



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

(45) 공고일자 2014년06월05일  
 (11) 등록번호 10-1403318  
 (24) 등록일자 2014년05월28일

- |   |  |
|---|--|
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br>G01R 33/035 (2006.01) G01R 33/3815 (2006.01)<br>A61B 5/05 (2006.01)<br>(21) 출원번호 10-2012-0120366<br>(22) 출원일자 2012년10월29일<br>심사청구일자 2012년10월29일<br>(65) 공개번호 10-2014-0054638<br>(43) 공개일자 2014년05월09일<br>(56) 선행기술조사문헌<br>JP05251774 A*<br>KR1020020036784 A*<br>US4827217 A<br>*는 심사관에 의하여 인용된 문헌 | (73) 특허권자<br>한국표준과학연구원<br>대전 유성구 가정로 267(가정동, 한국표준과학연구원)<br>(72) 발명자<br>유권규<br>대전 서구 월평북로 11, 210동 406호 (월평동, 주공아파트2단지)<br>이용호<br>대전 유성구 어은로 57, 111동 801호 (어은동, 한빛아파트)<br>(뒷면에 계속)<br>(74) 대리인<br>이평우 |
|---|--|

전체 청구항 수 : 총 15 항

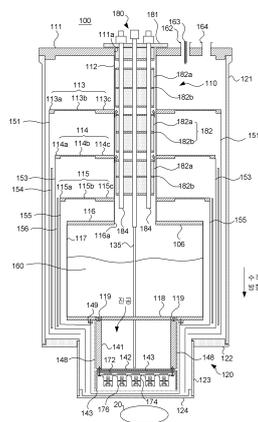
심사관 : 양찬호

**(54) 발명의 명칭 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치 및 그 방법**

**(57) 요약**

본 발명은 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치 및 그 방법을 제공한다. 이 장치는 수직 방향으로 연장되는 외부 용기, 외부 용기의 내부에 삽입되어 액체 냉매를 수납하고 상관을 포함하는 금속성 재료의 내부 용기, 외부 용기의 하부면과 내부 용기의 하부면 사이에 배치된 SQUID 센서 모듈, 일단은 내부 용기의 하부면에 연결되고, 타단은 SQUID 센서 모듈에 직접 또는 간접적으로 연결되어 SQUID 센서 모듈을 냉각하는 열전달 기둥, SQUID 센서 모듈의 상부면을 감싸는 초전도체로 형성된 자기 차폐부, 및 열전달 기둥의 타단에 열적으로 접촉하고 자기 차폐부의 상부면에 적층되는 열전도판을 포함한다. 내부 용기는 외부 용기와 이격된 공간을 가지고, 내부 용기와 외부 용기 사이의 공간은 진공 상태이다.

**대표도 - 도1**



(72) 발명자

**김진목**

대전 유성구 엑스포로339번길 320, 4동 204호 (원  
촌동, 싸이언스빌)

**김기웅**

대전 유성구 반석동로 33, 502동 903호 (반석동,  
반석마을5단지아파트)

**권혁찬**

대전 유성구 배울1로 147, 203동 204호 (용산동,  
대덕테크노밸리2차푸르지오2단지)

**이상길**

대전 서구 동서대로1047번길 3, (내동)

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

수직 방향으로 연장되는 외부 용기;

상기 외부 용기의 내부에 삽입되어 액체 냉매를 수납하고 상판을 포함하는 금속성 재질의 내부 용기;

상기 외부 용기의 하부면과 상기 내부 용기의 하부면 사이에 배치된 SQUID 센서 모듈;

일단은 상기 내부 용기의 하부면에 연결되고, 타단은 상기 SQUID 센서 모듈에 직접 또는 간접적으로 연결되어 상기 SQUID 센서 모듈을 냉각하는 열전달 기둥;

상기 내부 용기에서 발생하는 열잡음 및 자기 잡음이 상기 SQUID 센서 모듈에 전달되는 것을 억제하도록 상기 SQUID 센서 모듈의 상부면을 감싸는 초전도체로 형성된 자기 차폐부; 및

상기 열전달 기둥의 타단에 열적으로 접촉하고 상기 자기 차폐부의 상부면에 적층되는 열전도판을 포함하고,

상기 내부 용기는 상기 외부 용기와 이격된 공간을 가지고, 상기 내부 용기와 상기 외부 용기 사이의 공간은 진공 상태인 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 2**

제1 항에 있어서,

상기 SQUID 센서 모듈의 하부면을 감싸는 보조 열전달층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 3**

제2 항에 있어서,

상기 보조 열전달층은 구리 메쉬(mesh)로 형성되고,

상기 구리 메쉬의 씨줄과 날줄은 서로 전기적으로 절연된 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 4**

제2 항에 있어서,

상기 보조 열전달층은:

에폭시 층; 및

상기 에폭시 층에 적층되고 일정한 간격을 가지고 나란히 연장되는 구리 도선들을 포함하는 것을 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 5**

제2 항에 있어서,

상기 보조 열전달층을 상기 내부 용기의 하부면에 고정하는 도전체로 형성된 고정 링을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 6**

제1 항에 있어서,

상기 열전달 기둥에 열전달을 위하여 상기 내부 용기의 하부면에 고정된 구리 재질의 고정 블록;을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 7**

제1 항에 있어서,

상기 외부 용기는:

상부 외부 원통;

상기 상부 외부 원통의 하부면에 연결된 와셔 형상의 외부 중간판;

상기 외부 중간판의 내 측면에 접촉하여 연장되는 하부 외부 원통; 및

상기 하부 외부 원통의 하부면에 배치된 외부 바닥판;을 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 8**

제1 항에 있어서,

상기 내부 용기는:

상기 상판의 중심에 형성된 관통홀의 내측면에 연결되고 수직으로 연장되는 목부;

상기 목부의 하부면에서 연결되고, 중심에 관통홀을 가지는 와셔 형상의 내부 중간판;

상기 내부 중간판의 외측면에서 수직으로 연장되는 원통 형상의 내부 몸체부; 및

상기 내부 몸체부의 하부면에 배치되는 내부 바닥판을 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 9**

제1 항에 있어서,

상기 SQUID 센서 모듈은:

유전체 재질의 센서 결합판;

상기 센서 결합판의 하부면에 장착된 센서 고정 블록; 및

상기 센서 고정 블록에 결합하는 SQUID 센서들을 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 10**

제1 항에 있어서,

상기 자기 차폐부는 납(Pb) 또는 니오븀(Nb)인 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 11**

제1 항에 있어서,

상기 열전도판 및 상기 열전달 기둥은 무산소 구리 재료로 형성된 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 12**

제1 항에 있어서,

상기 자기 차폐부는 상기 SQUID 센서 모듈을 감싸도록 수직 방향으로 연장되는 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 13**

제1 항에 있어서,

상기 내부 용기의 외측면에 결합되고 제1 직경을 가지고 외주면에 형성된 제1 열 앵커(Thermal anchor)를 포함하는 도전성 재료의 제1 지지판;

상기 제1 지지판으로부터 수직으로 이격되어 상기 내부 용기의 외측면에 결합되고 상기 제1 직경보다 작은 제2 직경을 가지고 외주면에 형성된 제2 열 앵커를 포함하는 도전성 재료의 제2 지지판;

상기 제2 지지판으로부터 수직으로 이격되어 상기 내부 용기의 외측면에 결합되고 상기 제2 직경보다 작은 제3 직경을 가지고 외주면에 형성된 제3 열 앵커를 포함하는 도전성 재료의 제3 지지판;

상기 제1 열 앵커에 결합하고 수직으로 연장되는 제1 열 차폐부;

상기 제2 열 앵커에 결합하고 수직으로 연장되는 제2 열 차폐부; 및

상기 제3 열 앵커에 결합하고 수직으로 연장되는 제3 열 차폐부를 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치.

**청구항 14**

수직 방향으로 연장되는 외부 용기 및 상기 외부 용기의 내부에 삽입되어 액체 냉매를 수납하고 상판을 포함하는 금속성 재료의 내부 용기를 제공하는 단계;

상기 내부 용기와 상기 외부 용기 사이의 공간은 진공 상태이고, 상기 외부 용기의 하부면과 상기 내부 용기의 하부면 사이에 배치된 SQUID 센서 모듈을 제공하는 단계;

일단은 상기 내부 용기의 하부면에 연결되고, 타단은 상기 SQUID 센서 모듈에 직접 또는 간접적으로 연결되어 상기 SQUID 센서 모듈을 냉각하는 열전달 기둥을 제공하는 단계;

상기 내부 용기에서 발생하는 열잡음 및 자기 잡음이 상기 SQUID 센서 모듈에 전달되는 것을 억제하도록 상기 SQUID 센서 모듈의 일부를 감싸는 초전도체로 자기 차폐를 제공하는 단계; 및

상기 열전달 기둥의 타단에 열적으로 접촉하고 상기 초전도체를 냉각하는 열전도판을 제공하는 단계를 포함하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 방법.

**청구항 15**

제 14항에 있어서,

상기 열전달 기둥, 상기 초전도체, 및 상기 SQUID 센서 모듈을 냉각하도록 상기 SQUID 센서 모듈의 하부면을 감싸는 보조 열전달층을 제공하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 초전도 양자 간섭 소자의 냉각 장치에 관한 것으로, 더 구체적으로 초전도 양자 간섭 소자의 간접형 냉각 장치에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 초전도 양자 간섭 소자(Superconductive Quantum Interference Device; SQUID)는 심자, 뇌, 근육 등의 생체활동에서 발생하는 초미세 자기장을 측정할 수 있는 초고감도 센서이다. SQUID 센서는 4K 혹은 77K의 극저온에서 동작한다. 측정 감도는 수 내지 수십 fT/√Hz 이다. 상기 SQUID 센서를 저온으로 냉각하기 위해, 일반적으로 액화 질소나 액화 헬륨이 사용된다. 이러한 저온 냉매를 저장할 수 있는 저온 냉매 저장 용기가 필요하다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0003] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 G-10 에폭시를 대체한 금속성 재료를 사용한 생체 자기측정용 저온 냉매 저장 용기를 제공하는 것이다.

[0004] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 초전도 차폐를 활용하여, 금속성 재료에서 발생하는 열 잡음 및 자기 잡음으로부터 SQUID 센서를 보호하여 시스템의 안정적 동작을 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0005] 본 발명의 일 실시 예에 따른 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치는 수직 방향으로 연장되는 외부 용기; 상기 외부 용기의 내부에 삽입되어 액체 냉매를 수납하고 상관을 포함하는 금속성 재료의 내부 용기; 상기 외부 용기의 하부면과 상기 내부 용기의 하부면 사이에 배치된 SQUID 센서 모듈; 일단은 상기 내부 용기의 하부면에 연결되고, 타단은 상기 SQUID 센서 모듈에 직접 또는 간접적으로 연결되어 상기 SQUID 센서 모듈을 냉각하는 열 전달 기둥; 상기 SQUID 센서 모듈의 상부면을 감싸는 초전도체로 형성된 자기 차폐부; 및 상기 열전달 기둥의 타단에 열적으로 접촉하고 상기 자기 차폐부의 상부면에 적층되는 열전도판을 포함한다. 상기 내부 용기는 상기 외부 용기와 이격된 공간을 가지고, 상기 내부 용기와 상기 외부 용기 사이의 공간은 진공 상태이다.

[0006] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 SQUID 센서 모듈의 하부면을 감싸는 보조 열전달층을 더 포함할 수 있다.

[0007] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 보조 열전달층은 구리 메쉬(mesh)로 형성되고, 상기 구리 메쉬의 씨줄과 날줄은 서로 전기적으로 절연될 수 있다.

[0008] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 보조 열전달층은 에폭시 층; 및 상기 에폭시 층에 적층되고 일정한 간격을 가지고 나란히 연장되는 구리 도선들을 포함할 수 있다.

[0009] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 보조 열전달층을 상기 내부 용기의 하부면에 고정하는 도전체로 형성된 고정 링을 더 포함할 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 열전달 기둥에 열전달을 위하여 상기 내부 용기의 하부면에 고정된 구리 재료의 고정 블록을 더 포함할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 외부 용기는 상부 외부 원통; 상기 상부 외부 원통의 하부면에 연결된 와서 형상의 외부 중간판; 상기 외부 중간판의 내 측면에 접촉하여 연장되는 하부 외부 원통; 및 상기 하부 외부 원통의 하부면에 배치된 외부 바닥판을 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 내부 용기는 상기 상관의 중심에 형성된 관통홀의 내측면에 연결되고 수직으로 연장되는 목부; 상기 목부의 하부면에서 연결되고, 중심에 관통홀을 가지는 와서 형상의 내부 중간판; 상기 내부 중간판의 외측면에서 수직으로 연장되는 원통 형상의 내부 몸체부; 및 상기 내부 몸체부의 하부면에 배치되는 내부 바닥판을 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 SQUID 센서 모듈은 유전체 재료의 센서 결합판; 상기 센서 결합판의 하부면에 장착된 센서 고정 블록들; 및 상기 센서 고정 블록에 결합하는 SQUID 센서들을 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 자기 차폐부는 납(Pb) 또는 니오븀(Nb)일 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 열전도판 및 상기 열전달 기둥은 무산소 구리 재료로 형성될 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 자기 차폐부는 상기 SQUID 센서 모듈을 감싸도록 수직 방향으로 연장될 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 내부 용기의 외측면에 결합되고 제1 직경을 가지고 외주면에 형성된 제1 열 앵커(Thermal anchor)를 포함하는 도전성 재료의 제1 지지판; 상기 제1 지지판으로부터 수직으로 이격되어 상기 내부 용기의 외측면에 결합되고 상기 제1 직경보다 작은 제2 직경을 가지고 외주면에 형성된 제2 열 앵커를 포함하는 도전성 재료의 제2 지지판; 상기 제2 지지판으로부터 수직으로 이격되어 상기 내부 용기의 외측면에 결합되고 상기 제2 직경보다 작은 제3 직경을 가지고 외주면에 형성된 제3 열 앵커를 포함하는 도전성 재료의 제3 지지판; 상기 제1 열 앵커에 결합하고 수직으로 연장되는 제1 열 차폐부; 상기 제2 열 앵커에 결합하고 수직으로 연장되는 제2 열 차폐부; 및 상기 제3 열 앵커에 결합하고 수직으로 연장되는 제3 열 차폐부를 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시 예에 따른 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 방법은 수직 방향으로 연장되는 외부 용기 및 상기 외부 용기의 내부에 삽입되어 액체 냉매를 수납하고 상관을 포함하는 금속성 재료의 내부 용기를 제공하는 단계; 상기 내부 용기와 상기 외부 용기 사이의 공간은 진공 상태이고, 상기 외부 용기의 하부면과 상기 내부 용기의 하부면 사이에 배치된 SQUID 센서 모듈을 제공하는 단계; 일단은 상기 내부 용기의 하부면에 연결되고,

타단은 상기 SQUID 센서 모듈에 직접 또는 간접적으로 연결되어 상기 SQUID 센서 모듈을 냉각하는 열전달 기둥을 제공하는 단계; 상기 SQUID 센서 모듈의 일부를 감싸는 초전도체로 자기 차폐를 제공하는 단계; 및 상기 열전달 기둥의 타단에 열적으로 접촉하고 상기 초전도체를 냉각하는 열전도판을 제공하는 단계를 포함한다.

[0019] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 열전달 기둥, 상기 초전도체, 및 상기 SQUID 센서 모듈을 냉각하도록 상기 SQUID 센서 모듈의 하부면을 감싸는 보조 열전달층을 제공하는 단계를 더 포함할 수 있다.

**발명의 효과**

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치는 저온 냉매 저장 용기를 금속 재료로 제작하고, 금속의 열 잡음 및 자기 잡음으로부터 SQUID 센서를 보호하기 위해 사용된 초전도 자기 차폐가 사용하였다. 이에 따라, 초전도 자기 차폐가 없을 경우, 90 퍼센트 이상의 SQUID 센서가 동작하지 않았으며, 나머지 10 퍼센트의 센서도 불안정 동작을 보였다.

[0021] 하지만 초전도 자기 차폐를 이용할 경우, 사용된 SQUID 센서는 100 퍼센트 정상 동작하였다. 이것은 시스템에 사용된 초전도 자기 차폐 재료 및 SQUID 센서가 간접 냉각으로 임계 온도 이하까지 잘 냉각되는 것을 의미한다. 또한, 초전도 자기 차폐를 이용하여 금속 저온 냉매 저장 용기로부터 발생하는 열잡음 및 자기 잡음이 차폐되었다. 따라서, 우리는 금속을 생체자기 측정용 저온 냉매 저장 용기로 사용할 수 있음을 확인하였다. 따라서, 저온 냉매 저장 용기는 G-10 에폭시를 사용하지 않고 금속 물질로 대체될 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치를 설명하는 단면도이다.

도 2는 도 1의 내부 용기를 설명하는 단면도이다.

도 3은 도 1의 SQUID 센서 모듈을 설명하는 단면도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0023] 저온 냉매 저장 용기는 생체로부터 발생하는 자기장을 왜곡시키지 않고, 상기 SQUID 센서의 안정적인 동작을 위해 자기적 성질을 가지지 않는 비자성(non-magnetic) 물질로 제작된다. 또한 상기 SQUID 센서의 냉매로 사용되는 액화 질소나 액화 헬륨의 증발률을 최소화하기 위해, 열전도율이 매우 낮은 재료가 사용된다.

[0024] 일반적으로 유리 섬유 강화 에폭시(glass fiber enforced epoxy)가 사용되며, G-10 에폭시(epoxy)라고 불린다. 상기 G-10 에폭시는 생체자기 측정용 저온 냉매 저장 용기의 재료로 사용된다.

[0025] 저온 냉매 저장 용기는 외부 용기와 내부 용기를 포함한다. 상기 외부 용기와 상기 내부 용기는 상기 G-10 에폭시를 사용하여 속이 빈 튜브 형태를 가진다. 상기 내부 용기는 상기 외부 용기의 내부에 삽입되고, 상기 외부 용기와 상기 내부 용기 사이의 공간은 진공으로 유지된다.

[0026] 액화 냉매의 증발률 감소를 위한 저온 냉매 저장 용기의 구조는 통상적으로 3 겹의 열 차폐체(thermal shield)를 가진다. 상기 열 차폐체는 온도 구배(temperature gradient)를 감소시킨다. 또한, 복사열 유입을 차단하기 위해 상기 열 차폐체들(thermal shield) 사이에 초단열층(superinsulation layer)이 각각 배치된다. 상기 초단열층(superinsulation layer)에는 초단열체(superinsulator)와 폴리에스테르 넷(polyester net)가 각각 30 장(sheets)씩 모두 100겹 이상 설치된다

[0027] 상기 내부 용기는 통상적으로 목부와 주 저장부로 분리될 수 있다. 저온 냉매를 수용하는 상기 주 저장부(main reservoir)에서 외부로의 열전도를 방지하기 위해 상기 내부 용기와 상기 외부 용기 사이에 진공층이 배치된다. 저온 냉매 저장 용기를 구성하는 G-10 에폭시 튜브 및 G-10 에폭시 판은 가공 후 에폭시(epoxy) 접착제를 사용하여 결합된다.

[0028] 종래의 SQUID 센서 모듈은 저온 냉매에 삽입시켜 직접 냉각하는 방식을 주로 택하였다. 직접 냉각 방식의 경우, 인서트 및 상기 SQUID 센서 모듈은 상기 내부 용기의 상기 목부를 통하여 삽입된다. 상기 인서트의 끝에는 상기 SQUID 센서 모듈이 결합되어 있다. 상기 SQUID 센서 모듈을 삽입하기 위하여, 상기 내부 용기의 목부의 지름은 충분히 커야한다. 상기 SQUID 센서 모듈은 상기 인서트를 통한 열 유입과 진동 잡음 영향을 받는다. 열 유입은 냉매의 증발률을 증가시키고, 진동 잡음은 상기 SQUID 센서 모듈의 동작 안전성과 신호대잡음비(signal to noise ratio;SNR)를 감소시킨다.

- [0029] 이러한 단점을 보완하기 위해 SQUID 센서를 냉매로 직접 냉각하지 않고, 상기 진공층에 상기 SQUID 센서가 배치되는 간접 냉각하는 기술이 개발되었다.
- [0030] 그러나, 통상적인 간접 냉각 기술에서 열전달을 위해 사용되는 재료는 열전달은 잘되지만 비금속 물질이어야 한다. 통상적으로 붕의 형태로 가공된 알루미늄( $Al_2O_3$ )가 열전달 물질로 사용된다. 또는 얇은 구리 선(Cu wire)을 삽입한 G-10 에폭시 붕이 열전달 물질로 사용된다.
- [0031] 생체자기 측정용 SQUID 장치에 사용되는 저온 냉매 저장 장치의 재료는 열전도율이 낮고, 온도 변화에 따른 변형이 매우 낮아야 한다. 또한, 저온 냉매 저장 장치의 재료는 생체 활동에 의해 발생하는 자기 신호를 왜곡시키지 않는 비금속 재료이어야 한다.
- [0032] 일반적으로 사용되는 재료는 유리 섬유 강화 에폭시 튜브이다. 상기 유리 섬유 강화 에폭시 튜브는 유리섬유의 유해성과 에폭시 수지의 높은 독성으로 인해 사용과 가공에 매우 제한적이다. 또한 에폭시 수지가 함유된 재료는 온도 변화에 따라 수축률이 금속에 비해 높다. 또한, 상기 에폭시 수지가 함유된 재료는 액화 냉매(액체 질소, 액체 헬륨 등)가 기화된 기체가 상기 진공층으로 투과되는 소프트닝 (softening) 현상을 발생시킨다. 따라서, 저온 냉매 저장 용기의 특성이 악화된다.
- [0033] 이러한 단점을 보완하기 위해 저온 냉매 저장 용기를 금속으로 제작할 경우, 금속에서 발생하는 열 잡음 (thermal noise)과 자기 잡음(magnetic noise)은 SQUID 센서의 불안정한 동작을 유발한다. 따라서, 상기 SQUID 센서는 금속 저온 냉매 저장 용기에 의해 왜곡된 생체 자기 신호를 검출하게 된다. 이러한 왜곡된 신호는 신호원의 분석과 국지화를 매우 부정확하게 만든다.
- [0034] 본 발명의 일 실시 예는 금속 저온 냉매 저장 용기(dewar)를 생체 자기 측정에 활용하기 위한 제작 방법과 금속 저온 냉매 저장 용기(dewar)로부터 발생하는 열 잡음 및 자기 잡음을 제거하기 위한 초전도 차폐 방법을 제공한다. 또한 SQUID 센서는 간접 냉각 방식으로 냉각된다.
- [0035] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 생체자기 측정용 SQUID 장치의 저온 냉매 저장 용기의 내부는 금속 재료로 제작하고, 금속의 열 잡음 및 자기 잡음으로부터 SQUID 센서를 보호하기 위해 사용된 초전도 자기 차폐가 사용된다.
- [0036] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명은 여기서 설명되어지는 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되어지는 것이다. 도면들에 있어서, 구성요소는 명확성을 기하기 위하여 과장되어진 것이다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호로 표시된 부분들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.
- [0037] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치를 설명하는 단면도이다.
- [0038] 도 2는 도 1의 내부 용기를 설명하는 단면도이다.
- [0039] 도 3은 도 1의 SQUID 센서 모듈을 설명하는 단면도이다.
- [0040] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 양자 간섭 소자의 간접 냉각 장치(100)는 수직 방향으로 연장되는 외부 용기(120), 상기 외부 용기(120)의 내부에 삽입되어 액체 냉매를 수납하고 상판(111)을 포함하는 금속성 재료의 내부 용기(110), 상기 외부 용기(120)의 하부면과 상기 내부 용기(110)의 하부면 사이에 배치된 SQUID 센서 모듈(170), 일단은 상기 내부 용기의 하부면에 연결되고, 타단은 상기 SQUID 센서 모듈(170)에 직접 또는 간접적으로 연결되어 상기 SQUID 센서 모듈(170)을 냉각하는 열전달 기둥(141), 상기 SQUID 센서 모듈(170)의 상부면을 감싸는 초전도체로 형성된 자기 차폐부(143), 및 상기 열전달 기둥(141)의 타단에 열적으로 접촉하고 상기 자기 차폐부(143)의 상부면에 적층되는 열전도판(142)을 포함한다. 상기 내부 용기(110)는 상기 외부 용기(120)와 이격된 공간을 가지고, 상기 내부 용기(110)와 상기 외부 용기(120) 사이의 공간은 진공층이다. 상기 진공층은 전도열을 차단한다.
- [0041] 상기 외부 용기(120)는 상부 외부 원통(121), 상기 상부 외부 원통(121)의 하부면에 연결된 와서 형상의 외부 중간판(122), 상기 외부 중간판(122)의 내 측면에 접촉하여 수직으로 연장되는 하부 외부 원통(123), 및 상기 하부 외부 원통(123)의 하부면에 배치된 외부 바닥판(124)을 포함한다. 상기 외부 용기(120)는 G-10 에폭시 또는 금속으로 제작될 수 있다. 상기 상부 외부 원통(121)의 제1 직경은 상기 하부 외부 원통(123)의 제2 직경보다 크다. 상기 외부 중간판(122)은 와서 형태이고, 상기 외부 바닥판(124)은 원판 형태일 수 있다. 상기 외부

중간판(122)의 외주면에 상기 상부 외부 원통(121)이 결합하고, 상기 외부 중간판(122)의 내주면에 상기 하부 외부 원통(123)이 결합한다. 결합부위는 에폭시 수지로 실링될 수 있다.

- [0042] 상기 내부 용기(110)는 상기 상판(111)의 중심에 형성된 관통홀(111a)의 내측면에 연결되고 수직으로 연장되는 목부(112), 상기 목부(112)의 하부면에서 연결되고, 중심에 관통홀(116a)을 가지는 와셔 형상의 내부 중간판(116), 상기 내부 중간판(116)의 외측면에서 수직으로 연장되는 원통 형상의 내부 몸체부(117), 및 상기 내부 몸체부(117)의 하부면에 배치되는 내부 바닥판(118)을 포함할 수 있다. 상기 내부 용기(110)는 열전도율이 낮은 금속일 수 있다. 구체적으로, 상기 내부 용기(110)는 스텐인레스 스틸로 제작될 수 있다. 상기 내부 용기(110)의 결합 부위는 용접될 수 있다. 상기 내부 용기(110)와 상기 외부 용기(120) 사이의 공간은 진공층일 수 있다. 상기 진공층은 전도열을 차단할 수 있다. 상기 내부 용기(110)의 상기 몸체부(117)의 내부는 액체 질소 또는 액체 헬륨과 같은 냉매로 채워질 수 있다. 상기 상판(111)은 진공을 유지하기 위한 진공 포트(164)와 전기적 연결을 위한 연결 포트(162)를 포함할 수 있다.
- [0043] 절대 온도 4K의 액체 헬륨 또는 절대 온도 77 K의 액체 질소의 증발률을 감소시키기 위해 복사열과 전달열이 차단되어야 한다. 복사열 차단을 위해, 상기 내부 용기(110)와 상기 외부 용기(120) 사이에 열 차폐부(151, 153, 155)가 배치된다.
- [0044] 제1 지지판(113)은 도전성 재질로 형성되고, 상기 내부 용기(110)의 상기 목부(112)의 외측면에 결합되고, 제1 직경을 가지고, 그 외주면에 형성된 제1 열 앵커(Thermal anchor, 113a)를 포함한다. 상기 제1 지지판(113)은 알루미늄 또는 구리로 형성될 수 있다. 상기 제1 지지판(113)은 제1 열 차폐부(151)와 상기 목부(112)를 열적으로 연결할 수 있다. 상기 제1 열 앵커(113a)는 두께가 큰 부위이고, 제1 연장부(113b)는 두께가 작은 부위이고, 제1 목 연결부(113c)는 두께가 큰 부위일 수 있다. 상기 제1 지지판(113) 및 상기 제1 열 차폐부(151)가 흡수한 복사열은 상기 제1 지지판을 통하여 상기 목부에 전달된다. 이에 따라, 상기 목부의 내부를 지나가는 기체 형태의 냉매는 상기 흡수한 복사열을 전달받는다.
- [0045] 제2 지지판(114)은 도전성 재질로 형성되고, 상기 제1 지지판(113)으로부터 수직으로 이격되어 상기 내부 원통(110)의 목부(112)의 외측면에 결합되고 상기 제1 직경보다 작은 제2 직경을 가지고 외주면에 형성된 제2 열 앵커(114a)를 포함한다. 상기 제2 지지판(114)은 알루미늄 또는 구리로 형성될 수 있다. 상기 제2 열 앵커(114a)는 두께가 큰 부위이고, 제2 연장부(114b)는 두께가 작은 부위이고, 제2 목 연결부(114c)는 두께가 큰 부위일 수 있다.
- [0046] 제3 지지판(115)은 도전성 재질로 형성되고, 상기 제2 지지판(114)으로부터 수직으로 이격되어 상기 내부 원통(110)의 목부(112)의 외측면에 결합되고 상기 제2 직경보다 작은 제3 직경을 가지고 외주면에 형성된 제3 열 앵커(115a)를 포함한다. 상기 제3 지지판(115)은 알루미늄 또는 구리로 형성될 수 있다. 상기 제3 열 앵커(115a)는 두께가 큰 부위이고, 제3 연장부(115b)는 두께가 작은 부위이고, 제3 목 연결부(115c)는 두께가 큰 부위일 수 있다.
- [0047] 제1 열 차폐부(151)는 상기 제1 열 앵커(113a)에 결합하고 수직으로 연장될 수 있다. 상기 제1 열 차폐부(151)는 원통 형상을 가질 수 있다. 상기 제1 열 차폐부(151)는 알루미늄 또는 구리로 형성될 수 있다. 상기 제1 열 차폐부(151)의 하단부는 슬릿 형상을 가질 수 있다. 제1 내지 제3 열 차폐부(151, 153, 155)는 온도 구배를 줄여 효과적인 복사열 유입을 차단할 수 있다.
- [0048] 제2 열 차폐부(153)는 상기 제2 열 앵커(114a)에 결합하고 수직으로 연장될 수 있다. 상기 제2 열 차폐부(153)는 알루미늄 또는 구리로 형성될 수 있다.
- [0049] 제3 열 차폐부(155)는 상기 제3 열 앵커(115a)에 결합하고 수직으로 연장될 수 있다. 상기 제3 열 차폐부(155)는 알루미늄 또는 구리로 형성될 수 있다. 상기 제3 열 차폐부(155)는 상기 SQUID 센서 모듈(170)을 감싸도록 연장될 수 있다. 상기 제3 열 차폐부(155)는 SQUID 센서 모듈(170)을 감싸도록 연장될 수 있다.
- [0050] 제1 초단열층(superinsulator, 154)은 상기 제1 열 차폐부(151)와 상기 제2 열차폐부(153) 사이에 배치되고, 제2 초단열층(156)은 상기 제2 열 차폐부(153)와 상기 제3 열 차폐부(155) 사이에 배치될 수 있다. 상기 초단열층(154, 156)은 30 장(sheets)씩 모두 100겹 이상의 초단열체(superinsulator)와 폴리에스테르 네트(polyester net)를 포함할 수 있다. 초단열층(superinsulator)은 복사열 유입을 차단할 수 있다.
- [0051] SQUID 센서 모듈(170)은 유전체 재질의 센서 결합판(172), 상기 센서 결합판(172)의 하부면에 장착된 센서 고정 블록들(174), 및 상기 센서 고정 블록들(174)에 결합하는 SQUID 센서들(176)을 포함한다. 상기 센서 결합판(172)은 원판 형상으로 G-10 에폭시로 형성될 수 있다. 상기 센서 고정 블록(174)은 G-10 에폭시로 형성되고,

상기 SQUID 센서들(176)을 고정할 수 있다. 상기 SQUID 센서들(176)은 상기 외부 용기(120)의 하부면에 배치된 측정 대상(20)의 자기 신호를 측정할 수 있다.

- [0052] 상기 센서 고정 블록(174)은 상기 센서 결합관(172)의 하부면에 형성된 홈에 삽입되어 에폭시 접착제로 고정될 수 있다. 상기 센서 고정 블록(174)은 상기 SQUID 센서(176)와 전기 커넥터를 통하여 전기적으로 연결될 수 있다. 또한, 유전체 볼트와 같은 고정 수단(178)은 상기 센서 고정 블록(174)과 상기 SQUID 센서(176)를 결합시킬 수 있다. 상기 SQUID 센서(178)는 상기 고정 수단(178)을 제거하여 상기 센서 고정 블록(174)과 분리될 수 있다. 상기 센서 고정 블록(174)은 상기 SQUID 센서와 전기적 연결을 위한 인쇄회로 기판(PCB) 및 배선을 포함할 수 있다. 상기 센서 고정 블록(174)의 배선(163)은 상기 내부 용기(110)의 상판(102)에 형성된 연결 포트(162)를 통하여 외부 회로에 연결될 수 있다.
- [0053] 열전달 기둥(141)은 상기 내부 용기(110)의 내부 바닥판(118)에 연결될 수 있다. 상기 열전달 기둥(141)은 열전도율이 높은 구리로 형성될 수 있다. 상기 내부 바닥판(118)은 도전성 물질로 형성되고, 원판 형상일 수 있다. 상기 열전달 기둥(141)은 8개일 수 있다. 상기 열전달 기둥(141)은 원 기둥 형상으로 상기 내부 바닥판(118)의 중심을 기준으로 일정한 원주 상에 대칭적으로 배치될 수 있다.
- [0054] 상기 열전달 기둥(141)과 상기 내부 바닥판(118)의 열 전도를 증가시키기 위하여, 상기 내부 바닥판(118)에는 고정 블록(119)이 배치될 수 있다. 상기 고정 블록(119)은 상기 내부 바닥판(118)을 관통하여 배치될 수 있다. 또한, 상기 열전달 기둥(141)의 일단은 상기 고정 블록(119)에 삽입되어 고정될 수 있다. 상기 고정 블록(119)은 상기 내부 용기(110)의 내부를 채우는 냉매(160)와 직접 접촉할 수 있다. 상기 고정 블록(119)은 진공을 유지할 수 있도록 상기 내부 바닥판(118)과 용접되거나 실링될 수 있다.
- [0055] 상기 SQUID 센서 모듈(170)를 냉각하기 위하여 열전도판(142)이 상기 센서 결합관(172) 상에 배치된다. 상기 열전도판(142)은 구리 재질이고, 원판 형상일 수 있다. 이에 따라, 열은 상기 SQUID 센서 모듈(170), 상기 열전도판(142), 상기 열전달 기둥(141), 및 상기 고정 블록(119)을 통하여 상기 냉매로 흐른다.
- [0056] 한편, 자기 차폐부(143)는 금속으로부터 발생하는 열잡음 및 자기 잡음을 차폐하기 위해 상기 SQUID 센서 모듈(170) 주위에 배치된다. 상기 자기 차폐부(143)는 초전도 재질로 형성될 수 있다. 상기 자기 차폐부(143)는 뚜껑을 가진 원통 형상일 수 있다. 상기 초전도 재질은 납(Pb) 또는 니오븀(Nb)일 수 있다. 상기 자기 차폐부(143)는 상기 열 전도판(142)과 상기 센서 결합관(172) 사이에 배치될 수 있다. 초전도 재료는 열 질량(thermal mass)가 매우 크다. 따라서, 상기 SQUID 센서(176)로 열전달이 잘 이루어지지 않는다. 따라서 상기 SQUID 센서(176)의 냉각을 위한 보조 수단이 필요하다. 상기 열전도판(143)은 상기 자기 차폐부(143)를 균일한 온도로 냉각할 수 있다.
- [0057] 보조 열전달층(148)은 열전도율이 높은 구리 메쉬(Cu mesh)를 이용하여 상기 SQUID 센서(172)를 감싸도록 배치된다. 고정 링(149)은 상기 보조 열전달층(148)을 상기 내부 용기(110)의 하부면에 고정한다. 상기 고정 링(149)은 구리와 같은 도전체로 형성될 수 있다. 상기 고정 링(149)은 상기 보조 열전달층(148)의 끝을 상기 내부 용기(110)의 내부 바닥판(118)에 부착한다. 상기 구리 메쉬(Cu mesh)는 유도 전류를 생성하지 않도록 날줄과 씨줄의 표면이 전기적으로 절연된 것이 바람직하다. 이에 따라, 상기 내부 용기(110)의 내부 바닥판(118)과 상기 보조 열전달층(149)으로 둘러싸인 내부의 온도는 상기 내부 용기의 내부 바닥판의 온도와 평형을 이루게 된다. 이에 따라, 상기 SQUID 센서(172) 및 상기 자기 차폐부(143)를 균일하게 냉각할 수 있다. 상기 보조 열전달층(149)은 상기 열전달 기둥(141), 상기 자기 차폐부(143), 열전달판(142), 및 상기 SQUID 센서 모듈(170)을 포함하는 블록 전체의 하부면 및 측면을 감싸도록 배치될 수 있다.
- [0058] 본 발명의 변형된 실시 예에 따르면, 상기 열전달층(148)은 에폭시 층, 및 상기 에폭시 층에 적층되고 일정한 간격을 가지고 나란히 연장되는 구리 도선들을 포함할 수 있다.
- [0059] 하나의 상기 SQUID 센서(176)를 작동시키기 위해, 4개의 전력선과 상기 SQUID 센서에서 검출된 자기 신호를 외부 회로로 전송하는 두 개의 신호선, 그리고 자속 트랩(flux trap)을 없애기 위한 두 개의 열선(heater line)이 필요하다. 상기 센서 고정 블록(174)은 8 핀 형태 커넥터(8 pin type connector)가 장착된 인쇄회로기판(PCB)를 포함한다. 열전도율이 낮은 Cu-Mn-Ni 합금으로 형성된 망가닌 선(manganin line)은 상기 PCB와 외부 커넥터(미도시)를 연결할 수 있다. 상기 외부 커넥터는 상기 SQUID 센서(176)의 구동 회로에 연결된다.
- [0060] 상기 SQUID 센서(176)는 픽업 코일이 감기는 보빈(bobbin), SQUID, PCB, 및 8 핀 형태 커넥터를 포함할 수 있다. 상기 보빈은 G-10 에폭시로 형성되고 원통 형상일 수 있다. 상기 SQUID는 상기 PCB에 전기적으로 연결되고, 상기 8 핀 형태 커넥터는 상기 PCB에 장착될 수 있다. 상기 8 핀 형태 커넥터는 상기 센서 고정 블록(174)은 8

핀 형태 커넥터와 분리 결합할 수 있다. 이에 따라, 상기 8 핀 형태 커넥터는 상기 센서 고정 블록(174)의 8 핀 형태 커넥터와 분리 또는 결합할 수 있다. 비금속 볼트와 같은 고정 수단(178)은 상기 보빈(bobbin)에 형성된 홀을 통하여 상기 센서 고정 블록(174)과 결합시킬 수 있다.

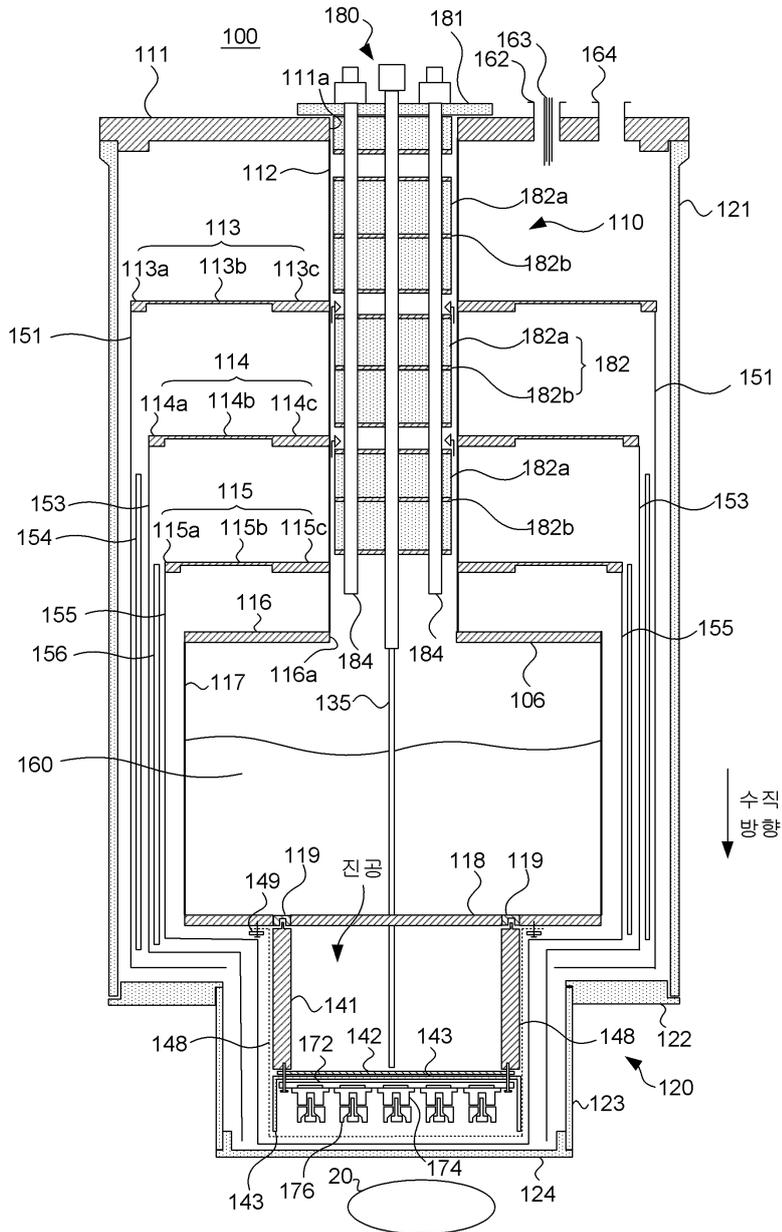
- [0061] 인서트(180)는 상기 내부 용기(110)에 삽입되어 상기 내부 용기(110)에 냉매를 공급하고, 상기 인서트(180)에 의한 열전달을 차단한다. 상기 인서트(180)는 상기 내부 용기(110)의 상판(101) 상에 걸치는 인서트 상판(181), 상기 인서트 상판에 고정되고 수직으로 연장되는 적어도 하나의 가이드 봉(184), 및 상기 가이드 봉(180)에 삽입되는 적어도 하나의 인서트 배플(182)을 포함한다.
- [0062] 상기 인서트 상판(181)은 G-10 에폭시로 형성되고, 원판 형태일 수 있다. 상기 인서트 상판(181)은 상기 내부 용기(110)의 상판(101)에 장착될 수 있다. 상기 인서트 상판에는 냉매를 주입하기 위한 냉매 가이드 튜브(미도시)가 장착될 수 있다.
- [0063] 상기 가이드 봉(184)은 상기 인서트 상판(182)에 고정되어 수직으로 연장될 수 있다. 상기 가이드 봉(184)은 G-10 에폭시로 형성될 수 있다. 상기 가이드 봉의 개수는 4 개일 수 있다. 상기 인서트 배플(182)은 상기 스티로폴(182a) 및 도전판(182b)을 포함할 수 있다. 상기 스티로폴(182a)은 전도열 유입을 차단할 수 있다. 상기 도전판(182b)은 복사열 유입을 차단할 수 있다. 상기 도전판(182b)은 차례로 적층된 알루미늄 코팅된 마일라(mylar), 및 구리층을 포함할 수 있다. 상기 인서트 배플(180)은 외부의 열전도 및 복사열 유입을 차단할 수 있다.
- [0064] 이상에서는 본 발명을 특정의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 이러한 실시예에 한정되지 않으며, 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 실시할 수 있는 다양한 형태의 실시예들을 모두 포함한다.

**부호의 설명**

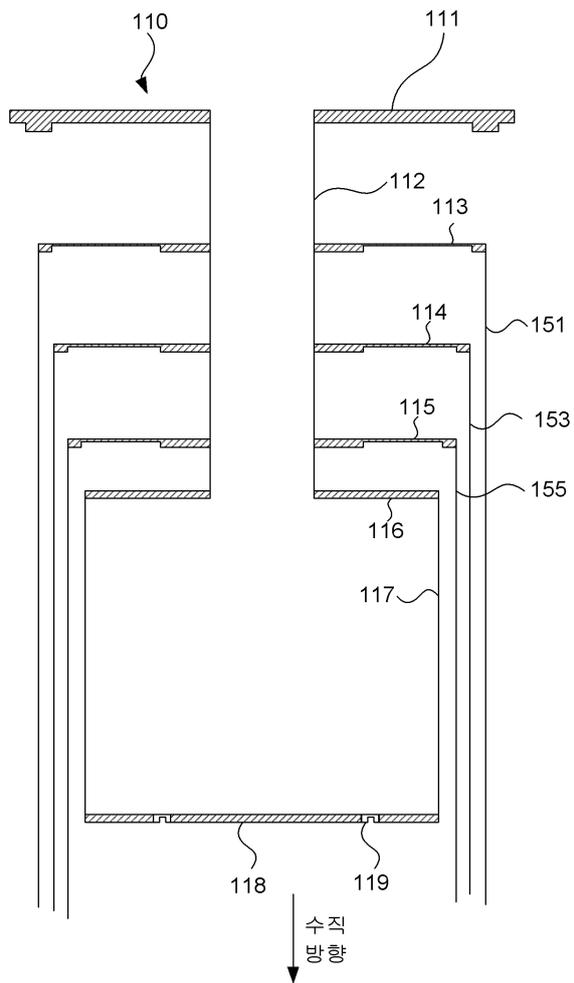
- [0065] 110: 내부 용기            120: 외부 용기
- 119: 고정 블록            118: 내부 용기의 바닥판
- 142: 열전도판            143: 자기 차폐부
- 141: 열전달 기둥        148: 보조 열전달층
- 170: SQUID 센서 모듈

도면

도면1



도면2



도면3

