러나 출원인은 금속 링크 블로잉과 같은 적용례 및 이와 유사한 마이크로기계 가공 적용례에서 각 펄스 내의 가용한 파워를 갖는 현재 시간에서의 실제적인 제한을 발견하였는데, 상기 제한은 복수의 펄스에 대하여 허용할 수 없는 요건을 이끈다.

출원인은 짧은 펄스의 사용에 대하여 이론적인 해석을 상술하고자 하며, 빠른 상승 시간 펄스는 그 이유가 다양하고, 다수의 이론적, 권위 있는 논문 및 저서가 쓰여진 바 있기 때문에, 이는 다음 문단에서 언급하기로 한다. 금속 링크의 제거가 일례로 사용되기는 하지만, 그 원리는 표적 물질이 실질적으로 상이한 광학적 및 열적 특성을 가진 물질로 둘러싸여 있는 다수의 레이저 처리에서도 응용될 수 있다. 다음은 참조문헌 1-3의 예이다.

1. John F. Ready, Effects of High Power Laser Radiation, ACADEMIC PRESS, New York 1971, pages 115-116.
2. Sidney S. Charschan, Guide for Material Processing By Lasers, Laser Institute of America, The Paul M. Harrod Company, Baltimore MD, 1977, pages 5-13.
3. Joseph Bernstein, J. H. Lee, Gang Yang, Tariq A. Dahmas, Analysis of Laser Metal-Cut Energy Process Window (출판 예정).

금속 반사성

금속의 반사성은 레이저 펄스의 파워 밀도가 증가할수록 낮아진다(참조문헌 1). 금속의 반사성은 물질 내의 자유전자 도전율과 직접적으로 비례한다. 고강도 레이저에 의해 전달될 때와 같이 높은 전기장 밀도에서는, 전자와 격자 사이의 충돌시간(collision time)이 감소한다. 이와 같은 충돌시간의 단축은 도전율을 감소시키며, 따라서 반사성을 감소시킨다. 예를 들어, 레이저 파워 밀도가 10^9 watts/cm^2 의 범위로 증가함에 따라 알루미늄의 반사율은 92%에서 25% 이하로 낮아진다. 따라서 레이저 에너지가 반사로 손실되는 것을 방지하기 위해, 공작물에서 가능한 한 짧은 시간 안에 높은 파워 밀도를 획득하는 것이 유리하다.

열 확산도

레이저 펄스 동안에 열이 이동하는 거리(D)는 다음과 같이 레이저 펄스 폭에 비례한다.

$$D = \sqrt{kt}$$

여기서,

K는 물질의 열 확산도; 그리고

t는 레이저 펄스의 길이.

그러므로 짧은 레이저 펄스가 용융되는 링크 아래 기관으로의 열발산을 방지하고, 또한 링크와 접하는 물질로 열이 측방향으로 전도되는 것을 방지하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 펄스는 링크 물질을 끝까지 가열시킬 정도로 길어야만 한다.

열 스트레스 및 링크 제거

레이저 에너지의 흡수를 통해 표적 금속 링크는 가열되고 팽창하려고 한다. 그러나 링크를 둘러싸는 산화물이 팽창하는 물질을 포함한다. 그러므로 산화물 내에는 스트레스가 축적된다. 어느 시점에서, 팽창하는 금속의 압력이 산화물의 항복점(yield point)을 초과하여, 산화물이 균열(crack)되고 금속 링크는 폭발하여 세밀한 입자 증기(fine particle vapor)로 변한다. 금속 링크의 주요 균열 지점은 최고 스트레스 지점이며, 이는 도 1b에 도시된 바와 같이 상부 및 하부에 있는 링크의 에지이다.

링크 위의 산화물이 어느 정도 얇다면, 산화물의 균열은 링크의 상부에서만 발생할 것이며, 링크는 도 1a에 도시된 바와 같이 깨끗하게 제거될 것이다. 그러나 산화물이 어느 정도 두껍다면, 균열은 링크의 상부뿐만 아니라 하부에서도 발생할 수 있으며, 도 1b에 도시된 바와 같이 균열은 기관 아래로 전파될 것이다. 이는 매우 바람직하지 않은 상황이다.

Q-스위칭 레이저 시스템은 다양한 형상의 짧은 펄스를 제공하도록 변경될 수 있다. 높은 피크 파워, 짧은 펄스의 레이저를 생성하는 통상적인 종래의 레이저는 표준 Q-스위칭 레이저이다. 이러한 레이저는 중간 정도의 펄스 상승시간을 가진 시간적 펄스를 발생한다. 이러한 시간적 형상은, 레이저 빔의 섹션(sections)을 멈추는(switch out) 포켈스 소자 펄스 슬라이서(Pockels Cell pulse slicer)를 사용하여 변화시키는 것이 가능하다. 본 발명의 출원인에 의해 발명되고 동일한 양수인을 가진 미국특허 제4,483,005호(즉, '005호 특허)에는 레이저 빔 펄스 폭에 영향을 미치는(즉, 감소시키는) 다양한 방법이 개시되어 있다. '005호 특허에 기술된 바와 같이, 중앙로브(central lobe) 밖의 에너지를 잘라냄(truncating)으로써 "비-가우시안(non-Gaussian)" 형상의 빔이 제공되도록 레이저 펄스를 형성할 수 있다. 상대적으로 넓은 Q-스위칭 파형이 좁고 균일한 형상으로 전환된다면, 펄스 에너지의 작은 부분만이 사용될 것이라는 점을 주목하여야 한다. 예를 들어, 가우시안 펄스를 잘라(truncation) 급한(sharp) 상승시간 및 10% 이내의 편평도(flatness)를 갖는 좁은 펄스를 제공하도록 함으로써 펄스 에너지가 약 65% 감소된다.

이와 유사하게, 미국특허 제4,114,018호('018호 특허)에는, 사각형 펄스를 생성하기 위한 시간적 펄스 형성이 기재되어 있다. 도 7은 매우 편평한 레이저 파워 출력에 대한 시간 간격을 나타낸다. '018호의 특허된 방법에서는, 원하는 펄스를 발생시키기 위해 빔 강도의 시간 세그먼트를 제거하는 것이 필요하다.

종래기술 이상의 바람직한 개선은 펄스 지속 시간 내에 높은 에너지 엔클로저(energy enclosure)를 가지며 급격히 붕괴되는 꼬리를 갖는 짧은 펄스를 발생시키기 위한 효율적인 방법을 제공하는 것이다. 이를 달성하기 위해서 Q-스위칭 펄스 포락선의 펄스 형상과는 상이한 펄스 형상을 생성하는 레이저 기술이 바람직하다. 그러한 펄

스는 빠른 상승시간, 중앙로브 내에 균일한 에너지, 및 빠른 붕괴를 가진다.

표준 Q-스위칭 Nd:YAG 이외의 레이저에 의해 제공되는 것과 같은 빠른 상승시간, 높은 파워 밀도의 펄스가 이 일을 가장 잘 달성할 것이다.

이러한 장점은 전통적인 Q-스위칭형, 고체형(solid state) 다이오드 또는 램프 펌핑(lamp pumped) YAG 기술과는 현저히 차이가 나는 레이저 기술을 사용하는 시스템에서 바람직한 방식으로 구현된다.

보다 빠른 상승시간, 상대적으로 균일하고 중앙로브 내에 더 높은 에너지 농도(energy concentration), 및 빠른 하강시간(fall time)을 가진 표준 Q-스위칭 펄스와는 상이한 형상을 가진 펄스를 발생하기 위한 방법 및 시스템 이 종래 기술을 개선하기 위하여 요구된다.

<3> 삭제

<4> 삭제

<5> 삭제

<6> 삭제

<7> 삭제

<8> 삭제

<9> 삭제

<10> 삭제

<11> 삭제

<12> 삭제

<13> 삭제

<14> 삭제

<15> 삭제

<16> 삭제

- <17> 삭제
- <18> 삭제
- <19> 삭제
- <20> 삭제
- <21> 삭제
- <22> 삭제
- <23> 삭제
- <24> 삭제
- <25> 삭제
- <26> 삭제
- <27> 삭제
- <28> 삭제
- <29> 삭제
- <30> 삭제
- <31> 삭제
- <32> 삭제
- <33> 삭제
- <34> 삭제

<35> 삭제

<36> 삭제

<37> 삭제

<38> 삭제

<39> 삭제

발명의 상세한 설명

<40> 출원인은 금속 링크 블로잉 응용례에서 개선된 결과가 얻어질 수 있는 것으로 판단하였다. 예를 들어, 비-가우시안형이고, 실질적으로 직사각형인 펄스 형상은 상부(overlying) 절연체가 존재하는 경우의 금속 링크 처리에 특히 바람직하다. 출원인의 결과는 1ns 차수, 바람직하게는 약 0.5ns 차수의 빠른 상승시간이 상부 산화물층에 열충격(thermal shock)을 제공하여 링크 블로잉 절차를 용이하게 함을 보여준다. 이에 추가하여, 높은 파워 밀도에서 빠르게 상승하는 짧은 펄스의 경우 반사성은 감소한다. 실질적으로 균일한 펄스 형상을 가지는 약 5ns의 펄스 지속 시간은 링크에 더 많은 에너지가 결합(couple)되도록 허용함으로써, 링크를 제거하는 데 요구되는 에너지를 감소시킨다. 약 2ns의 급격한 하강시간은 기관 손상의 가능성을 배제하는 데 있어 중요하다. 더 나아가, 적시에 거의 사각형인 파워 밀도 펄스의 장점은 파워 밀도가 필요할 때는 가장 높고 필요하지 않을 때는 펄스가 오프된다는 점이다.

짧고 빠르게 상승하는 펄스는 열이 링크의 하부까지 아래로 확산할 수 있기 전에 먼저 링크의 상부가 용융하고 팽창하게 할 것이다. 그러므로 링크의 상부에 스트레스가 축적되며, 상기 스트레스는 아래로 기관까지 균열이 발생되지 않도록 하고 상부층의 균열을 촉진시킨다.

본 발명의 일 목적은 수 나노초의 짧은 지속 시간과 급격한 하강시간을 가진 서브-나노초(sub-nanosecond)의 상승시간 펄스를 발생할 수 있는 능력을 갖는 컴팩트한 이득 스위칭 레이저 시스템을 제공하는 것이다. 최신식 고속 펄스 시스템은 이득 스위칭 기술을 포함하는데, 여기에서는 낮은 파워 반도체 시드 레이저가 신속히 그리고 직접적으로 변조되어 제어된 펄스 형상을 생성하고 이는 이후에 펌프 레이저로 사용되는 고 파워 레이저 다이오드 또는 다이오드 어레이(diode array)를 가진 클래딩 펌핑(cladding pumped)된 섬유 광학 시스템과 같은, 레이저 증폭기로 상당히 증폭된다. 이러한 레이저 시스템은 미국특허 제5,694,408 및 PCT 출원번호 PCT/US98/42050 호에 설명되어 있으며, 예를 들면 미국특허 제5,400,350호에 설명된 일부 초고속 처프(chirped) 펄스 증폭 시스템의 "빌딩블록 (building blocks)"이다.

본 발명의 한 가지 일반적인 목적은 종래기술의 레이저 처리 방법 및 시스템을 개선하기 위한 것으로, 특히 표적 물질 주위 영역의 광학 및/또는 열적 특성이 실질적으로 상이한 경우 이를 개선하기 위한 것이다.

본 발명의 한 가지 일반적인 목적은 마이크로기계 가공 및 레이저 물질 처리 응용, 예를 들면 반도체 메모리에서 링크 또는 기타 상호 접속부(interconnects)의 레이저 제거, 트리밍(trimming), 드릴링(drilling), 마킹(marking), 및 마이크로기계 가공을 위한 레이저 펄스 형성 기능을 제공하는 것이다. 미리 결정된 파형 형상이 이득 스위칭 레이저로부터 발생되는데, 이는 표준 Q-스위칭 시스템의 파형과 다르다.

본 발명의 한 가지 목적은 반도체 처리, 예를 들면 16-256 메가비트 반도체 수리를 위한 개선 및 이득(margin)을 제공하여, 그 결과 제거 장소 주위의 전도성 잔여물 또는 오염물에 의한 후발적인 디바이스 파손의 위험이 없이 미세 구조체를 깨끗하게 처리하는 것이다.

본 발명의 한 가지 목적은, 짧게는 수백 피코초까지의 펄스 파형 상승시간을 제공하는 것인데, 펄스 지속 시간은 통상적으로 약 10 나노초 이하이고 급격한 펄스 붕괴를 가짐으로써, 높은 파워 밀도로 표적 구조체를 레이저 처리하고, 이를 통해 주변 영역이 열 충격 및 확산으로 인하여 손상되는 것을 최소화하는 것이다.

본 발명의 한 가지 목적은 레이저 제거 프로세스에 적합한 어떠한 파장에서도 높은 파워, 빠른 상승시간 펄스로 매우 짧은 시간 내에 공작물(workpiece)에서 높은 파워 밀도를 달성하여, 반도체 레이저 처리 응용에서 표적 물질 주변 및 그 아래의 구조체에 대한 손상을 방지하는 것이다.

본 발명의 한 가지 목적은 반도체 메모리 상의 단일 금속 링크와 같은 금속 표적 구조체의 반사성이 감소하도록 충분히 빠른 상승시간과 충분한 파워 밀도를 가진 단일 레이저 처리 펄스로 표적 장소를 처리하고, 이를 통해 레이저 에너지의 보다 효율적인 결합(coupling)을 제공하는 것이다. 빠르게 상승하는 레이저 펄스는 각각의 금속성 표적 구조체를 효율적으로 가열 및 기화시키기에 충분한 펄스 지속 시간을 가지고, 제거 지속 시간 중 상대적으로 균일한 파워 밀도를 가지면서도, 표적 물질이 기화된 후의 급격한 펄스 하강시간은 주변 및 하부(underlying) 구조체의 손상을 방지한다.

본 발명의 한 가지 목적은, 통상적으로 수 나노초의 펄스 상승시간을 가지며 Q-스위칭 펄스 포락선으로 대표되는 레이저와 같은 표준 Q-스위칭 레이저를 활용하는 시스템과 비교할 때, 반도체 금속 링크 블로잉 적용시에 우수한 성능을 제공하는 것이다. 실질적으로 사각형 펄스 형상을 가지며 펄스 지속 시간이 약 2-10 나노초의 범위에 있고 상승시간이 약 1ns이며 바람직하게는 0.4ns인 레이저 펄스가 발생된다. 또한, 스위치 오프시 펄스 붕괴가 급격하여 미리 결정된 펄스 지속 시간 후 펄스 에너지의 매우 작은 부분만이 남게 되며, 펄스"꼬리"는 급격히 감소하여 하부 기관 또는 기타 비표적 물질을 손상시킬 가능성을 방지하기에 충분히 낮은 레벨이 된다. 이러한 펄스의 비교가 도 2에 도시되어 있다.

본 발명의 한 가지 목적은 반도체 레이저 제거 프로세스의 처리창(processing window)을 확대하여 상이한 광학 및 열적 특성을 가진 물질로 둘러싸여 있는 미세 구조체를 신속하고 효율적으로 제거하는 것이다. 이러한 구조체는 통상적으로 구조체 사이의 폭 및 간격이 약 1 마이크로미터 이하이고 깊이 방향으로 중첩된 방식으로 배열되어 있다. 짧은 레이저 펄스를 적용함으로써 표적 물질이 깨끗하게 제거되면서도, 측방향으로의 열소산(heat dissipation)에 의한 주변 물질의 손상 또는 표적 물질 아래의 하부 기관의 손상이 방지된다.

본 발명의 한 가지 목적은 높은 에너지 밀도를 가진 짧은 펄스를 적용하여 실질적으로 동질적인 광학 및 열적 특성을 가진 물질을 제어가능하게 기계 가공하는 것인데, 이 때 펄스 지속 시간은 조사량(fluence) 임계치가 레이저 펄스 폭의 제공근과 대략적으로 비례하는 물질 처리 범위에서 수 나노초이다.

본 발명의 전술된 목적과 기타 목적을 수행하기 위하여, 표적 물질 주변의 물질의 전기적 또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 미세(microscopic) 영역에서 특정된 크기를 갖는 표적 물질을 처리하기 위한 에너지 효율적 레이저 기반 방법이 제공된다. 이 방법은 소정의 반복물로 소정의 파장을 가지는 레이저를 이용하여 레이저 펄스 트레인(laser pulse train)을 발생하는 단계를 포함하고, 이 때 펄스 트레인의 펄스 각각은 미리 결정된 형상을 갖는다. 또한 상기 방법은 펄스의 미리 결정된 형상이 현저히 변화되지 않도록 펄스 트레인을 광학적으로 증폭하여 증폭된 펄스 트레인을 획득하는 단계를 포함한다. 증폭된 펄스 각각은 실질적으로 사각형인 시간적 파워 밀도 분포, 급한(sharp) 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가진다. 상기 방법은 또한 증폭된 펄스 트레인의 적어도 일부분을 표적 물질의 스폿(spot)에 전달 및 집속(focusing)하는 단계를 포함하는데, 이 때, 상승시간은 레이저 에너지를 표적 물질에 효율적으로 연결하기에 충분히 빠르고, 펄스 지속 시간은 표적 물질을 처리하기에 충분하며, 하강시간은 표적 물질 주변의 물질에 바람직하지 않은 변화를 방지하기에 충분히 빠르다.

표적 물질은 도전성 라인(conductive lines) 또는 링크와 같은 마이크로구조체(microstructures)를 포함할 수 있는데, 이 때, 링크는 용장성(redundant) 반도체 메모리의 공통(common) 회로 소자다. 도전성 라인은 금속 선일 수 있으며, 이 때, 펄스 지속 시간은 상기 금속 선, 즉 상기 금속 선의 특정 일부분을 효과적으로 가열 및 기화시키기에 충분하다.

표적 물질은 예를 들면 16-256 메가비트를 가지는 반도체 메모리와 같은, 반도체 디바이스의 일부일 수 있다.

표적 물질 주변의 물질의 적어도 일부분은 반도체 기관과 같은 기관일 수 있다.

표적 물질은 마이크로전자공학(microelectronic) 디바이스의 일부일 수 있다.

실질적으로 사각형인 시간적 파워 밀도 분포는 표적 물질을 실질적으로 완전히 제거하기에 충분하다.

상승시간은 1 나노초 이하인 것이 바람직하며, 0.5 나노초 이하인 것이 더욱 바람직하다.

펄스 지속 시간은 10 나노초 이하인 것이 바람직하며, 5 나노초 이하인 것이 더욱 바람직하다.

또한, 하강시간은 2 나노초 이하인 것이 바람직하다.

통상적으로 표적 물질을 처리하는 데에는 단일 증폭 펄스이면 충분하다.

표적 물질은 증폭된 펄스에 대해 반사성을 가질 수 있으며, 이 때 증폭된 펄스의 파워 밀도는 표적 물질의 반사성을 증폭된 펄스로 감소시키고 표적 물질에 레이저 에너지를 효율적으로 연결하기에 충분할 정도로 높다.

각각의 증폭된 펄스는 펄스 지속 시간 동안 매우 균일한 파워 밀도 분포를 가지는 것이 바람직하다.

각각의 펄스는 상기 펄스 지속 시간 동안 10 퍼센트 이내로 균일한 시간적 파워 밀도 분포를 가지는 것이 바람직하다.

표적 물질 주변의 물질은 표적 물질의 상응하는 특성과 상이한 열 확산 특성 및 흡수 및 분극 민감도를 포함하는 광학적 특성을 가질 수 있다.

바람직하게 반복률은 적어도 1000펄스/초이고, 각각의 증폭된 펄스는 적어도 0.1 내지 3 마이크로줄의 에너지를 갖는다.

광학적으로 증폭하는 단계는 적어도 20DB의 이득(gain)을 제공하는 것이 바람직하다.

또한, 상승시간 및 하강시간 모두는 펄스 지속 시간의 반 이하이며, 각각의 증폭된 펄스의 피크(peak) 파워는 상승 및 하강시간 사이에서 실질적으로 일정한 것이 바람직하다.

증폭된 펄스 각각은 꼬리(tail)를 가지며, 상기 방법은 펄스의 파워량을 실질적으로 유지하면서 증폭된 펄스의 하강시간을 감소시키기 위하여 증폭된 펄스의 꼬리 안의 레이저 에너지를 감소시키는 단계를 더 포함하는 것이 바람직하다.

본 발명의 기술된 목적과 기타 목적을 수행하기 위하여, 또한 표적 물질 주변의 물질의 전기적 또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 미세(microscopic) 영역에서 특정된 크기를 갖는 표적 물질을 처리하는 에너지 효율적 시스템이 제공된다. 이 시스템은 처리 제어 신호를 발생하는 제어기와 상기 처리 제어 신호에 근거하여 변조된 구동 파형을 발생하는 신호발생기를 포함한다. 파형은 서브-나노초(sub-nanosecond)의 상승시간을 가진다. 이 시스템은 또한 소정의 반복률로 레이저 펄스 트레인을 발생하기 위하여, 소정의 파장을 가진 이득 스위칭 펄스 시드 레이저를 포함한다. 구동 파형은 펄스 트레인의 각 펄스가 미리 결정된 형상을 가지도록 레이저를 펌핑(pumps)한다. 더 나아가, 이 시스템은 펄스의 미리 결정된 형상이 현저히 변화되지 않도록 펄스 트레인을 광학적으로 증폭하여 증폭된 펄스 트레인을 획득하는 레이저 증폭기를 포함한다. 증폭된 펄스 각각은 실질적으로 사각형인 시간적 파워 밀도 분포, 가파른 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가진다. 상기 시스템은 증폭된 펄스 트레인의 적어도 일부분을 표적 물질에 전달하여 집속(focusing)하는 빔 전달 및 집속 서브 시스템을 더 포함한다. 상승시간은 레이저 에너지를 표적 물질에 효율적으로 연결하기에 충분히 빠르고, 펄스 지속 시간은 표적 물질을 처리하기에 충분하며, 하강시간은 표적 물질 주변의 물질에 바람직하지 않은 변화를 방지하기에 충분히 빠르다.

레이저 증폭기는 바람직하게는 광섬유 및 상기 광섬유를 펌핑하는 레이저 다이오드와 같은 펌프를 포함하며, 여기서 펌프는 시드 레이저와 구별된다.

레이저 다이오드 펌프원(pump source) 또한 이득 스위칭되어(펄스화되고 직접적으로 변조되어) 레이저 처리가 발생하지 않는 연장 기간 동안 "오프(off)" 상태로 스위칭됨으로써 다이오드 수명을 증가시킬 수 있다.

시드 레이저는 레이저 다이오드를 포함하는 것이 바람직하다.

시스템은 증폭된 펄스의 꼬리에 레이저 에너지를 감소시켜 펄스의 에너지량을 실질적으로 유지하면서 증폭된 펄스의 하강시간을 감소시키는 감쇠기를 포함할 수 있다.

펄스 지속 시간은 특정된 표적 물질 크기의 함수로 선택될 수 있다. 특정된 표적 물질 크기는 레이저 파장 이하일 수 있다. 바람직한 레이저는 약 $2\mu\text{m}$ 이하의 파장을 가지는 고속 반도체 레이저이다. 섬유 물질 및 반도체 레이저 다이오드 기술에서 보다 긴 적외선 파장에서 뿐만 아니라 가시영역에서의 작동을 위하여 향후 발전된 물질이 제공될 수 있다.

시드 레이저 다이오드는 분산된 브래그 리플렉터(distributed Bragg reflector, DBR), 분산된 피드백(distributed feedback, DFB), 즉 외부 공동 디자인(external cavity design)을 활용하는 단일 주파수(단일모드) 레이저 또는 다중모드(multimode) 다이오드 레이저일 수 있다.

스폿 크기는 통상적으로 약 $1\mu\text{m}$ - $4\mu\text{m}$ 의 범위 내의 크기를 가진다.

메모리의 밀도는 적어도 16-256 메가비트일 수 있다.

반도체 디바이스는 마이크로전자기계(microelectromechanical) 디바이스일 수 있다.

펄스 꼬리에서 감쇠되는 레이저 에너지는 펄스 지속 시간의 1.5배 이내에서 적어도 10dB 감쇠되는 것이 바람직하다.

본 발명의 전술된 목적과 기타 목적을 수행하기 위하여, 또한 금속 링크 주변에 위치한 적어도 하나의 패시베이션층(passivation layer)의 전기적 또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 적어도 하나의 패시베이션층에 내장된 특정된 크기를 갖는 금속 링크를 제거(ablating)하기 위한 에너지 효율적 레이저 기반 방법이 제공된다. 이 방법은 소정의 반복률로 소정의 파장을 가진 레이저를 활용하는 레이저 펄스 트레인(laser pulse train)을 발생하는 단계를 포함한다. 펄스 트레인의 펄스 각각은 미리 결정된 형상을 가진다. 이 방법은 또한 증폭된 펄스 트레인을 획득하기 위하여 펄스의 미리 결정된 형상이 현저히 변화되지 않고 펄스 트레인을 광학적으로 증폭하는 단계를 포함한다. 증폭된 펄스 각각은 실질적으로 사각형인 시간적 파워 밀도 분포, 급한(sharp) 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가진다. 이 방법은 또한 증폭된 펄스 트레인의 적어도 일부분을 금속 링크의 스폿(spot)에 전달하여 집속(focusing)하는 단계를 포함한다. 상승시간은 레이저 에너지를 금속 링크에 효율적으로 연결하기에 충분히 빠르다. 펄스 지속 시간은 금속 링크를 제거하기에 충분하며, 하강시간은 금속 링크 주변의 적어도 하나의 패시베이션층에 바람직하지 않은 변화를 방지하기에 충분히 빠르다.

본 발명의 전술된 목적과 기타 목적을 수행하기 위하여, 또한 금속 링크 주변의 적어도 하나의 패시베이션층의 전기적 또는 물리적 특성에 바람직하지 않은 변화를 야기함이 없이 적어도 하나의 패시베이션(passivation)층에 내장된 특정 크기의 금속 링크를 제거(ablating)하기 위한 에너지 효율적 시스템이 제공된다. 이 시스템은 처리 제어 신호를 발생하는 제어기 및 상기 처리 제어 신호에 근거하여 변조된 구동 파형을 발생하는 신호발생기를 포함한다. 파형은 서브-나노초(sub-nanosecond)의 상승시간을 가진다. 시스템은 또한 소정의 반복률로 레이저 펄스 트레인을 발생하는, 소정의 파장을 가진 이득 스위칭 펄스 시드 레이저를 포함한다. 구동 파형은 펄스 트레인의 각 펄스가 미리 결정된 형상을 가지도록 레이저를 펌핑한다. 더 나아가, 시스템은 증폭된 펄스 트레인을 획득하기 위하여 펄스의 미리 결정된 형상이 현저히 변화됨이 없이 펄스 트레인을 광학적으로 증폭시키기 위한 레이저 증폭기를 포함한다. 증폭된 펄스 각각은 실질적으로 사각형인 시간적 파워 밀도 분포, 가파른 상승시간, 펄스 지속 시간 및 하강시간을 가진다. 시스템은 증폭된 펄스 트레인의 적어도 일부분을 금속 링크의 스폿에 전달하여 집속하는 빔 전달 및 집속 서브시스템을 더 포함한다. 상승시간은 레이저 에너지를 금속 링크에 효율적으로 연결(couple)하기에 충분히 빠르다. 펄스 지속 시간은 금속 링크를 제거하기에 충분하며, 하강시간은 금속 링크 주변의 적어도 하나의 패시베이션층에 바람직하지 않은 변화를 방지하기에 충분히 빠르다.

금속 링크는 그 위의 상부 패시베이션층 및 그 아래의 하부 패시베이션층에 내장될 수 있다. 펄스 지속 시간은 상기 상부 패시베이션층에 균열이 생기게 하기에는 충분하지만 하부 패시베이션층에 균열이 생기게 하기에는 충분하지 않다.

본 발명의 전술된 목적과 기타 목적을 수행하기 위하여, 레이저 물질 처리에 적합한 파장을 가진 레이저를 사용하여 주변 물질에 대한 손상을 방지하면서 표적 물질을 제거(ablate)하기 위한 방법이 제공된다. 이 방법은 미리 결정된 이득 스위칭 펄스를 생성하기 위하여 레이저 빔을 변조하는 단계 및 레이저 빔을 표적 물질 영역에 집속(focusing)하는 단계를 포함한다. 미리 결정된 이득 스위칭 펄스 형상은 레이저 에너지를 표적 구조체에 효율적으로 연결하기에 충분히 빠른 레이저 펄스의 상승시간을 포함하고, 표적 물질을 효율적으로 가열 및 기화시키는 데 충분한 길이의 펄스 지속 시간 및 표적 물질 주변 구조체의 손상을 방지하기에 충분히 빠른 펄스 붕괴시간을 가진다.

본 발명의 전술된 목적과 기타 목적을 수행하기 위하여, 또한 레이저 처리에 적합한 파장을 가진 레이저를 사용하여 주변 물질에 대한 손상을 방지하면서 표적 물질을 제거(ablate)하기 위한 시스템이 제공된다. 이 시스템은 레이저원, 레이저원을 변조하여 미리 결정된 이득 스위칭 펄스 형상을 가진 레이저 펄스를 발생하기 위한 부품, 및 레이저 빔을 표적 물질 영역에 집속하는 광학 부품을 포함한다. 미리 결정된 펄스 형상은 레이저 에너지를 표적 물질에 효율적으로 연결하기에 충분히 빠른 레이저 펄스의 광학적 상승시간과, 표적 물질을 효율적으로 가열 및 기화시키는 데 충분한 길이의 펄스 지속 시간 및 표적 물질 주변 구조체의 손상을 방지하기에 충분히 빠른 펄스 붕괴시간을 가진다.

본 발명의 바람직한 일 구성예에서, 이득 스위칭 펄스 형상은 빠른 상승시간 펄스를 포함하는데, 상기 펄스의

상부는 실질적으로 편평하고, 빠른 펄스 하강시간을 가진다. "시드(seed)" 레이저 다이오드가 직접 변조되어 미리 결정된 펄스 형상을 발생시킨다. 섬유 레이저 증폭기에 의한 증폭을 통해 광학적 파워가 증가되어 레이저 처리에 충분한 파워 레벨이 출력된다. 이에 따른 섬유 레이저 증폭기 출력에서의 이득 스위칭 펄스가 표적 영역 상에 집속된다.

본 발명의 일 구성예에서, "시드" 다이오드는 직접 변조되어 미리 결정된 이득 스위칭 사각형 펄스를 생성하고, 물질 처리에 충분한 출력 펄스 레벨을 제공하기 위하여 섬유 레이저 증폭기를 사용하여 저왜곡(low distortion) 증폭을 제공하는 것이 바람직할 수 있다.

또 다른 구성예에서, 직접 변조된 시드 다이오드의 펄스 시간적 파워 분포는 섬유 증폭기 또는 기타 부품의 비균일성(non-uniformity) 또는 왜곡에 대해, 예를 들면 출력 변조기의 "완만한(smooth)" 상승에 대해 보상하도록 변경된다. 이에 따라 표적 물질 영역에 집속되는 레이저 처리 펄스는 원하는 형상: 빠른 상승시간, 펄스 지속 시간 동안 상대적으로 평탄함, 빠른 붕괴를 가지게 될 것이다.

본 발명의 일 구성예에서, "시드" 레이저 펄스가 종결될 때 레이저 처리 시스템의 출력에 잔류하는 레이저 에너지를 감쇠하여, 처리가 완료된 후 표적 물질로 지정되지 않은 민감한 구조체의 가열을 방지하는 데 사용되는 "펄스 슬라이싱(pulse slicing)" 모듈을 제공함으로써 레이저 처리 시스템의 성능을 향상시키는 것이 유용할 수 있다. "펄스 슬라이싱" 기법은 변경된 펄스 또는 표준 Q-스위칭 펄스의 꼬리를 감쇠하는 데 유용하다. 이는 도 4a 및 도 4b에 도시되어 있는데, 도 4b의 세로축에는 로그 스케일이 제공되어 있다.

펄스당 적어도 0.1 마이크로줄의 레이저 펄스 에너지를 가지고, 적어도 1KHz(1000 펄스/초)의 펄스 속도에서, 레이저 처리 작업, 특히 금속 링크 블로잉을 수행하는 것이 바람직하며, 이 때 0.1 마이크로줄은 섬유 증폭기의 출력에서 방사되는 것이며, 이 때 섬유 광증폭기 이득은 적어도 20DB(1000:1)이다.

본 발명의 일 구성예에서, 펄스 지속 시간의 반 정도보다 짧은 상승 및 하강시간을 가지고 피크 파워가 상승 및 하강시간 사이에서 대략 일정한 레이저 펄스가 형성된다.

본 발명의 일 구성예에서, 결합되는 경우 도 3a 및 도 3b에 도시된 것과 같이 원하는 펄스 형상을 생성하는, 근접하게 이격된 일련의 짧은 펄스를 발생하는 것이 가능하다.

본 발명을 사용하는 시스템의 일 구성예에서, 물질 처리 속도를 초과하는 펄스 반복률로 레이저를 작동하고, 처리 펄스를 선택하기 위하여, 물질 처리를 위해 집속된 레이저 빔을 위치조절시키는데 사용되는 빔 위치조절 시스템과 작동적으로 연결되어 있는 컴퓨터로 제어되는 광학 스위치를 이용하는 것이 유용할 수 있다.

본 발명의 기술된 목적 및 기타 목적, 특징, 및 장점은 첨부된 도면과 연계하여 볼 때, 본 발명의 실시를 위한 최선의 형태에 대한 아래의 상세한 설명에서 용이하게 알 수 있다.

<41> 삭제

<42> 삭제

<43> 삭제

<44> 삭제

<45> 삭제

<46> 삭제

- <47> 삭제
- <48> 삭제
- <49> 삭제
- <50> 삭제
- <51> 삭제
- <52> 삭제
- <53> 삭제
- <54> 삭제
- <55> 삭제
- <56> 삭제
- <57> 삭제
- <58> 삭제
- <59> 삭제
- <60> 삭제
- <61> 삭제
- <62> 삭제
- <63> 삭제
- <64> 삭제

- <65> 삭제
- <66> 삭제
- <67> 삭제
- <68> 삭제
- <69> 삭제
- <70> 삭제
- <71> 삭제
- <72> 삭제
- <73> 삭제
- <74> 삭제
- <75> 삭제
- <76> 삭제
- <77> 삭제
- <78> 삭제
- <79> 삭제
- <80> 삭제
- <81> 삭제
- <82> 삭제

- <83> 삭제
- <84> 삭제
- <85> 삭제
- <86> 삭제
- <87> 삭제
- <88> 삭제
- <89> 삭제
- <90> 삭제
- <91> 삭제
- <92> 삭제
- <93> 삭제
- <94> 삭제
- <95> 삭제
- <96> 삭제

실시예

레이저 처리 시스템 아키텍처

도 7의 바람직한 실시예에서, 시드 레이저(10) 및 섬유 증폭기는 이동 시스템(20) 및 공작물에 부착된 안정한 플랫폼(platform) 상에 설치되어 있다. 링크를 제거하는 데 있어 빔이 3/10 미크론 이하의 정확도로 위치조절되는 것이 매우 중요하다. 높은 처리 속도를 획득하기 위해 요구되는 연속적인 이송 때문에, 표적(target) 및 광학 시스템의 상대적 위치와 상응하는 레이저 펄스의 타이밍(timing)이 중요하다.

시드 레이저(10)는 컴퓨터(33) 및 신호발생기(11)에 의해 외부로부터 제어되며, 상기 시드 레이저(10)는, 높은 구경수의 광학기구(high numerical aperture optics)를 포함하고 빔 디플렉터(beam deflector), 예를 들어 컴퓨터(33)를 경유하는 스캐너 제어 장치에 의해 제어되는 갈바노미터 미러(galvanometer mirror)를 포함할 수 있

는 집속 서브시스템(12)으로 그 변조된 빔을 전송한다. 컴퓨터(33)는 또한 펄스 발생 시간을 적절히 맞추기 위해 신호발생기(11) 및 상기 서브시스템을 위한 이동 시스템(20)에 작동가능하게 연결된다. 레이저 빔은 정밀하게 제어되어 예리하게(sharply) 집속된 빔을 발생시키고, X, Y, 및 Z의 고정위치에서 스폿 크기가 약 1.5-4 미크론의 범위 내에 있도록 해야만 한다. 이와 같이, 빔 위치조절 및 집속 분야의 당업자라면 유한 성능 및 근접 회절(near diffraction)을 제공하고 레이저 헤드(laser head) 또는 표적 기관의 정밀 이동 제어를 제공하기 위하여 수정된 광학기구의 중요성을 인지할 것이다. 구체적인 레이저 처리 응용 요건에 따라, 회절 제한된 집속을 위한 상대적으로 좁은 시야(field of view)를 가진 광학 시스템과, 빔 위치조절을 위한 정밀 X, Y 이동단(motion stages)을 제공하는 것이 유용할 것이다. 더 나아가, 병진 단(translation stages)과 조합한 빠른 편향(deflection)을 위하여 다양한 미리 이동 조합이 실행가능하다.

웨이퍼(22)를 제 위치로 이동하여 각각의 메모리 다이(memory die)(24)를 처리하는 데 스텝 앤드 리피트 테이블(step and repeat table)과 같은 기관 위치 조절 메커니즘(34)이 또한 사용될 수 있다. 빔 스캐닝 분야의 당업자라면 미리 기반의 빔 편향 시스템의 장점을 이해할 것이나, 전술된 바와 같이, 기관 및/또는 레이저 헤드의 이동을 위한 X, Y 병진 단과 같은 기타 기관 위치조절 메커니즘으로의 대체도 본 발명의 실시예에 있어 실행가능한 대안이다. 예를 들어, 상기 기관 위치조절 메커니즘(34)은 제한된 이동범위에서 작동하는 매우 정밀한(1 미크론에 훨씬 못 미치는) X, Y, Z 위치조절 메커니즘을 포함할 수 있다. 이동 시스템은 보다 조악한 방식으로 레이저, 섬유 증폭기, 및 집속 서브시스템을 포함하는 레이저 처리 광학 시스템 구성 요소들을 병진시키는 데 사용될 수 있다. 바람직한 이동 시스템에 대한 세부 사항은 전술된 바 있는, 1998년 9월 18일자 출원된 "High Speed Precision Positioning Apparatus" 제하의 출원진행 중인 미국특허출원서 일련번호 09/156,895호에 더 개시되어 있다.

추가적인 음향광학 감쇠기(acousto-optic attenuator) 또는 포켈스 소자(pockels cell)의 형태인 시스템 광학 스위치(13)가 레이저 출력 빔에 레이저 공동을 지나 배치되어 있다. 시스템 광학 스위치(13)는 컴퓨터(33)의 제어 하에서, 요구되는 경우 이외에는 집속 시스템에 빔이 도달되는 것을 방지하고, 처리 빔이 요구되는 경우에는, 레이저 빔의 파워를 원하는 파워 레벨로 제어가능하게 감소시키는 역할을 한다. 기화 절차 중에 상기 파워 레벨은 시스템 및 프로세스의 작동 파라미터에 따라 총 레이저 출력의 10 퍼센트까지 낮아질 수 있다. 기화 절차 이전에 레이저 출력 빔이 표적 구조체와 정렬되는 정렬 절차 중에 상기 파워 레벨은 총 레이저 출력의 약 0.1 퍼센트일 수 있다. 포켈스 소자의 지연이 상당히 적지만, 사용의 용이함 때문에 음향광학 디바이스가 일반적으로 바람직하다.

작동 중에는, 웨이퍼(22)(또는 표적 또는 기관)의 위치가 컴퓨터(33)에 의해 제어된다. 통상적으로, 상대적인 이동은 실리콘 웨이퍼(22) 상의 메모리 다이(24)를 지나 실질적으로 일정한 속도로 이루어지지만, 웨이퍼의 스텝 앤드 리피트 이동도 가능하다. 시드 레이저(10)는 위치조절 메커니즘을 제어하는 타이밍 신호에 근거하여 타이밍 신호에 의해 제어된다. 시드 레이저(10)는 통상적으로 일정한 반복률로 작동하며 시스템 광학 스위치(13)에 의해 위치조절 메커니즘과 동기화(synchronized)된다.

도 7의 시스템 블록도에서 레이저 빔은 웨이퍼(22) 상에 집속된 것으로 도시된다. 도 9의 확대도에서, 레이저 빔은 메모리 다이(24)의 링크 소자(25) 상에 집속된 것으로 도시된다.

세밀한 링크 구조체를 처리함에 있어 스폿 크기 요건이 점점 더 까다로워지고 있다. 스폿 크기 요건은 통상적으로 1.5-4 미크론의 지름을 가지며, 피크 파워가 스폿의 중앙에 발생하고 가우시안 분포에 잘 순응하며, 에지에서는 더 낮은 파워가 발생하는 것이다. 회절 한계에 다다를수록, 약 1.1배 혹은 보다 전형적인 빔 품질 혹은 "m-표준 인자(m-squared factor)"를 가지는 탁월한 빔 품질이 요구된다. 이러한 배수 회절 한계 품질 기준은 레이저 빔 분석 분야의 당업자에게 널리 알려져 있다. 광학적 혼선(crosstalk) 및 표적 물질 영역 밖의 구성물체에 바람직하지 않은 조명(illumination)을 방지하기 위해 낮은 사이드로브(sidlobes) 또한 바람직하다.

링크 소자(25)는 스폿 크기보다 어느 정도 작으며, 따라서 정밀 위치조절 및 좋은 스폿 품질을 요구한다. 링크는, 예를 들어, 폭이 1 미크론이고 두께가 약 1/3 미크론일 수 있다. 여기에 예시된 경우에서, 링크는 금속으로 만들어졌으며, 측면 크기(폭) 및 두께가 레이저 파장보다 작다.

레이저 시스템 - 바람직한 경우

바람직한 실시예에서, 도 5의 레이저 시스템은 마스터 오실레이터, 파워 증폭기(master oscillator, power amplifier: MOPA) 구성을 이용한다. 이 시스템은 증폭기로 하여금 높은 파워 짧은 상승시간의 펄스를 생성하도록 하는 레이저 펄스를 생성한다. 빠른 상승시간, 짧은 펄스를 매우 낮은 에너지 레벨에서 생성하는 데 있어 시

드 레이저가 중요하다. 시스템에는 물질 처리를 위해 충분한 에너지를 생성하는 레이저 증폭기가 요구된다. 레이저 처리 응용에 적합한 출력 파장을 가진 고속 적외선 레이저 다이오드와 섬유 레이저 증폭기가 바람직하다. 이러한 시스템으로는 도 5의 하부에 나타난 바와 같이 바람직한 형상 및 속도의, 즉 빠른 상승시간 펄스, 상부에서 사각형, 및 빠른 하강시간의 레이저 펄스를 생성하는 레이저가 고려될 수 있다. 이러한 펄스 형상은, 이어서, 금속 반사성 감소, 디바이스 내로의 적은 에너지 확산 및 하부 산화물에 손상 없이 상부 산화물을 균열시키는, 바람직한 레이저-물질 상호작용 결과를 제공한다.

MOPA 구성은 매우 새로운 것이며, 펄스 버전은 최신 기술로 여겨진다. 변조되는 구동 파형에 대한 응답시 서브나노초 상승시간을 가진 레이저 다이오드는 이득 소자로 레이저 다이오드를 갖는 섬유 레이저 MOPA 구성의 개시점이다. 레이저 다이오드는 일반적으로 복수의 세로 모드(longitudinal modes)를 가지며, 서브시스템은 단일모드 작동을 위해 설정되거나 그렇지 않으면 출력에서 벌크 부품(bulk components)과 동조(tuned)되거나, 또는 대안적으로 시스템의 통합 섬유 격자(integrated fiber gratings)와 동조(tuned)될 수 있다.

예를 들어, 'New Focus Inc.'사의 제품 문헌에 설명된 'Littman-Metcalf' 격자 구성이 외부 공동 구성에 있는 것은 실현가능한 구성이다. 도 6b는 외부 공동 튜닝이 있는 단일 주파수 레이저의 개략도를 나타내며, 또한 다이오드 레이저 펌프에 의해 클래딩(cladding) 펌핑되는 광섬유를 포함한다.

기타 다이오드 레이저 대안에는 분산된 피드백 레이저(DFB) 및 분산된 브래그 레이저(DBL)가 포함되는데, 이는 통합 격자 및 도파관(waveguide) 구조체를 가지고, 일부의 경우 외부 제어를 통해 사용자가 이득, 위상(phase), 및 격자 필터를 독립적으로 제어할 수 있도록 한다. 도 6a에서는 커플러(coupler)(50)를 포함하는 DBL 구성을 볼 수 있다. 이는 유연한 모드 선택 및 튜닝 기능을 제공한다. 레이저 주파수는 그레이팅 및/또는 외부 공동의 미러, 또는, 대안적으로, 고정된 파장 또는 선택된 모드와 같은 벌크 부품의 조절에 의해 다수의 구성에서 동적으로 선택될 수 있다. 다이오드 중앙 파장이 선택될 수 있는 범위는 $1\mu\text{m}$ 이하에서 약 $1.3\text{--}1.5\mu\text{m}$ 이상으로서 전체적으로 감탄할 만하며, 상기 약 $1.3\text{--}1.5\mu\text{m}$ 이상의 파장은 섬유광 통신에 사용되는 것에 해당한다.

경우가 어떠하든, 물질 처리를 위해 선택된 레이저 파장에 있어서, 본 발명의 목적에 따른 중요 요소는 "시드" 레이저 다이오드의 상승시간 및 펄스 형상이다. 또한, 본 발명의 고려사항 한 가지는 시드 레이저 파장이 섬유광 증폭기가 높은 이득과 작은 파장 변화에 대해 낮은 민감도를 갖는 스펙트럼 밴드(spectral band)에 - 즉, 증폭기에서 충분한 파워로 탁월한 펄스 대 펄스(pulse-to-pulse) 파워 출력을 유지하는 "편평한(flat)" 반응 영역에 - 대응하도록 하는 것이다. 이테르븀-도핑(ytterbium-doped)된 섬유에 있어서, 이득은 실리콘의 흡수단인 $1.1\mu\text{m}$ 근방의 적당히 넓은 파장대(wavelength band)에서 높다. 통합 섬유 부품 혹은 물질에서의 추후 개발을 통하여, 표적 물질 특성, 시드 레이저 파장, 및 섬유 방사 스펙트럼에 대응하는데 더 많은 유연성을 제공하는 유용한 파장 영역을 연장할 수 있다. 예를 들어, *Photonics Spectra*, 1997년 8월, 92 페이지에는, $1.1\mu\text{m}$ 내지 $1.7\mu\text{m}$ 의 파장 범위의 최신식 섬유 레이저 개발에 대한 결과가 발표되어 있다.

전술한 '759호 특허에는 라만 시프터(Raman shifter)의 작동이 짧은 펄스 Q-스위칭 시스템을 사용한 구체적인 경우가 설명되어 있다. 요청되는 경우, 상기 디바이스는, 예를 들어 흡수 콘트라스트를 개선시키기 위한 바람직한 영역으로 출력 파장을 이동하도록 섬유 시스템의 출력 측에 놓일 수 있다. 전술한 '759호 특허에서 기술된 바와 같이 처리에 있어 펄스 폭 및 작은 스폿 크기 요건의 중요성을 인지함에 따라, 금속 링크 처리를 위한 바람직한 시스템의 통상적인 작동은 약 $1.06\mu\text{m}$ 이상의 범위에서, 예를 들면 $1.08\mu\text{m}$ 파장에서 이루어질 것이다.

시드 레이저의 출력은 레이저 물질 처리를 위해 증폭되어야 한다. 바람직한 섬유 광 레이저 증폭기는 약 30db의 이득을 제공할 것이다. 시드 레이저 출력은 섬유 레이저의 코어(core)에 직접적으로 연결되거나 또는 섬유 전달을 위해 빔을 쪼개는 벌크 광학기구와 함께 연결되어 있다. 양 기법이 처프 펄스 증폭을 사용하는 초고속 레이저 분야의 당업자에 의해 일상적으로 실시되고 있으나, 본 바람직한 실시예의 시스템은 그러한 초고속 시스템보다 훨씬 덜 복잡하다. 본 발명의 시스템에서는 시드 펄스가 증폭되며, 펄스 스트레칭 및 압축을 위한 광학기구가 요구되지 않는다. 증폭 시스템에 사용되는 섬유는 시드 레이저와 실질적으로 상이한 파장, 예를 들면 980nm 를 가진 다이오드 레이저로 클래딩 펌핑(cladding pump)되고, 벌크 광학 시스템 배열체에서 다이크로익(dichroic) 미러로 시드 및 펌핑 빔의 광학적 절연(isolation)을 가능하게 한다. 비용, 크기, 및 정렬의 용이함의 관점에서, 시드 레이저가 섬유 증폭기에 직접 연결되는 커플링 배열체를 이용하는 것이 바람직하다. 펌프 레이저는 섬유 레이저 시스템 설계 분야의 당업자에게 알려진 커플링 기법을 사용하여 높은 파워 다이오드 에너지를, 예를 들어 980nm 파장에서, 희토류(rare earth) 이테르븀(Yb)-도핑된 섬유의 클래딩 구조체 내로 방사한다.

저왜곡은 섬유 증폭기의 중요한 특성이다. 저왜곡은 출력 펄스 형상이 시드 레이저 펄스 형상과 실질적으로 대응하도록 하거나 가능하다면 추가로 펄스 에지 또는 균일한 파워 형상을 향상시키도록 한다. 섬유 광학 이득 매

체(gain medium)는 광학 시스템에 전달되고 표적 물질 상에 집속되는 도 5의 증폭기 펄스를 생성한다.

추가적인 이득을 위하여 원하는 경우 복수의 섬유 증폭기를 직렬연결(cascaded)시킬 수 있는데, 이는 왜곡이 적다는 전제 하에 그러하다. 순간적인 방출을 억제하기 위하여 중간 단(intermediate stages)의 출력에서 능동 광학 스위치 또는 수동 광분리기(optical isolator)를 제공하는 것이 바람직할 수 있다. 이러한 기법은 당업자에게 알려져 있으며, 예로서 미국특허 제5,400,350호 및 WO 98/92050호에 개시되어 있다.

어떤 경우에는 레이저 서브시스템에 추가된 펄스 슬라이서로 "꼬리"를 단축시켜 펄스 형상을 더 개선시키는 것이 바람직할 수 있다. 이는 포켈스 소자와 같은 전자광학 디바이스 또는 바람직하게는 낮은 지연 음향광학 변조기의 형태일 수 있다. 이러한 기법은 처리 펄스의 "펄스 지속 시간"의 소배수(small multiple)에서 손상의 위험이 발생할 때마다 펄스 꼬리 내의 에너지를 무시할 수 있는 레벨로 억제할 수 있다. 예를 들어, 미리 결정된 펄스 지속 시간의 1.5배 이내에 에너지가 20dB(100:1)만큼 감소되면, 실제로 볼 때 금속 링크 블로잉 응용에서 기관 손상의 위험이 없을 것이다. 보다 구체적으로, 금속 링크 블로잉 응용에서 사각형 펄스 형상에 8ns의 펄스 지속 시간이 선택되고 에너지가 12ns에서 20dB 줄었다면, 나머지 에너지는 Si 기관에 손상을 일으킬 수 있는 정도에 훨씬 못 미치는데, 이러한 손상은 레이저 펄스의 적용 이후 약 18ns 이상에서 실질적이다. 바람직한 작동모드에서, 낮은 지연, 높은 대역폭 펄스 슬라이서가 증폭기 펄스 지속 시간의 끝 근처에서 시동될 것이다. 증폭기 왜곡 및 변조기의 "턴온 지연(turn on delay)"의 영향은 펄스 지속 시간 중 시드 다이오드 레이저 파형의 형상을 변화시킴으로써 어느 정도 보상될 수 있다. 이에 따라 집속된 빔 내의 시간적 펄스 형상은 보상되고, 원하는 사각형 형상을 가진다.

또한, 현재 섬유 시스템은 처리 속도 보다 다소 빠른 약 20KHz의 펄스 반복률로 최적으로 작동한다. 출력 광학 스위치, 예를 들어 낮은 지연 음향광학 변조기는, 그 드라이버(driver)가 컴퓨터에 작동적으로 연결되어 처리를 위한 펄스를 선택한다. 이러한 방법으로 섬유 증폭기의, 그리고 그에 따른 처리 시스템의 신뢰도가 높다. 펄스 슬라이서와 출력 광학 스위치를 단일 모듈로 결합시키는 것이 경제적인 관점에서 유리하다는 것을 당업자라면 인식할 수 있을 것이다.

레이저 시스템-대안

바람직한 시드 레이저 및 섬유 증폭기 시스템에는 앞서 언급한 수많은 장점이 있다. 적합한 드라이버를 통한 레이저 다이오드의 전류 변조(current modulation)는 원하는 이득 스위칭 펄스 형상을 직접적으로 생성할 수 있는데, 상기 펄스 형상은 섬유 레이저 증폭기에 의해 낮은 왜곡으로 증폭된다. 이 방법이 본 발명의 실시예에 대한 가장 좋고 가장 효율적인 접근법으로 생각된다. 그러나 레이저 펄스 발생 및 형성 분야의 당업자는 다른 덜 효율적인 접근법이 사용될 수 있다는 것을 인지할 것이다. 예를 들어, 변조기 반응시간이 충분히 빠르다는 전제 하에 포켈스 소자 또는 광학 스위치를 구동하기 위하여 다양한 제어 기능을 사용함으로써 상대적으로 편평한 펄스를 획득하기 위하여, 4,483,005호의 내용을 벗어나는 Q-스위칭 시스템 변경이 가능하다. 펄스 폭을 구현하기 위한 현대 기법에는 예를 들면 Nd:YAG Q-스위칭 레이저의 기존 유리를 벌크 또는 결정(crystal) 형태의 GaAs로 대체하는 변경 출력 커플러(modified output couplers)의 사용이 포함된다. GaAs 출력 커플러를 가진 Nd:YAG 레이저의 수동 Q-스위칭에 있어, 지속 시간이 수 피코초에서 수 나노초까지인 Q-스위칭 펄스가 "광학 엔지니어링(OPTICAL ENGINEERING), 38 (11), 1785-88, 1999년 11월"에 발표된 바 있다.

레이저 프로세싱 스텝 및 결과

금속의 링크 소자(25)는 예를 들면 0.3-0.5 미크론 두께일 수 있는 실리콘 디옥사이드 절연층(32)에 의해 실리콘 기판(30) 상에 지지된다. 실리콘 디옥사이드는 링크 위로 연장되며, 흔히 추가적인 질화규소 절연층이 SiO₂ 층 위에 존재한다. 링크 블로잉 기법에서, 레이저 빔은 각각의 링크에 조사되어 상기 링크를 용융점까지 가열한다. 가열 중, 상부(overlying)의 패시베이션층(passivation layers)의 수용 효과에 의하여 금속이 기화되는 것이 방지된다. 짧은 펄스의 지속 시간 중, 레이저 빔은 절연체가 파열될 정도로 금속이 팽창할 때까지 점진적으로 금속을 가열한다. 이 시점에서, 용융된 물질은 너무나 높은 압력 하에 있어서, 순간적으로 기화하고 파열 홀을 통해 깨끗하게 날라간다.

전술한 '759호 특허에 개시된 바와 같이, 작은 금속 링크에 사용되는 매우 작은 스폿 크기로는, 빔이 표적 물질을 강타하는 부분으로부터 열전도에 의해 본질적으로 지수 기울기(exponential gradient)로 퍼지는 것으로 간주될 수 있다. 8 나노초의, 바람직하게는 실질적으로 그보다 적은 펄스에서 링크를 증발시키기에 충분한 에너지가 전달될 정도로 높은 피크 빔 파워가 사용됨으로써, 도전 성분의 열전달이 매우 얕음에도 불구하고, 금속 링크 및 하부의 산화물층으로 실질적으로 수용될 수 있어, 전도에 기인하는 실리콘 내의 온도상승 및 빔 흡수에 기인

하는 실리콘 내의 온도상승이 누적적으로, 허용될 수 없는 실리콘 손상이 발생하는 온도 임계치 이하로 유지될 수 있다.

더 나아가, 전술한 '759호 특허는 링크 및 인접 구조체의 열전달 특성에 관한 여러 가지 중요한 측면을 기술한다. 열 모델(thermal model)은, 대표적인 크기에 대하여 Si 기판으로의 열전도 및 이에 따른 손상을 방지하는데 있어 좁은 펄스 폭, 예를 들면 3-10ns이 바람직하며 이는 표적 물질의 두께에 의존하는 것으로 예측된다. 그러나 링크에 이웃하는 다른 구조체가 또한 레이저 처리 결과의 품질에 영향을 미칠 수 있음을 인지하는 것이 지극히 중요한데, 이는 다음 실험결과가 지적하는 바와 같다.

이득 스위칭 사각형 펄스 형상의 장점은 실험결과 및 컴퓨터 시뮬레이션(유한요소분석) 모두에서 검증되었다. 링크 블로잉에 사용된 레이저에 대한 사양은 아래와 같다:

- ▶ 레이저 파장 1.083 마이크로
- ▶ 최고 레이저 에너지 10 마이크로줄
- ▶ 펄스 폭 7ns (FWHM, 사각형 펄스)
- ▶ 반복률 10KHz (70KHz 레이저 속도)
- ▶ 공간적 프로파일 가우시안, TEM-00, $M^2 = 1.02$ (시간 회절 제한)
- ▶ 분극 분극화되지 않음
- ▶ 펄스 상승시간 ~0.5ns

선택된 레이저는 980nm 펌프 다이오드 및 7 마이크로 지름 단일모드 섬유를 사용하는 MOPA 구성 내의 이트레븀, 클래딩 펌프(cladding pumped) 섬유 레이저였다.

상기 특정된 레이저로 최근 메모리 디바이스에 대해 수행한 실험결과는 표준 Q-스위칭 레이저 시스템과 비교할 때 우수한 성능을 나타내었다. 앞서 개시된 바와 같이, 그 이유는 세 가지이다:

1. 1.083 파장이 기판 손상을 방지하기에 충분히 길다 - 1.047 μm 파장에 비해 1.083 μm 에서 흡수가 약 10 배 적게 발생한다.
2. 빠르게 상승하는 펄스는 상부의 산화물층에 열충격을 제공하는데, 이는 링크 제거를 수월하게 한다.
3. 빠르게 상승하는 펄스의 높은 파워 밀도는 링크 반사성을 감소시키고, 이는 효율적인 에너지 커플링을 가능하게 한다.

이러한 특성은 Q-스위칭 시스템에서 관찰되는 상호작용과 현저한 차이를 제공한다. 더욱이, 컴퓨터 유한요소모델을 사용하여 다양한 물질 두께 및 링크 크기에 대해 빠르게 상승하는 펄스의 영향을 시뮬레이션(simulate)하였다. 그 결과는 대략적으로 사각형 분포를 가진 가파른 상승시간 펄스의 사용에 따라 링크 블로잉 결과가 개선되었음을 독립적으로 입증하였다. 참조번호 3호의 저자 번스타인(Bernstein)에 의해 발생된 컴퓨터 모델의 결과는 도 11a 및 도 11b에 나타나 있다. 다음의 표 A 및 표 B는 각각 도 11a 및 도 11b의 그래프와 연관된다:

표 A

모델 1 @ 0.7 uJ	사각형 펄스	느린 상승 펄스
제1 균열	929K @ 1.88ns	978K @ 2.40ns
제2 균열	1180K @ 2.93ns	1380K @ 3.45ns
제3 균열	1400K @ 2.05ns	no
제4 균열	1520K @ 4.73ns	no

Al 두께: 0.8 μm Al 폭: 0.8 μm
 SiO₂: 0.1 μm Si₃N₄: 0.4 μm
 레이저 에너지: 0.7uJ

표 B

모델 2 @ 0.7 uJ	사각형 펄스	느린 상승 펄스
제1 균열	974K @ 2.03ns	1050K @ 2.55ns
제2 균열	no	no
제3 균열	no	no
제4 균열	no	no

Al 두께: 0.8 μm Al 폭: 0.8 μm

SiO₂: 0.6 μm

Si₃N₄: 0.6 μm

레이저 에너지: 0.7uJ

스트레스 및 온도 이력은, 서브나노초 상승시간의, 빠르게 상승하는 펄스의 중요성을 확실하게 지적해준다. 또한, 상당한 펄스 에너지가 존재하는 경우 제거(ablation)가 완료되고 수 나노초 후에, 예를 들어 15ns에, Si이 손상될 수 있음도 알려져 있다. 높은 감쇠(extinction)를 갖는 빠른 하강시간 또한 중요하다.

산업상 이용 가능성

<166>

본 발명에 따르면, 파장의 적절한 선택 및 펄스 지속 시간 제한에 의해, 빠른 붕괴를 가지는 상응하는 사각형 펄스와 함께 실리콘 기판이 상대적으로 차갑게 유지된다. 이 예에서의 레이저 파장은 실리콘의 실온 흡수단(약 1.1 μm)보다 약간 작다. 여기에 발표된 결과에는 기판 손상이 나타나지 않았지만, 원하는 경우 개선된 마진이 가능함을 유의해야 할 것이다. 예를 들어, 출력 파장을 흡수단 너머로 이동하는 데에 라만 시프터가 활용될 수 있다. 대안적으로, MOPA 구성을 위해 또다른 다이오드 레이저 파장이 잠재적으로 상용화될 수 있다. 이러한 파장 선택 및 시프팅 기법은 다른 레이저 처리 및 마이크로기계 가공 응용에서 유용하게 이용될 수 있다. 어떠한 경우든, 가열을 제한함으로써, 실리콘이 그 흡수단을 적외선 안으로 이동하고 실리콘 손상이 발생할 수 있는 열 발산 상태에 도달하지 않는 것을 보장할 수 있다.

금속 링크를 깨끗하게 블로잉하도록 빠른 펄스 발생을 위한 MOPA 구성의 구체적인 실시예가 펄스 형성의 예로 사용되며 한정보다는 예시를 위해 제공된다. 마이크로기계 가공, 마킹, 스크라이빙(scribing) 등에서의 기타 응용 또한 정밀하고 빠른 펄스 제어로부터 장점을 얻을 수 있을 것이다. 예를 들어, 어느 표면 상의 혹은 그 안의 구체적인 구성물을 만들거나 제거하는 목적으로, 시드 다이오드가 "톱니(sawtooth)" 파형 또는 기타 비Q-스위칭 파형으로 용이하게 변조될 수 있을 것이다. 마찬가지로, 레이저 다이오드의 빠른 반응 때문에, 빠르게 연속하여 가변 폭의, 짧은 펄스 시퀀스(sequence)를 발생하는 것이 가능하다. 레이저 처리 분야의 당업자는 본 명세서에 기재된 레이저 시스템의 폭넓은 응용례를 인식할 것이다. 본 발명의 범위는 아래의 청구항에 의해 나타나며, 다른 방식으로 제한되어서는 안 된다.

<167>

삭제

도면의 간단한 설명

<97>

도 1a는 기화된 금속의 팽창에 의해 반도체의 최상부 표면층에만 스트레스 균열이 발생한 것을 개략적으로 나타낸 도면;

도 1b는 기화된 금속의 팽창에 의해 반도체의 최상부 및 최하부 표면층에 스트레스 균열이 발생한 것을 개략적으로 나타낸 도면;

도 1c는 가우시안 형상, 즉 가우시안과 지수형 꼬리(exponential tail)의 결합 형태를 닮고, "Q-스위칭 펄스 포락선"으로 지칭되는, 통상적인 종래기술의 레이저 펄스를 나타낸 도면;

도 2는 동일한 전체 에너지의 Q-스위칭형과 비교되었을 때 금속 링크를 처리하기 위한 본 발명의 바람직한 펄스 형상을 나타낸 도면;

도 3a 및 도 3b는 변경된 펄스를 생성하기 위하여 차후에 근접하게 이격된 두 짧은 펄스를 결합하여 변경된 펄

스를 만드는 방법을 나타낸 도면;

도 4a 및 도 4b는 일반적인 펄스 형상의 펄스 에너지 엔클로저(energy enclosure)를 개선하기 위한 "펄스 슬라이싱(pulse slicing)"의 결과를 나타낸 도면;

도 5는 레이저 물질 처리를 위한 바람직한 레이저 시스템의 일반적인 블록도;

도 6a는 반도체 시드 레이저로서 분산된 브래그 레이저를 가진 MOPA 레이저 시스템의 한 유형의 개략도로서, 이는 단일모드 레이저 및 바람직한 펄스 형상을 생성하는 섬유 광증폭기의 개략도;

도 6b는 외부 공동 튜닝(external cavity tuning) 및 섬유 광 증폭기를 가진 단일 주파수 레이저의 개략도;

도 7은 바람직한 시스템 광학 스위치 및 선택적인 시프터(shifter)를 포함하는 본 발명에 따른 또 다른 레이저 시스템의 블록 개념도;

도 8은 도 9의 실리콘 기판 및 실리콘 디옥사이드층 사이의 접촉면(interface)에서의 온도를 실리콘 디옥사이드층의 두께의 함수로 나타낸 그래프;

도 9는 메모리 링크가 그 기판 내에 있는 상태를 나타내는 사시도;

도 10은 회절 제한된(diffraction-limited) 빔허리(beam waist)와 비교하여 링크의 미세 크기를 강조하여 나타낸 금속 링크를 수용하는 집속면(focal plane) 상의 작은 스폿에 집속되는 가우시안 레이저 빔의 도면;

도 11a 및 도 11b는 온도 및 스트레스의 시간 이력(time history)이 금속 링크 처리를 위하여 사용되는 Q-스위칭 펄스 및 사각형 펄스에 대해 그래프 안에 표시된 컴퓨터 유한요소분석(finite element analysis) 시뮬레이션의 결과를 나타내는 그래프이다.

<98> 삭제

<99> 삭제

<100> 삭제

<101> 삭제

<102> 삭제

<103> 삭제

<104> 삭제

<105> 삭제

<106> 삭제

<107> 삭제

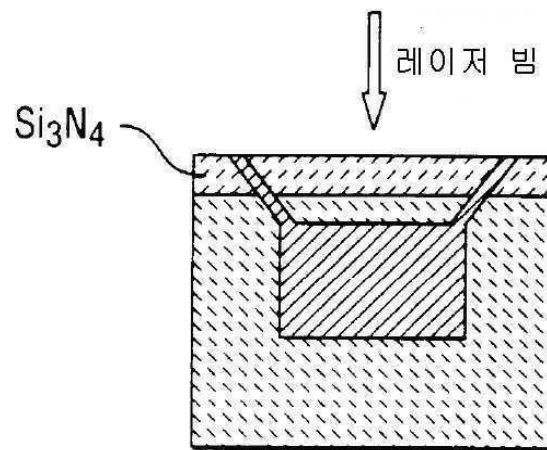
<108> 삭제

<109> 삭제

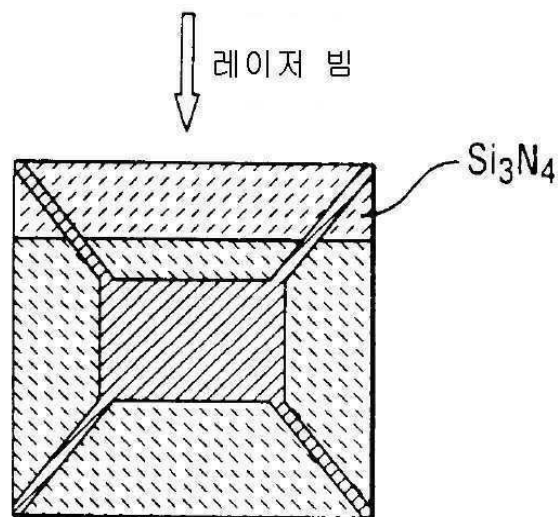
<110> 삭제

도면

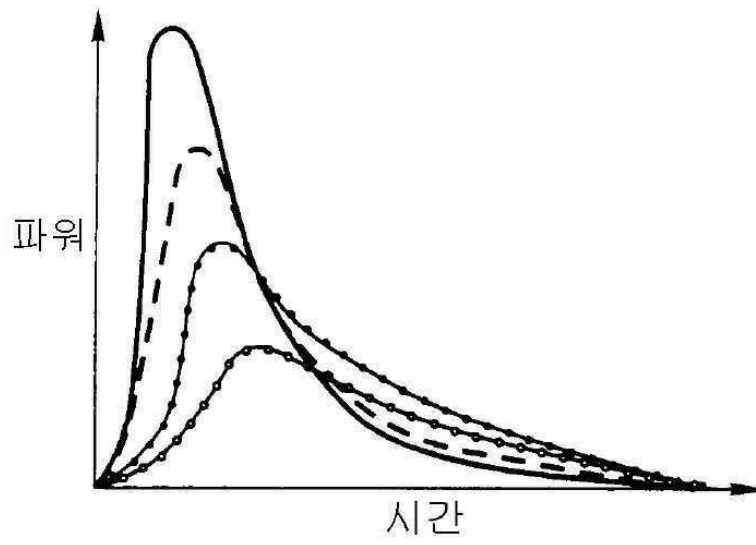
도면1a



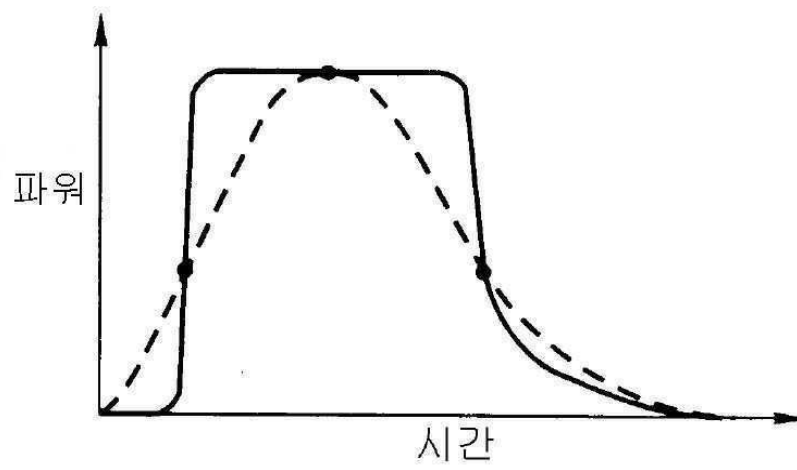
도면1b



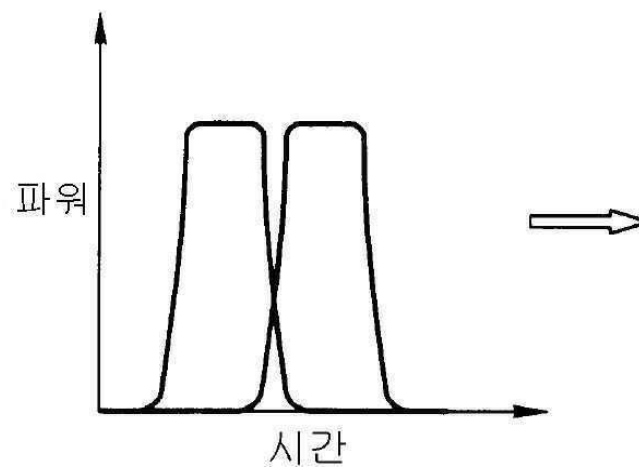
도면1c



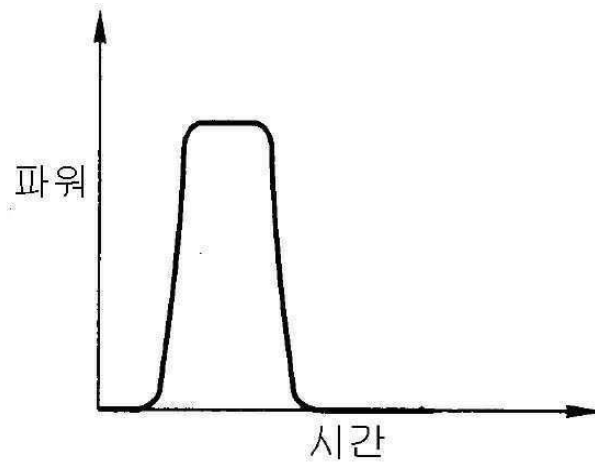
도면2



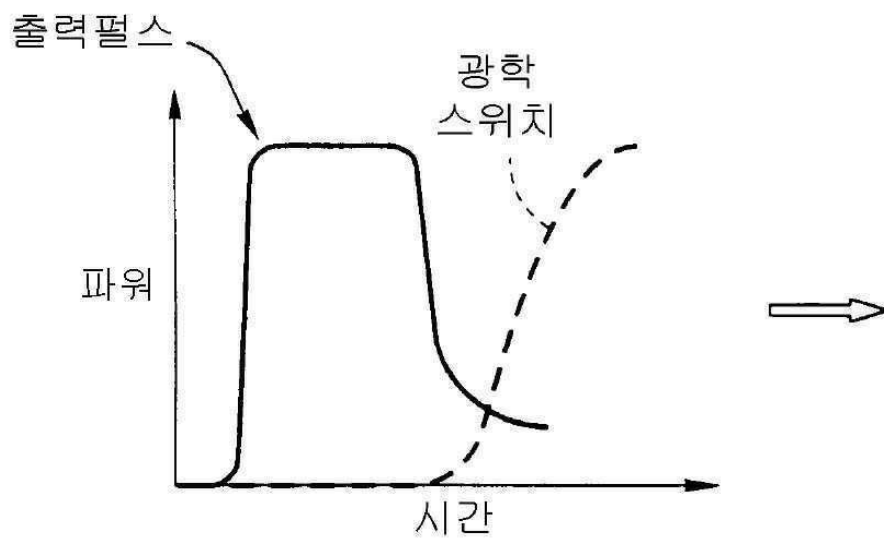
도면3a



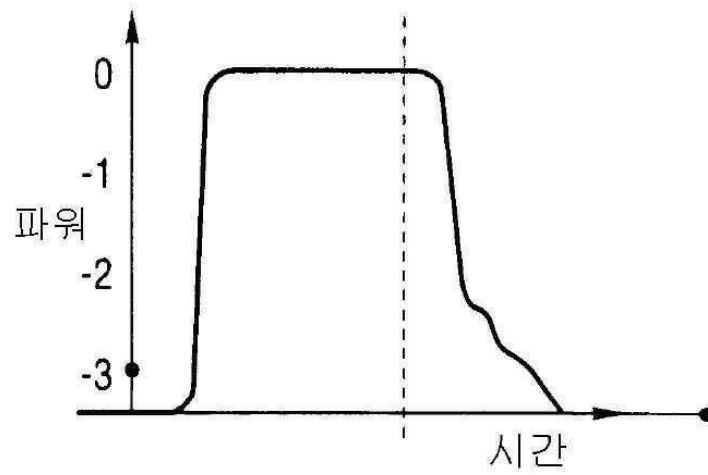
도면3b



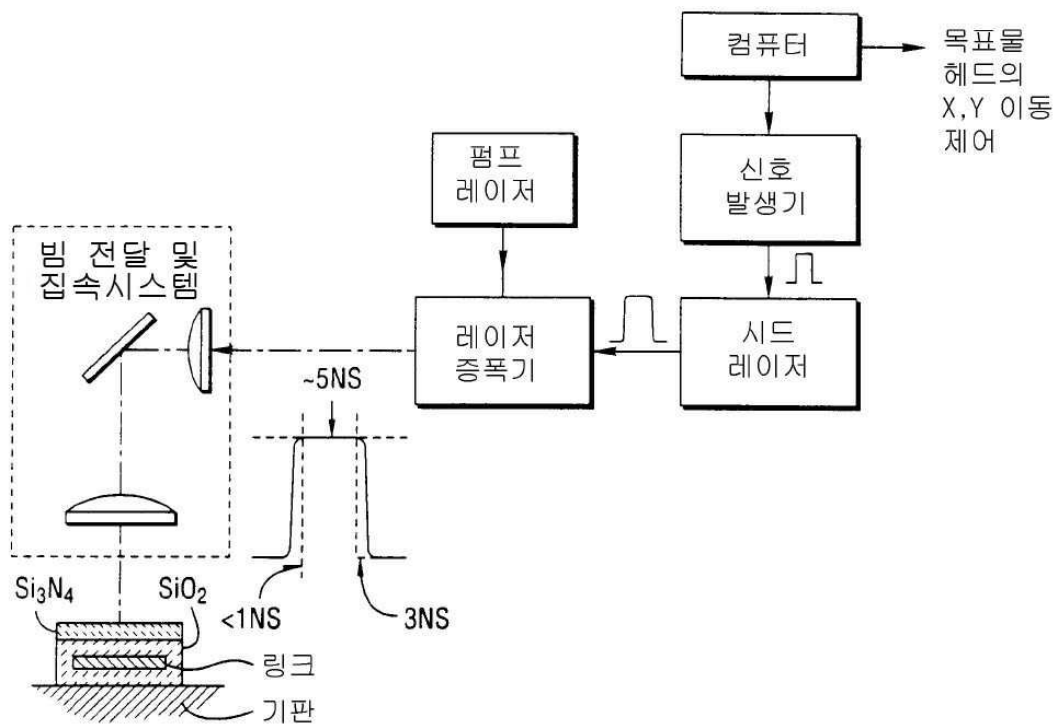
도면4a



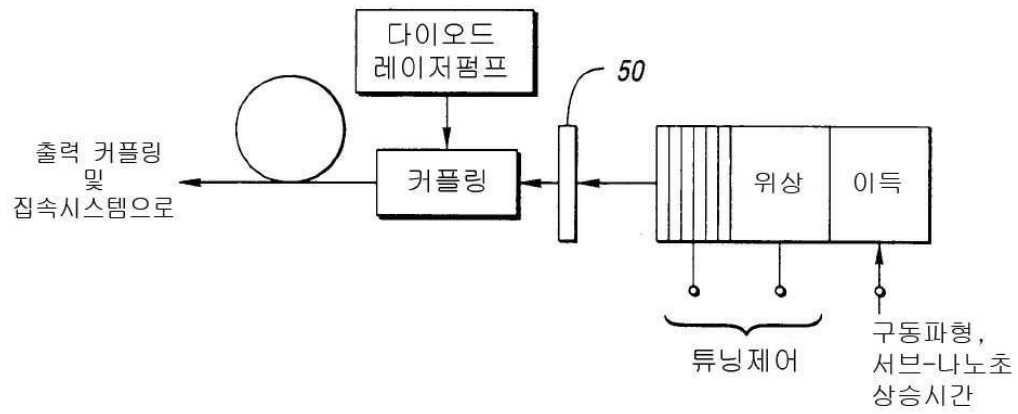
도면4b



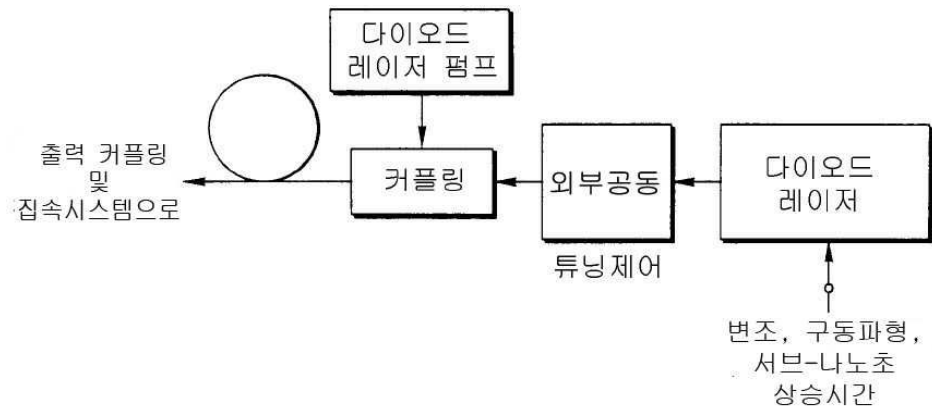
도면5



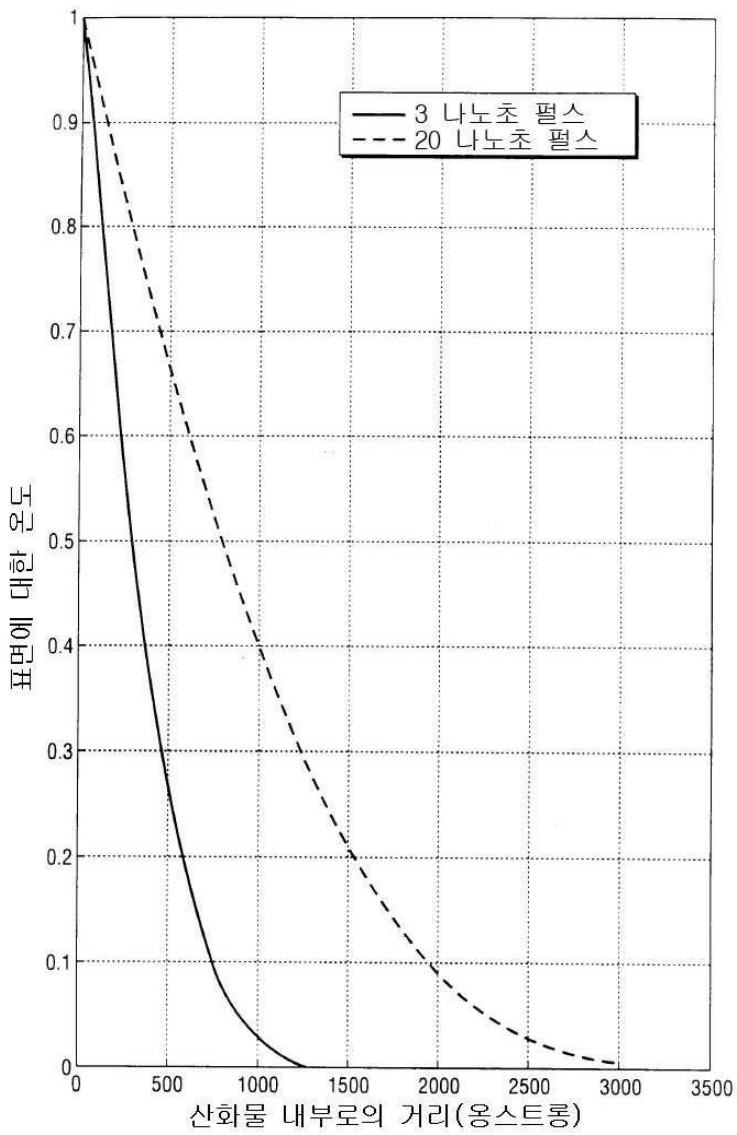
도면6a



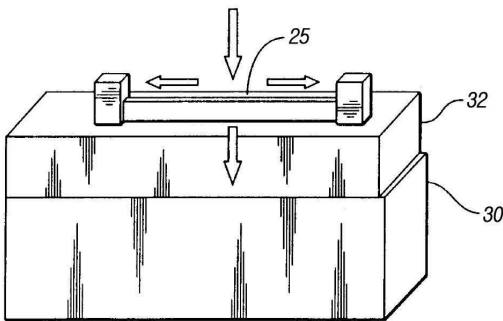
도면6b



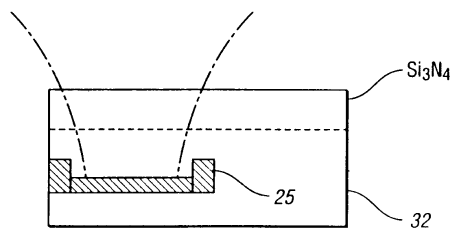
도면8



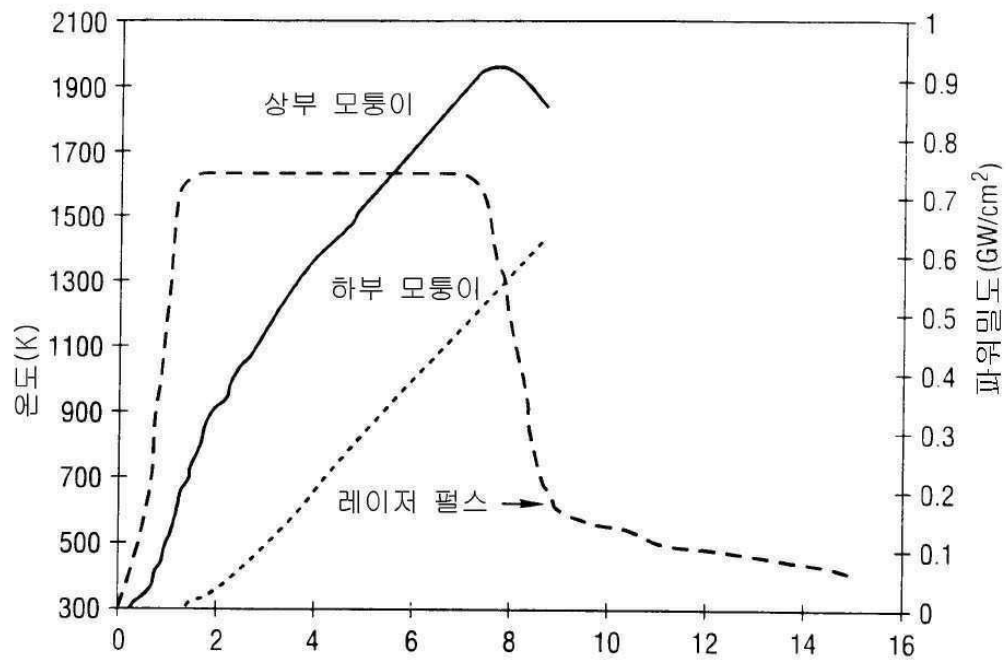
도면9



도면10



도면11a



도면11b

