



등록특허 10-2446787



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년09월22일  
(11) 등록번호 10-2446787  
(24) 등록일자 2022년09월20일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*G21B 1/05* (2006.01) *G21B 1/11* (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
*G21B 1/05* (2013.01)  
*G21B 1/11* (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0004638  
(22) 출원일자 2019년01월14일  
심사청구일자 2021년10월22일  
(65) 공개번호 10-2019-0088018  
(43) 공개일자 2019년07월25일  
(30) 우선권주장  
15/873,614 2018년01월17일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP01044888 A\*  
JP2016521358 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
특히드 마틴 코포레이션  
미국 메릴랜드 베데스다 록릿지 드라이브 6801(우  
:20817)  
(72) 발명자  
맥파이어 토마스 제이.  
미국 93551 캘리포니아주 팜데일 부케 레인 2726  
(74) 대리인  
윤정호, 양영준

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 윤연숙

(54) 발명의 명칭 초전도체를 사용한 플라즈마에 침지된 구조의 수동 자기 차폐

**(57) 요 약**

융합 반응기는 융합 플라즈마 반응기 챔버를 포함한다. 자기 코일 구조가 융합 플라즈마 반응기 챔버의 내부에 배치되고, 구조적 구성요소 또한 융합 플라즈마 반응기 챔버의 내부에 배치된다. 구조적 구성요소는 자기 코일 구조를 융합 플라즈마 반응기 챔버에 결합한다. 초전도 물질은 구조적 구성요소 내에 적어도 부분적으로 배치된다. 복수의 냉각 채널이 구조적 구성요소 내에 적어도 부분적으로 배치된다. 절연 재료가 적어도 부분적으로 구조적 구성요소 내에 배치된다.

(52) CPC특허분류  
Y10S 505/888 (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

융합 반응기이며,

융합 플라즈마 반응기 챔버;

융합 플라즈마 반응기 챔버 내부에 배치된 자기 코일 구조;

융합 플라즈마 반응기 챔버 내부에 배치된 구조적 구성요소로서, 자기 코일 구조를 융합 플라즈마 반응기 챔버에 결합시키는, 구조적 구성요소;

구조적 구성요소 내에 적어도 부분적으로 배치된 초전도 물질;

구조적 구성요소 내에 적어도 부분적으로 배치된 복수의 냉각 채널; 및

구조적 구성요소 내에 적어도 부분적으로 배치된 절연 재료를 포함하는, 융합 반응기.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 복수의 냉각 채널은 복수의 금속 튜브를 포함하는, 융합 반응기.

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 초전도 물질은 초전도 테이프를 포함하는, 융합 반응기.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 초전도 물질은 복수의 초전도 타일을 포함하는, 융합 반응기.

#### 청구항 5

제1항에 있어서, 초전도 물질은 초전도 물질의 초전도 전이 온도 이하의 온도로 냉각되는, 융합 반응기.

#### 청구항 6

제1항에 있어서, 초전도 물질은 자기장이 구조적 구성요소에 침투하는 것을 배제하는, 융합 반응기.

#### 청구항 7

제1항에 있어서, 절연 재료는 진공에 의해 분리된 2개의 벽을 포함하는, 융합 반응기.

#### 청구항 8

제1항에 있어서, 냉각 유체는 복수의 냉각 채널을 통해 순환되는, 융합 반응기.

#### 청구항 9

제1항에 있어서, 융합 플라즈마 반응기 챔버의 내부에 격납된 융합 플라즈마를 더 포함하는, 융합 반응기.

#### 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

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 플라즈마 내의 초전도 물질에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 초전도체는 저항 없이 전류를 전도하는 물질이다. 초전도체의 고유한 특성은 마이스너(Meissner) 효과로 알려져 있으며, 이는 그 자체로부터 자기장을 배제하는 초전도체의 특성이다. 대부분의 물질은 초전도 전이 온도 또는 임계 온도라고 지칭되는 특정 온도 미만으로 냉각될 때에만 초전도 특성을 나타낸다. 이 온도는 상이한 초전도 물질 사이에서 변할 수 있지만 일반적으로 물의 빙점보다 훨씬 낮다.

[0003] 플라즈마는 이온화된 기체이다. 플라즈마는 이온화되고, 그에 따라 전기적으로 대전되기 때문에, 플라즈마는 전기장 및 자기장을 이용하여 조작될 수 있다. 플라즈마는 흔히 실온보다 더 뜨겁고, 일부는 수백만도의 켈빈 온도를 갖는다. 그 높은 온도로 인해, 흔히, 플라즈마는 플라즈마에 침지된 물체나 플라즈마를 격납하기 위해 사용된 챔버의 벽과 접촉하지 않도록 하는 것이 바람직하다.

### 발명의 내용

### 해결하려는 과제

### 과제의 해결 수단

[0004] 융합 반응기는 융합 플라즈마 반응기 챔버를 포함한다. 자기 코일 구조가 융합 플라즈마 반응기 챔버의 내부에 배치되고, 구조적 구성요소 또한 융합 플라즈마 반응기 챔버의 내부에 배치된다. 구조적 구성요소는 자기 코일 구조를 융합 플라즈마 반응기 챔버에 결합한다. 초전도 물질은 구조적 구성요소 내에 적어도 부분적으로 배치

된다. 복수의 냉각 채널이 구조적 구성요소 내에 적어도 부분적으로 배치된다. 절연 재료가 적어도 부분적으로 구조적 구성요소 내에 배치된다.

[0005] 플라즈마 유동의 구조적 구성요소는 내부 구조적 구성요소 및 구조적 구성요소 내에 적어도 부분적으로 배치되고 내부 구조적 구성요소를 둘러싸거나 그에 인접한 초전도 물질을 포함한다. 복수의 냉각 채널이 구조적 구성요소 내에 적어도 부분적으로 배치된다. 절연 재료가 적어도 부분적으로 구조적 구성요소 내에 배치된다.

[0006] 플라즈마에 침지된 물체를 보호하는 방법은 초전도 물질 주위에 자기장을 인가하는 단계, 물체를 둘러싸는 초전도 물질을 초전도 물질로 하여금 자기장을 배제하게 하기에 충분한 온도로 냉각시키는 단계를 포함한다.

### 발명의 효과

[0007] 특정 실시예의 기술적 이점은 외부 전원 공급 장치를 필요로 하지 않고 고온 플라즈마로부터 구조적 구성요소를 보호하는 것을 포함할 수 있다. 또한, 특정 실시예는 플라즈마로부터 열을 전도시킬 수 있는 표면과의 접촉을 방지함으로써 플라즈마로부터의 열 손실을 방지할 수 있다. 일부 실시예는 자기장을 생성하기 위해 전자석을 사용하는 것과 같은 능동적 전력 공급식의 구조 보호 방법에 비교할 때 플라즈마로부터 구조적 구성요소의 보다 완전한 보호를 제공할 수도 있다. 또한, 일부 실시예는 플라즈마로부터 구조를 차폐하는 능동적 전력 공급식의 방법과 비교할 때 감소된 복잡성을 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0008] 본 발명 및 본 발명의 특징 및 이점을 보다 완전한 이해를 제공하기 위해, 첨부 도면과 관련하여 이루어지는 다음의 설명을 참조한다.

도 1은 특정 실시예에 따른 융합 반응기의 일부를 도시하는 도면.

도 2는 특정 실시예에 따른 초전도 물질로 차폐된 구조를 도시하는 도면.

도 3은 특정 실시예에 따라 플라즈마에 침지된 초전도 물질로 차폐된 구조를 도시하는 도면.

도 4는 특정 실시예에 따라 플라즈마에 침지된, 능동 구동식 전자기 차폐를 갖는 구조를 도시하는 도면.

도 5는 특정 실시예에 따라 초전도 물질을 사용하여 물체를 플라즈마로부터 차폐하는 방법을 도시하는 도면.

도 6은 특정 실시예에 따라 플라즈마에 침지된 초전도 물질 차폐를 갖는 우주선을 도시하는 도면.

도 7은 특정 실시예에 따라 플라즈마에 침지된 초전도 물질 차폐를 갖는 프로브를 도시하는 도면.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 본 발명의 실시예 및 그 이점은 도면의 도 1 내지 도 7을 참조하여 가장 잘 이해될 수 있으며, 다양한 도면의 유사 및 대응 부분에는 동일한 참조 번호가 사용된다.

[0010] 도 1은 특정 실시예에 따른 융합 반응기(100)의 일부를 도시한다. 융합 반응기 부분(100)은 융합 플라즈마 반응기 챔버(110), 내부 자기 코일 구조(130) 및 지지 구조(120)를 포함한다. 지지 구조(120)는 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)에 매달려있을 수 있는 내부 자기 코일 구조(130)에 대한 구조적 지지를 제공할 수 있다.

[0011] 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)는 융합 플라즈마를 격납할 수 있고, 융합 반응이 일어나기 위한 밀폐된 공간을 제공할 수 있다. 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)는 내부 자기 코일 구조(130)를 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)에 고정시킬 수 있는 지지 구조(120)에 대한 구조적 장착 지점으로서 기능할 수 있다. 또한, 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)는 융합 플라즈마 반응을 개시, 유지, 감시, 제어 또는 중지시키는데 필요한 임의의 수의 기구 또는 센서를 보유할 수 있다.

[0012] 내부 자기 코일 구조(130)는 융합 플라즈마 반응기 챔버(110) 내에 격납된 플라즈마를 한정하고 유도하는 자기장을 생성할 수 있다. 융합 반응기(100)는 임의의 수의 내부 자기 코일 구조(130)를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 내부 자기 코일 구조(130)에 의해 생성된 자기장은 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)의 벽으로부터 고온 플라즈마를 이격 유지할 수 있으며, 이는 플라즈마가 융합 플라즈마 반응기 챔버(110) 및 그에 부착된 임의의 기구 또는 센서를 손상시키는 것을 방지한다. 내부 자기 코일 구조(130)에 의해 생성된 자기장은 또한 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)에 격납된 플라즈마를 압축할 수 있다. 플라즈마를 압축하는 것은 고온 플라즈마 이온이 서로 접촉하여 융합될 기회를 증가시킴으로써 융합을 도울 수 있다.

- [0013] 지지 구조(120)는 융합 플라즈마 반응기 챔버(110) 내부의 내부 자기 코일 구조(130)에 대한 구조적 지지를 제공할 수 있다. 일부 실시예에서, 지지 구조(120)는 내부 자기 코일 구조(130)를 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)의 벽에 고정시킬 수 있다. 지지 구조(120)는 또한 내부 자기 코일 구조(130)에 전력, 냉각 및 진단 리드(lead)를 공급하기 위한 경로를 제공할 수 있다. 내부 자기 코일 구조(130)에 의해 생성된 자기장은 융합 플라즈마 반응기 챔버(110) 내에 격납된 플라즈마와의 접촉으로부터 지지 구조(130)를 보호할 수 없다. 일부 실시예에서, 보호 수단이 없으면, 내부 자기 코일 구조(130)에 의해 생성된 자기장은 지지 구조(120)에 침투하여, 지지 구조(120)와 내부 자기 코일 구조(130)에 의해 생성된 자기장을 따르는 플라즈마 사이의 접촉을 초래한다. 플라즈마와 지지 구조(120) 사이의 접촉은 지지 구조를 손상시킬 수 있고 궁극적으로는 플라즈마의 높은 온도 및 에너지로 인해 그 고장을 초래할 수 있다. 마찬가지로, 고온 플라즈마와 지지 구조(120) 사이의 접촉은 플라즈마로부터 열을 지지 구조(120)로 전달할 수 있으며, 이에 의해 플라즈마의 온도를 감소시키고 플라즈마에서 발생하는 임의의 융합 반응의 효율을 감소시킨다. 따라서, 지지 구조의 손상을 방지하고 플라즈마의 온도를 유지하기 위해 지지 구조(120)와 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)에 격납된 플라즈마 사이의 접촉을 방지하는 것이 바람직하다.
- [0014] 도 2는 도 1의 대칭축에 대해 정의된 바와 같이 반경방향을 따라 관찰된, 소정 각도에서 관찰된, 수동적으로 차폐된 지지 구조(120)의 단면(200), 즉, 차폐된 지지 구조(120) 내로 "하향식"으로 봤을 때의 단면을 도시한다. 지지 구조(120)는 차폐된 구조(210), 초전도 물질(220), 냉각 채널(230), 냉각 유체(240) 및 절연 재료(250)를 포함한다.
- [0015] 차폐된 구조(210)는 내부 자기 코일 구조(130)를 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)의 벽에 고정시키는 데 사용되는 범 또는 파이프와 같은 구조적 지지체를 포함할 수 있다. 차폐된 구조(210)는 또한 내부 자기 코일 구조(130)를 위한 전력 및 기구 케이블용 라우팅을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 차폐된 구조(210)는 도 1에 도시된 내부 자기 코일 구조(130)를 냉각시키기 위한 파이프, 채널 또는 투브를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 차폐된 구조(210)는 초전도 물질(220)을 넘어서 연장되는 부분을 가질 수 있어서, 초전도 물질(220)은 지지 구조(120)의 인벨로프 내에 배치된다. 예를 들어, 차폐된 구조(210)의 얇은 섹션은 초전도 물질(220)이 차폐된 구조(210)의 얇은 부분 내부에 배치되도록 지지 구조(120)의 외부를 형성한다. 다른 실시예에서, 보호 재료층이 초전도 물질(220) 상에 배치되어 초전도 물질을 플라즈마와의 우발적 접촉으로부터 보호할 수 있다.
- [0016] 초전도 물질(220)은 차폐된 구조(210)의 충분한 커버리지를 제공하도록 배치된 임의의 초전도 물질일 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)은 차폐된 구조(210)에 적용되는 얇은 초전도 테이프일 수 있다. 테이프 초전도 물질(220)은 구조(210) 주위에 랩핑될 수 있거나 또는 차폐된 구조(210)를 덮기 위해 차폐된 구조(210)에 스트립 또는 패치로 적용될 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 테이프의 층은 초전도 테이프의 다른 층과 중첩될 수 있다. 특정 실시예에서, 다중 층의 초전도 테이프가 전자석 내의 와이어의 다중 권선과 유사하게 초전도 물질(220)의 적절한 표면적을 보장하는 데 사용될 수 있다.
- [0017] 다른 실시예에서, 초전도 물질(220)은 차폐된 구조(210) 상에 적층된 타일일 수 있다. 이러한 초전도 타일은 차폐된 구조(210)가 플라즈마에 노출되지 않는 방식으로 서로 접촉하여 배열될 수 있다. 이러한 타일은 차폐된 구조(210)가 플라즈마에 노출되지 않는 방식으로, 비늘 또는 지붕널과 유사한 방식으로 나란히 배열되거나 적층될 수 있다. 다른 실시예에서, 초전도 물질(220)은 페인트 또는 분말 코팅과 같은 코팅으로서 구조(210)에 도포될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 초전도 물질(220)은 차폐된 구조(210)를 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)에 설치하기 전 또는 설치한 후에 차폐된 구조(210) 주위에 배치된 미리 제조된 쉘일 수 있다. 이러한 실시예에서, 초전도 물질(220)은 차폐된 구조(210)를 둘러싸는 단일 쉘 또는 차폐된 구조(210)를 둘러싸도록 조립된 다수의 단편을 포함하는 쉘로서 제조될 수 있다.
- [0018] 일부 실시예에서, 앞서 설명한 초전도 물질(220)의 임의의 배열은 차폐된 구조(210)의 인벨로프 내에 배치될 수 있다. 예를 들어, 초전도 물질(220)은 초전도 물질(220)이 임의의 플라즈마와 직접 접촉에 노출되지 않고 차폐된 구조(210) 주위의 자기장을 충분히 배제할 수 있도록, 차폐된 구조(210)의 표면 근처에 배치될 수 있다.
- [0019] 초전도 물질(220)은 임의의 초전도 물질일 수 있다. 선택된 물질에 따라, 초전도 물질(220)을 위한 적절한 온도를 갖는 냉각 유체가 선택되어야 한다. 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)은 "고온" 초전도체로 공지된 초전도체의 클래스의 일원일 수 있다. 일반적으로 고온 초전도체는 30 켈빈을 초과하는 온도에서 초전도 상태가 되는 물질이다. 고온 초전도체의 클래스의 예는 란탄 바륨 구리 산화물 초전도체, 탈륨 바륨 칼슘 구리 산화물 초전도체, 스트론튬 칼슘 구리 산화물 초전도체 및 이트륨 바륨 구리 산화물 초전도체를 포함하는 쿠프레이트 초전도체; 및 철 낙타이드(iron pnictide) 초전도체를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0020] 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)은 초전도 물질(220)이 도 1의 내부 자기 코일 구조(130)에 의해 생성된 자기장과 같은 자기장을 배제하기에 충분한 온도로 냉각될 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)은 276 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)은 200 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 특정 실시예에서, 초전도 물질(220)은 138 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 특정 실시예에서, 초전도 물질(220)은 30 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 다른 실시예에서, 초전도 물질(220)은 20 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 초전도 물질(220)은 10 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)은 4 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다.
- [0021] 외부 자기장이, 외부 자기장을 상쇄시키는 자기장을 생성하는 초전도 물질(220) 내의 전류 형성을 야기하기 때문에, 초전도 물질(220)은 내부 자기 코일 구조(130)에 의해 생성된 자기장과 같은 외부 자기장을 배제할 수 있다. 이러한 내부 전류는 초전도 물질(220)의 표면 근처에서 생성될 수 있다. 따라서, 앞서 설명한 초전도 테이프와 같은 초전도 물질(220)의 얇은 층은 자기장을 배제하는 데 충분할 수 있다. 초전도 물질(220)은 초전도 물질(220)이 지원할 수 있는 내부 전류의 강도에 대한 제한을 가질 수 있고, 따라서 초전도 물질(220)이 배제할 수 있는 자기장의 강도에 대한 제한을 가질 수 있다.
- [0022] 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)이 지원할 수 있는 내부 전류 및 그에 따라 초전도 물질(220)이 배제할 수 있는 외부 자기장의 강도는 초전도 물질(220)의 온도에 의존할 수 있다. 초전도 물질(220)은 그 초전도 전이 온도 미만으로 더 많이 냉각될수록 보다 큰 내부 전류를 지원할 수 있고, 더 강한 자기장을 배제할 수 있다. 예를 들어, 초전도 물질(220)은 30 켈빈으로 냉각될 때 77 켈빈으로 냉각될 수 있을 때보다 5 배의 전류를 지원할 수 있다. 따라서, 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)의 냉각을 유지하여, 초전도 물질(220)이 융합 플라즈마 반응기 챔버(110) 내부에서 생성된 자기장을 배제할 수 있기에 충분한 온도가 유지되는 것을 보장하는 것이 중요할 수 있다.
- [0023] 냉각 채널(230)은 파이프, 튜브, 통로 또는 냉각 유체(240)를 초전도 물질(220)에 근접하게 운반하는 임의의 다른 수단을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 냉각 채널(230)은 또한 내부 자기 코일 구조(130)에 냉각을 제공할 수 있다. 일부 실시예에서, 냉각 채널(230)은 냉각 유체(240)가 초전도 물질(220)과 직접 접촉하도록 제공할 수 있다. 다른 실시예에서, 냉각 채널(230)은 대부분의 금속과 같이 높은 열 전달 계수를 갖는 재료로 구성될 수 있다. 이 실시예에서, 초전도 물질(220)은 냉각 채널(230)의 고도의 열 전달 재료와 접촉하고, 고도의 열 전달 재료는 초전도 물질(220)로부터 냉각 채널(220) 내의 냉각 유체(240)로 열을 전달할 수 있다. 허용 가능한 고도의 열 전달 물질의 예는 구리, 알루미늄, 철, 티타늄, 은, 금, 극저온 용례에 사용되는 임의의 다른 금속 및 이의 합금을 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 일부 실시예에서, 냉각 채널(220)은 냉각 채널(220)의 열적 격리를 향상시키기 위해 절연 단절부를 포함할 수 있다.
- [0024] 냉각 유체(240)는 초전도 물질(220)을 그 초전도 전이 온도 이하로 냉각시키기에 충분히 낮은 온도를 갖는 임의의 허용 가능한 액체, 기체 또는 다른 유체일 수 있다. 냉각 유체 또는 기체의 일부 예는 액체 산소, 액체 질소, 액체 헬륨, 액체 아르곤, 액체 네온 및 이의 기체, 또는 초전도 물질(220)의 초전도 전이 온도 이하의 온도를 갖는 임의의 다른 유체 또는 기체를 포함한다.
- [0025] 일부 실시예에서, 냉각 채널(230)은 절연 재료(250)에 의해 차폐된 구조(210)에 가장 가까운 냉각 채널(230)의 측면상에서 절연될 수 있다. 냉각 채널(230)과 차폐된 구조(210) 사이의 절연부는 차폐된 구조(210)로부터 냉각 채널(230)로의 열 전달을 방지할 수 있으며, 따라서, 차폐된 구조(210)를 냉각시키는 냉각 채널(230)을 통한 냉각 용량의 손실을 방지함으로써 냉각 채널(230)의 냉각 용량을 증가시킬 수 있다. 절연 재료(250)는 냉각 채널(230) 및 초전도 물질(220)의 적절한 절연을 보장하기 위해 차폐된 구조(210) 전체에 걸쳐 임의의 적절한 방식으로 배치될 수 있다. 냉각 채널(230) 사이의 절연부는 극저온 용례에 사용되는 임의의 형태의 절연부일 수 있다. 예를 들어, 절연부에는 폴리머 폼, 에어로젤, 유리 섬유, 미네랄 울 또는 기타 절연 재료가 포함될 수 있다. 일부 실시예에서, 냉각 채널(230)과 차폐된 구조(210) 사이의 절연부는 극저온 액체를 저장하기 위해 일반적으로 사용되는 듀어(Dewar) 플라스크 또는 병에서 발견되는 것과 유사한 이중 벽 진공 구조일 수 있다. 그러한 구조는 진공을 격납하는 공간에 의해 분리된 2개의 벽을 가질 수 있으며, 진공은 2개의 벽에 의해 분리된 환경 사이의 절연부를 제공한다. 일부 실시예에서, 절연 재료(250)는 또한 초전도 물질(220)과 차폐된 구조(210)의 표면 사이에 배치될 수 있다. 그러한 실시예에서, 절연 재료(250)는 차폐된 구조(210)로부터의 열이 초전도 물질(250)로 전도되는 것을 방지하거나 저속화하여 초전도 물질(220)이 배제할 수 있는 자기장의 강도를 보존할 수 있다.
- [0026] 다른 실시예에서, 냉각 채널(230)은 유체를 운반하지 않을 수 있고 열전기 냉각 유닛일 수 있다. 일부 실시예

에서, 열전기 냉각기는 초전도 물질(220)과 냉각 채널(230) 사이에 배치될 수 있다.

[0027] 도 3은 특정 실시예에 따라 플라즈마에 침지된 초전도 물질로 차폐된, 차폐된 구조(320)의 단면(300)을 도시한다. 차폐된 구조(320)는 도 2의 초전도 물질(220)과 같은 초전도 물질에 의해 차폐된, 도 1의 지지 구조(120)와 같은 지지 구조일 수 있다. 다른 실시예에서, 차폐된 구조는 도 6의 우주선(610) 또는 도 7의 프로브(710)와 같이 플라즈마에 침지된 임의의 다른 구조 또는 물체일 수 있다. 내부 자기 코일 구조(130)에 의해 생성된 자기장과 같은 자기장에 노출될 때, 차폐된 구조(320)를 차폐하는 초전도 물질은 자기장을 배제할 수 있다. 도 3에서, 자기장 라인(310)은 초전도 물질이 자기장을 배제하기 때문에 차폐된 구조(320) 주위에서 밀리거나 굴곡된다. 플라즈마는 전기적으로 대전되기 때문에, 자기장 라인(310)을 따를 수 있다. 따라서, 자기장 라인(310)을 배제함으로써, 초전도 물질(220)은 플라즈마(330)가 구조(320)와 접촉하는 것을 방지할 수 있다. 플라즈마(330)는 임의의 플라즈마일 수 있다. 특정 실시예에서, 플라즈마(330)는 도 1의 융합 플라즈마 반응기 챔버(110) 내에 격납된 융합 플라즈마일 수 있다. 초전도 물질을 사용하여 플라즈마로부터 구조(320)를 차폐하는 이 방법은 "수동" 차폐로 지칭될 수 있는데, 이는 초전도 물질이 적절하게 냉각되는 한, 자기장을 배제하기 위해 초전도 물질에 외부 전력이 공급될 필요가 없기 때문이다.

[0028] 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)은 임의의 플라즈마가 차폐된 구조(320)와 접촉하는 것을 방지하기 위해 자기장 라인(310)을 충분히 배제할 수 있다. 다른 실시예에서, 초전도 물질(220)은 자기장 라인(310)을 충분히 배제하여 대부분의 플라즈마가 차폐된 구조(320)와 접촉하는 것을 방지할 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)은 99.9 %를 초과하는 플라즈마(330)가 구조(320)와 접촉하는 것을 방지하도록 자기장 라인(310)을 충분히 배제할 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)은 99 %를 초과하는 플라즈마(330)가 차폐된 구조(320)와 접촉하는 것을 방지하도록 자기장 라인(310)을 충분히 배제할 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)은 90 %를 초과하는 플라즈마(330)가 차폐된 구조(320)와 접촉하는 것을 방지하도록 자기장 라인(310)을 충분히 배제할 수 있다.

[0029] 초전도 물질을 사용하여 플라즈마와 차폐된 구조(320) 사이의 접촉을 방지하는 것은 적어도 2 가지 이점을 가질 수 있다. 첫째, 고온 플라즈마에 의한 차폐된 구조(320)의 손상이 방지될 수 있다. 이는 융합 반응기의 고장을 방지하고 반응기에 대한 유지 보수 사이의 시간 간격을 증가시킬 수 있다. 둘째, 플라즈마와 차폐된 구조(320) 사이의 접촉을 방지하는 것은 플라즈마로부터 차폐된 구조(320)로의 열 손실을 방지할 수 있으며, 이는 융합 반응의 효율을 증가시킬 수 있다. 구조(320)를 수동적으로 차폐하기 위해 초전도 물질을 사용하는 또 다른 이점은 초전도 물질이 외부 자기장을 배제하는 능력이 외부 자기장의 변화에 따라 자동으로 신속하게 조절될 수 있다는 것이다. 이는 도 4를 참조하여 아래에서 설명되는 바와 같이 복잡한 제어 시스템에 대한 필요성을 제거할 수 있다.

[0030] 초전도 물질에 의해 수동적으로 차폐된 구조의 다른 이점은 특정 실시예에 따라 능동 구동되는 전자기 차폐를 갖는 구조의 단면(400)을 도시하는 도 4에 의해 예시된다. 도 4는 능동적으로 차폐된 구조(420), 전자석(425), 외부 자기장(410), 차폐 자기장(428) 및 차폐 자기장 간극(430)을 포함한다. 자기장을 배제하는 초전도 물질에 의해 수동적으로 차폐된 구조를 도시하는 도 1 내지 도 3과는 달리, 도 4는 전자석(425)에 의해 생성된 차폐 자기장(428)에 의해 플라즈마로부터 차폐된 능동적으로 차폐된 구조(420)를 도시한다.

[0031] 전자석(425)에 의해 생성된 차폐 자기장(428)은 도 1의 내부 자기 코일 구조(130)에 의해 생성된 자기장과 같은 외부 자기장(410)을 능동적으로 차폐된 구조(420) 주위로 우회시킬 수 있다. 플라즈마는 외부 자기장 라인(410)을 따를 수 있고 차폐 자기장(428)에 의해 능동적으로 차폐된 구조(420)와 접촉하는 것으로부터 우회될 수 있다.

[0032] 그러나, 도 2의 초전도 물질(220)과는 달리, 전자석(425)은 차폐 자기장(428)을 생성하기 위해 외부 전원을 필요로 한다. 전자석(425)은 또한 과열을 방지하기 위해 냉각을 필요로 할 수 있으며, 초전도 전자석이 전자석(425)으로 사용되는 경우 극저온 냉각이 필요할 수 있다. 또한, 차폐 자기장(428)은 외부 자기장(410)에 응답하여 생성되는 것이 아니라 전자석(425)에 공급되는 전력에 의해 생성되기 때문에, 차폐 자기장(428)이 외부 자기장(410)의 변화를 적절히 보상하도록 제어되는 것을 보장하기 위해 전자석(425)을 제어하는 시스템이 필요할 수 있다. 이러한 제어 시스템은 외부 자기장(410)에 대한 변화가 발생할 때와 차폐 자기장(428)에 대한 조절이 이루어질 때 사이에 지체 시간을 가질 수 있다. 따라서 수동적으로 차폐된 구조(320)와 비교할 때 능동적으로 차폐된 구조(420)의 단점은 능동적으로 차폐된 구조(420)가 외부 전력 및 제어 시스템을 필요로 하기 때문에 보다 복잡할 수 있고 능동적으로 차폐된 구조(420)는 수동적으로 차폐된 구조(320)만큼 빠르게 외부 자기장에서의 변화를 보상할 수 없다는 것이다.

- [0033] 능동적으로 차폐된 구조(420)의 추가적 단점은 전자석(425)에 의해 생성된 차폐 자기장(428) 사이에 자기장 간극(430)이 생성될 수 있다는 것이다. 자기장 간극(430)은 외부 자기장(410)이 능동적으로 차폐된 구조(420)에 침투하는 것이 방지되지 않는 영역을 생성할 수 있다. 따라서, 자기장 간극(430)은 외부 자기장 라인(410)에 따르는 플라즈마가 능동적으로 차폐된 구조(420)와 접촉하게 할 수 있다. 본 명세서의 다른 곳에서 설명된 바와 같이, 능동적으로 차폐된 구조(420)와 플라즈마 사이의 접촉은 플라즈마에 의한 능동적으로 차폐된 구조(420)에 대한 손상 및 플라즈마로부터 능동적으로 차폐된 구조(420)로의 바람직하지 못한 열 손실을 초래할 수 있다.
- [0034] 도 5는 특정 실시예에 따라 초전도 물질을 사용하여 물체를 플라즈마로부터 차폐하는 방법(500)을 도시한다. 도 5는 단계 510에서 초전도 물질을 초전도 전이 온도로 냉각시키는 단계, 단계 520에서 초전도 물질을 포함하는 물체의 근방 또는 주위에 자기장을 인가하는 단계 및 상세히 후술될 단계 530에서 물체를 플라즈마에 침지하는 단계를 포함한다.
- [0035] 단계 510에서, 도 2의 초전도 물질(220)과 같이 물체의 표면을 적어도 부분적으로 둘러싸거나 또는 그 표면 근처에 배치된 초전도 물질은 초전도 물질에 대한 초전도 전이 온도 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 초전도 전이 온도 이하에서, 초전도 물질은 전류 유동에 대한 내부 저항이 0이고, 초전도 물질이 내부에 배치되는 자기장을 배제하는 것을 포함하는 초전도 특성을 나타낼 수 있다.
- [0036] 초전도 물질의 냉각은 도 2의 냉각 채널(230)에 관해서 설명한 것과 같은 다양한 수단에 의해 달성될 수 있다. 도 2와 관련하여 설명된 바와 같이, 초전도 물질이 배제할 수 있는 자기장의 강도는 초전도 물질의 온도에 의존할 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 물질은 초전도 물질이 자기장을 배제하게 하기에 충분한 온도로 냉각될 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 물질은 276 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 물질은 200 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 특정 실시예에서, 초전도 물질은 138 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 특정 실시예에서, 초전도 물질은 30 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 다른 실시예에서, 초전도 물질(220)은 20 켈빈 또는 그 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 초전도 물질(220)은 10 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다. 일부 실시예에서, 초전도 물질(220)은 4 켈빈 이하의 온도로 냉각될 수 있다.
- [0037] 단계 520에서, 단계 530에서 형성된 플라즈마를 격납하는 공간에 자기장이 생성되거나 인가될 수 있다. 일부 실시예에서, 도 1의 내부 자기 코일 구조(130)에 의해 생성된 자기장과 같은 자기장이 생성될 수 있다. 다른 실시예에서, 우주 공간(outer space)에 침투하는 자기장과 같은 자기장이 이 환경에서 존재할 수 있다. 초전도 물질은 물질의 초전도 전이 온도 미만으로 냉각될 때 자기장을 배제할 수 있기 때문에, 단계 510에서 물체를 차폐하는 초전도 물질이 냉각된 이후 자기장이 물체에서 배제될 수 있다. 도 2 및 도 3과 관련하여 설명된 바와 같이, 플라즈마가 자기장을 띠를 수 있기 때문에, 자기장을 배제함으로써 초전도 물질은 플라즈마와의 접촉으로부터 보호될 수 있다.
- [0038] 단계 530에서, 도 2의 차폐된 구조(210)와 같은 초전도 물질 차폐를 갖는 물체가 플라즈마에 침지될 수 있다. 일부 실시예에서, 단계 510에서, 고정된 물체 주위에 플라즈마가 생성될 수 있다. 예를 들어, 도 1의 지지 구조(120)와 같은 물체가 고정 보유된, 도 1의 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)와 같은 융합 반응기의 내부에 융합 플라즈마가 생성될 수 있다. 생성될 수 있는 플라즈마의 다른 예는 플라즈마 기상 증착, 플라즈마 에칭, 플라즈마 중합 또는 플라즈마 추진 엔진 또는 이온 추진 엔진으로부터의 플라즈마 배기 스트림을 위한 플라즈마를 포함한다. 물체가 침지될 수 있는 플라즈마의 다른 예는 태양풍과 같은 우주 공간의 플라즈마를 포함한다.
- [0039] 도 5에서 순차적으로 예시되었지만, 단계 510, 단계 520 및 단계 530은 임의의 순서로 발생할 수 있다. 예를 들어, 플라즈마는 단계 530에서 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)의 내부에서 생성될 수 있으며, 그 후 도 1의 지지 구조(120)와 같은 물체를 차폐하는 초전도 물질이 단계 510에서 그 초전도 온도 이하의 온도로 냉각될 수 있고, 마지막으로 플라즈마 및 물체가 단계 530에서 내부 자기 코일 구조(130)에 의해 생성된 자기장에 노출될 수 있다. 대안적으로, 초전도 물질이 초전도 물질의 초전도 전이 온도 이하의 온도로 냉각되기 전에 자기장이 플라즈마에 인가될 수 있다.
- [0040] 초전도체에 의해 제공되는 차폐는 또한 물체가 플라즈마의 유동에 침지될 수 있는 융합 반응기 이외의 용례에서 유용할 수 있다. 기본적으로 저밀도 플라즈마로 거동하는 대전 입자는 지구의 자기장 외부의 우주 전반에 존재할 수 있다. 예를 들어 태양풍은 저밀도 플라즈마로 고려될 수 있다. 초전도 물질은 우주에서 발견되는 플라즈마로부터 우주선을 생성할 수 있다. 또한 감시 목적으로 다수의 다양한 프로브가 플라즈마에 배치될 수 있다. 초전도 물질은 플라즈마에 침지되어 있을 때 손상으로부터 프로브를 생성하여 프로브를 비차폐 프로브보

다 오랜 시간 기간 동안 동작시킬 수 있다.

[0041] 도 6은 특정 실시예에 따라 플라즈마(630)에 침지된 초전도 물질 차폐를 갖는 우주선(610)을 도시한다. 우주선(610)의 전부 또는 일부를 둘러싸는 초전도 물질은 우주에 존재하는 자기장(620)과 같은 자기장을 배제하고 우주에 존재하는 임의의 플라즈마(630) 또는 대전 입자로부터 우주선(610)을 효과적으로 차폐할 수 있다. 이러한 플라즈마 및 대전 입자는 태양 복사선, 우주 광선(cosmic ray) 및 우주에서 발견되는 임의의 다른 형태의 대전 입자를 포함할 수 있으며, 우회된 자기장(625)의 경로를 따를 수 있다. 우주선(610)은 행성간 우주, 성간 우주 또는 은하간 우주를 포함하는 우주의 모든 환경에서 동작할 수 있다.

[0042] 일부 실시예에서, 초전도 물질은 우주선(610)의 전체를 둘러쌀 수 있다. 다른 실시예에서, 초전도 물질은 사람 승무원이 거주하거나 작업하는 승무원 구획, 민감한 기구를 포함하는 구획, 또는 저장 구획과 같은 우주선(610)의 일부를 둘러쌀 수 있다. 다른 실시예에서, 초전도 물질은 우주선(610)의 인벨로프 내에 배치될 수 있다. 예를 들어, 초전도 물질은 우주선(610)의 표면 근처에 배치되어 모든 또는 대부분의 자기장을 우주선(610)과 접촉하지 못하도록 배제할 수 있을 뿐만 아니라 우주선(610)의 외부 표피의 플라즈마(630)와의 우발적 접촉으로부터 보호된다.

[0043] 도 7은 특정 실시예에 따라 플라즈마(730)에 침지된 초전도 물질 차폐를 갖는 프로브(710)를 도시한다. 프로브(710)는 압력 센서, 온도 센서, 광 센서, 안테나, 또는 정보를 수신하거나 측정하기 위한 임의의 다른 장치를 포함하는 임의의 유형의 프로브 또는 센서일 수 있다. 프로브(710)는 플라즈마(730)의 온도와 같이 프로브가 침지되는 플라즈마(730)의 하나 이상의 특성을 측정하는 데 사용될 수 있다. 그러나, 플라즈마(730)는 프로브(710)가 플라즈마(730)와의 접촉으로부터 보호되지 않으면 프로브(710)를 손상시킬 수 있다. 도 2와 관련하여 설명된 초전도 물질(220)과 유사한 방식으로 초전도 물질로 프로브(710)를 둘러싸는 것은 프로브(710) 주위에 자기장(720)과 같은 자기장을 배제할 수 있고, 그에 의해, 도 3과 관련하여 설명된 것과 유사한 방식으로 배제된 자기장(725)을 따라 플라즈마(730)를 우회시킴으로써 플라즈마(730)로부터 프로브(710)를 보호할 수 있다.

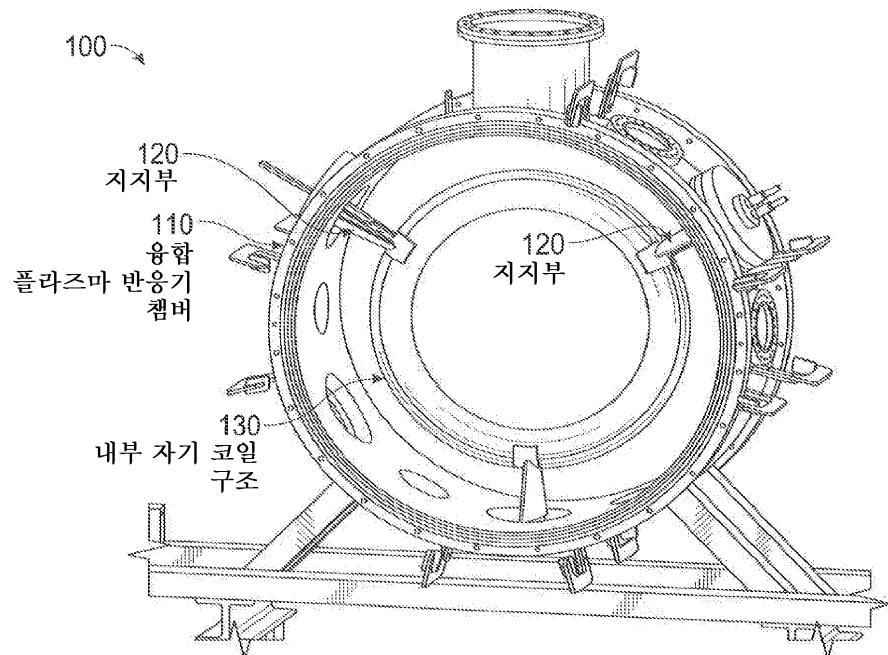
[0044] 초전도 물질 차폐를 갖는 프로브(710)가 사용될 수 있는 환경의 예는 도 1의 융합 플라즈마 반응기 챔버(110)에 격납된 융합 플라즈마, 플라즈마 기상 증착에 사용하기 위한 플라즈마, 플라즈마 예칭에 사용하기 위한 플라즈마, 플라즈마 중합에서 사용하기 위한 플라즈마, 우주선을 위한 플라즈마 추진 엔진 또는 이온 추진 엔진으로부터의 플라즈마 배출, 또는 임의의 다른 자화된 플라즈마 환경에서 사용될 수 있다.

[0045] 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서 본원에 설명된 방법에 대한 수정, 추가 또는 생략이 이루어질 수 있다. 예를 들어, 적절한 경우 단계를 조합, 수정 또는 삭제할 수 있으며 추가 단계가 추가될 수 있다. 또한, 단계는 본 개시내용의 범위를 벗어나지 않으면서 임의의 적절한 순서로 수행될 수 있다.

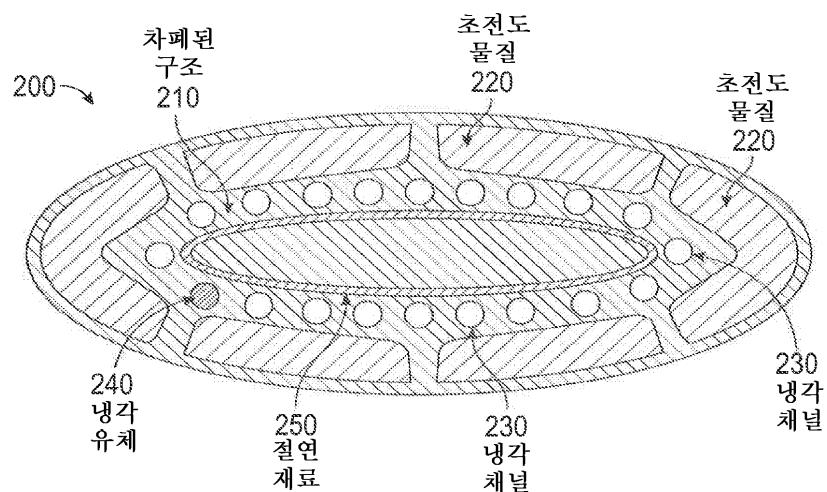
[0046] 본 발명이 여러 실시예로 설명되었지만, 본 기술 분야의 숙련자에게는 수많은 변화, 변형, 변경, 변환 및 수정이 제안될 수 있으며, 본 발명은 이러한 변화, 변형, 변경, 변환 및 수정이 첨부된 청구범위의 범위 내에 포함되는 것을 의도한다.

도면

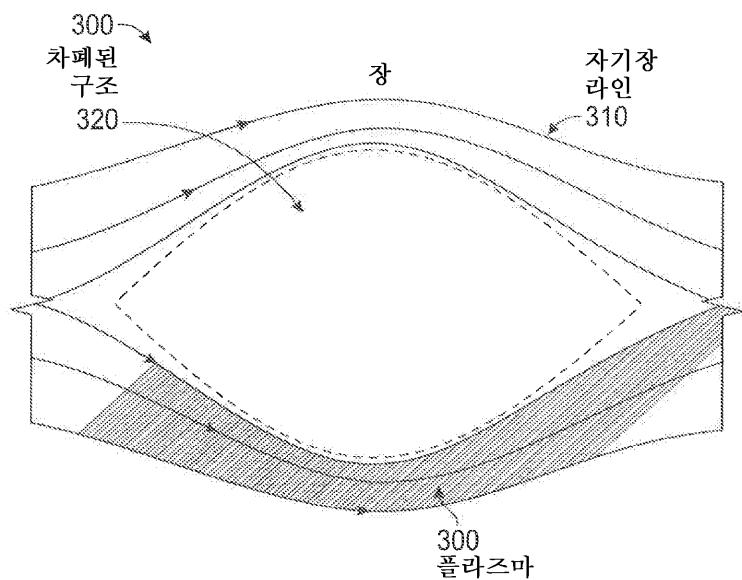
도면1



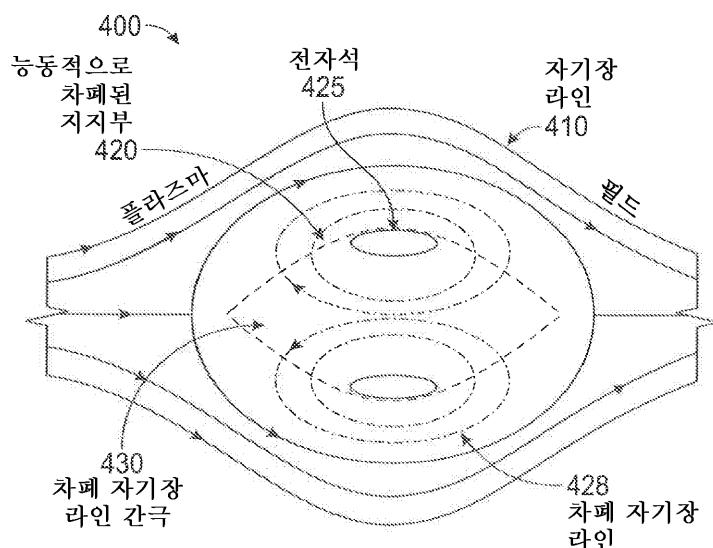
도면2



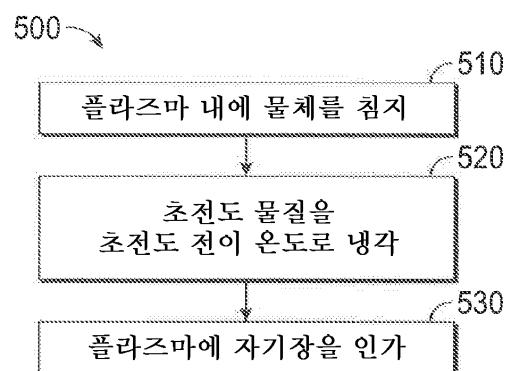
도면3



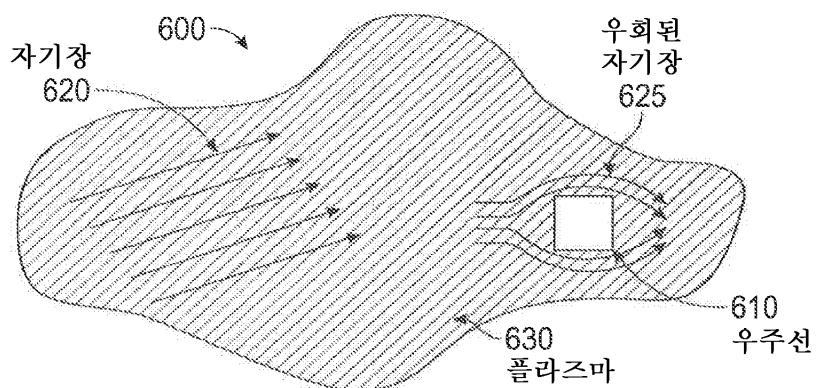
도면4



도면5



도면6



도면7

