



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0154663
(43) 공개일자 2022년11월22일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 23/498 (2006.01) H01L 23/15 (2006.01)
H01L 23/36 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 23/49838 (2013.01)
H01L 23/15 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-7025445
- (22) 출원일자(국제) 2021년03월16일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2022년07월21일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2021/010548
- (87) 국제공개번호 WO 2021/187464
국제공개일자 2021년09월23일
- (30) 우선권주장
JP-P-2020-047956 2020년03월18일 일본(JP)
JP-P-2021-040435 2021년03월12일 일본(JP)

- (71) 출원인
미쓰비시 마테리알 가부시키키가이샤
일본 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 3초메 2방 3고
- (72) 발명자
사쿠라이 아키라
일본 사이타마켄 사이타마시 오미야쿠 기타부쿠로
쵸 1초메 600반치 미쓰비시 마테리알 가부시키키가
이샤 주오겐큐쇼 나이
테라사키 노부유키
일본 사이타마켄 사이타마시 오미야쿠 기타부쿠로
쵸 1초메 600반치 미쓰비시 마테리알 가부시키키가
이샤 주오겐큐쇼 나이
- (74) 대리인
특허법인코리아나

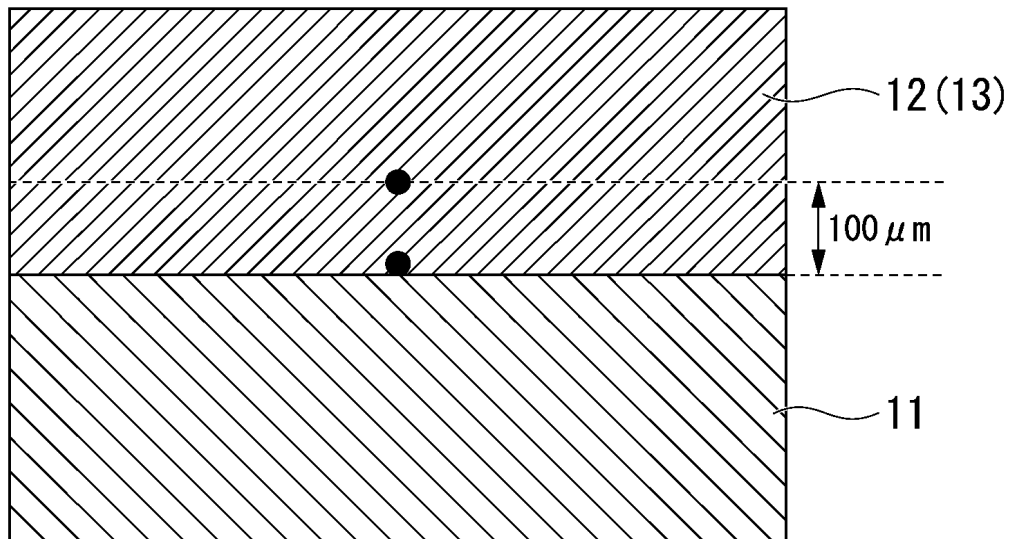
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 절연 회로 기판

(57) 요약

이 절연 회로 기판 (10) 은, 세라믹 기판 (11) 의 표면에, 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 알루미늄 판 (12, 13) 이 적층되어 접합되고, 알루미늄 판 (12, 13) 에는, 세라믹 기판 (11) 의 접합 계면에 있어서 Cu 가 고용되어 있고, 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A mass% 와 접합 계면으로부터 알루미늄 판 (12, 13) 측으로 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B mass% 의 비 B/A 가 0.30 이상 0.85 이하이다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01L 23/36 (2013.01)

H01L 23/49805 (2013.01)

H01L 23/49866 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

세라믹스 기판의 표면에, 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 알루미늄 판이 적층되어 접합된 절연 회로 기판으로서,

상기 알루미늄 판에는, 상기 세라믹스 기판과의 접합 계면에 있어서 Cu 가 고용 (固溶) 되어 있고, 상기 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A mass% 와 상기 접합 계면으로부터 상기 알루미늄 판 측으로 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B mass% 의 비 B/A 가 0.30 이상 0.85 이하인 것을 특징으로 하는 절연 회로 기판.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 알루미늄 판에 있어서, 상기 접합 계면으로부터 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B 가 0.04 mass% 이상 0.96 mass% 이하의 범위 내로 되어 있는 것을 특징으로 하는 절연 회로 기판.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

-65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에, 상기 알루미늄 판의 상기 접합 계면으로부터 두께 방향으로 100 μm 까지의 영역에, 상기 알루미늄 판의 결정립계 및 결정립 내에 Al 과 Cu 를 포함하는 Al-Cu 화합물 입자가 석출되는 것을 특징으로 하는 절연 회로 기판.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

접합 계면으로부터 상기 알루미늄 판 측으로 두께 방향으로 50 μm 의 범위 내에 있어서, -65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에 석출된 상기 Al-Cu 화합물 입자의 개수 밀도가 0.50 개/ μm^2 이상 8.50 개/ μm^2 이하의 범위 내인 것을 특징으로 하는 절연 회로 기판.

청구항 5

제 3 항 또는 제 4 항에 있어서,

-65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에 석출된 상기 Al-Cu 화합물 입자의 원상당경의 평균이 30 nm 이상 130 nm 이하의 범위 내인 것을 특징으로 하는 절연 회로 기판.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 알루미늄 판과 상기 세라믹스 기판의 접합 계면에 있어서, 상기 접합 계면의 폭 방향의 단부 (端部) 로부터 중심을 향하여 1 mm 의 범위 내에서의 Al-Cu 공정상 (共晶相) 의 면적률이 30 % 이하인 것을 특징으로 하는 절연 회로 기판.

발명의 설명

기술 분야

이 발명은, 세라믹스 기판과, 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 알루미늄 판이 접합되어 이루어지는 절연 회로 기판에 관한 것이다.

[0001]

[0002] 본원은, 2020년 3월 18일에 일본에 출원된 일본 특허출원 2020-047956호, 및 2021년 3월 12일에 일본에 출원된 일본 특허출원 2021-040435호에 기초하여 우선권을 주장하고, 그 내용을 여기에 원용한다.

배경 기술

[0003] 파워 모듈, LED 모듈 및 열전 모듈에 있어서는, 절연 회로 기판에, 파워 반도체 소자, LED 소자 및 열전 소자가 접합된 구조로 되어 있다. 절연 회로 기판에서는, 절연층의 일방의 면에 도전 재료로 이루어지는 회로층이 형성되어 있다.

[0004] 또, 상기 서술한 절연 회로 기판에 있어서는, 세라믹스 기판의 일방의 면에 도전성이 우수한 금속판을 접합하여 회로층으로 하고, 또, 타방의 면에 방열성이 우수한 금속판을 접합하여 금속층을 형성한 구조의 것도 제공되어 있다.

[0005] 또한, 회로층에 탑재한 소자 등으로부터 발생한 열을 효율적으로 방산시키기 위해서, 절연 회로 기판의 금속층 측에 히트 싱크를 접합한 히트 싱크가 부착된 절연 회로 기판도 제공되어 있다.

[0006] 예를 들어, 특허문헌 1 에 나타내는 절연 회로 기판에 있어서는, 세라믹스 기판의 일방의 면에 알루미늄 판으로 이루어지는 회로층이 형성되고 함께 타방의 면에 알루미늄 판으로 이루어지는 금속층이 형성된 절연 회로 기판과, 이 회로층 상에 솔더재를 개재하여 접합된 반도체 소자를 구비한 구조로 되어 있다.

[0007] 여기서, 세라믹스 기판과 회로층 및 금속층이 되는 알루미늄 판을 접합할 때에는, 통상적으로, Al-Si 계 브레이징재가 사용되고 있다.

[0008] 여기서, 상기 서술한 절연 회로 기판에는, 냉열 사이클을 부하한 경우이더라도 접합 신뢰성을 충분히 확보할 필요가 있었다.

[0009] 그래서, 특허문헌 2 에는, 세라믹스 기판 및 알루미늄 판의 접합면 중 적어도 일방에 Cu 를 고착하여 Cu 층을 형성하는 공정과, 이 Cu 층을 개재하여 적층한 세라믹스 기판과 알루미늄 판을 적층 방향으로 가압하여 가열하는 공정을 갖고, 세라믹스 기판과 알루미늄 판을 더욱 강고하게 접합하는 기술이 제안되어 있다.

[0010] 이 특허문헌 2 에 있어서는, Cu 가 알루미늄 판 측으로 확산되어 있고, 접합 계면으로부터 50 μm 이내의 범위 내에 있어서의 Cu 농도가 0.05 ~ 5 wt% 의 범위 내가 되고, 알루미늄 판의 폭 방향 단부(端部)에는 Al 과 Cu 의 공정상(共晶相)이 형성되어 있고, 접합 신뢰성이 우수하다.

[0011] 그런데, 최근에는, 반도체 소자가 SiC 등으로 구성되어, 종래보다 고온에서 동작하는 고온 반도체 디바이스가 제공되고 있다.

[0012] 이 때문에, 상기 서술한 절연 회로 기판에 있어서는, 종래보다 혹독한 환경하에서 사용되게 되어, 가혹한 냉열 사이클을 부하한 경우라도, 세라믹스 기판의 균열이나 회로층의 변형 등을 억제하는 것이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 일본 특허공보 제3171234호

(특허문헌 0002) 일본 특허공보 제5359953호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 이 발명은, 전술한 사정을 감안하여 이루어진 것으로서, 혹독한 냉열 사이클을 부하한 경우라도, 세라믹스 기판의 균열이나 알루미늄 판의 변형 등을 억제할 수 있고, 세라믹스 기판과 회로층의 접합 신뢰성이 우수한 절연 회로 기판을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 상기 서술한 과제를 해결하기 위해서, 본 발명의 일 양태에 관련된 절연 회로 기판은, 세라믹스 기판의 표면에,

알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 알루미늄 판이 적층되어 접합된 절연 회로 기판으로서, 상기 알루미늄 판에는, 상기 세라믹스 기판과의 접합 계면에 있어서 Cu 가 고용 (固溶) 되어 있고, 상기 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A mass% 와 상기 접합 계면으로부터 상기 알루미늄 판 측으로 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B mass% 의 비 B/A 가 0.30 이상 0.85 이하인 것을 특징으로 하고 있다.

- [0016] 이 절연 회로 기판은, 세라믹스 기판과, 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 알루미늄 판을 가지며, 상기 세라믹스 기판의 표면에 상기 알루미늄 판이 적층되어 접합되어 있다.
- [0017] 이 구성의 절연 회로 기판에 의하면, 상기 알루미늄 판의 상기 세라믹스 기판과의 접합 계면측에 있어서 Cu 가 고용되어 있고, 상기 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A mass% 와 상기 접합 계면으로부터 상기 알루미늄 판 측으로 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B mass% 의 비 B/A 가 0.30 이상 0.85 이하로 되어 있다.
이 때문에, 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 알루미늄 판의 내부에까지 충분히 Cu 가 확산되어 있고, 알루미늄 판의 접합 계면 근방에는 Cu 가 과포화로 고용된 영역이 형성된다. 이 때문에, 냉열 사이클 부하 후에 있어서의 알루미늄 판의 변형이나 알루미늄 판 내에서의 크랙의 발생을 억제할 수 있다.
- [0018] 또, Cu 가 Al 의 모상 중에 고용되어 있으므로, 단단한 Al-Cu 의 공정상이 형성되어 있지 않아, 세라믹스 기판의 균열의 발생을 억제할 수 있다.
- [0019] 여기서, 본 발명의 일 양태에 관련된 절연 회로 기판에 있어서는, 상기 알루미늄 판에 있어서, 상기 접합 계면으로부터 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B 가 0.04 mass% 이상 0.96 mass% 이하의 범위 내로 되어 있는 것이 바람직하다.
- [0020] 이 경우, 알루미늄 판의 내부를 향해서 충분히 Cu 가 확산되어 있고, 알루미늄 판의 접합 계면 근방에는 Cu 가 과포화로 고용된 영역이 충분히 형성된다. 이 때문에, 냉열 사이클 부하 후에 있어서의 알루미늄 판의 변형이나 알루미늄 판 내에서의 크랙의 발생을 더욱 억제하는 것이 가능해진다.
- [0021] 또한, 본 발명의 일 양태에 관련된 절연 회로 기판에 있어서는, -65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에, 상기 알루미늄 판의 상기 접합 계면으로부터 두께 방향으로 100 μm 까지의 영역에, 상기 알루미늄 판의 결정립계 및 결정립 내에 Al 과 Cu 를 포함하는 Al-Cu 화합물 입자가 석출되는 것이 바람직하다.
- [0022] 이 경우, 알루미늄 판의 접합 계면 근방이 Al-Cu 화합물 입자에 의해 강화 되어 있고, 냉열 사이클 부하 후에 있어서의 알루미늄 판의 변형이나 알루미늄 판 내에서의 크랙의 발생을 확실하게 억제할 수 있다.
- [0023] 또, 본 발명의 일 양태에 관련된 절연 회로 기판에 있어서는, 접합 계면으로부터 상기 알루미늄 판 측으로 두께 방향으로 50 μm 의 범위 내에 있어서, -65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에 석출된 상기 Al-Cu 화합물 입자의 개수 밀도가 0.50 개/ μm^2 이상 8.50 개/ μm^2 이하의 범위 내인 것이 바람직하다.
- [0024] 이 경우, 접합 계면으로부터 상기 알루미늄 판 측으로 두께 방향으로 50 μm 의 범위 내에 있어서, -65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에 석출된 상기 Al-Cu 화합물 입자의 개수 밀도가 0.50 개/ μm^2 이상으로 되어 있다. 이 때문에, 접합 계면 근방의 알루미늄 판의 변형 저항이 상승하여, 알루미늄 판의 변형을 더욱 억제할 수 있다. 또, 상기 Al-Cu 화합물 입자의 개수 밀도가 8.50 개/ μm^2 이하로 되어 있다. 이 때문에, 접합 계면 근방의 알루미늄 판이 필요 이상으로 단단해지지 않아, 세라믹스 기판의 균열을 더욱 억제할 수 있다.
- [0025] 또한, 본 발명의 일 양태에 관련된 절연 회로 기판에 있어서는, -65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에 석출된 상기 Al-Cu 화합물 입자의 원상당경의 평균이 30 nm 이상 130 nm 이하의 범위 내인 것이 바람직하다.
- [0026] 이 경우, -65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에 석출된 상기 Al-Cu 화합물 입자의 원상당경의 평균이 상기 서술한 범위 내로 되어 있다. 이 때문에, 접합 계면 근방의 알루미늄 판을 충분히 석출 강화할 수 있고, 상기 알루미늄 판의 변형을 더욱 억제할 수 있다.
- [0027] 또, 본 발명의 일 양태에 관련된 절연 회로 기판에 있어서는, 상기 알루미늄 판과 상기 세라믹스 기판의 접합 계면에 있어서, 상기 접합 계면의 폭 방향의 단부로부터 중심을 향하여 1 mm 의 범위 내에서의 Al-Cu 공정상의 면적률이 30 % 이하인 것이 바람직하다.

[0028] 이 경우, 상기 알루미늄 판과 상기 세라믹스 기판의 접합 계면에 있어서, Al-Cu 공정상의 면적률이 30 % 이하로 제한되어 있으므로, 단단한 Al-Cu 공정상이 적고, 세라믹스 기판의 균열의 발생을 억제할 수 있다.

발명의 효과

[0029] 본 발명의 일 양태에 의하면, 혹독한 냉열 사이클을 부하한 경우라도, 세라믹스 기판의 균열이나 회로층 (금속층) 의 변형 등을 억제할 수 있고, 세라믹스 기판과 회로층 (금속층) 의 접합 신뢰성이 우수한 절연 회로 기판을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1 은, 본 발명의 실시형태인 절연 회로 기판을 사용한 파워 모듈의 개략 설명도이다.
 도 2 는, 본 발명의 실시형태인 절연 회로 기판에 있어서의 회로층 (금속층) 과 세라믹스 기판의 접합 계면의 확대 설명도이다.
 도 3 은, 본 발명의 실시형태인 절연 회로 기판의 회로층 (알루미늄 판) 및 금속층 (알루미늄 판) 과 세라믹스 기판의 접합 계면의 관찰 사진이다. (a) 가 냉열 사이클 부하 전이고, (b) 가 냉열 사이클 부하 후이다.
 도 4 는, 도 3(b) 의 확대 사진이다.
 도 5 는, 도 1 에 나타내는 절연 회로 기판 및 파워 모듈의 제조 방법을 나타내는 플로도이다.
 도 6 은, 본 발명의 실시형태인 절연 회로 기판의 제조 방법을 나타내는 설명도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하에, 본 발명의 실시형태에 대해서, 첨부한 도면을 참조하여 설명한다.

[0032] 도 1 에, 본 발명의 실시형태인 절연 회로 기판 (10), 및, 이 절연 회로 기판 (10) 을 사용한 파워 모듈 (1) 을 나타낸다.

[0033] 도 1 에 나타내는 파워 모듈 (1) 은, 절연 회로 기판 (10) 과, 절연 회로 기판 (10) 의 일방 측 (도 1 에 있어서 상측) 에 솔더층 (2) 을 개재하여 접합된 반도체 소자 (3) 와, 절연 회로 기판 (10) 의 타방 측 (도 1 에 있어서 하측) 에 배치 형성된 히트 싱크 (31), 를 구비하고 있다.

[0034] 솔더층 (2) 은, 예를 들어 Sn-Ag 계, Sn-Cu 계, Sn-In 계, 혹은 Sn-Ag-Cu 계의 솔더재 (이른바 납프리 솔더재) 로 되어 있다.

[0035] 반도체 소자 (3) 는, 반도체를 구비한 전자 부품이며, 필요해지는 기능에 따라 여러 가지 반도체 소자가 선택된다.

[0036] 절연 회로 기판 (10) 은, 도 1 에 나타내는 바와 같이, 세라믹스 기판 (11) 과, 이 세라믹스 기판 (11) 의 일방의 면 (도 1 에 있어서 상면) 에 배치 형성된 회로층 (12) 과, 세라믹스 기판 (11) 의 타방의 면 (도 1 에 있어서 하면) 에 형성된 금속층 (13) 을 구비하고 있다.

[0037] 세라믹스 기판 (11) 은, 회로층 (12) 과 금속층 (13) 의 사이의 전기적 접촉을 방지하는 것으로서, 절연성이 높은 Si₃N₄ (질화규소) 로 구성되어 있다. 또, 세라믹스 기판 (11) 의 두께는, 0.2 mm 이상 1.5 mm 이하의 범위 내로 설정되어 있고, 본 실시형태에서는, 0.32 mm 로 설정되어 있다.

[0038] 회로층 (12) 은, 세라믹스 기판 (11) 의 일방의 면에, 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 알루미늄 판 (22) 이 접합됨으로써 형성되어 있다.

[0039] 본 실시형태에 있어서는, 회로층 (12) 은, 순도가 99.99 mass% 이상인 알루미늄 (이른바 4N 알루미늄) 의 압연판으로 이루어지는 알루미늄 판 (22) 이 세라믹스 기판 (11) 에 접합됨으로써 형성되어 있다.

[0040] 금속층 (13) 은, 세라믹스 기판 (11) 의 타방의 면에 알루미늄 판 (23) 이 접합됨으로써 형성되어 있다.

[0041] 본 실시형태에 있어서는, 금속층 (13) 은, 회로층 (12) 과 마찬가지로, 순도가 99.99 mass% 이상인 알루미늄 (이른바 4N 알루미늄) 의 압연판으로 이루어지는 알루미늄 판 (23) 이 세라믹스 기판 (11) 에 접합됨으로써 형성되어 있다.

- [0042] 히트 싱크 (31) 는, 절연 회로 기판 (10) 측의 열을 방산하기 위한 것이다. 히트 싱크 (31) 는, 열전도성이 양호한 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 구성되어 있고, 본 실시형태에 있어서는, A6063 합금으로 구성되어 있다. 이 히트 싱크 (31) 의 두께는, 3 mm 이상 10 mm 이하의 범위 내로 설정되어 있다.
- [0043] 또한, 히트 싱크 (31) 와 절연 회로 기판 (10) 의 금속층 (13) 은, 브레이징재를 사용하여 접합되어 있다.
- [0044] 그리고, 본 실시형태에 있어서는, 도 2 에 나타내는 바와 같이, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 에 있어서는, 세라믹스 기판 (11) 과의 접합 계면에 있어서 Cu 가 고용되어 있고, 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A mass% 와 접합 계면으로부터 회로층 (12) 및 금속층 (13) 측으로 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B mass% 의 비 B/A 가 0.30 이상 0.85 이하로 되어 있다.
- [0045] 즉, 접합 계면으로부터 회로층 (12) 및 금속층 (13) 측으로 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서도, Cu 가 충분히 존재하고 있는 것이 된다.
- [0046] 비 B/A 가 0.30 미만이면, 접합 계면이 단단해져 접합 신뢰성이 악화되거나, 회로층 (12) (금속층 (13)) 에 Cu 가 충분히 확산하지 않아, 회로층 (12) (금속층 (13)) 에 변형 및 균열이 발생하거나 할 우려가 있다.
- [0047] 비 B/A 가 0.85 를 초과하면, Cu 가 지나치게 확산되어, 회로층 (12) (금속층 (13)) 전체가 단단해져 회로층이 온도 사이클에서 받는 응력을 완화할 수 없어 균열이 발생할 우려가 있다.
- [0048] 또한, 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A mass% 와 접합 계면으로부터 회로층 (12) 및 금속층 (13) 측으로 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B mass% 의 비 B/A 의 상한은, 0.70 이하인 것이 바람직하고, 0.50 이하인 것이 보다 바람직하다.
- [0049] 여기서, 본 실시형태에 있어서는, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 에 있어서, 접합 계면으로부터 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B 가 0.04 mass% 이상 0.96 mass% 이하의 범위 내로 되어 있는 것이 바람직하다.
- [0050] 또한, 접합 계면으로부터 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B 의 하한은 0.10 mass% 이상인 것이 보다 바람직하고, 0.14 mass% 이상인 것이 더욱 바람직하다. 한편, 접합 계면으로부터 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B 의 상한은 0.50 mass% 이하인 것이 보다 바람직하고, 0.45 mass% 이하인 것이 더욱 바람직하다.
- [0051] 또, 본 실시형태에 있어서는, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 과 세라믹스 기판 (11) 의 접합 계면의 폭 방향의 단부로부터 중심을 향하여 1 mm 의 범위 내에서의 Al-Cu 공정상의 면적률이 30 % 이하로 제한되어 있는 것이 바람직하다.
- [0052] 또한, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 과 세라믹스 기판 (11) 의 접합 계면에 있어서의 Al-Cu 공정상의 면적률은 20 % 이하인 것이 더욱 바람직하고, 17 % 이하인 것이 보다 바람직하다. Al-Cu 공정상의 면적률의 하한값은, 0 % 여도 되고, 6.2 % 이상이어도 된다.
- [0053] 또한, 본 실시형태에 있어서는, -65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 접합 계면으로부터 두께 방향으로 100 μm 까지의 영역에, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 결정립계 및 결정립 내에 Al 과 Cu 를 포함하는 Al-Cu 화합물 입자 (15) 가 석출되는 것이 바람직하다.
- [0054] 여기서, 도 3 및 도 4 에, 본 실시형태인 절연 회로 기판 (10) 의 회로층 (12) 및 금속층 (13) 과 세라믹스 기판 (11) 의 접합 계면의 관찰 결과를 나타낸다.
- [0055] 도 3(a) 에 나타내는 바와 같이, 냉열 사이클을 부하하기 전의 상태에서는, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 에는, Al-Cu 화합물 입자 (15) 가 존재하고 있지 않고, Al 의 모상 중에 Cu 가 고용된 조직으로 되어 있다.
- [0056] -65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에는, 도 3(b) 및 도 4 에 나타내는 바와 같이, 결정립이 미세화 되어 있고, 결정립계 및 결정립 내에 Al 과 Cu 를 포함하는 Al-Cu 화합물 입자 (15) 가 확인된다.
- [0057] 본 실시형태에 있어서는, 접합 계면으로부터 회로층 (12) 및 금속층 (13) 측으로 두께 방향으로 50 μm 의 범위 내에 있어서, -65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에 석출된 Al-Cu 화합물 입자 (15) 의 개수 밀도가 0.50 개/ μm^2 이상 8.50 개/ μm^2 이하의 범위 내인 것

이 바람직하다.

- [0058] 또한, Al-Cu 화합물 입자 (15) 의 개수 밀도는 $0.60 \text{ 개}/\mu\text{m}^2$ 이상인 것이 더욱 바람직하고, $0.75 \text{ 개}/\mu\text{m}^2$ 이상인 것이 보다 바람직하다. 또, Al-Cu 화합물 입자 (15) 의 개수 밀도는 $8.30 \text{ 개}/\mu\text{m}^2$ 이하인 것이 더욱 바람직하고, $8.10 \text{ 개}/\mu\text{m}^2$ 이하인 것이 보다 바람직하다. 본 실시형태에 있어서는, 입경이 $0.01 \mu\text{m}$ 이상 $2 \mu\text{m}$ 이하의 범위 내의 Al-Cu 화합물 입자를 대상으로 하여, 개수 밀도를 산출하고 있다. 또한, 개수 밀도의 산출에 있어서는, 입자 형상이 원 형상이 아닌 경우에는, 가장 짧은 부분 (단경) 을 그 입자의 입경으로 판단한다.
- [0059] 또한, 본 실시형태에 있어서는, $-65 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 5 분 유지와 $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에 석출된 Al-Cu 화합물 입자 (15) 의 원상당경의 평균이 30 nm 이상 130 nm 이하의 범위 내인 것이 바람직하다.
- [0060] 또한, Al-Cu 화합물 입자 (15) 의 원상당경의 평균은 $37 \mu\text{m}$ 이상인 것이 더욱 바람직하고, $45 \mu\text{m}$ 이상인 것이 보다 바람직하다. Al-Cu 화합물 입자 (15) 의 원상당경의 평균은 $125 \mu\text{m}$ 이하인 것이 더욱 바람직하고, $120 \mu\text{m}$ 이하인 것이 보다 바람직하다.
- [0061] 다음으로, 본 실시형태인 절연 회로 기판 (10) 및 파워 모듈 (1) 을 제조하는 방법에 대해서, 도 5 및 도 6 을 이용하여 설명한다.
- [0062] (Cu 층 형성 공정 S01)
- [0063] 먼저, 도 5 및 도 6 에 나타내는 바와 같이, 회로층 (12) 이 되는 알루미늄 판 (22) 및 금속층 (13) 이 되는 알루미늄 판 (23) 과 세라믹스 기판 (11) 의 접합면의 적어도 일방에 Cu 층 (26) 을 형성한다. 본 실시형태에 있어서는, 도 6 에 나타내는 바와 같이, 세라믹스 기판 (11) 의 양면에 각각 Cu 층 (26) 을 형성하고 있다. 또한, Cu 층 (26) 의 형성 방법에 특별히 제한은 없으며, 스퍼터, 증착, CVD, 도금, 페이스트, 박재 (箔材) 등의 기존의 수단을 적절히 사용할 수 있다.
- [0064] 여기서, Cu 층 (26) 에 있어서의 Cu 의 고착량은, $0.08 \text{ mg}/\text{cm}^2$ 이상 $2.0 \text{ mg}/\text{cm}^2$ 이하의 범위 내로 하는 것이 바람직하다.
- [0065] (적층 공정 S02)
- [0066] 다음으로, 세라믹스 기판 (11) 의 일방의 면에 Cu 층 (26) 을 개재하여 회로층 (12) 이 되는 알루미늄 판 (22) 을 적층하고, 세라믹스 기판 (11) 의 타방의 면에 Cu 층 (26) 을 개재하여 금속층 (13) 이 되는 알루미늄 판 (23) 을 적층한다.
- [0067] (접합 공정 S03)
- [0068] 이어서, 회로층 (12) 이 되는 알루미늄 판 (22), 세라믹스 기판 (11), 금속층 (13) 이 되는 알루미늄 판 (23) 의 적층체를, 가압 장치를 사용하여 적층 방향으로 가압한 상태에서 진공 가열로에 장입하고, 알루미늄 판 (22) 과 세라믹스 기판 (11) 을 접합하여 회로층 (12) 을 형성하고, 알루미늄 판 (23) 과 세라믹스 기판 (11) 을 접합하여 금속층 (13) 을 형성한다.
- [0069] 여기서, 접합 공정 S03 에 있어서는, 적층 방향으로의 가압 하중을 0.098 MPa 이상 2.94 MPa 이하의 범위 내로 한다.
- [0070] 또, 접합 온도는 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 이상 $650 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하의 범위 내로 하고, 접합 온도에서의 유지 시간은 180 분 이하로 한다.
- [0071] 그리고, Al 과 Cu 의 공정 온도 ($548 \text{ }^\circ\text{C}$) 로부터 접합 온도까지의 승온 속도를, $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{분}$ 이상 $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{분}$ 이하의 범위 내로 한다.
- [0072] 이상과 같은 공정에 의해, 본 실시형태인 절연 회로 기판 (10) 이 제조된다.
- [0073] (히트 싱크 접합 공정 S04)
- [0074] 다음으로, 이 절연 회로 기판 (10) 의 금속층 (13) 의 타방측에, 브레이징재를 개재하여 히트 싱크 (31) 를 적층하고, 절연 회로 기판 (10) 과 히트 싱크 (31) 를 적층 방향으로 가압한 상태에서 진공 가열로에 장입하고, 금속층 (13) 과 히트 싱크 (31) 를 접합한다.

- [0075] (반도체 소자 접합 공정 S05)
- [0076] 이어서, 회로층 (12) 의 일방의 면에, 솔더재 (솔더층 (2)) 를 개재하여 반도체 소자 (3) 를 적층하고, 가열로 내에 있어서 솔더 접합한다.
- [0077] 상기와 같이 하여, 도 1 에 나타내는 파워 모듈 (1) 이 제조된다.
- [0078] 이상과 같은 구성으로 이루어진 본 실시형태인 절연 회로 기판 (10) 에 의하면, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 세라믹스 기판 (11) 의 접합 계면측에 있어서 Cu 가 고용되어 있고, 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A mass% 와 접합 계면으로부터 회로층 (12) 및 금속층 (13) 측으로 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B mass% 의 비 B/A 가 0.30 이상 0.85 이하로 되어 있다. 이 때문에, 알루미늄으로 이루어지는 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 내부에까지 충분히 Cu 가 확산되어 있고, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 접합 계면 근방에는 Cu 가 파괴화로 고용된 영역이 형성되게 된다. 이 때문에, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 이 강화되어, 냉열 사이클 부하 후에 있어서의 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 변형이나 회로층 (12) 및 금속층 (13) 내에서의 크랙의 발생을 억제할 수 있다.
- [0079] 또, Cu 가 Al 의 모상 중에 고용되어 있으므로, 단단한 Al-Cu 의 공정상이 형성되어 있지 않고, 세라믹스 기판 (11) 의 균열의 발생을 억제할 수 있다.
- [0080] 또한, 본 실시형태에 있어서, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 과 세라믹스 기판 (11) 의 접합 계면의 폭 방향의 단부로부터 중심을 향하여 1 mm 의 범위 내에서의 Al-Cu 공정상의 면적률이 30 % 이하인 경우에는, 단단한 Al-Cu 공정상이 적고, 세라믹스 기판 (11) 의 균열의 발생을 억제할 수 있다.
- [0081] 본 실시형태에 있어서, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 세라믹스 기판 (11) 의 접합 계면으로부터 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B 가 0.04 mass% 이상 0.96 mass% 이하의 범위 내로 되어 있는 경우에는, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 내부를 향해서 충분히 Cu 가 확산되어 있고, 냉열 사이클 부하 후에 있어서의 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 변형이나 회로층 (12) 및 금속층 (13) 내에서의 크랙의 발생을 더욱 억제할 수 있다.
- [0082] 본 실시형태에 있어서, -65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 세라믹스 기판 (11) 의 접합 계면으로부터 두께 방향으로 100 μm 까지의 영역에 있어서, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 결정립계 및 결정립 내에 Al 과 Cu 를 포함하는 Al-Cu 화합물 입자 (15) 가 석출되어 있는 경우에는, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 세라믹스 기판 (11) 의 접합 계면 근방이 Al-Cu 화합물 입자 (15) 에 의해 강화되어 있다. 이 때문에, 냉열 사이클 부하 후에 있어서의 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 변형이나 회로층 (12) 및 금속층 (13) 내에서의 크랙의 발생을 확실하게 억제할 수 있다.
- [0083] 본 실시형태에 있어서, 접합 계면으로부터 회로층 (12) 및 금속층 (13) 측으로 두께 방향으로 50 μm 의 범위 내에 있어서, -65 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지와 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에 석출된 Al-Cu 화합물 입자의 개수 밀도가, 0.50 개/ μm^2 이상 8.50 개/ μm^2 이하의 범위 내인 경우에는, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 접합 계면 근방의 변형 저항이 상승하여, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 변형을 더욱 억제할 수 있다. 또한, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 접합 계면 근방이 필요 이상으로 단단해지지 않아, 세라믹스 기판 (11) 의 균열을 더욱 억제할 수 있다.
- [0084] 본 실시형태에 있어서, Al-Cu 화합물 입자 (15) 의 원상당径의 평균이 30 nm 이상 130 nm 이하의 범위 내인 경우에는, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 접합 계면 근방 부분을 충분히 석출 강화할 수 있고, 회로층 (12) 및 금속층 (13) 의 변형을 더욱 억제할 수 있다.
- [0085] 이상, 본 발명의 실시형태에 대해서 설명했지만, 본 발명은 이것에 한정되는 일은 없으며, 그 발명의 기술적 요건을 일탈하지 않는 범위에서 적절히 변경 가능하다.
- [0086] 예를 들어, 본 실시형태에서는, 세라믹스 기판을 질화규소로 구성한 것으로서 설명했지만, 이것에 한정되는 일은 없으며, 알루미늄으로 구성되어 있어도 되고, 질화알루미늄으로 구성되어 있어도 된다.
- [0087] 또, 본 실시형태에서는, 절연 회로 기판의 회로층에 파워 반도체 소자를 탑재하여 파워 모듈을 구성하는 것으로서 설명했지만, 이것에 한정되는 일은 없다. 예를 들어, 절연 회로 기판에 LED 소자를 탑재하여 LED 모듈을 구성해도 되고, 절연 회로 기판의 회로층에 열전 소자를 탑재하여 열전 모듈을 구성해도 된다.

- [0088] 또, 본 실시형태에서는, 절연 회로 기판 (금속층) 과 히트 싱크를 브레이징에 의해 접합하는 것으로서 설명했지만, 이것에 한정되는 일은 없으며, 고상 확산 접합, TLP 등의 다른 접합 방법을 적용해도 된다.
- [0089] 또한, 본 실시형태에서는, 히트 싱크를 알루미늄으로 이루어지는 것으로서 설명했지만, 이것에 한정되는 일은 없으며, 구리 등으로 구성되어 있어도 되고, 내부에 냉각 매체가 유통되는 유로를 구비한 것이어도 된다. 또, 히트 싱크와 절연 회로 기판의 사이에, 예를 들어 4N-알루미늄으로 이루어지는 완충층을 형성해도 된다.
- [0090] 실시에
- [0091] 이하에, 본 발명의 효과를 확인하기 위해서 실시한 확인 실험의 결과에 대해서 설명한다.
- [0092] (실시에 1)
- [0093] 표 1 에 나타내는 세라믹스 기판 (40 mm × 40 mm) 을 준비하고, 이 세라믹스 기판의 일방의 면 및 타방의 면에, 스퍼터법에 의해 Cu 층을 형성하였다. 이 때의 Cu 의 고착량을 표 1 에 나타낸다.
- [0094] 그리고, 세라믹스 기판의 일방의 면에 Cu 층을 개재하여 4N 알루미늄으로 이루어지는 알루미늄 판 (37 mm × 37 mm × 두께 (t) 0.4 mm) 을 적층하고, 세라믹스 기판의 타방의 면에 Cu 층을 개재하여 4N 알루미늄으로 이루어지는 알루미늄 판 (37 mm × 37 mm × 두께 (t) 0.4 mm) 을 적층하였다.
- [0095] 그리고, 표 1 에 나타내는 조건으로, 알루미늄 판과 세라믹스 기판을 접합하고, 절연 회로 기판을 제조하였다. 또한, 표 1 에 기재된 승온 속도는, Al 과 Cu 의 공정 온도 (548 ℃) 로부터 접합 온도까지의 승온 속도이다.
- [0096] 얻어진 절연 회로 기판의 금속층에 4N-알루미늄 (두께 0.9 mm) 의 완충층을 개재하여 히트 싱크 (50 mm × 60 mm, 두께 5 mm 의 알루미늄 판 (A6063)) 를 접합하고, 히트 싱크가 부착된 절연 회로 기판을 얻었다. 또한, 금속층과 완충층의 접합 및 완충층과 히트 싱크의 접합은, Al-Si 박을 사용한 브레이징에 의해 실시하였다.
- [0097] 얻어진 히트 싱크가 부착된 절연 회로 기판에 대해, 알루미늄 판의 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A, 접합 계면으로부터 알루미늄 판의 내부로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B, 초기 접합물, 냉열 사이클 시험 후의 Al-Cu 화합물 입자의 유무, 냉열 사이클 시험 후의 접합물, 냉열 사이클 시험 후의 기판의 균열 유무에 대해서 평가하였다.
- [0098] (Cu 농도 A, Cu 농도 B)
- [0099] 히트 싱크가 부착된 절연 회로 기판을 적층 방향을 따른 단면 (斷面) 에서 절단하고, 기판의 폭 방향 중앙의 단면에 있어서, 전자선 마이크로애널라이저 (니혼 전자사 제조 JXA-8530F) 를 사용하여, 배율 500 배, 가속 전압 15 kV 의 조건으로, 접합 계면과 접합 계면으로부터 적층 방향으로 100 μm 의 위치에서 Cu 에 대해 정량 분석을 실시하였다. 관찰 영역에 있어서, 접합 계면과 접합 계면으로부터 적층 방향으로 100 μm 의 위치에서, 각각 5 점의 Cu 농도와 그 평균값을 구하고, 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A (mass%), 접합 계면으로부터 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B (mass%) 를 얻었다. 이 때 Al 과 Cu 의 농도 (mass%) 의 합계가 100 이 되도록 하여, Cu 농도를 산출하였다.
- [0100] (초기 접합물)
- [0101] 알루미늄 판과 세라믹스 기판의 접합물을 평가하였다. 구체적으로는, 히트 싱크가 부착된 절연 회로 기판에 있어서, 알루미늄 판과 세라믹스 기판의 계면의 접합물에 대해 초음파 탐상 장치 (주식회사 히타치 파워 솔루션즈 제조 FineSAT200) 를 사용하여 평가하고, 이하의 식으로부터 산출하였다. 여기서, 초기 접합 면적이란, 접합 전에 있어서의 접합해야 할 면적, 즉 회로층의 면적으로 하였다. 초음파 탐상 이미지를 2 차원 처리한 화상에 있어서, 박리는 접합부 내의 백색부로 나타내는 것으로부터, 이 백색부의 면적을 박리 면적 (비접합부 면적) 으로 하였다.
- [0102] (접합률) = $\{((\text{초기 접합 면적}) - (\text{비접합부 면적})) / (\text{초기 접합 면적})\} \times 100$
- [0103] (냉열 사이클 시험)
- [0104] 냉열 충격 시험기 에스펙사 제조 TSB-51 을 사용하여, 히트 싱크가 부착된 절연 회로 기판에 대하여, 액조 (液槽) (플루오리너트) 에서, -65 ℃ × 5 분 ↔ 150 ℃ × 5 분의 냉열 사이클을 2000 회 실시하였다.
- [0105] (냉열 사이클 시험 후의 Al-Cu 화합물 입자의 유무)

- [0106] 상기 냉열 사이클 후의 히트 싱크가 부착된 절연 회로 기판에 대해, 적층 방향으로 절단하고, 이어서 기판의 폭 방향 중앙의 단면에 있어서, 주사형 전자 현미경 (칼자이스사 제조 GeminiSEM 500) 을 사용하여, 배율 5000 배, 가속 전압 5.0 kV 의 조건으로, 알루미늄 판과 세라믹스 기판의 접합 계면을 포함하는 영역 (17 μm \times 23 μm) 을 관찰하였다.
- [0107] 이 관찰에서는, SEM 화상 및 Cu, Al 의 원소 MAP 를 취득하였다. SEM 화상에서 백색으로 관찰되는 입상 (粒狀) 의 영역이 관찰되고, 또한, 이 영역에 있어서 Cu 와 Al 이 공존하고 있었을 경우, Al-Cu 화합물 입자가 「유」 (존재한다) 라고 평가하였다.
- [0108] 그리고 알루미늄 판의 접합 계면으로부터 두께 방향으로 100 μm 까지의 영역을 관찰하고, Al-Cu 화합물 입자의 유무를 평가하였다.
- [0109] (냉열 사이클 시험 후의 접합률)
- [0110] 냉열 사이클 시험 후의 히트 싱크가 부착된 절연 회로 기판에 대해, 상기 서술한 바와 같이 초음파 탐상 장치 (주식회사 히타치 파워 솔루션즈 제조 FineSAT200) 를 사용하여 평가하고, 접합률을 산출하였다.
- [0111] (냉열 사이클 시험 후의 기판의 균열 유무)
- [0112] 냉열 사이클 시험 후의 히트 싱크가 부착된 절연 회로 기판에 대해, 초음파 탐상 장치 (주식회사 히타치 파워 솔루션즈 제조 FineSAT200) 를 사용하여 기판의 균열 유무를 평가하였다. 회로층, 금속층, 세라믹스 기판 중 어느 것에 균열이 확인된 경우를 「유」 (균열이 있다) 라고 평가하였다.

표 1

	세라믹스 기판		Cu 고착량 (mg/cm ²)	접합 공정			
	재질	두께 (mm)		하중 (MPa)	승온 속도 (°C/분)	접합 온도 (°C)	유지 시간 (min)
본 발명에 1	Si ₃ N ₄	0.32	0.36	0.490	5	650	25
본 발명에 2	Si ₃ N ₄	0.32	0.36	0.980	10	640	30
본 발명에 3	Si ₃ N ₄	0.32	1.79	0.980	15	600	100
본 발명에 4	Al ₂ O ₃	0.635	0.89	0.196	5	630	60
본 발명에 5	Al ₂ O ₃	0.635	0.09	0.098	20	640	180
본 발명에 6	AlN	0.635	0.18	0.196	10	650	45
본 발명에 7	AlN	0.635	0.89	0.490	20	620	60
본 발명에 8	AlN	0.635	0.72	0.196	15	640	120
비교예 1	AlN	0.635	0.36	0.490	10	630	20
비교예 2	Si ₃ N ₄	0.32	0.89	0.196	15	620	20
비교예 3	AlN	0.635	0.72	0.490	10	610	30
비교예 4	Al ₂ O ₃	0.635	0.09	0.196	5	640	15

[0113]

표 2

	냉열 사이클 시험		
	Al-Cu 화합물 입자의 유무	접합률 (%)	기판의 균열 유무
초기 접합률 (%)			
B/A			
100 μm 위치의 Cu 농도 B (mass%)			
접합 계면의 Cu 농도 A (mass%)			
발명예1	유	98.6	무
발명예2	유	97.5	무
발명예3	유	96.7	무
발명예4	유	95.1	무
발명예5	유	93.2	무
발명예6	유	95.8	무
발명예7	유	96.6	무
발명예8	유	94.6	무
비교예 1	유	80.8	유
비교예 2	무	88.9	유
비교예 3	무	88.0	유
비교예 4	무	82.9	유

[0114]

[0115]

비교예 1 ~ 4 에 있어서는, 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A mass% 와 접합 계면으로부터 알루미늄 판 측으로 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B mass% 의 비 B/A 가 0.30 미만 또는 0.85 초과였다. 비교예 1 ~ 4 에 있어서는, 냉열 사이클 시험 후의 접합률이 낮고, 냉열 사이클 시험 후에 기판에 균열이 확인되었다.

[0116]

이에 비해, 본 발명예 1 ~ 8 에 있어서는, 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A mass% 와 접합 계면으로부터 알루미늄 판 측으로 두께 방향으로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B mass% 의 비 B/A 가 0.30 이상 0.85 이하가 되었다. 본 발명예 1 ~ 8 에 있어서는, 냉열 사이클 시험 후에 있어서도 접합률이 충분히 높고, 또한 기판에 균열이 확인되지 않았다.

[0117]

(실시예 2)

[0118]

표 3 에 나타내는 세라믹스 기판 (40 mm × 40 mm) 을 준비하고, 이 세라믹스 기판의 일방의 면 및 타방의 면에, 스퍼터법에 의해 Cu 층을 형성하였다. 이 때의 Cu 의 고착량을 표 3 에 나타낸다.

[0119]

그리고, 세라믹스 기판의 일방의 면에 Cu 층을 개재하여 4N 알루미늄으로 이루어지는 알루미늄 판 (37 mm × 37 mm × 두께 (t) 0.4 mm) 을 적층하고, 세라믹스 기판의 타방의 면에 Cu 층을 개재하여 4N 알루미늄으로 이루어

지는 알루미늄 판 (37 mm × 37 mm × 두께 (t) 0.4 mm) 을 적층하였다.

- [0120] 그리고, 표 3 에 나타내는 조건으로, 알루미늄 판과 세라믹스 기판을 접합하고, 절연 회로 기판을 제조하였다.
- [0121] 얻어진 절연 회로 기판에 대해, 알루미늄 판의 접합 계면에 있어서의 Cu 농도 A, 접합 계면으로부터 알루미늄 판의 내부로 100 μm 의 위치에 있어서의 Cu 농도 B, 초기 접합물, 냉열 사이클 시험 후의 접합물, 냉열 사이클 시험 후의 기판의 균열의 유무에 대해, 실시예 1 과 동일한 순서로 평가하였다.
- [0122] 또, 접합 계면의 Al-Cu 공정상의 면적률, 냉열 사이클 시험 후의 Al-Cu 화합물 입자의 개수 밀도, Al-Cu 화합물 입자의 원상당경의 평균을, 이하와 같이 평가하였다.
- [0123] (접합 계면의 Al-Cu 공정상의 면적률)
- [0124] 접합 계면에 있어서, 폭 방향의 단부로부터 중심을 향하여 1 mm 의 범위에 있어서의 BSE 이미지를 주사형 전자 현미경 (칼자이스사 제조 GeminiSEM 500) 에 의해 얻고, 이 BSE 이미지를 2 치화 처리하였다. Al-Cu 공정상의 면적, 및, 접합 계면의 단부로부터 1 mm 까지의 범위의 면적을 구하고, 이하의 식에 의해, 접합 계면의 Al-Cu 공정상의 면적률을 산출하였다.
- [0125]
$$(Al-Cu \text{ 공정상의 면적률}) = \{(Al-Cu \text{ 공정상의 면적}) / (\text{단부로부터 중심을 향하여 } 1 \text{ mm } \text{까지의 면적})\} \times 100$$
- [0126] (냉열 사이클 시험 후의 Al-Cu 화합물 입자의 개수 밀도)
- [0127] 상기 냉열 사이클 시험 후의 절연 회로 기판에 대해, 적층 방향으로 절단하였다. 이어서, 기판의 폭 방향 중앙의 단면에 있어서, 상기 서술한 방법에 의해 Al-Cu 화합물 입자의 유무를 확인하였다. Al-Cu 화합물 입자가 확인된 영역 (접합 계면으로부터 알루미늄 판 측으로 두께 방향으로 50 μm 의 범위 내) 에 있어서, 주사형 전자 현미경 (칼자이스사 제조 GeminiSEM 500) 에 의해, 1000 배의 ASB 이미지를 취득하고, Al-Cu 화합물 입자가 백색으로 되도록 ASB 이미지를 2 치화하였다.
- [0128] 그리고, Al-Cu 화합물 입자의 개수를 계측하고, 측정 범위의 면적으로 나눔으로써, 개수 밀도를 산출하였다. 또한, 개수 밀도는, 입경이 0.01 μm 이상 2 μm 이하의 범위 내의 Al-Cu 화합물 입자를 대상으로 하여 산출하였다. 또, 입자 형상이 원 형상이 아닌 경우에는, 가장 짧은 부분 (단경) 을 그 입자의 입경이라고 판단하였다. 또한, 입자의 일부가 측정 범위 외에 있는 등 하여, 입자의 형상이 불분명한 경우, 이 입자는 제외하고 계측하였다.
- [0129] (냉열 사이클 시험 후의 Al-Cu 화합물 입자의 원상당경의 평균)
- [0130] 개수 밀도의 측정법과 동일하게 하여, ASB 이미지를 2 치화하였다. 이어서, 측정 영역 내의 각 Al-Cu 화합물 입자의 면적을 구하고, 이 면적으로부터 원상당경을 산출하고, 원상당경의 평균값을 구하였다. 이 평균값을 표 4 에 나타낸다. 또한, 면적을 구할 때에, 입자의 일부가 측정 범위 외에 있는 등 하여, 면적을 구할 수 없는 경우, 이 입자는 제외하였다.

표 3

	세라믹스 기판		Cu 고착량 (mg/cm ²)	접합 공정			
	재질	두께 (mm)		하중 (MPa)	승온 속도 (°C/분)	점합 온도 (°C)	유지 시간 (min)
본 발명예11	Si ₃ N ₄	0.32	0.18	0.980	5	620	60
본 발명예12	Si ₃ N ₄	0.32	1.79	0.196	15	640	30
본 발명예13	Si ₃ N ₄	0.32	0.36	0.588	15	650	45
본 발명예14	Al ₂ O ₃	0.635	0.89	0.294	5	640	60
본 발명예15	Al ₂ O ₃	0.635	0.18	0.588	20	630	45
본 발명예16	AlN	0.635	0.89	0.392	20	610	60
본 발명예17	AlN	0.635	0.36	0.098	10	650	30
본 발명예18	AlN	0.635	0.72	0.490	15	630	100

[0131]

표 4

	냉열 사이클 시험				초기 접합률 (%)	Al-Cu 공정상의 면적률 (%)	B/A	100 μm 위치의 Cu 농도 B (mass%)	접합 계면의 Cu 농도 A (mass%)
	Al-Cu 화합물 입자		점합률 (%)	기판의 균열 유무					
	개수 밀도 (개/μm ²)	원상당경 (nm)							
본 발명예 11	2.40	101	98.0	마	98.7	16.9	0.41	0.21	0.51
본 발명예 12	7.80	46	96.6	마	98.2	32.0	0.34	0.64	1.88
본 발명예 13	0.72	117	99.4	마	99.4	19.0	0.52	0.12	0.23
본 발명예 14	8.70	27	94.5	마	99.8	22.5	0.61	0.57	0.94
본 발명예 15	8.10	37	99.5	마	98.7	6.2	0.40	0.23	0.57
본 발명예 16	0.47	133	92.7	마	99.2	12.7	0.47	0.48	1.03
본 발명예 17	0.64	124	98.4	마	99.3	8.6	0.36	0.14	0.39
본 발명예 18	8.40	31	98.2	마	99.1	26.2	0.73	0.37	0.51

[0132]

[0133]

본 발명예 11, 13, 15, 17, 18 에 있어서는, 접합 계면으로부터 알루미늄 판 측으로 두께 방향으로 50 μm 의 범위 내에 있어서, -65 °C 에서 5 분 유지와 150 °C 에서 5 분 유지를 1 사이클로 하는 냉열 사이클을 2000 회 실시한 후에 석출된 Al-Cu 화합물 입자의 개수 밀도가 0.50 개/μm² 이상 8.50 개/μm² 이하의 범위 내였다. 상기 Al-Cu 화합물 입자의 원상당경의 평균이 30 nm 이상 130 nm 이하의 범위 내였다. 알루미늄 판과 세라믹스 기판의 접합 계면에 있어서, 접합 계면의 폭 방향의 단부로부터 중심을 향하여 1 mm 의 범위 내에서의 Al-Cu 공정상의 면적률이 30.0 % 이하였다. 냉열 사이클 시험 후에 있어서도 접합률이 충분히 높고, 또한, 기판에 균열이 확인되지 않았다.

[0134]

또, 본 발명예 12 에서는, Al-Cu 공정상의 면적률이 32.0 % 였다. 본 발명예 14 에서는, 냉열 사이클 시험 후의 Al-Cu 화합물 입자의 개수 밀도가 8.70 개/μm² 이고, 또한 Al-Cu 화합물 입자의 원상당경이 27 nm 였다. 본 발명예 16 에서는, 냉열 사이클 시험 후의 Al-Cu 화합물 입자의 개수 밀도가 0.47 개/μm² 이고, 또한 Al-Cu 화합물 입자의 원상당경이 133 nm 였다. 이들 본 발명예 12, 14, 16 에 비해, 본 발명예 11, 13,

15, 17, 18 에서는, Al-Cu 공정상의 면적률이 30.0 % 이하이고, 냉열 사이클 시험 후의 Al-Cu 화합물 입자의 개수 밀도가 0.50 개/ μm^2 이상 8.50 개/ μm^2 이하의 범위 내이고, 또한 Al-Cu 화합물 입자의 원상당경이 30 nm 이상 130 nm 이하의 범위 내였다. 본 발명에 12, 14, 16 에 비해, 본 발명에 11, 13, 15, 17, 18 에 있어서는, 접합률이 더욱 우수한 것이 확인되었다.

[0135] 본 실시예의 결과로부터, 본 발명에 의하면, 혹독한 냉열 사이클을 부하한 경우라도, 세라믹스 기판의 균열이나 회로층(금속층)의 변형 등을 억제할 수 있고, 세라믹스 기판과 회로층의 접합 신뢰성이 우수한 절연 회로 기판을 제공 가능한 것이 확인되었다.

산업상 이용가능성

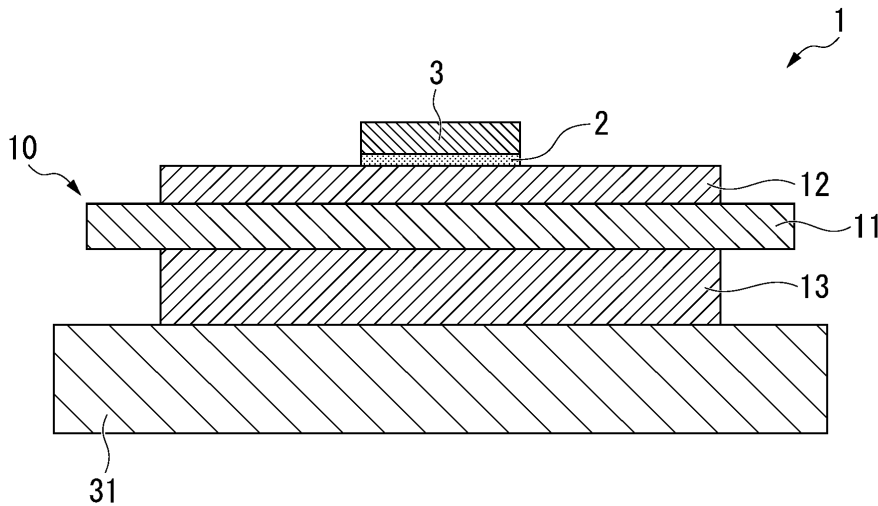
[0137] 본 실시형태의 절연 회로 기판은, 파워 모듈, LED 모듈 및 열전 모듈에 적합하게 적용할 수 있다.

부호의 설명

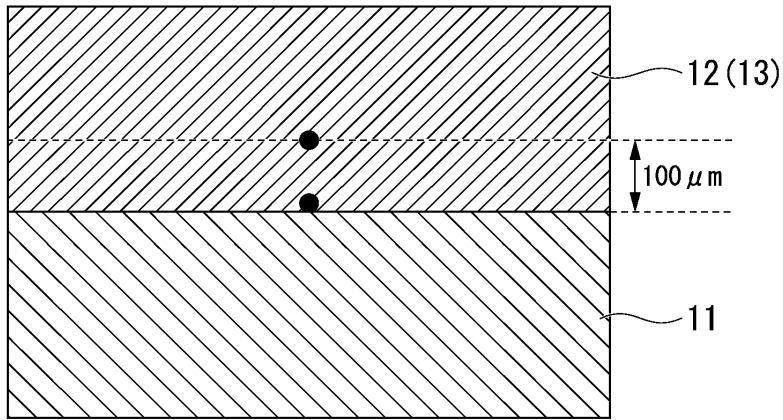
- [0138]
- 1 : 파워 모듈
 - 3 : 반도체 소자
 - 10 : 절연 회로 기판
 - 11 : 세라믹스 기판
 - 12 : 회로층
 - 13 : 금속층
 - 15 : Al-Cu 화합물 입자
 - 22, 23 : 알루미늄 판

도면

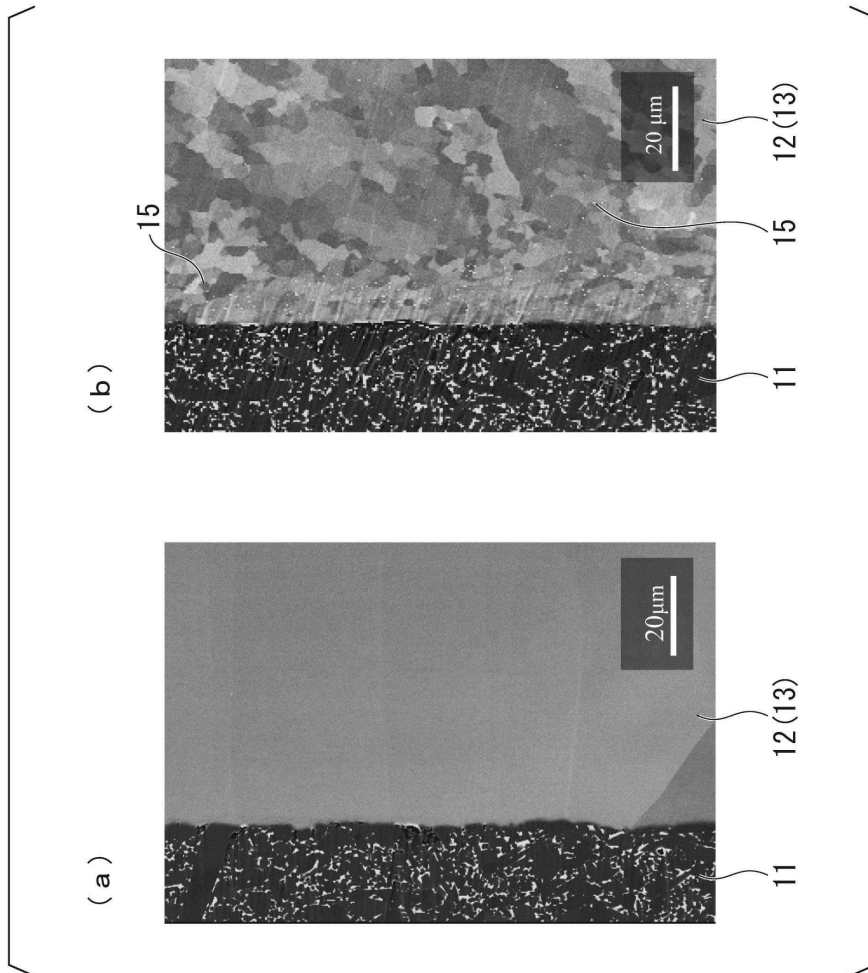
도면1



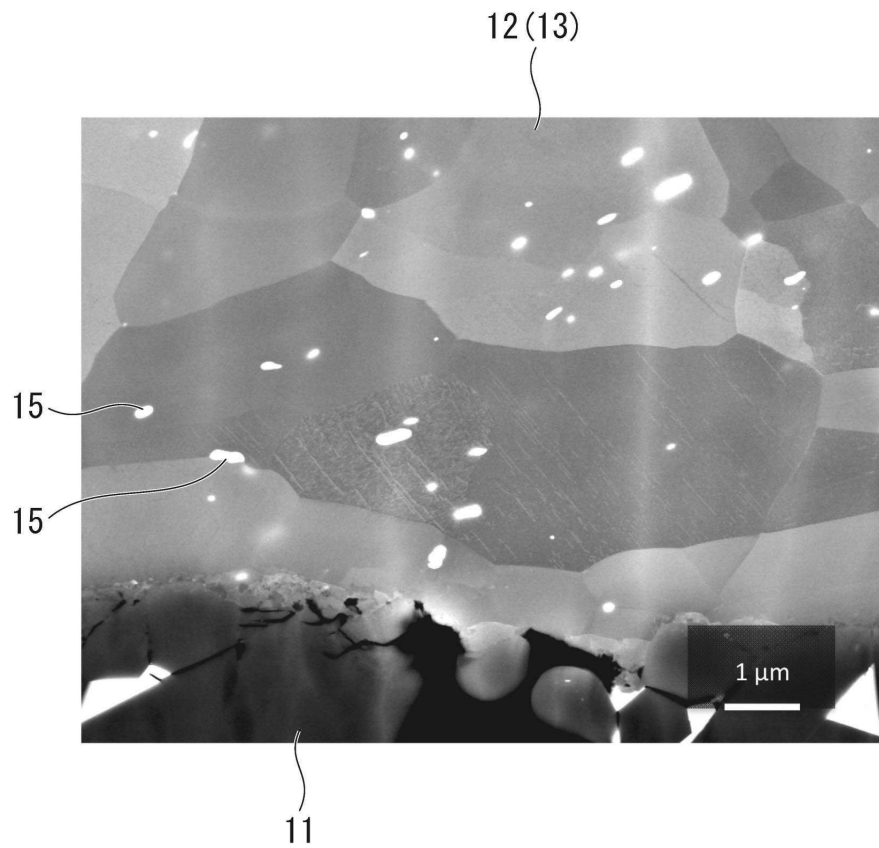
도면2



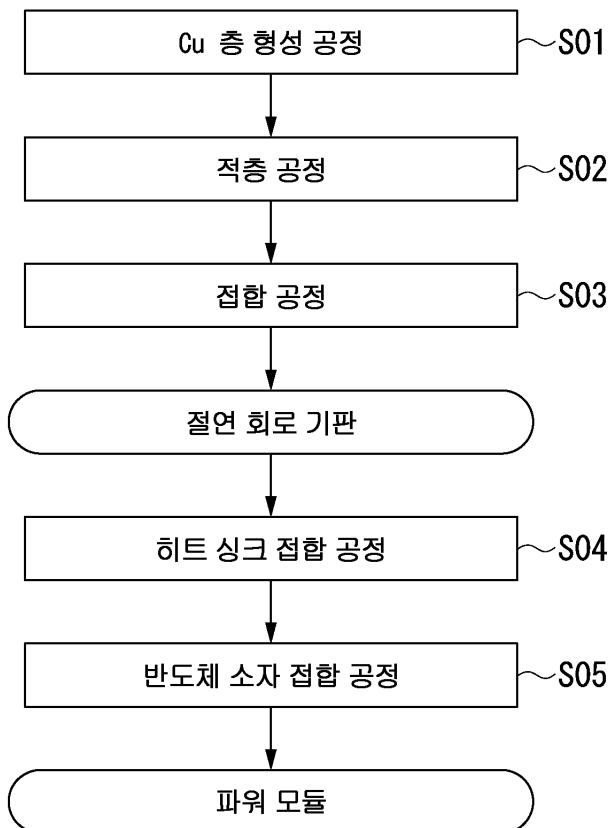
도면3



도면4



도면5



도면6

