



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0019936
(43) 공개일자 2015년02월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01R 31/04 (2006.01) G01R 27/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0097422

(22) 출원일자 2013년08월16일

심사청구일자 2013년08월16일

(71) 출원인

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

정현용

서울특별시 강남구 삼성로 151 선경아파트 10동 206호

(74) 대리인

특허법인명인

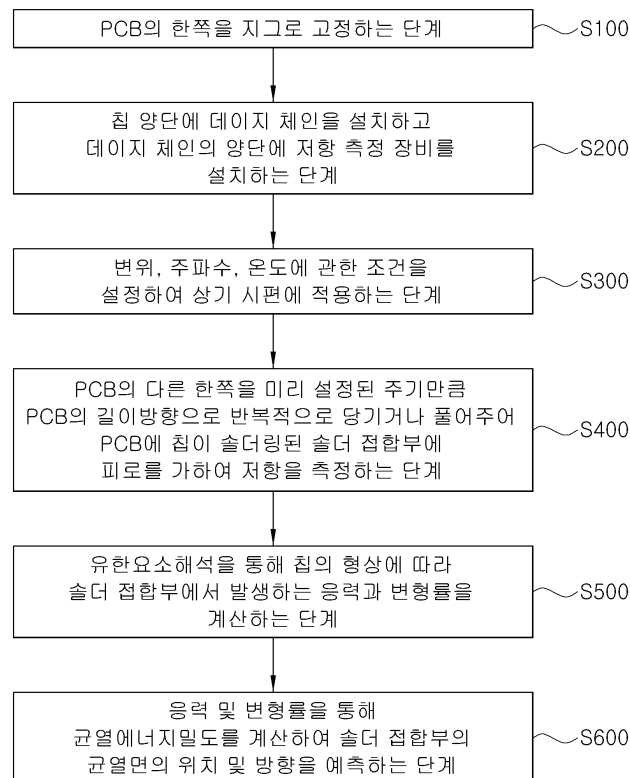
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법

(57) 요약

본 발명의 한 실시예에 따른 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법은 칩이 PCB위에 솔더링(soldering)되어있는 시편에 적용되는 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법으로서, 상기 PCB의 한쪽을 지그(jig)로 고정하는 단계, 상기 칩 양단에 데이지 체인(daisy chain)을 설치하고 상기 데이지 체인의 양단에 저항 측정 장 (뒷면에 계속)

대표도 - 도1



비를 설치하는 단계, 변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 설정하여 상기 시편에 적용하는 단계, 상기 PCB의 다른 한쪽을 미리 설정된 주기만큼 상기 PCB의 길이방향으로 반복적으로 당기거나 풀어주어 상기 PCB에 상기 칩이 솔더링된 솔더 접합부에 피로를 가하여 저항을 측정하는 단계, 유한요소해석(FEM : Finite Elements Method)을 통해 상기 칩의 형상에 따라 상기 솔더 접합부에서 발생하는 응력과 변형률을 계산하는 단계, 그리고 상기 응력 및 상기 변형률을 통해 균열에너지밀도(CED : Cracking Energy Density)를 계산하여 상기 솔더 접합부의 균열면의 위치 및 방향을 예측하는 단계를 포함한다.

특허청구의 범위

청구항 1

칩이 PCB위에 솔더링(soldering) 되어있는 시편에 적용되는 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법으로,

상기 PCB의 한쪽을 지그(jig)로 고정하는 단계,

상기 칩 양단에 테이지 체인(daisy chain)을 설치하고 상기 테이지 체인의 양단에 저항 측정 장비를 설치하는 단계,

변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 설정하여 상기 시편에 적용하는 단계,

상기 PCB의 다른 한쪽을 미리 설정된 주기만큼 상기 PCB의 길이방향으로 반복적으로 당기거나 풀어주어 상기 PCB에 상기 칩이 솔더링된 솔더 접합부에 피로를 가하여 저항을 측정하는 단계,

유한요소해석(FEM : Finite Elements Method)을 통해 상기 칩의 형상에 따라 상기 솔더 접합부에서 발생하는 응력과 변형률을 계산하는 단계, 그리고

상기 응력 및 상기 변형률을 통해 균열에너지밀도(CED : Cracking Energy Density)를 계산하여 상기 솔더 접합부의 균열면의 위치 및 방향을 예측하는 단계

를 포함하는 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법.

청구항 2

제1항에서,

상기 칩은 상기 PCB의 정중앙부에 솔더링 되고,

상기 PCB의 정중앙부에는 상기 PCB의 길이방향에 수직하는 방향으로 상기 PCB의 둘레면에서 상기 칩 측으로 미리 설정된 깊이만큼 함몰된 홈이 상기 칩을 기준으로 대칭되도록 복수개 형성되는 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법.

청구항 3

제1항에서,

상기 시편은 복수개이고,

복수개인 상기 시편에 각각 포함되는 상기 칩은 서로 다른 형상으로 형성되는 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법.

청구항 4

제3항에서,

상기 칩은 RC2512, TLE4284, TLE4274, Z5W27V 및 MBRB735인 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법.

청구항 5

제1항에서,

상기 저항을 측정하는 단계는

측정된 저항 값이 초기 설정 값에 비하여 10% 이상 상승하였을 때를 상기 솔더 접합부의 파괴로 정의하는 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법.

청구항 6

제2항에서,

상기 변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 설정하여 상기 시편에 적용하는 단계는 상기 변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 각각 세 가지 수준으로 설정하되,

상기 주파수는 0.1Hz, 1Hz, 10Hz로, 상기 온도는 25℃, 55℃, 85℃로, 그리고 상기 변위는 0.1mm, 0.3mm, 0.5mm로 설정하는 표면실장용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법.

청구항 7

제1항에서,

상기 솔더 접합부에 적용되는 솔더 합금은 SAC305인 표면실장용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 표면실장용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 휴대용 전자제품과 자동차용 전자제품의 사용 증가로 인하여 휴대용 전자제품과 자동차용 전자제품 내부에 실장되는 반도체 패키지의 사용이 증가하고 있다.

[0003] 반도체 패키지는 인쇄 회로 보드(PCB: Printed Circuit Board) 위에 칩(chip)이 솔더(solder)로 연결되어 있는 복합 구조물이다. 이와 같은 반도체 패키지는 기술의 발전과 함께 다양한 형태로 발전되었고, 반도체 패키지의 칩 또한 고집적화 되었다. 이에 따라, 칩과 인쇄 회로 보드를 접합시키는 솔더 접합부의 크기 또한 점차 작아져 근래에는 소형의 표면실장용 솔더 접합부(Surface Mounted Technique (SMT) solder joint)의 사용 비중이 증가하고 있는 추세이다.

[0004] 즉, 전자기기의 소형화 추세가 계속됨에 따라 표면실장용 솔더 접합부의 필요성이 대두되고 있고, 이에 따라 솔더 접합부의 피로수명예측은 중요한 과제로 떠오르게 되었다. 여기서, 피로수명이란 반복하여 하중을 받는 어떤 부재(部材)나 구조물이 파괴되기까지의 하중의 반복수 또는 그 시간을 의미한다.

[0005] 일반적으로 솔더 접합부는 열피로 조건 하에서 구성요소 간의 상이한 열팽창률 및 강성 차이로 인하여 피로파괴에 이르게 되며, 더 자세하게는 솔더 접합부는 고온과 저온 사이의 반복되는 온도 변화 및 구성요소의 물성 차이로 인하여 발생한 서로 다른 변형량에 의해 최종적으로 피로파괴에 이르게 된다.

[0006] 종래에는 상기와 같은 솔더 접합부의 피로파괴를 미리 예측하여 재료의 피로 성능을 규정하는 방법들이 수행되어 왔다. 즉, 솔더 접합부에 대한 수명 예측 모델은 여러 연구자들을 통해 제시되었다. 크게 변형률과 에너지에 기초한 모델들이 제시되고 있으며, 균열진전을 묘사한 모델도 제시되고 있다. 제시된 수명 예측 모델은 새롭고 복잡한 모델보다는 종래에 개발된 모델을 적용하려는데 초점이 맞추어져 있다.

[0007] 일반적으로, 변형률에 기초한 모델 중 가장 많이 쓰이는 것은 Coffin-Manson model로서, 대부분의 변형률을 이용한 모델은 이를 이용하거나 아니면 이에 온도 또는 주파수 효과를 넣어 수정한 모델을 사용하고 있다.

[0008] 최근에는 변형률에 기초로 하는 모델보다 에너지를 이용한 모델이 많이 사용되고 있다. 이 또한, 많은 연구자들이 다양한 모델을 제시하고 있으나, 기본적인 형태는 Morrow의 모델에 기초를 두고 있으며, 이 모델을 토대로 온도 또는 주파수의 효과를 묘사할 수 있도록 수정된 Modified Morrow model을 사용하고 있다.

[0009] 그러나, 현재는 무연 솔더를 쓰고 있는 추세이므로, 납 솔더의 피로수명식을 그대로 사용할 수 없으며, 솔더 합금으로 구성된 시편 시험 결과를 사용했기 때문에 솔더 접합부 형상에 대한 특징을 반영할 수 없는 문제점이 있었다.

[0010] 또한, 종래에는 솔더 이음부를 연구할 때, 볼 그리드 어레이(Ball Grid Array) 형태나 레그(leg)가 달린(chip)칩이라 할지라도 한 가지 형상만을 고려하여 다양한 칩의 형상에 따른 피로수명 차이를 규명할 수 없기 때문에 피로수명식 검증에 한계가 있다는 문제점이 있었다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0011] (비특허문헌 0001) 2007 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집 pp.16~21
 (비특허문헌 0002) SMT 전자부품에 적용된 솔더접합부의 크립 특성에 관한 연구
 (비특허문헌 0003) 조운성, 최명기, 김종민, 이성혁, 신영의

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 전술한 바와 같은 문제점들을 해결하기 위해 창출된 것으로서, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 솔더 접합부의 파괴에 영향을 미치는 변형량, 주파수, 온도를 모두 고려하고, 무연 재질의 솔더에 적용 가능하며, 각각 다른 형상의 칩이 PCB위에 솔더링되어 있는 복수개의 시편을 구비하여 솔더 접합부의 피로수명을 예측하고, 이를 규명할 수 있는 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명의 실시예에 따른 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법은 칩이 PCB위에 솔더링 되어있는 시편에 적용되는 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법으로서, 상기 PCB의 한쪽을 지그로 고정하는 단계, 상기 칩 양단에 데이지 체인을 설치하고 상기 데이지 체인의 양단에 저항 측정 장비를 설치하는 단계, 변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 설정하여 상기 시편에 적용하는 단계, 상기 PCB의 다른 한쪽을 미리 설정된 주기만큼 상기 PCB의 길이방향으로 반복적으로 당기거나 풀어주어 상기 PCB에 상기 칩이 솔더링된 솔더 접합부에 피로를 가하여 저항을 측정하는 단계, 유한요소해석을 통해 상기 칩의 형상에 따라 상기 솔더 접합부에서 발생하는 응력과 변형률을 계산하는 단계, 그리고 상기 응력 및 상기 변형률을 통해 균열에너지밀도를 계산하여 상기 솔더 접합부의 균열면의 위치 및 방향을 예측하는 단계를 포함한다.
- [0014] 상기 칩은 상기 PCB의 정중앙부에 솔더링 되고, 상기 PCB의 정중앙부에는 상기 PCB의 길이방향에 수직하는 방향으로 상기 PCB의 둘레면에서 상기 칩 측으로 미리 설정된 깊이만큼 함몰된 홈이 상기 칩을 기준으로 대칭되도록 복수개 형성될 수 있다.
- [0015] 상기 시편은 복수개이고, 복수개인 상기 시편에 각각 포함되는 상기 칩은 서로 다른 형상으로 형성될 수 있다.
- [0016] 상기 칩은 RC2512, TLE4284, TLE4274, Z5W27V 및 MBRB735일 수 있다.
- [0017] 상기 저항을 측정하는 단계는 측정된 저항 값이 초기 설정 값에 비하여 10% 이상 상승하였을 때를 상기 솔더 접합부의 파괴로 정의할 수 있다.
- [0018] 상기 변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 설정하여 상기 시편에 적용하는 단계는 상기 변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 각각 세 가지 수준으로 설정하되, 상기 주파수는 0.1Hz, 1Hz, 10Hz로, 상기 온도는 25℃, 55℃, 85℃로, 그리고 상기 변위는 0.1mm, 0.3mm, 0.5mm로 설정할 수 있다.

발명의 효과

- [0019] 본 발명에 의하면, 변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 설정하여 기계적으로 솔더 접합부에 피로를 가하고, 유한요소해석 및 균열에너지밀도를 이용하여 형상이 서로 다른 칩이 PCB에 솔더링된 솔더 접합부의 피로수명을 예측함으로써, 솔더 접합부의 피로수명 측정 시간을 단축할 수 있고, 변위, 주파수, 온도를 모두 고려하여 칩의 형상에 따른 피로수명 차이를 규명함과 동시에, 무연 재질의 솔더 합금에 적용할 수 있는 새로운 피로 수명모델을 창출해 낼 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법을 나타내는 순서도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 시편을 나타낸 것으로, (a)는 5개의 칩, (b)는 시편의 형상, 그리고 (c)는 시편에 적용되는 기계적 피로 실험을 나타내는 개략도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 균열에너지밀도를 나타낸 것으로, (a)는 균열에너지밀도의 개념도, (b)는 가상 균열면의 방향을 구하기 위해 필요한 노멀 벡터를 구하기 위한 구면 좌표를 나타내는 개략도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 각 칩들간의 분포 그래프를 나타낸 것으로, (a)는 변위에 따른 분포, (b)는 한 가지 주파수 및 온도에 따른 분포, (c)는 동일한 온도 및 상이한 주파수에 따른 분포, (d)는 피팅된 주파수 및 상이한 온도에 따른 분포, (e)는 최종 피팅에 따른 분포, 그리고 (f)는 기계적 피로 실험을 통해 도출된 피로수명식을 바탕으로 열피로 실험의 예상 피로수명 도출에 따른 분포를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하에서 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조로 상세히 설명한다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법을 나타내는 순서도이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 시편을 나타낸 것으로, (a)는 5개의 칩, (b)는 시편의 형상, 그리고 (c)는 시편에 적용되는 기계적 피로 실험을 나타내는 개략도이며, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 균열에너지밀도를 나타낸 것으로, (a)는 균열에너지밀도의 개념도, (b)는 가상균열면의 방향을 구하기 위해 필요한 노멀 벡터를 구하기 위한 구면 좌표를 나타내는 개략도이다. 또한, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 각 칩들 간의 분포 그래프를 나타낸 것으로, (a)는 변위에 따른 분포, (b)는 한 가지 주파수 및 온도에 따른 분포, (c)는 동일한 온도 및 상이한 주파수에 따른 분포, (d)는 피팅된 주파수 및 상이한 온도에 따른 분포, (e)는 최종 피팅에 따른 분포, 그리고 (f)는 기계적 피로 실험을 통해 도출된 피로수명식을 바탕으로 열피로 실험의 예상 피로수명 도출에 따른 분포를 나타내는 그래프이다.
- [0023] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법(이하 '표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법'이라 함)은 기계적 피로수명 측정방식을 이용한다.
- [0024] 상세하게는, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법은 시편(10)에 인위적으로 인장 또는 압축력을 가하여 시편(10)을 형성하고 있는 PCB(13) 및 칩(11)의 솔더 접합부에 피로를 가하는 기계적 피로수명 측정방식을 이용하여 솔더 접합부의 피로수명을 측정한다.
- [0025] 예시적으로, 솔더 접합부의 피로수명 측정 시 가장 일반적으로 사용되는 방식은 솔더 접합부에 온도 조건을 부가하는 열피로 측정방식이다. 그러나 상기한 방식은 한 사이클(cycle) 당 개략적으로 30분이 소요되며, 5,000 사이클의 수명측정까지는 약 100일의 시간이 소요될 수 있다. 즉, 상기한 열피로 측정방식을 이용한 솔더 접합부의 피로수명 측정방식은 시간 및 비용적인 측면에서 비효율적일 수 있다. 이는, 단 하나의 시편(10)에 대한 소요 시간을 계산한 것으로 복수개의 시편(10)을 가지고 측정을 진행할 경우 시편(10)의 수량만큼 시간 및 비용이 더 소모될 수 있다.
- [0026] 따라서, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법에 적용되는 기계적 피로수명 측정방식은 상기와 같은 열피로 측정방식의 단점을 보완할 수 있다.
- [0027] 상세하게는, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법은 칩(11)이 PCB(13)위에 솔더링(soldering)되어 있는 시편(10)에 적용되는 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법으로서, PCB(13)의 한쪽을 지그(jig)(20)로 고정하는 단계(S100)를 포함한다.
- [0028] 먼저, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법에 적용되는 시편(10)은 PCB(13)의 상면에 칩(11)이 솔더링되어 있는 복합 구조물이며, 칩(11)은 PCB(13)의 정중앙부에 솔더링 되고, PCB(13)는 솔더 접합부에 피로가 집중적으로 가해질 수 있는 구조로 형성될 수 있다.
- [0029] 도 2의 (b) 및 (c)를 참조하면, PCB(13)의 정중앙부에는 PCB(13)의 길이방향에 수직하는 방향으로 PCB(13)의 둘레면에서 칩(11) 측으로 미리 설정된 깊이만큼 함몰된 홈이 칩을 기준으로 대칭되도록 복수개 형성될 수 있다. 예시적으로, PCB(13)는 길이 150mm, 폭 25mm의 직사각형 형상의 패널(panel) 형태이고, 칩(11)이 솔더링된 정중앙부에는 PCB(13)의 길이방향에 수직하는 방향으로 PCB(13)의 둘레면에서 칩(11) 측으로 깊이 5.3mm, 폭 2mm의 함몰된 홈이 형성될 수 있다.
- [0030] 즉, PCB(13)는 홈을 통해 칩(11)이 솔더링된 정중앙부의 면적을 좁게 형성시켜 PCB(13)의 길이방향으로 힘이 가해질 시, 솔더 접합부에 집중적으로 하중이 전달되는 구조를 가질 수 있다.
- [0031] 한편, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법은 칩(11) 양단에 데이지 체인(daisy chain)(30)을 설치하고 데이지 체인(30)의 양단에 저항 측정 장비(40)를 설치하는 단계(S200)를 포함한다.

- [0032] 도 2의 (b) 및 (c)를 참조하면, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법은 시편(10)이 실험 지그(20)에 고정된 상태에서 저항 측정이 가능하고, 항상성을 유지할 수 있는 저항 측정방법을 통해 피로 파괴를 측정할 수 있다.
- [0033] 이때, 테이지 체인(30)의 양단에 설치되는 저항 측정 장비(40)는 실시간으로 저항의 측정이 가능한 장비로 구비된다.
- [0034] 예시적으로, 반복적으로 시편(10)에 힘이 가해져 시편(10)의 솔더 접합부에 균열이 발생했다 하더라도, 저항은 반복적인 운동으로 인하여 지속적으로 등락하게 된다. 따라서, 일반적인 멀티미터 장치로는 저항 값을 정확하게 측정이 불가능하여 테이지 체인(30)의 양단에는 실시간으로 저항의 측정이 가능한 저항 측정 장비(40)가 설치될 수 있다. 예를 들면, 저항 측정 장비(40)는 데이터 로거(data logger) 장비일 수 있다. 이때, 데이터 로거 장비는 테이지 체인(30)과 일정 길이의 전선을 통해 연결될 수 있다. 예시적으로, 테이지 체인(30)과 전선은 솔더링을 통해 연결되며, 테이지 체인(30)과 전선의 솔더 접합부위는 솔더링으로 인해 칩(11)에 열의 영향이 미치지 않도록 칩(11)으로부터 미리 정해진 거리만큼 이격된 거리에 형성될 수 있다.
- [0035] 한편, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법은 변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 설정하여 시편(10)에 적용하는 단계(S300)를 포함한다.
- [0036] 상세하게는, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법은 변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 설정하되, 변위, 주파수, 온도를 각각 세 가지 수준으로 설정하여 $27(\text{변위}(3) * \text{주파수}(3) * \text{온도}(3))$ 가지의 조건을 시편에 적용시킬 수 있다.
- [0037] 이때, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법에 적용되는 시편(10)은 복수개일 수 있다.
- [0038] 도 2의 (a)를 참조하면, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법에 적용되는 시편(10)은 복수개의 칩(11) 및 복수개의 PCB(13)가 각각 접합된 복수개로 구성될 수 있고, 이때 복수개인 시편(10)에 각각 포함되는 칩(11)은 서로 다른 형상으로 형성될 수 있다.
- [0039] 예시적으로, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법에 적용되는 서로 다른 형상으로 형성된 복수개의 칩(11)은 RC2512, TLE4284, TLE4274, Z5W27V 및 MBRB735일 수 있다.
- [0040] 즉, 서로 다른 형상으로 형성된 복수개의 칩(11)은 5개로 구비될 수 있고, PCB(13)의 볼 그리드(ball grid) 형상의 상하좌우가 대칭인 RC2512 칩을 제외한 TLE4284, TLE4274, Z5W27V 및 MBRB735 칩은 볼 그리드 형상의 상하가 비대칭 형태일 수 있다. 따라서, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법에 적용되는 복수개의 칩(11)은 서로 다른 형상으로 형성되어 PCB(13)에 각각 솔더링 됨으로써, 각각의 시편(10)을 형성할 수 있게 된다.
- [0041] 이에 따라, 상기한 다섯 종류의 시편(10)에 각각 세 가지 수준으로 설정된 변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 적용하여 총 135 개의 데이터를 얻을 수 있다.
- [0042] 예시적으로, 세 가지 수준으로 설정된 변위, 주파수, 온도를 살펴보면, 주파수는 1Hz를 기준 수준으로 설정하고, 최소 수준은 이보다 10배작은 0.1Hz, 최대 수준은 10배 큰 10Hz로 설정할 수 있다. 다음으로, 온도는 기준 온도를 55℃로 설정하고, 최소 온도를 25℃, 최대 온도는 85℃로 설정할 수 있다. 마지막으로, 변위는 칩(11)이 솔더링 되지 않은 PCB(13)에 인장실험을 통해 PCB(13)가 항복을 일으키는 변위를 파악한 후, 이보다 작은 0.5mm를 최대 변위로 설정하고, 최대 변위를 기준으로 0.2mm 씩 감소된 0.3mm와 0.1를 기준 및 최소 변위로 설정할 수 있다. 이때, PCB(13)에 적용된 인장실험은 적용되는 주파수마다 변형률이 다르기 때문에, 변위와 주파수 종류의 곱인 $9(\text{변위}(3) * \text{주파수}(3))$ 개의 서로 다른 변형률을 적용하여 진행할 수 있다.
- [0043] 한편, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법은 PCB(13)의 다른 한쪽을 미리 설정된 주기만큼 PCB(13)의 길이방향으로 반복적으로 당기거나 풀어주어 PCB(13)에 칩(11)이 솔더링된 솔더 접합부에 피로를 가하여 저항을 측정하는 단계(S400)를 포함한다.
- [0044] 예시적으로, 저항을 측정하는 단계(S400)는 측정된 저항 값이 초기 설정 값에 비하여 10% 이상 상승하였을 때를 솔더 접합부의 파괴로 정의내릴 수 있다.
- [0045] 한편 도 4의 (a)를 참조하면, PCB(13)에 반복적으로 당김 또는 풀림을 가해 솔더 접합부에 피로를 가하면 변위가 증가함과 동시에 칩(11)이 받는 응력 및 변형률 또한 증가하게 되어 솔더 접합부의 피로수명이 짧아지게 된다. 그러나, 다섯 개의 칩들은 서로 다른 경향이 나타나고 있다. 즉, 단순 변위만으로는 서로 다른 형상을 가

진 칩(11)의 형상 차이를 반영할 수 없다.

- [0046] 따라서, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법은 서로 다른 칩(11)의 형상을 고려하기 위하여 유한 요소해석(FEM : Finite Elements Method)을 통해 칩(11)의 형상에 따라 솔더 접합부에서 발생하는 응력과 변형률을 계산하는 단계(S500)를 포함한다.
- [0047] 상세하게는, 공학적인 분석을 위해서는 변형률과 응력 등 공학적으로 의미 있는 값들이 필요하게 되나, 실험적으로는 정확히 측정할 수 없다. 특히, 솔더 접합부의 형상이 복잡하고 작용되는 하중이 패키지와 PCB(13) 등의 특징에 연관되어 작용하기 때문에 직접적으로 측정하는 것이 불가능하다.
- [0048] 따라서, 유한요소해석을 이용하여 솔더 접합부의 응력과 변형률 등을 계산할 수 있다.
- [0049] 예시적으로, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법의 솔더 접합부에 적용되는 솔더 합금은 SAC305로서, Partran을 이용하여 형상 모델링 및 매쉬(mesh)를 짜고, ABAQUS를 사용하여 해석을 수행하여 에너지 밀도를 구할 수 있으며, 점소성(viscoplastic) 특성을 나타내는 Anand Viscoplastic model을 통하여 상당응력(equivalent stress) 또는 변형에너지밀도(Strain Energy Density)를 구할 수 있다.
- [0050] 그러나, 이와 같은 물리량만으로는 균열면의 위치나 방향을 예측할 수 없다.
- [0051] 따라서, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법은 응력 및 변형률을 통해 균열에너지밀도(CED : Cracking Energy Density)를 계산하여 솔더 접합부의 균열면의 위치 및 방향을 예측하는 단계(S600)를 포함한다.
- [0052] CED는 가상의 균열면으로 솔더 접합부에 균열이 생성될 때, 소산될 에너지 밀도를 나타낸다. 에너지 밀도가 단순히 재료의 특정 지점에 저장된 에너지를 나타내는 반면, CED는 가상균열면을 나타내는 에너지 밀도이다. 즉, 모든 방향의 가상균열면에 대한 에너지 밀도를 비교해서 그 값이 최댓값일 때, 그 면에서 균열이 발생한다는 개념이다.
- [0053] 도 3의 (a) 및 (b)를 참조하면, CED를 계산하기 위해서는 응력(stress)과 변형텐서(strain tensor)가 필요한데, 이는 상기한 유한요소해석(FEM : Finite Elements Method)을 통해 칩(11)의 형상에 따라 솔더 접합부에서 발생하는 응력과 변형률을 계산하는 단계(S500)를 통해 얻을 수 있다. 이를 통해, 각 모델을 구성하는 요소(element)의 통합 포인트(integration point)에서 텐서(tensor)를 얻어서, 요소들의 CED 최댓값들을 비교하여 최댓값인 요소의 가상균열면에서 균열을 예상할 수 있다. 상기한 가상균열면의 방향을 결정해 주는 것이 균열면에 수직인 노멀 벡터(normal vector)이고, 구면 좌표(spherical coordinates)를 사용해 3차원 상의 노멀 벡터를 표현하면, r , θ , ϕ 로 나타낼 수 있다. 예시적으로, 구의 중심점에서 구 표면의 한 점으로 향하는 벡터를 노멀 벡터로 가정할 때, 필요한 노멀 벡터는 크기가 1인 유닛 벡터이므로 r 값을 1로 치환하여 변수는 θ , ϕ 두 가지로 줄어든다. 이를 다시, 카테시안 좌표(cartesian coordinates)로 변환하여 벡터로 나타내면, $(x, y, z) = (r \sin \theta \cos \phi, r \sin \theta \sin \phi, r \cos \theta) = (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta)$ 가 된다. 즉, 균열면의 방향을 정해주는 노멀 벡터는 반구의 좌표계만 있어도 모든 방향의 균열을 고려할 수 있다. 따라서, θ 는 절반인 $0 \sim 180^\circ$ 또는 $180 \sim 360^\circ$, 그리고 ϕ 는 $0 \sim 360^\circ$ 를 고려하면 전 방향이 가능하며, 증분을 1° 로 했을 경우 해석량은 $129,600(360 \times 360)$ 에서 $64,800(180 \times 180)$ 으로 절반으로 줄어들게 된다.
- [0054] 그러나, 부품이 피로를 받는 상황에서는 상기한대로 균열이 다시 닫히는 것과 같이 압축이 발생할 수 있다. 즉, 물체에 같은 힘으로 압축과 인장을 받고 있을 때, CED 값이 동일한 지점에서 발생하게 된다. 하지만, 압축 응력이 균열을 누를 때는 단지 순수전단응력만이 균열의 생성이나 성장을 결정할 수 있는 요소가 되기 때문에 압축 시에는 인장 때보다 균열이 상대적으로 잘 발생하지 않는다. 이를 해결하기 위하여, 압축과 인장을 구분할 수 있게 하였는데, 응력벡터(stress vector)의 노멀(normal) 성분 부호를 이용해서 양의 값(균열에서 멀어지는 방향)일 때는 인장, 음의 부호일 때는 압축으로 설정하였다. 따라서, 균열면이 인장 시에는 인장과 전단응력이 모두 적용되게 하였고, 압축 시에는 노멀 방향의 응력은 0으로 하여 전단응력만 작용하게 하였다. 또한, 부품이 피로를 겪고 있는 동안에 미치는 힘은 계속 변화하기 때문에 CED의 최댓값과 최솟값의 차이($\Delta CED = CED_{max} - CED_{min}$)를 이용해서 피로 상황을 반영할 수 있게 하였다.
- [0055] 이하에서는, 본 표면실질용 솔더 접합부의 피로수명 예측 방법을 통해 새로운 피로수명 모델을 도출하는 과정에 대하여 설명한다.
- [0056] 먼저, Morrow Energy model을 이용해 ΔCED 를 검증한다.
- [0057] 식 (1)은 Morrow Energy model을 나타낸다. 기존의 피로식에서 피로수명(N_f)를 예측하는 변수로 사용되었던 소

성 변형 에너지 밀도(plastic strain energy density)(W_p)를 같은 에너지 텀(term)인 ΔCED 로 변경하여 적용한다. 이때, m 은 피로 수명 지수(fatigue life exponent)이고, C 는 상수(constant)이다.

$$N_f^m \Delta CED = C \quad (1)$$

도 4의 (b) 및 (c)를 참조하면, 동일한 주파수 및 온도일 때, 서로 다른 칩(11)들 간에도 유사한 경향을 나타내고 있고, 선형적이다. 이는, 유한요소해석(FEM)을 통해 칩들의 형상이 반영됐다는 것을 의미한다. 그러나, Morrow Energy model은 주파수에 대한 고려가 없기 때문에 동일한 온도에서 서로 다른 주파수일 경우, 서로 다른 칩들 간에 경향이 일치하지 않고, 서로 평행한 거리를 두고 이격되어 있다.

따라서, 이를 고려한 frequency Modified Coffin-Manson model을 이용해 ΔCED 를 검증한다.

식 (2)는 frequency Modified Coffin-Manson model을 나타낸다. 식 (1)에서와 마찬가지로 피로수명을 규정하는 인자로 ΔCED 를 적용한다. 여기서, v 는 주파수이고, k 는 주파수 지수(frequency exponent)이다.

$$\left[N_f v^{(k-1)} \right]^m \Delta CED = C \quad (2)$$

식 (2)를 참조하면, k 가 1Hz일 경우, 지수는 0이 되어 어떠한 정수가 오더라도 현재의 그래프 형태를 유지한다. 반면, k 가 0.1 또는 10일 경우, 그래프는 지수에 따라 평행이동을 하므로 1Hz 로 모이게 하는 $k-1$ 값을 찾아야 한다.

즉 도 4의 (d)를 참조하면, 두 개의 경향이 그래프 상에서 1Hz로 최대한 겹쳐지는 것을 목적함수로 하여 최적화하였을 때, 온도가 25℃일 때 k 값은 0.879, m 값은 0.733, C 값은 329.77로 설정될 수 있다. 하지만 frequency Modified Coffin-Manson model은 온도를 고려하지 못했기 때문에 앞선 상수들은 55℃, 85℃ 일 때는 다른 값이 적용되므로, 서로 다른 경향을 나타낸다.

따라서, X.Q. Shi et al.가 제시한 소성 변형 에너지 밀도를 사용하여 주파수 및 온도를 모두 고려한 피로수명식을 변형하여 솔더 합금에 적용 가능한 새로운 피로수명식을 도출한다.

$$\left[N_f v^{(k-1)} \right]^m \frac{\Delta CED}{aT+b} = C \quad (3)$$

상세하게는, 식 (3)을 참조하면 X.Q. Shi et al.가 제시한 피로수명식에서 소성 변형 에너지 밀도에 나누어 피팅되는 유동변형력(flow stress)이 적용되는 위치에 솔더 합금의 온도에 따른 물성의 특성을 적용하여 유동변형력의 값을 대체할 수 있다. 즉, 솔더의 탄성계수, 항복응력, UTS 값은 $aT+b$ (MPa)의 형태로 온도의 일차함수로 나타낼 수 있으며, 여기서 유동변형력을 결정하는 값은 그 온도에서의 항복응력이므로 유동변형력은 $aT+b$ 로 대체할 수 있다.

이에 따라 도 4의 (e)를 참조하면, 변수를 서로간의 차이를 좁히는 목적함수로 최적화한 결과 유동변형력을 결정하는 항복응력은 $70.077T+20.285$ (MPa)이고, 최종 도출된 상수 값은 $m=0.706$, $C=14.698$, $k=0.879$ 이며, R^2 값은 0.9945로 데이터가 피로수명모델 주변으로 모인 것을 확인할 수 있다.

마지막으로, 열피로 실험에 대한 해석을 수행하여 이를 비교한다.

예시적으로, 열피로 실험의 시험조건은 온도 프로파일이 85℃까지 상승한 후 상온으로 돌아오는데 15분, -40℃에서 상온으로 돌아오는데 15분, 도합 한 주기당 30분의 시간이 소요되도록 설정할 수 있다.

도 4의 (f)를 참조하면, 열피로 상황에서는 온도가 변함에 따라 각 물질별 열팽창계수(CTE : Coefficient of Thermal Expansion)차이로 인하여 응력이 발생하여 균열에너지밀도 값이 바뀌게 된다. 즉, 식 (3)은 온도의 변화를 반영하지 못한다.

이에 따라, 열피로 실험에서도 온도에 따라 변화된 균열에너지밀도 값을 적용할 수 있는 최종 피로수명모델을 도출한다.

$$\left[N_f v^{(k-1)} \right]^m \Delta \left(\frac{CED}{aT+b} \right) = C \quad (4)$$

[0074] 식 (4)를 참조하면, 기계적 실험에서는 온도 변화가 없기 때문에 식 (3)과 차이가 없으나, 열피로 실험에서는 특정 온도의 항복응력항을 균열에너지밀도에다가 나눈 값($CED/aT+b$) 전체에 델타(Δ :delta)를 취함으로써, 온도에 따라 변화된 균열에너지밀도 값을 적용할 수 있다.

[0075] 이처럼 본 발명에 의하면, 변위, 주파수, 온도에 관한 조건을 설정하여 기계적으로 솔더 접합부에 피로를 가하고, 유한요소해석 및 균열에너지밀도를 이용하여 형상이 서로 다른 칩이 PCB에 솔더링된 솔더 접합부의 피로수명을 예측함으로써, 솔더 접합부의 피로수명 측정 시간을 단축할 수 있고, 변위, 주파수, 온도를 모두 고려하여 칩의 형상에 따른 피로수명 차이를 규명함과 동시에, 무연 재질의 솔더 합금에 적용할 수 있는 새로운 피로 수명모델을 창출해 낼 수 있는 효과가 있다.

[0076] 이상에서 본 발명의 실시예를 설명하였으나, 본 발명의 권리범위는 이에 한정되지 아니하며 본 발명의 실시예로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 용이하게 변경되어 균등한 것으로 인정되는 범위의 모든 변경 및 수정을 포함한다.

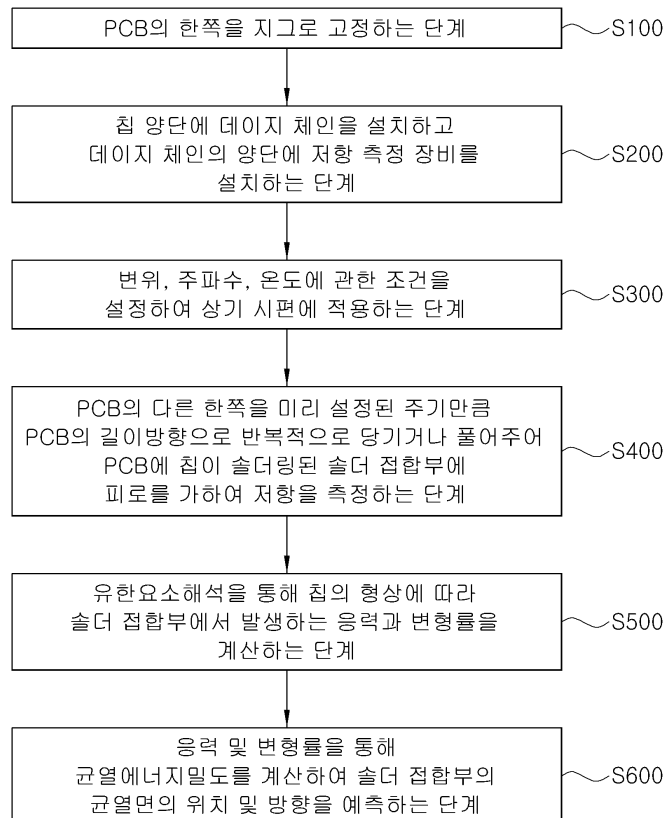
부호의 설명

- [0077] 10. 시편
11. 칩
20. 지그
30. 데이지 체인
40. 저항 측정 장비

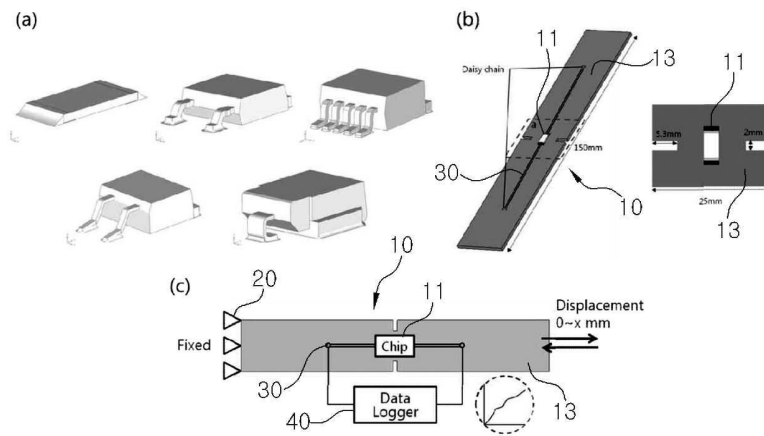
13. PCB

도면

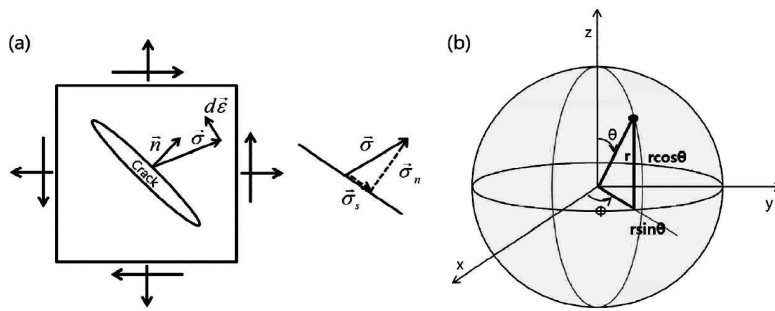
도면1



도면2



도면3



도면4

