



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0098334  
(43) 공개일자 2018년09월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01R 31/26 (2014.01) G01R 31/28 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01R 31/2642 (2013.01)  
G01R 31/2848 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-7021165  
(22) 출원일자(국제) 2017년01월26일  
심사청구일자 2018년07월23일  
(85) 번역문제출일자 2018년07월23일  
(86) 국제출원번호 PCT/JP2017/003679  
(87) 국제공개번호 WO 2017/135333  
국제공개일자 2017년08월10일  
(30) 우선권주장  
16154094.3 2016년02월03일  
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인  
미쓰비시덴키 가부시카이가이사  
일본국 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 2초메 7반 3  
고  
(72) 발명자  
데그렌 니콜라스  
프랑스 35708 렌 세텍스 7 1 알레 드 볼류 씨에스  
10806 미쓰비시 일렉트릭 알앤디 센터 유럽  
몰로브 스테판  
프랑스 35708 렌 세텍스 7 1 알레 드 볼류 씨에스  
10806 미쓰비시 일렉트릭 알앤디 센터 유럽  
(74) 대리인  
제일특허법인(유)

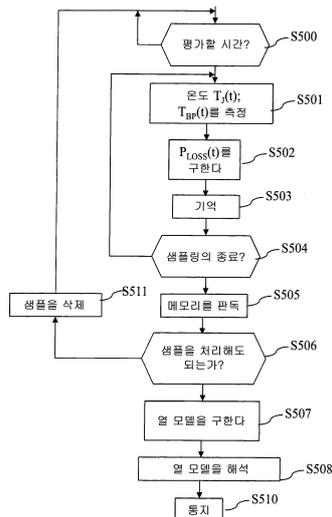
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **파워 반도체 모듈의 손상 레벨 또는 수명 예측을 추정하는 방법 및 디바이스**

(57) 요약

본 발명은 상이한 재료의 복수의 층으로 구성된 기관에 기계적으로, 열적으로, 또한 전기적으로 부착되는 적어도 하나의 다이를 포함하는 파워 반도체 모듈의 손상 레벨 또는 수명 예측을 추정하는 방법 및 디바이스에 관한 것이다. 본 발명은 파워 반도체 모듈의 전력 손실을 취득하고, 파워 반도체 모듈의 적어도 2개의 상이한 위치에 있어서 온도를 취득하고, 판단된 전력 손실 및 취득된 온도를 이용하여 파워 반도체 모듈의 적어도 2개의 상이한 위치 사이의 열 모델을 추정하고, 추정된 열 모델 및 기준 열 모델에 따라 손상 레벨 또는 수명 예측을 나타내는 통지가 행해져야 하는지 여부를 판단하고, 판단하는 스텝에서 통지가 행해져야 한다고 판단하는 경우, 손상 레벨 및 손상 위치 또는 수명 예측을 통지한다.

대표도 - 도5



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

상이한 재료의 복수의 층으로 구성된 기판에 기계적으로, 열적으로, 또한 전기적으로 부착되는 적어도 하나의 다이를 포함하는 파워 반도체 모듈의 손상 레벨 또는 수명 예측을 추정하는 방법으로서,

상기 파워 반도체 모듈의 전력 손실을 취득하는 스텝과,

상기 파워 반도체 모듈의 적어도 2개의 상이한 위치에 있어서 온도를 취득하는 스텝과,

상기 판단된 전력 손실 및 상기 취득된 온도를 이용하여 상기 파워 반도체 모듈의 상기 적어도 2개의 상이한 위치 사이의 열 모델을 추정하는 스텝과,

상기 추정된 열 모델 및 기준 열 모델에 따라 상기 손상 레벨 또는 상기 수명 예측을 나타내는 통지가 행해져야 하는지 여부를 판단하는 스텝과,

상기 판단하는 스텝에서 상기 통지가 행해져야 한다고 판단하는 경우, 상기 손상 레벨 및 손상 위치 또는 상기 수명 예측을 통지하는 스텝

을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 온도가 취득되는 상기 위치는 적어도 베이스 플레이트 및 적어도 하나의 다이의 교차점인 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 열 모델은 카우어(Cauer) 모델인 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 방법은 상기 파워 반도체 모듈의 상기 손상 레벨 또는 상기 수명 예측의 상기 추정이 행해지는 시점을 구하는 스텝을 더 포함하고,

상기 시점을 구하는 스텝은 주기적으로 행해지거나, 또는 상기 파워 반도체 모듈을 포함하는 제품이 턴 온이 될 때 행해지거나, 또는 이전에 구해진 수명 예측에 의존하는 가변 주기로 행해지거나, 또는 상기 파워 반도체 모듈에 의해 제공되는 전력이 갑자기 또는 온도에 따라 변화할 때 행해지는

것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 5

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전력 손실을 취득하는 스텝 및 온도를 취득하는 스텝은 정해진 기간 중에 반복적으로 행해지고

상기 방법은,

상기 정해진 기간 중에 취득된 상기 전력 손실이 상기 열 모델 추정에 적합한지 여부를 체크하는 스텝과,

상기 정해진 기간 중에 취득된 상기 전력 손실이 상기 열 모델 추정에 적합한 경우에만 상기 열 모델 추정을 실행하는 스텝

을 더 포함하는

것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 열 모델을 추정하는 스텝은,

추정 오차를 구하는 것과,

상기 추정 오차를 필터링하는 것과,

상기 추정 오차의 놈(norm)을 구하는 것과,

상기 추정 오차의 상기 놈을 최소화하는 파라미터 벡터를 선택하는 것에 의해 상기 열 모델의 값을 포함하는 상기 파라미터 벡터를 구하는 것

에 의해 행해지는 것

을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 7

제 1 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기준 모델은 상기 파워 반도체 모듈의 작동 중에 또는 상기 파워 반도체 모듈의 상기 수명의 개시 시의 초기 식별에 의해 구해지는 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 추정된 열 모델 및 상기 기준 열 모델에 따라 상기 손상 레벨 또는 상기 수명 예측을 나타내는 통지가 행해져야 하는지 여부를 판단하는 스텝은,

상기 기준 파라미터 값과 상기 구해진 파라미터 값의 사이의 상기 오차를 평가하는 것과,

상기 오차를 필터링하는 것과,

상기 필터링된 오차를 상기 기준 모델의 값으로부터의 편차를 위한 기준인 하나 또는 몇몇의 거리로 변환하는 것

에 의해 행해지는 것

을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 거리는 외삽된 거리가 임계치와 동일한 시간을 정의하기 위해 외삽되는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 10**

상이한 재료의 복수의 층으로 구성된 기관에 기계적으로, 열적으로, 또한 전기적으로 부착되는 적어도 하나의 다이를 포함하는 파워 반도체 모듈의 손상 레벨 또는 수명 예측을 추정하는 디바이스로서,

상기 파워 반도체 모듈의 전력 손실을 취득하는 수단과,

상기 파워 반도체 모듈의 적어도 2개의 상이한 위치에 있어서 온도를 취득하는 수단과,

상기 판단된 전력 손실 및 상기 취득된 온도를 이용하여 상기 파워 반도체 모듈의 상기 적어도 2개의 상이한 위치 사이의 열 모델을 추정하는 수단과,

상기 추정된 열 모델 및 기준 열 모델에 따라 상기 손상 레벨 또는 상기 수명 예측을 나타내는 통지가 행해져야 하는지 여부를 판단하는 수단과,

상기 판단하는 스텝에서 상기 통지가 행해져야 한다고 판단하는 경우, 상기 손상 레벨 및 손상 위치 또는 상기 수명 예측을 통지하는 수단

을 구비하는 것을 특징으로 하는 디바이스.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 일반적으로는 기계적으로, 열적으로, 또한 전기적으로 기관에 부착되는 적어도 하나의 다이(die)를 포함하는 파워 반도체 모듈의 손상 레벨 또는 수명 예측을 추정하는 방법 및 디바이스에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 파워 일렉트로닉스의 분야에 있어서, 몇몇의 구성요소는 취약하다고 알려져 있고, 파워 반도체 모듈이 그 중 하나이다.

[0003] 파워 반도체 모듈에 있어서, 하나 또는 몇몇의 파워 반도체 다이는 기계적으로, 열적으로, 또한 전기적으로 기관에 부착된다. 예컨대, 실리콘, 탄화규소, 질화갈륨, 뿔납, 소성용 페이스트, 구리, 세라믹, 알루미늄과 같은 구조 내의 상이한 재료 사이의 열팽창의 불일치에 기인하여, 기계적 응력이 생긴다. 기계적 응력은, 예컨대, 재료 및/또는 계면의 크랙, 보이드, 박리와 같이 파워 반도체 모듈의 구조에 영향을 미칠 수 있고, 파워 반도체 모듈의 고장으로 이어질 수 있다.

[0004] 예컨대, 전기 자동차에 있어서 전기 어셈블리가 이용될 때, 어느 차량에서 전기 어셈블리가 중대한 손상 레벨에 이르렀는지를 특정하는 것이 중요하다. 제조업자는 고객에게 경고하고, 손상을 받을 것 같은 전기 어셈블리의 제어/교환을 제안할 수 있다. 이 서비스는 차량군에 대한 개선된 품질 제어를 제공한다.

[0005] 유지보수 비용이 매우 높고, 액세스가 제한되어 있는 해안의 풍차군에 대해서도 마찬가지이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 본 발명은 제조업자 및/또는 고객을 위한 중요한 기능인 전기 어셈블리의 손상 레벨의 추정을 목표로 한다.

**과제의 해결 수단**

[0007] 이 때문에, 본 발명은 상이한 재료의 복수의 층으로 구성된 기관에 기계적으로, 열적으로, 또한 전기적으로 부착되는 적어도 하나의 다이를 포함하는 파워 반도체 모듈의 손상 레벨 또는 수명 예측을 추정하는 방법에 관한 것으로, 상기 방법은 상기 파워 반도체 모듈의 전력 손실을 취득하는 스텝과, 상기 파워 반도체 모듈의 적어도

2개의 상이한 위치에 있어서 온도를 취득하는 스텝과, 상기 판단된 전력 손실 및 상기 취득된 온도를 이용하여 상기 파워 반도체 모듈의 상기 적어도 2개의 상이한 위치 사이의 열 모델을 추정하는 스텝과, 상기 추정된 열 모델 및 기준 열 모델에 따라 상기 손상 레벨 또는 상기 수명 예측을 나타내는 통지가 행해져야 하는지 여부를 판단하는 스텝과, 상기 판단하는 스텝에서 상기 통지가 행해져야 한다고 판단하는 경우, 상기 손상 레벨 및 손상 위치 또는 상기 수명 예측을 통지하는 스텝을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0008] 본 발명은 또한 상이한 재료의 복수의 층으로 구성된 기관에 기계적으로, 열적으로, 또한 전기적으로 부착되는 적어도 하나의 다이를 포함하는 파워 반도체 모듈의 손상 레벨 또는 수명 예측을 추정하는 디바이스에 관한 것으로, 상기 디바이스는 상기 파워 반도체 모듈의 전력 손실을 취득하는 수단과, 상기 파워 반도체 모듈의 적어도 2개의 상이한 위치에 있어서 온도를 취득하는 수단과, 상기 판단된 전력 손실 및 상기 취득된 온도를 이용하여 상기 파워 반도체 모듈의 상기 적어도 2개의 상이한 위치 사이의 열 모델을 추정하는 수단과, 상기 추정된 열 모델 및 기준 열 모델에 따라 상기 손상 레벨 또는 상기 수명 예측을 나타내는 통지가 행해져야 하는지 여부를 판단하는 수단과, 상기 판단하는 스텝에서 상기 통지가 행해져야 한다고 판단하는 경우, 상기 손상 레벨 및 손상 위치 또는 상기 수명 예측을 통지하는 수단을 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 따라서, 열 모델의 동적 갱신에 근거하여 온라인 열화 위치 특징으로 건전 상태를 추정하는 것에 의해, 제조업자 및/또는 고객을 위한 중요한 기능을 제공하고, 한정된 양의 센서를 필요로 하는 것에 의해 이 기능의 비용을 낮게 유지하는 것을 가능하게 한다. 또한, 동적 갱신은 파워 반도체 모듈의 통상 동작 중에 최대량의 정보를 얻는 것을 가능하게 하고, 그것에 의해, 손상이 특정 및 정량화될 수 있을 뿐만 아니라, 파워 반도체 모듈에 있어서의 그 위치 특정도 결정될 수 있다.

[0010] 실제로, 제품이 건인 용도에 응용되는 파워 반도체 모듈일 때, 어느 열차에 있어서 파워 반도체 모듈이 중대한 손상 레벨에 이르렀는지를 특징하는 것에 의해, 고객은 경고를 받을 수 있고, 손상을 받을 것 같은 파워 반도체 모듈의 제어/교환이 실시될 수 있다. 이 서비스는 열차군을 위한 개선된 품질의 제어를 제공한다. 다른 예는 유지보수 비용이 매우 높은 해안의 풍차군이다. 파워 반도체 모듈 내의 상이한 위치 특징에 있어서 손상 레벨을 특징하는 것에 의해, 유지보수 동작이 적용될 수 있고, 또한/또는 보다 정확한 정보가 차세대 파워 반도체 모듈의 설계를 위해 제조자에게 피드백될 수 있다.

[0011] 특정한 특징에 따르면, 상기 온도가 취득되는 상기 위치는 적어도 베이스 플레이트 및 적어도 하나의 다이의 교차점이다.

[0012] 따라서, 다이와 베이스 플레이트의 사이의 계면층에 있어서의 열화가 검출될 수 있다. 또한, 교차점 온도는 다이의 열 검지 전기 파라미터(TSEP : Thermal Sensitive Electrical Parameter)를 이용하여 낮은 비용으로 측정될 수 있다. 또한, 베이스 플레이트 온도는 저렴한 센서를 이용하여 측정될 수 있다.

[0013] 특정한 특징에 따르면, 상기 열 모델은 카우어(Cauer) 모델이다.

[0014] 따라서, 열화의 위치가 특정될 수 있다. 카우어 열 모델의 파라미터는 파워 모듈 어셈블리의 상이한 층의 열저항 및 열용량을 나타낼 수 있으므로, 이들 파라미터 중 하나 또는 몇몇의 변경에 의해 대응하는 층의 열화가 나타내어진다.

[0015] 특정한 특징에 따르면, 상기 방법은 상기 파워 반도체 모듈의 상기 손상 레벨 또는 상기 수명 예측의 상기 추정이 행해지는 시점을 구하는 스텝을 더 포함하고, 상기 시점을 구하는 스텝은 주기적으로 행해지거나 또는 상기 파워 반도체 모듈을 포함하는 제품이 턴 온이 될 때 행해지거나, 또는 이전에 구해진 수명 예측에 의존하는 가변 주기로 행해지거나 또는 상기 파워 반도체 모듈에 의해 제공되는 전력이 갑자기 변화하거나 또는 온도에 따라 변화할 때 행해진다.

[0016] 따라서, 가장 필요한 때에, 보다 높은 정확도 및 보다 낮은 처리 비용으로, 손상 레벨의 추정이 실시될 수 있다.

[0017] 특정한 특징에 따르면, 상기 전력 손실을 취득하는 스텝 및 온도를 취득하는 스텝은 정해진 기간 중에 반복적으로 행해지고, 상기 방법은 상기 정해진 기간 중에 취득된 상기 전력 손실이 상기 열 모델 추정에 적합한지 여부를 체크하는 스텝과, 상기 정해진 기간 중에 취득된 상기 전력 손실이 상기 열 모델 추정에 적합한 경우에만 상기 열 모델 추정을 실행하는 스텝을 더 포함한다.

[0018] 따라서, 열 모델은 보다 높은 충실도로 추정되고, 손상 레벨의 추정은 보다 높은 정확도로 행해진다.

[0019] 특정한 특징에 따르면, 상기 열 모델을 추정하는 스텝은 추정 오차를 구하는 것과, 상기 추정 오차를 필터링하

는 것과, 상기 추정 오차의 놈(norm)을 구하는 것과, 상기 추정 오차의 상기 놈을 최소화하는 파라미터 벡터를 선택하는 것에 의해 상기 열 모델의 값을 포함하는 상기 파라미터 벡터를 구하는 것에 의해 행해진다.

- [0020] 따라서, 열 모델의 파라미터는 높은 정확도로 특정될 수 있다.
- [0021] 특정한 특징에 따르면, 상기 기준 모델은 상기 파워 반도체 모듈의 작동 중에 또는 상기 파워 반도체 모듈의 상기 수명의 개시 시의 초기 식별에 의해 구해진다.
- [0022] 따라서, 기준 열 모델은 관련된 파워 반도체 모듈에 고유하고, 파워 반도체 모듈 사이의 제조 프로세스의 차이는 손상 레벨의 추정의 정확도에 영향을 주지 않는다.
- [0023] 특정한 특징에 따르면, 상기 추정된 열 모델 및 상기 기준 열 모델에 따라 상기 손상 레벨 또는 상기 수명 예측을 나타내는 통지가 행해져야 하는지 여부를 판단하는 스텝은 상기 기준 파라미터 값과 상기 구해진 파라미터 값의 사이의 상기 오차를 평가하는 것과, 상기 오차를 필터링하는 것과, 상기 필터링된 오차를 상기 기준 모델의 값으로부터의 편차를 위한 기준인 하나 또는 몇몇의 거리로 변환하는 것에 의해 행해진다.
- [0024] 따라서, 파워 반도체 모듈의 열화는 높은 정확도 및 충실도로 검출될 수 있고, 열화의 위치가 특정될 수 있다.
- [0025] 특정한 특징에 따르면, 상기 거리는 외삽된 거리가 임계치와 동일한 시간을 정의하기 위해 외삽된다.
- [0026] 따라서, 파워 반도체 모듈의 잔여 유효 수명이 예측될 수 있고, 파워 반도체 모듈은, 보다 낮은 비용으로, 고장 전에 교환될 수 있다(적시(just-in time) 유지보수). 또한, 보다 높은 레벨의 안전성이 확보된다.
- [0027] 특정한 특징에 따르면, 파워 반도체 모듈의 손상 레벨 또는 파워 반도체 모듈의 수명 예측이 통지된다.
- [0028] 따라서, 파워 반도체 모듈의 유저는 보다 낮은 비용으로 파워 반도체 모듈을 교환하는 조치를 취할 수 있고, 이 때문에, 수명 주기 비용을 감소시킬 수 있다. 그리고, 파워 반도체 모듈의 유저는 파워 반도체 모듈의 노후화를 제한하는 조치를 취할 수 있고, 이 때문에, 그 수명을 증가시킬 수 있다. 파워 반도체 모듈의 제조자는 파워 반도체 모듈의 차세대를 개선하기 위한 조치를 취할 수 있다.
- [0029] 본 발명의 특징은 예시의 실시 형태의 이하의 설명을 읽는 것에 의해 보다 분명히 드러날 것이고, 이 설명은 첨부한 도면에 관하여 작성된 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- [0030] 도 1은 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 손상 평가를 구하는 시스템의 아키텍처의 예를 나타낸다.
- 도 2는 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 아키텍처의 예를 나타낸다.
- 도 3은 파워 반도체 모듈의 열 모델의 예를 나타낸다.
- 도 4는 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 손상 레벨을 추정하는 디바이스의 예를 나타낸다.
- 도 5는 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 손상 평가 레벨을 구하는 알고리즘의 예를 나타낸다.
- 도 6(a)는 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 손상 레벨을 추정하는 디바이스에 의해 이용되는 데이터를 나타낸다.
- 도 6(b)는 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 손상 레벨을 추정하는 디바이스에 의해 이용되는 데이터를 나타낸다.
- 도 6(c)는 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 손상 레벨을 추정하는 디바이스에 의해 이용되는 데이터를 나타낸다.
- 도 7은 파워 반도체 모듈의 열 모델의 주파수 응답의 예를 나타낸다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0031] 도 1은 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 손상 평가를 구하는 시스템의 아키텍처의 예를 나타낸다.
- [0032] 파워 반도체 모듈의 손상 평가를 구하는 시스템은 예컨대 전기 자동차 또는 열차 또는 해안의 풍차에 있어서 구현된다.
- [0033] 손상 평가 디바이스(20)는 적어도 하나의 파워 반도체 모듈의 손상 레벨을 구하기 위해 이용된다.

- [0034] 도 1의 예에 있어서, 손상 평가 디바이스(20)는 파워 반도체 모듈(10)의 손상 레벨을 구하기 위해 이용된다.
- [0035] 손상 평가 디바이스(20)는 하나 이상의 파워 반도체 다이를 포함하는 파워 반도체 모듈(10)의 건전 상태를 평가한다. 손상 평가 디바이스(20)는 열 모델의 동적 갱신에 근거하여 온라인 열화 위치 특정을 행한다. 다시 말해서, 파워 반도체 모듈(10)의 열 모델은 실시간으로 갱신되고, 모델의 진화는 파워 반도체 모듈(10) 내의 구조 변화의 지표로서 이용된다. 열 모델은 파워 반도체 모듈(10)에 있어서의 전력 손실  $P_{loss}$ , 베이스 플레이트 온도  $T_{BP}$ 와 같은 파워 반도체 모듈(10) 내의 적어도 하나의 위치에 있어서의 온도를 입력으로서 갖고, 파워 반도체 모듈(10)의 하나의 다이와 같은 적어도 하나의 다른 위치에 있어서의 온도  $T_J$ 를 출력으로서 갖는 전달 함수이다. 열 모델은 온라인 동작 중에 갱신된다.
- [0036] 손상 평가 디바이스(20)는 파워 반도체 모듈(10)에 있어서의 전력 손실의 레벨을 평가하기 위해 예컨대 파워 반도체 모듈(10)의 입력 전력 및 출력 전력과 같은 다른 파라미터를 이용할 수 있다.
- [0037] 본 발명에 따르면, 손상 평가 디바이스(20)는 파워 반도체 모듈의 전력 손실을 취득하고, 파워 반도체 모듈의 적어도 2개의 상이한 위치에 있어서 온도를 취득하고, 판단된 전력 손실 및 취득된 온도를 이용하여 파워 반도체 모듈의 적어도 2개의 상이한 위치 사이의 열 모델을 추정하고, 추정된 열 모델 및 기준 열 모델에 따라 손상 레벨 또는 수명 예측을 나타내는 통지가 행해져야 하는지 여부를 판단하고, 판단하는 스텝에서 통지가 행해져야 한다고 판단하는 경우, 손상 레벨 또는 수명 예측을 통지한다.
- [0038] 도 2는 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 아키텍처의 예를 나타낸다.
- [0039] 파워 반도체 모듈(10)은 100a 및 100b로 나타내어지는 2개의 다이를 포함한다. 다이(100a)는 뿔납층(101a)을 통해서 구리층(102a)에, 그리고 와이어 본드(103a)를 통해서 다른 구리층(102c)에 접속된다. 다이(100b)는 뿔납층(101b)을 통해서 구리층(102b)에, 그리고 와이어 본드(103b)를 통해서 다른 구리층(102a)에 접속된다. 구리층(102)은 예컨대 세라믹 기판과 같은 기판(104) 상에 있다.
- [0040] 구리층(105)은 기판(104)의 바닥에 있다. 구리층(102, 105) 및 기판(104)은 다이렉트 본드 구리(DBC : Direct Bonded Copper)를 형성한다.
- [0041] DBC는 열계면(108)을 통해서 히트 싱크(109)에 고정되는 베이스 플레이트(107) 상에 납땜된다.
- [0042] 온도 센서(111)는 베이스 플레이트(107) 상에 고정되고, 온도  $T_{BP}$ 를 제공한다.
- [0043] 도 3은 파워 반도체 모듈의 열 모델의 예를 나타낸다.
- [0044] 열 모델은 예컨대 카우어 네트워크에 의해 나타내어지고, 완전하게 열 과도 응답에 근거하여 식별된다.
- [0045] 도 3에 나타내는 열 모델은 저항  $R_D$ ,  $R_C$ ,  $R_B$ ,  $R_H$ , 3개의 커패시터  $C_{DC}$ ,  $C_{CB}$ ,  $C_{BH}$ , 전압 발생기  $T_{AMB}$  및 전류 발생기  $P_{LOSS}$ 로 구성된다.
- [0046] 저항  $R_D$ 는 다이(100)의 열저항을 나타내고, 저항  $R_C$ 는 세라믹 기판의 열저항을 나타내고, 저항  $R_B$ 는 베이스 플레이트(107)의 열저항을 나타내고, 저항  $R_H$ 는 히트 싱크의 열저항을 나타낸다.
- [0047] 커패시터  $C_{DC}$ 는 다이의 열용량을 나타내고, 커패시터  $C_{CB}$ 는 세라믹 기판의 열용량을 나타내고, 커패시터  $C_{BH}$ 는 베이스 플레이트의 열용량을 나타낸다.
- [0048] 도 4는 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 손상 레벨을 추정하는 디바이스의 예를 나타낸다.
- [0049] 손상 평가 디바이스(20)는, 예컨대, 버스(401)에 의해 서로 접속된 컴포넌트와 도 5에 개시되는 프로그램에 의해 제어되는 프로세서(400)에 근거하는 아키텍처를 갖는다.
- [0050] 버스(401)는 프로세서(400)를 읽기 전용 메모리 ROM(402), 랜덤 액세스 메모리 RAM(403), 입력 출력 인터페이스 I/O IF(405) 및 통지 수단(407)에 링크한다.
- [0051] RAM(403)은 변수 및 도 5에 개시되는 알고리즘에 관련한 프로그램의 명령을 수용하도록 의도된 레지스터를 포함한다.
- [0052] 프로세서(400)는 I/O IF(405)를 통해서, 예컨대 파워 반도체 모듈(10)의 입력 및 출력에 있어서 검지되는 온도, 전력을 수신한다.

- [0053] 프로세서(400)는 파워 반도체 모듈(10)의 손상 레벨을 통지하기 위해 통지 수단(407)에 명령할 수 있거나 또는 파워 반도체 모듈(10)의 수명 예측을 통지하기 위해 통지 수단(407)에 명령할 수 있다.
- [0054] 읽기 전용 메모리, 또는 경우에 따라서 플래시 메모리(402)는 도 5에 개시되는 알고리즘에 관련한 프로그램의 명령을 포함하고, 이러한 명령은 손상 평가 디바이스(20)에 전원이 투입되면, RAM(403)에 전송된다.
- [0055] 손상 평가 디바이스(20)는 PC(퍼스널 컴퓨터), DSP(디지털 신호 프로세서) 또는 마이크로컨트롤러 등의 프로그래머블 컴퓨팅 머신에 의한 한 세트의 명령 또는 프로그램의 실행에 의해 소프트웨어로 구현될 수 있고, 그 이외에 FPGA(필드 프로그래머블 게이트 어레이) 또는 ASIC(응용 주문형 집적 회로) 등의 머신 또는 전용 컴포넌트에 의해 하드웨어로 구현될 수 있다.
- [0056] 다시 말해서, 손상 평가 디바이스(20)는 도 5에 개시되는 알고리즘에 관련한 프로그램을 손상 평가 디바이스(20)가 실행하게 하는 회로 또는 회로를 포함하는 디바이스를 구비한다.
- [0057] 도 5는 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 손상 평가 레벨을 구하는 알고리즘의 예를 나타낸다.
- [0058] 본 알고리즘은 프로세서(400)에 의해 실행되는 예에 있어서 개시된다.
- [0059] 스텝 S500에 있어서, 프로세서(400)는 파워 반도체 모듈(10)의 손상 평가 레벨을 평가하는 시간인지 여부를 체크한다.
- [0060] 열 모델은 시간과 함께 서서히 변화하기 때문에, 평가는 이산된(discrete) 시점에 행해진다. 예컨대, 그 시점은 고정된 시간 간격으로, 예컨대, 매일, 매주, 또는 매월, 또는 고정된 주기 간격으로, 예컨대 연속 동작의 1일 후에 선택될 수 있다.
- [0061] 예컨대, 시점은 예컨대 파워 반도체 모듈이 열차 또는 자동차에 매립되는 경우에는 각 출발 전에, 파워 반도체 모듈(10)을 포함하는 제품이 턴 온이 될 때 또는 턴 오프가 될 때에 선택될 수 있다.
- [0062] 예컨대, 시점은 파워 반도체 모듈(10)의 건전 상태의 추정에 의해 정의되는 간격으로 선택될 수 있고, 그것에 의해, 파워 반도체 모듈(10)이 수명의 종료에 다가가면, 평가는 보다 빈번하게 행해진다.
- [0063] 예컨대, 시점은 전력 손실 신호가 큰 주파수 성분을 나타내도록 부하 전류가 급격하게 변화하는 시점, 예컨대 열차 용도에 있어서의 가속 단계의 종료에 대응하는, 부하 전류가 어느 특정한 값으로부터 제로로 변화되는 시점에 선택될 수 있다.
- [0064] 열저항 및 열용량이 온도에 의존하는 것에 의해 열 모델은 온도와 함께 변화하기 때문에, 시점은 파워 반도체 모듈(10) 내의 주위 온도 및 추정 온도에 근거하여 선택될 수 있다.
- [0065] 파워 반도체 모듈(20)의 손상 평가 레벨을 평가하는 시간인 경우, 프로세서(400)는, 스텝 S501로 진행한다. 그렇지 않은 경우, 프로세서(400)는, 스텝 S500으로 돌아간다.
- [0066] 스텝 S501에 있어서, 프로세서(400)는 측정치를 취득하기 위해 I/O IF(405)에 명령한다.
- [0067] 프로세서(400)는 다이 온도  $T_j$ 와 같은 파워 반도체 모듈(10)에 있어서의 적어도 하나의 위치에 있어서 온도를 취득하고, 파워 반도체 모듈(10)의 베이스 플레이트와 같은 적어도 하나의 다른 위치에 있어서 온도  $T_{bp}$ 를 취득한다.
- [0068] 하나의 위치는 통상적으로 다이의 근처, 예컨대 다이 자체의 가상 교차점 온도일 수 있고, 다른 위치는 통상적으로 다이로부터 먼 곳, 예컨대 기판 위, 베이스 플레이트 위 또는 히트 싱크 위일 수 있다. 열 모델은 이들 2개의 위치 사이의 전력 어셈블리 구조에 대하여 유효하다.
- [0069] 다이 자체 내의, 통상적으로는 가상 교차점에 있어서의 온도 측정은 NTC 센서 등의 전용 센서 또는 다이의 표면에 위치한 하나 또는 몇몇의 다이오드에 의해 행해질 수 있거나, 또는 게이트 임계치 전압  $V_{th}$ , 게이트 전하가 온으로 되는 기간, 피크 게이트 전류  $I_{gp}$  또는 임의의 다른 온도 의존 전기 파라미터 등의 다이 자체의 온도 감지 전기 파라미터(TSEP)를 측정하는 것에 의해 행해질 수 있다. 바이폴라 반도체의 경우의 콜렉터 이미터 간 전압( $V_{ce}$ ), 유니폴라 반도체의 경우의 드레인 소스 간 전압( $V_{ds}$ )을 이용한 높은 전류에서의 온도 추정, 온도 추정은 전기 경로의 전위 저하에 의해 바이어스될 수 있고, 측정은 교차점 온도만을 고려하도록 보상되어야 한다.
- [0070] 다른 위치의 온도 측정은 통상적으로 NTC 센서등의 전용 센서로 행해진다.

- [0071] 다음의 스텝 S502에 있어서, 프로세서(400)는 파워 반도체 모듈(10)의 전력 손실 Ploss를 구한다.
- [0072] 전력 손실 Ploss는 스위칭 손실과 도전 손실의 합이다. 예컨대, 도전 손실은, 바이폴러 트랜지스터의 경우, 트랜지스터 도전 중의  $V_{ce} \cdot I_{ce}$ 와 동일하다.  $V_{ce}$ 는 트랜지스터의 콜렉터와 이미터의 사이의 전압이고,  $I_{ce}$ 는 도전 중에 콜렉터 및 이미터를 통과하는 전류이다.
- [0073] 예컨대, 스위칭 기간 중의 스위칭 손실은 다이 스위칭 주파수와 턴 오프 에너지 손실 및 턴 온 에너지 손실의 합의 곱이다.
- [0074]  $V_{ce}$ ,  $I_{ce}$ 가 측정될 수 있거나, 또는 파워 반도체 모듈(10)의 입력 전력과 출력 전력의 사이의 차이가 계산된다.
- [0075] 전력 손실은 예컨대 부하 전류, DC 전압, 도전 중의 콜렉터 이미터 간 전압, 교차점 온도를 측정하는 것에 의해 구해질 수 있다.
- [0076] 전력 손실은 예컨대 갱신된 열 모델에 의해 추정되는 교차점 온도 등의 데이터를 추정하는 것에 의해 구해질 수 있다. 다른 실시 형태에서는, 전력 손실 계산을 위해 이용되는 교차점 온도는 열 모델의 추정을 이용하는 필터로 보정된 측정 온도이다.
- [0077] 전력 손실은 예컨대 소정의 조건으로 파워 반도체 모듈을 동작시키는 것에 의해 구해질 수 있다. 예컨대 주파수는 통상적으로 미리 결정된 조건인 파라미터이다.
- [0078] 전력 손실은, 예컨대 록업 테이블, 예컨대 전압 및 전류의 함수로서의 스위칭 에너지 손실의 록업 테이블에 있어서 이용 가능한 데이터를 이용하여 구해질 수 있다. 이들 록업 테이블은 ROM(402)에 기억된다.
- [0079] 다음의 스텝 S503에 있어서, 프로세서(500)는 스텝 S501 및 S502의 결과를 기억한다.
- [0080] 다음의 스텝 S504에 있어서, 프로세서(400)는 데이터 수집 스텝을 중단하는 시간인지 여부를 판단한다.
- [0081] 데이터 수집 스텝은 통상적으로 1분을 넘는, 열 모델의 가장 저속의 시정수를 넘는 기간을 갖는다.
- [0082] 데이터 수집 스텝을 중단하는 시간인 경우, 프로세서(400)는 스텝 S505로 진행한다. 그렇지 않은 경우, 프로세서(400)는, 스텝 S501로 돌아간다.
- [0083] 스텝 S505에 있어서, 프로세서는 스텝 S503에서 기억된 메모리에 있어서의 데이터를 읽는다.
- [0084] 스텝 S506에 있어서, 프로세서(500)는 수집된 데이터가 열 모델의 갱신에 적합한지 여부를 체크한다. 예컨대, 전력 손실 신호의 주파수 성분은 이산 푸리에 변환으로 평가될 수 있다. 주파수 성분이 복수의 주파수를 포함하는 경우, 수집되는 데이터는 열 모델을 갱신하는데 적합하다. 다른 예에 있어서, 전력 손실 변동의 진폭이 평가된다. 진폭 변동이 큰(important) 경우, 예컨대, 진폭 변동이 최소치의 10배인 경우, 수집되는 데이터는 열 모델을 갱신하는데 적합하다.
- [0085] 수집되는 데이터의 예는 도 6(a), 도 6(b), 도 6(c)에 개시된다.
- [0086] 도 6(a), 도 6(b), 도 6(c)는 본 발명에 따른 파워 반도체 모듈의 손상 레벨을 추정하는 디바이스에 의해 이용되는 데이터를 나타낸다.
- [0087] 도 6(a)는 수집 스텝 중의 속도 측정치를 나타낸다.
- [0088] 수평축은 초 단위로 표현되는 시간을 나타내고, 수직축은 제품의 시간당 킬로미터 단위의 속도를 나타내며, 즉 전기 자동차 EV는 파워 반도체 모듈의 손상 평가를 구하는 디바이스를 구비한다.
- [0089] 도 6(b)에 나타내는 바와 같이, 전기 자동차가 제동 또는 가속할 때, 전력 손실의 변동이 크다.
- [0090] 도 6(b)는 수집 스텝 중의 전력 손실 변동을 나타낸다.
- [0091] 수평축은 초 단위로 표현되는 시간을 나타내고, 수직축은 와트 단위로 표현되는 전력 손실을 나타낸다.
- [0092] 도 6(c)에 나타내는 바와 같이 전력 손실의 큰 변동은 측정 온도의 큰 변동을 발생시킨다.
- [0093] 도 6(c)는 수집 스텝 중의 온도 변동을 나타낸다.
- [0094] 수평축은 초 단위로 표현되는 시간을 나타내고, 수직축은 섭씨 단위로 표현되는 온도를 나타낸다.
- [0095] 60으로 나타내어지는 곡선은 다이 온도의 변동을 나타내고, 65로 나타내어지는 곡선은 베이스 플레이트 온도를

나타낸다.

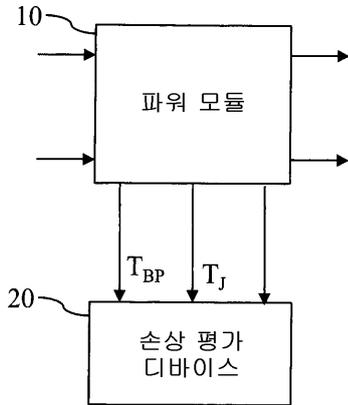
- [0096] 특정한 특징에 따르면, 그 스텝에 있어서, 프로세서(400)는 잡음을 제거하기 위해 데이터를 필터링한다. 예컨대, 프로세서(400)는 가우스 잡음에 최적인 칼만 필터를 이용한다. 필터링은 열 모델 상태를 예측하고 교차점 온도를 예측하기 위해 다른 위치에 있어서의 열 모델, 전력 손실, 및 온도에 관한 정보를 이용하여 행해진다. 열 모델 상태를 보정하고 교차점 온도의 보정된 값을 계산하기 위해 예측 교차점 온도가 측정 온도와 비교된다. 따라서, 측정된 교차점의 보정된 값은 원래의 데이터보다 잡음이 적다.
- [0097] 수집된 데이터가 열 모델의 갱신에 적합한 경우, 프로세서(400)는 스텝 S507로 진행한다. 그렇지 않은 경우, 프로세서(400)는 스텝 S511로 진행한다. 스텝 S511에 있어서, 프로세서(400)는 스텝 S503에 있어서 기억된 데이터를 삭제하고, 스텝 S500으로 진행한다.
- [0098] 스텝 S507에 있어서, 프로세서(400)는 이전에 필터링되었거나 또는 필터링되지 않은 데이터로부터 열 모델을 구한다.
- [0099] 열 모델은 이른바 포스터 모델 또는 이른바 카우어 모델, 또는 보다 일반적으로는, 입력  $X(t)$ 가 전력 손실  $P_{loss}(t)$  및 적어도 하나의 온도, 통상적으로 다이의 떨어진 위치의 온도이고, 출력이 추정치  $Y_{est}(t)$ 인 임의의 전달 함수이다.  $Y_{mes}(t)$ 는 교차점에 있어서의 또는 다이의 교차점과 떨어진 위치의 사이의 열경로 내의 계면에 있어서의 필터링되어 있거나 또는 필터링되어 있지 않은 적어도 하나의 측정 온도이다. 열 모델 구조  $M$ 은 예컨대 미리 정의된 수의 단계의 포스터 모델 또는 카우어 모델에 대응하는 어느 특정한 수의 극 및 제로에 의해 미리 정의된다. 열 모델 구조  $M(\theta)$ 는 파라미터 벡터  $\theta$ 를 이용하여 파라미터화된다. 파라미터는 미리 정의된 초기치를 갖고, 예컨대 열저항의 값, 열용량 또는 열시정수를 나타낼 수 있다. 통상적으로, 카우어 모델의 경우, 파라미터의 수를 저감하기 위해, 열용량은 일정한 미리 정의된 값일 수 있는 반면, 임계 계면의 열저항은 갱신될 수 있는 파라미터이다.
- [0100] 반도체 파워 모듈이 몇몇의 다이로 구성되는 경우, 본 방법은 다이 중 하나, 몇몇 또는 전부에 적용될 수 있다. 몇몇의 열 모델이 이용될 수 있거나, 또는 가능한 한 많은 입력 및 출력을 갖는 단일 열 모델이 이용될 수 있다. 반도체 파워 모듈의 잔여 수명은 가장 약한 다이의 건전 상태에 근거하여 검토된다.
- [0101] 도 7은 파워 반도체 모듈의 열 모델의 주파수 응답의 예를 나타낸다.
- [0102] 수평축은 주파수를 나타내고, 수직축은 진폭 및 위상을 나타낸다.
- [0103] 곡선(75, 70)은 각각 상이한 주파수에 있어서의 진폭 및 위상의 변동을 나타낸다.
- [0104] 열 모델은 복수의 극을 갖기 때문에, 주파수 응답은 파라미터  $\theta$ 가 상이한 가중치를 갖는 상이한 구역을 나타낸다. 적어도 신호의 가능한 한 많은 주파수 성분을 이용하는 것에 의해 모든 파라미터  $\theta$ 를 인출하는 것이 가능하다.
- [0105] 프로세서(400)는 최소 추정 오차  $\varepsilon(t, \theta) = Y_{mes}(t) - Y_{est}(t | \theta)$ 를 생성하는 파라미터 벡터  $\theta$ 를 구하는 것에 의해 열 모델을 갱신한다.
- [0106] 파라미터  $\theta$ 는 카우어 모델의 열저항 및 열커패시터의 상이한 값을 포함하는 벡터이다.
- [0107] 파라미터 벡터  $\theta$ 는 예컨대 최소 제곱법을 이용하여 구해질 수 있다. 이 특징을 행하기 위해 몇몇의 스텝이 필요하다.
- [0108] 프로세서(400)는 제 1 추정 오차  $\varepsilon(t, \theta)$ 를 구하고, 예컨대 안정된 선형 필터  $L(q) : \varepsilon_F(t, \theta) = L(q)\varepsilon(t, \theta)$ 를 이용하여 주파수 가중을 행하기 위해 추정 오차를 필터링하고, 예컨대 최소 평균 제곱 노  $V_N(\theta) = 1/N * \sum_{t=1:N} 1(\varepsilon_F(t, \theta))$ 와 같은 노를 결정하는데, 여기서,  $1(\cdot)$ 은 스칼라값(통상적으로 양의 함수)이고,  $N$ 은 데이터 샘플의 수이다. 프로세서(400)는,  $\theta' = \arg \min V_N(\theta)$ 의 최소화에 의해 갱신된  $\theta'$ 를 추정하는데, 여기서,  $\arg \min$ 은 함수의 최소화 인수이다.
- [0109] 예컨대, 프로세서(400)는 최대 우도법 등의 통계 방법을 이용하여 갱신된 파라미터 벡터  $\theta'$ 를 구하는 것에 의해 열 모델을 갱신한다. 다음의 스텝 S508에 있어서, 프로세서(400)는 스텝 S507에 있어서 취득된 열 모델을 해석한다.
- [0110] 일 실시 형태에 있어서, 프로세서(400)는 스텝 S507에 있어서 취득된 열 모델을 RAM(403)에 기억된 기준 열 모

텔과 비교한다.

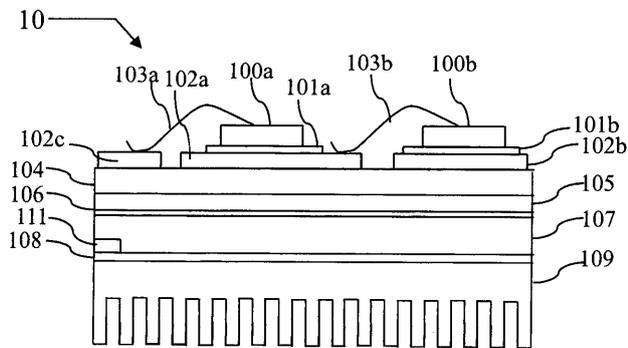
- [0111] 기준 열 모델은, 예컨대 파워 반도체 모듈의 작동 중에 또는 파워 반도체 모듈의 수명의 개시 시의 초기 식별에 의해 오프라인으로 정의될 수 있는 초기 열 모델이다.
- [0112] 열 모델의 파라미터의 갱신치는 정의 및 비교된다. 열 모델 비교는 열 모델의 시점  $t_0$ 에 있어서의 기준 파라미터 값  $\theta_{ref}$ 와 열 모델의 시점  $t$ 에 있어서의 갱신된 파라미터 값  $\theta(t)$ 의 사이의 오차, 즉  $err = \theta_{ref} - \theta(t)$ 를 평가하는 스텝과, 오차를 필터링하는 스텝과, 필터링된 오차를 하나 또는 몇몇의 거리로 변환하는 스텝을 포함한다. 예컨대, 하나의 거리는 하나의 고장 모드에 관한 정보를 제공한다. 통상적으로, 카우어 모델이 이용될 때, 파라미터는 물리적인 의미를 갖고, 하나의 파라미터는 예컨대 특정한 댐핑층의 열저항을 나타낼 수 있는데 비하여, 제 2 파라미터는 다른 층, 예컨대 세라믹 기판의 열저항을 나타낼 수 있다. 파라미터의 전개는 고장 모드들을 구별하기 위해 독립하여 검토된다.
- [0113] 다른 실시 형태에 있어서, 기준 열 모델 파라미터와 갱신된 열 모델 파라미터의 사이의 거리가 상이한 형태를 취할 수 있는 알고리즘에 의해 처리된다. 예컨대, 프로세서(400)는 거리와 임계치의 사이의 교점의 시간을 정의하기 위해 거리의 외삽을 행한다.
- [0114] 이 경우, 메모리에 기억된 구해진 거리의 이력이 이용된다. 예컨대, 구해진 거리의 선택이 이용된다. 구해진 거리의 선택의 전개는 거리의 통상의 전개의 모델에 적용될 수 있다.
- [0115] 통상적으로, 본 발명은 손상 레벨 및 손상 위치에 관한 추정을 이용하여 손상 전과 체인을 예측한다. 예컨대, 베이스 플레이트와 DBC의 사이의 열저항의 증가는 다이 부착에 있어서의 열응력을 증대시키고, 따라서, 그 노후화를 가속시킨다. 따라서, 본 발명은 모든 거리에 관한 정보에 근거하여 거리를 외삽한다.
- [0116] 예컨대, 파라미터가 신속히 전개되는 초기 "확립 단계"는 외삽으로부터 제거될 수 있다.
- [0117] 외삽은 파워 반도체 모듈의 손상 평가를 구하기 위한 모델에 근거한다. 모델은 물리적 또는 경험적일 수 있으며, 즉, 다른 시스템에 의해 제공되는 데이터로부터의 것일 수 있다.
- [0118] 모델은 기준 파워 반도체 모듈에 대한 파워 사이클 실험을 이용하여 미리 확립될 수 있다. 모델은 제품의 동작 중에 갱신될 수 있다.
- [0119] 예컨대, 프로세서(400)는 거리를 임계치와 비교하고, 거리 중 적어도 하나가 임계치보다 높은 경우, 프로세서(400)는 경고 또는 잔여 수명 추정을 생성하기 위해 스텝 S510으로 진행한다.
- [0120] 기준 모델로부터의 큰 편차는 반도체 파워 모듈의 구조 내에서 진전되고 있는 고장의 위치를 특정하기 위해 이용된다. 그 후, 이 정보는 외삽 모델에 적용된다. 따라서, 외삽 모델은 손상 전과 체인을 예측할 수 있다. 외삽 모델은 파워 사이클 시험을 통해서 기준 파워 모듈로부터 미리 확립될 수 있다.
- [0121] 따라서, 고장 전과 우도 및 잔여 수명은 보다 높은 정확도로 추정된다.
- [0122] 스텝 S510에 있어서, 프로세서(400)는 파워 반도체 모듈(10)의 손상 레벨을 통지하기 위해 통지 수단(407)에 명령하거나 또는 파워 반도체 모듈(10)의 수명 예측을 통지하기 위해 통지 수단(407)에 명령할 수 있다.
- [0123] 통지는 유저 또는 제품의 주요 컨트롤러에 송신될 수 있는 전기 신호의 형태를 취할 수 있다. 이 전기 신호는 고장의 출현, 또는 고장 전의 남은 시간에 관한 정보를 제공한다.
- [0124] 당연히, 본 발명의 범위로 부터 벗어나는 일 없이 상술한 본 발명의 실시 형태에 대하여 많은 변경이 이루어질 수 있다.

도면

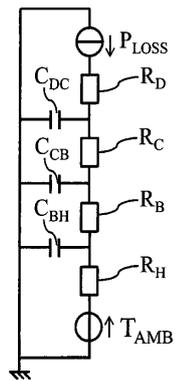
도면1



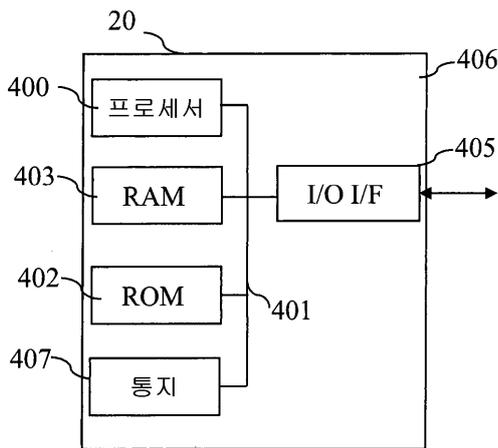
도면2



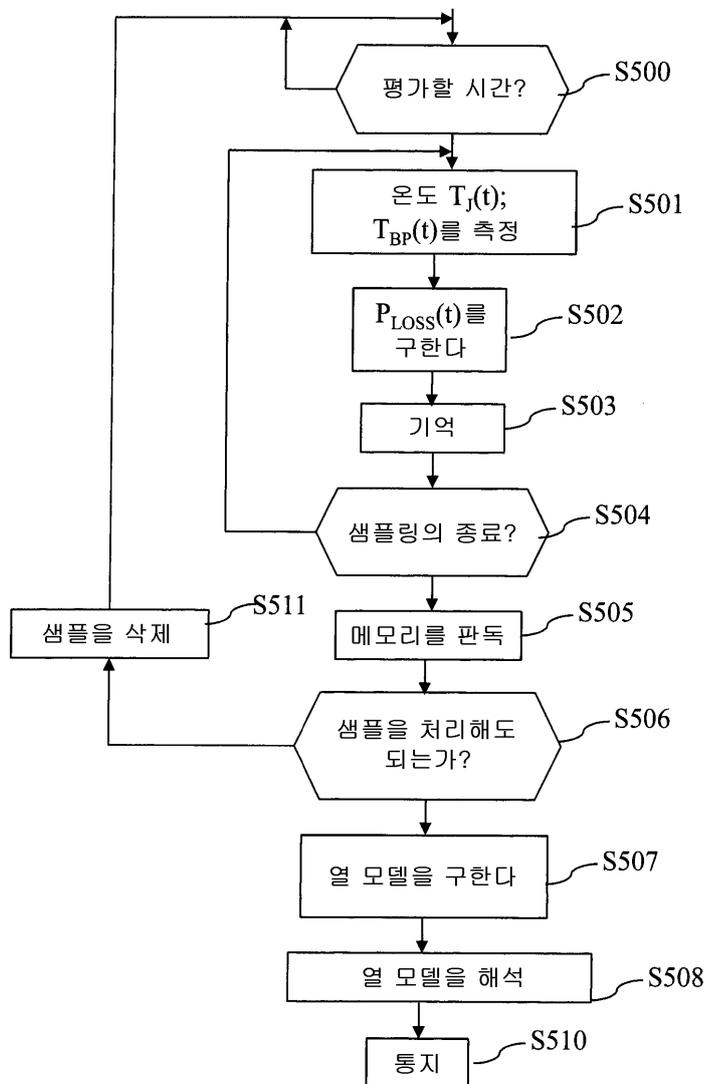
도면3



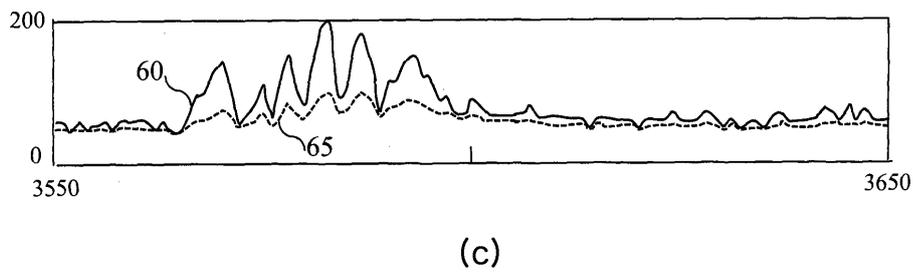
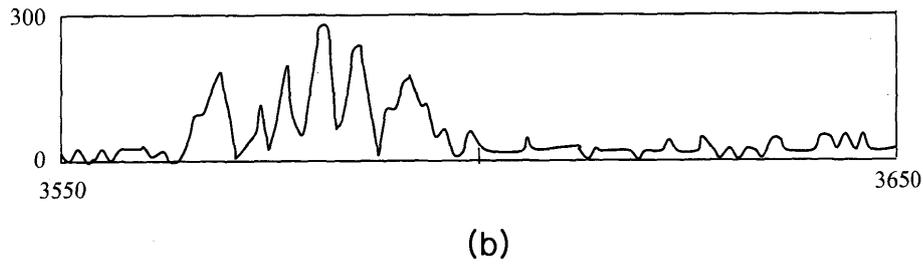
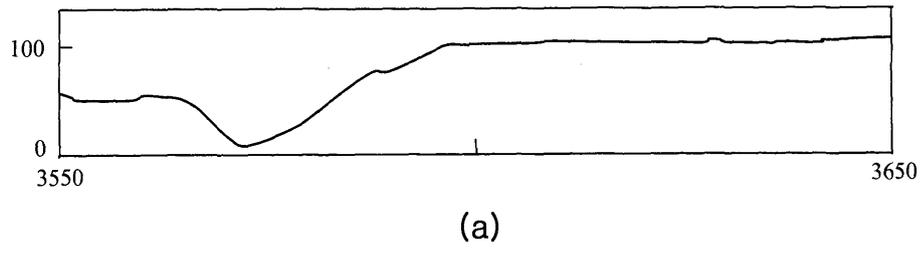
도면4



도면5



도면6



도면7

