(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0135232
(43) 공개일자 2017년12월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05K 7/20 (2006.01) *C09K 5/14* (2006.01)
H01L 23/373 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H05K 7/2039 (2013.01)
C09K 5/14 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0066793
(22) 출원일자 2016년05월30일
심사청구일자 2016년05월30일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
김경준
부산광역시 남구 분포로 113, 223동 1902호(용호동, 엘지메트로시티아파트)
뉘엔, 반 드렁
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동)
(74) 대리인
유성원, 배경용, 전소정

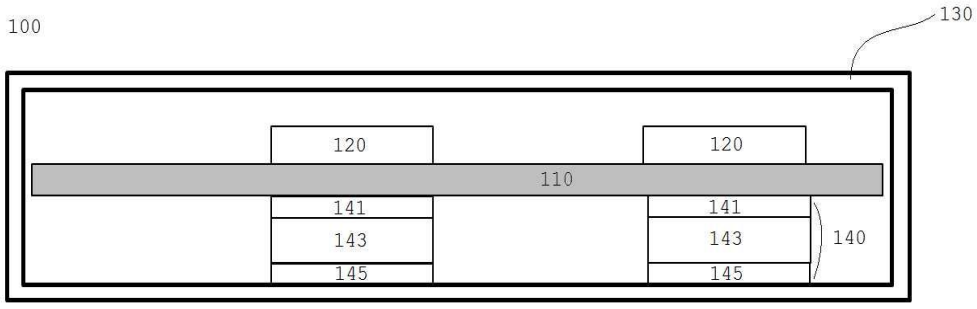
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **반도체 장비용 제어 모듈**

(57) 요 약

본 발명의 실시예에 따른 반도체 장비용 제어 모듈은 적어도 일면에 하나 이상의 반도체 칩이 실장된 인쇄회로기판, 내부에 상기 인쇄회로기판을 수용하는 방열 케이스, 및 상기 인쇄회로기판의 타면과 상기 방열 케이스의 내면 사이에 개재되어, 상기 반도체 칩의 열을 상기 방열 케이스에 전달하는 열전달 부재를 포함하고, 상기 열전달 부재는, 상기 인쇄회로기판의 타면에 형성되는 제1 열경계 물질(thermal interface material; TIM), 상기 제1 열경계 물질 상에 형성되는 히트 슬러그(heat slug), 및 상기 히트 슬러그 상에 형성되고 상기 방열 케이스의 내면에 접하는 제2 열경계 물질(TIM)로 이루어지며, 상기 방열 케이스에서는 상기 열전달 부재를 통해 전달된 열을 반도체 장비용 제어 모듈의 외부로 방출시킨다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
H01L 23/3736 (2013.01)
H05K 7/20409 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415143656
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 신성장동력장비경쟁력강화
연구과제명 수요연계형 신성장동력 장비의 신뢰성 향상 기술
기 여 율 1/1
주관기관 전자부품연구원
연구기간 2015.11.01 ~ 2016.10.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

반도체 장비용 제어 모듈로서,

적어도 일면에 하나 이상의 반도체 칩이 실장된 인쇄회로기판;

내부에 상기 인쇄회로기판을 수용하는 방열 케이스; 및

상기 인쇄회로기판의 타면과 상기 방열 케이스의 내면 사이에 개재되어, 상기 반도체 칩의 열을 상기 방열 케이스에 전달하는 열전달 부재;

를 포함하고,

상기 열전달 부재는,

상기 인쇄회로기판의 타면에 형성되는 제1 열경계 물질(thermal interface material; TIM),

상기 제1 열경계 물질 상에 형성되는 히트 슬러그(heat slug), 및

상기 히트 슬러그 상에 형성되고 상기 방열 케이스의 내면에 접하는 제2 열경계 물질(TIM),

로 이루어지며,

상기 방열 케이스에서는 상기 열전달 부재를 통해 전달된 열을 반도체 장비용 제어 모듈의 외부로 방출시키는 것을 특징으로 하는,

반도체 장비용 제어 모듈.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 열전달 부재는 상기 인쇄회로기판의 타면 중 상기 반도체 칩이 실장된 일면에 대응하는 영역에 배치되는 것인,

반도체 장비용 제어 모듈.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 방열 케이스의 내부에 상기 인쇄회로기판이 수납될 때, 상기 인쇄회로기판의 일면과 상기 일면에 대응하는 방열 케이스의 상면, 또는 상기 인쇄회로기판의 타면과 상기 타면에 대응하는 방열 케이스의 하면 사이에 각각 공간이 형성되고,

상기 인쇄회로기판과 상기 방열 케이스의 내면은 상기 열전달 부재를 통해 연결되는 것인,

반도체 장비용 제어 모듈.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 방열 케이스의 측면에는 상기 인쇄회로기판의 일면 또는 타면에서 상기 공간으로 방사되는 복사열을 상기 방열 케이스의 외부로 방출하기 위한 복수의 슬릿이 형성되는 것인,

반도체 장비용 제어 모듈.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 히트 슬러그는 구리로 형성되는 것인,

반도체 장비용 제어 모듈.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 방열 케이스는 알루미늄으로 형성되는 것인,

반도체 장비용 제어 모듈.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 반도체 장비용 제어 모듈에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, 인쇄회로기판에 부착된 발열 소자에서 발생한 열을 방열 케이스로 전달하고, 방열 케이스에 전달된 열을 케이스 외부로 방출하는, 반도체 장비용 제어 모듈에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 반도체 장비의 제어 모듈 내부에는 열 밀도가 높은 다수의 반도체 칩 패키지가 전자 부품으로서 실장되어 있다. 이들 반도체 칩 패키지는 제어 모듈의 작동 시에 비교적 높은 온도의 열을 발생시키며, 이에 따라 반도체 소자에서 발생하는 열을 효율적으로 외부에 방출하여 냉각시킬 수 있도록 제어 모듈 내에 히트 싱크를 설치한다. 이러한 히트 싱크는 구리, 동, 아연과 같이 열 전도성이 우수한 재질로 형성되는 패널이다.

[0003] 최근, 제어 모듈에 포함되는 회로가 소형화, 복잡화 및 집적화되면서 회로나 반도체 칩의 발열 성능이 점차 중요시되고 있다. 일반적으로 제어 모듈 내의 온도가 높아지면, 기능 측면에서 수명 단축, 온도 상승에 따른 부품의 특성 변화가 야기되고, 기계적 측면에서 온도 상승으로 인한 기계적 강도 변화 및 열응력이 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 반도체 칩의 방열에 대한 관심이 높아지고 있으며, 모듈 내부의 온도 상승을 보다 효율적으로 억제 가능한 반도체 장비용 제어 모듈이 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 반도체 장비용 제어 모듈을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 반도체 장비용 제어 모듈은 적어도 일면에 하나 이상의 반도체 칩이 실장된 인쇄회로기판, 내부에 상기 인쇄회로기판을 수용하는 방열 케이스, 및 상기 인쇄회로기판의 타면과 상기 방열 케이스의 내면 사이에 개재되어, 상기 반도체 칩의 열을 상기 방열 케이스에 전달하는 열전달 부재를 포함하고, 상기 열전달 부재는, 상기 인쇄회로기판의 타면에 형성되는 제1 열경계 물질(thermal interface material; TIM), 상기 제1 열경계 물질 상에 형성되는 히트 슬러그(heat slug), 및 상기 히트 슬러그 상에 형성되고 상기 방열 케이스의 내면에 접하는 제2 열경계 물질(TIM)로 이루어지며, 상기 방열 케이스에서는 상기 열전달 부재를 통해 전달된 열을 반도체 장비용 제어 모듈의 외부로 방출시킨다.

[0006] 또한, 상기 열전달 부재는 상기 인쇄회로기판의 타면 중 상기 반도체 칩이 실장된 일면에 대응하는 영역에 배치될 수 있다.

[0007] 또한, 상기 방열 케이스의 내부에 상기 인쇄회로기판이 수납될 때, 상기 인쇄회로기판의 일면과 상기 일면에 대응하는 방열 케이스의 상면, 또는 상기 인쇄회로기판의 타면과 상기 타면에 대응하는 방열 케이스의 하면 사이에 각각 공간이 형성되고, 상기 인쇄회로기판과 상기 방열 케이스의 내면은 상기 열전달 부재를 통해 연결될 수 있다.

[0008] 또한, 상기 방열 케이스의 측면에는 상기 인쇄회로기판의 일면 또는 타면에서 상기 공간으로 방사되는 복사열을

상기 방열 케이스의 외부로 방출하기 위한 복수의 슬릿이 형성될 수 있다.

[0009] 또한, 상기 히트 슬러그는 구리로 형성될 수 있다.

[0010] 또한, 상기 방열 케이스는 알루미늄으로 형성될 수 있다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 실시예에 따른 반도체 장비용 제어 모듈은, 열경계 물질-히트 슬러그-열경계 물질로 구성된 열전달 부재를 인쇄회로기판과 방열 케이스 사이에 개재하여, 인쇄회로기판으로부터 방열 케이스에 이르는 1차원의 열 경로를 형성한다. 이러한 구성에 의해, 인쇄회로기판에 실장된 발열 소자의 열을 방열 케이스의 외부로 용이하게 배출하여, 부품의 온도 저하 성능을 극대화하는 효과를 갖는다.

[0012] 또한, 본 발명의 반도체 장비용 제어 모듈은 방열을 위한 별도의 히트 싱크를 구비하지 않고, 인쇄회로기판을 수용하는 방열 케이스를 방열판으로 활용함으로써, 인쇄회로기판의 양면에서 효과적인 열 방출이 가능하고 부품을 절감하는 효과를 기대할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 반도체 장비용 제어 모듈의 투시 사시도를 나타낸 도면이다.

도 2a는 도 1의 반도체 장비용 제어 모듈을 구성하는 인쇄회로기판의 사시도이다.

도 2b는 도 1의 반도체 장비용 제어 모듈을 구성하는 방열 케이스의 사시도이다.

도 3은 도 1의 반도체 장비용 제어 모듈의 단면도이다.

도 4는 종래기술에 따른 제어 모듈의 온도장과 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 모듈의 온도장의 시뮬레이션 해석 결과를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 모듈과 종래의 제어 모듈 각각에 대하여, 각 제어 모듈을 구성하는 복수의 발열 소자의 온도 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 본 발명의 목적 및 효과, 그리고 그것들을 달성하기 위한 기술적 구성들은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 뒤에 설명되는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서, 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐를 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고 뒤에 설명되는 용어들은 본 발명에서의 구조, 역할 및 기능 등을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다.

[0015] 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있다. 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 오로지 특허청구범위에 기재된 청구항의 범주에 의하여 정의될 뿐이다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0016] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0017] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하며, 본 발명의 바람직한 실시예들을 보다 상세하게 설명하기로 한다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 따른 반도체 장비용 제어 모듈(100)은, 인쇄회로기판(110), 방열 케이스(130) 및 열전달 부재(140)를 포함하여 구성된다.

[0019] 인쇄회로기판(110)(PCB)은 다수의 반도체 칩(120)을 페놀수지 및 에폭시 수지 등의 절연판 일면 또는 일면과 타면 양쪽에 SMD(Surface Mounted Device) 방식으로 실장되고, 본 발명에서는 단면 인쇄회로기판, 양면 인쇄회로기판, 또는 다중 인쇄회로기판 등을 채용할 수 있다. 이때, 인쇄회로기판(110)은 복수의 반도체 칩(120)이 실장된 모듈 형태로 제공될 수 있고, 인쇄회로기판 모듈은 기판의 일단부에 장착된 포트를 통해 반도체 제조 장비의 보드에 결합된다. 이하의 실시예에서는 인쇄회로기판(110)의 일면에 반도체 칩(120)이 형성된 구조를 기본 구조

로 가정하고 설명한다.

[0020] 한편, 방열 케이스(130)는 내부에 상술한 인쇄회로기판(110)을 수용한다. 방열 케이스(130)는 열전도율이 우수한 재질, 예컨대, 알루미늄, 구리, 철, 아연 등의 금속을 이용하여 제조될 수 있으며, 특히 알루미늄 재질의 방열 케이스(130)를 채용하는 것이 바람직하다. 방열 케이스(130)는 도 2에 도시된 바와 같이, 인쇄회로기판(110)의 전면을 감싸도록 상면과 하면, 상면과 하면을 연결하는 세 개의 측면으로 이루어진 공동(空洞)의 육면체 형상으로 이루어질 수 있다. 인쇄회로기판(110)의 상술한 포트가 노출될 수 있도록 방열 케이스(130)의 일측면은 개방될 수 있다. 인쇄회로기판(110)은 방열 케이스(130) 내에 삽입, 수용 시에 인쇄회로기판(110)의 일면은 방열 케이스(130)의 상면의 내면, 일면은 방열 케이스(130)의 하면의 내면에 대응하도록 배치된다. 한편, 방열 케이스(130)의 상면 또는 하면이 오픈되어 인쇄회로기판(110)이 방열 케이스(130) 내의 공간에 수용되도록 구성될 수도 있다. 이때, 인쇄회로기판(110)은 방열 케이스(130)의 내부 공간에서 방열 케이스(130)의 상면 및 하면으로부터 이격된 상태로 배치되며, 인쇄회로기판(110)의 일면과 방열 케이스(130)의 상면 사이, 인쇄회로기판(110)의 타면과 방열 케이스(130)의 하면 사이에 소정의 공간이 구비되도록 구성될 수 있다. 또, 인쇄회로기판(110)은 양단 모서리에서 방열 케이스(130)의 측면 내면에 접촉하여 고정될 수 있다.

[0021] 또한, 인쇄회로기판(110)의 일면 또는 타면에서는 방열 케이스(130)의 내면과 사이에서 구성되는 전술한 공간을 향하여 복사열을 방출하는데, 본 발명의 일 실시예에 따른 방열 케이스(130)의 적어도 하나 이상의 측면에는 이러한 복사열을 방열 케이스(130)의 외부로 방출하기 위한 복수의 슬릿(135)이 형성될 수 있다.

[0022] 한편, 전술한 반도체 칩(120)은 인쇄회로기판(110)의 일면에 형성되고, 열전달 부재(140)는 인쇄회로기판(110)의 타면과 방열 케이스(130)의 내면 사이에 개재되어, 반도체 칩(120)의 열을 방열 케이스(130)에 전달하는 구성으로서, 인쇄회로기판(110)과 방열 케이스(130)의 내면은 열전달 부재(140)를 통해 연결된다. 앞서 간략히 설명한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 반도체 장비용 제어 모듈(100)은 열전달 부재(140)를 인쇄회로기판(110)과 방열 케이스(130) 사이에 개재하여, 인쇄회로기판(110)으로부터 방열 케이스(130)에 이르는 1차원의 열경로를 형성한다. 보다 구체적으로, 열전달 부재(140)는 열경계 물질(thermal interface material; TIM)과 히트 슬러그(143)(heat slug)를 포함하여 구성되는데, 도 3에 도시된 바와 같이, 인쇄회로기판(110)의 타면에 형성되는 제1 열경계 물질(141), 제1 열경계 물질(141) 상에 형성되는 히트 슬러그(143), 및 히트 슬러그(143) 상에 형성되고 방열 케이스(130)의 하면의 내면에 접하는 제2 열경계 물질(145)로 이루질 수 있다. 열경계 물질(TIM)은 인쇄회로기판(110)과 방열 케이스(130) 사이의 접촉 저항을 크게 줄여주는 구성으로서, 일반적으로 열생성 소자(반도체 칩)에서 나온 열을 열방출 소자(방열 케이스(130))에 전달함으로써, 열을 외부로 빠르게 방출시키는 기능을 한다. 한편, 히트 슬러그(143)(heat slug)는 는 구리로 형성될 수 있다. 이와 같은 구조에 따라, 본 발명의 일 실시예의 열전달 부재(140)는 인쇄회로기판(110)의 타면으로부터 방열 케이스(130)를 향하여, 제1 열경계 물질(141)-히트 슬러그(143)-제2 열경계 물질(145) 순으로 열이 전달되는 1차원의 열 전달 경로를 제공할 수 있다. 이때, 열전달 부재(140)는 인쇄회로기판(110)과 방열 케이스(130) 사이에서 복수 개소에 배치될 수 있으며, 도 3에 도시된 바와 같이, 하나의 열전달 부재(140)는 인쇄회로기판(110)의 타면 중 하나의 반도체 칩(120)이 실장된 일면에 대응하는 영역에 배치될 수 있다.

[0023] 또한, 도 3에 도시된 바와 같이, 인쇄회로기판(110)은 적어도 양단의 모서리에서 방열 케이스(130)의 측면 내면에 접촉하여 고정되므로, 인쇄회로기판(110)에서 발생하는 열은 기판의 측면을 따라 방열 케이스(130)로 전도 가능한바, 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 모듈은 전술한 1차원의 열 전달 경로와 함께, 인쇄회로기판(110)의 모서리를 통한 방열 케이스(130)로의 열 전달이 이루어질 수 있다.

[0024] 본 발명의 상술한 실시예에 따른 반도체 장비용 제어 모듈(100)에 따르면, 열경계 물질(TIM)-히트 슬러그(143)(heat slug)-열경계 물질(TIM)로 구성된 열전달 부재(140)를 인쇄회로기판(110)과 방열 케이스(130) 사이에 개재하여, 인쇄회로기판(110)으로부터 방열 케이스(130)에 이르는 종방향의 1차원의 열경로를 형성한다. 또한, 인쇄회로기판(110)에서 발생하는 열이 기판의 측면을 따라 방열 케이스(130)의 측면으로 전도가 가능한바, 인쇄회로기판(110)으로부터 방열 케이스(130)에 이르는 횡방향의 열경로를 형성할 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 모듈은 전술한 1차원의 열 전달 경로와 함께 인쇄회로기판(110)의 모서리를 통한 방열 케이스(130)로의 열 전달이 이루어질 수 있다. 이러한 구성에 의하면, 반도체 칩(120)과 같은 발열 소자의 온도가 종래 구조에 따른 제어 모듈에 실장된 발열 소자의 온도에 비하여 현저하게 저하되는 효과가 있음을 시뮬레이션과 실험을 통하여 입증된다.

[0025] 도 4는 종래기술에 따른 제어 모듈의 온도장과 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 모듈의 온도장의 시뮬레이션 해석 결과를 나타낸 도면이고, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 모듈과 종래의 제어 모듈 각각에 대하

여, 각 제어 모듈을 구성하는 복수의 발열 소자의 온도 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다. 종래 기술에 따른 제어 모듈의 방열은 인쇄회로기판(110)의 일면 또는 타면에 통상의 방열판을 부착하고, 방열판이 부착된 인쇄회로기판(110)을 반도체 장비에 장착한 후, 반도체 장비에 구비된 별도의 송풍기에 의해 인쇄회로기판(110)에 강제 대류를 유도함으로써 인쇄회로기판(110)의 열을 냉각시키는 방식을 채용한 것이다. 이때, 종래의 제어 모듈 구조와 본 발명의 제어 모듈 구조 각각에는 동일한 인쇄회로기판 모듈을 채용하였다.

[0026] 먼저, 도 4의 시뮬레이션에서는 인쇄회로기판(110)의 일면과 타면 각각에 대하여 표면 온도를 색상 분포도로 나타내었다. 고온 영역은 붉은색으로 표시되고, 저온 영역은 파랑색으로 표시되어 있다. 붉은색과 파랑색 사이에서는 상대적으로 고온인 영역은 노랑색으로, 상대적으로 저온인 영역은 초록색으로 표시된다. 도 4의 해석 결과를 참조하면, 종래 구조에 따른 제어 모듈에서는 인쇄회로기판(110)의 일면과 타면에서, 기판의 가장자리 영역을 제외하고는 전체적으로 초록색으로 표시된 중간 온도의 영역임을 확인할 수 있다. 특히, 반도체 칩(120)이 실장된 영역 근방에는 붉은색과 노랑색의 고온 영역이 존재한다. 이에 반해, 본 발명의 제어 모듈에서는 초록색으로 표시되는 일부의 중간 온도 영역을 제외하고는 파랑색의 저온 영역이 대부분임을 확인할 수 있다. 특히, 반도체 칩(120)이 실장된 영역도 냉각되어 초록색의 중간 온도임을 확인할 수 있다.

[0027] 한편, 도 5의 실험은 도 4의 시뮬레이션의 결과 해석을 위하여, 각각의 반도체 칩(120)의 온도의 시뮬레이션 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 본 실험에서는 인쇄회로기판(110)에 실장되는 복수의 반도체 칩(120) 중 열밀도가 높은 반도체 칩(120)을 선정하였고, 각각을 C1 내지 C9로 표기하였다. 도 5의 데이터를 참조하면, 본 발명의 제어 모듈에 실장된 C1 내지 C9의 반도체 칩(120) 온도는 종래의 제어 모듈에 실장된 C1 내지 C9의 반도체 칩(120)의 온도의 최소 20%, 최대 70%의 감소율을 보이는 것으로 확인된다. 예컨대, C3의 반도체 칩(120)의 경우 종래 구조에서는 약 25℃인 반면, 본 발명의 구조에서는 약 20℃로서, 온도 감소율이 약 20%이고, C8의 반도체 칩(120)의 경우 종래 구조에서는 약 70℃인데 반해, 본 발명의 구조에서는 20℃로서, 온도 감소율이 약 70%임을 확인할 수 있다.

[0028] 이와 같은 시뮬레이션 해석 결과에서 나타나는 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 반도체 장비용 제어 모듈(100)은 인쇄회로기판(110)에 실장된 발열 소자의 열이 방열 케이스(130)의 외부로 용이하게 배출됨으로써, 부품의 온도 저하 성능이 극대화되는 장점을 갖는다.

[0029] 이상, 본 발명의 실시예에 대하여 설명하였으나, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서, 구성 요소의 부가, 변경, 삭제 또는 추가 등에 의해 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있을 것이며, 이 또한 본 발명의 권리범위 내에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.

부호의 설명

[0030] 100: 반도체 장비용 제어 모듈 110: 인쇄회로기판

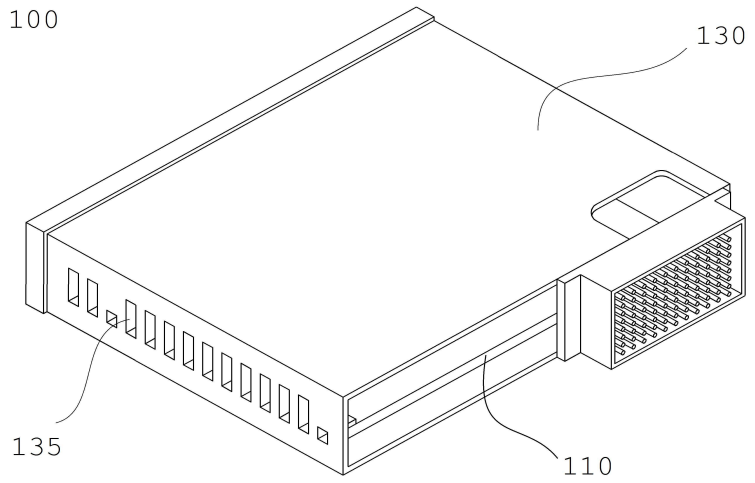
120: 반도체 칩 130: 방열 케이스

140: 열전달 부재 141: 제1 열경계 물질

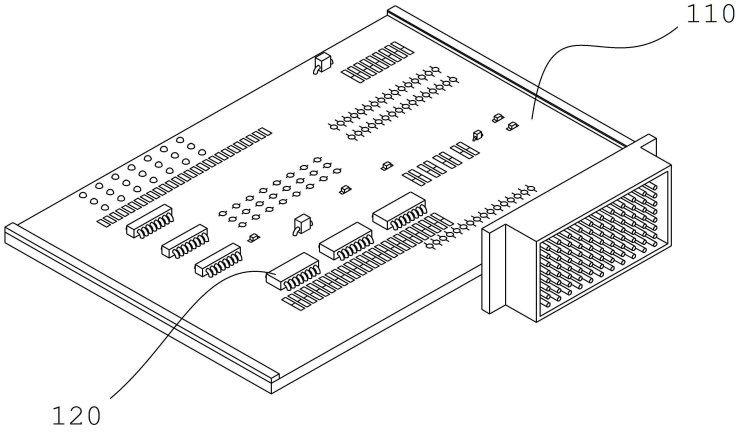
143: 히트 슬러그 145: 제2 열경계 물질

도면

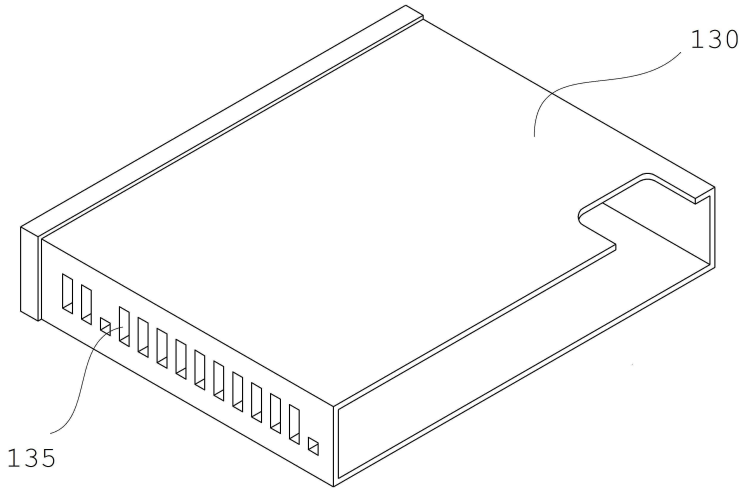
도면1



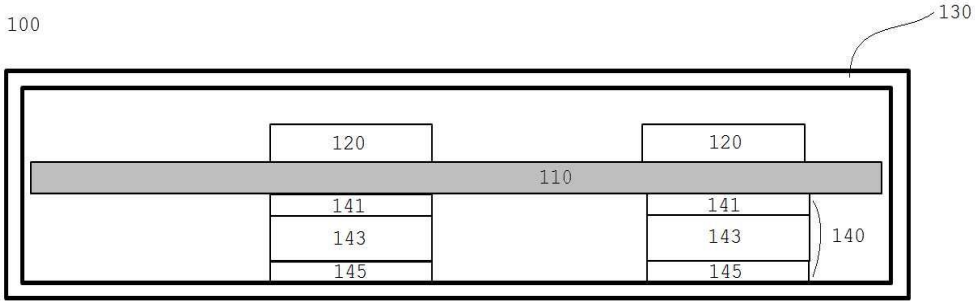
도면2a



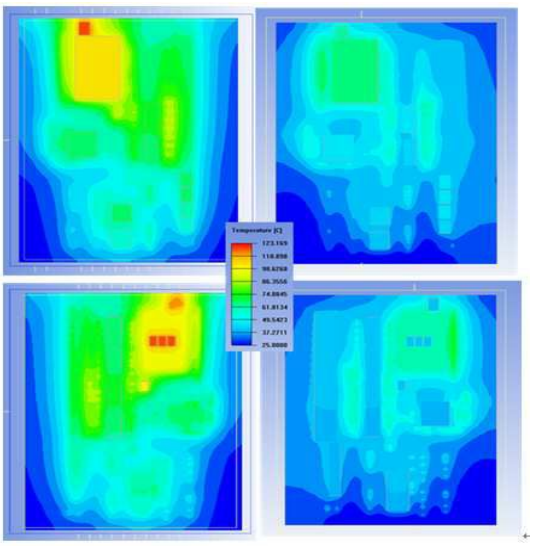
도면2b



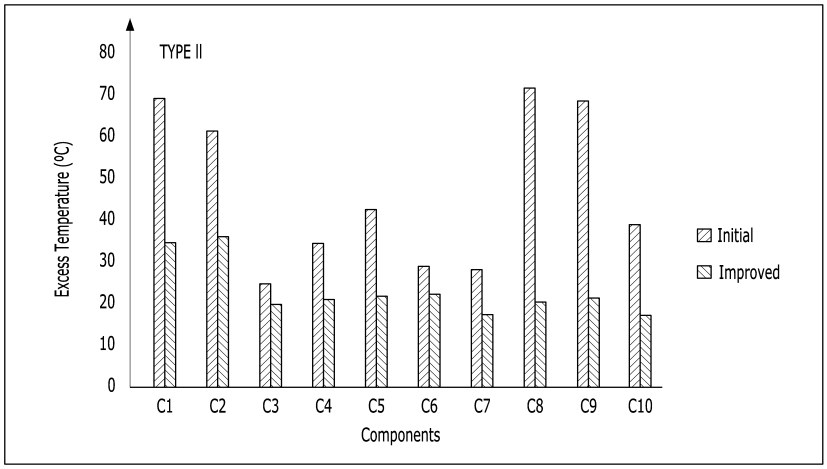
도면3



도면4



도면5


TYPE II
Excess Temperature (°C)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
C9
C10
Components
Initial
Improved