



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년05월26일

(11) 등록번호 10-1522222

(24) 등록일자 2015년05월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

*B01D 35/00* (2006.01) *H01S 5/183* (2015.01)

(21) 출원번호 10-2012-0123197

(22) 출원일자 2012년11월01일

심사청구일자 2012년11월01일

(65) 공개번호 10-2014-0055839

(43) 공개일자 2014년05월09일

(56) 선행기술조사문헌

JP2000252114 A\*

KR1020050088359 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국원자력연구원

대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)

(72) 발명자

이성만

대구광역시 수성구 동대구로 337, 1402호 (범어동, 범어화성파크리젠시)

이승욱

대전광역시 유성구 엑스포로 448, 106동 505호 (전민동, 엑스포아파트)

문명국

대전광역시 유성구 구죽로 16, 111동 1101호 (송강동, 한마을아파트)

(74) 대리인

박장원

전체 청구항 수 : 총 6 항

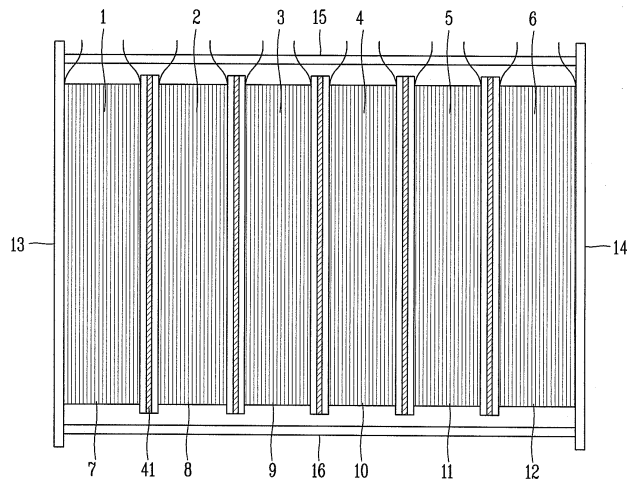
심사관 : 박지형

(54) 발명의 명칭 복합 솔레노이드 장치 및 이를 구비하는 초편극 헬륨-3 기체생성시스템

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따르는 복합 솔레노이드 장치는, 중공들이 서로 연통하도록 결합되는 솔레노이드 보빈들과, 상기 솔레노이드 보빈에 각각 결합되는 솔레노이드 및 상기 각각의 솔레노이드에 인가되는 전류를 독립적으로 제어할 수 있도록 형성되는 제어부를 포함하고, 상기 솔레노이드들은, 상기 제어부에 의해 전류가 인가될 때, 상기 솔레노이드 보빈들의 중공에서 측정된 자기장이 일측에서 타측까지 일정 범위 이내로 균일하게 형성되도록 각각 일정한 코일 회전수로 이루어질 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 527700-12  
 부처명 한국원자력연구원  
 연구관리전문기관 한국원자력연구원  
 연구사업명 창의연구사업  
 연구과제명 초편극 He-3 제조기술개발  
 기여율 1/2  
 주관기관 한국원자력연구원  
 연구기간 2012.01.01 ~ 2012.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 57133-12  
 부처명 교육과학기술부  
 연구관리전문기관 한국원자력연구원  
 연구사업명 원자력연구개발사업  
 연구과제명 첨단 중성자 영상광학 응용연구  
 기여율 1/2  
 주관기관 한국원자력연구원  
 연구기간 2012.03.01 ~ 2015.02.28

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

삭제

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

He-3 기체가 수용되며, 내부에 일정 온도 이상에서 증발하는 금속을 포함하는 셀;

상기 셀을 가열하여 상기 금속을 증발시키는 셀 가열장치;

증발된 금속과 He-3 기체 사이에 스핀 교환상호작용(Exchange Interaction)이 이루어지도록 상기 셀에 광펌핑 방식으로 광을 방출시키는 광학계; 및

상기 셀이 솔레노이드가 감겨있는 보빈에 형성된 중공에 배치되고, 상기 중공 내의 자기장이 일측에서 타측까지 일정 범위 이내로 균일하도록 형성되는 복합 솔레노이드 장치를 포함하고,

상기 복합 솔레노이드 장치는,

중공들이 서로 연통하도록 결합되는 솔레노이드 보빈들;

상기 솔레노이드 보빈에 각각 결합되는 솔레노이드를 포함하고,

상기 각각의 솔레노이드에 인가되는 전류는 독립적으로 제어할 수 있도록 형성되며,

상기 솔레노이드들은,

상기 전류가 인가될 때, 상기 솔레노이드 보빈들의 중공에서 측정된 자기장이 일측에서 타측까지 일정 범위 이내로 균일하게 형성되도록 각각 일정한 코일 회전수로 형성되고,

양단에 배치되는 상기 솔레노이드 보빈들에 결합되는 솔레노이드의 코일 회전수는 중앙에 배치되는 상기 솔레노이드 보빈들에 결합되는 솔레노이드의 코일 회전수 보다 크도록 형성되는 것을 특징으로 하는 초편극 He-3 기체 생성 시스템.

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

제3항에 있어서,

상기 솔레노이드 보빈들은,

상기 솔레노이드에 의한 자기장에 영향을 줄이도록 상자성체로 형성되는 것을 특징으로 하는 초편극 He-3 기체 생성 시스템.

**청구항 6**

제3항에 있어서,

상기 솔레노이드 보빈들 사이에 열전달부재가 배치되는 것을 특징으로 하는 초편극 He-3 기체생성 시스템.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

제3항에 있어서,

상기 솔레노이드들 각각에 의해 독립적으로 형성되는 자기장의 상대적인 크기는,

중앙부분에 배치되는 솔레노이드에 의해 형성되는 자기장의 크기는, 상기 중앙부분에 배치되는 솔레노이드와 상기 양단에 배치되는 솔레노이드의 사이에 배치되는 솔레노이드에 의해 형성되는 자기장의 크기보다 크도록 형성되는 것을 특징으로 하는 초편극 He-3 기체생성 시스템.

**청구항 10**

제3항에 있어서,

상기 셀 가열장치는 온풍기 및 상기 온풍기로부터 상기 셀을 관통하여 연장되는 공기흐름관을 포함하는 것을 특징으로 하는 초편극 He-3 기체생성 시스템.

**청구항 11**

제3항에 있어서,

상기 금속은 루비듐(Rb)인 것을 특징으로 하는 초편극 He-3 기체생성 시스템.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명의 실시예들은 중성자스핀필터나 중성자스핀분석용 검광자로 사용이 가능한 고분극도를 갖는 초편극 기체를 생성하기 위해서 요구되는 고균일 외부자기장 발생방법과 이를 활용한 스핀교환광펌핑 방법에 의한 초편극 헬륨-3 기체생성 시스템에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 편극기체를 중성자스핀필터로 이용하여 연구용 원자로에서 편극중성자 빔을 개발할 경우 중성자 핵스핀을 이용한 다양한 기초핵물리 실험이 가능하게 되고, 신소재 개발, 에너지산업, 생명산업 등 산업적 응용분야의 활용 고도화를 이룰 수 있다.

[0003] 원자핵 스핀 편극화 기술은 광펌핑을 통해 원자핵의 스핀을 편극화하는 기술로서, 스핀-교환 광펌핑방법(SEOP, Spin-Exchange Optical Pumping, 이하 SEOP 방법이라고 한다)과 준안정준위 광펌핑방법(MEOP, Metastable Exchange Optical Pumping)이 있다. 본 장치는 SEOP 방법으로 고분극도를 갖는 원자핵을 생성하는 방법에 관한 것으로, SEOP로 고분극도 기체를 생성하기 위해서는 균일한 외부자기장, 광펌핑에 사용되는 레이저, 그리고 기체 셀이 중요하다.

[0004] 지금까지 SEOP 방법에서 균일한 외부자기장을 얻기 위해 헬름호르츠(Helmholtz) 코일, 끝면-보상(end-compensated) 솔레노이드 코일, 마술상자(magic box) 등이 주로 사용되었으나, 균일한 자기장분포를 얻기 위해서 장치의 크기가 거대해지거나 고집약형으로 균일한 자기장분포를 얻기 어려운 문제가 있었다.

[0005] 일례로, 헬름호르츠 코일의 경우 균일한 외부자기장을 쉽게 얻을 수 있고 측정 장비의 접근이 용이하여 실험실에서 많이 사용되고 있으나, 코일의 직경이 수십 cm에서 수 m로 거대하여 사용공간에 제한이 따르는 중성자 빔 라인에 설치하여 사용하기에는 기술적 제약이 있다. 마술상자의 경우 헬름호르츠 코일과 비교하여 상대적으로 크기가 작은 장점이 있으나, 무게가 무겁고 취급이 어려워 이동형태로 사용이 까다로운 점이 있다.

[0006] 솔레노이드코일의 경우 크기가 작고 제작이 용이하여 시설장비와 이동형 장비로 유용한 장점이 있으나, 코일내

부의 자기장 세기가 상대적으로 불균일한 문제가 있었다. 이러한 코일의 양끝면 자기장 감소에 의한 불균일성을 완화하고자 끝단에 단위길이당 코일감은수를 늘려 불균일성을 보완한 끝면-보완(end-compensated) 솔레노이드코일이 사용되기도 하였다. 그러나 끝단의 코일회전수 증감만으로는 균일한 세기의 자기장을 얻는데 한계가 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명은 상기한 바와 같은 문제점들을 해결하기 위해 안출된 것으로 SEOP 방법에서 외부자기장발생장치로 사용되는 짧은 솔레노이드의 불균일한 내부 자기장의 분포를 균일하도록 보상하고, 균일한 자기장분포를 갖는 솔레노이드와 좁은 선폴을 갖는 소형의 레이저 다이오드를 사용하여 공간이 제한되는 중성자 빔라인에 설치하여 중성자스핀필터장치로 사용할 수 있는 고집약형 고분극도 초편극 기체생성 시스템을 제공하기 위한 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 이와 같은 본 발명의 해결 과제를 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따르는 복합 솔레노이드 장치는, 중공들이 서로 연통하도록 결합되는 솔레노이드 보빈들과, 상기 솔레노이드 보빈에 각각 결합되는 솔레노이드 및 상기 각각의 솔레노이드에 인가되는 전류를 독립적으로 제어할 수 있도록 형성되는 제어부를 포함하고, 상기 솔레노이드들은, 상기 제어부에 의해 전류가 인가될 때, 상기 솔레노이드 보빈들의 중공에서 측정된 자기장이 일측에서 타측까지 일정 범위 이내로 균일하게 형성되도록 각각 일정한 코일 회전수로 이루어질 수 있다.

[0009] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 솔레노이드 보빈들 사이에 열전달부재가 배치될 수 있다.

[0010] 또한 상기한 과제를 실현하기 위하여 본 발명의 다른 실시예는, He-3 기체가 수용되며, 내부에 일정 온도 이상에서 증발하는 금속을 포함하는 셀과, 상기 셀을 가열하여 상기 금속을 증발시키는 셀 가열장치와, 증발된 금속과 He-3 기체 사이에 스핀 교환상호작용(Exchange Interaction)이 이루어지도록 상기 셀에 광평평 방식으로 광을 방출시키는 광학계 및 상기 셀을 중공에 배치하고, 중공 내의 자기장이 일측에서 타측까지 일정 범위 이내로 균일하도록 형성되는 복합 솔레노이드 장치를 포함하는 초편극 He-3 기체생성 시스템을 개시한다.

[0011] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 복합 솔레노이드 장치는, 중공들이 서로 연통하도록 결합되는 솔레노이드 보빈들과, 상기 솔레노이드 보빈에 각각 결합되는 솔레노이드 및 상기 각각의 솔레노이드에 인가되는 전류를 독립적으로 제어할 수 있도록 형성되는 제어부를 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 솔레노이드 보빈들은, 상기 솔레노이드에 의한 자기장에 영향을 줄이도록 상자성체로 형성될 수 있다.

[0013] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 솔레노이드 보빈들 사이에 열전달부재가 배치될 수 있다.

[0014] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 솔레노이드들은, 상기 제어부에 의해 전류가 인가될 때, 상기 솔레노이드 보빈들의 중공에서 측정된 자기장이 일측에서 타측까지 일정 범위 이내로 균일하게 형성되도록 각각 일정한 코일 회전수로 형성될 수 있다.

[0015] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 복합 솔레노이드 장치의 양단에 배치되는 솔레노이드는 중앙에 배치되는 솔레노이드보다 많은 코일 회전수를 갖도록 형성될 수 있다.

[0016] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 솔레노이드들 각각에 의해 독립적으로 형성되는 자기장은 일측단에 배치되는 솔레노이드로부터 중앙부분에 배치되는 솔레노이드까지 순서대로 강, 약 및 중의 크기를 갖도록 형성될 수 있다.

[0017] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 셀 가열장치는 온풍기 및 상기 온풍기로부터 상기 셀을 관통하여 연장되는 공기흐름관을 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 금속은 루비듐(Rb)으로 형성될 수 있다.

**발명의 효과**

- [0019] 상기와 같이 구성되는 본 발명의 적어도 하나의 실시예에 관련된 초편극 기체생성 시스템은 솔레노이드에 의해서 발생한 내부자기장의 분포를 개선시켜 고집약형의 SEOP 장치나 소형의 중성자 스핀필터를 제작할 수 있다.
- [0020] 또한, 부피가 작은 고집약형의 SEOP 장치 개발로 좁은 공간의 중성자 빔라인에 직접 설치할 수 있고 사용시간에 제한이 없으며 연속동작이 가능한 중성자스핀필터로의 활용할 수 있다.
- [0021] 그리고, 휴대용으로 사용하면 가용 공간이 극히 제한된 빔라인에서도 효과적으로 He-3 중성자 스핀필터나 검광자(analyzer)로 사용할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따르는 균일한 내부 자기장을 발생하는 복합 솔레노이드 장치의 개념도.  
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따르는 복합 솔레노이드를 활용한 SEOP 방식에 의한 초편극 He-3 생성장치의 개념도.  
 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따르는 초편극 He-3 기체셀을 이용하는 휴대용 중성자 필터장치의 개념도.  
 도 4는 본 발명에 의한 복합 솔레노이드의 일례에 대해서 계산한 솔레노이드 내부 자기장의 분포도.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0023] 이하, 본 발명에 관련된 복합 솔레노이드 장치 및 이를 구비하는 초편극 He-3 기체생성시스템에 대하여 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 이하의 설명에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 "모듈" 및 "부"는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로 서로 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다. 본 명세서에서는 서로 다른 실시예라도 동일·유사한 구성에 대해서는 동일·유사한 참조번호를 부여하고, 그 설명은 처음 설명으로 갈음한다. 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0024] 본 발명은 균일 자기장 발생과 SEOP 방법으로 초편극 기체를 생산하는 기술개발에 관한 것으로 다중 소형 솔레노이드의 인가전류와 단위길이당 코일의 감은수를 최적화하여 균일한 자기장을 발생할 수 있는 복합 솔레노이드 장치를 개발하고, 이를 좁은 선폭을 갖는 홀로그래피 부피 격자(Volume Holographic Grating, 이하 VHG)를 외부 공진기로 사용하는 레이저 다이오드와 결합하여 중성자 빔라인에 휴대용으로 고편극도를 갖는 고집약형 초편극 기체생성 시스템을 구현한 것으로서, 이하 도면을 참조하여 보다 상세하게 살펴보기로 한다.
- [0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따르는 균일한 내부 자기장을 발생하는 복합 솔레노이드 장치의 개념도이다. 도 1은 본 발명의 실시예에 따르는 복합 솔레노이드 장치의 일례에 해당한다. 도시한 바와 같이, 6개의 솔레노이드와 보빈들을 사용하여 구성하였지만, 이보다 많거나 적은 솔레노이드와 보빈들로 복합 솔레노이드 장치를 구현할 수 있다.
- [0026] 일 예로 복합 솔레노이드 장치는 균일한 자기장 발생을 위해 사용된 6개의 소형 솔레노이드들(1, 2, 3, 4, 5, 6)과 이들을 공간적으로 고정하기 위한 솔레노이드 보빈들(7, 8, 9, 10, 11, 12)과 좌우측 고정대(13, 14), 그리고 4개의 연결봉(15, 16)으로 구성될 수 있다.
- [0027] 6개의 소형 솔레노이드들은 자기장의 최적화를 위해서 각각의 보빈에 감기는 단위길이 당 코일회전수와 코일에 흐르는 전류를 독립적으로 변화하여 사용하거나 연결하여 사용할 수 있다.
- [0028] 일 예로, 솔레노이드 보빈들의 중공에서 측정된 자기장이 일측에서 타측까지 일정 범위 이내로 균일하게 형성되도록 솔레노이드들 각각에 의해 독립적으로 형성되는 자기장은 일측단에 배치되는 솔레노이드로(1 또는 6)부터 중앙부분에 배치되는 솔레노이드(3 또는 4)까지 순서대로 강, 약 및 중의 크기를 가질 수 있다. 이 때, 복합 솔레노이드 장치의 양단에 배치되는 솔레노이드(1, 6)는 중앙에 배치되는 솔레노이드보다 많은 코일 회전수를 갖도록 형성될 수 있다.
- [0029] 보빈은 외부 자기장 하에서 약한 자성을 갖는 상자성체인 알루미늄으로 제작이 가능하나 솔레노이드 내부자기장

에 영향을 주지 않는 물질들로 제작이 가능하고, 코일에 발생된 열을 쉽게 전도하여 방출할 수 있는 재질과 구조로서 형성될 수 있다. 보빈들의 중공은 서로 연통되도록 배치된다.

[0030] 보빈 사이의 연결부분은 열전달이 용이하도록 다양한 결합구조를 사용할 수 있다. 일 예로, 열 그리스(thermal grease)와 같은 열전달부재(41)를 사용하여 열전달효과를 개선할 수 있다. 연결봉(15, 16)은 소형 솔레노이드 코일들을 눌러 결합하기 위해서 알루미늄 봉으로 제작되어 사용되었으나, 전자기유도현상으로 솔레노이드 내부 자기장에 영향을 미치지 않는 재질을 이용하는 것이 바람직하다.

[0031] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따르는 복합 솔레노이드를 활용한 SEOP 방식에 의한 초편극 He-3 생성장치의 개념도이다.

[0032] 도 2는 본 발명에 의한 복합 솔레노이드 장치(17)를 활용하고 He-3 셀(18), 셀 가열장치(19), 펌핑 광학계(20)로 구성된 SEOP 방식에 의한 고집약형 초편극 He-3 기체생성 시스템의 일례를 보여주고 있다. He-3 셀은 복합 솔레노이드의 중공에서 종축방향으로 위치하며, 개별 솔레노이드들(1, 2, 3, 4, 5, 6)의 자기장 크기를 코일회전수와 인가전류로 조절하여 He-3 셀 내부에 분포된 솔레노이드에 의해 발생된 정규자기장차이( $\Delta B/B$ )는  $10^{-4}$  이 내가 되도록 형성될 수 있다.

[0033] 여기서 정규자기장차이라 함은 복합 솔레노이드 장치에서 최대 자기장값에서 최소 자기장값을 뺀 값을 최대 자기장값으로 다시 나눈 값을 말한다. 즉, 정규자기장차이가  $10^{-4}$  이 내가 되도록 형성된다 함은 솔레노이드의 중공에서 측정된 자기장이 중공의 일측에서 타측까지 일정 범위 이내(일례로,  $10^{-4}$  이내)로 균일하게 형성된다는 것을 의미한다.

[0034] He-3 셀은 셀 가열장치(19)에 의해서 가열될 수 있다.

[0035] 일 예로, 셀 가열장치(19)는 열풍기(21), 고온용 공기흐름관(22)을 포함할 수 있으며, 공기 흐름관으로부터 고온의 공기가 셀 외부를 따라 흐르도록 공기흐름이 형성되어 셀 내부를 가열할 수 있다. 셀 가열장치(19)는 이외에도 비반사 코팅된 광학창(24)이 포함되는 RF 코일 보빈(23)을 더 포함할 수 있다. 여기서, RF 코일은 He-3 기체의 편극도를 측정하고자 할 때 필요한 RF(Radio Frequency) 신호를 발생시키는 장치로써 사용될 수 있다.

[0036] 셀 가열장치(19)에 의해서 약 150 °C - 180 °C 사이에서 일정한 온도를 갖도록 열풍기의 송풍량과 온도로 조절되며, 설정온도는 셀 내부에 포함된 루비듐(Rb) 금속이 증발되어 He-3 기체와 충분한 스핀교환으로 짧은 시간 이내에 최적의 He-3 기체 분극도를 얻을 수 있는 조건에 의해서 결정될 수 있다.

[0037] 셀에 광펌핑 방식으로 광을 방출시키는 광학계(20)는 셀 내부에서 증발된 금속과 He-3 기체 사이에 스핀 교환상호작용(Exchange Interaction)을 일으킨다.

[0038] 광학계(20)는 루비듐 펌핑 광원으로써 VHG를 외부공진기로 사용하는 레이저 다이오드(25)를 포함할 수 있다. 이때, 광원의 발진파장이 He-3 기체와 스핀을 교환하는 루비듐 원자의 D1 흡수스펙트럼(794.8 nm)과 VHG의 온도조절에 의해서 안정적으로 일치하고, 발진선폭은 루비듐 D1 흡수선의 미세구조(hyperfine structure)에 의한 스펙트럼 폭과 효과적으로 중첩되어 수십 W급의 저출력 레이저로 고분극도를 얻을 수 있다.

[0039] 레이저 다이오드의 출력 빔은 광섬유(26)에 결합되어 전송되는 구조를 사용하여 사용이 편리한 고집약형의 SEOP 장치를 실현하였고, 레이저 빔은 펌핑광학계를 구성하는 구면렌즈(27)에 의해서 정렬된 후에 편광빔분할기(28)와  $\lambda/4$ -파장판(29) 조합에 의해서 원편광된다. 이후에 레이저 빔은 전반사 거울(30)에 의해서 He-3 셀 단면에 균일하게 조사되어 셀내부에 증발되어 있는 Rb 원자를 펌핑하는 고집약형 펌핑광학계 구조를 갖는다.

[0040] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따르는 초편극 He-3 기체셀을 이용하는 휴대용 중성자 필터장치의 개념도이다. 도 3은 본 발명에 의한 복합 솔레노이드를 활용해 편극화한 He-3 기체를 휴대용 중성자 스핀필터로 사용한 예를 보여준다. 이 경우 He-3 셀(31)에 일정한 세기의 외부자기장을 유지해 주기 위해서 각각의 소형 솔레노이드(32)는 전류분배기(33)를 통해 휴대용 배터리(34)로부터 전원이 공급된다.

[0041] 상기한 바와 같이 본 발명에 따른 복합 솔레노이드를 사용하면 일반 솔레노이드 구조에서 나타나는 He-3 셀 위치에서의 자기장 불균일성을 다단의 소형 솔레노이드로 구성된 코일들의 단위 길이당 회전수와 코일에 흐르는 전류의 크기를 각기 달리함으로써 He-3 셀 위치에서 솔레노이드에 의해서 발생한 내부자기장의 분포를 개선시키는 효과가 있다.

- [0042] 도 4는 본 발명에 의한 복합 솔레노이드의 일례에 대해서 계산한 솔레노이드 내부 자기장의 분포도이다. 즉, 본 발명에 따른 간단한 복합 솔레노이드를 사용한 경우의 솔레노이드 내부 자기장의 분포 개선효과가 있음을 보여 준다.
- [0043] 도 4에 도시된 자기장의 분포도는 다음과 같은 조건하에서 계산된 것이다.
- [0044] 솔레노이드 장치의 일 예로써, 내부직경이 200 mm, 길이가 50 mm인 6개의 소형 솔레노이드가 사용되었으며, 소형 솔레노이드가 갖는 코일회전수와 인가전류는 좌로부터 우측으로 각각 (100회, 1.5A), (50회, 1.8A), (50회, 1.5A), (50회, 1.5A), (50회, 1.8A), (100회, 1.5A)가 되도록 형성하였다.
- [0045] 중앙의 사각형으로 나타낸 부분이 길이 50 mm와 외경 50 mm를 갖는 He-3 기체셀(31)의 영역에 해당하며, 이 영역의 길이방향에서 정규자기장차이( $\Delta B/B$ )는 간단히 2개 코일의 코일회전수와 2개 코일의 인가전류 조정으로 장수명 초편극 He-3를 얻기 위해서 필요한  $10^{-4}$  정도의 값을 얻을 수 있다.
- [0046] 이와 같이, 소형 솔레노이드의 수와 코일회전수, 그리고 인가전류 조합을 최적화하면 보다 균일한 자기장 분포를 얻을 수 있으며, 요구되는 균일한 자기장 분포를 길이가 짧은 솔레노이드로 구현하는 것이 가능하다. 이러한 특성을 활용하고 좁은 레이저 발진선폭을 갖는 VHG를 외부공진기로 사용하는 소형 레이저 다이오드와 결합하면 고집약형의 SEOP 장치나 소형의 중성자 스핀필터 제작을 가능하게 한다.
- [0047] 부피가 작은 고집약형의 SEOP 장치 개발로 좁은 공간의 중성자 빔라인에 직접 설치할 수 있고 사용시간에 제한이 없으며 연속동작이 가능한 중성자스핀필터로의 활용이 가능해지며, 도 3에서 예시된 바와 같이 휴대용으로 사용하면 가용 공간이 극히 제한된 빔라인에서도 효과적으로 He-3 중성자 스핀필터나 검광자(analyzer)로 사용하는 것이 가능해진다.
- [0048] 상기와 같이 설명된 복합 솔레노이드 장치 및 이를 구비하는 초편극 He-3 기체생성시스템은 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

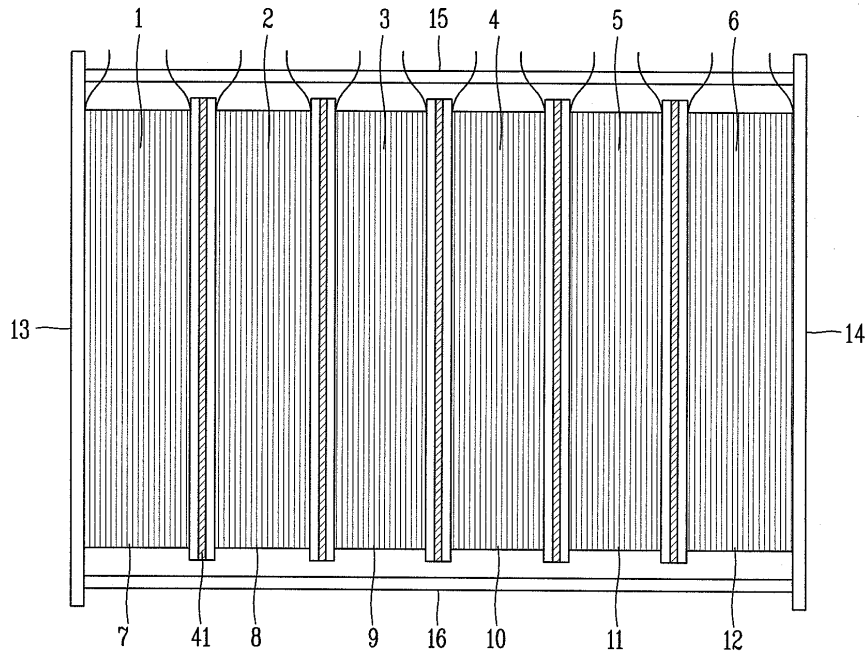
[0049] < 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 >

- [0050] 1, 2, 3, 4, 5, 6: 소형 솔레노이드
- [0051] 7, 8, 9, 10, 11, 12: 솔레노이드 보빈
- [0052] 13: 좌측 고정대                      14: 우측 고정대
- [0053] 15, 16: 고정대 연결봉              17: 복합 솔레노이드
- [0054] 18: He-3 셀                              19: 셀 가열 장치
- [0055] 20: 펌핑 광학계                      21: 열풍기
- [0056] 22: 고온 공기흐름관                23: RF 코일 보빈
- [0057] 24: 광학창                              25: 레이저 다이오드
- [0058] 26: 광섬유                               27: 구면렌즈
- [0059] 28: 편광 빔분할기                    29:  $\lambda/4$ -파장판
- [0060] 30: 전반사 거울                        31: He-3 셀
- [0061] 32: 소형 솔레노이드                 33: 전류분배기
- [0062] 34: 휴대용 배터리

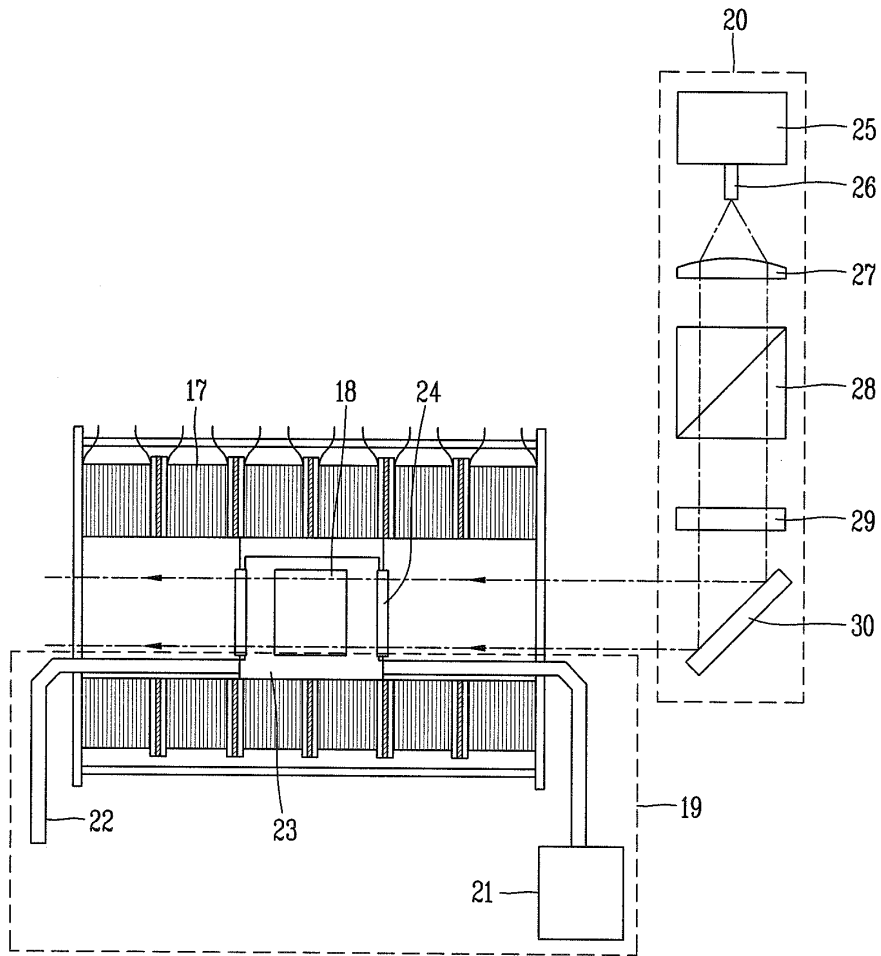


도면

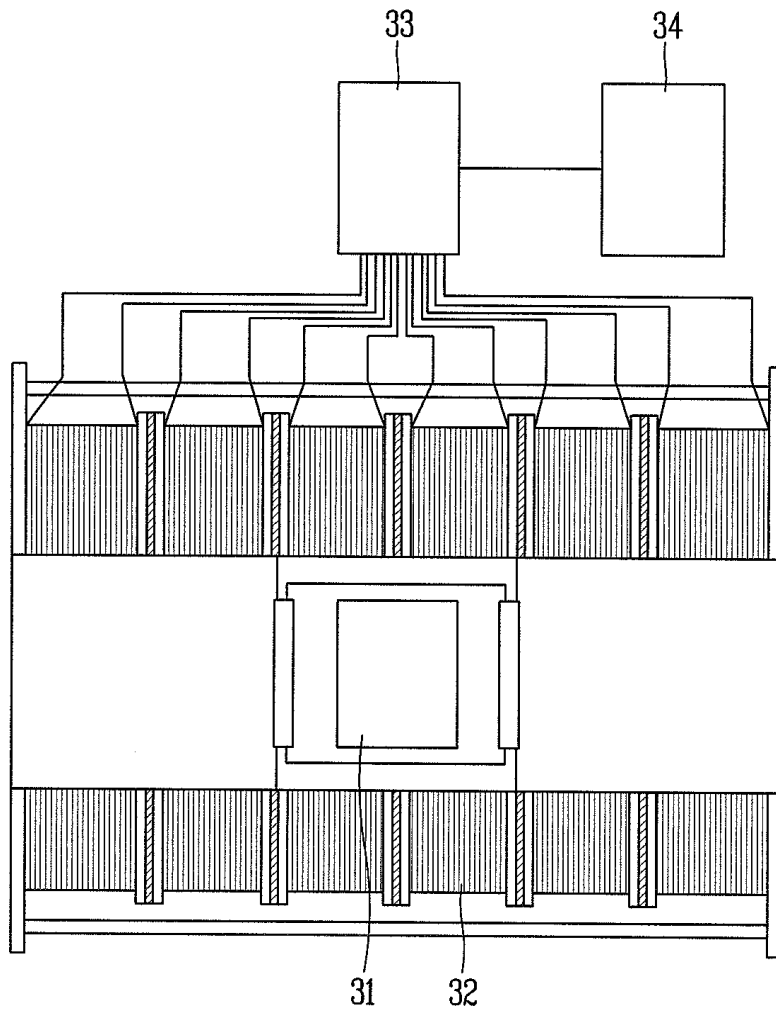
도면1



도면2



도면3



도면4

