



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년10월16일
(11) 등록번호 10-0863976
(24) 등록일자 2008년10월10일

(51) Int. Cl.

H01S 3/22 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2003-7013203

(22) 출원일자 2003년10월09일

심사청구일자 2007년03월26일

번역문제출일자 2003년10월09일

(65) 공개번호 10-2003-0088128

(43) 공개일자 2003년11월17일

(86) 국제출원번호 PCT/US2002/009625

국제출원일자 2002년03월29일

(87) 국제공개번호 WO 2002/82601

국제공개일자 2002년10월17일

(30) 우선권주장

09/829,475 2001년04월09일 미국(US)

(뒷면에 계속)

(56) 선행기술조사문헌

US6151346 A

US5802084 A

US6154470 A

전체 청구항 수 : 총 11 항

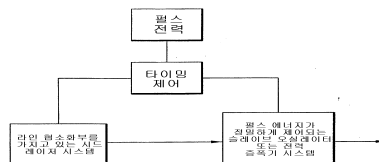
심사관 : 박정식

(54) 파장이 제어되는 주입 시당된 F2 레이저

(57) 요약

본 발명은 2개의 레이저 서브시스템을 가지고 있는 협대역 레이저 시스템을 제공한다. 제1 레이저 서브시스템 (시드 레이저)은 협대역 펄싱된 출력 빔을 생성하도록 협대역 펄싱된 시드 빔이 증폭되는 제2 레이저 서브시스템 (슬레이브 오실레이터 또는 전력 증폭기)을 주입 시당하는데 사용되는 초협대역 펄싱된 출력 빔을 제공한다. 펄스 전원(펄스 전력)은 방전이 적합하게 동기화되도록 2개의 레이저 서브시스템내의 방전을 정밀하게 타이밍한다. 레이저 가스는 헬륨, 네온, 또는 이들의 조합으로 구성된 완충 가스를 갖는 약 1% 미만의 부분 압력에서 F₂를 포함한다. 출력 빔의 센터 파장의 제어는 제1 레이저 서브시스템에서, 전체 레이저 가스 압력, 헬륨 또는 네온의 상대적 농도, F₂ 부분 압력, 레이저 가스 온도, 방전 전압 및 펄스 에너지의 파라미터중 하나 이상을 조정함으로써 제공된다.

대표도



(72) 발명자

파틀로윌리엄엔.

미국캘리포니아92064포웨이페드리자드라이브2634

얼쇼프알렉산더아이.

미국캘리포니아92127

샌디에고메도우플라워플레이스11312

온켈스에케하드디.

미국캘리포니아92128샌디에고카미니토리오네12008

오중훈

미국캘리포니아92592테메큘라존슨드라이브44703

(30) 우선권주장

09/848,043 2001년05월03일 미국(US)

09/854,097 2001년05월11일 미국(US)

09/855,310 2001년05월14일 미국(US)

특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

주입 시딩된 협대역 가스 방전 펄스 레이저 시스템에 있어서,

A) 제1 방전 레이저 서브시스템으로서;

1) 레이저 가스 및, 대역폭을 가지고 있는 제1 레이저 빔을 생성하기 위해 상기 레이저 가스내에 전기 방전으로 이득 매체가 생성되는 제1 방전 영역을 형성하는 제1 세트의 전극을 포함하는 제1 레이저 챔버, 및

2) 협대역 제1 레이저 서브시스템 출력 빔을 생성하기 위해 상기 제1 레이저 빔의 대역폭을 감소시키는 라인 협소화 디바이스,

를 구비하는 제1 방전 레이저 서브시스템;

B) 순환 레이저 가스 및, 상기 제1 방전 레이저 서브시스템 출력 빔을 증폭하기 위해 전기 방전으로 이득 매체가 생성되는 제2 방전 영역을 형성하는 제2 세트의 전극을 포함하는 제2 레이저 챔버를 구비하는 제2 방전 레이저 서브시스템;

C) 상기 레이저 시스템의 출력 빔의 센터라인 파장을 제어하는 센터라인 파장 제어 수단; 및

D) 펄스 전력 시스템으로서;

1) 펄스 변압기 시스템,

a) 제1 펄스 변압기,

i) 각각 1차 권선을 가지고 있는 다수의 코어(N)를 형성하는 제1 복수의 변압기 코어,

ii) 상기 제1 복수의 변압기 코어를 모두 통과하는 적어도 하나의 제1의 2차 도체,

b) 제2 펄스 변압기,

i) 각각 1차 권선을 가지고 있는 다수의 코어(M)를 형성하는 제2 복수의 변압기 코어,

ii) 상기 제2 복수의 변압기 코어를 모두 통과하는 적어도 하나의 제2의 2차 도체,

2) 고전압 전기 펄스를 생성하는 고전압 펄스 전원,

3) 상기 고전압 전기 펄스의 지속시간보다 더 짧은 지속시간의 압축된 고전압 펄스를 생성시키기 위해 상기 고전압 전기 펄스를 압축하는 상류 전기 펄스 압축 회로로서, 상기 제1의 2차 도체의 출력부에서 제1 초고압 펄스를 생성시키고, 그리고 상기 제2의 2차 도체의 출력부에 2차 초고압 펄스를 생성시키도록,

a) 상기 제1 복수의 변압기 코어의 각각의 상기 1차 권선에, 그리고

b) 상기 제2 복수의 변압기 코어의 각각의 상기 1차 권선에,

병렬로 상기 압축된 고전압 펄스를 인가하는, 상기 상류 전기 펄스 압축 회로,

4) 상기 제1 방전 영역내에 방전을 일으키기 위해 상기 제1 세트의 전극에 상기 제1 초고압 펄스를 인가하는 제1 하류 전기 회로, 및

5) 상기 제2 방전 영역내에 방전을 일으키기 위해 펄싱하도록 상기 제2 세트의 전극에 상기 제2 초고압 펄스를 인가하는 제2 하류 전기 회로,

를 포함하는 펄스 전력 시스템;으로 이루어져있고,

상기 제1 방전 레이저 서브시스템 출력 빔은 증폭된 레이저 빔을 상기 제2 방전 레이저 서브시스템의 출력부에 서 생성시키기 위해 상기 제2 방전 영역에서 증폭되는 것을 특징으로 하는 레이저 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서, N은 M과 동일한 것을 특징으로 하는 레이저 시스템.

청구항 6

제4항에 있어서, N은 M과 동일하지 않은 것을 특징으로 하는 레이저 시스템.

청구항 7

제4항에 있어서, N과 M의 수는 각각 23인 것을 특징으로 하는 레이저 시스템.

청구항 8

제4항에 있어서, 상기 적어도 하나의 제1의 2차 도체는 단일 도체이고 상기 적어도 하나의 제2의 2차 도체는 단일 도체인 것을 특징으로 하는 레이저 시스템.

청구항 9

제4항에 있어서, 상기 적어도 하나의 제1의 2차 도체는 복수의 동축 도체이고 상기 적어도 하나의 2차 도체는 복수의 동축 도체인 것을 특징으로 하는 레이저 시스템.

청구항 10

제4항에 있어서, 초고압 제1 펄스 및 초고압 제2 펄스중 하나를 다른 하나에 대하여 지연시키는 펄스 지연 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 펄스 지연 수단은 신장된 도전 경로를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 시스템.

청구항 12

제10항에 있어서, 상기 지연 수단은 포화가능한 인디케이터상에 조정가능한 바이어스를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 시스템.

청구항 13

제4항에 있어서, 조정가능한 포워드 바이어스로 필터링되는 포화가능한 인덕터를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 시스템.

청구항 14

제4항에 있어서, 지터를 검출하는 수단 및 지터 제어 피드백 루프를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 시스템.

명세서

기술분야

<1> 본 발명은 레이저에 관한 것이고 특히 집적 회로 리소그래피에 유용한 주입 시딩된 레이저에 관한 것이다.

배경기술

<2> 종래 리소그래피 레이저

<3> KrF 엑시머 레이저는 집적회로 리소그래피용 현재의 최신 인공 광원이다. 이러한 레이저는 미국특허 제 4,959,840호, 5,991,324호 및 6,128,323호에 개시되어 있다. 레이저는 약 248nm의 파장에서 동작한다. 180nm 만큼 작은 치수의 KrF 레이저 집적회로가 만들어질 수 있다. 더욱 미세한 치수는 약 193nm에서 동작하는 ArF 레이저나 약 157nm에서 동작하는 F₂ 레이저에서 제공될 수 있다. 이러한 레이저 즉, KrF 레이저, ArF 레이저 및 F₂ 레이저는 매우 비슷하며, 사실상 KrF 레이저를 만드는데 사용된 동일한 기본 장치가, 약간 상이한 파장을 수용하도록 단순히 가스 농도를 변화시키고, 방전 전압을 증가시키고, 그리고 제어 및 계측을 수정함으로써 ArF 레이저나 F₂ 레이저를 발생시키는데 사용될 수 있다.

<4> 집적 회로 제조에 사용되는 일반적인 종래의 KrF 엑시머 레이저가 도 1, 도 1a 및 도 1b에 도시되어 있다. 이러한 종래 레이저의 레이저 챔버의 단면은 도 1b에 도시된다. 도 1a에 도시된 바와 같이, 고전압전원(3)에 의해 동력화된 펄스 전력 시스템(2)은 방전 챔버(8)에 위치한 전극(6)에 전기 펄스를 공급한다. 전형적인 최신식의 리소그래피 레이저는 펄스당 약 10mJ의 펄스 에너지로 약 1000 내지 2000Hz의 펄스율에서 동작한다. 약 3기압에서 레이저 가스(KrF 레이저용으로, 약 0.1% 플루오르, 1.3% 크립톤 및 나머지는 완충가스로서 기능을 하는 네온)는 초당 약 1000 내지 2000cm의 속도로 전극간 공간을 통해 순환된다. 이것은 레이저 방전 챔버에 위치한 접선 블로워(10)에 의해 이루어진다. 레이저 가스들은 챔버내에 위치한 열교환기(11) 및 챔버밖에 장착된 냉각판(도시되지 않음)으로 냉각된다. 엑시머 레이저의 보통 대역폭은 라인 협소화 모듈(18; 종종, 라인 협소화 패키지 또는 LNP로 불린다)에 의해 협소화된다. 상용 엑시머 레이저 시스템은 일반적으로 나머지 시스템에 지장을 주는 일 없이 신속히 대체될 수 있는 수개의 모듈로 이루어져 있다. 주요 모듈은 다음과 같다:

<5> 레이저 챔버 모듈,

<6> 고전압 전원 모듈,

<7> 고전압 압축 헤드 모듈,

<8> 정류기 모듈,

<9> 출력 커플러 모듈,

<10> 라인 협소화 모듈,

<11> 파장계 모듈,

<12> 컴퓨터 제어 모듈,

<13> 가스 제어 모듈,

<14> 냉각수 모듈.

<15> 전극(6)은 캐소드(6A) 및 애노드(6B)로 구성된다. 종래 실시예의 애노드(6B)는 도 1b에 단면으로 도시된 애노드 지지바(44)에 의해 지지된다. 흐름은 반시계방향이다. 애노드 지지바(44)의 하나의 코너 및 하나의 예지는 공기를 블로워(10)로부터 전극(6A 및 6B) 사이를 흐르도록 하는 가이드 베인(guide vane)으로 작용한다. 종래 레이저에서 가이드 베인은 46, 48 및 50으로 도시되어 있다. 피포레이팅된 전류 복귀 플레이트(52)는 애노드(6B)가 챔버(8)의 금속구조에 접지되도록 돕는다. 상기 플레이트는 레이저 가스 흐름경로에 큰 구멍(도 3에 도시되어 있지 않음)으로 피포레이팅되어 있어 전류 복귀 플레이트는 실제로 가스 흐름에 영향을 주지 않는다. 개별 커패시터(19)의 어레이로 구성된 피킹 커패시터 뱅크는 펄스 전력 시스템(2)에 의한 각 펄스 이전에 충전된다. 피킹 커패시터상에 전압이 상승하는 동안, 하나 또는 두 개의 프리이온라이저(56)는 전극(6A 및 6B) 사이의 레이징 가스를 약하게 이온화하고, 커패시터(19)의 충전으로서 약 16,000볼트에 도달하며, 전극을 가로지르는 방전은 엑시머 레이저 펄스를 만들기 위해 발생된다. 각각의 펄스에 이어, 블로워(10)에 의해 만들어진 밀리초당 약 1 내지 2cm의 전극간 가스흐름은 1/2 내지 1밀리초 후에 발생하는 다음 펄스를 위한 시간에, 전극 사이에 신선한 레이저 가스를 제공하는데 충분하다.

<16> 일반적인 리소그래피 엑시머 레이저에서, 피드백 제어 시스템은 각 펄스의 출력 레이저 에너지를 측정하고, 원하는 펄스 에너지로부터 편차 정도를 결정한 후, 전원전압을 조정하기 위해 신호를 컨트롤러로 전송하여, 연속적인 펄스의 에너지가 소망의 에너지에 가까워진다. 보통, 이러한 엑시머 레이저는 예정된 유지보수를 위한 짧은 운전정지 기간 이외에는 수개월동안 주당 7일 매일 24시간 연속해서 동작될 필요가 있다.

<17>

주입 시딩

<18>

(엑시머 레이저 시스템을 포함하는) 가스 방전 레이저 시스템의 대역폭을 감소시키는 주지된 기술은 이득 매체 내로 협대역 "시드" 빔의 주입 단계를 포함한다. 이러한 일 시스템에서, "시드 레이저" 또는 "마스터 오실레이터"로 불리는 레이저는 초협대역 레이저 빔을 제공하도록 설계되어 있고 이 레이저 빔은 제2 레이저에서 시드 빔으로 사용된다. 제2 레이저가 전력 증폭기로서 기능하는 경우, 시스템은 보통 마스터 오실레이터, 전력 증폭기(MOPA) 시스템으로 불린다. 제2 레이저 자체가 공진 캐비티를 가지고 있다면, 시스템은 보통 주입 시딩된 오실레이터(ISO)로 불리고 시드 레이저는 보통 마스터 오실레이터로 불리고 하류(downstream) 레이저는 보통 전력 오실레이터로 불린다.

<19>

지터 문제

<20>

상기 언급된 유형의 가스 방전 레이저에서, 전기 방전의 지속시간이 보통 약 20 내지 50 ns로 (10억분의 20 내지 50 초)로, 매우 짧다. 또한, 방전에 의해 생성되는 밀도 반전은 극도로 빠르게 제거되어 밀도 반전은 사실상 방전 동안에만 존재한다. 이러한 두개의 레이저 시스템에서, 하류 레이저에서의 밀도는 상류(upstream) 레이저로부터의 빔이 제2 레이저에 도달할 때 반전되어야 한다. 따라서, 이 2개의 레이저의 방전은 레이저 시스템의 적합한 동작에 대해 적합하게 동기화되어야 한다. 이것은 전형적인 펄스 전력 시스템내에 방전의 타이밍의 변동의 다수의 잠재적인 원인이 존재하기 때문에 문제가 될 수 있다. 타이밍 변동의 가장 중요한 요인중 2가지는 펄스 전력 회로에서 사용되는 포화가능한 인덕터에서의 전압 변동 및 온도 변화이다. 펄스 전력 충전 전압 및 인덕터 온도를 모니터링하여 측정 및 지연 회로로부터 이 데이터를 사용하여 원하는 값으로 방전의 타이밍을 정규화하는 방법이 알려져 있다. 일 종래 기술의 예가 여기에 언급되어 통합된 미국 특허 제 6,016,325 호에 개시되어 있다. 종래기술에서 타이밍 에러가 감소될 수는 있지만 제거될 수는 없었다. 최종적으로 나타난 이러한 에러를 "지터"라고 부른다.

<21>

레이저 파장 및 대역폭

<22>

전형적인 KrF 레이저는 약 248nm에서 센터링된 약 300pm(FWHM)의 자연 대역폭을 가지고 있고, 리소그래피에 사용되기 위해서 약 0.6pm로 보통 라인 협소화되어 있다. ArF 레이저는 약 193nm에서 센터링된 약 500pm의 자연 대역폭을 가지고 있고, 보통 약 0.5 pm로 라인 협소화되어 있다. 이러한 레이저는 도 2에 도시된 라인 협소화 모듈(18)을 사용하여 이들 레이저의 자연 대역폭의 대부분에서 비교적 용이하게 튜닝될 수 있다. 또한, KrF 및 ArF 레이저에 있어서, 출력 빔의 절대 파장은 레이저 동작 동안 출력 빔의 스펙트럼을 원자 레퍼런스 라인과 비교함으로써 정확하게 결정할 수 있다. F₂ 레이저는 보통 약 157.63nm 및 157.52nm에서 센터링된 2개의 협소화된 라인에서 최대의 에너지를 가진 레이저 빔을 생성한다. 자주, 이러한 2개의 라인중 보다 작은 강도의 라인(즉, 157.52 nm 라인)이 압축되고 레이저는 157.63nm 라인에서 강제 동작된다. 157.63nm 라인의 자연 대역폭은 압력에 좌우되고 약 0.6 내지 1.2pm까지 변화한다. 이러한 범위의 대역폭을 가진 F₂ 레이저는 굴절 및 반사 광학 소자 모두를 사용하는 카타디옉 렌즈를 사용하는 리소그래피 디바이스와 함께 사용될 수 있지만, 모든 굴절 렌즈 설계를 위하여 레이저 빔은 원하는 결과를 산출하는 대역폭을 가지고 있어야 한다. 또한, 출력 빔의 센터라인 파장이 방전 영역내의 상태에 따라 다소 변화된다는 것이 알려져 있다.

<23>

리소그래피 장비용 레이저는 매우 복잡하고 비싸다. 대역폭을 더 감소시키면 리소그래피 장비용 렌즈 설계를 크게 단순화시킬 수 있고 및/또는 이 장비에 의해 생산된 집적 회로의 질을 향상시킬 수 있게 된다. 따라서, 실질적으로 감소된 대역폭을 갖는 (KrF, ArF 및 F₂ 리소그래피 레이저를 포함하는) 리소그래피 레이저가 필요하게 되었다.

<24>

대역폭 제어

<25>

KrF 및 ArF 레이저의 파장은 이들의 자연 대역폭에 상응하는 수백 피코미터의 범위에서 비교적 용이하게 제어된다. 한편, F₂ 레이저는 그 출력의 대부분이 2개의 협소화된 라인에 집중되어 있기 때문에 일부분 튜닝불가능한 것으로 생각되어왔다. 상기 라인중 하나를 선택하고 다른 라인에서의 에너지를 제거하는 몇가지 기술이 준비되어 있다.

<26>

광학 필터

<27>

빔내의 광의 협소화 범위를 선택해내는 많은 광학 필터가 존재한다. 이러한 필터의 하나는 제1 슬릿을 통과하는 광이 렌즈로 콜리메이팅되고, 프리즘 또는 격자와 같은 분광 요소에 의해 스펙트럼으로 분광된 후에 이 분광

은 로컬 평면에 위치된 슬릿을 통해 모아진 선택된 스펙트럼 범위를 가지고 초점 평면으로 포커싱되는 모노크로메이터이다.

<28> 필요한 것은 대역폭을 감소시키고 F_2 레이저 시스템의 센터 파장을 제어하는 기술이다. 또한, F_2 레이저 시스템의 절대 센터라인 파장을 정밀하게 결정하는 방법이 필요하다.

발명의 상세한 설명

<29> 본 발명은 2개의 레이저 서브시스템을 갖는 협대역 레이저 시스템을 제공한다. 제1 레이저 서브시스템은 협대역 펄싱된 시드 빔이 협대역 펄싱된 출력 빔을 생성하도록 증폭되는 제2 레이저 서브시스템을 주입 시딩하도록 사용되는 초협대역 펄싱된 출력 빔을 제공하도록 구성되어 있다. 방전이 적합하게 동기화되도록 2개의 레이저 서브시스템내의 방전을 정밀하게 타이밍하도록 특별히 구성된 펄스 전원이 제공된다. 레이저 가스는 헬륨 또는 네온 또는 헬륨 및 네온의 조합으로 이루어진 완충가스와 함께 약 1% 미만의 부분 압력의 F_2 를 포함한다. 제1 레이저내의 다음의 파라미터: 전체 레이저 가스 압력, 헬륨 또는 네온의 상대 농도, F_2 부분 압력, 레이저 가스 온도, 방전 전압 및 펄스 에너지중 하나 이상을 조정함으로써 출력 빔의 센터 파장을 제어할 수 있다.

<30> 바람직한 실시예의 정밀한 지터 제어를 위해 본 발명은 2개의 세트의 변압기 코어를 갖는 펄스 변압기 유닛을 가진 펄스 전력 시스템을 포함한다. 단일 상류 펄스 압축 회로는 양 세트의 모든 코어의 1차 권선과 병렬로 고전압 펄스를 제공한다. 개별적인 제2 도체(하나의 일 세트의 코어를 통과하고 또 다른 하나는 또 다른 세트의 코어를 통과한다)는 개별적인 하류 회로에 초고압 전압 펄스를 각각 제공하여 2개의 개별적인 각각의 레이저 챔버내의 전극에 방전 펄스를 공급한다. 바람직한 실시예에서, 라인 협소화는 시드 레이저의 공진 캐비티내에서 달성되고 및/또는 시드 레이저의 출력은 사전 이득(pre-gain) 필터를 사용하여 라인 협소화될 수 있다.

실시예

<34> **바람직한 실시예의 상세한 설명**

<35> 발명자의 실험

<36> F_2 레이저 시스템의 센터라인 파장 및 대역폭상의 다양한 F_2 레이저 동작 파라미터에서의 변화의 결과를 이해하고 특징화하기 위해, 발명자는 아래에 설명되는 주의깊은 실험을 행하였다.

<37> F_2 레이저 절대 파장

<38> F_2 레이저 절대 파장을 측정하는 셋업이 도 13에 도시되어 있다. 200kPa의 전체 가스 압력에서 밸런스 헬륨과 0.5% F_2 를 갖는 F_2 레이저(100)의 출력은 도 13에 도시된 바와 같이 듀테륨 램프(102)의 출력과 조합된다. 이 2개의 빔은 0.1 pm의 해상도를 가진 격자 분광계(104)로 모니터링된다. 시간-격자 신호 멀티플렉스(106)로 램프 신호 및 레이저 신호의 개별적인 기록이 가능하다. 시간 격자는 F_2 측정을 위해 레이저 펄스를 주변의 매우 짧은 인터벌 동안, 조합된 신호를 측정하기 위해 사용되었고, D_2 측정은 보다 긴 기간의 타임 인터벌 동안 이루어졌다.

<39> 도 13a는 상부 공간에 플로팅된 F_2 스펙트럼, 제2 공간의 측정된 D_2 스펙트럼 및 미국표준기술연구소(NIST)로부터 입수가 가능한 레퍼런스 D_2 스펙트럼이 포함된 스펙트럼 결과를 도시하고 있다. 약 157.63nm에서의 강한 F_2 레이저 라인은 F_2 플롯에서 매우 뚜렷하다. 또한, 이 라인은, F_2 측정에 대한 격자 후에 레이저 측정으로부터의 동일한 흔적이 남기 때문에 D_2 플롯으로 나타나게 되고 도 13a에 도시된 NIST 데이터는 NIST 데이터에 기록되지 않은 인접한 격자 오더를 기록하는 발명자에 의해 채용된 기술과 상이한 기술을 사용하여 얻어졌다. 도 13b에서, 발명자는 도 13b상의 하부 공간에 도시된 결과와 함께 NIST 데이터상에 추가 격자 오더를 포함하였다. 이러한 데이터는 스펙트럼 특징이 발명자에 의해 기록된 D_2 데이터와 근접하여 일치하는 것을 나타내어, 적어도 2개의 주요 F_2 라인 근방의 중요한 D_2 스펙트럼 라인의 위치에 대하여 발명자 데이터의 정확도를 확인할 수 있도록 한다.

<60> 도 13c는 발명자의 D_2 데이터상에 중첩된 NIST D_2 데이터가 함께 있는 강한 F_2 라인에 인접한 스펙트럼의 확대된

부분을 도시한다. 이 데이터는 헬륨 완충가스 및 0.5% F₂를 가진 2000kPa의 테스트 레이저 기압의 조건에서 강한 레이저 라인이 ± 0.1 pm의 추정 오차를 가지고 157.63070nm에서 센터링되어 있다는 것을 나타내고 있다.

<61> 마찬가지로 약한 라인이 도 13d에 표시되어 있고, 상기 조건 하에서, ± 0.1 pm의 추정 오차를 가지고 157.5218nm에서 센터링되어 있다.

<62> 도 13d에서, 이러한 2개의 결과는 Samsonetti등의 *Applied Optics*, Vol. 40, No.12, pp. 1974-1978(April, 2001)에 보고된 Lambda Physik 및 NIST에 의한 실험 결과와 비교되었다.

<63> 파장 시프트의 측정

<64> 도 14에는 레이저 동작 파라미터의 변화로 인한 센터 파장 시프트를 측정하기 위해 발명자에 의해 사용된 셋업이 도시되어 있다. 이러한 경우에, 동일한 조건에서 유지된 레퍼런스 F₂ 레이저(100)가 D₂ 실험(도 13)에서 사용되었다. 이러한 레이저의 출력은 동일한 분광계(104)를 사용하여 파라미터가 변화된 F₂ 레이저(108)의 출력과 비교되었고 특별한 랩 뷰 데이터 수집 프로그램으로 프로그래밍된 데이터 수집 컴퓨터에 의해 모니터링된다.

<65> 도 14a에 레이저(108) 압력이 200 kPa에서 유지된 일부 전형적인 스펙트럼 데이터가 도시되어 있다. 센터라인과 대역폭 모두에서의 스펙트럼 시프트가 뚜렷하게 나타나있다.

<66> 도 14b에 레이저(108) 및 레이저(100) 모두가 200 kPa에서 동작된 일치도 체크의 결과가 도시되어 있다. 센터간 일치도는 ± 10 fm내에 있었다. 도 14c에 도시된 바와 같이, 센터라인 시프트 및 대역폭(FWHM)에 대한 표준 편차를 추정하기 위해 또 다른 일치도 체크가 13번의 측정에 의해 이루어졌고, 측정된 표준 편차값은 0.2035 평균 센터라인 시프트에 대해서 3.8fm이고, 0.83 pm(FWHM)의 평균 대역폭에 대해서는 5.8fm이었다. 이러한 데이터는 도 14c에 플로팅되어 있다.

<67> 도 14d에 완충 가스로서 He 및 Ne 모두를 가진, kPa 단위의 전체 압력의 함수로서 센터라인 시프트의 플롯이 도시되어 있다. 그 결과, Ne에 대하여 1.84 fm/kPa의 압력 계수를 가진 스트레이트 라인 변화가 나타난다. 이 2개의 곡선은 공통 절편을 표시한다. 경사도는 2개의 가스의 질량의 제곱근에 대략적으로 비례한다.

<68> 도 14e에 제로 압력 파장을 결정하는 기술이 도시되어 있다.

<69> 도 14d1 및 도 14d2에 He Ne 혼합물에 대한 압력 시프트 계수가 순수한 가스 시프트 계수의 단순 가중합이어서 혼합물에 대한 시프트는

<70> $\text{시프트(혼합물)} = (1.84\text{fm/kPa})(\% \text{He}) + (0.81\text{fm/kPa})(\% \text{Ne})$

<71> 이라는 것을 도시하는 플롯들이 나타나 있다.

<72> 도 14e에 F₂ 부분 압력이 850v의 충전 전압에서 그리고 500 kPa He 완충가스를 가지고 측정되었을 때의 센터 파장의 변화가 도시되어 있다. F₂로 유도된 센터라인 시프트는 약 -20fm/kPa 이고, 일정한 충전 전압에서 F₂ 펄스 에너지는 에너지 플롯으로 도시된 바와 같이 F₂ 부분 압력을 변화시킴으로써 변화된다.

<73> 도 14f에 300kPa 및 500kPa의 레이저 가스 압력에서 센터라인 시프트에 대한 전압 변화의 영향을 비교한다. 그 결과 양 경우에서 모두 약 0.1 fm/v이다.

<74> 발명자는 펄스 에너지에 대한 센터라인의 변화를 얻기 위해 모든 다른 파라미터를 일정하게 하고 공명기 미러 반사도를 변화시켰다. 그 결과는 도 14g에 도시된 바와 같이 2.2 fm/mJ이다.

<75> 500kPa 및 200 kPa에서의 온도에 대한 센터라인 시프트의 변화가 도 14h에 도시되어 있다. 그 결과는 -0.8 내지 -1.3 fm/°C이었다.

<76> 모든 이러한 텍스트 데이터를 아래 표 1에 요약하였다.

<77> 표 1

<78> F₂ 레이저 센터 파장 데이터의 요약

<79> ■ 절대 파장(D₂ 레퍼런스 스펙트럼, 200 kPa He 완충가스):

<80> ◆ 강한 라인: 157.63090 nm

<81> ◆ 약한 라인: 167.52418 nm

<82> ■ 압력 시프트 계수:

<83> ◆ He: 1.84 fm/kPa

<84> ◆ Ne: 0.81 fm/kPa

<85> ■ 제로 압력 파장: 157.63053 nm

<86> ■ 보조 헬륨/네온 완충가스에서의 중심 파장:

$$\lambda = 157.63053 + 1.84 \times 10^{-6} P_{He} + 0.81 \times 10^{-6} P_{Ne} \text{ <nm>}$$

<88> ■ 파라미터 감도: 예상된 결과

<89> ◆ HV: 1 fm/V 20 fm

<90> ◆ F₂: -20 fm/kPa F₂ 1 fm

<91> ◆ 온도: -0.6 내지 -1.3 fm/°C 4 - 8 fm

<92> ◆ 에너지: 2.2 fm/mJ 5 fm

<93> 이러한 테스트로부터 얻은 발명자의 결론을 요약하면,

<94> 1) "제로 압력" 파장 및 압력 시프트 계수를 결정하면 중심 파장의 일반적인 규격화가 가능해진다.

<95> 2) 중심 파장은 충분한 정밀도로 추리해낼 수 있어서 파장계는 필요하지 않다.

<96> 3) 레이저 동작 파라미터에서의 정상적인 변화로 인한 F₂ 레이저의 중심 파장에서의 변화도는 ± 0.02 pm로 제한되는 것으로 나타난다.

<97> 주입 시딩된 F₂ 레이저 시스템

<98> 시드 레이저

<99> 도 2 내지 도 11d는 주입 시딩된 F₂ 레이저 시스템을 설계하고 동작하는 다양한 기술에 대해 설명하고 있다. 바람직한 제1 F₂ 주입 시드 광원은 플레인 병렬 광학 공명기 또는 불안정한 공명기 구성을 사용한 종래의 F₂ 레이저일 수 있다. 상기 설명된 기술중 하나를 사용하는 양측 레이저 서브시스템용 펄스 전원이 제공되는 것이 바람직하다. 이로 인해 확실히 각각의 레이저 서브시스템의 방전 타이밍을 충분히 동기화할 수 있다. 바람직한 F₂ 실시예에서 시드 레이저 빔은 시드 레이저의 하류에서 필터링된다. 시드 레이저는 필터링 후에, F₂ 전력 이득 스테이지를 시딩하기 위한 10 - 100 μJ의 협대역 에너지가 유용하기에 충분한 에너지를 발생시키는 것이 바람직하다. 불안정한 공명기는 안정한 공명기보다 낮은 발산, 보다 많은 공간 코히어런트 빔을 생성하여, 주입 스펙트럼 필터를 통해 에너지를 연결하는 데 있어 유익할 수 있다. 예를 들어, 필터가 단순한 모노크로메이터라면, 보다 낮은 분산 빔은 모노크로메이터의 입력 슬롯에 보다 용이하게 포커싱 다운된다. 다른 설계 옵션은 비교적 낮은 압력(≒ 100 - 200 kPa)에서 제1 F₂ 광원 레이저를 동작하는 것이다. 이것은 실질상 감소된 스펙트럼폭: 0.3 - 0.6 pm을 산출한다. 보다 작은 스펙트럼폭은 포스트 이득 필터에 들어가는 에너지의 보다 큰 프랙션이 필터를 통과한다는 것을 의미한다. 제1 F₂ 광원으로부터의 초기 출력 에너지는 훨씬 더 낮지만, 주입 필터가 처리할 수 있는 최대 에너지가 이와 유사하게 제한되기 때문에 실제적인 불이익이 될 수는 없다.

<100> 종래의 F₂ 레이저는 표준 KrF 리소그래피 레이저 시스템이 F₂ 레이저로서 동작하기 위해 수정된 바람직한 실시예에서 제1 F₂ 광원으로 사용된다. 이러한 KrF 리소그래피 레이저는 잘 알려져 있고, 오늘날 집적 회로 리소그래피 머신용 광원으로서 집적 회로 제조 공장에서 동작하는 1000개가 넘는 이러한 유닛이 존재한다. 이러한 레이저는 초당 1000 내지 2000 펄스의 범위의 펄스율의 레이저 펄스를 생성하고 캘리포니아주 샌디에고에 사무실을 둔 사이머 인코포레이티드와 같은 공급자로부터 입수가 가능하다. 이러한 리소그래피 레이저는 여기에 언급되어 집약된 미국 특허 제5,991,324호 및 미국 특허 제 6,128,323호와 같은 많은 특허에 상세하게 설명되어 있다.

F₂ 레이저로서 동작하기 위해 필요한 주요 수정은 (네온 또는 헬륨 및 네온의 조합이 사용될 수도 있지만) 가스 혼합물을 약 0.1 %의 플루오르 및 나머지가 헬륨인 가스 혼합물로 바꾸는 것이고 방전 전압의 상한 범위는 26,000 볼트에서 약 36,000볼트로 증가되는 것이 바람직하다. 제1 F₂ 광원 및 전력 이득 스테이지용으로 사용되는 기본적인 프로토타입 F₂ 레이저 시스템은 아래에 "F₂ 레이저 시스템 설계"로 표제된 섹션에서 설명되어 있다. 이 섹션은 F₂ 레이저를 생성하는 종래 기술의 KrF 레이저 시스템에 대한 상당한 개량을 설명한다.

<101> 사전 전력 이득 필터

<102> 바람직한 종래의 격자 모노크로메이터 사전 전력(pre-power) 이득 필터를 도 6을 참조하여 설명한다. 이러한 필터는 마스터 오실레이터로서 프리 런닝(free-running) F₂ 레이저와 함께 사용될 때, 마스터 오실레이터로부터 프리 런닝 스펙트럼의 0.1 pm 대역폭 부분으로 슬라이싱 아웃하고 증폭기 스테이지에 의해 요구되는 10-100 μ J의 협대역 에너지를 생성할 수 있는 것이 바람직하다. 이러한 도 6에 도시된 제1 필터 실시예는 종래 격자 모노크로메이터의 필터이다. 마스터 오실레이터로부터의 광은 먼저 입력 슬릿(50)상으로 포커싱 다운된다. 이 입력 슬릿을 통과하는 광은 바람직하게는, 단순한 구형 미러, 또는 광축이 벗어난 포물면일 수 있는 곡면 미러(52)에 의해 콜리메이팅되고 이 콜리메이팅된 광은 격자(54)로 보내어진다. 이 격자는 157nm 파장 범위에서 광을 분산시키도록 선택된 고분산 타입(예를 들어, 에셀(echelle) 격자)이다. 이 격자는 리쓰로우(Lithrow) 배열을 갖는다. 빔 경로(54)를 따라 되반사되는 선택된 초협소화 범위에 있는 광은 빔 스플리터(56)의 도움으로 출구 슬릿(57)상에 재이미징된다. 이 배열의 다양한 기하 파라미터 및 광학 파라미터(즉, 슬릿 폭, 격자 분산, 곡면 미러 초점 길이)는 출구 슬릿을 떠나는 광의 대역폭을 결정한다. 극복되어야 하는 하나의 설계 문제는 모노크로메이터를 통해 요구되는 에너지의 양을 얻으려고 할 때 입력 슬릿 및 출구 슬릿에서 도달되는 높은 피크 강도이다. 이와 같은 고강도를 처리하는 일 방법은 에너지를 흡수하지 않고 굴절 슬릿, 즉 원치 않는 광을 다른 방향으로 굴절시키는 칼날 웨지를 사용하는 것이다. 이러한 슬릿 배열이 도 6a에 도시되어 있다. 필터로서의 기능에 추가하여, 도 6의 배열은 빔 스플리터(58) 및 출구 이미지 플레인(60)에 놓인 리니어 검출기 어레이(60)를 추가로 포함한다. 이러한 추가로 인해 남아있는 중요한 문제, 즉 어떻게 원하는 파장에서 (튜닝가능한) 주입 필터를 유지할 것인가 하는 문제를 해결할 수 있다. 격자 앵글이 수십의 마이크로라디안을 초과하는 오차를 가지고 있다면 시드 빔은 출구 슬릿에서 벗어날 것이고 다음의 전력 증폭기 스테이지를 잠금하는 아무런 협대역 에너지도 존재하지 않을 것이다. 앵글이 매우 경미하게 어긋나더라도 증폭된 스펙트럼은 원하는 파장에 있지 않을 것이다. 다행히, 모노크로메이터는 본질적으로 자체를 모니터링할 수 있다. 격자 및 곡면 미러에 의해 형성된 이미지는 모노크로메이터에 들어가는 광의 분산된 스펙트럼이다. 제2 빔 스플리터는 2개의 동일한 이미지(스펙트라)를, 하나는 출구 슬릿에, 그리고 하나는 리니어 검출기 어레이에 생성한다. 리니어 검출기 어레이는 프리 런닝 마스터 오실레이터로부터 비교적 넓은 스펙트럼을 감지하여 이것을 어레이상의 각각의 포인트에서 스펙트럼 강도를 나타내는 영상 신호로 변환시킨다. 프리 런닝 파장이 안정하고 잘 알려져 있기 때문에, 모노크로메이터용 보정 표준의 역할을 한다. 컨트롤러(66)는 리니어 검출기 어레이를 판독하여 격자 앵글을 조정하여서, 어레이상에 원하는 포인트에 센터링된 스펙트럼의 이미지를 예를 들어 센터 근방에 놓는다. 이러한 방법으로 모노크로메이터는 마스터 오실레이터의 프리 런닝 스펙트럼으로 자체 안정화된다. 출구 슬릿 및 리니어 어레이가 기본적으로 이중 이미지 플레인이기 때문에, 출구 슬릿 포지션은 리니어 어레이상의 특정 포지션에 대응하고, 그에 따라 파장에 대응한다. 따라서, 스펙트럼 레퍼런스로서의 마스터 오실레이터로부터의 프리 런닝 스펙트럼으로 인해, 출구 슬릿을 빠져나가는 광의 파장은 정밀하게 결정될 수 있다.

<103> 삭제

<104> 이러한 배열을 교정하는 하나의 방법은 모노크로메이터를 나오는 빔의 경로에 빔스플리터(62)를 놓고 에너지 검출기(64)로 빔 에너지를 모니터링하는 것이다. 이러한 검출기는 주입 시드의 에너지가 모니터링될 필요가 있기 때문에, 모든 이벤트에서 필요하다.

<105> 교정

<106> 교정 시퀀스는 다음과 같이 진행된다: (1) 격자가 스타팅 앵글에 있는 상태에서, 레이저가 발사되고 출구 슬릿으로부터의 출력 에너지는 리니어 어레이상에 찍힌 스펙트럼 이미지를 따라 모니터링된다. 스펙트럼의 피크는 어레이상의 화소의 포지션에 대하여 결정된다. (2) 격자 앵글이 증가되고 측정이 반복된다. (3) 격자 앵글이 일정 범위 전체에서 스캐닝된 후에, 최종 결과를 조사한다. 출력 에너지가 최대가 되는 (화소내) 어레이상의

스펙트럼의 포지션은 슬릿의 대응 포지션과 상응한다.

<107> 이러한 교정된 포지션이 일단 결정되면, 모노크로메이터의 알려진 분산이 격자를 다른 파장으로 재튜닝하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 모노크로메이터 분산이 0.1 pm/화소이고, 출구 슬릿의 교정된 포지션이 화소(300)이라고 가정하자. 출력의 소망 파장이 157.6299 nm(157,629.9 pm)이라면, 프리 런닝 스펙트럼의 중심, 그다음에 격자 앵글이 조정되어 이미지의 중심이 화소(300)에 있게 된다. 요구되는 파장이 센터로부터 +0.2 pm 떨어져 있다면(157.6301 nm), 격자는 이미지의 센터가 화소(302)에 있도록 이동된다. 프리 런닝 스펙트럼의 센터는 압력에 의존하기 때문에, 보다 개선하기 위해 모노크로메이터의 교정 및 연속 사용에서 마스터 오실레이터의 압력을 포함한다. 이러한 압력 종속성은 특히 마스터 오실레이터의 압력이 상당한 크기로 변화될 수 있다면 교정시에 포함되어야 한다. 프리 런닝 레이저의 센터 파장은 헬륨이 완충가스로서 사용될 때 약 1 내지 2 fm/kPa의 범위에서 압력 시프트 계수를 갖는다는 것이 발견되었다. 따라서, 임의의 주어진 압력에 대하여, 파장의 양호한 추정치는 $157.6309 + 0.00000192 \times P$ nm이고, 여기에서 P는 kPa 단위의 압력이다. 다른 완충가스(예를 들어, 네온, 또는 헬륨 및 네온의 혼합물)가 사용된다면 다른 압력 시프트 계수가 사용될 수 있다.

<108> 수정된 격자 모노크로메이터

<109> 협대역 광을 생성하는 대안의 방법은 도 7에 도시된 바와 같은 수정된 격자 모노크로메이터를 사용하는 것이다. 이러한 필터는 양호하게 콜리메이팅되고, 거의 회절 제한된 코히어런트 빔을 생성하는 마스터 오실레이터의 출력 빔을 필터링하고 이러한 경우에 우리는 모노크로메이터의 입구 슬릿을 제거한다.

<110> 빔 확장기(70)가 마스터 오실레이터로부터의 분산을 감소시키고 마스터 오실레이터로부터의 빔의 크기를 격자(54)에 물리적으로 매칭시키기 위해 사용된다. 격자로부터의 분산된 광은 원하는 파장이 선택되는 출구 슬릿(72)에 곡면미러(또는 렌즈)를 통하여 포커싱된다. 리니어 검출기 어레이(60) 및 컨트롤러(66)의 동작은 이전에 설명한 바와 같이 동일하다. 이러한 배열의 장점은 입구 슬릿에 대한 필요 및 이와 관련된 고피크 강도에 관한 문제를 제거한다는 것이다. 이러한 배열은 마스터 오실레이터의 포인팅 안정도가 이제는 어레이상의 이미지의 위치, 및 그에 따른 파장 선택 프로세스에 있어서 한 요인이 된다는 단점을 가지고 있다. 마스터 오실레이터로부터의 입력 앵글의 변화를 천천히 하는 경우에는, 컨트롤러가 격자를 재튜닝하여 파장을 일정하게 유지할 수 있다.

<111> 에탈론 필터

<112> 또한, 에탈론(78)은 도 8에 도시된 바와 같이 대역통과 필터로서 사용될 수 있다. 모노크로메이터 필터에 있어서, 에탈론은 원자 표준으로 사용되는 마스터 오실레이터의 프리 런닝 스펙트럼에 자체 레퍼런싱되는 것이 바람직하다. 먼저, 마스터 오실레이터로부터의 빔은 에탈론 상의 빔의 발산도를 낮추고 전력 밀도를 감소시키기 위해 빔 확장기(70)에 의해 확대된다. 확장 후에, 빔은, 대부분의 광을 변경시키지 않고 투과하지만 작은 부분을 임의의 범위의 각도로 확산시키는 광학소자인 특정 "부분 확산기(74)"를 통과한다. 이것의 예는 낮은 회절 강도를 갖는 회절 광학장치, 또는 매우 경미하게 그리고 정밀하게 그라운드된 광학 플랫폼이다. 그다음, 광은 근방 정규 입사각으로 에탈론을 통과한다. 에탈론의 대역통과 특성은 자유 스펙트럼 범위(FSR) 및 피네스에 의해 결정된다. 예를 들어, 2pm의 FSR 및 20의 피네스를 가진 에탈론은 0.1pm FWHM의 대역통과를 갖는다. 그다음, 에탈론은 프리 런닝 마스터 오실레이터로부터 0.1 pm 슬라이스의 스펙트럼을 투과시킨다. 모노크로메이터에 대해서, 에탈론상의 전력 로딩을 제한하기 위해서 마스터 오실레이터를 저압에서, 그래서 감소된 대역폭에서 동작시키는 것이 유익할 수 있다. 또한, 내로우어 스타팅 스펙트럼은 에탈론의 인접 투과 오더(중심 파장으로부터 ± 1 FSR)에서 에너지의 양을 감소시킨다. 에탈론을 통과한 후에, 렌즈(76)(또는 곡면 미러)는 애퍼처가 놓인 포인트로 광을 포커싱한다. 빔의 일부는 빔 스플리터(80)에 의해 스플리팅 오프되어, 센터 파장 및 대역폭 신호를 컨트롤러(66)에 제공하는 포토다이오드 어레이(82)에 의해 모니터링되고, 이 컨트롤러는 이러한 정보를 사용하여 에탈론(78)을 제어한다. 애퍼처의 목적은 빔의 온-엑시스(on-axis), 비확산된 구성성분을 제외한 모든 광을 차단하는 것이다. 그다음, 협대역인 이러한 광은 전력 증폭기 스테이지로 보내어진다. 빔 스플리터 및 광학 검출기가 주입 필터를 떠나는 에너지를 모니터링하기 위해 애퍼처 다음에 설치된다.

<113> 일반적으로, 에탈론의 대역통과의 중심 파장은 프리 런닝 마스터 오실레이터의 스펙트럼의 중심과 일치하지는 않는다. 에탈론은 튜닝될 필요가 있다. 에탈론이 솔리드 플레이트 타입 또는 공간 배치된 타입인지에 따라 4가지 방법이 가능하다. 솔리드 에탈론에 대하여, 에탈론은 입사 빔에 대하여 경사질 수 있거나 에탈론의 온도는 변화될 수 있고, 이로 인해 플레이트의 광학 두께가 효과적으로 변화될 수 있다. 공간 배치된 에탈론에 대하여, 앵글은 변화될 수 있거나, (예를 들어, PZT 액츄에이터에 의해) 플레이트 간격이 변화될 수 있거나, 플레이트 사이의 가스의 굴절율이 가스의 밀도를 변화시킴으로써 변화될 수 있다.

- <114> 바람직한 실시예에서, 에탈론은 도 8에 도시된 바와 같이, 기밀 하우징(84)내에 폐쇄된 공간 배치된 타입이다. 압력 컨트롤러는 (일정 온도에서) 하우징내의 가스의 압력을 변화시키는데 사용되고, 그래서 압력은 에탈론을 튜닝한다. 요구되는 튜닝의 양은 매우 작기 때문에(약 ± 0.2 내지 ± 0.5 pm), 필요한 압력 변화 역시, 가스로서 질소인 경우 약 ± 3 내지 ± 8 토르로서 매우 적다. 이것은 (폐쇄된) 하우징의 부피를 변화시킴으로써 또는, 적합한 공급부로부터 능동적으로 가스를 유입하거나 유출함으로써 달성될 수 있다. 에탈론이 압력 튜닝되기 때문에, 프리 런닝 마스터 오실레이터로부터의 스펙트럼을 통해서 대역통과 파장이 스위핑함에 따라 출력 강도가 교대로 증가하고 소멸된다.
- <115> 에탈론의 튜닝에 대한 제어는 에탈론을 자체 에탈론 분광계로 돌리는 추가 광학 소자를 포함함으로써 얻어진다. 추가 빔스플리터는 출구 애퍼처 전방에 위치되고 렌즈의 제2 초점 평면을 형성한다. 이러한 초점 평면(제1 초점 평면)에서, 강도 분포는 훨씬 더 약한 종래의 에탈론 링 패턴과 함께 초점의 센터에서의 밀한 지점으로 구성되어 있다. 밀한 지점은 에탈론을 통과하는 빔의 비확산 부분에 의해 형성되고, 반면, 에탈론 링 패턴은 빔의 확산 부분에 의해 형성된다. 밀한 중심점은 여기에서 사용되지 않고 빔 차단부(81)에 의해 차단된다. 그다음, 리니어 검출기 어레이(82)는 에탈론 링 패턴을 관측하기 위해 초점 평면내에 설치된다. 이러한 배열은 리소그래픽 레이저에서 사용되는 현 파장계의 설계와 매우 유사하다. 소정의 광학 배열에 있어서, 에탈론 링의 직경과 에탈론 대역통과의 중심 파장 사이에 직접적인 관계가 있다.
- <116> 배열의 교정은 모노크로메이터 필터에 대하여 이전에 설명된 절차와 유사한 방식으로 이루어진다. 교정 시퀀스는 다음과 같이 진행된다: (1) 에탈론이 스타팅 파장으로 압력 튜닝되는 상태에서, 리니어 어레이상에 찍히는 에탈론 링 패턴을 따라, 레이저는 발사되고 출구 애퍼처로부터의 출력 에너지가 측정된다. 최내측, 완전히 형성된 링의 직경이 결정된다. (2) 압력 컨트롤러는 에탈론내의 압력을 증가시키고, 측정은 반복된다. (3) 에탈론이 하나의 자유 스펙트럼 범위를 통해 압력 튜닝된 후에, 최종 데이터가 검사된다. 출력 에너지가 최대인 최내측 링의 직경은 압력에 의존하는 마스터 오실레이터로부터의 프리 런닝 스펙트럼의 피크로 에탈론의 대역통과가 정확하게 튜닝되는 상태에 상응한다.
- <117> 일단 교정된 직경이 결정되면, 에탈론 대역 통과 필터의 파장은 이러한 직경을 유지하기 위해 에탈론내의 압력을 변화시킴으로써 안정화될 수 있다. 보다 정밀하도록 하기 위해, 에탈론 링 패턴은 리소그래픽 파장계에 사용된 동일한 비선형 에탈론 등식을 채용함으로써 "파장"으로 직접 전환될 수 있다. 이로 인해, 알려진 양만큼 마스터 오실레이터 스펙트럼의 피크로부터 대역통과 함수가 디튜닝될 수 있다. 보다 정밀히 하기 위해, 이전에 설명된 바와 같이, 에탈론의 교정 및 연속 사용에서 마스터 오실레이터의 압력을 포함한다.
- <118> 튜닝
- <119> 보통 레이저 시스템의 동작을 위한 선택된 (약 0.1 pm 이하의) 협소화 스펙트럼 대역은 최대 출력 펄스 에너지를 갖는 요구되는 대역폭 규격상세를 만족하는 협소화 대역이다. 하지만, 제한된 양의 파장 튜닝은 상기 설명된 사전 이득 필터로써 가능하다. 발명자는 적어도 약 1.2 pm의 튜닝 범위가 매우 용이하게 얻어질 수 있다고 생각한다. 추가 튜닝은 임의의 상당한 출력 펄스 에너지를 절충함으로써 얻어질 수 있다. 튜닝 범위는 상기 표시된 바와 같이 레이저 가스 압력의 함수이다. 따라서, 보다 긴 전체 범위는 레이저내의 압력을 조절함으로써 달성될 수 있다.
- <120> 전력 이득 스테이지
- <121> 2개의 바람직한 전력 이득 스테이지는 도 9 및 도 10을 참조하여 설명될 수 있다.
- <122> 전력 오실레이터
- <123> 전력 이득 스테이지는 도 9에 도시된 바와 같이 전력 오실레이터로서 구성될 수 있다. 요구되는 출력에 따라, 많은 다른 공명기가 PO 설계를 위해 사용될 수 있다. 바람직한 실시예에서, 공명기는 모두 도 9에 도시된 바와 같이, 2개의 스플릿-코팅된 미러로 형성된, 오프-엑시스(off-axis) 하이브리드 불안정한 공명기이다.
- <124> 주입된 시드 빔(90)은 불안정한 공명기(92)의 상부를 따른 중심축에 정렬되어 있고, 먼저 50% 부분 반사기(93A)를 통과하여 진행한다. 후방 공명기 광학장치(94)는 주입된 빔의 콜리메이션을 방해하지 않는 제로 전력 메니스커스 타입이다. 주입된 빔은 공명기의 프레넬 코어를 채워 캐비티간 필드에 대한 제어가 이루어진다(이러한 경우의 프레넬 코어는 50% R 미러(93A) 및 100% R 미러(94A) 사이에 형성된 볼륨이다). 빔은 전방 광학장치로 증폭되어 전파된 후에 100% 반사, 볼록 표면으로부터 반사된다. 빔은 일부가 100% 반사, 오목 표면(93B)을 반사하고 일부가 표면(93A)을 반사하는 후방 광학장치로 통과할 때 확장하고 증폭된다. 이것은 이득부를 관통하

는 제3 패스에 의해 보다 더 증폭되는 빔을 리콜리메이팅한다. 출력 커플러의 하부(94B)는 비반사 코팅되어 있어 빔이 최소의 손실로 출력될 수 있도록 한다. 후방 광학장치와 같이, 전방 광학장치는 출력 빔의 콜리메이션을 유지하는 제로 전력 메니스커스 타입이다. 이러한 타입의 공명기는 50% 및 100% 반사 표면이 공명기의 프레넬 코어내로 피드백을 제공하기 때문에 전력 오실레이터를 형성한다. 이러한 타입의 공명기의 장점은 (1) 빔에 아무런 중심 압축부 또는 홀이 없다는 것과, (2) 이 공명기가 시드로 전력 오실레이터를 잠금하기 위해 매우 적은 양의 시드 에너지를 필요로 한다는 것이다.

<125> 전력 증폭기

<126> 전력 증폭기의 형태를 갖는 전력 이득 스테이지가 도 10에 도시되어 있다. 이러한 경우에, 공명기는 50% 반사면(93A)을 비반사면(93B)으로 변경함으로써 피드백이 제거되었다는 것을 제외하고 도 9에 도시된 공명기와 유사하다. 이러한 구성은 오프-엑시스, 멀티패스 전력 증폭기를 생성한다.

<127> F₂ 레이저 시스템 설계

<128> 다수의 프로토타입 F₂ 레이저 시스템이 제1 F₂ 광원 및 전력 이득 스테이지 모두를 위한 이득 매체로 사용되기 위해 발명자 및 그 동료에 의해 제조되고 테스트되었다.

<129> 이러한 시스템은 고효율 챔버 및 고체 펄싱된 전력 여기부를 사용하는 종래 엑시머 레이저 시스템에 비하여 다수의 중요한 향상을 포함하는 현 제품 KrF 및 ArF 레이저에 크게 기초하고 있다. 방전은 가스 오염을 최소화하기 위해 코로나 프리오나이징된다. 전체 광학 빔 경로는 산소에 의한 광흡수를 방지하고 광학 구성요소의 손상을 방지하기 위해 질소 피징된다. 모든 공명기 광학장치는 각이 진 챔버 윈도우가 장착된 레이저 챔버의 외부에 있었다. 가스 혼합물은 4기압의 헬륨에서 0. 1% 플루오르였고 전극 갭은 10mm로 감소되었다.

<130> 이러한 프로토타입의 유닛에서, 제1 F₂ 광원 및 전력 이득 스테이지 모두에 대하여, 수정된 펄스 전력 시스템이 사용되고 이 시스템에 대한 회로도가 도 11 및 도 2 및 도 3에 도시되어 있다. 이러한 실시예를 위한 펄스 전력 시스템과 상응하는 종래 기술의 KrF 레이저용 시스템 사이의 주요 차이점은 F₂ 레이저를 위해 보다 높은 출력 전압을 제공하고, 상기 설명된 바와 같이, 변압기의 회로 상류의 부분은 단일 회로이고 변압기의 하류 부분은 분할된 회로인 펄스 변압기(56)이다. 이러한 펄스 변압기에서, 제2 권선으로서 기능하는 단일 4부분으로 된 스테인레스강 로드(상기한 미국 특허 제6,128,323호에 설명된)는 도 11a 및 도 11b 및 도 11c에 도시된 바와 같이 직렬로 연결되어 있고 서로 절연되어 있는 2개의 동축 튜브 및 내부 원통형상 로드로 구성된 변압기 2차 도체로 대체되어 있다. 이 2차 도체는 302에 도시된 버스 바 및 304에 도시된 HV 케이블과 접속된 2개의 동축 어셈블리(그 단면이 도 11b 및 도 11c에 도시되어 있다)로 구성되어 있다. 또한 도 11b 및 도 11c에서와 같이 도 11d에 1차 권선을 형성하는 스프링의 실린더 부분의 둘레에 감겨 있는 마일라 필름 및 Metglas™의 레이어(306)가 도시되어 있다. 또한 도 11d에 펄스 변압기의 2차 부분을 형성하는 중심선(310) 및 중공 실린더형 도체(312,314)가 식별되어 있다. Metglas™ 및 마일라 층은 도 11a, 도 11b 및 도 11c에 도시되어 있지 않다. (316에서 도시된 바와 같이) 약 1000 볼트의 전압 피크를 가지고 있는 전류 펄스는 도 11a의 318에 도시된 바와 같이 약 36,000 볼트의 2차 HV 단자에서 펄스를 생성한다. 따라서, 2개의 레이저를 피딩하는 2개의 펄스 변압기 부분의 각각은 (도 3HB에 도시된 23개 대신에) 12개의 인덕션 유닛으로 구성되어 있다. 그러나, 12개의 인덕션 유닛을 관통하는 3개의 2차 도체는 36인 승압비를 생성한다.

<131> 1차 실린더와 3개의 동축 2차 도체 사이에 커플링이 도 8e에서 상기 상술된 바와 같이 Metglas™ 및 마일라 필름을 감음으로써 제공되어 있다. 이러한 실시예에서, (하나의 추가된 커패시터 뱅크(C_{p-1})를 가진) 압축의 엑스트라 스테이지가 제공되어 있다. 이러한 실시예의 커패시터 뱅크는 다음의 값을 가진다.

<132> C₀ = 약 12.1 μ F

<133> C₁ = 약 12.4 μ F

<134> C_{p-2} = 약 8.82 nF

<135> C_{p-1} = 약 8.4 nF

<136> C_p = 약 10 nF

<137> 이러한 프로토타입의 실시예의 수정된 펄스 전력 시스템은 피킹 커패시터 뱅크로의 약 80ns의 출력 상승 시간을

생성한다. 펄스 변압기의 승압비는 (상기 상세하게 설명된 실시예의 24X에 비교하여) 36X이다. 이것은 수정되지 않은 펄스 변압과 비교하여 상응하는 보다 낮은 F_2 농도를 가지고 실질적으로 보다 높은 전압에서 레이저가 동작할 수 있게 한다. 발명자는 고전압 동작이 방전 안정도를 향상시키고 보다 높은 반복율을 가능하게 한다는 것을 알았다. 상기 설명된 바와 같이, 이러한 실시예에서 각각 도 3b에 도시된 바와 같이 공통 소스로부터 1차 전류에 의해 공급되는 2개의 별개의 변압기가 제공되지만 각각의 변압기는 도 3b에 도시된 바와 같이 24X 대신 36X 승압비를 제공하도록 도 11a, 도 11b, 도 11c, 및 도 11d에 도시된 바와 같이 구성되어 있다.

<138> 포스트 출력 필터

<139> 상기 표시된 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예의 전력 이득 스테이지의 출력은 공칭 파장의 주변에 약 $\pm 0.5\text{pm}$ 의 스펙트럼 범위를 커버하는 공칭 F_2 157.63nm 라인에 라인 센터를 가진 약 0.1pm 이하의 자외선 대역폭을 가진다. 다음의 섹션에 표시된 바와 같이, 다른 스펙트럼 범위내의 소량의 광 에너지는 헬륨이 사용될 때 F_2 레이저에서 특히 적색광 및 적외선 광으로 생성된다. 이러한 적색광이 문제라면, 157nm UV 광을 투과하고 적색광을 흡수하거나 (레이저내로 다시 보내지 않고) 반사하도록 설계된 주지된 광학 필터로써 용이하게 제거될 수 있다. 또한, 상기 설명된 타입중 하나의 포스트 출력 필터는 UV 범위의 출력 빔을 더욱 라인 협소화시키기 위해 추가될 수 있다. 그러나, 포스트 출력 필터로서 사용될 때, 필터의 구성요소는 훨씬 더 높은 에너지 빔을 처리하도록 설계될 필요가 있다.

<140> 펄스 타이밍

<141> 본 발명의 바람직한 실시예는 원하는 출력 펄스 레이저 빔을 생성하도록 2개의 레이저 시스템의 방전 타이밍을 제어하도록 구성된 펄스 전력 시스템을 사용한다. 이러한 실시예는 미국 특허 제5,142,166호에 설명된 프랙셔널 턴 펄스 변압기와 유사한 프랙셔널 턴 펄스 변압기 설계를 사용한다. 이러한 실시예에서 2개의 레이저 시스템용 펄스 전력 회로의 부분은 펄스 변압기 시스템의 하류에서 격리되어 있고 펄스 변압기 시스템의 상류에 있는 펄스 전력 회로의 부분은 양 레이저 시스템에 공통이다.

<142> 도 3에는 바람직한 펄스 전력 시스템의 주요 요소의 전기 아웃라인이 도시되어 있다. 펄스 변압기 시스템의 상류에 있는 시스템의 부분은 (여기에 참조되어 통합된) 미국 특허 제6,151,346호에 상세하게 설명된 도 11에 도시된 회로와 매우 유사하다. 커패시터의 단일 뱅크는 충전 C_0 커패시터 뱅크(42)를 형성한다. 전기 펄스는 스위치 S_1 이 C_1 커패시터 뱅크(52)를 충전하도록 임의의 열화없이 폐로할 수 있도록 S_1 을 통해 흐르는 전류를 홀드 오프하는 병렬 L_0 인덕터(48)에 장착된 2개의 IGBT 스위치로 구성된 스위치(S_1)을 폐로함으로써 발생된다. L_1 포화가능한 인덕터는 커패시터 L_1 이 포화할 때까지 펄스 변압기 시스템(56)을 흐르는 실질적인 전류를 홀드 오프한다. 상기 커패시터 L_1 이 포화할 때에 프랙셔널 턴 펄스 변압기 시스템(56)의 1차 턴은 약 0.5 마이크로초 1000 볼트인 단펄스로 펄스된다. 이러한 실시예에서, 변압기 시스템(56)은 이러한 경우에 실질적으로 동일한 2개의 별개의 변압기 유닛(56a, 56b)으로 구성된다.

<143> 펄스 변압기 유닛(56)의 각각은 미국 특허 제6,151,346호에 설명된 펄스 변압기와 유사하다. 본 실시예의 펄스 변압기 유닛은 23개의 인덕션 유닛 및 2차 권선에서 단일 턴만을 가지고 있다. 변압기는 1:24 승압비를 제공하기 위해 도 3b에 도시된 바와 같이 단권 변압기로서 구성되어 있다. 23개의 인덕션 유닛의 각각은 도 3a의 하부 에지를 따라 도시된 바와 같이 인쇄 회로 기판(56b)상의 양단자 및 음단자에 볼트로 연결되어 있는 2개의 플랜지(각각은 나사산을 지닌 볼트 홀을 가지고 있는 플랫폼 에지를 가지고 있다)를 가지고 있는 알루미늄 스폴(56a)을 포함한다. (음단자는 23개의 1차 권선으로 된 고전압 단자들이다.) 절연체(56c)는 인접한 스폴의 음단자로부터 각각의 스폴의 양단자를 절연시킨다. 스폴의 플랜지의 사이에 약 1/32 인치의 벽 두께를 가진 0.875 OD를 가진 1 1/16 인치의 길이를 가진 중공 실린더가 있다. 이 스폴은 절연된 Metglas™ 감음부의 OD가 2.24 인치가 될 때까지 1 인치의 폭, 0.7 밀리인치의 Metglas™ 2605 S3A 및 0.1 밀리인치의 두께의 마일라 필름으로 감는다. 하나의 1차 권선을 형성하는 단일 감겨진 스폴의 사시도가 미국 특허 제6,151,346호의 도 5에 도시되어 있다.

<144> 각각의 변압기의 2차 권선부는 Teflon® (PTFE)의 단단히 끼워맞추어진 절연 튜브내에 장착된 단일 OD 스테인레스강 로드이다. 변압기 유닛은 도 3a에 도시된 바와 같이 4개의 섹션으로 되어 있다. 도 3a의 56D로 도시된 스테인레스강 2차 권선부의 저전압 단부는 56E에서 인쇄회로기판(56B)상의 1차 HV 리드에 연결되어 있고 고전압 단자는 56F에 도시되어 있다. 결과적으로, 변압기는 단권 변압기 구성으로 가정하고 승압비는 1:23 대신에

1:24가 된다. 따라서, 인덕션 유닛의 + 및 - 단자 사이의 약 -1400 볼트 펄스는 2차측상의 단자(56F)에서 약 -35,000볼트 펄스를 생성한다. 1000볼트 1차 펄스는 약 24,000V의 상기 변압기 모두의 2차측상에 펄스를 생성한다. 이러한 단일 턴 2차 권선 설계는 초고속 출력 상승 시간을 허용하는 매우 낮은 누설 인덕턴스를 제공한다.

<145> 펄스 변압기 시스템의 일반적인 구성이 도 3b에 도시되어 있다. 이러한 도면에 표시된 바와 같이 펄스 전력 시스템의 상류 부분에 의해 생성된 약 1000V의 1차 고전압 펄스는 정확히 동시에 각각의 펄스 변압기에 도달하고, 그래서 각각의 변압기의 상응하는 출력 펄스는 형상 및 시간에서 실질상 동일하다. 발명자는 2개의 변압기의 출력에서의 지터가 1 나노초보다 작을 것으로 추정한다.

<146> 본 실시예의 도 3에 표시된 바와 같이, 펄스 변압기의 하류의 펄스 전력 회로의 부분은 분리되어 있지만 실질상 동일하여 전극(83a, 83b, 84a, 84b)에서의 지터는 3ns보다 작을 것으로 추정된다. 따라서, 양 레이저의 이득 매체는 약 3ns 보다 작은 변화를 가지고 동시에 생성된다. 각각의 펄스의 지속시간은 약 20 내지 50ns이어서 제1 레이저에서 생성된 레이저 펄스는 제2 레이저에서 적합하게 증폭된다. 회로는 모든 포화가능한 인덕터가 각각의 펄스 이전에 역방향 도전하도록 모든 포화가능한 인덕터를 바이어싱하기 위하여 바이어스 회로를 구비한다. 이 바이어스 회로는 포화가능한 인덕터가 펄스직후 짧은 기간 동안 정방향 도전상태로 남아 전극으로부터의 반사된 펄스 에너지가 미국 특허 5,729,562호에 상세하게 설명된 바와 같이 회복될 수 있도록 설계된다.

<147> 본 발명의 바람직한 실시예에서, 제1 레이저의 출력 커플러는 제2 레이저의 입력 윈도우의 하류 약 1 피트에 위치되어 있다. 따라서, 이런저런 이유로 인해, 제1 레이저와 비교하여 제2 레이저의 방전을 지연하는 것이 바람직할 수 있다. 이것은, 전기 펄스가 약 ins/20 cm의 비로 양호한 도체를 통과하기 때문에, 제2 레이저의 펄스를 운반하는 도체를 제1 레이저용 상응하는 도체보다 길게(예를 들어, 20 내지 40 cm) 만듬으로써 용이하게 달성될 수 있다.

<148> 조정가능한 지연

<149> 타 레이저와 비교한 일 레이저의 방전의 타이밍을 제어하는 또 다른 연구법은 도 3c에 도시된 위치(63)에서와 같이 변압기(56)의 하류의 가지중 하나에 도 3에 도시된 회로의 포화가능한 인덕터를 삽입하는 것이다. 이러한 포화가능한 인덕터는 조정가능한 포워드 바이어스로 조정된다. 적용된 이 포워드 바이어스는 인덕터의 포워드 포화를 완료하는 시간이 요구되는 지연 시간과 대략 동일하도록 선택된다. 지연 시간은 포화가능한 인덕터의 권선수, 포화가능한 인덕터의 자기 코어의 단면적 및 인덕터의 자속 스윙 ΔB 의 함수이다. 요구되는 지연이 매우 작기 때문에 권수는 하나일 수 있고 코어는 (2인치 직경과 같이) 작을 수 있고 자속 스윙 ΔB 또한 도 3c2에 표시된 바와 같이 작을 수 있다. 바이어스를 조정함으로써, 상대 지연이 조정될 수 있다. 지연 제어는 지터를 제어하는 피드백 루프 설계로 통합될 수 있다. 오실레이터/증폭기 구성을 위해 필요할 것으로 예상되는 지연이 (대략 수 ns 또는 수십 ns로) 작기 때문에, 지연 리액터는 작게 제조될 수 있다. 또한, 전압-초 필요조건이 전력 펄스 압축 회로에서 요구되는 것보다 훨씬 작을 가능성이 높기 때문에, 코어 재료가 회로내에 유도된 손실을 최소화하기 위해 선택될 수 있다. 조정가능한 지연을 제공하는 또 다른 기술이 도 3d에 도시되어 있다. 이러한 경우에, 레이저중 하나에 펄스를 운반하는 도체(101)가 단일 루프 코일(102)로 설치되어 있고, 고 투자율을 가진 로드(103)는 코일내로 그리고 코일밖으로 가동하도록 설치되어 있다. 이 로드는 스텝퍼 모터 또는 압전 구동기와 같이 고속 구동을 가지고 위치될 수 있다.

<150> 조정가능한 지연을 제공하는 또 다른 방법이 도 3e에 도시되어 있다. 이러한 기술에서, 펄싱된 전류원(86)은 인덕터(L_4)를 위한 2차 펄스 전류를 제공하도록 사용된다. 이러한 전류원(86)은 역시 스위치를 폐로하는 트리거 회로(86)에 의해 트리거링된다. 도 3f에 도시된 바와 같이, 전류 펄스(I_s)는 스위치 S가 폐로하는 것과 거의 동시에 시작하고 메인 압축된 전류 펄스가 커패시터(C_4 , C_4')에 전달된 후에 시간 t_d 만큼 지속한다. t_d 는 약 $10\mu s$ 일 수 있다. 2차 펄싱된 전류는 인덕터(L_4)를 포화시키는 역할을 한다. 이러한 전류를 변경함으로써, 인덕터(L_4)의 BH 곡선상의 포화점은 변경될 수 있고, 그결과 지연 역시 변화될 수 있게 한다. 이러한 증폭된 회로내의 상응하는 인덕터(L_4)는 비조정가능한 바이어스 전류(I_{bias})로 바이어싱된다. 인덕터(L_4 , L_4')를 위해 2개의 펄싱된 전류원을 제공하는 것과 같은 본 기술의 다른 실시예가 또한 가능하다.

<151> 다른 펄스 변압기 구성

<152> 도 3b에 도시된 펄스 변압기 구성의 많은 변경이 가능하다. 바람직한 2개의 레이저 시스템용 출력 전압은 동일하지 않을 수 있다. 상이한 전압이 필요하다면, 이것은 타 변압기와 비교하여 하나의 변압기용 인덕션 유닛의

수를 보다 작게 하거나 보다 많게 함으로써 용이하게 달성될 수 있다. 또한, 스위치는 타 변압기와 비교하여 변압기중 일 변압기의 방전 전압 출력을 감소시키기 위해 인덕션 유닛의 일부를 잘라내도록 상기 변압기내에 포함될 수도 있다. 탭은 감소된 레벨로 2차 전압을 감소시키기 위해 각 변압기의 임의의 4개의 변압기 섹션들 사이에 제공될 수도 있다.

<153> 센터라인 파장의 제어

<154> 발명자는 상기 설명된 바와 같이 F_2 레이저 시스템의 센터라인 파장 제어를 위한 기술을 찾기 위해 광범위한 테스트를 행하였다. 발명자는 시드 빔이 $20\mu J$ 내지 $50\mu J$ 이상의 범위에 있는 마스터 오실레이터, 전력 증폭기 구성에서 시드 빔의 센터 파장 및 대역폭은 출력 빔의 센터 파장 및 대역폭을 거의 정확하게 결정한다는 것을 발견하였다. 또한, 발명자는 레이저 가스 압력, 완충 가스 혼합물, F_2 부분 압력, 레이저 가스 온도, 방전 전압 및 펄스 에너지의 센터 파장 및 대역폭에 대한 영향을 정확하게 측정하였다. 그다음, 발명자는 이러한 결과를 하나 이상의 상기 파라미터를 변화시킴으로써 센터 파장을 제어하기 위해 사용한다. 센터라인 파장을 만들기 위해 필요한 파라미터 부과의 정도는 상기 및 도면에 도시된 압력 시프트 계수에 의해 표시되어 있다.

<155> 발명자는 전체 레이저 가스 압력이 센터라인 파장을 제어하기 위해 보다 용이하게 사용되는 파라미터일 것이라고 생각하지만, 다른 파라미터가 또는 하나 보다 많은 파라미터의 조합이 사용될 수도 있다.

<156> 본 발명이 특정 실시예에 대하여 설명되었지만, 독자는 본 발명의 범위가 첨부된 청구항 및 그들의 적절한 동등물에 의해 결정되어야 한다는 것을 이해해야 한다.

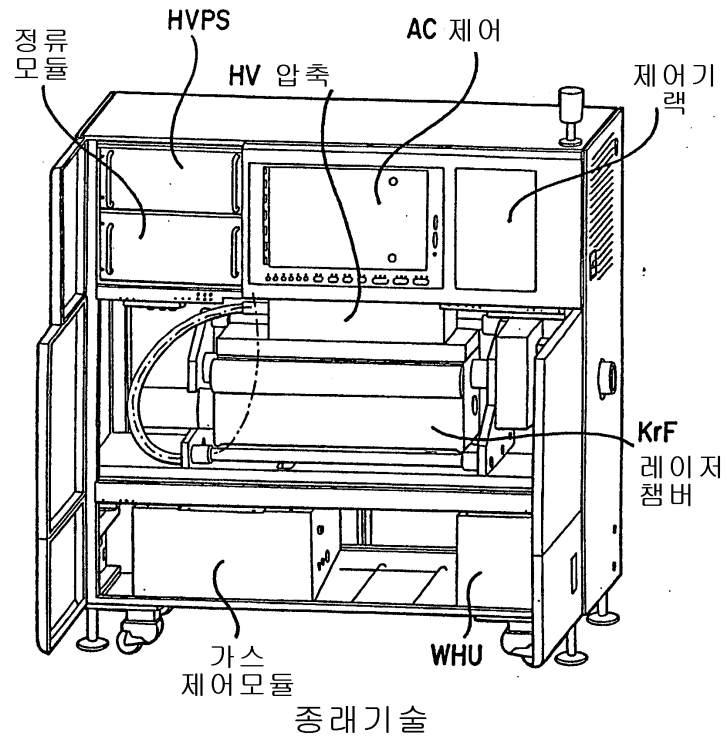
도면의 간단한 설명

- <31> 도 1은 종래 상업용 엑시머 리소그래피 레이저의 도면,
- <32> 도 1a는 집적 회로 리소그래피에 사용된 종래 상업용 엑시머 레이저의 주요 요소의 일부를 도시하는 블록도,
- <33> 도 1b는 도 1 레이저의 레이저 챔버의 도면,
- <34> 도 2는 본 발명의 특징을 도시하는 블록도,
- <35> 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예의 특징을 도시하는 전기 회로 도면,
- <36> 도 3a는 펄스 변압기의 도면,
- <37> 도 3b는 도 3a의 특징을 도시하는 도면,
- <38> 도 3c는 조정가능한 지연을 제공하는 도 3 회로의 수정을 나타내는 도면,
- <39> 도 3c1은 B-H 곡선을 나타내는 도면,
- <40> 도 3d는 대안의 필터 조정 기술을 도시하는 도면,
- <41> 도 3e는 조정가능한 지연을 제공하는 회로를 도시하는 도면,
- <42> 도 3f는 펄스 타이밍 시퀀스를 도시하는 도면,
- <43> 도 4 및 도 5는 F_2 레이저 시스템의 블록도,
- <44> 도 6 및 도 6a는 제1 격자 모노크로메이터의 특징을 도시하는 도면,
- <45> 도 7은 제2 격자 모노크로메이터의 특징을 도시하는 도면,
- <46> 도 8은 에탈론 필터의 특징을 도시하는 도면,
- <47> 도 9 및 도 10은 전력 이득 스테이지의 블록도,
- <48> 도 11, 도 11a, 도 11b, 도 11c, 도 11d는 펄스 전력 시스템의 특징을 도시하는 도면,
- <49> 도 12는 피드백 제어 시스템내의 펄스 에너지 검출기를 도시하는 도면,
- <50> 도 13은 센터라인 파장의 절대값을 결정하는 셋업을 도시하는 도면,
- <51> 도 13a 내지 도 13d는 스펙트럼 데이터 그래프,

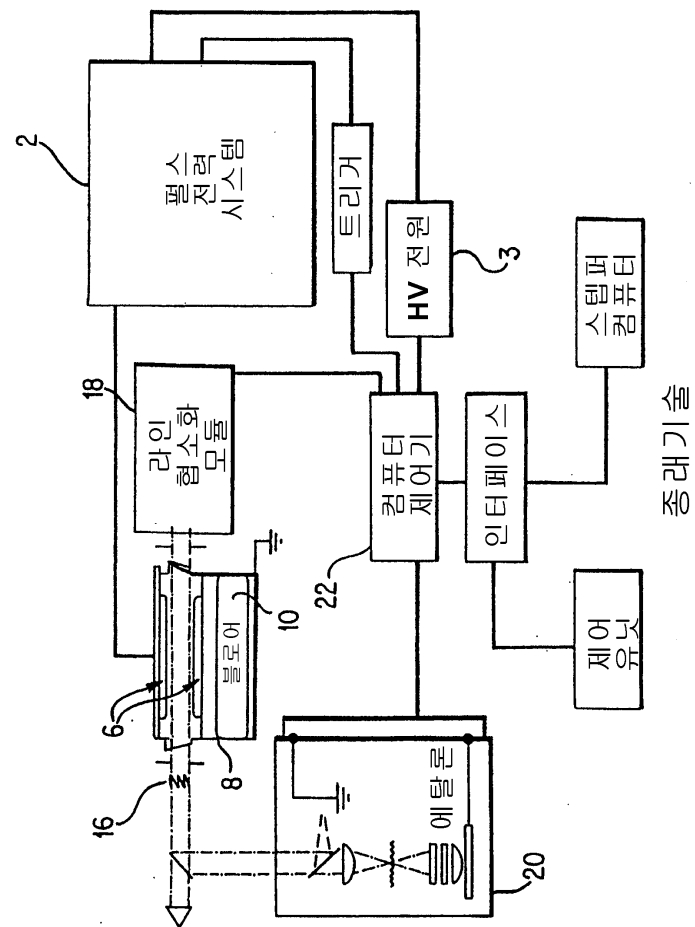
- <52> 도 14는 센터라인 파장 및 대역폭상의 파라미터 변화의 영향을 측정하는 셋업을 도시하는 도면, 및
 <53> 도 14a 내지 도 14h는 스펙트럼 데이터의 그래프.

도면

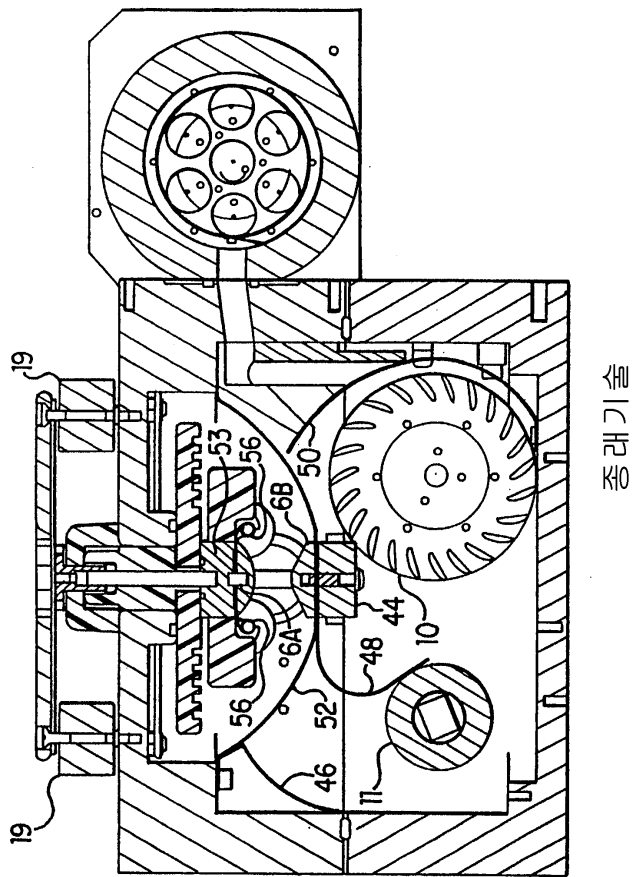
도면1



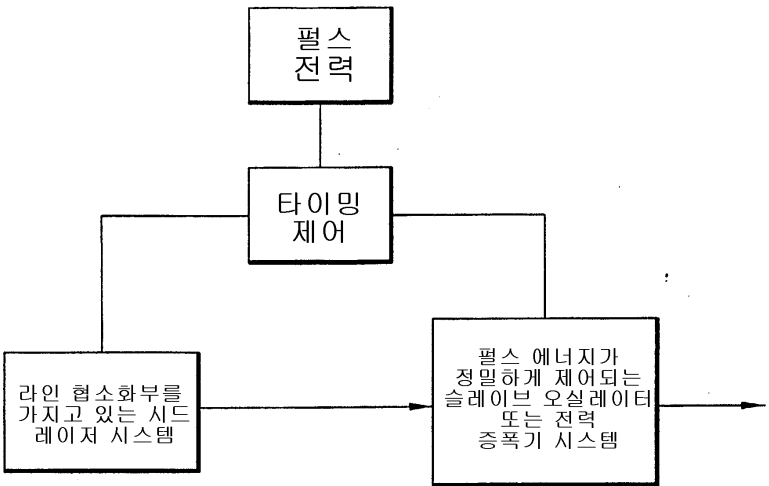
도면1a



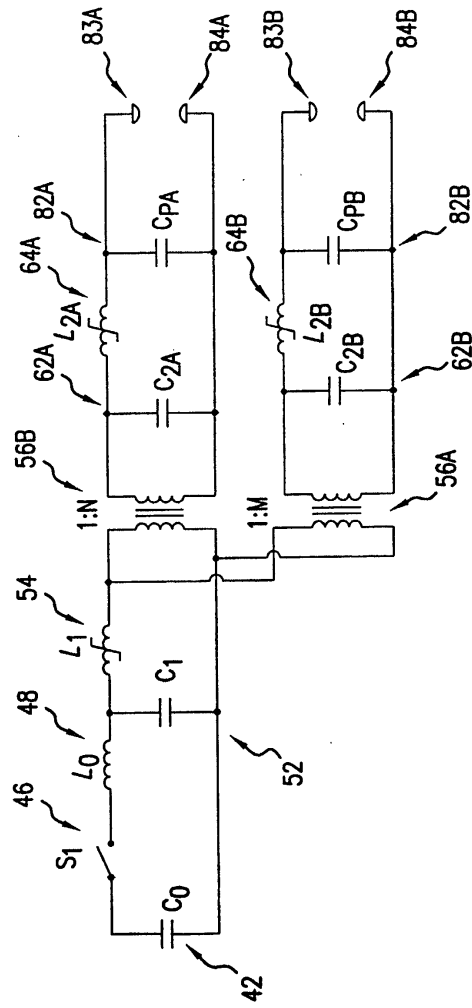
도면1b



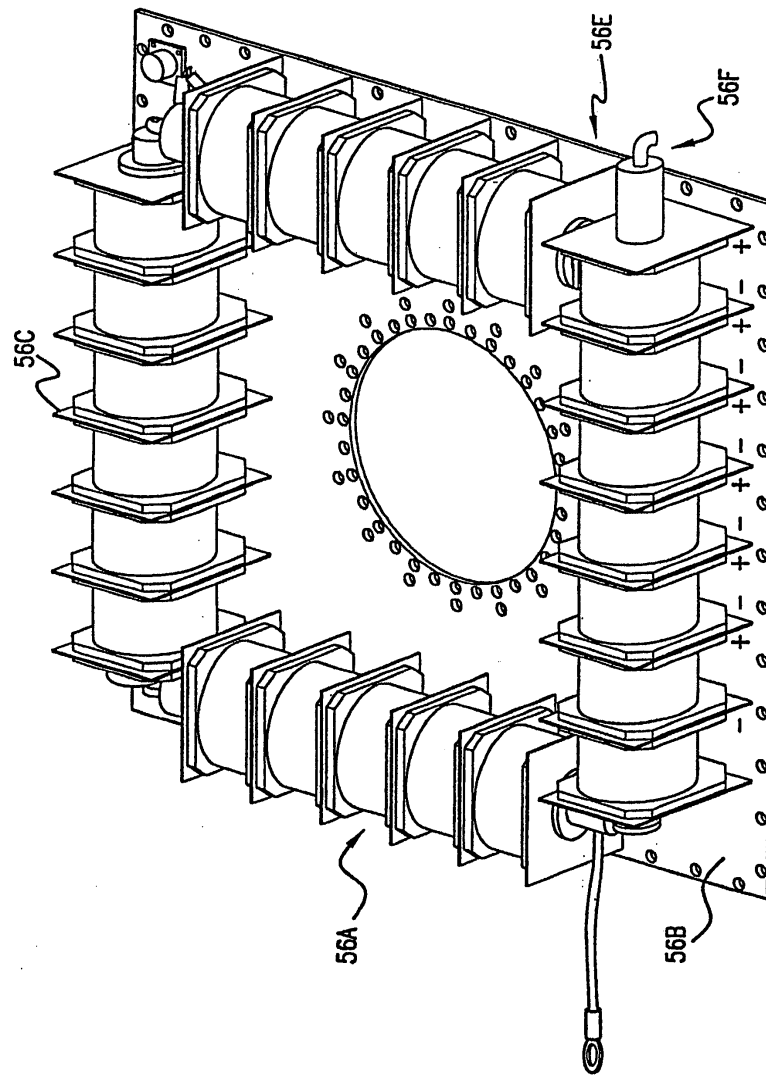
도면2



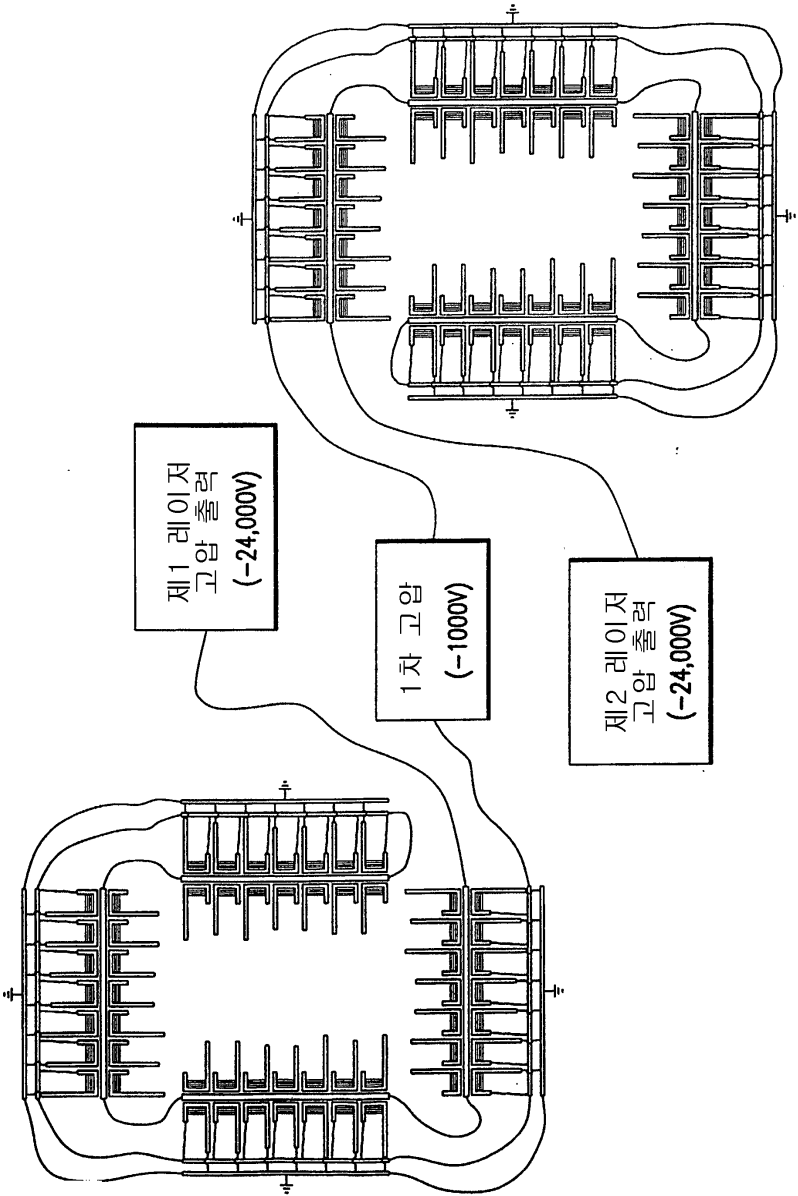
도면3



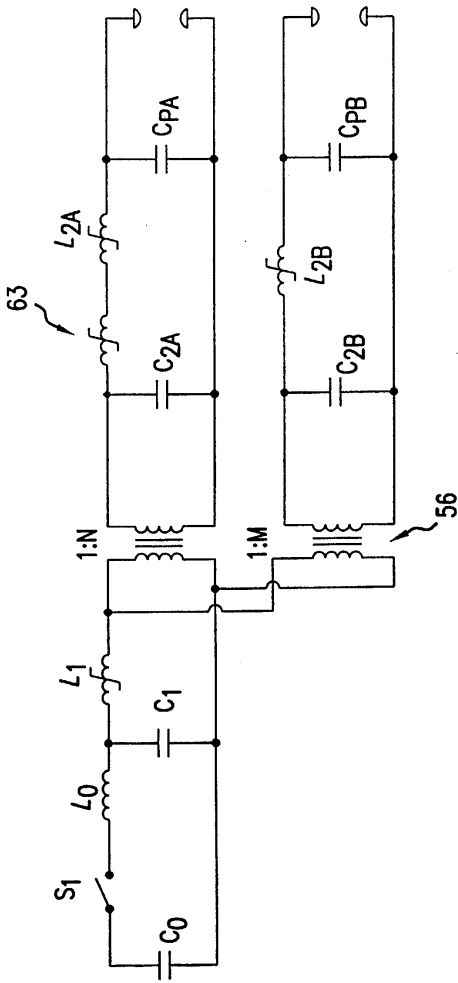
도면3a



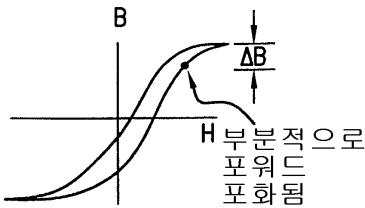
도면3b



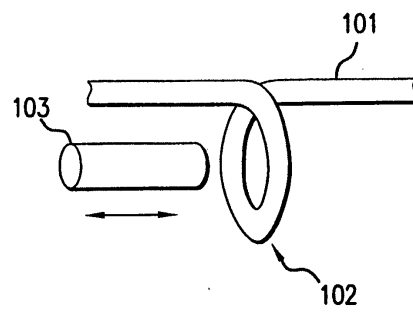
도면3c



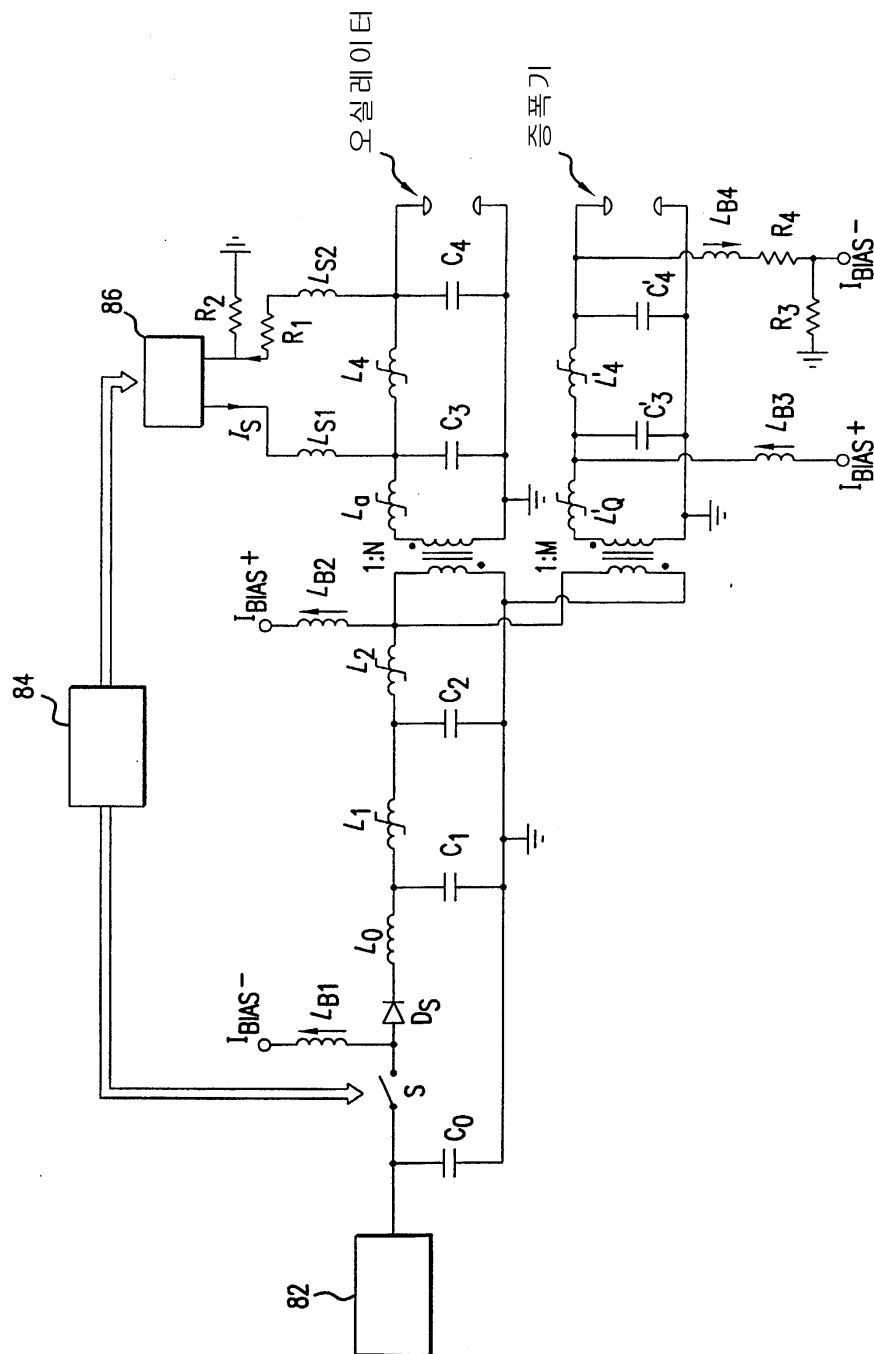
도면3c-1



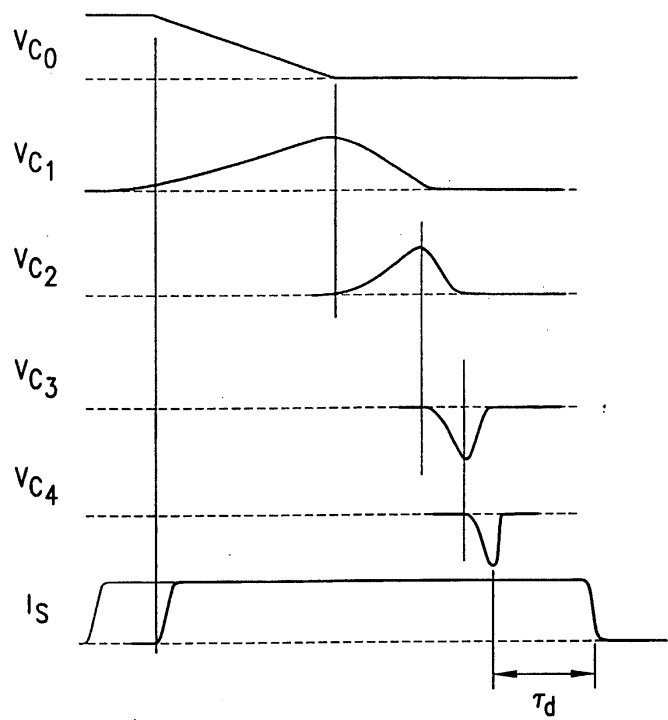
도면3d



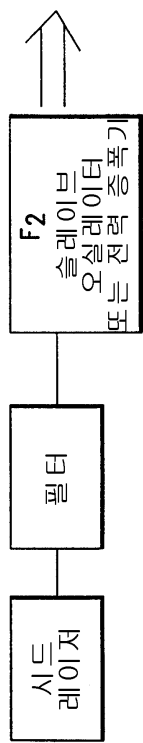
도면3e



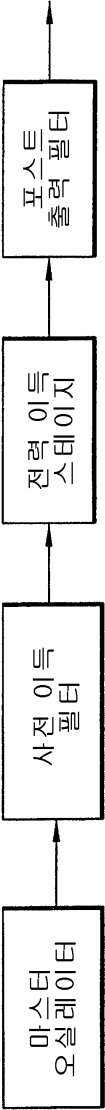
도면3f



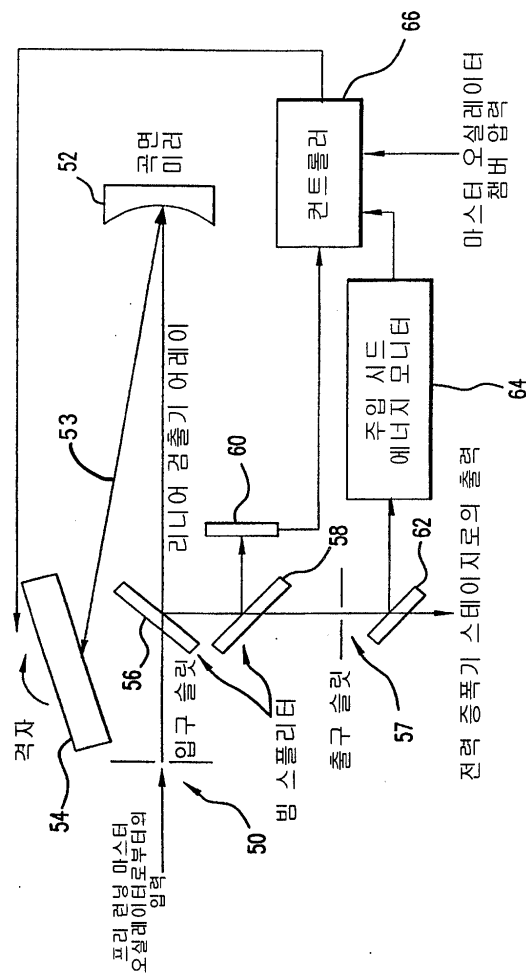
도면4



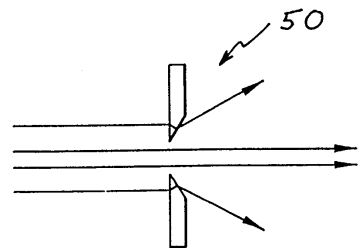
도면5



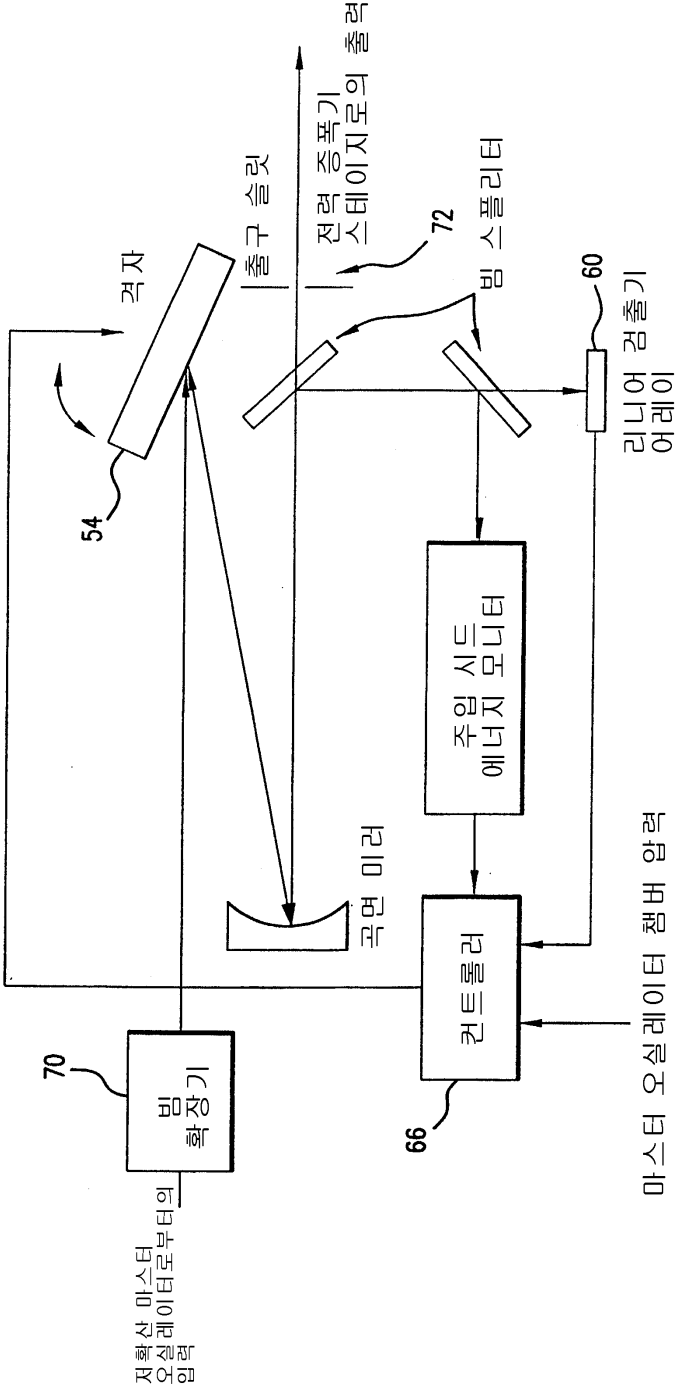
도면6



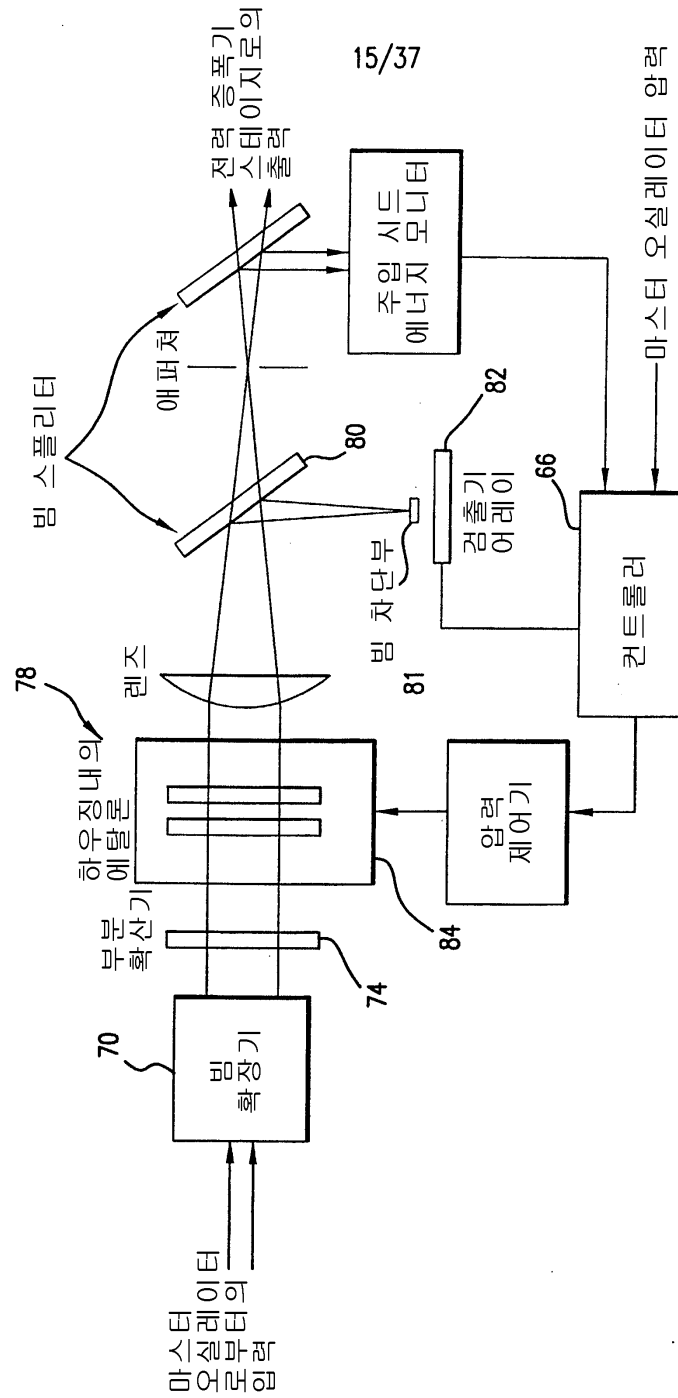
도면6a



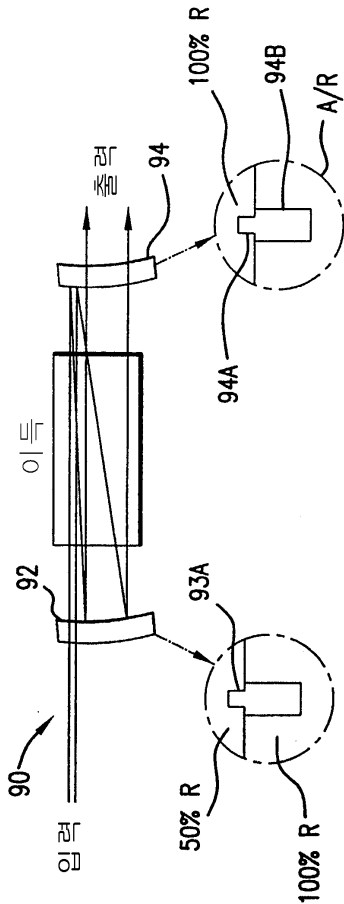
도면7



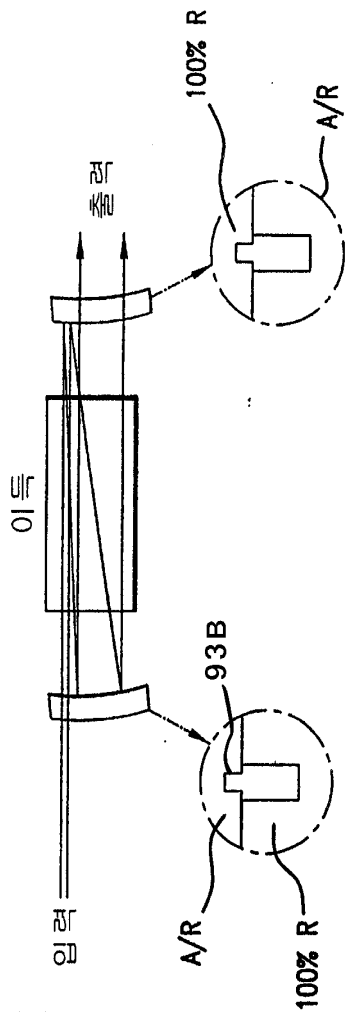
도면8



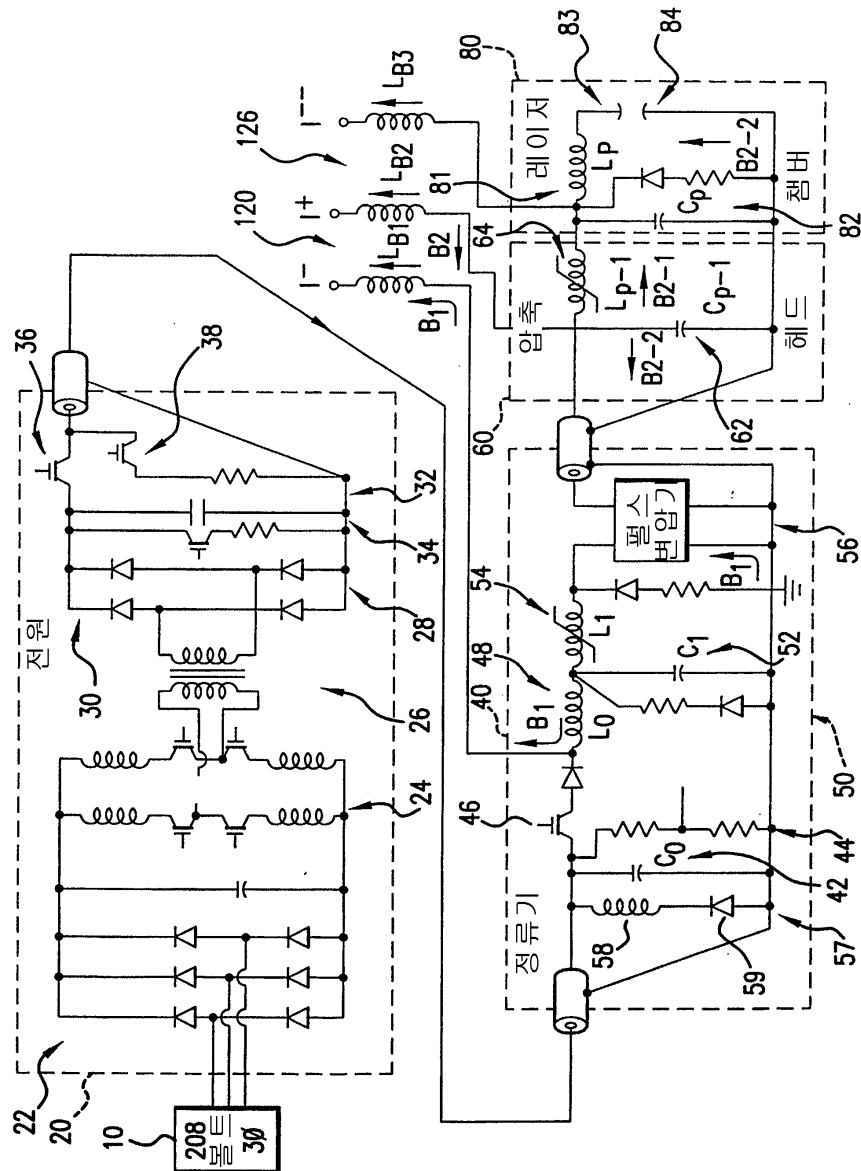
도면9



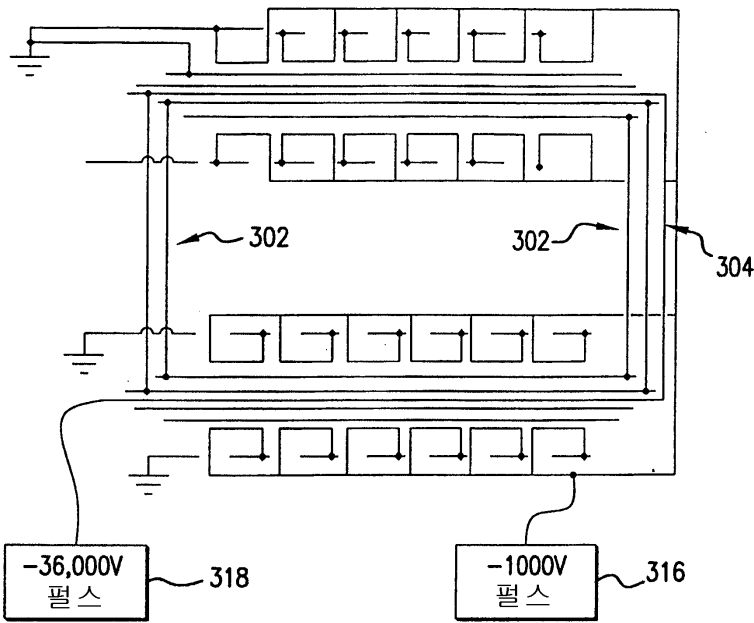
도면10



도면11



도면11a



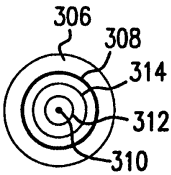
도면11b



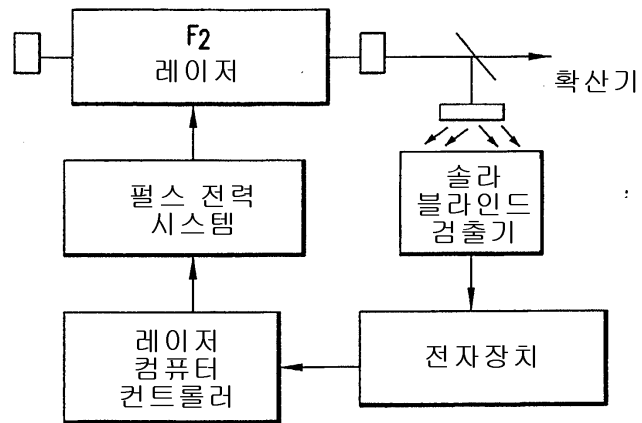
도면11c



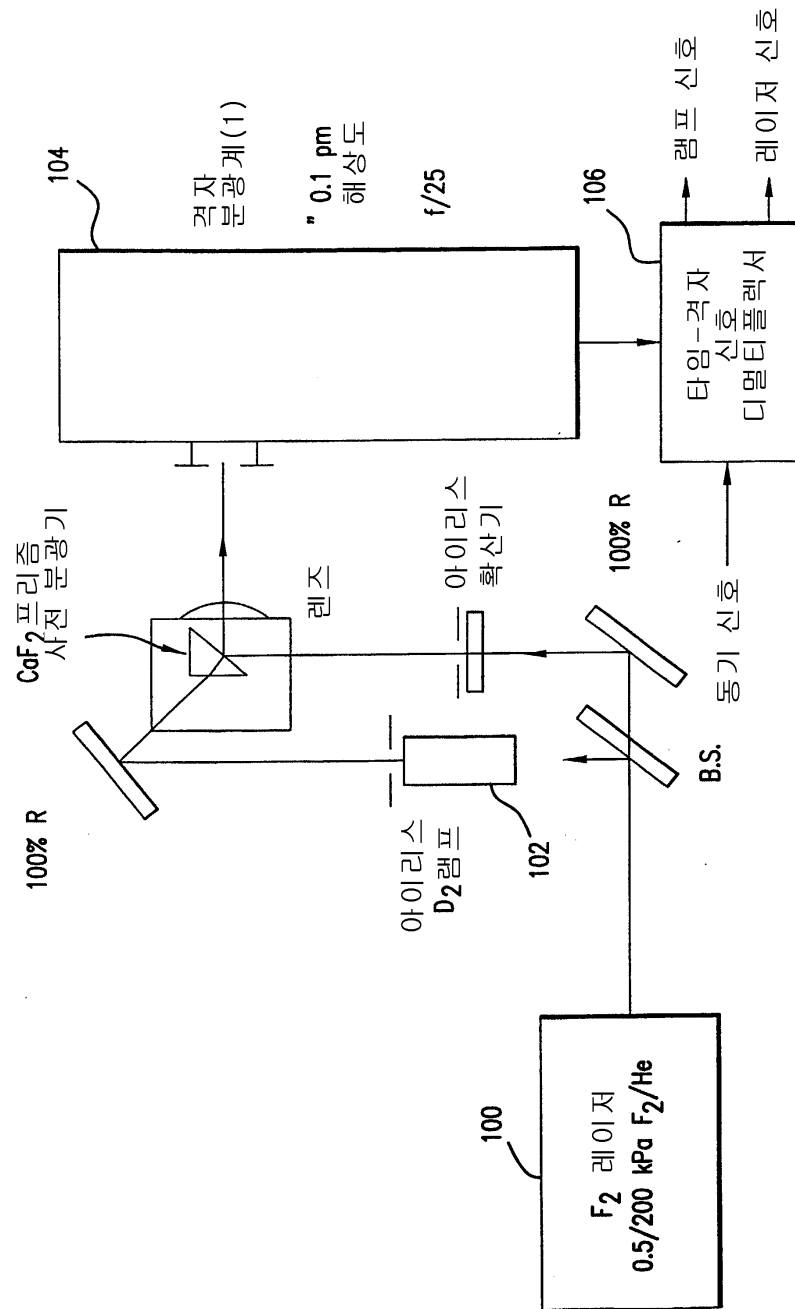
도면11d



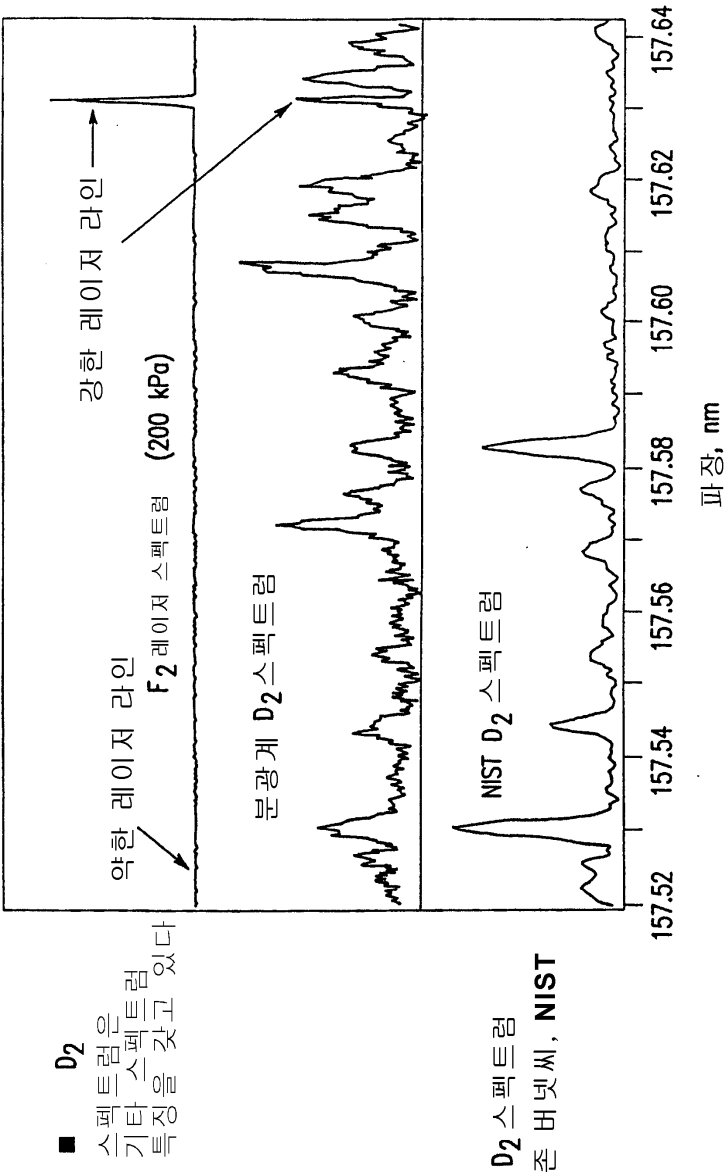
도면12



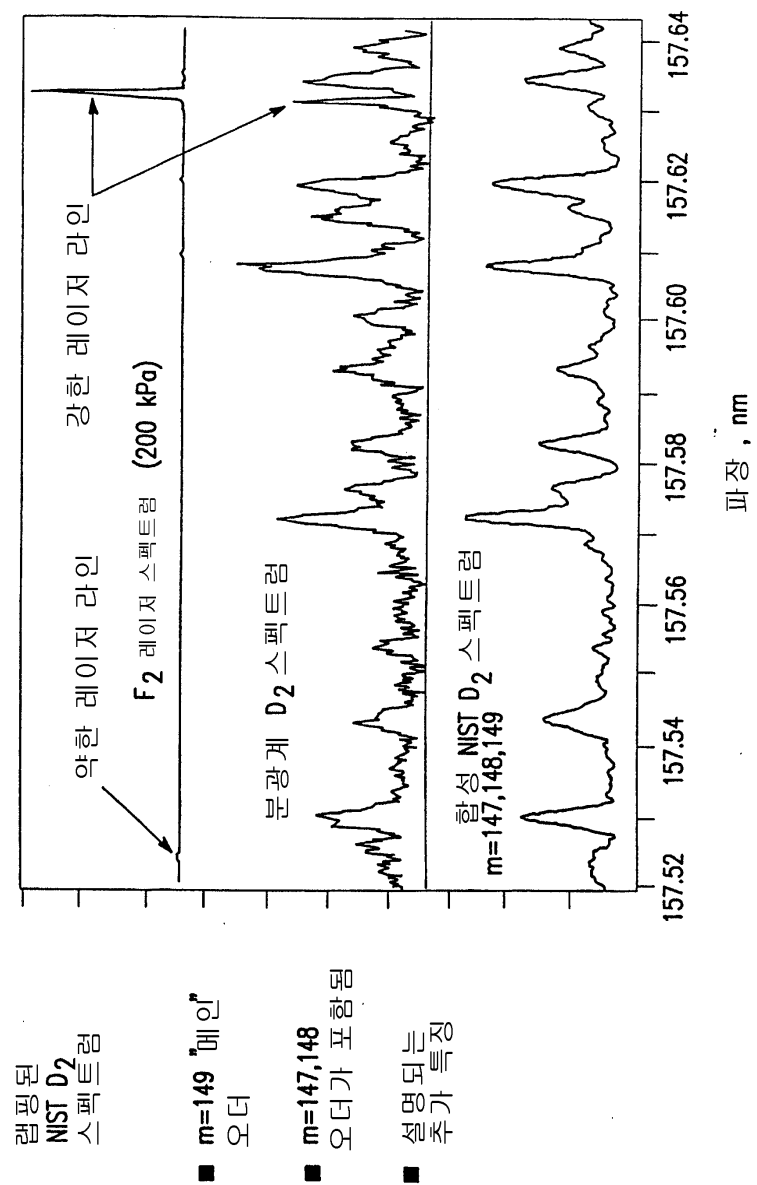
도면13



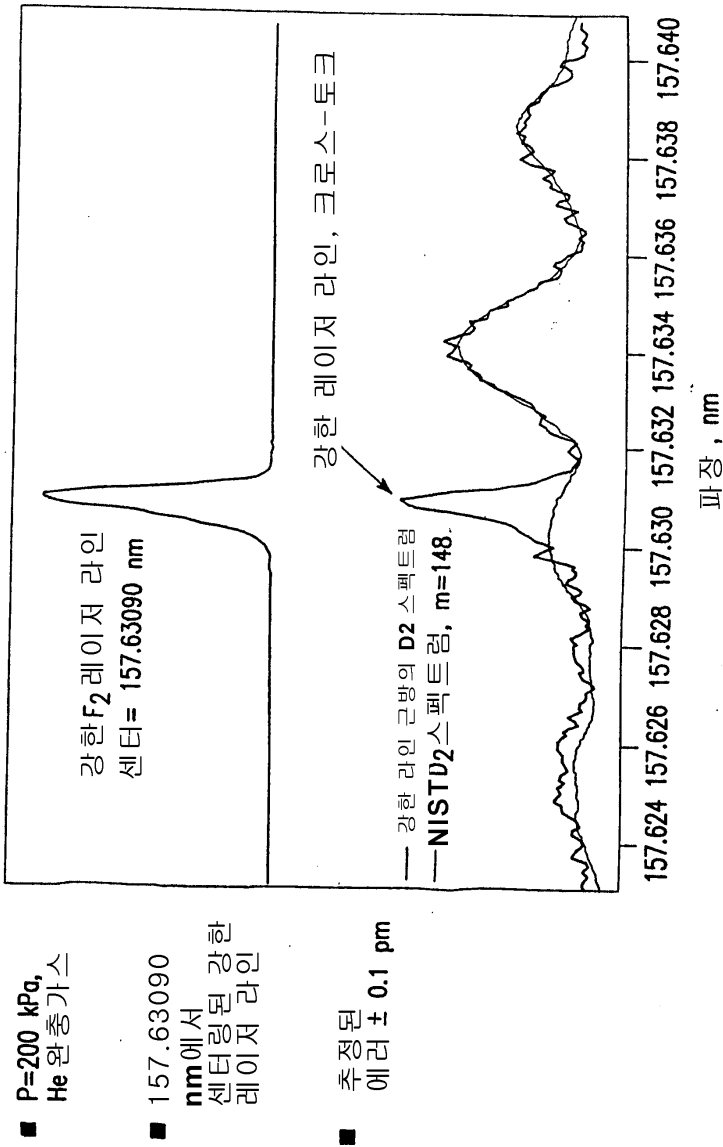
도면13a



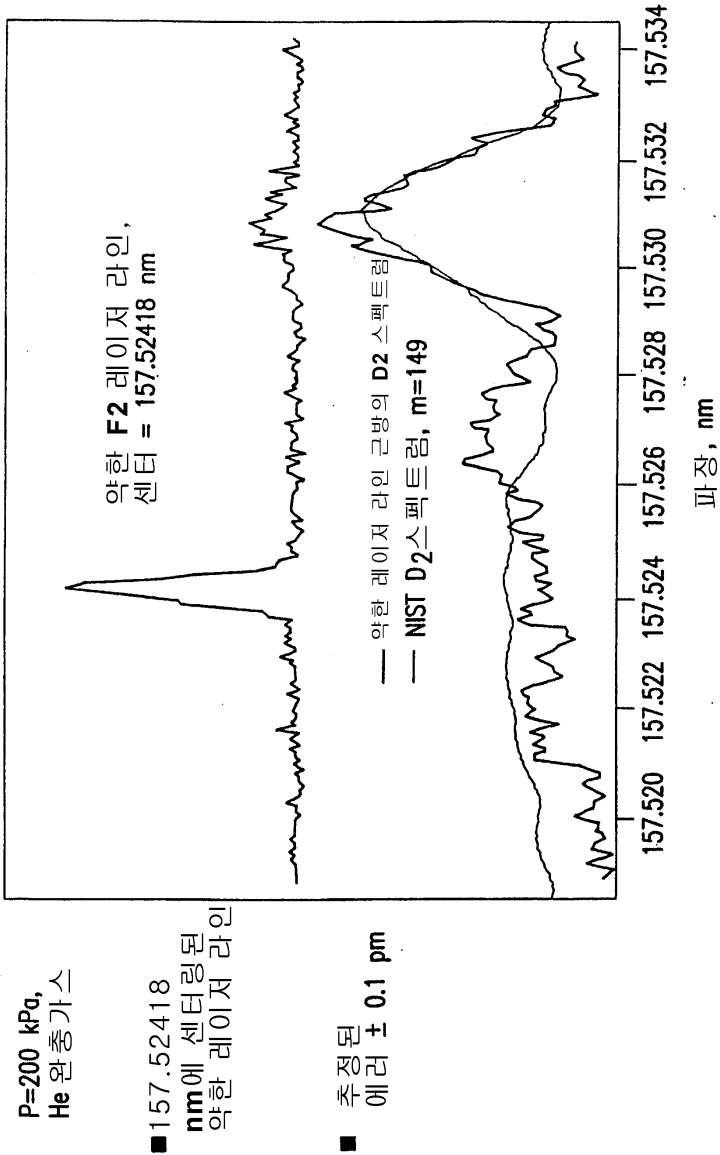
도면13b



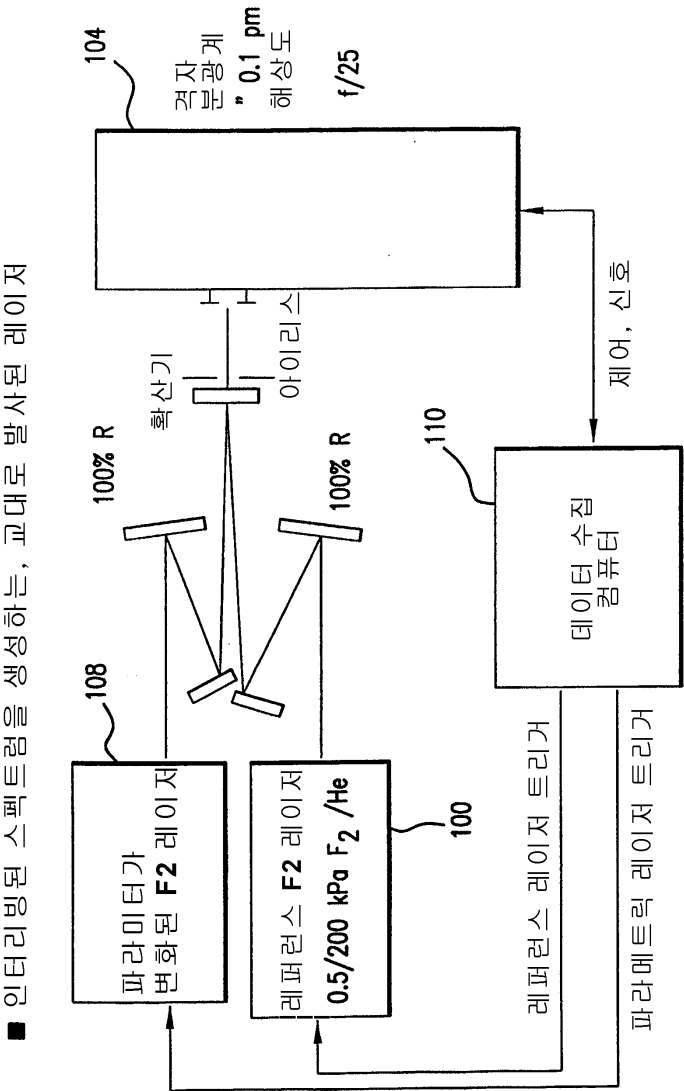
도면13c



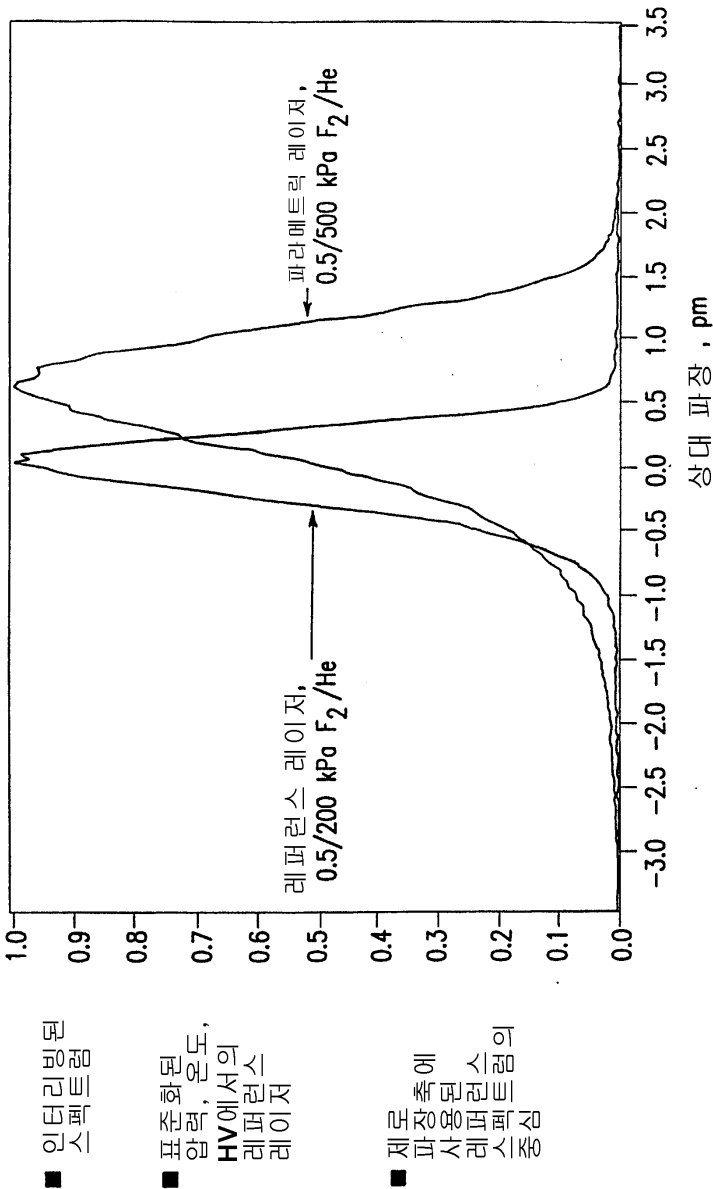
도면13d



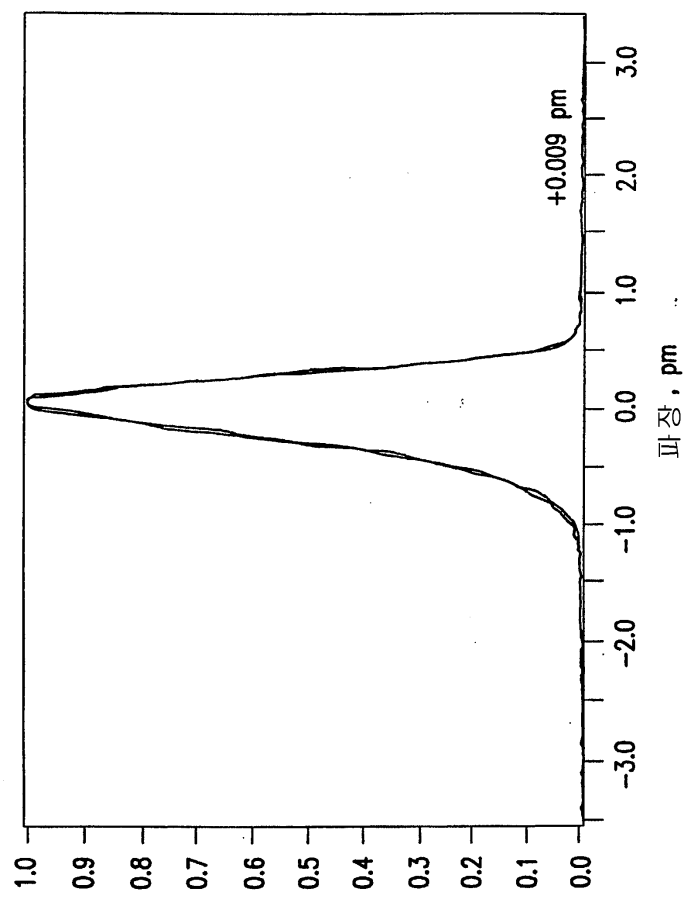
도면14



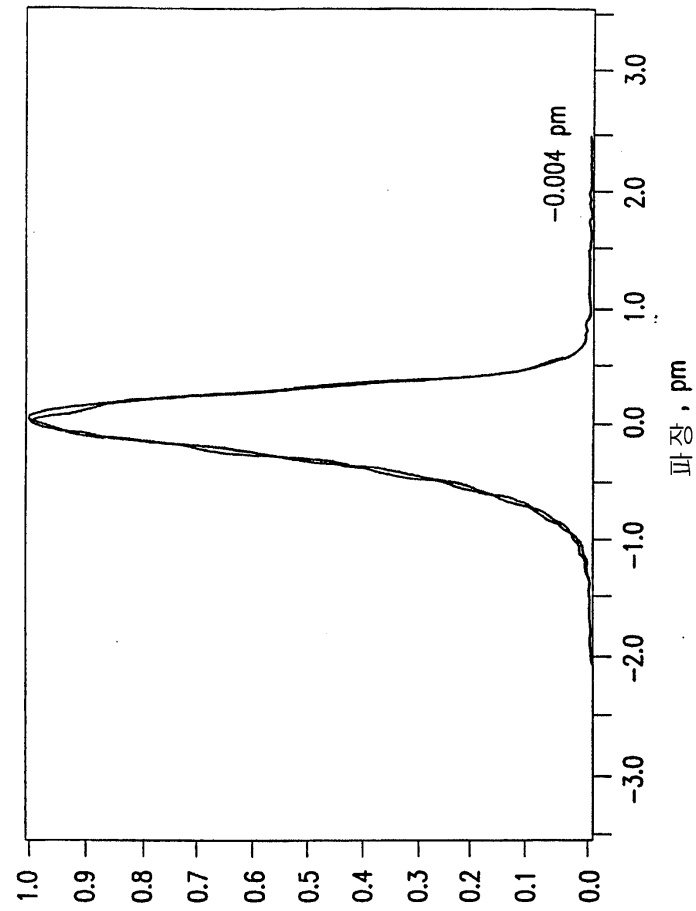
도면14a



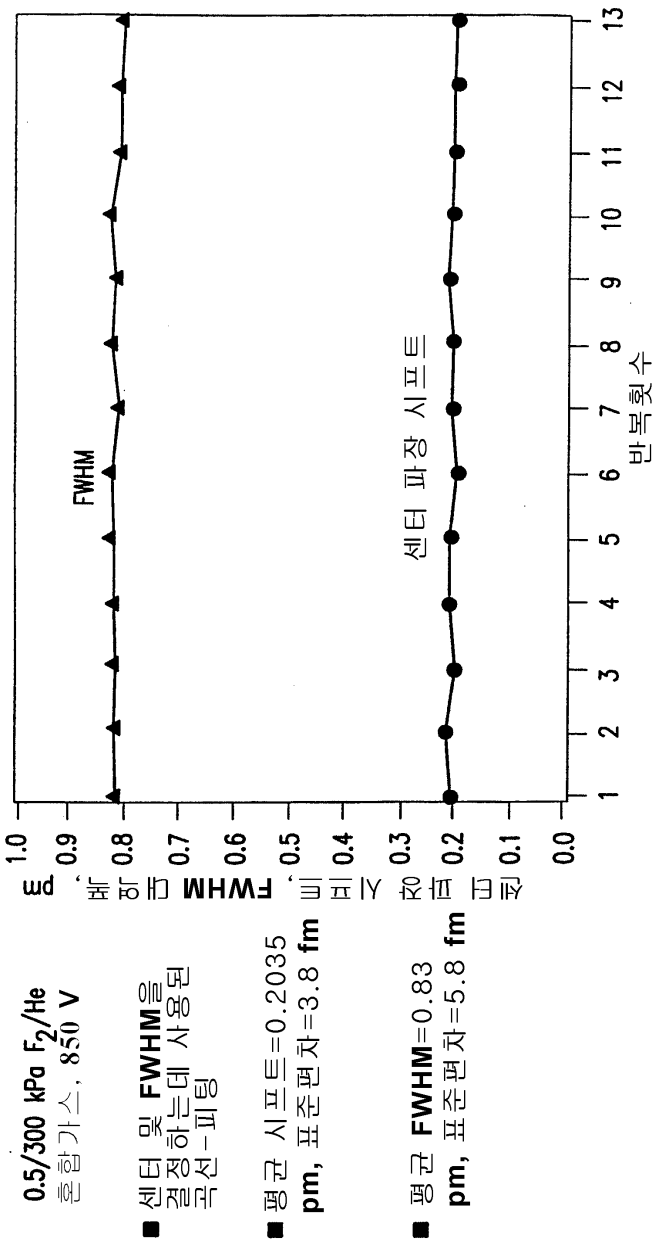
도면14b1



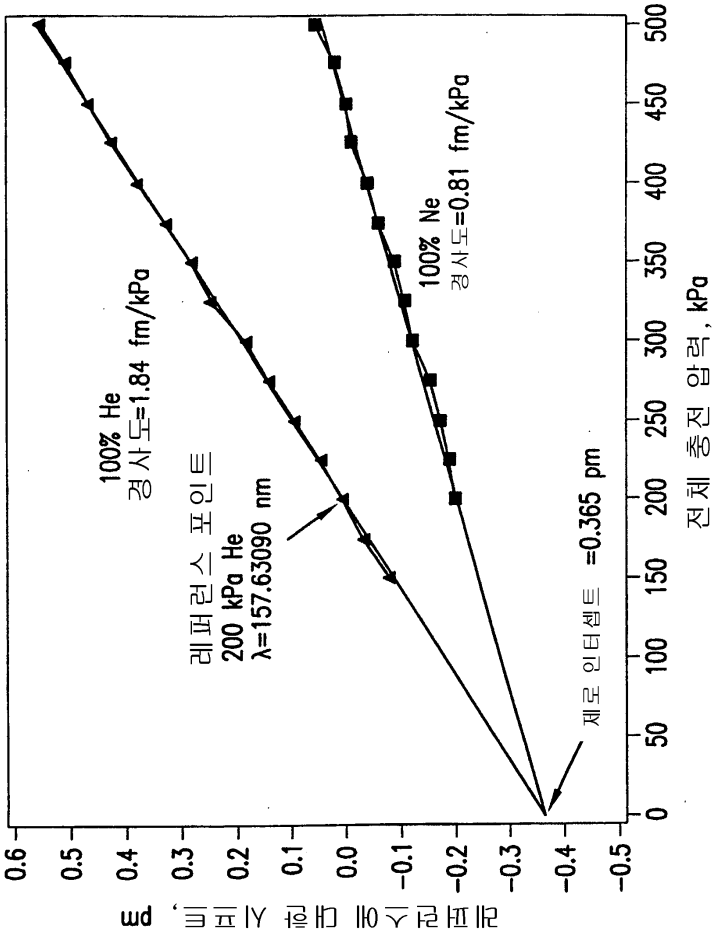
도면14b2



도면14c



도면14d

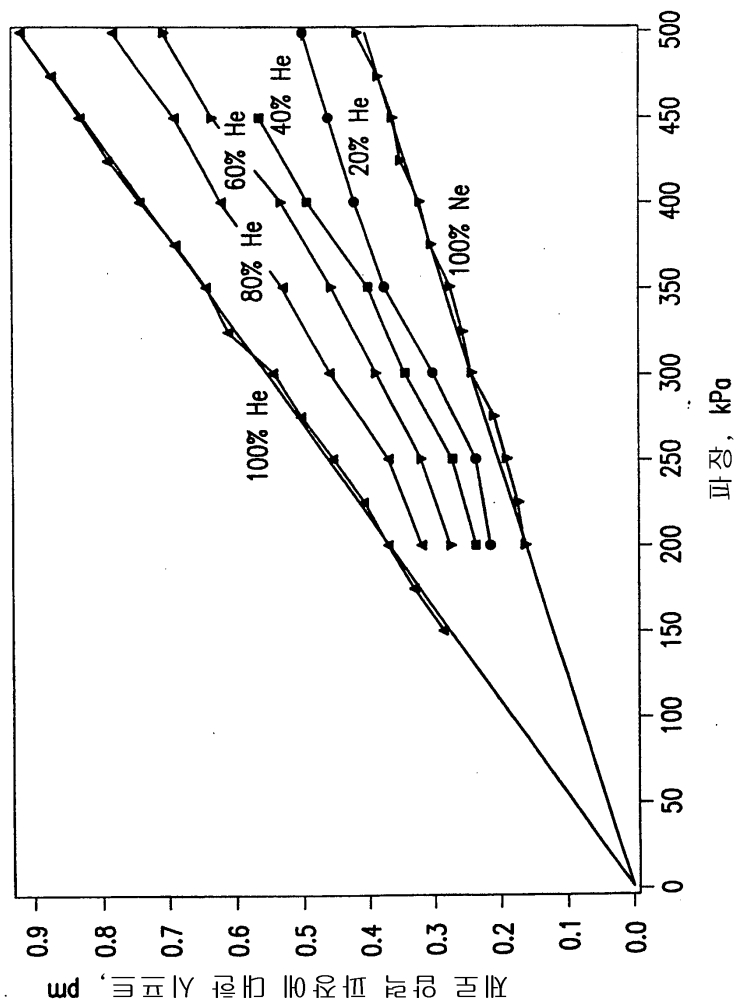


■ 압력 시프트 계수:
He : 1.84 fm/kPa
Ne : 0.81 fm/kPa

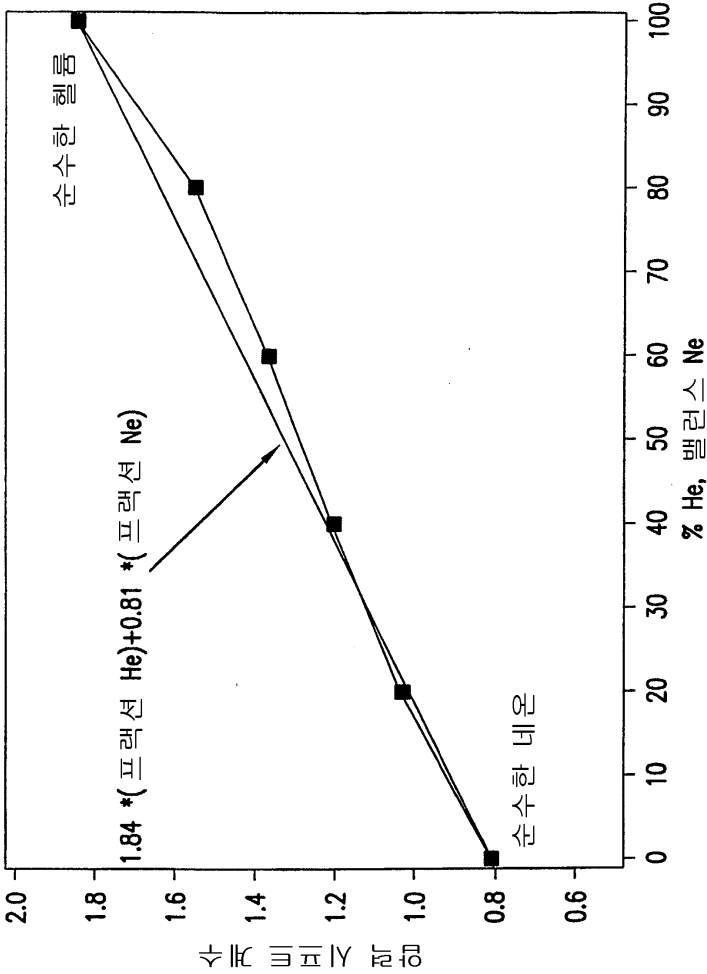
■ 음속 레퍼런스 포인트:
1.84/0.81 = 2.27
sqrt(20/4) = 2.24

■ 제로 인터셉트

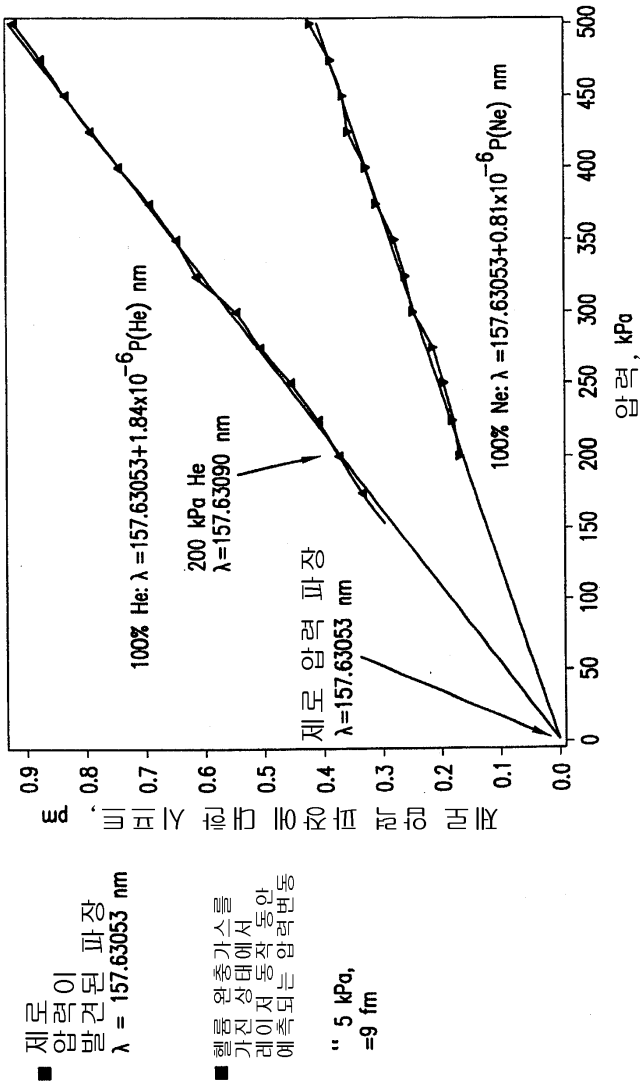
도면14d1



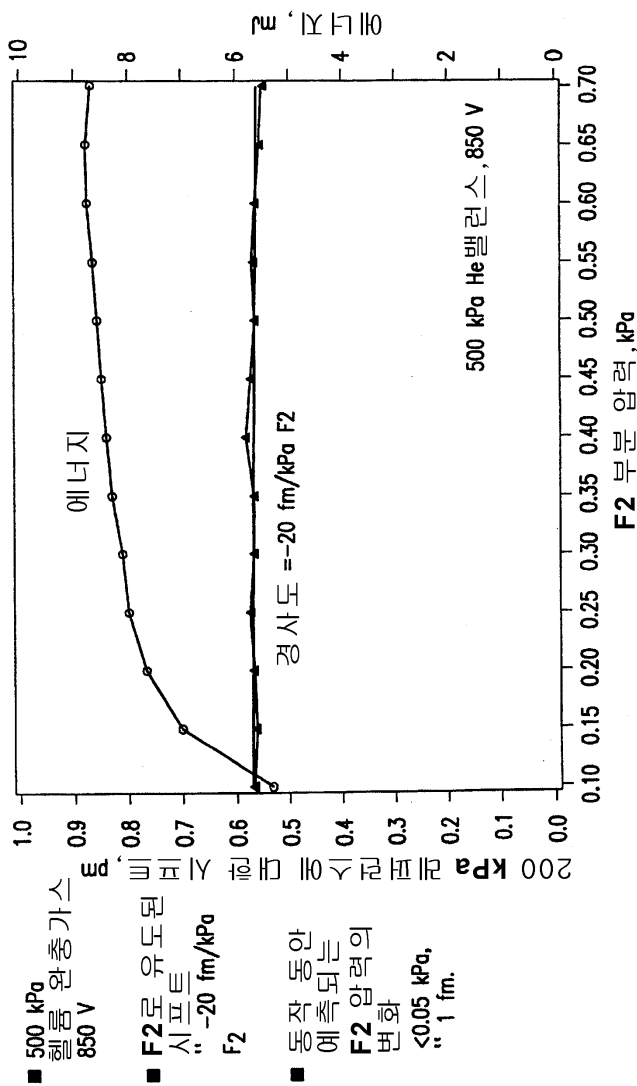
도면14d2



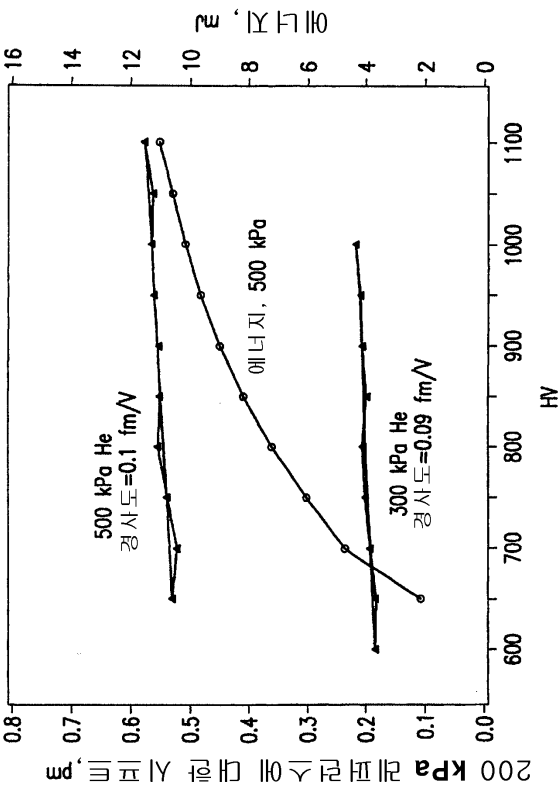
도면14e



도면14e1

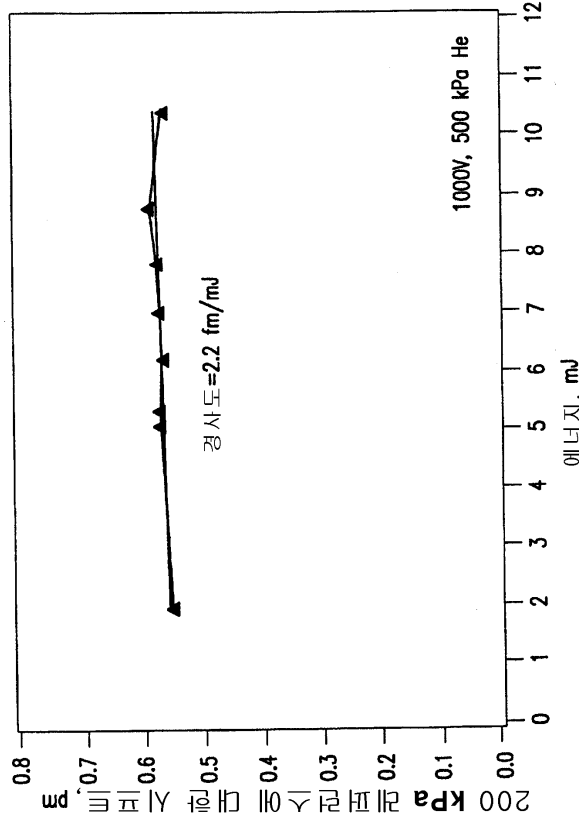


도면14f



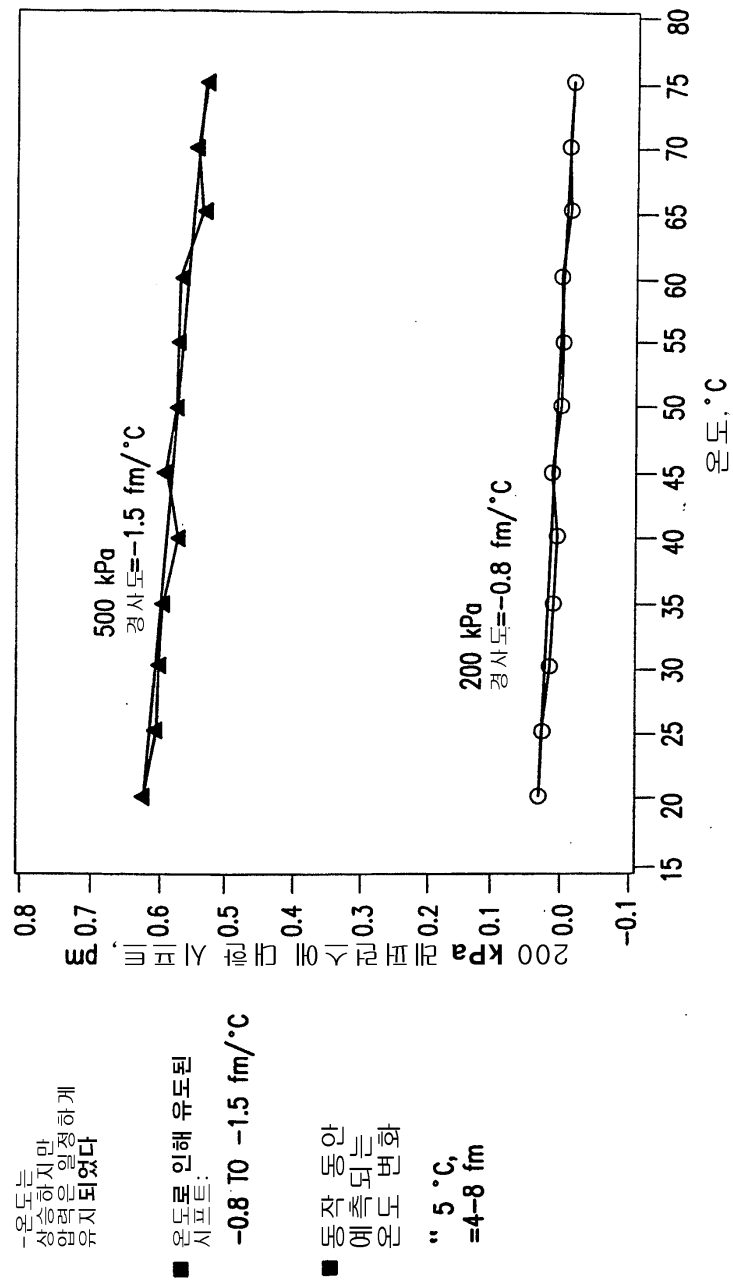
- 300, 500 kPa에서의 헬륨 완충가스
- HV로 유도된 시프트 " 0.1 fm/V
- 각각 동안 에너지를 전압 변화 " 200 V, = 20 fm.
- 출력 에너지의 변화에 의해 HV의 변화가 발생했는지?

도면14g



- 전 파라미터는
반경정확하게
알려진다:
1000V, 500 kPa He
- 에너지의 범위를
신축하기 위해
변환되는 레이저
빔의 폭도
- 에너지에 대한
약간의 폭도:
2.2 fm/mJ
- 예측되는 에너지
변환(다이내믹
범위):
“ 2mJ,
=5fm

도면14h



온도는
상속한지만
임계점을 일정하게
유지되었다

■ 온도로 인해 유도된
시프트:
-0.8 TO -1.5 fm/°C

■ 잔 동안
에 따른 온도 변화
" 5 °C,
=4-8 fm