



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2015년06월12일  
 (11) 등록번호 10-1528221  
 (24) 등록일자 2015년06월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
**G21K 1/16** (2006.01) **G21K 1/00** (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2013-0141699  
 (22) 출원일자 2013년11월20일  
 심사청구일자 2013년11월20일  
 (65) 공개번호 10-2015-0057848  
 (43) 공개일자 2015년05월28일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 JP2005185404 A  
 JP2006527010 A  
 JP2001070284 A  
 JP2007311457 A

(73) 특허권자  
**한국원자력연구원**  
 대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)  
 (72) 발명자  
**이성만**  
 대구광역시 수성구 동대구로 337, 1402호 (범어동, 범어화성파크리젠시)  
**문명국**  
 대전광역시 유성구 구즉로 16, 111동 1101호 (송강동, 한마을아파트)  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
**박장원**

전체 청구항 수 : 총 10 항

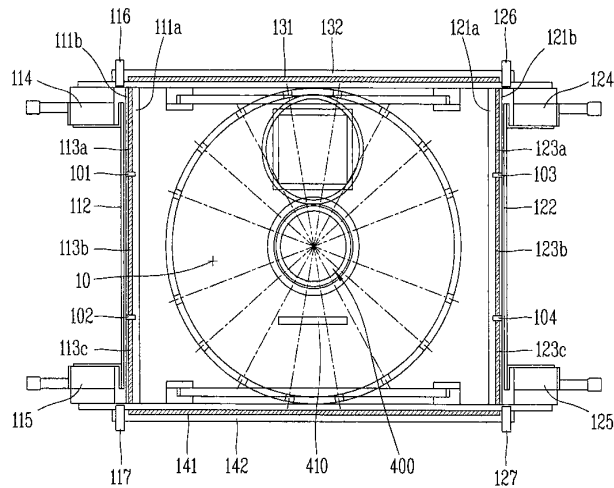
심사관 : 오규환

(54) 발명의 명칭 **가변 정자기장 캐비티를 이용한 중성자 스핀 편극 장치**

**(57) 요약**

본 발명은 중앙에 캐비티를 포함하는 하우징과, 상기 하우징의 양 측면을 형성하는 강자성체판들과, 상기 강자성체판들에 상하방향의 자기력선을 생성시키도록, 상기 양 측면에 각각 상하방향으로 이격되어 평행하게 배열되는 자석들 및 상기 하우징의 상하면을 형성하며 상기 양 측면으로부터 자기력선을 전달받아 상기 캐비티에 상하방향 자기력선을 생성시키는 퍼멀로이판들을 포함하는 가변 정자기장 캐비티 장치를 제공한다.

**대표도** - 도1



(72) 발명자

**이기홍**

대전광역시 유성구 어은로 57, 108동 1404호 (어은동, 한빛아파트)

**차형기**

전라북도 정읍시 시기1길 22, 105동 1202호 (시기동, 센트럴카운티)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 527700-13  
 부처명 미래창조과학부  
 연구관리전문기관 한국원자력연구원  
 연구사업명 기관목적사업(창의연구사업)  
 연구과제명 초편극 He-3 제조기술 개발  
 기여율 1/2  
 주관기관 한국원자력연구원  
 연구기간 2012.01.01 ~ 2013.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2012M2A2A6004262  
 부처명 미래창조과학부  
 연구관리전문기관 한국연구재단  
 연구사업명 원자력연구개발사업, 방사선기술개발사업  
 연구과제명 첨단 중성자 영상광학 응용 연구  
 기여율 1/2  
 주관기관 한국원자력연구원  
 연구기간 2012.03.01 ~ 2017.02.28

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

중앙에 케비티를 포함하는 하우징;

상기 하우징의 양 측면을 형성하는 강자성체판들;

상기 강자성체판들에 상하방향의 자기력선을 생성시키도록, 상기 양 측면에 각각 상하방향으로 이격되어 평행하게 배열되는 자석들; 및

상기 하우징의 상하면을 형성하며 상기 양 측면으로부터 자기력선을 전달받아 상기 케비티에 상하방향 자기력선을 생성시키는 퍼멀로이판들을 포함하는 것을 특징으로 하는 가변 정자기장 케비티 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 양 측면의 외면에 상기 강자성체판들과 중첩되는 연강판들을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 가변 정자기장 케비티 장치.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 연강판들과 강자성체판들과의 간격을 조절할 수 있는 간격조절 단자를 포함하는 것을 특징으로 하는 가변 정자기장 케비티 장치.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 간격조절 단자는,

강자성체판과 연강판 상부의 간격을 조절하는 제1 단자; 및

강자성체판과 연강판 하부의 간격을 조절하는 제2 단자를 포함하는 것을 특징으로 하는 가변 정자기장 케비티 장치.

#### 청구항 5

제2항에 있어서,

상기 퍼멀로이판들을 각각 상하로 이동시키는 상하조절 단자를 포함하는 것을 특징으로 하는 가변 정자기장 케비티 장치.

#### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 상하조절 단자는,

퍼멀로이판의 일측부를 상하로 이동시키는 제1 조절단자; 및

퍼멀로이판의 타측부를 상하로 이동시키는 제2 조절단자를 포함하는 것을 특징으로 하는 가변 정자기장 케비티 장치.

#### 청구항 7

내부의 일 영역에 균일한 자기장을 생성하고, 제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 따르는 가변 정자기장 케비티

모듈;

상기 케비티의 중앙부에 배치되고, 내부에 비활성 기체 및 루비듐(Rb) 금속을 포함하는 셀;

상기 루비듐을 기화시킬 수 있도록 상기 셀을 가열하는 가열 모듈; 및

원편광 되어 상기 셀에 입사되는 레이저 빔을 발하는 레이저 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 중성자 편극 장치.

**청구항 8**

제7항에 있어서,

상기 비활성 기체는 헬륨-3 인 것을 특징으로 하는 중성자 편극 장치.

**청구항 9**

제7항에 있어서,

상기 레이저 모듈은,

레이저 광원;

상기 광원의 전방에 배치되어 광원의 빛을 평행하게 정렬시키는 콜리메이팅 렌즈;

상기 렌즈를 통과한 빛을 선편광시키는 제1 편광 모듈; 및

상기 제1 편광 모듈을 통과한 빛을 원편광시키는 제2 편광 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 중성자 편극 장치.

**청구항 10**

내부의 일 영역에 균일한 자기장을 생성하고, 제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 따르는 가변 정자기장 케비티 모듈;

상기 자기력선과 반대방향의 펄스 자기장을 발생시키는 헬름호르츠 코일;

상기 자기력선과 수직방향의 RF 자기장을 발생시키는 RF 코일; 및

상기 자기력선 및 RF 자기장의 방향과 수직인 자기장 축을 갖도록 배치되는 픽업코일을 포함하는 것을 특징으로 하는 기체 편극도 측정장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 고균일 분포를 갖는 정자기장 발생장치 및 이를 이용하여 스핀 편극 기체를 발생시키는 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 편극기체를 중성자 스핀 필터로 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, 준안정광펌핑방법(MEOP, Metastable Exchange Optical Pumping)과 스핀교환광펌핑(SEOP, Spin Exchange Optical Pumping) 방법이 있다.

[0004] MEOP에 의해 생성된 고편극도를 갖는 편극기체를 중성자 빔라인의 중성자 스핀필터나 스핀검광자로 이용하고 편극기체의 고분극도를 장시간 유지하기 위해서는 편극기체를 위한 고균일 자기장이 필요하며, 중성자 빔라인 주변기기와 샘플의 외부자기장에 의한 편극기체 셀 내부의 자기장분포 영향을 최소화할 필요가 있다.

[0005] 편극기체 중성자 스핀 필터를 이용한 편극 중성자 활용 재료연구에서 3축 방향으로 중성자의 스핀방향을 조절하는 것이 중요하며, 이를 위해서 중성자 빔라인에 수직인 자기장 방향을 갖는 균일한 외부자기장 발생장치를 사

용할 필요가 있다. 또한, SEOP 방법에 의한 in-situ 편극기체 스핀필터를 제공하여 장시간 기체편극화 시간에 따른 운용상의 어려움과 편극기체 운송의 불편을 줄일 필요가 있다.

- [0006] 지금까지 편극기체 증성자 스핀필터 이용분야에서 요구되는 균일한 외부자기장은 헬름호르츠(Helmholtz) 코일, 끝면-보상(end-compensated) 솔레노이드 코일, 마술상자(magic box) 등이 사용되었다.
  - [0007] 헬름호르츠 코일은 고균일 자기장분포를 얻기 위해서는 코일의 직경이 수십 cm에서 수 m로 증가하여 사용공간에 제한이 따르는 증성자 장치에 설치하여 사용하기에는 공간적 제약이 있다.
  - [0008] 솔레노이드 코일의 경우 소형이며 외부자기장 차폐가 용이하여 증성자 빔라인의 진행방향으로 자기장을 형성하는데 이용될 수 있지만 증성자 진행방향에 수직인 자기장 생성은 불가능하다.
  - [0009] 증성자 빔라인에 수직인 고균일 자기장 생성을 위해서 전자석이나 영구자석을 이용한 고균일 정자기장 장치인 마술상자가 개발되어 이용되어 왔다.
  - [0010] 종래의 정자기장 장치는 장치 내부의 정자기장 상하분포를 미세조절하기 위한 장치가 없거나, 장치의 영구자석을 포함하고 있는 좌우측면부의 내측에 저탄소강인 연강판을 설치하여 장치 중앙부의 고균일 정자기장 발생과 자기장의 미세조절을 위한 장치로 사용하여 왔다. 그러나 내측에 설치된 연강판이 영구자석에서 발생하는 자기장을 일부 차폐하는 효과가 있어서 장치의 중앙부에 수십 가우스 크기의 상하 정자기장 분포를 얻기 위해서는 영구자석에서 고자기장을 발생시켜야 하고, 고자기장과 연강 차폐체로 인해 장치내부의 자기장 균일도가 저하되는 문제가 있었다. 또한 강한 정자기장 발생으로 장치의 외부에 원하지 않는 외부 자기장 발생의 문제점이 존재한다.
- 본 발명의 배경이 되는 기술은 일본 공개특허공보 특개2005-185404호 (2005.07.14.)에 개시되어 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0011] 본 발명은 상기한 바와 같은 정자기장 발생장치의 문제점들을 해결하기 위해 안출된 것으로 가변 정자기장 케비티 내부에 MEOP 방법으로 편극된 기체를 포함하는 셀을 설치하여 불필요한 외부자기장 발생이 최소화된 장수명, 이동형의 특성을 갖는 휴대용 증성자 스핀필터나 검광자 장치를 제공하거나, 가변형 정자기장 케비티 내부에 설치된 헬륨-3 기체셀에 좁은 선포를 갖는 원형편광된 레이저 다이오드 빔을 주입하여 증성자 빔라인에서 SEOP 방식으로 직접 편극기체를 생성하는 in-situ 증성자 스핀필터시스템을 제공하기 위한 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0012] 상기와 같은 과제를 해결하기 위해 본 발명의 일 실시예에 따르는 가변 정자기장 케비티 장치는 중앙에 케비티를 포함하는 하우징과, 상기 하우징의 양 측면을 형성하는 강자성체판들과, 상기 강자성체판들에 상하방향의 자기력선을 생성시키도록, 상기 양 측면에 각각 상하방향으로 이격되어 평행하게 배열되는 자석들 및 상기 하우징의 상하면을 형성하며 상기 양 측면으로부터 자기력선을 전달받아 상기 케비티에 상하방향 자기력선을 생성시키는 퍼멀로이판들을 포함한다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 가변 정자기장 케비티 장치는 상기 양 측면의 외면에 상기 강자성체판들과 중첩되는 연강판들을 더 포함한다.
- [0014] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 가변 정자기장 케비티 장치는 상기 연강판들과 강자성체판들과의 간격을 조절할 수 있는 간격조절 단자를 포함한다.
- [0015] 상기 간격조절 단자는 강자성체판과 연강판 상부의 간격을 조절하는 제1 단자 및 강자성체판과 연강판 하부의 간격을 조절하는 제2 단자를 포함할 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 가변 정자기장 케비티 장치는 상기 퍼멀로이판들을 각각 상하로 이동시키는 상하조절 단자를 포함한다.
- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 상하조절 단자는 퍼멀로이판의 일측부를 상하로 이동시키는 제1 조절단자 및 퍼멀로이판의 타측부를 상하로 이동시키는 제2 조절단자를 포함한다.
- [0018] 또한 본 발명은 중앙에 일정 세기의 자기력선이 생성되는 케비티를 포함하는 가변 정자기장 케비티 모듈과, 상기 장치의 중앙부에 배치되고, 내부에 비활성 기체 및 루비듐(Rb) 금속을 포함하는 셀과, 상기 루비듐을 기화시

킬 수 있도록 상기 셀을 가열하는 가열 모듈 및 원편광 되어 상기 셀에 입사되는 레이저 빔을 발하는 레이저 모듈을 포함하는 중성자 편극 장치를 개시한다.

- [0019] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 비활성 기체는 헬륨-3 인 것을 특징으로 한다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 레이저 모듈은 레이저 광원과, 상기 광원의 전방에 배치되어 광원의 빛을 평행하게 정렬시키는 콜리메이팅 렌즈와, 상기 렌즈를 통과한 빛을 선편광시키는 제1 편광 모듈 및 상기 제1 편광 모듈을 통과한 빛을 원편광시키는 제2 편광 모듈을 포함한다.
- [0021] 아울러 본 발명은 중앙에 일정 세기의 자기력선이 생성되는 케비티를 포함하는 가변 정자기장 케비티 모듈과, 상기 자기력선과 반대방향의 펄스 자기장을 발생시키는 헬름홀츠 코일과, 상기 자기력선과 수직방향의 RF 자기장을 발생시키는 RF 코일 및 상기 자기력선 및 RF 자기장의 방향과 수직인 자기장 축을 갖도록 배치되는 픽업 코일을 포함하는 기체 편극도 측정장치를 개시한다.

**발명의 효과**

- [0022] 상기와 같이 구성되는 본 발명의 적어도 하나의 실시예에 따른 가변 정자기장 케비티 장치는 외부환경으로부터 발생하는 자기장의 영향이 최소화된 고균일 정자기장을 발생시킬 수 있다.
- [0023] 또한, 본 발명의 가변 정자기장 케비티 장치는 자체의 정자기장 케비티로부터 발생하는 자기장이 외부의 시료나 부품에 영향을 미치는 것을 방지할 수 있으므로, 공간이 제약되는 편극 중성자 연구시설에서 긴 수명을 갖는 고 집약형 중성자 스핀필터나 검광자 장치로 사용할 수 있다.
- [0024] 아울러, 부피가 작은 고집약 현장형 중성자 스핀필터 장치의 개발로 좁은 공간의 중성자 빔라인에 직접 설치하여 연속동작이 가능하며, 이로 인해 기체의 편극형성에 소요되는 시간과 이송설치 시간이 절약되어 사용시간에 제한이 거의 없는 편극중성자 연구시설의 운용이 가능해진다.

**도면의 간단한 설명**

- [0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가변 정자기장 케비티 장치를 정면에서 바라본 개념도.
- 도 2는 본 발명에 의한 가변 정자기장 케비티의 일례에 대해서 계산한 케비티 내부의 (a) 자기력선분포와 (b)로 가리듬 척도의 정자기장 분포도.
- 도 3은 본 발명에 의한 가변 정자기장 케비티, 레이저 다이오드와 여기빔광학계를 이용한 편극 헬륨-3 기체 생성을 위한 현장형 중성자 편극 장치의 개념도.
- 도 4는 본 발명에 의한 가변 정자기장 케비티, 헬름홀츠 코일, 픽업코일, 그리고 NMR용 전자장비로 구성된 기체 편극도 측정장치의 개념도.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0026] 이하, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 정도로 상세하게 설명하기 위하여, 본 발명의 실시 예가 첨부된 도면을 참조하여 설명한다. 하지만, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고, 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통해 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0027] 본 발명을 설명함에 있어서 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용한다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0028] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급되는 경우는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다. 반면, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것을 의미한다.
- [0029] 본 발명에서는 가변 정자기장 케비티 장치, 중성자 편극 장치 및 기체 편극도 측정장치를 함께 설명한다. 각 장치는 독립적으로 사용될 수도 있고 서로 다른 장치의 일부를 구성할 수도 있다. 예를 들어 상기 중성자 편극 장

치의 내부에는 가변 정자기장 케비티 장치가 장착될 수 있고, 기체 편극도 측정 장치는 상기 중성자 편극 장치에서의 기체 편극도를 측정하는 장치일 수 있다.

- [0030] 도 1은 본 발명에 일 실시예에 따른 가변 정자기장 케비티 장치의 정면도이다. 본 발명은 가변 균일 자기장 발생장치와 이를 편극기체의 편극도 유지에 이용한 휴대용 중성자 스핀필터와 검광 장치, 그리고 이를 좁은 선풍을 갖는 레이저 다이오드와 결합하여 중성자 빔라인에서 SEOP 방법으로 직접 헬륨-3 기체의 편극을 생성하는 고 편극도를 갖는 현장형 중성자스핀필터 장치를 구현한 것으로서, 이하 도면을 참조하여 보다 상세하게 살펴보기로 한다.
- [0031] 도 1을 참조하면, 중성자 편극 장치는 균일한 가변 자기장을 제공하는 가변 정자기장 케비티 및 케비티 내부 중앙에 위치한 편극 헬륨-3 기체 셀을 포함한다.
- [0032] 중성자 편극 장치는 인-시츄(In-situ) 중성자 스핀필터 시스템을 포함하며, 휴대용 중성자 스핀필터장치에 SEOP 방식으로 기체를 여기하기 위한 원편광 레이저 장치와 여기빔광학계를 구성하고, 헬륨-3 셀(400) 내부에 포함된 루비듐 금속을 약 150℃ 정도의 온풍으로 증발하기 위한 소형 챔버와 전기가열장치를 구비할 수 있다.
- [0033] 가변 정자기장 케비티 장치의 하우징은 좌우대칭 측면과 상하부면으로 구성된다. 일 측면은 두 장의 알루미늄판(111a,111b) 및 그 사이에 배치되는 강자성체판(113a,113b,113c)을 포함한다. 상기 측면은 상하방향의 자기력선을 생성시킬 수 있도록 상하 방향으로 서로 이격되어 평행하게 배열되는 자석들(101,102)을 포함하며, 자석들에 의하여 생성된 자기력선은 강자성체판(113a,113b,113c)을 통해 상하부면에 배치된 강자성체(131,141)에 전달된다.
- [0034] 타 측면도 상기 일 측면과 동일한 구조로 이루어지며 좌우 측면은 서로 대칭이 되도록 형성된다. 즉, 타 측면은 두 장의 알루미늄판(121a,121b) 및 그 사이에 배치되는 강자성체판(123a,123b,123c)을 포함한다. 상기 타 측면은 상하방향의 자기력선을 생성시킬 수 있도록 상하 방향으로 서로 이격되어 평행하게 배열되는 자석들(103,104)을 포함하며, 자석들에 의하여 생성된 자기력선은 강자성체판(123a,123b,123c)을 통해 상하부면에 배치된 강자성체에 전달된다.
- [0035] 상하부면은 고무자울을 갖는 퍼말로이나 뮤메탈 재질의 자성체판(131,141) 및 자성체판의 형태를 유지시키기 위한 알루미늄판(132,142)들을 포함할 수 있다. 상하부면은 측면의 강자성체판으로부터 전달되는 자기력선을 전달받아 케비티 내부에 상하방향으로 고균일 정자기장을 발생시킨다.
- [0036] 상하부면에는 자성체판을 상하로 이동시키는 상하조절 단자들(116,117,126,127)이 장착된다. 각각의 단자는 독립적으로 조작될 수 있으므로 상부면 및 하부면의 기울기를 필요에 따라 변화시킬 수 있다.
- [0037] 하우징 좌우양측면의 외면에는 상기 강자성체판과 중첩되는 연강판들(112,122)이 배치된다.
- [0038] 상기 연강판들(112,122)에는 미세조절단자들(114,115,124,125)이 연결된다.
- [0039] 미세조절단자는 상부의 간격을 조절하는 제1 단자(114)와, 하부의 간격을 조절하는 제2 단자(115)등을 포함한다. 도 3을 참조하면, 제1 단자(114)는 전부단자(114a)와 후부단자(114b)를 포함한다. 제2 단자도 마찬가지로 전부단자(115a)와 후부단자(115b)를 포함한다. 상기 단자들을 이용하여 연강판들의 전후 및 상하 방향 기울기를 조절할 수 있다.
- [0040] 상기 미세조절단자들은 하우징 내부의 강자성체판들과 연강판들의 간격을 조절한다. 케비티 외부에 연강판들을 배치함으로써 연강판을 케비티 내부에 설치할 경우 예상되는 자기력선의 차폐를 근본적으로 제거할 수 있어 작은 강도의 영구자석으로도 케비티 내부에 원하는 자기장의 세기 분포를 얻을 수 있게 된다.
- [0041] 또한, 케비티 외부에서는 연강판들(112,122)에 의해 자기장이 차폐되므로 원하지 않는 외부자기장의 분포를 줄일 수 있는 장점을 갖는다.
- [0042] 도 2는 본 발명에 의한 가변 정자기장 케비티의 일례에 대해서 계산한 케비티 내부의 (a) 자기력선분포와 (b)로 가리듐 척도의 정자기장 분포도이다.
- [0043] 도 2(a)에서는 본 발명에 의한 가변 정자기장 케비티의 일례에 대해서 계산한 자기력선의 분포를 도시한다.
- [0044] 좌우측 영구자석에 의해서 생성된 자기력선은 좌우측면의 연강판과 상하부면의 퍼말로이판을 통하여 흐르며, 케비티 상부면에서 하부면 방향으로 균일한 자기력선(37)의 분포를 형성한다. 좌우측면 외부에 분포하는 자기력선은 대부분 외부에 설치된 연강판을 통하여 분포하게 된다.

- [0045] 도 2(b)는 본 발명에 의한 가변 정자기장 케비티의 일례에서 발생된 자기장 세기의 분포를 로그리듬 척도로 도시한다.
- [0046] 폭 280 mm x 높이 220 mm 크기를 갖는 정자기장 케비티에서 헬륨-3 기체셀이 위치할 케비티 중앙부의 상대적 자기장세기변화( $\Delta B/B$ )는 5 cm x 5 cm 크기의 범위내에서 약  $4.3 \times 10^{-4}$  정도의 균일한 값을 갖는다.
- [0047] 도 3은 본 발명에 의한 가변 정자기장 케비티, 레이저 다이오드와 여기빔광학계를 이용한 편극 헬륨-3 기체 생성을 위한 현장형 중성자 스핀필터 장치의 개념도이다.
- [0048] 도 3을 참조하면, 중성자 편극 장치는 가변 정자기장 케비티 장치와, 헬륨-3 셀(400)과, 셀 가열 모듈(200)과, 레이저 모듈(300) 등을 포함한다.
- [0049] 상기 중성자 편극 장치는 SEOP 방식에 의한 현장형 헬륨-3 중성자 편극 장치의 일례를 보여준다.
- [0050] 가변 정자기장 케비티 장치는 도 1을 참조하여 설명한 특징들을 포함한다.
- [0051] 헬륨-3 셀(400)은 균일한 자기장 분포를 갖는 정자기장 케비티의 중앙부에 위치한다. 셀(400)은 내부에 헬륨-3와 함께 루비듐 금속을 포함한 상태로 밀봉된다.
- [0052] 셀 가열 모듈(200)은 상기 루비듐 금속을 기화시킬 수 있도록 형성된다. 셀 가열 모듈(200)은 열풍기(201), 고온용 공기흐름관(202), RF 코일 보빈 등을 포함한다. 셀은 셀 가열 모듈(200)에 의하여 약 150-180℃ 사이의 일정 온도로 가열된다.
- [0053] 가열된 셀(400)은 볼륨 홀로그래픽 격자(VHG)를 외부공진기로 사용하는 레이저 모듈(300)에 의하여 여기되며, 레이저의 발진파장은 헬륨-3 기체와 스핀을 교환하는 루비듐(Rb) 원자의 D1 흡수스펙트럼(794.8 nm)과 일치하도록 VHG의 온도조절에 의해서 미세조절이 이루어진다.
- [0054] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 레이저 다이오드(301)의 빔은 광섬유(302)에 의해 전송된다. 빔은 콜리메이팅 렌즈(303)에 의해서 평행으로 정렬된 후에 제1 편광 모듈(304)에 의해 선편광된 후 제2 편광 모듈(305)에 의해 원편광된다. 제1 편광 모듈(304)은 편광분할기로 구성될 수 있고, 제2 편광 모듈(305)은  $\lambda/4$ -파장판으로 구성될 수 있다.
- [0055] 편광된 레이저 빔은 오목렌즈(306)와 볼록렌즈(307)로 구성된 갈릴리안 망원경 시스템에 의해서 확대되고, 전반사 알루미늄 거울(308)에 의해서 반사되어 헬륨-3 셀(400) 옆면을 통하여 균일하게 조사된다.
- [0056] 셀 내부에 입사된 원편광된 레이저 빔은 셀 내부의 루비듐 원자를 여기시킨다. 이 때 루비듐 원자는 가열 모듈(200)에 의하여 기화된 상태를 유지하고 있다.
- [0057] 셀을 투과한 잔여 레이저 빔은 전반사 알루미늄 거울(410)에 의해서 셀내부로 되반사되어 루비듐 원자에 다시 흡수된다. 원편광된 레이저 빔에 의해서 여기된 루비듐 원자는 헬륨-3 원자와 스핀교환을 하게 되고, 루비듐 원자의 여기를 지속하면 스핀교환 과정을 통해서 높은 편극도를 갖는 헬륨-3 기체의 편극을 얻게 된다.
- [0058] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 의한 기체 편극도 측정장치의 개념도이다.
- [0059] 상기 기체 편극도 측정장치는 가변 정자기장 케비티 장치와, 헬륨호르츠 코일과, 픽업코일 및 NMR 신호측정장치 등을 포함한다.
- [0060] 도 4를 참조하면, 기체 편극도 측정장치는 가변 정자기장 케비티를 활용해 헬륨-3 기체를 편극화시키고, 핵자기 공명(NMR)을 이용해 기체의 편극도를 측정한다.
- [0061] 정자기장 케비티 장치는 케비티의 상부에서 하부로 일정한 정자기장을 형성시킨다. 헬륨호르츠 코일(151,152)은 순간적으로 상기 정자기장의 방향과 반대방향으로 삼각(triangle) 자기장 파형을 형성시킨다.
- [0062] RF 코일은 전후측 방향으로 자기장을 형성시키며, 픽업코일은 케비티의 좌우측 방향의 자기장 축을 갖도록 형성된다.
- [0063] 상기와 같이 서로 수직된 방향의 자기장을 형성시키는 코일들을 이용하여 NMR 신호를 측정할 수 있다.
- [0064] NMR 신호측정장치는 임의파형발생기(501)와, 록인증폭기(lock-in amplifier, 502)와, 출력증폭기(503)와, 저잡음증폭기(504) 등을 포함할 수 있다.
- [0065] 상기와 같이 구성되는 본 발명의 적어도 하나의 실시예에 따른 가변 정자기장 케비티 장치는 외부환경으로부터



발생하는 자기장의 영향이 최소화된 고균일 정자기장을 발생시킬 수 있다.

[0066] 또한, 본 발명의 가변 정자기장 케비티 장치는 자체의 정자기장 케비티로부터 발생하는 자기장이 외부의 시료나 부품에 영향을 미치는 것을 방지할 수 있으므로, 공간이 제약되는 편극 중성자 연구시설에서 긴 수명을 갖는 고 집약형 중성자 스핀필터나 검광자 장치로 사용할 수 있다.

[0067] 아울러, 부피가 작은 고집약 현장형 중성자 스핀필터 장치의 개발로 좁은 공간의 중성자 빔라인에 직접 설치하여 연속동작이 가능하며, 이로 인해 기체의 편극형성에 소요되는 시간과 이송설치 시간이 절약되어 사용시간에 제한이 거의 없는 편극중성자 연구시설의 운용이 가능해진다.

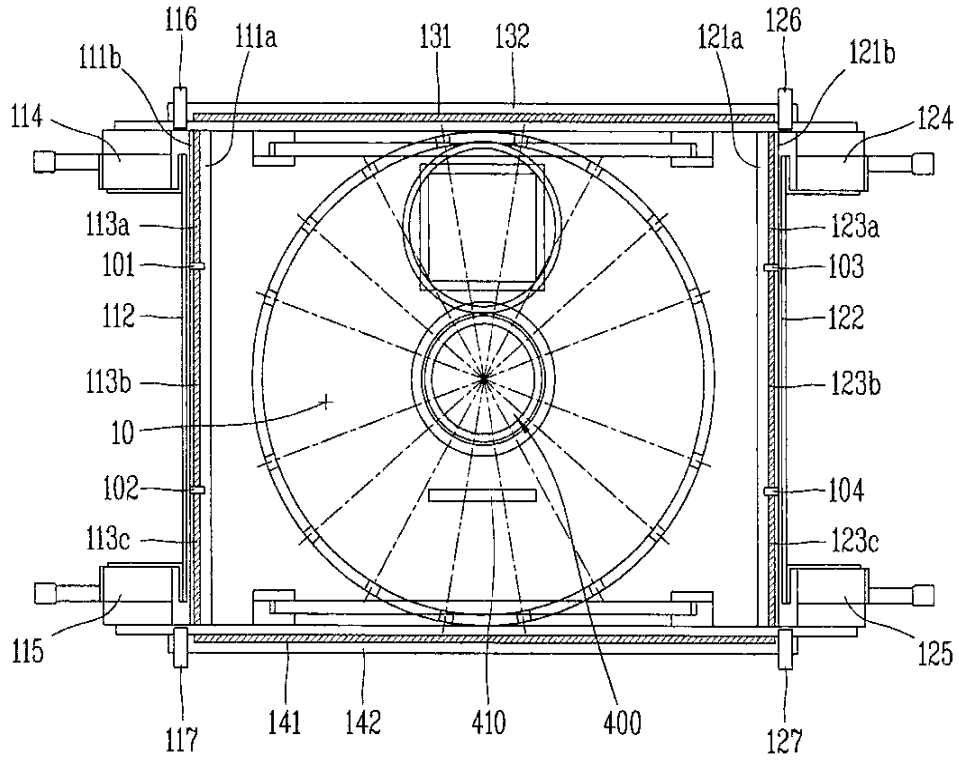
[0068] 이상에서 설명한 가변 정자기장 케비티 장치 및 이를 포함하는 중성자 편극 장치는 위에서 설명된 실시예들의 구성과 방법에 한정되는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

**부호의 설명**

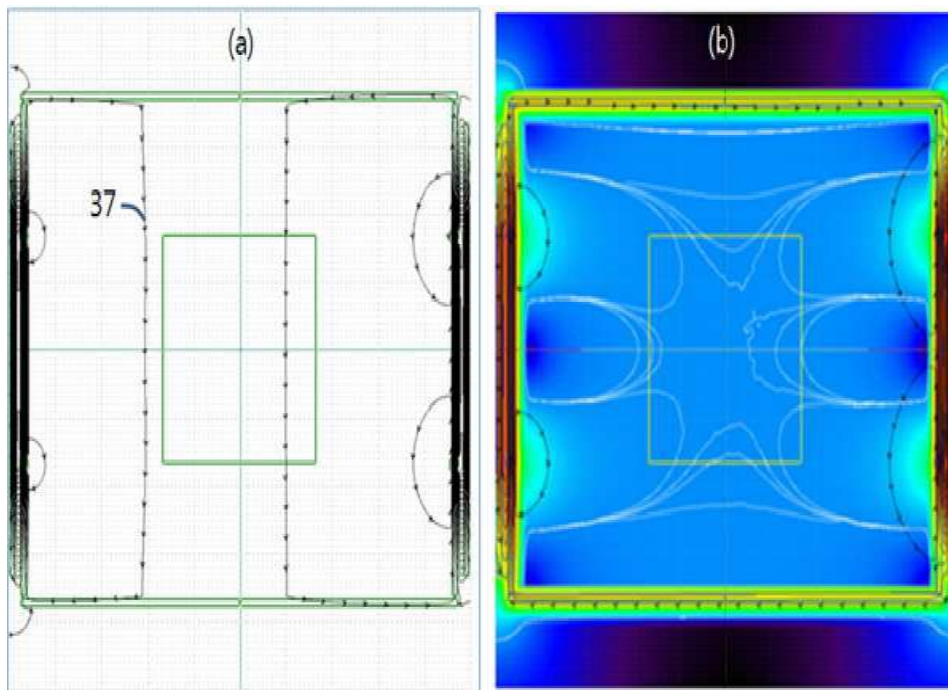
- [0069]
- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| 10 : 케비티                  | 101,102,103,104 : 영구자석    |
| 113a,113b,113c : 좌측 강자성체판 | 123a,123b,123c : 우측 강자성체판 |
| 111a,111b : 좌측 알루미늄판      | 121a,121b : 우측 알루미늄판      |
| 112 : 좌측 연강판              | 122 : 우측 연강판              |
| 114,115 : 좌측 미세조절단자       | 124,125 : 우측 미세조절단자       |
| 116,117 : 좌측 상하조절단자       | 126,127 : 우측 상하조절단자       |
| 131 : 상부 자성체판             | 132 : 상부 알루미늄판            |
| 141 : 하부 자성체판             | 142 : 하부 알루미늄판            |
| 151,152 : 헬륨호르츠 코일        | 201 : 열풍기                 |
| 202 : 공기흐름관               | 301 : 레이저 다이오드            |
| 302 : 광섬유                 | 303 : 콜리메이팅 렌즈            |
| 304 : 제1 편광 모듈            | 305 : 제2 편광 모듈            |
| 308 : 알루미늄 거울             | 400 : 셀                   |
| 410 : 알루미늄 거울             | 501 : 임의 파형 발생기           |
| 502 : 록-인 증폭기             | 503 : 출력 증폭기              |
| 504 : 저잡음 증폭기             |                           |

도면

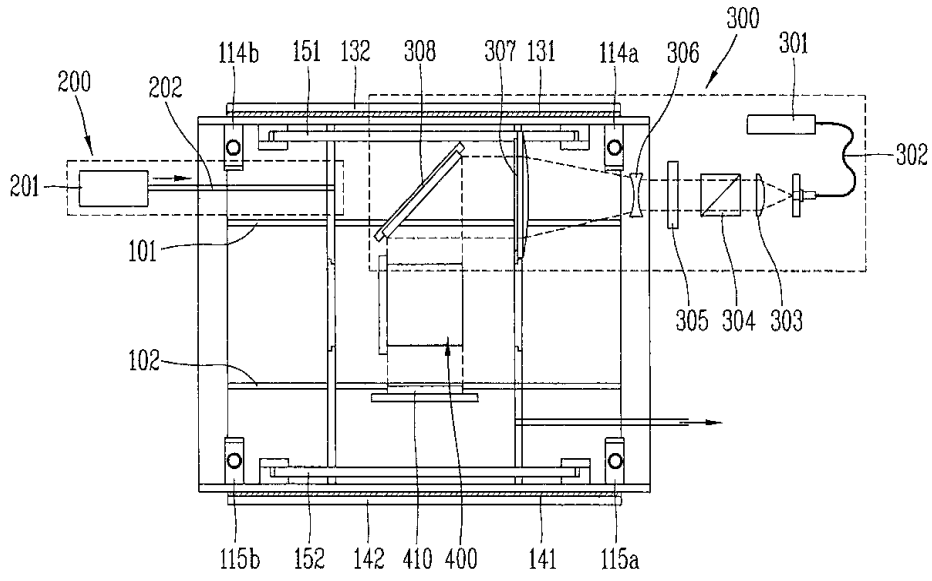
도면1



도면2



도면3



도면4

