



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년09월27일

(11) 등록번호 10-2447392

(24) 등록일자 2022년09월21일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 23/492 (2006.01) *B23K 35/26* (2006.01)
C22C 13/02 (2006.01) *H01L 21/60* (2006.01)
H01L 23/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 23/4924 (2013.01)
B23K 35/262 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-7033626
- (22) 출원일자(국제) 2016년05월05일
 심사청구일자 2021년05월04일
- (85) 번역문제출일자 2017년11월21일
- (65) 공개번호 10-2018-0006928
- (43) 공개일자 2018년01월19일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2016/030915
- (87) 국제공개번호 WO 2016/179358
 국제공개일자 2016년11월10일
- (30) 우선권주장
 62/157,302 2015년05월05일 미국(US)
 15/147,137 2016년05월05일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
 JP2014057974 A*
 JP2015077601 A*
 JP2008108993 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
 인덱 코포레이션
 미국, 뉴욕 13323, 클린턴, 로빈슨 로드 34
- (72) 발명자
 리우 웨이펑
 미국 13413 뉴욕주 뉴 하트포드 아이언우드 로드 30
 리 닝-청
 미국 13413 뉴욕주 뉴 하트포드 주빌리 레인 108
- (74) 대리인
 양영준, 윤정호

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 정구원

(54) 발명의 명칭 전자장치 적용을 위한 무연 뿔납 합금

(57) 요약

SnAgCuSb-기반 무연(Pb-free) 뿔납 합금이 개시된다. 개시된 뿔납 합금은, 이에 제한되지는 않으나, 가혹한 환경의 전자장치를 위한 뿔납 예비성형체, 뿔납 볼(ball), 뿔납 분말, 또는 뿔납 페이스트(뿔납 분말과 플럭스의 혼합물) 형태의 뿔납 접합부를 생성하는데 특히 적합하다. 0.1 내지 2.5 wt.%의 Bi 및/또는 0.1 내지 4.5 wt.%의 In으로부터 선택된 첨가제가 뿔납 합금 중에 포함될 수 있다.

(52) CPC특허분류

C22C 13/02 (2013.01)

H01L 24/11 (2013.01)

H01L 24/16 (2013.01)

H01L 24/81 (2013.01)

H01L 2021/60007 (2013.01)

H01L 2224/1131 (2013.01)

H01L 2224/13111 (2013.01)

H01L 2224/16225 (2013.01)

H01L 2224/81815 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

2.5 내지 4.5 wt.%의 Ag;
0.6 내지 2.0 wt.%의 Cu;
5.0 wt.% 초과 6.0 wt.% 이하의 Sb;
0.1 내지 3.0 wt.%의 In;
0.001 내지 0.2 wt.%의 Ni 또는 Co 또는 이들 둘 모두; 및
잔부의 Sn
을 포함하는, 땀납 합금.

청구항 2

삭제

청구항 3

2.5 내지 4.5 wt.%의 Ag;
0.6 내지 2.0 wt.%의 Cu;
5.0 wt.% 초과 6.0 wt.% 이하의 Sb;
0.1 내지 3.0 wt.%의 In; 및
잔부의 Sn
을 포함하는, 땀납 합금.

청구항 4

삭제

청구항 5

제3항에 있어서, 3.0 내지 4.0 wt.%의 Ag;
0.6 내지 1.2 wt.%의 Cu;
5.0 wt.% 초과 6.0 wt.% 이하의 Sb;
0.3 내지 1.5 wt.%의 In; 및
잔부의 Sn을 포함하는, 땀납 합금.

청구항 6

제5항에 있어서, 3.8 wt.%의 Ag, 1.0 wt.%의 Cu, 5.5 wt.%의 Sb, 0.5 wt.%의 In, 및 잔부의 Sn을 포함하는, 땀납 합금.

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

플럭스; 및

2.5 내지 4.5 wt.%의 Ag;

0.6 내지 2.0 wt.%의 Cu;

5.0 wt.% 초과 6.0 wt.% 이하의 Sb;

0.1 내지 3.0 wt.%의 In;

0.001 내지 0.2 wt.%의 Ni 또는 Co 또는 이들 둘 모두; 및

잔부의 Sn을 포함하는 땀납 합금 분말

을 포함하는, 땀납 페이스트.

청구항 12

삭제

청구항 13

플럭스; 및

2.5 내지 4.5 wt.%의 Ag;

0.6 내지 2.0 wt.%의 Cu;

5.0 wt.% 초과 6.0 wt.% 이하의 Sb;

0.1 내지 3.0 wt.%의 In; 및

잔부의 Sn을 포함하는 땀납 합금 분말

을 포함하는, 땀납 페이스트.

청구항 14

삭제

청구항 15

제13항에 있어서, 상기 땀납 합금 분말은,

3.0 내지 4.0 wt.%의 Ag;

0.6 내지 1.2 wt.%의 Cu;

5.0 wt.% 초과 6.0 wt.% 이하의 Sb;

0.3 내지 1.5 wt.%의 In; 및

잔부의 Sn을 포함하는 것을 특징으로 하는, 땀납 페이스트.

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

뿔납 합금을 기관과 디바이스 사이에 도포하여 어셈블리를 형성하는 공정; 및
상기 어셈블리를 리플로우 뿔납하여 뿔납 접합부를 형성하는 공정에 의하여 형성된 뿔납 접합부이며,
상기 뿔납 합금은,
2.5 내지 4.5 wt.%의 Ag;
0.6 내지 2.0 wt.%의 Cu;
5.0 wt.% 초과 6.0 wt.% 이하의 Sb;
0.1 내지 3.0 wt.%의 In;
0.001 내지 0.2 wt.%의 Ni 또는 Co 또는 이들 둘 모두; 및
잔부의 Sn을 포함하는 것을 특징으로 하는, 뿔납 접합부.

청구항 20

뿔납 합금을 기관과 디바이스 사이에 도포하여 어셈블리를 형성하는 공정; 및
상기 어셈블리를 리플로우 뿔납하여 뿔납 접합부를 형성하는 공정에 의하여 형성된 뿔납 접합부이며,
상기 뿔납 합금은,
2.5 내지 4.5 wt.%의 Ag;
0.6 내지 2.0 wt.%의 Cu;
5.0 wt.% 초과 6.0 wt.% 이하의 Sb;
0.1 내지 3.0 wt.%의 In; 및
잔부의 Sn을 포함하는 것을 특징으로 하는, 뿔납 접합부.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시내용은 일반적으로 전자장치에서 사용되는 무연(lead-free) 뿔납 합금 조성물, 및 특히 무연 뿔납 예비 성형체, 뿔납 분말, 뿔납 볼(ball), 뿔납 페이스트, 및 무연 뿔납 합금으로 제조된 뿔납 접합부에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 2006년 7월에 유럽 연합(European Union)이 유해 물질에 대한 제한지침(Restrictions on Hazardous Substances, RoHS) 법규를 실행하였기 때문에, 전자 산업에서는 무연(lead (Pb)-free) 뿔납 합금이 널리 채택되어 왔다. 그러나, 통용되고 있는 무연 뿔납 합금은, 125℃ 이하의 서비스 또는 작동 온도를 필요로 하는 가혹하지 않은 전자장치 환경에서 주로 사용된다. 가혹한 전자장치 환경에 있어서, 예컨대 150℃ 이상의 작동 온도를 필요로 하는 자동차 적용에 있어서, 무연 SnAgCu ("SAC") 뿔납, 예컨대 Sn3.0Ag0.5Cu (SAC305) 및 Sn3.8Ag0.7Cu (SAC387) 합금은 높은 용융 온도의 Pb-고함량(high-Pb) 뿔납을 대체할 만큼 신뢰성이 있지 못하다.

[0003] Pb-고함량 뿔납 합금은 현재, 전력 반도체 패키지에서, 특히 대형 크기의 다이에서 가장 널리 사용되는 다이 부착 재료 중 하나이다. Pb-고함량 뿔납의 미세구조는 일반적으로 상당히 안정하며, 승온에서 장기 노화 동안 많

이 변하지 않는다. 대부분의 적용에 있어서 높은 연성 및 허용되는 열/전기 전도도와 고온 기능 및 안정성이 조합된 상기와 같은 고용점의 Pb-고함량 합금이 고전력 모듈의 패키징을 비롯한 광범위한 적용에서 널리 사용된다.

[0004] 현재 RoHS 법규에서 제외되는 가혹한 환경의 전자 산업에서는 적합한 대체 땀납을 활발히 탐구하고 있다. 무연 법안에 추가로, 자동차 차량에서의 전자장치의 활용성의 증가로 인한 보다 엄격한 전자장치 신뢰성 요건에 의해 상기와 같은 탐구가 추진되었다. 자동차 산업의 보다 고전력의 전기 차량을 향한 추세로 인해, 차량 내 전력 모듈 (예를 들어, IGBT 모듈)은 보다 고효율, 경량, 소형, 및 높은 작동 온도에서 고신뢰성을 가져야 한다. 이로써 또한, 통용되고 있는 Pb-고함량 땀납보다도 더 높은 신뢰성을 갖는 무연 땀납 합금을 사용하는 것이 요구된다. 일부 반도체 패키징 적용에서는, 땀납 공정 온도를 통상적인 SAC 합금의 공정 온도로 감소시키도록 의도되는데, 이는 후속 땀납 어셈블리 요건이 존재하지 않기 때문이다.

[0005] 상기에 비추어, 자동차 및 방위 산업에서와 같이 상기와 같은 가혹한 환경의 전자장치 적용을 위한 요건을 충족시키기 위해 고신뢰성 무연 땀납 합금을 개발하는 것이 바람직할 것이다.

발명의 내용

[0006] SnAgCuSb-기반 무연 땀납 합금이 개시된다. 개시된 땀납 합금은, 이에 제한되지는 않으나, 가혹한 환경의 전자장치를 위한 땀납 예비성형체, 땀납 볼, 땀납 분말, 또는 땀납 페이스트 (땀납 분말과 플럭스(flux)의 혼합물)의 형태의 땀납 접합부를 생성하는데 특히 적합하다. 0.1 내지 2.5 wt.%의 Bi 및/또는 0.1 내지 4.5 wt.%의 In 으로부터 선택된 첨가제가 땀납 합금 중에 포함될 수 있다.

[0007] 본원에 사용되는 용어 "약"은 정량적 용어로 $\pm 10\%$ 를 지칭한다. 예를 들어, "약 10"은 9 내지 11을 포괄할 것이다. 또한, 본원에서 "약"이 정량적 용어와 함께 사용되는 경우, $\pm 10\%$ 에 추가로, 정량적 용어의 정확한 값도 고려 및 기술되는 것으로 이해된다. 예를 들어, 용어 "약 10"은 명백하게 정확히 10을 고려, 기술 및 포함한다.

[0008] 본 발명의 다른 특징 및 측면은, 첨부된 도면과 함께, 본 발명의 실시양태에 따른 특징을 예로써 예시하는 하기 상세한 설명으로부터 명백해질 것이다. 개요는 여기에 첨부된 특허청구범위에 의해서만 규정되는 본 발명의 범주를 제한하도록 의도되지 않는다.

도면의 간단한 설명

[0009] 하나 이상의 다양한 실시양태에 따른 본원에 개시된 기술은 포함된 도면을 들어 상세히 기재된다. 도면은 단지 예시의 목적을 위해서만 제공되며, 오로지 개시된 기술의 전형적인 또는 일례의 실시양태를 도시한다. 이들 도면은 독자의 개시된 기술의 이해를 용이하게 하기 위해 제공되고, 그의 폭, 범주 또는 응용성을 제한하는 것으로 간주되어서는 안된다. 예시의 명료함 및 용이함을 위해 이들 도면은 반드시 제 척도로 맞춘 것은 아님을 참고해야 한다.

도 1은 산업 표준 비교 Pb-고함량 땀납 합금 (합금 번호 6) 및 개시내용에 따른 땀납 합금 (합금 번호 1 내지 5)의 SnAgCuSbBi-시스템 실시양태를 열거한 표이다.

도 2는 시판용 비교 무연 합금 Sn3.8Ag0.7Cu3.0Bi1.4Sb0.15Ni (합금 번호 22 - 이노롯(Innot)) 및 개시내용에 따른 땀납 합금 (합금 번호 7 내지 21)의 실시양태를 열거한 표이다.

도 3은 도 1의 시험된 합금 번호 1 내지 6을 포함하는 땀납 접합부에 대한 250, 500, 1000 및 1500 열 쇼크 사이클 후의 평균 땀납 접합부 전단 강도를 예시한다.

도 4는 도 1의 시험된 합금 번호 1 내지 6을 포함하는 땀납 접합부에 대한 500, 1000 및 1500 열 쇼크 사이클 후 측정된 땀납 접합부 내의 평균 크랙(crack) 길이를 예시한다.

도 5는 1000 사이클의 TS 시험 후의 시험된 합금 번호 1 내지 6을 포함하는 땀납 접합부에 대한 단면 땀납 접합부 단부의 일련의 광학 현미경 사진을 나타낸다.

도 6은 1000 사이클의 TS 시험 후의 Pb-고함량 땀납 접합부에 대한 단면의 근접도를 포함한 광학 현미경 사진을 나타낸다.

도 7은 250 사이클의 열 쇼크 시험 후의 도 1의 합금 번호 3 및 합금 번호 6에 대한 땀납 접합부의 일련의 단면

현미경 사진을 나타낸다.

도 8은 도 2에 열거된 주조된 대로의(as-cast) 땀납 합금의 항복 강도, 최종 인장 강도, 및 연성에 대한 실험 결과를 나타낸다.

도 9는 200℃에서 1000시간 동안 열 노화 처리 후의 도 2에 열거된 땀납 합금의 항복 강도, 최종 인장 강도, 및 연성에 대한 실험 결과를 나타낸다.

도 10은 도 2의 선택된 땀납 합금으로부터 제조된 Cu 기관 상의 Si 다이-부착 땀납 접합부에 대한 840 및 1585 사이클의 -55℃/200℃ 온도 사이클링 시험(temperature cycling test, TCT) 후 각각의 전단 강도 변동을 나타낸다. Sb3.5 및 Sb5.5 합금에 있어서, 전단 강도는 860 및 1607 사이클의 TCT 후 각각 시험하였음을 주지하기 바란다.

도 11은 도 10에서와 동일한 합금으로부터 제조된 Ni 기관 상의 Si 다이-부착 땀납 접합부에 대한 602 및 1838 사이클의 -55℃/200℃ TCT 후의 전단 강도 변동을 나타낸다.

도 12는 비교 Pb-고함량 표준 합금 뿐만 아니라 도 2의 땀납 합금으로부터 제조된 Cu 기관 상의 Si 다이-부착 땀납 접합부에 대한 1360 및 2760 사이클의 -40℃/175℃ TCT 후 각각의 전단 강도 결과를 나타낸다.

도 13은 도 2의 땀납 합금으로부터 제조된 Cu 기관 상의 인바르(Invar) 다이-부착 땀납 접합부에 대한 1360 및 2760 사이클의 -40℃/175℃ TCT 후 각각의 리플로우된 대로의(as-reflowed) 조건에 대한 전단 강도 결과를 나타낸다.

도 14는 도 13에서와 동일한 합금으로부터 제조된 Ni 기관 상의 인바르 다이-부착 땀납 접합부에 대한 1360 및 2760 사이클의 -40℃/175℃ TCT 후 각각의 리플로우된 대로의 조건에 대한 전단 강도 결과를 나타낸다.

도 15는 본 개시내용에 따른 Sn(3.2-3.8)Ag(0.7-0.9)Cu(3.0-4.0)SbxIn 합금 중의 In 함량에 따른 고상선(solidus) 및 액상선(liquidus) 온도의 변동을 나타낸다.

도 16은 Sn-Sb 2원 상 다이어그램을 나타낸다.

도면은 본 발명을 개시된 정확한 형태로 제한하거나 또는 총괄되도록 의도되지 않는다. 본 발명은 변경 및 변형과 함께 실시될 수 있고, 개시된 기술은 특허청구범위 및 그의 등가물에 의해서만 제한되는 것으로 이해되어야 한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 개시된 기술의 다양한 실시양태에 따라, SnAgCuSb-기반 무연 땀납 합금, 및 땀납 합금을 포함하는 땀납 접합부가 개시된다. 개시된 땀납 합금은, 이에 제한되지는 않으나, 150℃ 이상과 같은 보다 높은 서비스 또는 작동 온도에서 고신뢰성을 필요로 하는 가혹한 환경의 전자장치 적용을 위한 땀납 예비성형체, 땀납 볼, 땀납 분말, 또는 땀납 페이스트 (땀납 분말과 플럭스의 혼합물)의 형태의 땀납 접합부를 생성하는데 특히 적합하다.
- [0011] 다양한 실시양태에서, 땀납 합금은 2.5 내지 4.5 wt.%의 Ag, 0.6 내지 2.0 wt.%의 Cu, 2.5 내지 9.0 wt.%의 Sb, 및 잔부의 Sn을 포함한다. 추가의 실시양태에서, 땀납 합금은, (a) 0.1 내지 2.5 wt.%의 Bi, (b) 0.1 내지 4.5 wt.%의 In, 및 (c) 0.001 내지 0.2 wt.%의 Ni 또는 Co 또는 이들 둘 모두로부터 선택된 첨가제 중 적어도 하나를 추가로 포함할 수 있다.
- [0012] 제1 세트의 실시양태에서, 땀납 합금은 2.5 내지 4.5 wt.%의 Ag, 0.6 내지 2.0 wt.%의 Cu, 2.5 내지 9.0 wt.%의 Sb, 0.1 내지 2.5 wt.%의 Bi, 및 잔부의 Sn을 포함하는 SnAgCuSbBi-시스템 합금이다. 특히 이들 실시양태의 구현예에서, 땀납 합금은 3.0 내지 4.0 wt.%의 Ag, 0.6 내지 1.2 wt.%의 Cu, 5.0 내지 6.0 wt.%의 Sb, 약 0.3 wt.%의 Bi, 및 잔부의 Sn으로 본질적으로 이루어진다. 예를 들어, 땀납 합금은 약 3.8 wt.%의 Ag, 약 1.0 wt.%의 Cu, 약 6.0 wt.%의 Sb, 약 0.3 wt.%의 Bi, 및 잔부의 Sn으로 본질적으로 이루어질 수 있다.
- [0013] 제2 세트의 실시양태에서, 땀납 합금은 3.0 내지 4.0 wt.%의 Ag, 0.6 내지 1.2 wt.%의 Cu, 3.0 내지 9.0 wt.%의 Sb, 및 잔부의 Sn으로 본질적으로 이루어진 SnAgCuSb-시스템 합금이다. 이들 실시양태의 특정 구현예에서, Sb 함량은 5.0 내지 6.0 wt.%일 수 있다.
- [0014] 제3 세트의 실시양태에서, 땀납 합금은 2.5 내지 4.5 wt.%의 Ag, 0.6 내지 2.0 wt.%의 Cu, 2.5 내지 9.0 wt.%의 Sb, 0.1 내지 4.5 wt.%의 In, 및 잔부의 Sn을 포함하는 SnAgCuSbIn(Bi)-시스템 합금이다. 이들 실시양태의 한 세트의 구현예에서, 땀납 합금은 3.0 내지 4.0 wt.%의 Ag, 0.6 내지 1.2 wt.%의 Cu, 3.0 내지 5.0 wt.%의

Sb, 1.0 내지 4.0 wt.%의 In, 약 0.5 wt.%의 Bi, 및 잔부의 Sn으로 본질적으로 이루어진다. 이들 실시양태의 또 다른 세트의 구현예에서, 뿔납 합금은 3.0 내지 4.0 wt.%의 Ag, 0.6 내지 1.2 wt.%의 Cu, 5.0 내지 6.0 wt.%의 Sb, 약 0.5 wt.%의 In, 및 잔부의 Sn으로 본질적으로 이루어진다.

[0015] 하기 요약된 실험 결과에 의해 예시되는 바와 같이, 본원에 개시된 무연 뿔납 합금의 실시양태로 제조된 뿔납 접합부는, 산업 표준 Pb-고함량 뿔납 합금 (Pb5Sn2.5Ag)으로 제조된 것들과 비교하여 열 사이클링 및 열 쇼크 시험에서 더 큰 내열피로성을 갖는다. 부가적으로, 본원에 개시된 무연 뿔납 합금의 실시양태로 제조된 뿔납 접합부는 실질적으로, 특히 열 사이클링 시험 후 다양한 조건 하에 전단 강도 시험에서 내열피로성이 시판용 표준 무연 합금 Sn3.8Ag0.7Cu3.0Bi1.4Sb0.15Ni (이노렛)을 능가하였다.

[0016] <실시예>

[0017] 개시된 SnAgCuSbBi-기반 무연 뿔납 합금 (합금 번호 1 내지 5 및 7 내지 21), 산업 표준 Pb-고함량 뿔납 합금 (합금 번호 6), 및 시판용 무연 합금 Sn3.8Ag0.7Cu3.0Bi1.4Sb0.15Ni (이노렛, 합금 번호 22)의 다양한 실시양태의 화학적 조성을 도 1 및 2에 나타난 바와 같이 유도 커플링형 플라즈마(Inductively Coupled Plasma, ICP) 분석으로 측정하였다 (화학적 조성을 wt%로 열거함). 뿔납 합금의 용융 거동은 10°C/min의 가열 및 냉각 속도로 시차 주사 열량측정법(Differential Scanning Calorimetry, DSC)을 사용하여 분석하였다. DSC 시험은 실온에서부터 350°C까지 주사하는 TA Q2000 시차 주사 열량계에서 수행하였다. 각각의 합금에 있어서, 샘플을 먼저 주위 온도에서부터 350°C까지 주사한 후 20°C로 냉각시킨 다음, 또 다시 350°C까지 주사하였다. 제2 가열 온도기록계를 사용하여합금의 용융 거동을 나타내었다. DSC 분석으로부터 획득된 뿔납 합금의 고상선 및 액상선 온도는 도 1 및 2의 표에 열거되어 있다.

[0018] SnAgCuSbBi-시스템 합금 실시예

[0019] 도 1에 나타난 SnAgCuSbBi-시스템 뿔납 합금의 실시양태를 포함하는 뿔납 접합부의 내열피로성을 열 쇼크 시험을 사용하여 평가하였다. 열 쇼크 시험은 하기 절차를 사용하여 수행하였다. 각각 8×8×0.25 mm 및 3×3×0.7 mm의 치수를 갖고 Ti/Ni/Ag 필름으로 금속화된 2가지 유형의 Si 다이들, 순수한 Ni 코팅된 Cu의 납 프레임 기판에 뿔납하여 다이-부착 뿔납 접합부를 형성하였다. 각각 8×8×0.15 mm 및 3×3×0.15 mm의 치수를 갖는 뿔납 예비성형체를 사용하였다. 뿔납은, 어셈블리의 공면성(coplanarity) 및 위치설정을 용이하게 하기 위해 Si 다이/뿔납 예비성형체/기판과 지그(jig)의 세트를 어셈블링한 후, 무연 실험 뿔납 합금의 경우 246°C의 피크 온도 및 61초의 220°C 초과 시간으로, 또는 표준 Pb-고함량 뿔납 합금 (Pb5Sn2.5Ag)의 경우 335°C의 피크 온도 및 61초의 TAL(time above liquidus, 액상선 초과 시간)로 리플로우 오븐에서 가열함으로써 수행하였다.

[0020] 생성된 다이-부착 뿔납 접합부를 2개의 별도의 챔버가 각각 반대 절대 온도로 설정된 공대공(air-to-air) 열 쇼크 시험기 내에 놓았고, 메커니즘은 시험된 샘플을 2개의 챔버 간에 이동시키고, 특정 시간 (체류 시간) 동안 각 절대 온도로 유지시켰다. 열 쇼크 시험은 본 실험에서 -40°C/150°C 하에 20분의 체류 시간으로 최대 1500 사이클에 대해 수행하였다. 250, 500, 1000 및 1500의 사이클 수에서, 다양한 시험 및 측정 목적을 위해 각각의 3×3 mm 및 8×8 mm 유형의 다이-부착 뿔납 접합부 샘플로부터 일련의 샘플을 인출하였다. 3×3 mm 유형의 다이-부착 접합부를 6 mm/분의 전단 속도로 콘도르(Condor) 250 XYZTEC 다이 전단 시험기를 사용하여 전단 시험하였고, 각각의 합금에 대해 다양한 열 쇼크 사이클 후 나머지 전단 강도 (MPa)를 측정하였다. C-SAM 이미지화 분석에 의한 크랙 검출 및 단면분석 및 현미경 관찰에 의한 크랙 길이 측정을 위해 8×8 mm 유형의 다이-부착 접합부를 사용하였다.

[0021] 도 3은 도 1의 시험된 합금 번호 1 내지 6을 포함하는 뿔납 접합부에 대한 250, 500, 1000 및 1500 열 쇼크 사이클 후의 평균 뿔납 접합부 전단 강도를 예시한다. 열 쇼크 시험 후의 뿔납 접합부의 나머지 강도가 높을수록, 더 신뢰성이 있다. 나타난 바와 같이, 뿔납 접합부의 전단 강도는, 열 쇼크 사이클링 시험에 의해 야기된 뿔납 접합부 내 증가된 손상으로 인해, 열 쇼크 사이클의 증가에 따라 감소한다. 전단 강도의 감소 속도는 일반적으로 열 쇼크 사이클의 증가에 따라 감소된다.

[0022] 예시된 바와 같이, 모든 시험 조건 하에, 개시된 뿔납 합금 (합금 번호 1 내지 5)의 SnAgCuSbBi 실시양태를 포함한 뿔납 접합부는 산업 표준 Pb-고함량 뿔납 합금 (합금 번호 6)을 포함한 뿔납 접합부보다 더 높은 전단 강도를 나타냈다. 합금 번호 3은 모든 시험 조건 하에 Pb-고함량 뿔납 접합부의 전단 강도의 2배의 전단 강도를 나타냈다.

[0023] 도 4는 도 1의 시험된 합금 번호 1 내지 6을 포함하는 뿔납 접합부에 대한 500, 1000 및 1500의 열 쇼크 사이클 후 측정된 뿔납 접합부 내 평균 크랙 길이를 예시한다. 평균 크랙 길이는 사이클 수의 증가에 따라 증가한다.

뿔납 접합부에서 크랙이 더 느리게 전파될수록, 열피로 파손에 대해 더 내성이다. 개시된 뿔납 합금 (합금 번호 1 내지 5)의 SnAgCuSbBi-시스템 실시양태를 포함한 뿔납 접합부는 산업 표준 Pb-고함량 뿔납 합금 (합금 번호 6)을 포함한 뿔납 접합부보다 실질적으로 더 짧은 평균 크랙 길이를 가졌다.

- [0024] 도 5는 1000 사이클의 TS 시험 후의 시험된 합금 번호 1 내지 6을 포함하는 뿔납 접합부에 대한 단면 뿔납 접합부 단부의 일련의 광학 현미경 사진을 나타낸다. 크랙의 단면 관찰은 Pb-고함량 뿔납 합금 (합금 번호 6)을 사용하여 형성된 뿔납 접합부의 더 긴 크랙 길이를 예시한다. 합금 번호 6에 있어서, 크랙은 각 사진의 전시야각 (whole view field)을 통해 연부로부터 전파되는 것으로 관찰되었다 (백색 화살표로 표기됨). Pb-고함량 뿔납 접합부 내의 이들 크랙은, 도 6에 나타난 바와 같이, 양쪽 단부에서부터 접합부 내부로 널리 연장되어 있다.
- [0025] 도 7은 250 사이클의 열 쇼크 시험 후의 합금 번호 3 및 합금 번호 6에 대한 뿔납 접합부의 일련의 단면 현미경 사진을 나타낸다. 도 7에 의해 입증된 바와 같이, 무연 합금에 있어서 열피로 크랙은 일반적으로 250 사이클의 TS 시험 후 개시된 반면, Pb-고함량 합금에 있어서 크랙은 250 사이클 전에 개시되었다.
- [0026] SnAgCuSb 및 SnAgCuSbIn(Bi) 시스템 합금 실시예
- [0027] SnAgCuSbBi 시스템의 고안된 뿔납 합금 (도 1)의 우수한 신뢰성 성능에 이어, 도 2에 나타난 바와 같은 SnAgCuSb 및 SnAgCuSbIn(Bi) 시스템의 합금 (합금 번호 11 내지 21)을 시험하였다.
- [0028] 뿔납 합금의 기계적 특성을 평가하기 위해 표준 ASTM 시험 절차에 따라 인장 시험을 수행하였다. 인장 시험에서 0.05 인치/분의 시험 속도 및 1 인치의 게이지 길이 및 ¼ 인치의 직경을 갖는 둥근 시험 시편을 사용하였다. 도 8은 도 2에 열거된 주조된 대로의 뿔납 합금의 항복 강도, 최종 인장 강도, 및 연성에 대한 결과를 나타낸다. 도 2에서, 합금 번호 7 내지 21은 본 개시내용에 따른 뿔납 합금이고, 합금 번호 22는 비교 합금으로서 사용된 시판용 고신뢰성 무연 합금이다. 도 9는 200℃에서 1000시간 동안 열 노화 처리 후의 도 2에 열거된 뿔납 합금의 항복 강도, 최종 인장 강도, 및 연성에 대한 결과를 나타낸다.
- [0029] 뿔납 페이스트는 유형 4 (입자 크기 38 내지 20 마이크로미터) 뿔납 합금 분말 (금속 하중 88.25%)을 무세정형 (no-clean) 플럭스와 표준 페이스트 제조 절차에 따라 혼합함으로써 제조하였다. 후속 신뢰성 시험에서의 평가를 위해, 순수한 Cu 또는 순수한 Ni 기판 상의 뿔납 페이스트로 어셈블링된 다이-부착 뿔납 접합부를 사용하였다. Cu 기판은 10% HBF₄ 산 용액으로 세정한 다음 DI 수로 행렸다. 순수한 Ni 기판은 질산 산세(pickling) 용액 (물 중의 14% HNO₃)으로 세정한 다음 DI 수로 행렸다. 먼저, 3×3×0.7 mm의 크기를 갖고 Ti/Ni/Ag 필름 (75 nm Ti/300 nm Ni/75 nm Ag)으로 금속화된 Si 다이를 뿔납 접합부 어셈블리에 사용하였다. 뿔납 페이스트를 3×3 mm 개구부를 갖는 8 밀 (0.2 mm) 두께의 스텐실을 사용하여 기판 상에 인쇄한 다음, 인쇄된 뿔납 페이스트 상에 다이를 놓았다. 그러나, Si 다이-부착 뿔납 접합부에 있어서, 리플로우된 대로의 접합부의 다이 전단 시험에서는 Si 다이에서 완전히 파열이 발생하기 때문에, 리플로우된 대로의 조건 하에 뿔납 접합부 전단 강도를 측정할 수 없다. 리플로우된 대로의 뿔납 접합부 전단 강도를 획득하기 위해, 3×3×1.0 mm의 크기를 갖는 인바르 다이를 사용하여 금속 다이-부착 뿔납 접합부를 제조하였다. 인바르는 그의 독특하게 낮은 열팽창 계수 (coefficient of thermal expansion, CTE)로 알려진 64Fe36Ni 합금이다. 인바르는 약 1.2 ppm/℃의 CTE (Si에 대한 약 2.6 ppm/℃의 CTE와 비교하여 대략 절반 값임)를 갖는다. 따라서, 인바르 다이-부착 뿔납 접합부는 훨씬 더 높은 CTE 불일치를 가지며, 열 사이클링 시험에서 Si 다이-부착 접합부보다 더 짧은 수명을 가질 것으로 예상된다. 본 연구에서, 코팅이 없는 무코팅(bare) 인바르 다이는 뿔납 전의 순수한 Ni 기판과 동일한 방식으로 세정하였다.
- [0030] 뿔납은, 무연 뿔납 합금의 경우 50 내지 60초의 액상선 초과 시간 (TAL) 및 243 내지 248℃의 피크 온도로, 또는 표준 Pb-고함량 뿔납 합금 (Pb5Sn2.5Ag)의 경우 약 60초의 TAL 및 335℃의 피크 온도로 리플로우 오븐에서 수행하였다.
- [0031] 뿔납 접합부의 내열피로성은 가속 온도 사이클링 시험 (TCT)을 사용하여 평가하였다. 본 실험에서 온도 사이클링 시험은 -55℃/200℃의 프로파일 하에 각 절대 온도에서 5분의 체류 시간 (사이클당 약 40분)으로 뿐만 아니라, -40℃/175℃의 프로파일 하에 각 절대 온도에서 5분의 체류 시간 (사이클당 약 33분)으로 수행하였다. 상이한 사이클 수에서, 다이 전단 시험을 위해 일련의 샘플을 인출하였다. 다이-부착 뿔납 접합부를 6 mm/분의 전단 속도로 콘도르 250 XYZTEC 다이 전단 시험기를 사용하여 전단 시험하였고, 각각의 합금에 대해 다양한 온도 사이클 후 나머지 전단 강도 (MPa)를 측정하였다. 각 조건에 대해, 7개의 뿔납 접합부를 전단 시험하였다.
- [0032] 비교 합금 (시판용 이노렛 합금 및 산업 표준 Pb-고함량 뿔납 합금 인달로이(Indalloy)151) 및 본 개시내용에

따른 땀납 합금의 실시예에 대한 시험 결과는 도 10 내지 14에 나타나 있다.

- [0033] 도 10은 도 2의 선택된 합금으로부터 제조된 Cu 기판 상의 Si 다이-부착 땀납 접합부에 대한 840 및 1585 사이클의 $-55^{\circ}\text{C}/200^{\circ}\text{C}$ 온도 사이클링 시험 (TCT) 후 각각의 전단 강도 변동을 나타낸다. Sb3.5 및 Sb5.5 합금에 있어서, 전단 강도는 860 및 1607 사이클의 TCT 후 각각 시험하였음을 주지하기 바란다. TCT 후 땀납 접합부의 나머지 강도가 높을수록, 더 신뢰성이 있다. 땀납 접합부의 전단 강도는, TCT에 의해 야기된 땀납 접합부 내 증가된 손상으로 인해, 열 사이클의 증가에 따라 감소하는 것으로 입증되었다. 도 10에 나타난 바와 같이, 새로운 예시적 땀납 합금으로부터 제조된 땀납 접합부는 이들 시험 조건 하에 TCT 후 시판용 이노렛 땀납 접합부보다 더 높은 평균 나머지 전단 강도를 나타낸다. $\text{Sn}_{3.8}\text{Ag}_{0.9}\text{Cu}_{6.0}\text{Sb}_{0.5}\text{In}$ 의 조성을 갖는 SI6005 합금은 비교 합금의 성능의 2배를 초과하였다.
- [0034] 도 11은 도 10에서와 동일한 합금으로부터 제조된 Ni 기판 상의 Si 다이-부착 땀납 접합부에 대한 602 및 1838 사이클의 $-55^{\circ}\text{C}/200^{\circ}\text{C}$ TCT 후의 전단 강도 변동을 나타낸다. 일반적으로, Ni 기판 상의 Si 다이-부착 땀납 접합부는 그의 Cu 기판 상의 대응물보다 TCT 후 훨씬 더 높은 평균 나머지 전단 강도를 갖는다. 이는, Ni 기판의 땀납 접합부에서의 열팽창 계수 (CTE)의 불일치 (Ni의 경우 CTE 13 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 대 Si의 경우 약 3 ppm/ $^{\circ}\text{C}$)가 Cu 기판의 것들에서의 CTE 불일치 (Cu의 경우 CTE 17 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 대 Si의 경우 약 3 ppm/ $^{\circ}\text{C}$)보다 더 낮다는 사실에 기인하다. 그 결과, 온도 사이클링 시험 동안 Cu 기판의 땀납 접합부에서보다 Ni 기판의 것들에서 더 낮은 응력 또는 변형률 및 그에 따른 더 적은 손상이 생성된다. 도 11에 예시된 바와 같이, 예시적 땀납 합금으로부터 제조된 Ni 상의 모든 땀납 접합부는 상기와 같은 시험 조건 하에 TCT 후 비교 이노렛 땀납 접합부보다 더 높은 평균 전단 강도를 나타낸다. 이들 시험에서 최상의 성능을 나타내는 3가지는 SI6005, SB6003 ($\text{Sn}_{3.8}\text{Ag}_{1.0}\text{Cu}_{6.0}\text{Sb}_{0.3}\text{Bi}$ 의 명목 조성을 가짐) 및 Sb5.5 ($\text{Sn}_{3.8}\text{Ag}_{1.0}\text{Cu}_{5.5}\text{Sb}$ 의 명목 조성을 가짐)이었다.
- [0035] 도 12는 비교 합금 (이노렛 합금 및 인달로이151 Pb-고함량 표준 합금)으로부터 뿐만 아니라 예시적 땀납 합금으로부터 제조된 Cu 기판 상의 Si 다이-부착 땀납 접합부에 대한 1360 및 2760 사이클의 $-40^{\circ}\text{C}/175^{\circ}\text{C}$ TCT 후 각각의 전단 강도 결과를 나타낸다. 도 12에 예시된 바와 같이, 이들 시험 조건 하에, 예시적 땀납 합금으로부터 제조된 Cu 상의 모든 땀납 접합부는 비교 무연 이노렛 땀납 접합부 뿐만 아니라 비교 Pb-고함량 인달로이151 땀납 접합부보다 TCT 후 더 높은 평균 전단 강도를 나타낸다.
- [0036] 도 13은 비교 이노렛 합금으로부터 뿐만 아니라 도 2의 예시적 땀납 합금으로부터 제조된 Cu 기판 상의 인바르 다이-부착 땀납 접합부에 대한 1360 및 2760 사이클의 $-40^{\circ}\text{C}/175^{\circ}\text{C}$ TCT 후 각각의 리플로우된 대로의 조건에 대한 전단 강도 결과를 나타낸다. 인달로이151 Pb-고함량 땀납 합금은 평가 시 비교 합금으로서 포함되지 않았는데, 이는 무코팅 인바르 다이로 제조된 땀납 접합부가 인바르 합금 상의 Pb-고함량 땀납의 불량한 습윤으로 인해 약했기 때문이다. 상기에서 언급된 바와 같이, 금속 다이-부착 땀납 접합부의 제조를 위해 인바르 다이를 사용하는 것의 이점 중 하나는 리플로우된 대로의 땀납 접합부 전단 강도를 측정할 수 있다는 것이다. 도 13에 예시된 바와 같이, 예시적 땀납 합금으로부터 제조된 Cu 기판 상의 리플로우된 대로의 땀납 접합부는, 비교 이노렛 땀납 접합부에 대한 68 MPa와 비교하여, 76 내지 94 MPa 범위의 매우 높은 평균 전단 강도를 갖는다. 1360 및 2760 사이클의 $-40^{\circ}\text{C}/175^{\circ}\text{C}$ TCT 후, 땀납 접합부의 평균 전단 강도는 유의하게 감소하나, 예시적 땀납 합금으로부터 제조된 땀납 접합부의 평균 전단 강도는 이노렛 땀납 접합부 전단 강도보다 훨씬 더 높다.
- [0037] 도 14는 도 13에서와 동일한 합금으로부터 제조된 Ni 기판 상의 인바르 다이-부착 땀납 접합부에 대한 1360 및 2760 사이클의 $-40^{\circ}\text{C}/175^{\circ}\text{C}$ TCT 후 각각의 리플로우된 대로의 조건에 대한 전단 강도 결과를 나타낸다. 일반적으로, Ni 기판 상의 리플로우된 대로의 인바르 다이-부착 땀납 접합부는 그의 Cu 기판 상의 대응물과 유사한 평균 전단 강도를 갖는다. 그러나, 전단 강도의 감소 속도는 그의 Cu 기판 상의 대응물과 비교하여, Ni 기판 상의 인바르 다이-부착 땀납 접합부에 있어서 TCT 후 상당히 감소된다. 도 14에 예시된 바와 같이, 이들 시험 조건 하에 TCT 후, 예시적 땀납 합금으로부터 제조된 Ni 상의 모든 인바르 다이-부착 접합부는 비교 이노렛 땀납 접합부보다 더 높은 평균 전단 강도 뿐만 아니라, 리플로우된 대로의 조건으로부터 전단 강도의 훨씬 감소된 감소 속도를 나타낸다.
- [0038] 도 15는 본 개시내용에 따른 $\text{Sn}(3.2-3.8)\text{Ag}(0.7-0.9)\text{Cu}(3.0-4.0)\text{SbxIn}$ 합금 중의 In 함량에 따른 고상선 및 액상선 온도의 변동을 나타낸다. In 농도가 증가함에 따라, 고상선 및 액상선 온도 둘 모두가 감소한다. 따라서, SnAgCuSb 합금에의 In의 첨가는 합금의 용융 온도를 효과적으로 감소시킬 수 있다. In 농도가 증가함에 따라, 용융 온도 범위 (고상선과 액상선 사이) 또한 더 폭넓어진다. 땀납 성능 고려를 위해, 15°C 미만의 좁은 용융 온도 범위가 요망되며, In 첨가는 5 wt% 이하이어야 한다.
- [0039] 도 16은 Sn-Sb 2원 상 다이어그램을 나타낸다. 평형상태 상 다이어그램에 기반하여, 10.2 wt% 미만의 Sb의 Sn-

Sb 합금의 고화 후 Sn(Sb) 고용체가 형성된다. 후속 냉각 시, SnSb 금속간 상은 과포화된 Sn(Sb) 고용체 (>3 wt% Sb)로부터 침전된다. β -SnSb 상은 준입방(quasicubic) NaCl (B1) 면심 입방(face-centered cubic, FCC) 유형이다. 이 구조는 Sb 원자의 어느 한 준격자(sublattice) 및 Sn 원자의 또 다른 준격자를 함유하며, 여기서 각각의 Sn 원자는 6개의 Sb 제1 이웃에 의해 둘러싸이고 각각의 Sb 원자는 6개의 Sn 제1 이웃에 의해 둘러싸인다. 그의 조성은 다소 폭넓은 범위 내에서 다양하기 때문에, 상기 유형의 금속간 상은 적당히 연성인 경향이 있어, 접합부 특성에 대해 온화한 영향을 미친다. 따라서, Sb >3 wt%의 첨가는 SnAgCu 기반 합금에 고용체 및 침전물 강화 둘 모두를 제공할 수 있다. 6.7 wt% 내지 10.2 wt%의 Sb 함량을 갖는 Sn-Sb 합금에 있어서, 먼저 Sn_3Sb_2 의 1차 고화 상이 형성되고, 이는 Sn-Sb 2원 상 다이어그램에 나타난 바와 같이 250℃에서 포정(peritectic) 반응을 통해 Sn(Sb) 고용체로 전환된다. 그러나, 땀납 공정과 같은 비-평형상태 고화 조건에서는, 상기와 같은 Sn_3Sb_2 상 전환이 완전할 수 없고, 조대(coarse) 1차 금속간 상이 취성인 경향이 있다. 따라서, 본 개시내용에 따른 합금 중의 Sb 함량은 약 9 wt% 미만인 것이 바람직하다.

[0040] 본 개시내용의 합금의 조성 범위의 유익

[0041] 본원에 개시된 합금의 조성 범위의 유익은 하기 기재되어 있다. Sn-Ag-Cu 합금 시스템에서, 3원 공용 조성물은 217℃의 공용 온도를 갖는 대략 $\text{Sn}_{3.7}\text{Ag}_{0.9}\text{Cu}$ 이다. Ag는 Ag_3Sn 금속간 입자를 형성하여 분산 강화 상으로서 작용함으로써 합금 내 주된 강화 원소이다. Ag는 또한 땀납 합금의 습윤성을 개선시킨다. 합금 용융 거동, 습윤, 기계적 특성 및 열 사이클링 신뢰성의 포괄적인 고려를 위해, Ag 함량은 2.5 내지 4.5 wt%의 범위인 것이 바람직하다. Ag가 2.5 wt% 미만인 경우에는, 땀납 접합부의 기계적 특성 및 열 사이클링 신뢰성 성능이 가혹한 환경의 전자장치 적용에 있어서 충분히 우수하지 못하다. Ag가 4.5 wt% 초과인 경우에는, 합금의 액상선 온도가 유의하게 증가하고, 땀납 성능에 악영향을 미친다. 또한, 더 높은 Ag 함량에 따른 비용 증가는 요망되지 않는다. 따라서, 실시양태에서, Ag 함량은 바람직하게는 3.0 내지 4.0 wt%의 범위이다.

[0042] SnAgCuSb 기반 합금을 구성하는 주된 원소 중 하나로서, Cu는 땀납 매트릭스 중의 Cu_6Sn_5 금속간 입자의 형성에 의해 합금의 기계적 특성을 개선시킨다. 그것은 또한 Cu 기판 금속 또는 Cu 패드의 용해를 크게 감소시킨다. 땀납 접합부 미세구조의 관찰에 기반하여, 본 발명자들은, 땀납 중의 더 높은 Cu 함량은 $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 금속간 층 구조를 촉진 및 안정화하고, $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5/(\text{Cu},\text{Ni})_3\text{Sn}_4$ 이중층 구조가 땀납 접합부 계면에서 형성되는 것을 방지함으로써, 특히 Ni 기판 금속 또는 표면 마감재를 갖는 땀납 접합부의 신뢰성을 개선시킬 수 있음을 발견하였다. 추가로, 땀납 중의 더 높은 Cu 함량은 또한, Ag_3Sn 1차 고화 상 형성 대신에 Cu_6Sn_5 1차 고화를 개시함으로써, 높은 Ag 함량 (3 wt% 이상)을 갖는 땀납 접합부 내 Ag_3Sn 플레이트의 발생을 억제할 수 있다. Cu가 0.6 wt% 미만인 경우에는, 상기한 유익한 효과가 이용될 것으로 예상되지 않는다. Cu가 2.0 wt% 초과인 경우에는, 합금 액상선 온도가 지나치게 높아지고, 용융 온도 범위가 리플로우 땀납에 있어서 지나치게 폭넓어지며, 이는 땀납 성능에 대해 악영향을 미친다 (예를 들어, 증가된 공극). 본 개시내용의 실시양태에서, Cu 함량은 바람직하게는 0.6 내지 1.2 wt%의 범위이다.

[0043] 본 개시내용에서, Sb는, 본 연구에서 사용되는 매우 격렬한 열 사이클링 또는 열 쇼크 시험 조건에서, 개시된 합금으로 제조된 땀납 접합부의 내열피로성을 개선시키는 핵심 원소인 것으로 밝혀졌다. Sb 함량이 2.5 wt% 미만인 경우에는, Sb가 Ag_3Sn 상 중에 뿐만 아니라 Sn 매트릭스 중에 용해되어 Sn(Sb) 고용체를 형성한다. 상기에서 언급된 바와 같이, 땀납 합금 중의 Sb >3 wt%의 첨가와 함께, β -SnSb (도 16) 금속간 상은 과포화된 Sn(Sb) 고용체로부터 침전되어, SnAgCu 합금에 고용체 및 침전 강화 둘 모두를 제공한다. β -SnSb 금속간 침전 강화 메커니즘의 특징 및 온화한 효과로 인해, 본 개시내용에 따른 SnAgCuSb 합금은 도 8에 나타난 바와 같이 우수한 포괄적인 기계적 특성 (높은 강도 및 높은 연성 모두) 뿐만 아니라, 크게 개선된 땀납 접합부 신뢰성 성능을 나타낸다. 그러나, Sb의 첨가는 합금의 고상선 및 액상선 온도 둘 모두를 증가시킨다. 추가로, 이전의 분석에 기반하여, Sn_3Sb_2 의 조대 및 취성 1차 고화 상의 문제를 피하기 위해, 본 개시내용에 따른 Sb 함량은 약 9 wt% 미만이어야 한다. Sb 함량은 보다 바람직하게는 3.0 내지 8.0 wt%의 범위이다. 본 연구에서의 신뢰성 시험 결과에 기반하여, 최적의 Sb 함량은 SnAgCuSb 합금에 있어서 약 5 내지 6 wt%이다.

[0044] SnAgCuSb 합금에 대한 첨가제로서, Bi 및 In 둘 모두 합금의 고상선 및 액상선 온도를 감소시킬 수 있다. Bi는 또한 액체 땀납의 표면 장력을 감소시켜 합금 습윤성을 개선시킨다. Sb와 달리, Bi는 2.5 wt% 초과인 경우, Bi 첨가가 합금 강도를 증가시키나, 그의 연성을 유의하게 감소시켜, 땀납 접합부가 내열피로성의 감소와 함께 취성이된다. 본 개시내용의 실시양태에서, 가혹한 환경의 전자장치 적용에 있어서 1.5 wt% 이하의 Bi 첨가가 바

람직하다.

- [0045] 합금의 고상선 및 액상선 온도를 감소시키는 유익한 효과에 추가로, In은 4.5 wt% 미만으로 SnAgCuSb 합금에 첨가되는 경우, β -Sn 매트릭스 중에 In이 대부분 용해되어 고용체 강화 효과를 제공한다. 따라서, 합금 기계적 특성 및 땀납 접합부 열 사이클링 신뢰성 성능이 추가로 개선된다. 격렬한 온도 사이클링 시험이 적용된 땀납 접합부의 미세구조 관찰에 기반하여, 본 발명자들은, SnAgCuSb 합금에의 In 첨가는 또한 그레인(grain) 경계를 강화시키고, 고온에서의 그레인 경계 손상을 억제하고, 온도 사이클링 시험 동안 땀납 접합부의 재결정화 공정을 지연시킬 수 있음을 발견하였다. 상기에서 논의된 바와 같이, In 함량이 5 wt% 이상인 경우에는, 합금 용융 온도 범위가 15°C 초과이다. In은 또한, 특히 땀납 페이스트 적용을 위한 미세 땀납 분말의 형태로 산화 경향이 있는 합금 원소이다. 본 발명자들은 In 첨가가 4.5 wt% 초과인 합금의 경우 땀납 성능이 감소함 (예를 들어, 감소된 습윤 및 증가된 공극)을 발견하였다. 따라서, 본 개시내용에서 4.5 wt% 이하의 In 첨가가 일반적으로 바람직하다. 합금 중의 바람직한 In 함량은 또한 Sb 함량에 좌우된다. Sb 함량이 5.0 wt% 초과인 경우에는, In 첨가가 합금 중의 초기 용융 상을 피하기 위해 3.0 wt% 미만인 것이 바람직하다.
- [0046] 본 개시내용에서, 합금의 기계적 특성 및 땀납 접합부 신뢰성 성능을 추가로 개선시키기 위해, 0.001 내지 0.2 wt.% 양의 Ni 또는 Co 또는 이들 둘 모두를 첨가할 수 있다. 총량이 0.2 wt% 초과인 경우에는, 합금의 액상선 온도가 과도하게 증가한다. 게다가, 이들 원소는 또한 산화 경향이 있어, 총 첨가가 특히 땀납 페이스트 적용을 위한 미세 땀납 분말의 형태로 0.2 wt% 초과인 경우에는 땀납 성능에 악영향을 미친다. 따라서, 이들 첨가에 대한 상한은 0.2 wt%이다.
- [0047] 개시된 기술의 다양한 실시양태가 상기에 기재되어 있지만, 그것들은 단지 예로써 제시된 것이고, 제한하고자 하는 것이 아님을 이해하여야 한다. 마찬가지로, 개시된 기술에 대해 다양한 다이어그램이 일례의 구조체 또는 다른 구성을 묘사할 수 있으며, 이는 개시된 기술에 포함될 수 있는 특징 및 기능의 이해를 돕도록 한다. 개시된 기술은 예시된 일례의 구조체 또는 구성으로 제한되지 않으나, 다양한 대안적인 구조체 및 구성을 사용하여 목적하는 특징이 구현될 수 있다. 사실상, 본원에 개시된 기술의 목적하는 특징을 구현하기 위해 어떻게 다른 기능적, 합리적 또는 물리적 분배 및 구성이 구현될 수 있는지는 관련 기술분야의 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 또한, 다양한 분배에는 본원에 묘사된 것들 이외의 다수의 상이한 구성성분 모듈 명칭이 적용될 수 있다. 부가적으로, 흐름도, 작동 설명 및 방법 특허청구범위와 관련하여, 본원에 단계가 제시되어 있는 순서는, 다양한 실시양태가, 문맥에 달리 묘사하지 않는 한, 언급된 기능을 동일한 순서로 수행하도록 구현되는 것으로 의도되어서는 안된다.
- [0048] 비록 개시된 기술은 다양한 예시적 실시양태 및 구현예의 면에서 기재되어 있지만, 하나 이상의 개별 실시양태에 기재된 다양한 특징, 측면 및 기능은 그의 응용성에 있어서 이들이 기재된 특정 실시양태로 제한되지는 않지만, 그러한 실시양태가 기재되어 있는지의 여부에 관계 없이 및 그러한 특징이 기재된 실시양태의 일부인 것으로 제시되어 있는지의 여부에 관계 없이, 개시된 기술의 하나 이상의 다른 실시양태에 단독으로 또는 다양한 조합으로 적용될 수 있음을 이해하여야 한다. 따라서, 본원에 개시된 기술의 폭 및 범주는 상기한 예시적 실시양태 중 어느 하나에 의해 제한되어서는 안된다.
- [0049] 본 문헌에서 사용된 용어 및 문구, 및 그의 변형은, 달리 명시되지 않는 한, 제한이 아닌 개방적인 것으로서 해석되어야 한다. 상기의 일례로서, 용어 "포함하는"은 "제한 없이 포함하는" 등을 의미하는 것으로서 독해되어야 하고; 용어 "예"는 그의 총괄적 또는 제한적 열거가 아닌, 논의되는 항목의 예시적 경우를 제공하기 위해 사용되며; 단수 표현 용어는 "적어도 하나", "하나 이상" 등을 의미하는 것으로서 독해되어야 하고; "통상의", "통상적인", "보통의", "표준", "공지된"과 같은 형용사 및 유사한 의미의 용어는 기재된 항목을 소정 기간으로 또는 소정 시점에서 이용가능한 항목으로 제한하는 것으로서 해석되어서는 안되지만, 현재 또는 미래의 임의의 시점에서 이용가능하거나 공지될 수 있는 통상의, 통상적인, 보통의 또는 표준 기술을 포괄하는 것으로 독해되어야 한다. 마찬가지로, 본 문헌이 관련 기술 분야의 통상의 기술자에게 명백하거나 공지된 기술을 언급하는 경우, 그러한 기술은 현재 또는 미래의 임의의 시점에서 통상의 기술자에게 명백하거나 공지된 것들을 포괄한다.
- [0050] 일부 경우에서 "하나 이상", "적어도", "이에 제한되지는 않으나" 등의 문구와 같은 광범위한 단어 및 문구의 존재는, 그러한 광범위한 문구가 부재할 수 있는 경우에 더 좁은 경우가 의도되거나 요구되는 것을 의미하는 것으로 독해되어서는 안된다. 용어 "모듈"의 사용은 모듈의 일부로서 기재 또는 청구된 구성요소 또는 기능이 공통 패키지에 모두 구성되는 것을 내포하는 것은 아니다. 사실상, 제어 논리이든지 다른 구성요소이든지, 모듈의 다양한 구성요소 중 어느 하나 또는 모두는 단일 패키지로 조합될 수 있거나 또는 별도로 유지될 수 있고,

추가로, 다중 그룹화 또는 패키지에 또는 다중 위치를 가로질러 분포될 수 있다.

[0051] 부가적으로, 본원에 기술된 다양한 실시양태는 예시적 블록 다이어그램, 흐름 차트 및 다른 예시의 면에서 기재되어 있다. 본 문헌의 독해 후 관련 기술분야의 통상의 기술자에게 명백해지는 바와 같이, 예시된 실시양태 및 그의 다양한 변형은 예시된 예에 얽매이지 않고 구현될 수 있다. 예를 들어, 블록 다이어그램 및 그의 첨부된 설명은 특정 구조체 또는 구성을 의도하는 것으로 해석되어서는 안된다.

도면

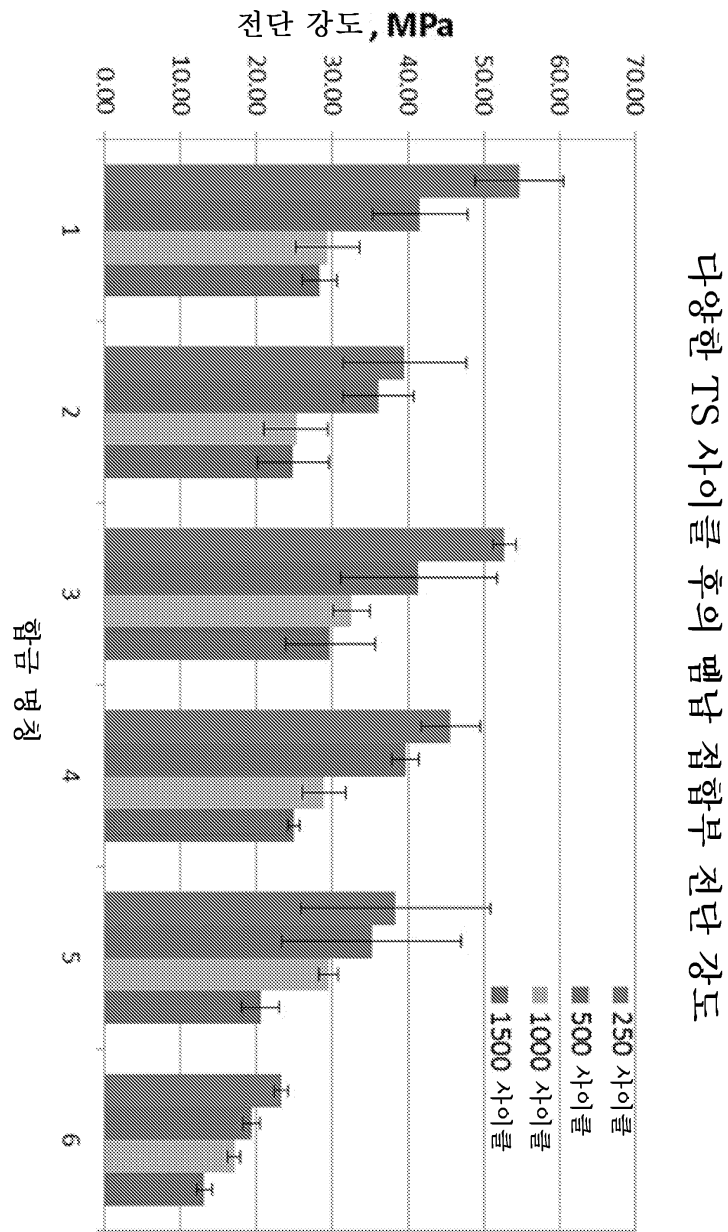
도면1

합금번호	명칭	Sn	Ag	Cu	Sb	Bi	Ni	Co	Pb	고상전, °C	액상전, °C
1	S83503	나머지	3.80	1.10	3.46	0.38				219.9	226.0
2	S83503NiCo	나머지	3.54	1.04	3.46	0.29	0.05	0.05		218.8	226.0
3	S85503	나머지	3.98	1.10	5.63	0.30				222.0	228.7
4	3820S8	나머지	3.65	1.93	3.30	0.36				219.3	226.1
5	S83520	나머지	3.71	1.04	3.35	1.97				215.6	223.7
6	인발로이 151	5.39	2.35						나머지	298.0	304.1

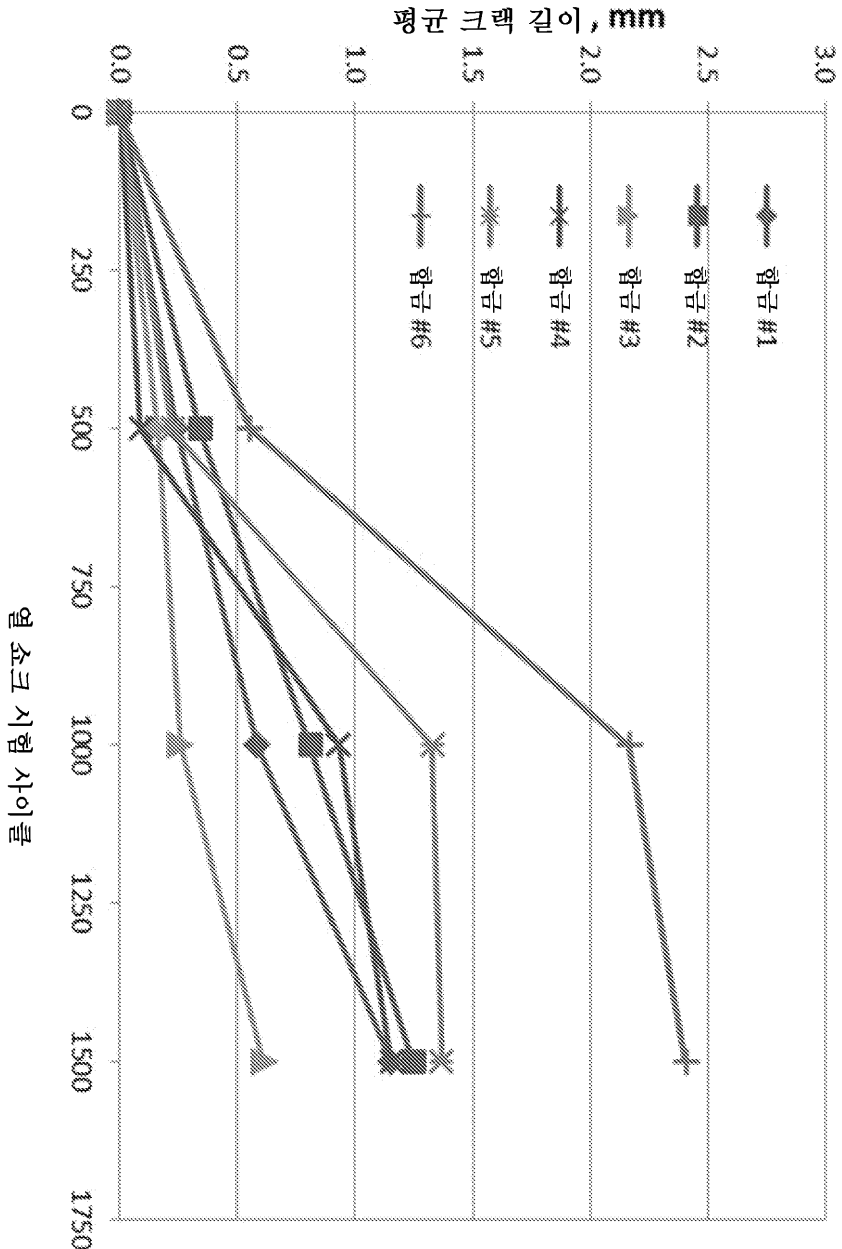
도면2

합금 번호	명칭	Sn	Ag	Cu	Sb	Bi	In	Ni	고상선, °C	액상선, °C
7	SB6003	나머지	3.96	0.97	6.20	0.29			222.6	229.0
8	2810SB	나머지	2.71	1.04	5.91	0.32			221.1	230.9
9	SB3515	나머지	3.84	1.21	3.71	1.54			216.3	226.6
10	SN60	나머지	3.85	0.69	6.40			0.08	223.1	231.5
11	Sb3.5	나머지	3.84	0.98	3.72				221.8	226.6
12	Sb5.5	나머지	3.85	0.94	5.70				223.3	228.3
13	Sb8.0	나머지	3.26	0.74	8.18				223.3	231.7
14	SI6005	나머지	3.86	0.96	6.28		0.45		221.6	228.4
15	SI6030	나머지	3.80	0.89	6.19		3.12		216.9	225.2
16	SI3025	나머지	3.81	0.58	2.92		2.44		212.7	221.6
17	SI3505	나머지	3.28	0.71	3.55		0.70		219.5	226.5
18	SI3520	나머지	3.34	0.71	3.60		2.08		215.2	224.1
19	SI3540	나머지	3.24	0.70	3.64		4.20		208.0	221.1
20	SI3520Bi	나머지	3.26	0.74	3.55	0.45	2.22		214.1	223.2
21	SI3520Ni	나머지	3.20	0.68	3.45		2.06	0.05	214.2	225.2
22	이노렛	나머지	3.80	0.70	1.50	3.00		0.15	211.2	221.2

도면3

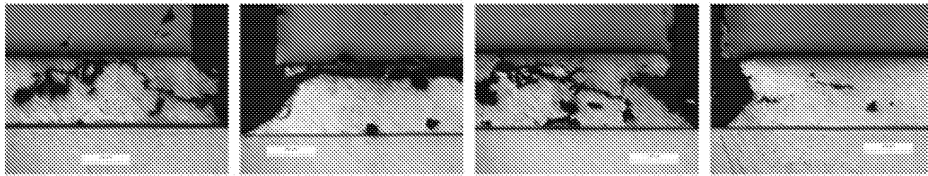


다양한 TS 사이클 후의 평균 크랙 길이

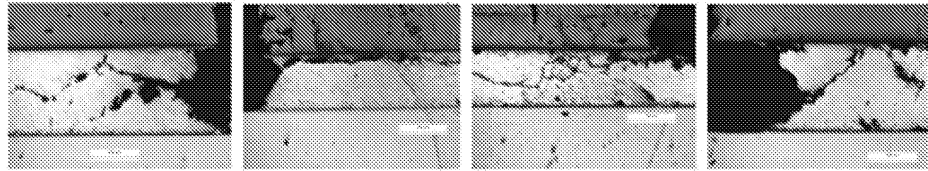


도면4

도면5



합금 번호 1



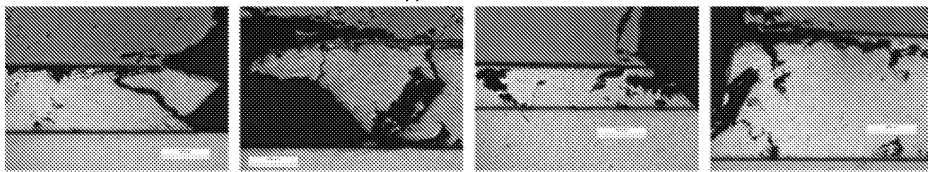
합금 번호 2



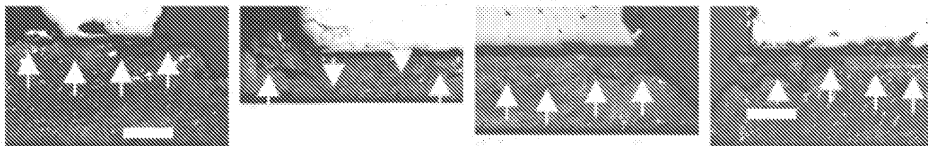
합금 번호 3



합금 번호 4



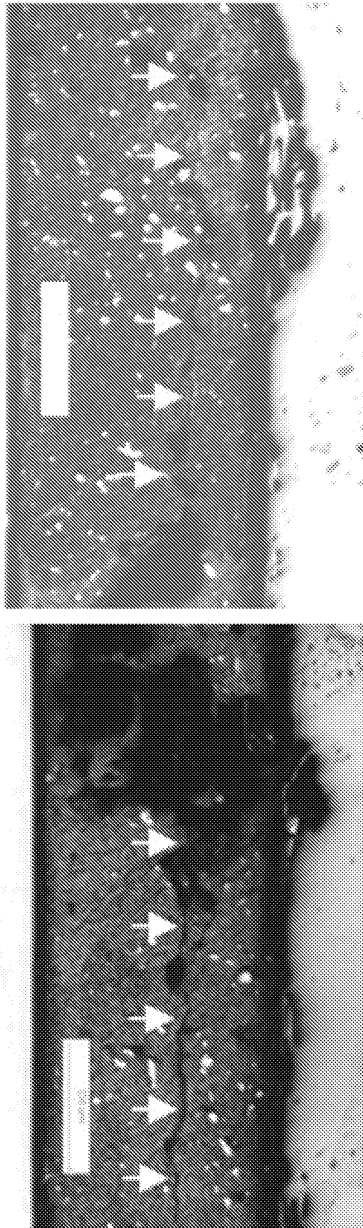
합금 번호 5



합금 번호 6

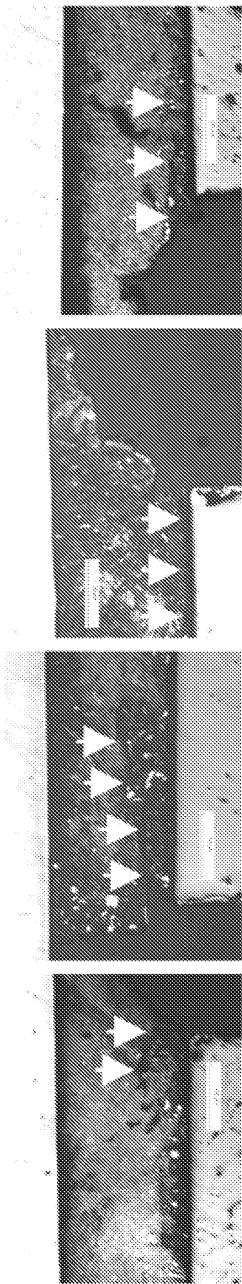
도면6

환금면 6
9호

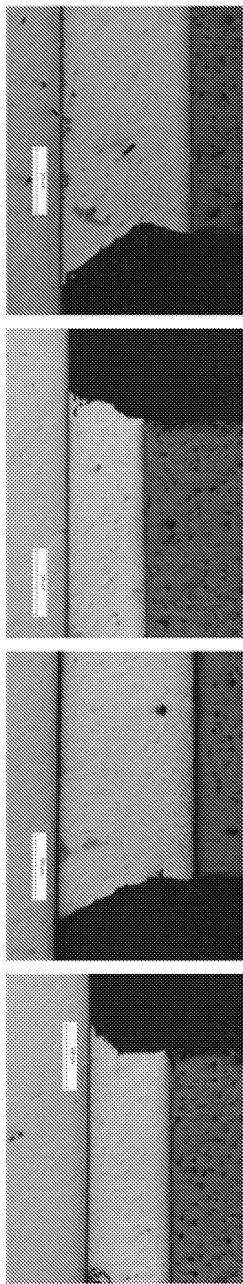


도면7

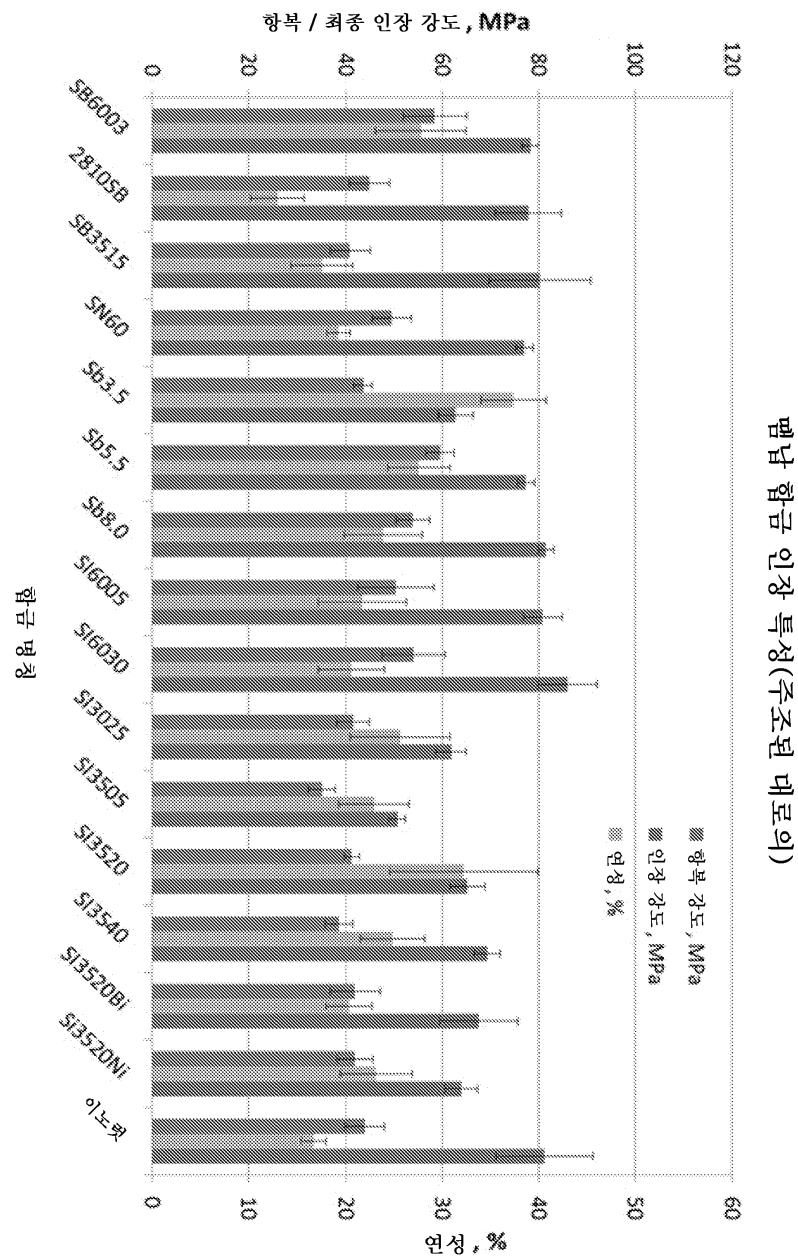
참금 편호 6



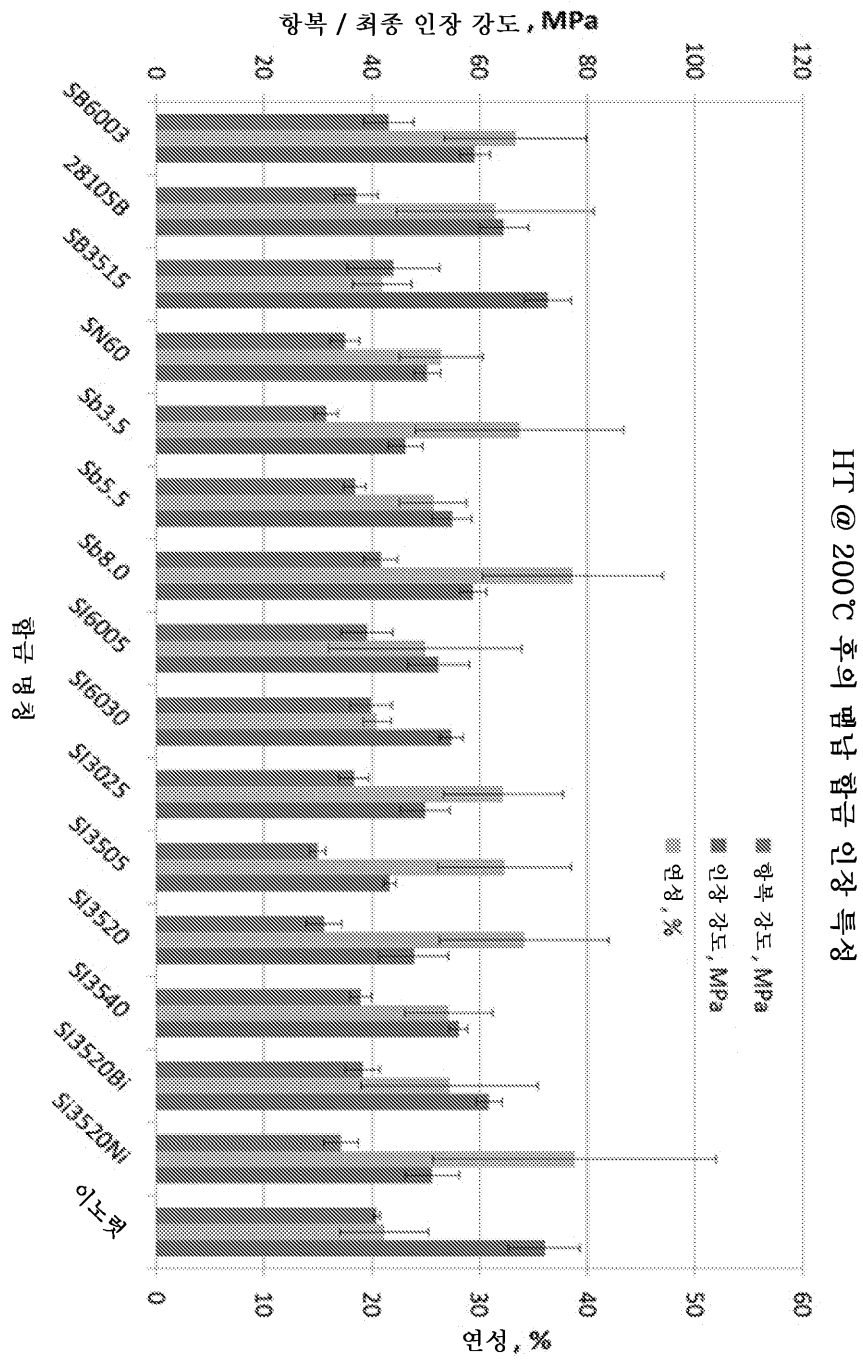
참금 편호 3



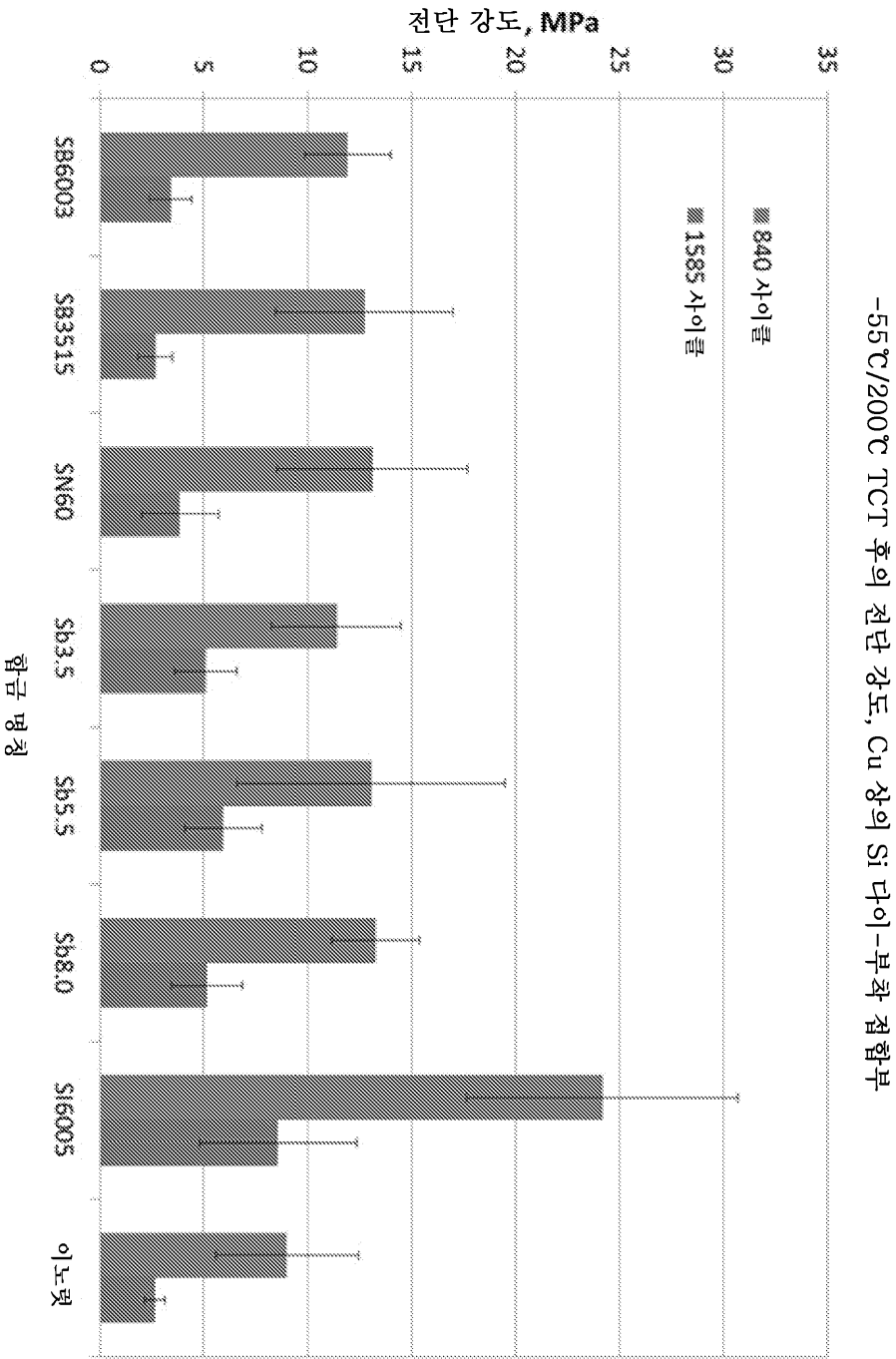
도면8



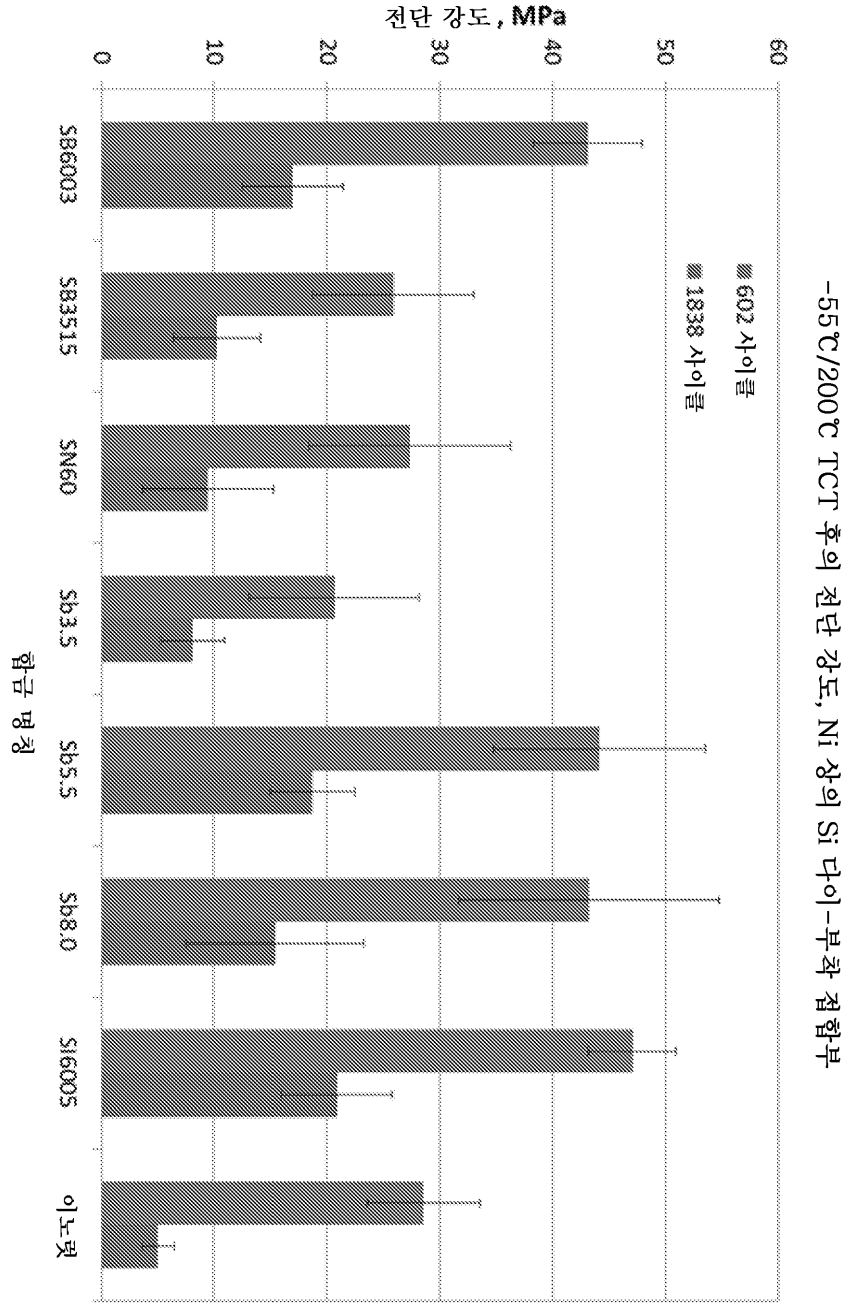
도면9



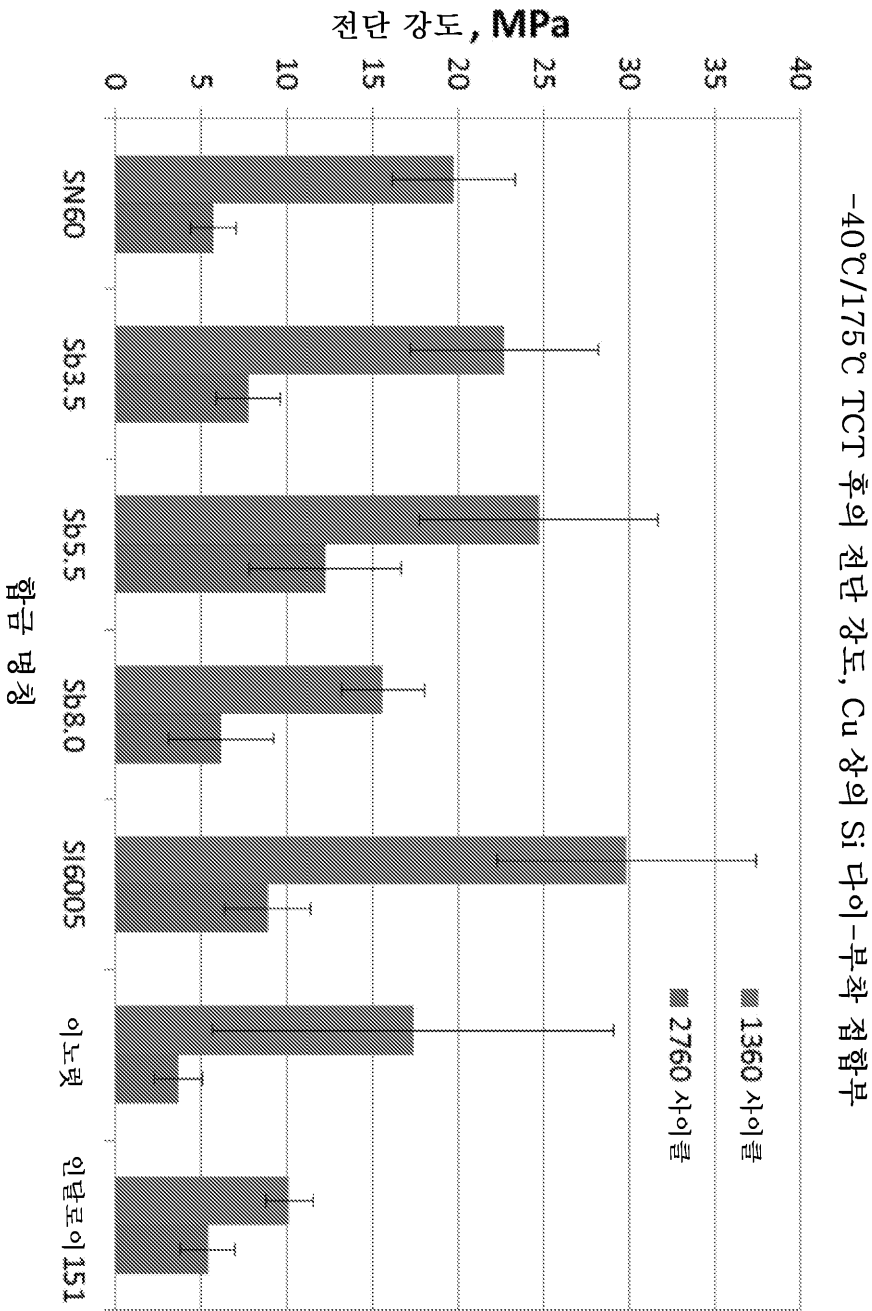
도면10



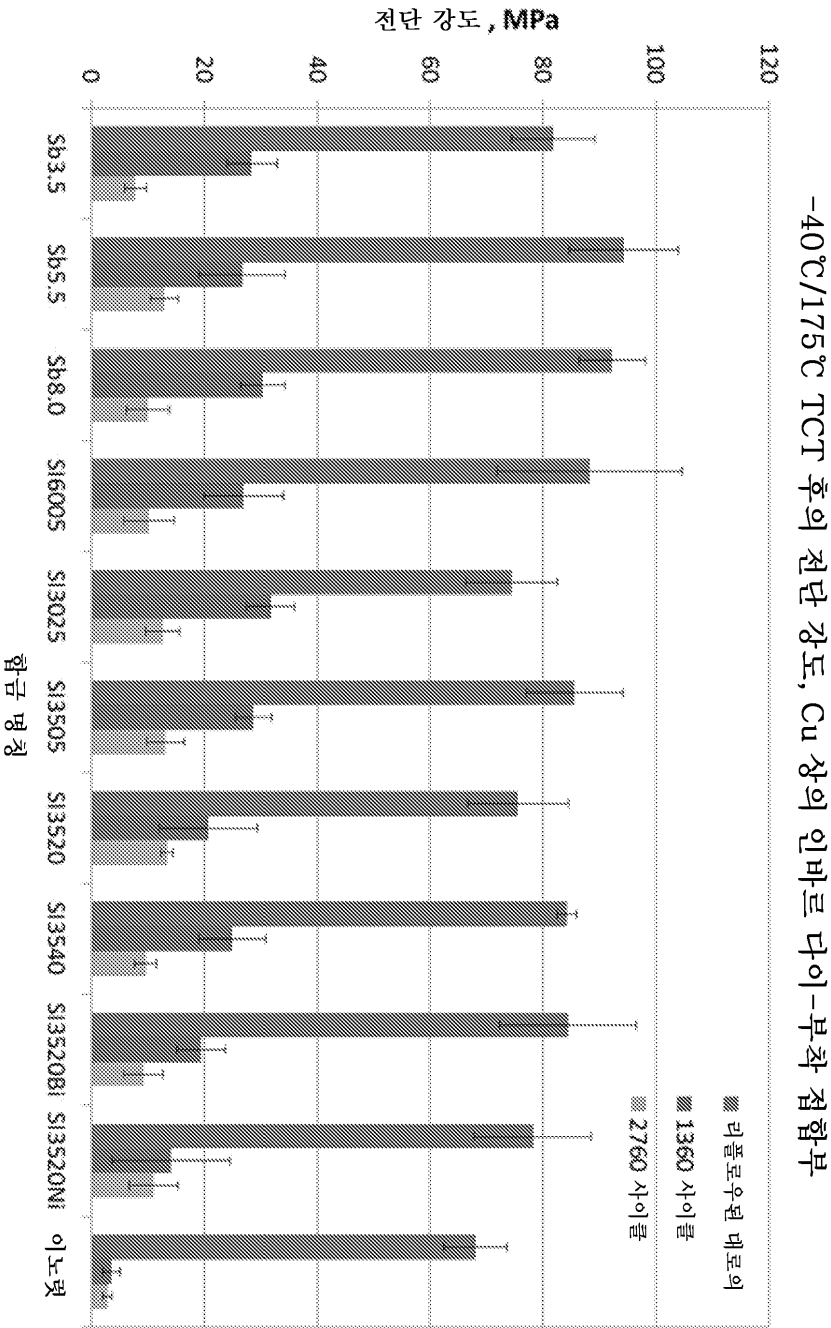
도면11



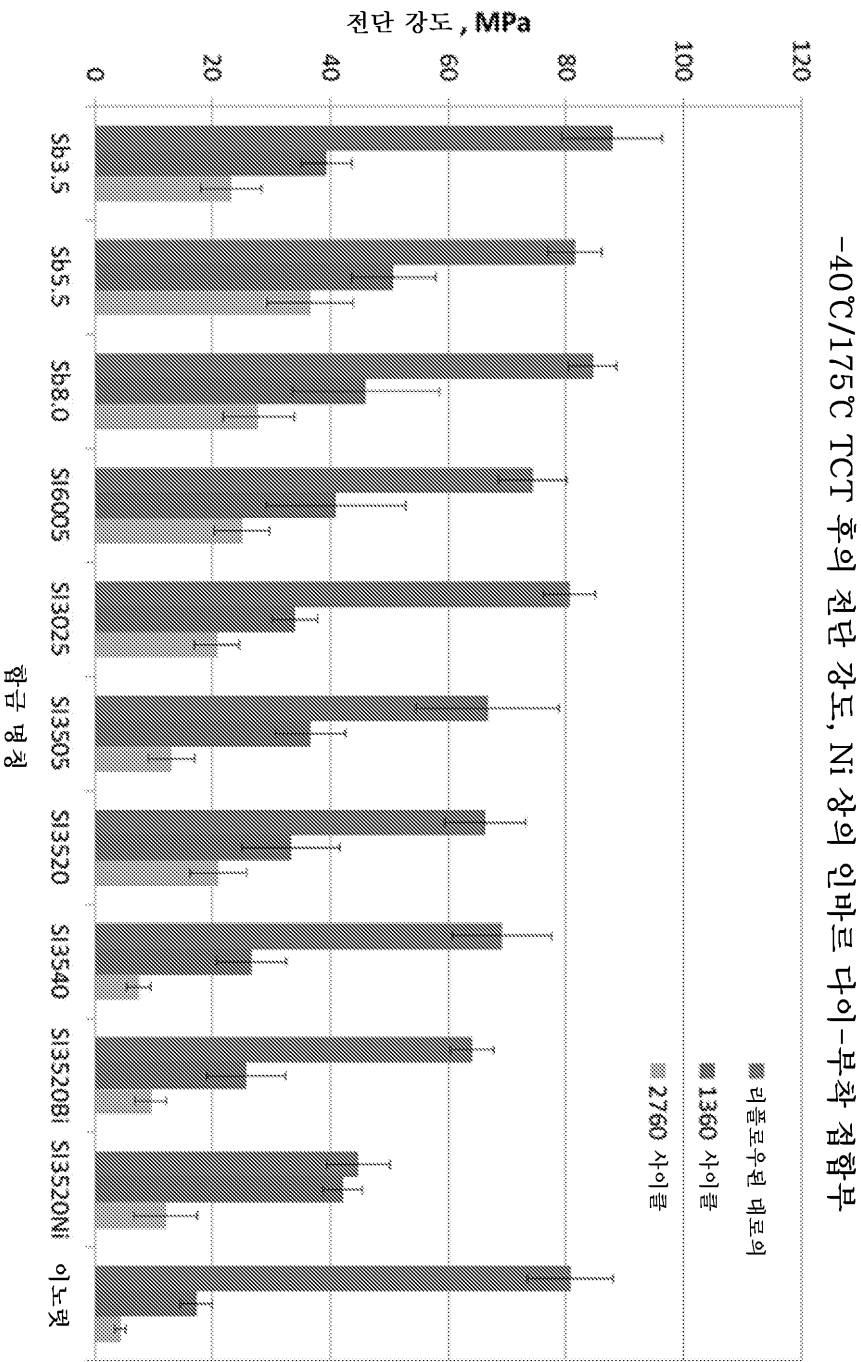
도면12



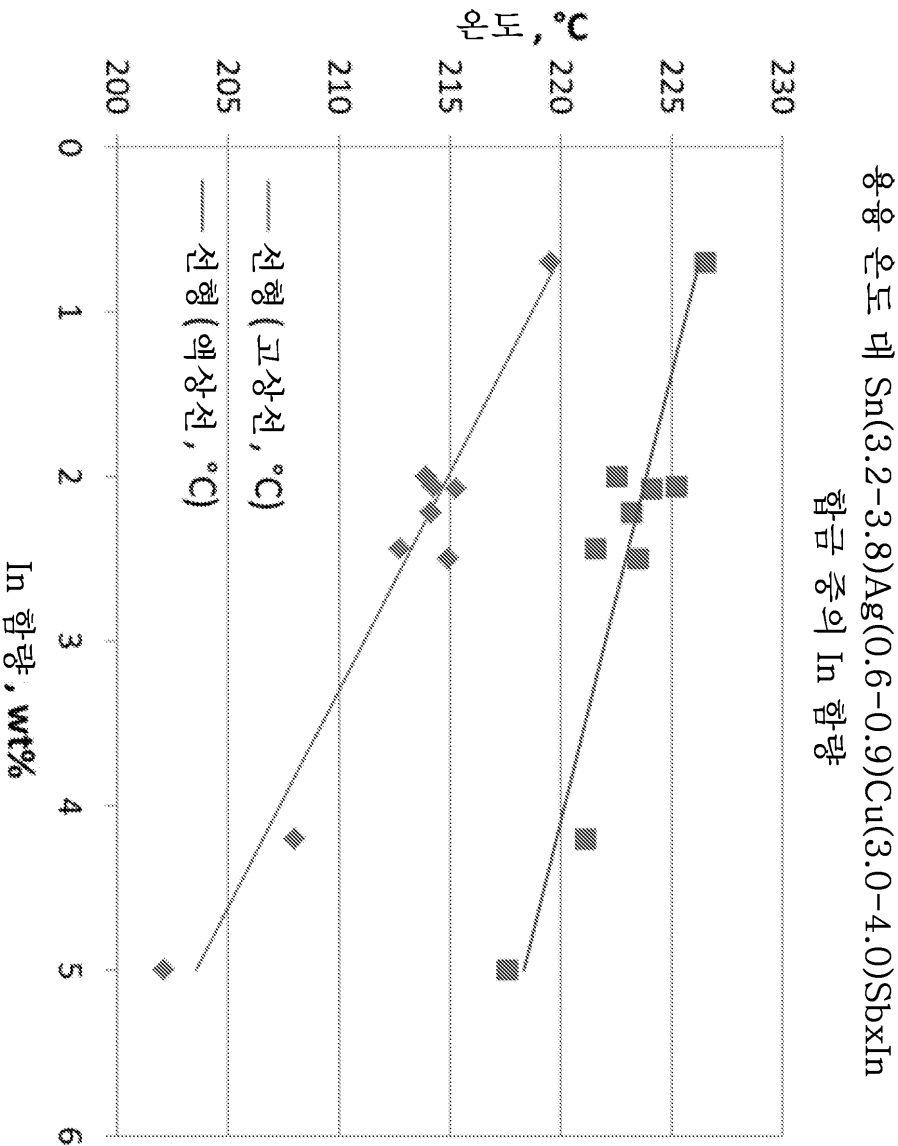
도면13



도면14



도면15



도면16

