



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0046181
(43) 공개일자 2017년04월28일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21B 1/19 (2006.01) G21B 1/03 (2006.01)
G21B 1/23 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G21B 1/19 (2013.01)
G21B 1/03 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-7009745(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2009년08월28일
심사청구일자 없음
- (62) 원출원 특허 10-2016-7015719
원출원일자(국제) 2009년08월28일
심사청구일자 2016년07월08일
- (85) 번역문제출일자 2017년04월10일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2009/055448
- (87) 국제공개번호 WO 2010/047880
국제공개일자 2010년04월29일
- (30) 우선권주장
61/190,435 2008년08월28일 미국(US)
61/211,449 2009년03월30일 미국(US)

- (71) 출원인
어드밴스드 퓨전 시스템스 엘엘씨
미국 06470 코네티컷 뉴타운 에드몬드 로드 11
- (72) 발명자
버튼바흐 커티스 에이
미국 10804 뉴욕 뉴 로첼레, 파인브룩 블루버드 461
- (74) 대리인
이재민

전체 청구항 수 : 총 10 항

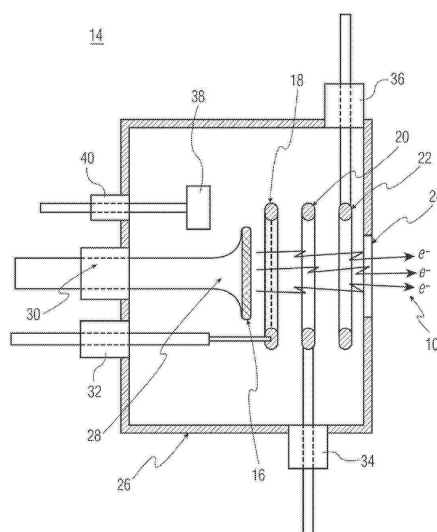
(54) 발명의 명칭 융합연료 펠릿의 관성봉입으로부터 도출되는 플라즈마에 전자를 인젝션하는 방법

(57) 요약

발명의 한가지 형태는 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화하는 장치에 관한 것이다. 상기 장치는 융합연료를 수용하는 표적 챔버와 상기 융합연료의 제어된 핵융합반응 점화를 실행하기 위하여 플라즈마 컨파인먼트 수단을 융합연료로 향하도록 배치한 에너지 구동수단을 포함한다. 또한 개선된 점은 미리 정해진 에너지와 영향 중 하나

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



그리고 미리 정해진 양의, 플라스마를 향하고 방사하는 전자빔을 제공하는 다수의 전자원(electron source) 및 상기 플라스마의 전자온도에 대한 이온온도 비를 제어하는 융합연료-과생된 플라스마를 포함하는 것이다.

플라스마의 전자온도에 대한 이온온도 비를 제어함으로써, 핵융합반응의 조기점화 상태는 효과적으로 실행된다.

발명의 제 2 형태는 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화하는 다른 장치에 관한 것이다. 상기 장치는 융합표적 물질(fusion target material)의 구형 펄릿을 수용하기 위한 중심 표적 챔버와 적어도 상기 펄릿에 관하여 3차원 대칭방식으로 제 1 및 제 2의 융합표적 물질에 X선 펄스를 제공하기 위해 배치된 다수의 제 1 및 제 2 에너지 구동기(energy drivers)를 포함한다. 다수의 제 1 및 제 2 에너지 구동기는 융합표적 물질에 시간적-단계적 제 1 및 제 2의 X선 펄스 그룹을 제공한다. 제 2 그룹은 제 1그룹이 제공된 다음 일정 시간 후에, 상기 융합표적 물질의 조기점화 상태로 제공된다.

플라스마에 대해 일시적으로 공간을 두는 에너지 펄스는 플라스마의 유체 불안정성을 감소시키는 역할을 한다.

발명의 제 3 형태는 발명의 제 2 형태의 시간적-단계적 에너지 펄스의 하나 또는 그 이상의 요소를 구비하는 제 1 발명 형태의 전자 강화 특성을 결합한 것이다. 제 1 및 제 2 발명 형태의 결합은 핵융합반응의 조기점화 상태를 보다 강화한다.

(52) CPC특허분류

G21B 1/23 (2013.01)

Y02E 30/16 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

융합연료 펄릿의 관성봉입으로부터 도출되는 플라즈마에 전자를 인젝션하는 방법에 있어서,

a) 융합연료 펄릿을 수용하는 중심 표적 챔버를 제공하는 단계;

상기 융합연료 펄릿은 구형펄릿이고,

b) 융합연료 펄릿의 주위에 대칭쌍으로 배치되고,

광학적 레이저광, X선 펄스 또는 이온의 제1 에너지 펄스를, 상기 융합연료 펄릿에 대해 3차원 대칭 방식으로, 상기 융합연료 펄릿으로 향하도록 하는 다수의 에너지 구동기를 제공하는 단계;

c) 융합연료 펄릿의 관성봉입으로부터 도출되는 플라즈마를 생성하도록 상기 구형 펄릿을 조명(illuminating)하고 이오나이징(ionizing) 하기 위한 다수의 에너지 드라이버를 구동하는 단계;

d) 소정 에너지와 양을 갖는 전자빔을 생성하는 다수의 전자원을 제공하는 단계; 상기 전자빔은 상기 플라즈마를 향하고, 상기 전자빔은 이온과 플라즈마의 전자온도 비율을 제어하며;

e) 상기 다수의 에너지 구동기를 작동시키는 단계 이후에, 전자빔이 플라즈마를 관통하도록 하는 방식으로 상기 다수의 전자원을 작동시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 융합연료 펄릿의 관성봉입으로부터 도출되는 플라즈마에 미리 정해진 에너지와 양의 전자들을 인젝션하는 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

제어입력을 통해 전자빔의 에너지 수준을 조정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 융합연료 펄릿의 관성봉입으로부터 도출되는 플라즈마에 미리 정해진 에너지와 양의 전자들을 인젝션하는 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

제어입력을 통해 전자빔의 전류를 조정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 융합연료 펄릿의 관성봉입으로부터 도출되는 플라즈마에 미리 정해진 에너지와 양의 전자들을 인젝션하는 방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,

전자원은 플라즈마 내로 전자빔을 포커싱하는 것을 특징으로 하는 융합연료 펄릿의 관성봉입으로부터 도출되는 플라즈마에 미리 정해진 에너지와 양의 전자들을 인젝션하는 방법.

청구항 5

제 1항에 있어서:

다수의 전자원을 제어하는 단계를 더 포함하며, 다수의 전자원은, 상기 제1 에너지 펄스 이후에, 미리 정해진 시간 간격, 미리 정해진 에너지, 펄스폭 및 양의 전자 펄스를 플라즈마 내로 주입하는 것을 특징으로 하는 융합연료 펄릿의 관성봉입으로부터 도출되는 플라즈마에 미리 정해진 에너지와 양의 전자들을 인젝션하는 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

제1 에너지 펄스로부터 미리 정해진 지연을 갖는 RF 펄스를 융합연료-파생된 플라즈마 내로 주입하는 단계를 더

포함하는 것을 특징으로 하는 융합연료 펄스의 관성봉입으로부터 도출되는 플라스마에 미리 정해진 에너지와 양의 전자들을 인젝션하는 방법.

청구항 7

제 1항에 있어서,

제어입력을 통해 피코초 단위로 시간 조절하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 융합연료 펄스의 관성봉입으로부터 도출되는 플라스마에 미리 정해진 에너지와 양의 전자들을 인젝션하는 방법.

청구항 8

제 1항에 있어서,

다수의 에너지 구동기에 의해 제공되는 제1 에너지 펄스는 X선으로 형성되는 것을 특징으로 하는 융합연료 펄스의 관성봉입으로부터 도출되는 플라스마에 미리 정해진 에너지와 양의 전자들을 인젝션하는 방법.

청구항 9

제 1항에 있어서,

다수의 에너지 구동기에 의해 제공되는 제1 에너지 펄스는 X선으로 형성되는 것을 특징으로 하는 융합연료 펄스의 관성봉입으로부터 도출되는 플라스마에 미리 정해진 에너지와 양의 전자들을 인젝션하는 방법.

청구항 10

제 1항에 있어서,

상기 다수의 전자원을 구동하기 위한 단계는, 전자에너지 레벨이 상기 다수의 전자원을 구동하기 위한 단계 이전에 상기 플라스마에 이미 존재하는 것보다 낮게 전자 빔에서 전자의 에너지 레벨을 조정하도록 다수의 전자원을 구동하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 융합연료 펄스의 관성봉입으로부터 도출되는 플라스마에 미리 정해진 에너지와 양의 전자들을 인젝션하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화하는 다양한 기술에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 (a) 융합연료(fusion fuel) 플라스마(plasma)에 미리 정해진 에너지, 양(quantity), 또는 영향을 주는 전자를 주입하는 것과 (b) 단독으로 또는 동시에 발생하는, 핵융합 반응의 시간적-단계적 펌핑(temporally-staged pumping)을 포함한다.

배경 기술

[0002] 원자핵융합반응은 2개의 작은 원자핵이 합쳐져 무거운 핵을 형성할 때 발생한다. 그렇게 함으로써, 핵융합반응은 매우 많은 에너지를 방출한다. 상기 현상은 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화하는 3가지 기술을 설명한다.

[0004] 1. 융합연료 플라스마로의 전자 주입

[0005] 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화하는 제 1 기술은 원자핵융합반응의 점화를 실행하기 위해 정확한 이온 및 전자의 온도비(temperature ratio)를 달성하는 것과 관련이 있다. 알려진 바와 같이, 플라스마를 만들기 위한 연료의 점화에 적합한 조건을 만들기 위해 융합연료를 펌핑(pumping)하는 데에는 명백한 모순이 있다. 한편으로, 적절한 압축을 위해, X선 펌핑 에너지(X-RAY PUMPING ENERGY)는 너무 높아질 수 없거나 X선은 최소의 상호작용으로 표적을 지나쳐야 한다. 다른 한편으로, 핵융합 플라스마의 점화를 실행하기 위해, 플라스마의 온도를 매우 높이 올릴 필요가 있는데, 예를 들어, 한 양자당-¹¹Boron reaction(p-¹¹B) 100KeV이다.

[0006] 또한, 제 1 기술은 전자온도와 이온온도 사이의 특정 비를 제어하는데 유용하다. 이온 또는 전자 플라스마의 온도는 대략 Kelvin(⁰K) 또는 일렉트론 볼트(eV)로 측정되는데, 이는 입자당 열역학 에너지를 측정하는 것이다.

- [0007] 융합연료 플라즈마가 축퇴(degenerate) 여부는 중요 고려인자이다. 물리학에서, 축퇴란 같은 에너지 수준의 입자밀도에 관한 것이다(즉, 이온, 전자, 핵, 중성자). 축퇴란 어느 밀도 이상의 플라즈마를 말한다; 어떤 낮은 밀도 이하는 축퇴라 보지 않는다; 상기 두 밀도 사이는 부분적 축퇴라 한다.
- [0008] 수리분석에 의하면 융합연료 플라즈마 내의 이온 및 전자의 온도차가 매우 클 경우, 이온의 에너지는 잠재적으로 반응을 종결시키는 전자에 흘러간다. 그러나, Son, S and Fisch, N.J.는, Aneutronic fusion in a degenerate plasma(2004), Physics Letter A: General, Atomic and Solid State Physics, 329(1-2)(2004), PP.80-81(이하, "Son et al.")에서 다른 관점을 보인다. 이하 논의는 Son et al.에서 발췌한 것이다.
- [0009] 만일 전자가 완전히 축퇴한 경우, 이온이 받는 항력(drag)은 주로 전자에서 기인한다. 전자의 힘은 이론과 달리 상쇄되지 않는다. 그 이유는 양공 전이확률(electron-hole transition probability)의 비대칭성이 부족하여, 이온에 대한 전자 항력이 역제곱법칙힘(inverse square law power)에 정확히 일치하지 않기 때문이다. 항력은 이온속도에 관계된 방향에 의존한다. 그러나 상쇄(cancellation)는 역제곱력을 위해서만 발생한다. 완벽히 축퇴한 전자는 이용가능한 구멍의 부족으로 인해 이온과 충돌하지 않으므로 이온을 끌지 않는다. $p^{-11}\text{B}$ 핵융합반응에 있어서, 적절한 전자온도를 위한 정지진동수(stopping frequency)의 큰 감소가 예상된다.
- [0010] 또한 제동복사(bremsstrahlung)도 상기 프로세스(process)에 의해 감소된다. 제동복사는 전자감소에 기인한 고에너지 전리화방사선(ionizing radiation)의 형태이다. 독일어를 직역하면 "방사선 파괴(Braking radiation)"이다. Yamaguchi의, Kawata et al.에 따르면, Bremsstrahlung Energy Loss of Degenerate Plasma, National Institute for Fusion Science(Japan), Nil Electronic Service, six pages에서, 무한대에 위치한 V_e 속도를 갖는 전자는 원점에 위치한 이온과 충돌한다. 진동수 간격 $d\nu$ 인 전자로부터 방출되는 복사에너지 dq_ν 는 이하와 같다:
- $$dq_\nu = \frac{32 \pi^2 Z^2 e^6}{3\sqrt{3} m_e^2 c^3 \nu^2}$$
- [0011]
- [0012] 상기에서 Z 는 이온의 원자수(atomic number of ion), $-e$ 는 전자전하(electron charge), m_e 는 전자질량(electron mass), c 는 광속이다.
- [0013] Son et al.에 따르면, 양공 전이의 많은 수가 허용되지 않기 때문에, 이온 에너지의 척도인 이온온도는, 전자 에너지의 척도인 전자온도보다 훨씬 크고, 모든 전자가 이온과 충돌하는 것은 아니라고 한다. 제동복사의 수리적 편차를 사용하여 계산해보면, 총손실은 $\propto (T_e/E_F)^{3/2}$ 에 의해 감소한다. 전자가 가열되기 시작하는 수준으로 제동복사가 줄어들 경우, 연료에 하이-Z 임퓨리티(high-Z impurity)를 소량 추가(도핑)하여 최적 전자온도에서 제동복사의 이온-전자 에너지 전이의 균형을 맞추도록 하는 것이 바람직하다.
- [0014] Son et al.에 따를 때, 10^{29} cm^{-3} 와 같은 고밀도에서, 전자온도가 수십 KeV 인 사실을 고려해 보면, 복사에너지의 중요 부분이 재흡수될 것임을 알 수 있다. 또한, 전자의 콤프턴 가열(Compton heating of the electrons)이 중요하다는 점도 밝혀졌다. 상기 효과는 전자의 결합을 감소시키는 경향이 있고, 보다 쉽게 이질적인 이온과 전자의 온도 및 그로 인한 더 큰 운동을 유지한다. 점화장치에 있어 $p^{-11}\text{B}$ 는 :
- [0015] $\rho > 10^5 \text{ g/cm}^3$, $T_i \cong 100 \text{ KeV}$, 그리고 $T_e = 30 \text{ KeV}$
- [0016] Son et al.에 따를 때, 또한 전자의 축퇴는 저지능(stopping power)을 감소시키고, 결국, 제동복사의 손실은 자활연소(self-sustained burning)를 실행한다. 바람직한 결과를 달성하기 위하여 유지되는 전자와 이온온도 사이의 큰 차이를 가능케 하는 전자의 저지능에서의 감소가 중요하다.
- [0017] 요약하면, 상기 논의는 융합연료 플라즈마의 전자에 대한 이온의 온도비가 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화한다는 것을 보인다. 상기 논의를 전제로, 본 발명자는 기대하는 비를 달성하기 위해, 반응에 주입된 전자의 영향 또는 에너지 및 그 양을 제어하는 것이 바람직하다고 본다.

[0019] 2. 핵융합 반응의 시간적-단계적 펌핑

[0020] 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화하는 제 2 기술은 관성 봉입 핵융반응(inertial confinement fusion reaction)에서 유체 불안정(hydrodynamic instabilities)의 감소와 관련된다. 유체 불안정은 2차 세계대전 동안 미국의 맨하탄 프로젝트에서의 핵기술 시작 이후 핵융합 및 핵물리학에서 과학자들의 골칫거리이었다. 이는 반응의 대칭성(symmetry of a reaction)이 다양한 분해프로세스에 의해 감소되는 현상이다. 유체평형상태에서 플라스마에 작은 변화를 주면 자유에너지(free energy)가 발생하여 이러한 변화가 증가하게된다. 상기로 인해, 균등하지 않은 가열이 일어나며, 핵융합반응의 경우 최대 에너지에 도달하기 전에, 반응의 붕괴가 야기된다. 그래서 핵융합반응을 구동하는데 유체 불안정의 형성 가능성을 최소화하고 이러한 상황이 발생하는 것을 줄이는 기술을 제공하는 것이 바람직하다.

[0022] 3. 기술의 결합

[0023] 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화하기 위한 제 3 기술은 상기 제 1 및 제 2 기술을 결합하는 것이다. 기술의 결합은 원자핵 융합반응의 조기점화 단계를 제어하는 다양한 기술을 제공한다. 6개의 다른 결합이 이하에 기술되는데, 다른 기술이 어떤 결합으로도 사용될 수도 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0024] 본 발명은 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화하는 장치에 있어서, 유체 불안정성을 감소시킴으로써 반응의 효과적 제어와 조기점화 상태의 강화된 제어를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0026] 핵융합반응의 조기점화 상태의 강화된 제어를 만들기 위해, 본 발명의 몇몇 실시 예는 상기에 제시된 2개의 다른 기술을 결합한다. 제 1 기술은 미리 정해진 에너지, 양 또는 영향을 갖는 전자를, 전자온도에 대한 이온온도 비를 제어하는 융합연료 플라스마에 주입하는 것으로, 반응을 더욱 효과적으로 제어하고 유체 불안정성을 감소하기 위함이다. 제 2 기술은 핵융합반응의 시간적-단계적 펄핑에 관한 것으로, 핵융합 연료 플라스마의 유체 불안정을 더욱 감소하기 위함이다. 그러나, 각 기술은 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화하기 위해 유효한 기술이다. 제 3 기술은, 제 1 및 제 2 기술의 결합으로 핵융합반응의 조기점화 상태를 더 높은 수준에서 제어하기 위한 것이다.

발명의 효과

[0027] 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화하는 장치에 있어서

[0028] 플라스마 컨파인먼트 수단을 융합연료로 하는 에너지 구동수단과 미리 정해진 특성을 갖는 플라스마를 향하고 방사하는 전자빔을 제공하는 다수의 전자원(electron source) 및 상기 플라스마의 전자온도에 대한 이온온도 비를 제어하는 플라스마를 포함하는 장치와

[0029] 상기 장치에서 융합표적 물질(fusion target material)의 구형 펄릿을 수용하기 위한 중심 표적 챔버와 적어도 상기 펄릿에 관하여 3차원 대칭방식으로 제 1 및 제 2의 융합표적 물질에 X선 펄스를 제공하기 위해 배치된 다수의 제 1 및 제 2 에너지 구동기(energy drivers)를 포함하는 장치,

[0030] 상기 2개 장치의 전자 강화 특성을 결합한 장치로서

[0031] 플라스마의 전자온도에 대한 이온온도 비를 제어함으로써, 핵융합반응의 조기점화 상태는 효과적으로 실행되고, 플라스마에 대해 시간 간격의 에너지 펄스는 플라스마의 유체 불안정성을 감소시키는 효과를 갖는다.

[0032] 이하 도면과 그에 관한 상세한 설명을 통해 본 발명의 효과를 자세히 살핀다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도면에 관한 설명은 이하와 같다;

도 1은 플라스마에 주입되고 있는 전자의 모습을 도시한다.

도 2는 전자총(electron gun)의, 부분적인 횡단면을 간단하게 도시한다.

도 3은 X선 레이저 구동기를 만드는 핵융합 반응기와 분리된 전자총의 간단한 투시도이다.

도 4는 전자빔의 포커싱 수단(focusing means)에 대한 간단한 측면도이다.

도 5는 전자총에 대한 사용자 인터페이스(interface)의 블록 다이어그램(block diagram)이다.

도 6은 X 선 레이저 구동기의 제 1 및 제 2 세트를 만드는 핵융합 반응기의 간단한 투시도이다.

도 7a 내지 7d는 핵융합반응의 시간적-단계적 조기점화 상태를 나타내는 타이밍 다이어그램(timing diagram)이다.

도 8은 본 발명의 작동을 위한 타이밍 펄스(timing pulse)의 공동작업 흐름을 만드는 타이밍 네트워크의 블록 다이어그램이다.

도 9는 X선 레이저 구동기의 제 1 및 제 2 세트와 분리된 전자총을 만드는 핵융합 반응기의 단순화된 투시도이다.

도 10a 및 10b는 핵융합반응의 시간적-단계적 조기점화 상태를 도시한 타이밍 다이어그램이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 제 1 내지 제 3 기술은 이하와 같다:

[0037] 1. 이온과 전자온도비의 능동제어(active control)

[0038] 핵융합 플라스마의 전자 강화에 관한 제 1기술은, 작은 규모의 원자핵 융합반응의 섬세한 제어를 제공하기 위해 유용한 수단이다. 전자온도에 대한 이온온도 비를 조정할 수 있도록 하여, 반응의 연소특성을 변화시킨다. 전자 강화(electron enhancement)는 플라스마의 축퇴 상태와 무관하게 유용한데, "축퇴"란 상기 발명의 배경에서 정의한 바와 같다. 그러나, 전자 강화의 필요한 수준은 플라스마의 축퇴 정도에 따라 변화한다. 도 1은 융합연료 플라스마(12)(이하 "플라스마"라 한다)로 주입되는 전자(10)를 도시한다. 핵융합 반응기 설계에서 전자 강화 구조를 제공함으로써, 다른 축퇴 장치에서의 작동이 경제적으로 달성될 수 있다. 선행 기술에서 이온온도와 전자 온도 사이의 중대한 균형이 있다는 점을 알 수 있다. 정확한 온도(KeV)의 전자 강화(주입)을 함으로, 융합연료의 연소를 위한 최적 조건이 보다 빨리 달성될 수 있다. 상기 프로세스는 선택된 양의 하이-Z 물질(high-Z material)로 제어된 도핑(doping)에 의해 상세히 좀더 조정될 수 있다.

[0039] 도 2는, 전자(10)를 발산하는 음극(16)을 포함하는 전자총(14)을 나타낸다. 전자(10)는 플라스마(12)를 향하는 (도1) 개구(24)를 통해 전극(18,20 및 22)에 의해 가속된다. 전자총(14)은, 완전 진공인, 비자성 하우징(26)에 장착된다. 음극(16)은 음극지지부(cathode support,28)에 장착되는데, 음극 지지부는 전기적으로 절연된 피드쓰로우(feedthrough,30)를 통해 울타리(26)의 후방 벽을 관통한다. 음극지지부(28)는 피드쓰로우(30)로부터 드러나고 힘을 수용하는 전기적 연결점(electrical connection point)으로 작용한다. 그리드(grid,18)와 가속전극(accelerator electrodes,20 및 22)은 전자(10)빔을 제어 및 추출하고 플라스마(12)에 초점을 맞추는 역할을 한다. 완전 진공이고, 전기적으로 절연된 피드쓰로우(32,34, 및 36)는 기계적으로 전기적 연결점을 지지하고 가속 전극(20 및 22) 각각에 그리드(18)를 제공한다. 화학적 게터펌프(getter pump,38)는 하우징(26)의 진공상태를 유지하는데 도움을 준다. 완전진공이고, 전기적으로 절연된 피드쓰로우(40)는 기계적 지지부를 제공하고 게터펌프(38)에 전기적 연결점을 제공한다.

[0040] 선행 기술에서 축퇴상태에 있는 플라스마를 위해 전자 강화가 바람직하더라도(즉, 축퇴, 비축퇴, 또는 부분적 축퇴), 최대 효과는 축퇴 플라스마의 구현에 의해 달성될 수 있다.

[0041] Son et al.에 의할 때, 상기 발명의 배경기술로서, 융합연료의 연소로부터 기인한 플라스마에서의 이온 및 전자의 온도차이가 너무 큰 경우, 이온의 에너지는 전자로 흘러가고, 잠재적으로 반응을 소멸시킨다. 본 발명에 의할 때, 전자원(electron source)은 고 에너지 전자를 갖는 표적 핵융합 플라스마에 침투한다. 각 연료 펄스 웨도에서 약간의 탈선을 하기 위해, 표적 핵융합 플라스마뿐 아니라, 표적 핵융합 플라스마가 위치하는, 예를 들어, 표적 핵융합 플라스마의 기하학적 중심을 관통하는 선을 따라 측정할 때, 표적 핵융합 플라스마 최대 공간

의 1% 정도로, 표적 핵연료의 경계 뒤 추가적인 볼륨(volume)에 침투하는 것이 바람직하다. 전자의 에너지 수준은 원하는 온도에서 전자를 주입하여 표적 핵융합 플라즈마 내의 정확한 전자온도를 달성하기 위해서 조정가능하다. 상기는 전자원에 부착된 전원 공급장치의 전압을 변경함으로써 할 수 있다. 전자의 궤도는, 이하에 기술된 도 4의 가속전극(20 및 24)과 같은 전자기적 또는 정전기적 포커싱 수단(focusing means)에 의해 제어된다.

[0042] 에너지 구동수단과 분리하여 전자를 도입하는 것이 필요하다. 발명자 CA.Birnbach 에 따른 상기 배치는 2008.3.13로 미국특허 US2008/0063132A1에 개시된 RF 가열능력을 손상하지 않고 특정 반응조건을 충족시키기 위한 전자 에너지의 섬세 조정을 가능하게 하는 장점을 갖는다. 상기 개시물은 이하 "132 간행물"이라 한다. 그래서, 도 3은 중심에, 구형의 진공용기를 포함하는 선회되는 핵융합 반응기(42)를 나타낸다. X선 레이저(46)의 다수와 전자총(14)의 다수는 용기(44) 표면 위로 용기(44) 중심에 대해 대칭으로 배치된다. 진공용기(44)에 연결된 연료 펌프는 주입기(48)가 도시된다.

[0043] 융합연료를 적절히 조명하기 위해, 다수의 전자총(14)은 4π 스테라디안(steradian)으로 배치되고 플라즈마에 선회적으로 대칭적으로 포커싱된다(도1). 전자(10) 빔의 포커싱(도 1)은 도 4와 같이 달성된다. 도 4에서, 전극(20 및 22)(도 2참조)은 플라즈마(12)중심 위로 전자(10) 빔을 모은다. 그리드(18)는 전자의 흐름을 제어하고 개구(24)로의 흐름을 조절하며 펄스 타이밍의 동기화(synchronization)를 가능하게 한다. 선회적으로 모든 전자원은 동일한 에너지(electron volts[eV])와 영향(Amps)을 갖는다. 모든 전자원이 원하는 에너지와 영향을 갖도록 하기 위해, 도 5에서 전자총 제어기(50)가 제공된다. 전자총 제어기(50)는 사용자가 제어가능한 전압 입력(54)과 전류 입력(56)을 갖는 고압 전력 공급장치(52)를 포함한다. 사용될 수 있는 사용자의 제어 입력(54,56)은 다양하다. 호스트 컴퓨터(host computer, 58)는 전자총 제어기(50)에 연결되어 시스템 수준 제어를 제공한다. 고압 전력 공급기(52)는 호스트 컴퓨터(58)의 제어 하에 전자총(14)을 위한 모든 필요한 전압과 제어 신호를 제공한다.

[0044] 가능한 실시 예에서, 융합연료 표적 주변에 대칭으로 배치된 직교인 6개 전자원의 다수는 바람직한 균일성 정도를 달성하기 위해 사용될 수 있는데, 각 전자원은 대략 융합연료 표적의 표면 영역 1/6에 방사한다. 나머지 전자원은 당업자에게 명백하다. 전자원은 여기 기술된 에너지, 양, 영향, 그리고 동기화 및 실행 능력 조건을 만족하는 모든 전자총 형태를 포함한다.

[0045] 전자원이, 사용되는 특정 융합연료 시스템에 대하여 미리정해진 에너지에서 미리 정해진 수의 전자를 구비한 표적 융합연료 플라즈마를 통과하는 것이 바람직하다. 그리드(18)는 전자 양의 제어와 동기화를 가능케 한다. 전자의 융합은 이온과 전자의 바람직한 비를 달성하기 위해 이온수에 대한 전자의 정확한 수를 제공하기 위한 목적으로의 역할을 수행한다. 이온온도는 융합연료의 조성과 펌핑 X선 빔의 에너지로부터 결정될 수 있다. 이온온도에 의해, 전자온도에 대해 바람직한 이온온도비를 얻기 위한 전자원 전력 공급장치를 설정하기 위하여 필요한 전압이 결정될 수 있다. 전자의 양은 그리드(18)의 작동에 의해 결정되는 제공된 융합연료에서의 원자 수에 의해 결정된다.

[0046] Son et al.에 의하면, 제동복사 손실을 피하기 위해, 전자온도(T_0)는 이온온도(T_i)보다 낮아야 한다. 핵융합 부산물(fusion byproduct)이 우선적으로 이온에 의해 체동되므로 전자온도(T_β)는 너무 낮을 수 없다. 상기를 고려하면, 전자온도는 자체 연소 가능성을 보존하기 위해 좁은 범위 내에 존재해야 한다. 전자온도(T_β)는 이온에서 파생된 에너지 입력과 제동복사에서 파생된 손실 사이의 균형에 의해 결정된다. T_i 와 T_β 의 비는 사용되는 융합연료에 따라 변화한다. 예를 들어, Deuterium - Deuterium, Deuterium - Tritium, Deuterium - ^3He , Proton - ^6Li 와 같은 전형적 융합연료에 있어, Proton - ^{11}B 의 비는 2:1 과 20:1 사이이다.

[0047] 더욱이, 전자원의 다수는 미리정해진 에너지와 영향 또는 양을 갖는 전자빔을 제공하며 융합연료 플라즈마를 향하고 융합연료 플라즈마를 조명한다. 선회적인 전자원의 배치로 전자빔이 융합연료 표적 플라즈마에 대해 대칭적으로 배치되는 것을 고려할 때, 모든 전자원은 서로에 대해 1/10 % 범위 내에서 각각의 전압을 갖고, 서로에 대해 1/4 % 범위 내에서 각각의 전류를 갖는다. 선회적으로, 사용된 전자원의 수는 플라즈마의 범위에서 다른 어떤 용기의 10 % 내인 융합연료 플라즈마의 개개 용기당 특정 전자의 수가 된다.

[0048] 가능한 전자원의 배치와 상기에 정의된 조건을 달성하는 표적 핵융합 물질에 대한 상기 전자원의 배치 가지수는 매우 많다.

[0049] 상기는 핵융합 플라즈마의 퇴적 정도에 빌하여 제어된 핵융합 반의 능동적 최적화를 기술한다. 상기는 이온온도(T_i)의 전자온도(T_β) 비를 변경하기 위하여 전자 온도를 변경하고, 반응에서 전자의 특정량 주입을 선택적으로 주입함으로써 달성된다. 상기 변화는 다양한 축퇴, 부분적 축퇴, 비축퇴상태의 플라즈마에서 작동을 위해 최

적화된 핵융합반응의 조기점화 상태 강화를 가능케 한다.

[0051] 2. 핵융합 반응의 시간적-단계적 펌핑

[0052] 제 2 기술은, 핵융합반응의 시간적-단계적 펌핑에 관한 것으로, "132간행물"에 기술된 것처럼 사용될 수 있다. 시간적-단계적 펌핑의 원리는 다른 관성 봉입 핵융합 장치에도 적용될 수 있다. "132 간행물"에서, 반응기는 다수의 X선 레이저 구동기를 갖는다. 비록 "132 간행물"에는 6개의 대칭으로 정렬된 구동기가 도시되지만, 내용상 더 높은 수로, 도 6에 나타난 14개의 구동기 다음의 논리 번호가 시간적 펌핑되는 핵융합 반응기(70)로서 고려될 수 있다. 본 발명의 실시 예는 핵융합반응을 구동하기 위해 시간적-단계적 펄스 트레인(pulse train)을 사용한다. X선 레이저(46a)(즉, "132 간행물"에서 6개의 레이저는 3개의 직교 축에 위치한다)의 최초 세트가 우선 연소한다. 제 2 세트(46b)(8로 남음)는 이후에 짧고, 미리 정해진 시간동안 연소한다. 제 2 세트(46b)는 제 1세트(46a) 보다 두꺼운 선으로 보인다.

[0053] 펄스 그룹 사이의 시간은 임계값이다. 제 2 펄스 그룹이 너무 빠르게 도착한다면, 제 1 펄스 그룹과 합쳐지고 유체 불안정성을 개선할 기회가 없다. "132 간행물"에서 고려된 조건인 경우, 모든 펄스 그룹을 동시에(펄스간 지연이 없음) 구동시키는 것이 가능하다. 반대로, 본 발명의 실시 예는 제때에 약간 분리된 대칭적인 세트의 펄스를 시간적으로 분리하는 것이 가능하도록 조정가능한 장치를 설명한다. 너무 크게 분리된 경우, 제 2 펄스는 이하를 갖는 반응 뒤에 도착할 것이다.

[0054] (1) 붕괴되고(collapsed)

[0055] (2) 불안정성을 수정하는 것이 불가능한 뒤에 "귀환 불능점(point of no return)"을 지나고, 또는

[0056] (3) 완전한 핵융합반응이 일어나고 제 2 펄스가 불필요하거나 해롭다

[0057] 상기 시간적 관점을 정량화하기 위해, 반응 총시간의 정의는 제 1 대칭 X선 압축 펄스 그룹이 우선 연료 펄릿과 충돌한 때부터 원자핵 융합이 일어나는 시간까지로 정한다. 예를 들어, 반응 총시간이 3 나노초(nanoseconds)인 경우, 제 2 펄스 그룹은, 예를 들어, 제 1 그룹의 도착 후 약 500 피코초(picoseconds) 후에 도착한다. 제 2 펄스 그룹이 제 1 그룹의 도착 후 1.5 나노초 이후 도착한다면, 너무 늦다. 제 1 그룹 도착후 10 나노초 후에 제 2 그룹이 도착한다면 사용하기에 너무 늦다. 사용된 수치는 상대적이고 원리를 설명하기 위한 것일 뿐 핵융합반응을 실행하기 위한 실제 수치가 아니다.

[0058] 도 7a 내지 7d는 핵융합반응의 조기점화 상태를 확립하기 위해 시간적-단계적 에너지 펄스의 상대적 타임라인을 도시한다.

[0059] 도 7a : 제 1(72) 및 제 2(74) X선 펄스를 도시한다. 양쪽 화살표(75)는 제 2 펄스(74)가 다양한 시간 동안 발생할 수 있음을 나타낸다.

[0060] 도 7b : 제 1(72) 및 제 2(74) X선 펄스와 고정된 시간동안 제 1 X선 펄스를 뒤따르는 RF 가열 펄스(76) 를 도시한다. 양쪽 화살표(75)는 제 2 펄스(74)가 다양한 시간동안 발생할 수 있음을 나타낸다.

[0061] 도 7c : 전자 펄스(78)와 제 2 X선 펄스(74)가 뒤따르는 제 1 X선 펄스(72)를 도시한다. 양쪽 화살표(75)는 제 2 펄스가 다양한 시간동안 발생할 수 있음을 나타낸다. 양쪽 화살표(79)는 전자펄스(78)가 타이밍과 동기화의 조정을 가능케 하기 위해 다양한 시간동안 발생할 수 있음을 나타낸다.

[0062] 도 7d : 전자 펄스(78)가 뒤따르는 제 1 X선 펄스(72)를 도시한다. 양쪽 화살표(79)는 전자 펄스(78)가 다양한 시간동안 발생할 수 있음을 나타낸다.

[0063] 상기 기술로부터, 관련된 부분의 의미를 제공하는 다양한 펄스 결합 사이의 상대적인 관계를 알 수 있다. 상기 기술은 2개 또는 그 이상의 그룹으로 나누어 질 수 있는 구동 신호(drive signal)가 제공될 수 있는 것이 바람직하다는 것을 나타낸다. 상기는 도 7a 내지 7d(또한 이하의 도 10a와 10b)의 양쪽 화살표(75,79)에 의해 다양한 타이밍이 정확한(예로, 피코초 또는 더욱 작게) 분할로 조정될 수 있음을 보인다. 도 8에는, 캘리포니아 샌프란시스코의 Highland Technologies가 생산하는 상업화된 시간 지연 발생기(timing delay generator)를 사용하는 타이밍 네트워크(timing network,90)를 만들어 상기 분할 조정이 달성될 수 있음이 나타난다. 타이밍 네트워크(90)는 3개 섹션(section)을 포함한다: 클록섹션(clock section,92), 타이밍 섹션(94), 케이블 & 지터 컴펜세이션 섹션(cable&jitter compensation section). 클록섹션(92)은, 높은 정확성의 작은 지터 오실레이터(low-jitter oscillator)와 같은, 마스터 클록(master clock,98)을 포함한다. 마스터 클록은 모든 장치에 대해

타이밍 펄스를 발생한다. 마스터 클록(98)은 전형적으로 온도제어 크리스탈 오실레이터(crystal oscillator)이지만, 원자시계(atomic clock)일 수 있다. 마스터클록은 타이밍 섹션(94)에 같은 길이 케이블(100a, 100b 및 100c) 집합체에 의해 연결된다. 접속기(connector)를 포함하여, 상기 케이블의 길이는 0.001 인치(inch)(25.4 micron)까지 제어된다.

[0064] 타이밍 섹션(94)은 3개의 시간 지연 발생기(102a, 102b, 102c)를 포함한다. 시간 지연 발생기(102a)는 X선 펄스의 연소시간을 밝힌다. 시간 지연 발생기(102b)는 본 발명 장치 내에서 전자펄스의 연소시간을 밝힌다. 전자펄스의 시간은 도 7c에서와 같이(79) 장치 작동기(system operator)에 의해 미리 정해진다. 시간 지연 발생기(102c)는, 도 7a 내지 7c와 이하의 도 10a에서와 같이, 제 1 X선 펄스에 대한 제 2 X선 펄스의 지연을 밝힌다. 전자(10)의 양과 흐름은 호스트 컴퓨터(58)의 제어 아래 있는 그리드(18)(도 2)에 의해 결정된다.

[0065] 타이밍 섹션(94)의 시간 지연 발생기는 섹션(96)에 있는 케이블 & 지터 컴펜세이션 지연 발생기의 케이블 집합에 연결된다. 여기에 사용된, 케이블 컴펜세이션은 케이블(104a 내지 104f, 106a 내지 106n₋)(n은 사용되는 전자총(14)의 수), 108a 내지 108h)의 길이 차이를 수정하는 수단을 제공하여 펄스가 X선 레이저의 제 1세트, 전자총(14), 또는 X선 레이저의 제 2세트 각각에 동시 도착할 수 있도록 한다. 여기에 사용된 지터 컴펜세이션은 전자총(14)(도 2, 도 3 및 도 9) 또는 레이저의 세트(46a, 46b)(도 9) 또는 레이저(46)(도 3)를 제조할때 작은 차이를 수정하기 위한 수단을 제공한다. 각 장치는 고유의 지터 값(jitter value)을 갖는데, 시간에 따라 변하지 않고 케이블-길이(cable-length) 컴펜세이션에 대한 오프셋(offset)과 같이 취급된다.

[0066] 사용에 있어, 케이블 컴펜세이션과 지터 섹션(96)에 대한 지연이 우선 설정된다. 이후, 타이밍 섹션(94)의 시간 조정이 도 7a 내지 7d, 및 도 10a - 10b와 같은 바람직한 작동 순서를 제공하기 위해 설정된다. 시간 지연 발생기(102a 내지 102c, 110a 내지 110f, 112a 내지 112n₋ (, -n은 사용되는 전자총(14)의 수) 및, 114a 내지 114h)와 마스터 클록(98) 각각은, 호스트 컴퓨터(58)에 연결되며, 호스트 컴퓨터(58)에 의해 제어된다. 상기는 장치가 구동되는 동안 일련의 반복적 측정에 의해 시간 조건의 빠른 최적화가 가능하도록 한다.

[0067] 장치의 설계는 네트워크(90)와 전자총 제어기(50)-에 다중 입력수단을 제공하며, 이들 다중 입력수단에는, 작동자에 의한 직접 수동입력 또는 호스트 컴퓨터(58)에 따른 프로그램된 제어입력을 포함한다.

[0068] a. 유체 불안정성

[0069] 본 기술에서 핵융합반응의 시간적-단계적 펌핑은 연료펠렛의 제작 정확성의 감소가 예상된다. 현재, 플라스마의 주요부로부터 바깥쪽을 휩싸며 국부적으로 플라스마를 냉각하는 플라스마 "제트(jet)"의 형성을 감소시키기 위해, 총 단면의 1% 이하로 불연속면(surface discontinues)을 제한할 필요가 있다. 상기 플라스마 제트가 유체 불안정성의 특성이다. 본 발명 실시 예에서 도 7a 내지 7c 및 도 10a(그리고 사용하는 경우 추가적 시간적-단계적 펄스)에 나타난 제 2의 시간적-단계적 X선 펄스(74)는 발생하는 유체 불안정 제트 특성을 제한한다. 그러므로, 연료펠렛의 더 큰 불연속면이 용인된다.

[0070] 당업자에게 레이저의 각 세트가 핵융합을 얻기 위해 필요한 모든 구동 에너지를 전달 할 수 있다는 점은 자명하다. 상기가 절대적으로 필요한 것이 아니지만, 각 세트가 필요한 에너지의 일부분만 있다면, 양쪽 펄스가 특정 타임윈도우(time window) 범위에서 도착하여야 함으로, 장치의 시간 오차(timing tolerance)에 있어 더 큰 제약을 준다. 본 발명 실시 예의 목적은 유체 불안정성에 관한 총 핵융합반응의 민감성을 감소시켜서, 바람직하고 선호되는 총 구동 에너지를 갖는 대칭적 펄스의 각 그룹을 제공하는 것이다.

[0071] 유체 불안정성의 효과를 완화시키기 위하여 2 그룹 이상의 시간적-단계적 구동 펄스의 필요가 있을 수 있으며 장치구조(system architecture)가 이러한 것을 제공할 수 있다. 광성 봉입 핵융반응에서 부정적인 효과나 유체 불안정성을 바람직하게 감소시키는 기술의 다양한 변화가 가능하다는 것은 당업자에게 자명하다.

[0073] 3. 상기 2개 기술의 상승적 결합

[0074] 최대 효율과 상승효과는 도 10a와 같이 상기 2개 기술을 결합하여 달성할 수 있다. 각 프로세스는 독특한 고유 속성을 갖지만, 결합하면, 동반상승효과를 갖는 방법론이 된다. 결합된 프로세스는 도 10a와 같이 핵융합반응을 작동하고 제어하는 수단으로서 이하 순서를 갖는다:

[0075] 1. 제 1 X선 펄스(72)는 융합연료를 방사한다. 상기는 연료를 이온화하고, 플라스마(12)를 만들며(도 1) 압축 및 가열 프로세스를 시작한다. RF 가열 펄스(76)는 선택적으로 융합연료 플라스마(12)에 적용될 수 있고, "132

간행물"에 개시된 바와 같이, 제 1 X선 펄스(72) 이후의 고정된 시간도 적용될 수 있다.

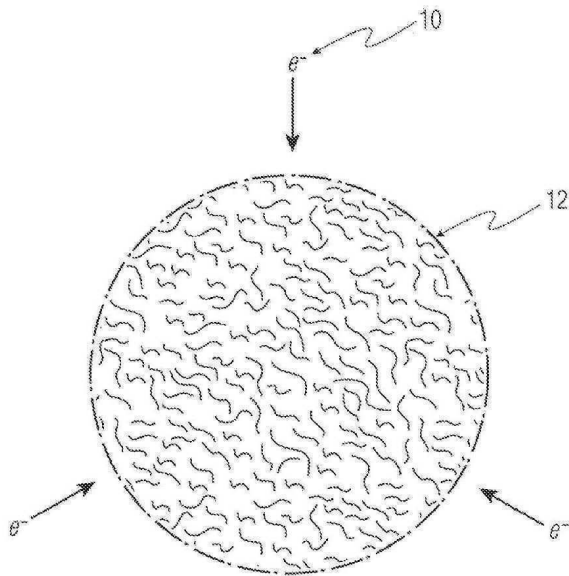
- [0076] 2. 전자 펄스(78)는 융합연료 영역을 방사하고 특정 에너지를 갖는 전자(10)의 특정 수를 상기 1단계를 통해 만들어진 플라즈마(12)(도 1)에 도입한다. 상기는 이온온도에 대한 전자온도 비를 변경하는 효과와 해로운 점을 축소하여, 바람직한 반응의 발생가능성을 높인다. 전자(10)의 흐름과 양은 호스트 컴퓨터(58)의 제어 아래 있는 그리드(18)(도 2)의 제어를 통해 정해진다.
- [0077] 3. 제 2 X선 펄스(74)는 플라즈마(12)(도 1)를 더욱 압축하고 가열한다. 상기 제 2 X선 펄스(74)는 X선 펄스(72)를 형성하는 빔과 다른 방향에서 도착하는 빔으로 구성된다. 상기의 효과는 이전 단계에서 발생할 수 있는 유체 불안정성을 방지하고 완하하기 위함이다.
- [0078] 4. 상기 펄스 세트(즉, 72와 76, 78 및 74)의 타이밍과 순서가 중요한데 상기 세트는 최고 시스템성능(system performance)을 달성하기 위해 조심스럽게 조정되어야 한다. 상기는 각 펄스 세트의 발생 타이밍을 제어하기 위해 지연 발생기(102b)(도 8)의 조절을 통해 달성될 수 있다. 전자펄스(78)의 타이밍은 양쪽 화살표(79)에 의해 가리켜 지는 것처럼 조절될 수 있고, 제 2 X선 펄스(74)의 타이밍은 양쪽 화살표(75)에 의해 가리켜 지는 것처럼 조절될 수 있다. 시스템 성능의 최적화를 이루는 가장 간단한 방법은 호스트 컴퓨터(58)(도 8)의 제어 아래 반복적인 최적화 루틴(routine)을 사용하여 타이밍 네트워크(90)에 제어입력을 제공하는 것이다. 상기 최적 루틴의 프로그램화는 당업자에게 자명하다. 상기 최적 루틴은 도 7a 내지 7d 및 도 10a - 10b의 각 지연 설정 결합(75,79)을 시험하고, 그래서 최고의 시스템 성능을 올리는 지연 설정 결합을 결정할 수 있다. 제어입력을 제공하기 위한 상기 컴퓨터 루틴의 사용은, 도 5의 제어입력(54,56), 도 7a 내지 7d 및 도 10a - 10b와 같은, 사용자 제어 입력(75,79)을 사용하는 데 바람직하다.
- [0079] 도 10a 도시된 상기 단계의 순서에서의 변화가 도 7a 내지 7d와, 이미 기술한 바와 같이, 도 10b에 나타난다.
- [0080] 도 10b는 제 1 X선 펄스를 도시하는데, RF 가열 펄스(76)는 고정된 시간 동안 제 1 X 선 펄스를 따르고, 결국 전자 펄스(78)가 RF 펄스 뒤를 따른다. 양쪽 화살표(79)는 전자 펄스(78)가 다양한 시간동안 발생할 수 있음을 나타낸다.
- [0081] 모든 강화는 원자핵융합반응의 조기점화 상태의 개선된 제어를 달성하기 위해 "132 간행물"의 기술과 결합한다.
- [0083] 실시 예
- [0084] 상기 논의된 기술들이 다양한 형태의 핵융합 프로세스에, 단독으로 또는 결합된 상태로 사용됨에도, "132 간행물"에 기재된 발명에 대한 부산물로 여겨진다. 선호되는 상기 기술에 대해, 본 발명에 대한 그림 설명과 함께 이하 기술한다.
- [0085] "132 간행물"은 핵융합반응의 몇몇 조기점화 상태를 제어하는 독특한 장치를 기술한다. 상기는 X선 다이렉트 관성 봉입 핵융합 장치(Direct Inertial Confinement fusion system)로 분류된다. 상기 장치는 반응을 펌핑하는 주요 수단으로서 X선 레이저(46)(도 3)를 이용한다. 본 발명은 핵융합반응의 조기점화 상태를 이행할 능력을 좀 더 촉진하는 장치 수준의 강화를 기술한다.
- [0086] "132 간행물"의 장치는 융합표적 물질을 수용하는 표적 챔버(44)를 포함한다. 다수의 X선 레이저(46)(도 3)는 표적 챔버(44)를 둘러싸면서 배치되어 챔버내의 융합표적 물질에 에너지를 공급하여 물질의 제어된 핵융합반응을 시작하고, 열과 핵융합 플라즈마 형태로 에너지를 방출한다.
- [0087] 좀 더 자세히 살펴보면, 도 3은 제어된 핵융합에 의한 에너지 발생 반응기를 나타낸다. 장치는 중심 표적 챔버(44)를 포함한다. 6개 또는 그 이상인 일련의 X선 레이저(46)는 대칭쌍으로 중심 표적 챔버(44)에 배치된다. 대칭적 X선 레이저(46)는 챔버(44)의 중앙에 표적 펠릿 위치에 대하여 대칭인 방식으로 정렬되어, 챔버(44)의 중심에 있는 표적 핵융합 펠릿(도시되지 않았음)에 영향을 미치는 고도의 구형 파면(wavefront)을 만든다. X선 레이저(46)는 X선 빔(72)(도 7a- 내지 도 7d 및 도 10a - 10b)을 고도로 능란하게 만드며, X선 빔은 핵융합 반응을 시작하고 유지하기 위해 대칭적으로 표적을 압축한다. X선 레이저(46)는 선호적으로 미국 특허 NO. 4,723,263에서 본 발명 방명자에 의해 처음 기술된 Stimulated X-ray Emitters(SXE) 이다. 실시 예에서, 언급한 SXE X선 레이저(46)는 반응에 추가적인 가열을 제공하기 위해 RF 에너지(76)(도 7bB, 10a 10A 및 10b10B)의 자극적인 펄스를 제공하는 RF 생산 수단(도시되지 않음)에 들어맞는다. 상기 "132 간행물"의 도 10 내지 ? 13의 설명-에 개시된다.

- [0088] 어떤 핵융합 장치의 최고 성능은 연료 표적 펄스의 완벽하게 대칭적인 압축을 만드는 것에 달려있다. 본 발명 X선 레이저(46)(도 3)는 대칭적으로 타겟을 방사하는 수단을 제공한다. 만약 표적에 영향을 주는 파면(도시되지 않음)에 지름이 표적펄스의 지름에 맞는 오목한 기하구조가 주어진다면, 연료 표적 펄트위에 거의 완벽하게 대칭적인 압축 파면을 만드는 것이 가능하다. 그러므로, 연료 펄트에 불균등한 방식으로 가열을 하고 그래서 핵융합반응을 시작하지 못하게 하는 유체 불안정성을, 가능한 충분히, 최소화해야한다. 본 발명은, 유체 불안정성의 부정적 영향을 더욱 최소화하기 위해 시간적-단계적 방법에서 파면의 오목한 기하학 구조를 이용하는 것이 장점이다. 상기는 제 1 X선 펄스(72)(도 7a 내지 7c 및 도 10a)에 대해 약간 지연된 제 2 X선 펄스(74)를 사용하여 달성될 수 있다. 결합된, 시간적-단계적 에너지 빔의 파면(72,74)은 2개의 접혀지는 구형 껍질(collapsing spherical shells)과 유사하다.
- [0089] 전형적인 직접-구동 ICF 표적의 내과 프로세스는 대략 3 단계로 나뉜다:
- [0090] (1) 시작단계
- [0091] (2) 가속단계 및
- [0092] (3) 감속단계
- [0093] 시작단계에서, 제 1 충격파(shock wave)는 연료 펄트에서 이동하고 펄트는 주로 충격파에 의해 가속된다. 시작단계는 제 2 조건을 갖는다: 연료의 총이온화(total ionization). 상기는 융합연료 이온이 이후 단계에서 결합하는 융합연료 이온의 용이함을 증가시킴으로써 핵융합반응을 촉진한다. 상기는 궤도 밖 전자에 충격을 가하고 빈 원자핵을 떠나는 X선에 영향을 주는 고 에너지에 의해 달성되고, 상기는 다른 핵에 초점을 맞추기 위해 선호되는 상태이다. 외측 (또는 탈격한) 껍질은 제 2 단계에서 내측으로 가속된다. 그리고, 연료는 감속단계에서 매우 압축된다. 시작단계에서, 표적 면의 변화는 레이저 방사의 불균일성으로 인한, 초기 임프린트(initial imprint)에 의해, 본래 표적 면의 거칠기(roughness)를 따라 시드된다. 제 2 단계(가속)에서 초기 유체 불안정성으로 인해 바깥면의 변화는 안쪽 면을 통해 커진다.
- [0094] 본 발명 실시 예에서, 도 7c를 보면, 시간적-단계적 펄스의 사용은 상기에 기술한 3 단계로 순서되는 것이 선호적이다. 최초 X선 펄스(72)는 시작단계에서 시작한다. 가속단계의 시작에서 전자 펄스(78)가 가깝게 최초 X선 펄스를 따르는 것이 바람직하다. 전자 펄스(78)의 동기화는 그리드(18)(도 2)를 사용하여 달성된다. 제 2 X선 펄스(74)는 가속단계 초기에 전자 펄스를 가깝게 뒤따른다. 상기 순서는 전자가 제 1 X선 펄스(72)의 최초 충격으로 발생한 플라스마에 최적으로 상호작용하는 것을 가능케 한다. 상기 작용은 최적 압축과 궁극적으로, 핵 융합 내과를 위한 플라스마(12)(도 1)를 준비한다. 제 2 X선 펄스(74)는 시작단계와 가속단계에서 발생하는 어떤 유체 불안정성을 최소화하기 위한 것이다.
- [0095] 본 발명의 택일적 실시 예에서, "132 간행물"의 장치는 RF 펄스(76)(도 7b, 10a, 10b)를 만들기 위한 RF 가열 수단과 X선 레이저(46)(도 3)에 통합된 RF 가열수단을 포함한다. 상기의 결과중 하나는 150GHz를 초과하는 특정 주파수에서 200 메가줄(Mega Joules) 이상의 RF 가열 펄스(76)가 동시에 만들어지고 X선 펄스(72)를 따라 이동한다. 상기 RF 펄스(76)는 추가 비용이나 에너지 소비 없이도 플라스마(12)(도 1)에 추가 열을 제공하는데 유용하다. 상기는 SXE X선 레이저(46) X선 생산 프로세스의 초과 에너지를 사용하여 일어나기 때문이다. 상기 RF 펄스(76)는 고정된 시간 동안 만큼 X선 펄스(72) 보다 약간 지연된다. 제 1 X선 펄스(72) 바로 뒤에 발생하는 RF 펄스(76)를 가짐으로써 전자펄스(78)와 다소 동시에 도착한다. 바람직하게, 호스트 컴퓨터(58)(도 8)를 통한 타이밍 네트워크(90)(도 8)에 대한 제어입력은 상기 효과를 최적화(도 10a)하기 위해 상기의 타이밍을 세밀히 조정되는 것을 가능케 한다. 상기는, 도 10a에 나타난 4 부분의 펄스 트레인을 만드는데, 융합연료를 점화하는 최적 조건을 만들기 위한 융합연료의 조기점화 상태의 제어하는 정도의 증가를 보인다.
- [0096] 본 발명에는 관성 봉입 핵융합(ICF) 장치를 위한 6개의 분리된 강화 시나리오가 개시된다:
- [0097] 1. 시간적-단계적 X선 펄스(도 7a)
- [0098] 2. 결합된 시간적-단계적 X선 펄스 및 RF 강화 플라스마(도 7b)
- [0099] 3. 결합된 시간적-단계적 X선 펄스 및 전자 강화 플라스마(도 7c)
- [0100] 4. 전자 강화 플라스마(도 7d)
- [0101] 5. RF 및 전자 강화 플라스마(도 10b)

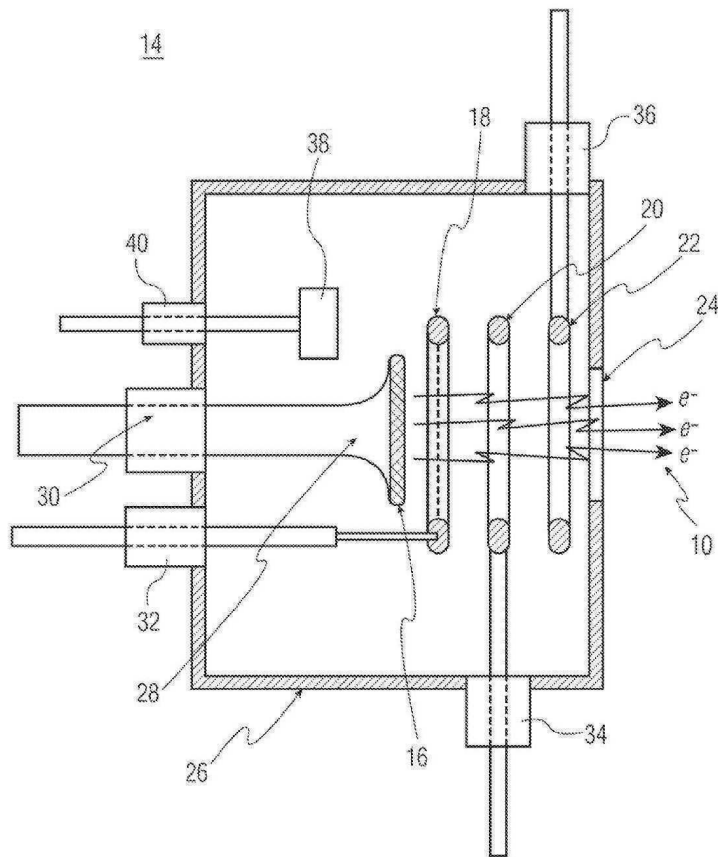
- [0102] 6. 결합된 시간적-단계적 X선 펄스와 RF 및 전자 강화 플라즈마(도 10a),
- [0103] 선회되는 실시
- [0104] 각 기술은 장점을 갖는다. 다양한 조합을 통해, 핵융합반응의 조기점화 상태를 강화 및 제어하는 정도를 연속적으로 증가시킨다.
- [0105] 특허청구범위는 바람직한 실시예들 및 일례에 의해 제한되는 것이 아니라, 전체로서 명세서와 일치하는 폭넓은 해석이 이루어져야 한다.

도면

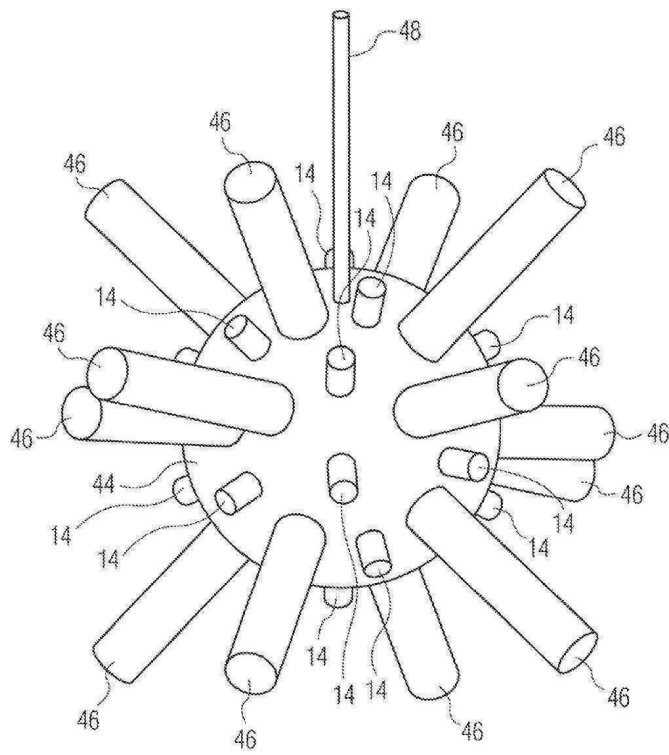
도면1



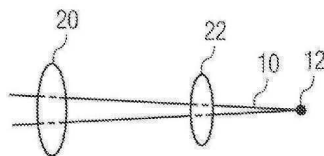
도면2



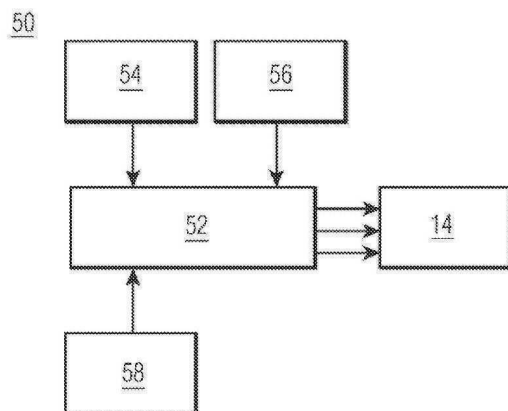
도면3



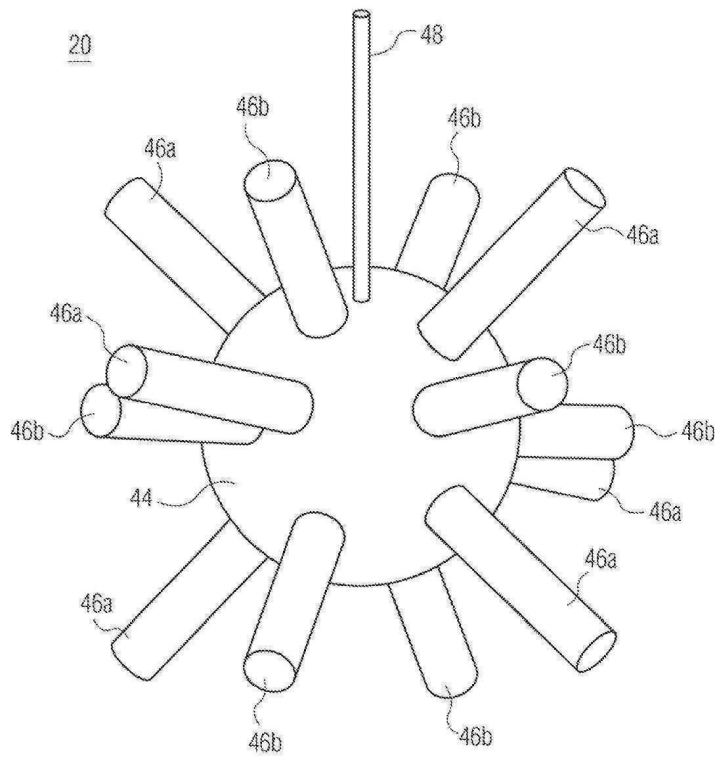
도면4



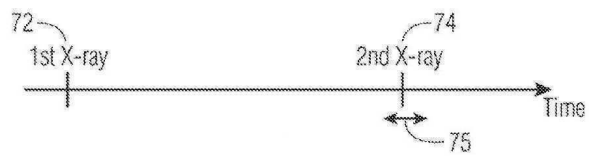
도면5



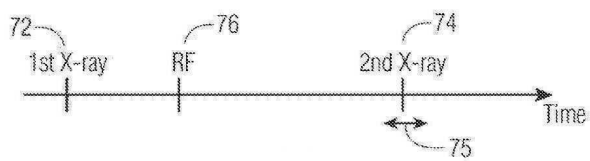
도면6



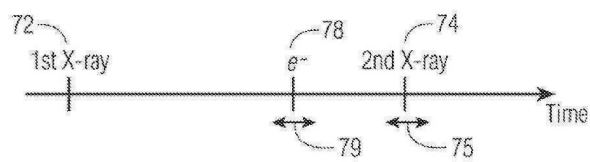
도면7a



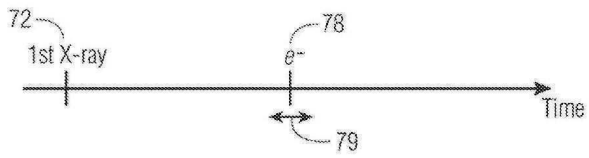
도면7b



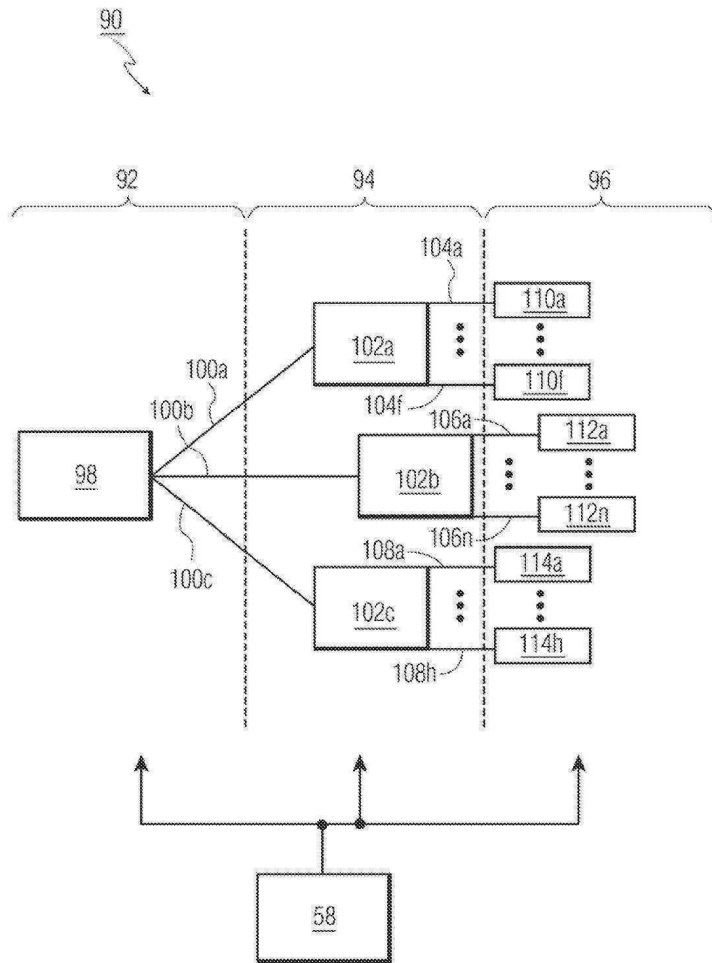
도면7c



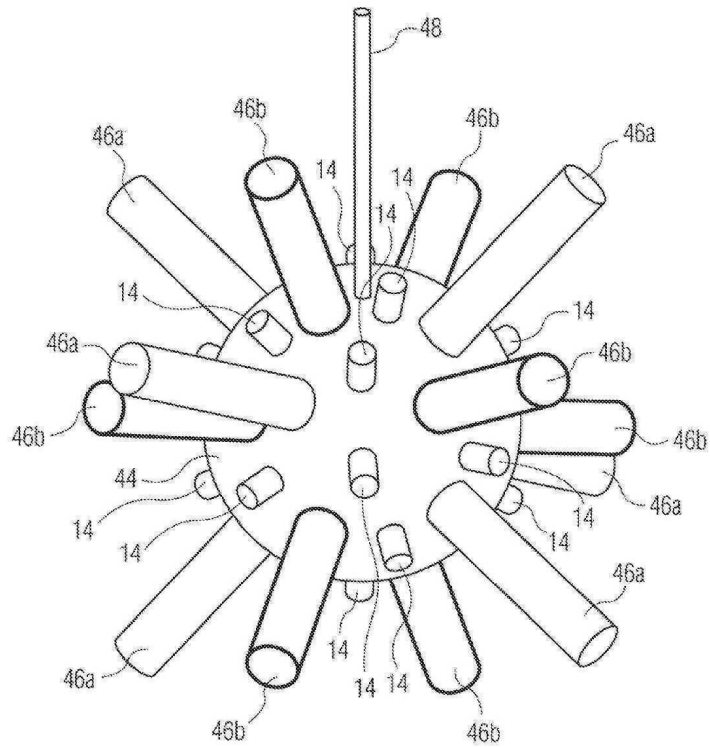
도면7d



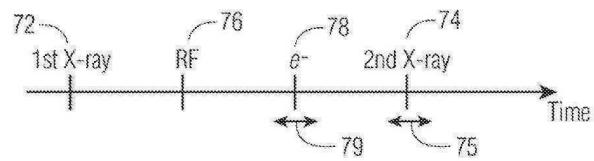
도면8



도면9



도면10a



도면10b

