



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년04월11일
(11) 등록번호 10-2385761
(24) 등록일자 2022년04월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 33/02 (2006.01) G01R 33/022 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01R 33/02 (2021.05)
G01R 33/022 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7000059
(22) 출원일자(국제) 2017년06월28일
심사청구일자 2020년06월26일
(85) 번역문제출일자 2019년01월02일
(65) 공개번호 10-2019-0022610
(43) 공개일자 2019년03월06일
(86) 국제출원번호 PCT/US2017/039766
(87) 국제공개번호 WO 2018/005653
국제공개일자 2018년01월04일
(30) 우선권주장
62/356,344 2016년06월29일 미국(US)
62/361,980 2016년07월13일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2004150953 A*
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 28 항

(73) 특허권자
티에이이 테크놀로지스, 인크.
미국 캘리포니아 (우편번호 92610) 풋힐 랜치 파울링 19631
(72) 발명자
톰슨 매튜
미국 캘리포니아주 92610 풋힐 랜치 파울링 19631
로슈 토마스
미국 캘리포니아주 92610 풋힐 랜치 파울링 19631
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김태홍, 김진희

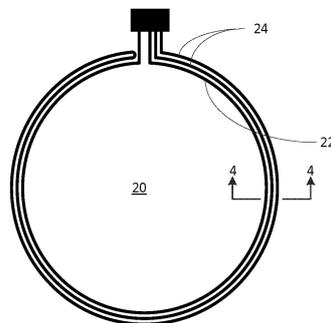
심사관 : 오경환

(54) 발명의 명칭 **미네랄로 절연되는, 결합된 선속 루프와 B-도트 와이어**

(57) 요약

결합된 선속 루프와 B-도트 프로브는, 단일 미네랄 절연 케이블로서, 예컨대, 스테인리스 스틸 등의 외측 시스, 그리고 외측 시스 내에 위치지정되고, 예컨대, MgO 등과 같은 미네랄 절연체 내에 매립된 3개의 전도체를 갖는, 단일 미네랄 절연 케이블을 포함한다. 전도체들 중 하나는, 단일 루프를 갖는 선속 루프를 형성하며, B-도트 프로브를 형성하는 제2 및 제3 전도체는, 이중 루프를 갖는 단일 와이어를 포함한다. 결합된 프로브는, 만곡 형상으로 제작될 때 만곡 굴곡부를 따라 전도체들이 꼬이는 것을 방지하도록 구성된다. 꼬임을 방지하기 위하여, 전도체들은, 일반적으로 평평한 직사각형 형상의 단면을 갖는 리본 와이어들로서 형성될 수 있고, 그리고/또는 시스는 일반적으로 타원형 또는 직사각형 형상의 단면을 가질 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G21B 1/052 (2013.01)

Y02E 30/10 (2020.08)

(72) 발명자

트라스크 에릭

미국 캘리포니아주 92610 풋힐 랜치 파울링 19631

넵 커트

미국 캘리포니아주 92610 풋힐 랜치 파울링 19631

(56) 선행기술조사문헌

US20120031070 A1*

US20130333466 A1

US20090309577 A1

US20060066304 A1

US04581291 A

KR1020160066028 A

KR1020160042944 A

KR1020150039213 A

KR1020100083152 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

플라스마 가둠 시스템(plasma confinement system)에 있어서,

가둠 챔버 또는 용기,

상기 용기 주위에 위치지정된 자기 코일,

상기 용기의 내부 벽 주위에 위치지정된 선속 루프(flux loop)와 B-도트(B-dot) 프로브 중 하나 이상을 포함하는 결합 프로브로서, 상기 결합 프로브가 만곡 형상으로 제작될 때 상기 결합 프로브는 꼬임(twisting)을 방지하도록 구성되는, 상기 결합 프로브

를 포함하고,

상기 결합 프로브는, 외측 시스(sheath), 및 상기 외측 시스 내에 위치지정되고 미네랄 절연체 내에 매립된(embedded) 3개의 전도체를 포함하는, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 결합 프로브는 단일 미네랄 절연(insulated) 케이블을 포함하는, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 외측 시스는 고온의 금속 또는 금속 합금으로 형성되는, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 고온의 금속 합금은 인코넬(Inconel)인, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 6

제4항에 있어서, 상기 고온의 금속은 스테인리스 스틸인, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 미네랄 절연체는, 다질 수 있는(compactable) 절연 미네랄 파우더를 포함하는, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 다질 수 있는 절연 미네랄 파우더는 MgO 또는 SiO₂ 중 하나를 포함하는, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 3개의 전도체 중 하나는, 단일 루프를 갖는 단일 와이어를 포함하는 선속 루프를 형성하는, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 3개의 전도체 중 다른 둘은, 이중 루프를 갖는 단일 와이어를 포함하는 B-도트 프로브를 형성하는, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 11

제1항, 제2항 및 제4항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 결합 프로브는, 평평한 직사각형 형상의 단면을 갖는 리본 와이어들을 포함하는, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 12

제1항, 제2항 및 제4항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 결합 프로브는, 하나 이상의 길게 늘어진 (elongate) 평평한 면(side)을 갖는 시스를 포함하는, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 시스는 타원형 형상의 단면 또는 직사각형 형상의 단면 중 하나를 갖는, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 14

제12항에 있어서, 상기 시스는, 아치형 단부들 사이에 연장되는 평평한 양쪽 면들을 포함하는, 플라스마 가둠 시스템.

청구항 15

제1항, 제2항 및 제4항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 결합 프로브의 전도체들은, 상기 용기의 벽에 직교하는 방향으로 수직 정렬되어 적층되는(stacked), 플라스마 가둠 시스템.

청구항 16

결합 자기 감지 프로브에 있어서,

시스 내에 위치지정되고, 상기 결합 자기 감지 프로브가 만곡 형상으로 제작될 때 꼬임을 방지하도록 구성되는, 선속 루프와 B-도트 프로브 중 하나 이상

을 포함하고,

외측 시스, 및 상기 외측 시스 내에 위치지정되고 미네랄 절연체 내에 매립된 3개의 전도체를 더 포함하는, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 17

제16항에 있어서, 단일 미네랄 절연 케이블을 포함하는, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 18

삭제

청구항 19

제16항에 있어서, 상기 외측 시스는 고온의 금속 또는 금속 합금으로 형성되는, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 고온의 금속 합금은 인코넬인, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 21

제19항에 있어서, 상기 고온의 금속은 스테인리스 스틸인, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 22

제16항에 있어서, 상기 미네랄 절연체는, 다질 수 있는 절연 미네랄 파우더를 포함하는, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 23

제22항에 있어서, 상기 다질 수 있는 절연 미네랄 파우더는 MgO 또는 SiO₂ 중 하나를 포함하는, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 24

제16항에 있어서, 상기 3개의 전도체 중 하나는, 단일 루프를 갖는 단일 와이어를 포함하는 선속 루프를 형성하는, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 25

제24항에 있어서, 상기 3개의 전도체 중 다른 둘은, 이중 루프를 갖는 단일 와이어를 포함하는 B-도트 프로브를 형성하는, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 26

제16항, 제17항 및 제19항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 평평한 직사각형 형상의 단면을 갖는 리본 와이어들을 포함하는, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 27

제16항, 제17항 및 제19항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 하나 이상의 길게 늘어진 평평한 면을 갖는 시스를 포함하는, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 28

제27항에 있어서, 상기 시스는 타원형 형상의 단면 또는 직사각형 형상의 단면 중 하나를 갖는, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 29

제27항에 있어서, 상기 시스는, 아치형 단부들 사이에 연장되는 평평한 양쪽 면들을 포함하는, 결합 자기 감지 프로브.

청구항 30

제16항, 제17항 및 제19항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 결합 자기 감지 프로브의 전도체들은, 용기의 벽에 직교하는 방향으로 수직 정렬되어 적층되는, 결합 자기 감지 프로브.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 명세서에 설명된 주제는 일반적으로 플라즈마 진단기구들에 관한 것이며, 더 상세하게는, 플라즈마 및 자석 코일들에 의해 생성되는, 변화하는 자기장들의 측정을 용이하게 하는 자기 진단 프로브에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 유도성 자기 진단기구들(inductive magnetic diagnostics)은, 플라즈마 및 자석 코일들에 의해 생성되는, 변화하는 자기장들을 측정하는 데 사용된다. 예컨대, FRC(field-reversed configuration) 플라즈마와 같은 플라즈마의, 크기, 형상, 위치, 전역적 불안정 모드들, 및 고주파 변동들을 포함한, 다수의 파라미터는 자기적 측정으로부터 추론될 수 있다. 이러한 다양한 파라미터들의 품질 측정은, 진공 또는 가둠(confinement) 용기의 내측 벽에 걸쳐 배치된 개별 자기 센서들의 특수화된 배열들을 요구한다. 일반적으로 각 개별 자기 센서는, 아날로그 적분기 및 데이터 취득 전자장치에 연결된, 와이어의 루프(loop)이다. 보통 이러한 유형의 센서는, 그 단면적이 작다면 자기 프로브 또는 B-도트(B-dot)라 불리거나, 그 단면적이 크다면 선속 루프(flux loop)라 불린다. 이러한 자기 센서들은 개념적으로는 매우 단순하지만, 실용적인 자기 진단 시스템의 설계는, 검출 대역폭, 잡음 픽업, 진공 적합성, 복사 환경 적합성, 일반 내구성, 정렬 가능성, 및 신호 드리프트(drift)를 포함한, 여러 가지 요인들에 의해 복잡해진다. 이 모든 요인 사이의 상호작용에 내재된 절충사항들의 균형을 이루는 것은, 성공적

인 자기 진단 시스템을 설계하는 것에 대한 열쇠이다.

[0003] 자기 프로브들과 선속 루프들은 매우 오래된 유형의 플라즈마 진단기구로서, 견고하면서도 효과적이다. 이러한 디바이스들은 패러데이의 유도 법칙을 사용하여 자기장 및 자기선속을 측정한다. 와이어의 코일들을 통과하여 지나가는 자기선속 $\Phi = \int \vec{B} \cdot \vec{n} da$ 의 변화가, 코일의 축에 평행한 자기장 성분 B 의 시간 도함수에 비례하는 전압 V_c

수학식 1

[0004]
$$V_c = - \frac{d\Phi}{dt} = - n_c a_c \frac{dB}{dt}$$

[0005] 를 생성하며, 여기서 n_c 는 권선의 수이고, a_c 는 각 권선의 면적이다. 따라서 V_c 의 측정값들은 전자적으로 또는 계산을 통해 적분되어, 코일의 구성에 따라 Φ 또는 B 에 대한 값들을 산출할 수 있다. 큰 면적들을 아우르는 단일 권선 코일들은 Φ 를 측정하는 데 사용되며, 선속 루프들로 지칭된다. 그 내부의 자기장이 균일한 것으로 가정할 수 있을 정도로 충분히 작은 다중 권선 코일들은 자기 프로브들 또는 B-도트 프로브들이라 불리며, B 를 측정하는 데 사용된다.

[0006] FRC 플라즈마의 형상, 크기, 및 종방향 위치는, FRC 플라즈마에 의해 배제되는 자기선속으로부터 추론될 수 있다. 일반적으로, 플라즈마의 초기화(initiation) 전에, 균일한 자기장이 FRC 플라즈마 가둠 시스템의 가둠 챔버를 채운다. 이러한 자기장은 도 1에서 B_0 에 의해 나타나 있다. 플라즈마 원환체(toroid)의 반자성(diamagnetic) 특성들은, 진공 용기의 선속 보존자(flux conserver) 특성들과 결합되어, 플라즈마가 형성 섹션으로부터 가둠 영역에 진입할 때 FRC와 벽 사이의 초기 가둠 챔버 자기장의 압축을 초래한다. FRC 외부 영역에서의 결과적 자기장 증가분(field increase)인, 도 1의 B_e 는, 챔버 벽의 바로 내부에 위치지정된 자기 프로브들에 의해 측정된다. 이상적인 경우, 배제된 선속 반지름 $r_{\Delta\Phi}$ 는 단순히 $r_{\Delta\Phi} = r_w \sqrt{1 - B_0/B_e}$ 에 의해 주어지며, 여기서 r_w 는 벽 반지름이다. 배제된 선속 $r_{\Delta\Phi}$ 반지름은, 대부분의 조건에서, 세파라트릭스(separatrix) 반지름 r_s 와 대략적으로 동일하다. 세파라트릭스는, FRC를 한정하는, 열린 자기장선(field line)과 닫힌 자기장선 사이의 경계의 표면이다.

[0007] 자석 코일들에 의해 생성되는 자기장을 모니터링하는 것은 자기 진단기구들의 중요한 2차 기능이다. 자석 코일들이 연결될 때 또는 이들의 전원 공급기들을 프로그래밍하는 중에 실수들이 발생할 수 있다. 따라서, 디바이스 내의 실제 자기장이 요청된 것과 동일하다는 것을 검증하는 독립적인 수단을 갖는 것이 바람직하다. 자기 진단기구들로서, 그 대부분은 설치 이전에 알려진 자기장들에 대해 절대적으로 교정되는, 자기 진단기구들은 이러한 능력을 제공한다.

[0008] 개별적인 프로브들을 사용하고 선속 보존에 관해 가정하는 것이 아니라, 선속 루프들과 고리형 B-도트 프로브들을 사용하여 관심량(quantity of interest)을 직접 측정해야 하는 경우들이 있다. 그러나 진공 용기 내의 공간 및 실제 관통 수는 항상 제한되며, 이는 최적 수의 개별 선속 루프들과 B-도트 프로브들을 제공하는 것을 어렵게 만든다.

[0009] 따라서, 개선된 선속 루프들과 B-도트 프로브들을 제공하는 것이 바람직하다.

도면의 간단한 설명

[0010] 유사한 참조 번호들이 유사한 부분들을 지칭하는, 첨부된 도면들을 살펴봄으로써, 구조 및 동작을 포함한, 실시예들의 세부사항들을 부분적으로 확인할 수 있다. 도면들 내의 컴포넌트들은 필연적으로 일정한 비율인 것은 아니며, 그 대신 본 발명의 원리들을 나타낼 때에 강조된다. 또한, 모든 도면은 개념들을 전달하도록 의도된 것이며, 상대적인 크기, 형상, 및 다른 상세한 속성은, 문자 그대로 또는 정밀하게가 아니라, 개략적으로 나타낸 것일 수 있다.

도 1은 FRC 플라즈마의 도입(우측)에 의한 기존 자기선속의 배제(좌측)를 도시하는 도면이다.

- 도 2는, 내부에 결합된 선속 루프와 B-도트 프로브가 위치지정되는 FRC 가둠 시스템의 단면도이다.
- 도 3은, 본 실시예들의 결합된 선속 루프와 B-도트 프로브의, 3개의 와이어로 이루어진 구성의 도면이다.
- 도 4는, 도 3의 4-4 라인을 따라 취해진, 결합된 선속 루프와 B-도트 프로브의 단면도이다.
- 도 5, 도 6, 및 도 7은 결합된 선속 루프와 B-도트 프로브의 대안적인 실시예들의 단면도이다.

도면들 전반에 걸쳐, 설명의 목적으로, 유사한 구조들 또는 기능들의 요소들은 일반적으로 유사한 참조 번호들에 의해 나타나 있다는 것을 유의하여야 한다. 도면들은 오직 바람직한 실시예들의 설명을 용이하게 하도록 의도되었다는 것을 또한 유의하여야 한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 아래에 개시된 추가적인 특징들 및 교시들의 각각은, 따로 또는 다른 특징들 및 교시들과 함께 이용되어, 결합된 선속 루프와 B-도트 프로브를 제공할 수 있다. 이러한 추가적인 특징들 및 교시들 중 다수를 따로 그리고 조합하여 이용하는 예시들인, 본 명세서에 설명된 실시예들의 대표적인 예시들이, 첨부된 도면들을 참조하여 이제 더 상세하게 설명될 것이다. 이러한 상세한 설명은 단지 본 교시들의 바람직한 양상들을 실시하기 위한 더 많은 세부사항들을 당업자에게 교시하도록 의도된 것이며, 본 발명의 범위를 제한하도록 의도된 것이 아니다. 따라서, 다음의 상세한 설명에 개시된 특징들과 단계들의 조합들은, 가장 넓은 의미에서 본 발명을 실시하는 데 필요하지 않을 수도 있으며, 그 대신, 단지 본 교시들의 대표적인 예시들을 상세히 설명하기 위하여 교시된 것이다.
- [0012] 또한, 본 교시들의 추가적인 유용한 실시예들을 제공하기 위하여, 대표적인 예시들 및 종속 청구항들의 다양한 특징들은, 구체적으로 그리고 명시적으로 열거되지 않는 방식들로, 조합될 수 있다. 또한, 설명 및/또는 청구항들에 개시된 모든 특징은, 최초 개시의 목적으로, 그리고, 청구되는 주제를 실시예들 및/또는 청구항들 내의 특징들의 구성들과는 독립적으로 제한하기 위한 목적으로, 따로 그리고 서로에 독립적으로 개시되도록 의도되었다는 것을 분명히 알 수 있다. 모든 값 범위, 또는 엔티티들의 그룹들의 표시는, 최초 개시의 목적으로, 그리고 청구되는 주제를 제한하기 위한 목적으로, 모든 가능한 중간 값 또는 중간 엔티티를 개시한다는 것 또한 분명히 알 수 있다.
- [0013] 본 명세서에 제공된 실시예들은, 가둠 용기의 내부 벽의 곡면을 따라 용기 내에 장착하는 것을 용이하게 하는, 결합된 선속 루프와 B-도트 프로브에 관한 것이다. 도 2를 참조하면, FRC 플라스마 가둠 시스템(10)은 가둠 챔버 또는 용기(12), 용기(12) 내에 가두어진 FRC 플라스마(14), 그리고 용기(12)의 주위에 위치지정된 솔레노이드 자기 코일(16)을 포함하는 것이 도시되어 있다. 결합된 선속 루프와 B-도트 프로브(20)는 용기(12)의 내부 벽 주위에 위치지정되어 있다.
- [0014] B-도트 프로브들과 선속 루프들은 매우 오래된 유형의 플라스마 진단기구들로서, 견고하면서도 효과적이다. 예컨대, FRC 플라스마 가둠 시스템(10)의 가둠 용기(12)의 내부, 또는 토카막 등과 같이, 진단 센서들이 플라스마 복사 및/또는 중성자 플루언스(neutron fluence)의 영향을 받는 고온 플라스마 환경들은, 플라스마 복사열로 인해 과열되지 않을 센서들을 요구하고 중성자 플루언스를 견딜 수 있는 센서 물질들을 요구한다. 중성자 플루언스가 높은, 고온 플라스마 환경들에서는, 예컨대, MgO 등을 포함하는 비유기(non-organic) 절연 물질을 포함하는 미네랄 절연(insulated) 케이블들이 일반적으로 사용된다. 예컨대, 본 명세서에 참조로서 통합되는, Hodapp 등, "Magnetic diagnostics for future tokamaks(향후의 토카막을 위한 자기 진단기구들)", *Proceedings of 16th International Symposium on Fusion Engineering(융합 공학에 관한 제16차 국제 심포지엄의 회의록)*, Champaign, IL(미국 일리노이주 샴페인), 1995년, 제2권 918-921페이지를 참조할 수 있다.
- [0015] 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 결합된 프로브(20)는, 단일 미네랄 절연 케이블로서, 예컨대, 스테인리스 스틸, 인코넬(Inconel), 또는 또 다른 고온 금속 합금을 포함하는 외층 시스(sheath)(26), 그리고 외층 시스(26) 내에 위치지정되고, 예컨대, MgO, SiO₂, 또는 다질 수 있는(compactable) 또 다른 절연 미네랄 파우더와 같은 비유기 미네랄 절연체를 포함하는 미네랄 절연체(28) 내에 매립된(embedded) 3개의 전도체(22 및 24)를 갖는, 단일 미네랄 절연 케이블을 포함하는 것이 바람직하다. 전도체들(22) 중 하나는, 용기 전체의 주위를 한 번 일주하고, 자체적으로 꼬이고, 용기(12)를 빠져나가는 선속 루프(22)를 형성한다. 제2 및 제3 전도체는 B-도트 프로브(24)를 형성하며, 이는 면적의 변화에 매우 민감하다. B-도트(24)는, 용기(12) 주위를 2번 루프하는 단일 와이어를 포함한다. 와이어(24)는 일 단부 상에서 단락되고, 자체적으로 꼬이고, 용기(12)를 빠져나간다.

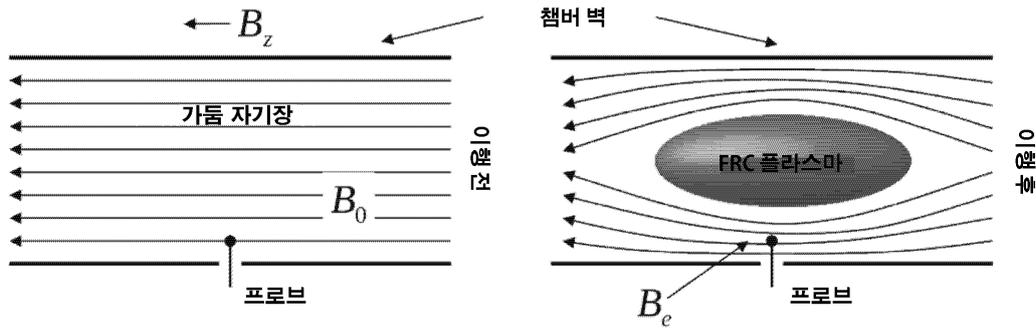
- [0016] 선속 루프(22)와 B-도트(24) 프로브들이 단일 미네랄 절연 케이블 내에 수용된 상태로 올바르게 기능하도록, 결합된 프로브(20)의 3개의 전도체(22 및 24)는 용기(12)의 벽에 수직으로 정렬되는 것이 바람직하다. 결합된 프로브(20)가 만곡 형상으로 제작될 때 만곡 굴곡부를 따라 꼬임(twisting)이 발생한다면, 이는 전도체들 사이의 단면적의 감소를 초래할 것이며, 이는 위에 언급된 바와 같이 면적의 변화에 매우 민감한 경향이 있는 B-도트(24)에 문제가 되는 경향이 있다.
- [0017] 도 5를 참조하면, 결합된 프로브(120)의 실시예는, 케이블로서, 예컨대, 구리 등으로 형성되고 일반적으로 평평한 직사각형 형상의 단면을 갖는 3개의 리본 와이어(122 및 124)를 포함하는, 케이블을 포함한다. 리본 와이어들(122 및 124)은, 이격된 상태로, 그 폭을 따라 적층된다(stacked). 이러한 적층된 리본 와이어 구성은, 결합된 프로브(120)가 만곡 형상으로 제작될 때 꼬임을 방지하는 경향이 있다. 세 리본 중에서, 하나의 리본(122)은 선속 루프를 위해 사용되고, 다른 두 리본(124)은, B-도트 프로브들을 형성하는 단일 리본을 포함하는 것이 바람직하다.
- [0018] 결합된 프로브(220)의 또 다른 실시예가 도 6에 도시되어 있다. 묘사된 바와 같이, 외측 시스(226)는, 일반적으로 타원형, 직사각형 등의 형상의 단면을 형성하는 길게 늘어진(elongate) 평평한 양쪽 면(side)들을 포함하는 것이 바람직하다. 묘사된 바와 같이, 시스(226)는, 아치형 단부들(221 및 223) 사이에 연장되는 평평한 양쪽 면들(225 및 227)을 포함한다. 더 묘사된 바와 같이, 3개의 리본 와이어(122 및 124)는, 시스(226)의 넓은 평평한 면들(225 및 227)을 따라, 이격된 상태로, 적층된다. 리본 와이어들(122 및 124)의 직사각형 단면 구성과 함께, 시스(226)의 타원형 형상의 단면 구성은, 결합된 프로브(220)가 만곡 형상으로 제작될 때 리본 와이어들(122 및 124)이 꼬이는 것을 더 방지하는 경향이 있다.
- [0019] 도 7에 도시된 바와 같은 결합된 프로브(320)의 또 다른 실시예는, 일반적으로 타원형, 직사각형 등의 형상의 단면을 형성하는 길게 늘어진 평평한 양쪽 면들을 포함하는 것이 바람직한 외측 시스(226)를 포함한다. 묘사된 바와 같이, 시스(226)는, 아치형 단부들(221 및 223) 사이에 연장되는 평평한 양쪽 면들(225 및 227)을 포함한다. 그러나 3개의 전도체(322 및 324)는, 적층된 평평한 리본 와이어들 대신, 예컨대, 원형, 정사각형, 팔각형 등을 포함한, 임의의 단면 형상을 가질 수 있다. 외측 시스(226)의 넓은 평평한 면들(225 및 227)은, 결합된 프로브(320)가 만곡 형상으로 제작될 때 3개의 전도체(322 및 324)가 꼬이는 것을 방지하는 경향이 있다.
- [0020] 본 명세서에 제시된 실시예들은 오직 예시의 목적으로 FRC 플라즈마 환경에 관하여 논의되었으나, 본 명세서에 제시된 실시예들은, 예컨대, 토카막 등과 같이, 플라즈마 복사 및/또는 중성자 플루언스의 영향을 받는 다양한 고온 환경들에서 사용될 수 있다.
- [0021] 그러나 본 명세서에 제공된 실시예들은 단지 설명을 위한 예시들로서 의도되었으며, 어떠한 방식으로든 제한하도록 의도되지 않았다.
- [0022] 본 명세서에 제공된 임의의 실시예에 관하여 설명된 모든 특징, 요소, 컴포넌트, 기능, 및 단계는, 자유롭게 조합 가능하도록, 그리고 임의의 다른 실시예로부터의 것들로 대체 가능하도록 의도되었다. 특정한 특징, 요소, 컴포넌트, 기능, 또는 단계가 오직 하나의 실시예에 관하여 설명되었다면, 명시적으로 달리 진술되어 있지 않은 한, 해당 특징, 요소, 컴포넌트, 기능, 또는 단계는, 본 명세서에 설명된 다른 모든 실시예와 함께 사용될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 따라서 본 단락은, 임의의 때에, 상이한 실시예들로부터의 특징들, 요소들, 컴포넌트들, 기능들, 및 단계들을 조합하는, 또는 하나의 실시예로부터의 특징들, 요소들, 컴포넌트들, 기능들, 및 단계들을 또 다른 실시예의 것들로 대체하는, 청구항들의 도입을 위한 선행적 기초 및 성문 지지부의 역할을 하며, 이는 특정한 경우에 그러한 조합들 또는 대체들이 가능하다는 것을 다음의 설명에서 명시적으로 진술하지 않는 경우에도 마찬가지이다. 모든 가능한 조합 및 대체를 분명히 언급하는 것은 과도하게 부담스러우며, 본 설명을 읽으면 각각의 모든 그러한 조합 및 대체의 허용 가능성이 당업자에 의해 곧바로 인지되리라는 것을 고려하면 특히 그렇다.
- [0023] 많은 경우, 본 명세서에서 엔티티들은 다른 엔티티들에 커플링되는 것으로 설명된다. 본 명세서에서 "커플링된" 및 "연결된"(또는 이들의 형태들 중 임의의 것)이라는 용어는 상호교환 가능하도록 사용되며, 두 경우 모두, 두 엔티티의 직접적인 커플링(임의의 무시할 수 없는(예컨대, 기생적인) 개재 엔티티들을 갖추지 않음) 및 두 엔티티의 간접적인 커플링(하나 이상의 무시할 수 없는 개재 엔티티를 갖춤)을 일반적으로 이룬다는 것을 이해해야 한다. 엔티티들이 직접적으로 함께 커플링되는 것으로 도시되거나, 임의의 개재 엔티티의 설명 없이 함께 커플링되는 것으로 설명되는 경우, 맥락에서 분명히 달리 지시하지 않는 한, 이러한 엔티티들은 간접적으로 함께 커플링될 수도 있다는 것을 이해해야 한다.

[0024]

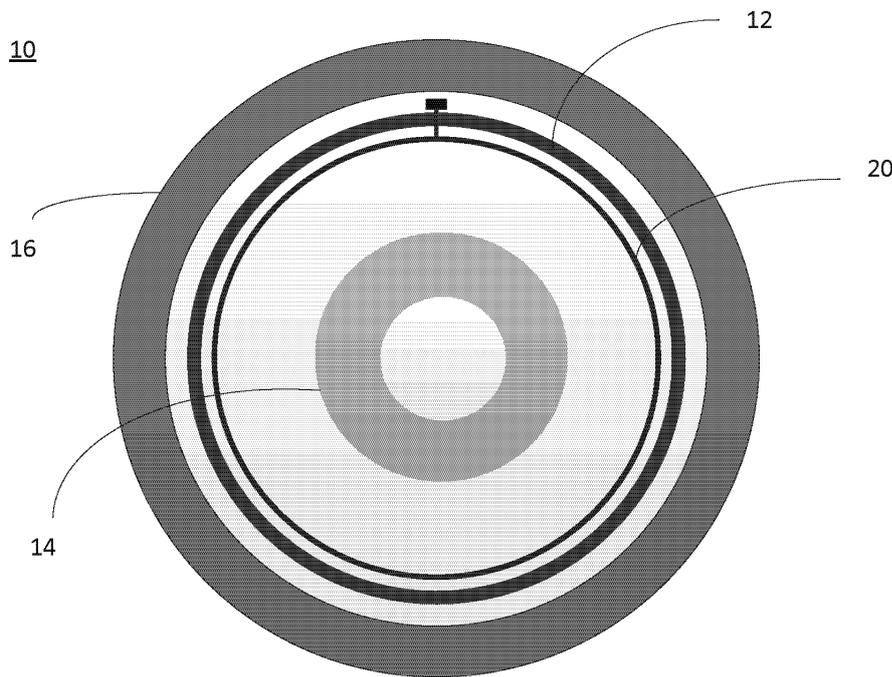
실시예들은 다양한 수정들 및 대안적 형태들이 가능하지만, 이들의 구체적인 예시들이 도면들에 도시되었고 본 명세서에 상세하게 설명되었다. 그러나 이러한 실시예들은, 개시된 특정한 형태로 제한되어서는 안 되며, 반대로, 이러한 실시예들은, 본 개시의 사상에 속하는 모든 수정, 등가물, 및 대안을 커버해야 한다는 것을 이해해야 한다. 또한, 실시예들의 임의의 특징들, 기능들, 단계들, 또는 요소들이, 그리고 청구항들의 발명의 범위를 한정하는 부정적 제한들이, 청구항들에서 언급되거나 청구항들에 추가될 수 있다.

도면

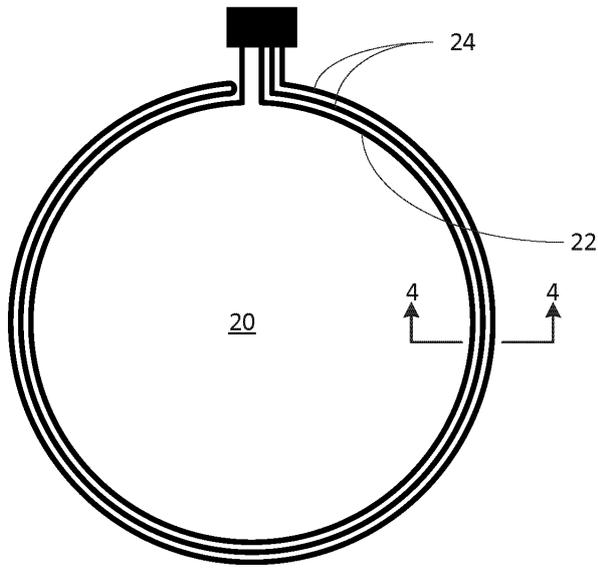
도면1



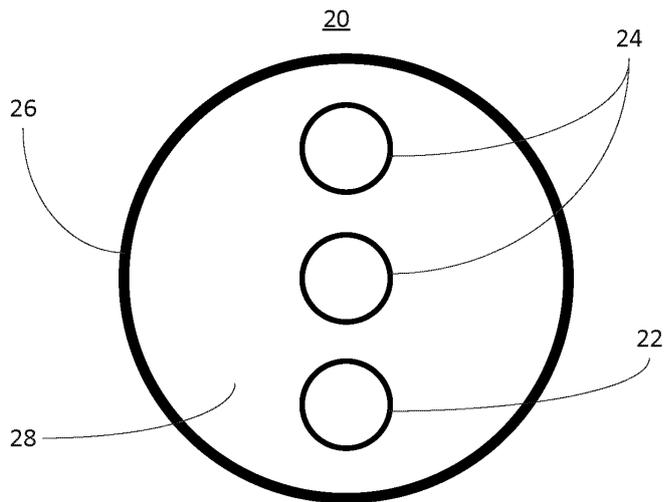
도면2



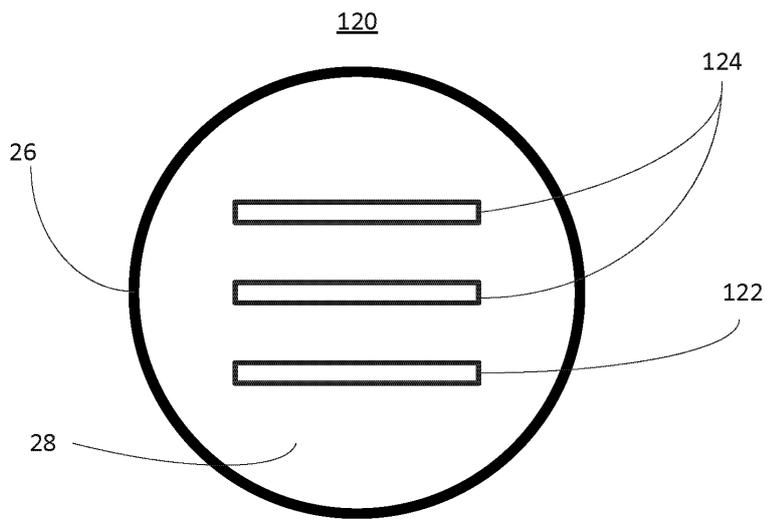
도면3



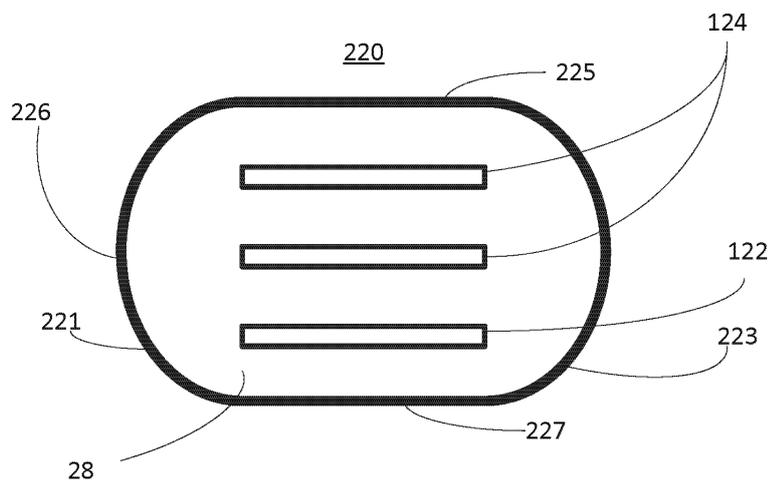
도면4



도면5



도면6



도면7

