

자동차 전장모듈용 Sn-Cu-Cr(Ca) 중온 솔더의 접합특성 연구

방정환* · 유동열* · 고용호* · 김정환* · 이창우*[†]

*한국생산기술연구원 마이크로조이닝센터

Joint Property of Sn-Cu-Cr(Ca) Middle Temperature Solder for Automotive Electronic Module

Junghwan Bang*, Dong-Yurl Yu*, Yong-Ho Ko*, Jeonghan Kim* and Chang-Woo Lee*[†]

*Micro-Joining Center in Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 406-130, Korea

[†]Corresponding author : cwlee@kitech.re.kr

(Received September 17, 2013 ; Revised September 23, 2013 ; Accepted October 28, 2013)

Abstract

Joint properties of vehicle ECU (Electric Control Unit) module which was manufactured by using Sn-Cu-Cr-Ca alloy were investigated. A new solder which has a middle melting temperature about 231°C was fabricated as the type of 300um solder ball and paste type. The prototype modules were made by reflow process and measured spreadability, wettability shear strength and estimated interface reaction. The spreadability of the alloy was about 84% from the measurement of contact angle of the solder ball and the wetting force was measured 2mN. The average shear strength of the module which was manufactured by using the solder paste, was 1.9 kg/mm². Also, the thickness of IMC(intermetallic compound) was evaluated with various aging temperature and time in order to understand Cr effect on Sn-0.7Cu solder. Cu₆Sn₅ IMC was formed between Cu pad and the solder alloy and the average thickness of the Cu₆Sn₅ IMC was measured about 4um and it was about 50% of thickness of Cu₆Sn₅ IMC in Sn-0.7Cu. It is expected to have a positive effect on reliability of the solder joint.

Key Words : Middle temperature solder, Environment-friendly solder, ECU, ELV(End-of-Life Vehicle), Cr effect

1. 서 론

최근 자동차 산업은 각종 편의안전 기능과 고효율을 추구하면서 차량용 고집적 반도체 및 전장품의 적용이 증가하고 있다. 전장품 사용추세를 보면 2010년 32%에서 2015년 50%, 전기차 등의 미래형 자동차에서는 70%에 이를 것으로 예상된다. 지난 10여 년 동안 환경규제 대상에서 제외되어 왔던 자동차 산업에 대한 환경 규제도 유럽연합(EU)에서 발의한 폐차 처리 지침(End-of-Life Vehicle, ELV)을 시작으로 본격화될 전망이다¹⁾. 전장모듈의 사용증가와 함께 고기능성과 친환경 요구가 동시에 요구되면서 앞으로 자동차 전장품에 대한 신뢰성 문제는 더욱 이슈화될 것이 예상된다²⁾. 대부분의 자동차 부품 및 완성차 업체에서는 자체적인

신뢰성 규격 재정립과 데이터베이스 구축으로 이러한 외부적 변화에 대응하고 있다³⁾. 그러나 일반 전자제품에 비교하여 보다 가혹한 사용 환경을 요구받는 자동차 전장품의 신뢰성을 보증하기 위해서는 고 신뢰성 접합 소재의 개발이 선행되어야 한다. Table 1은 자동차 전장품의 사용 환경을 나타내고 있다. 자동차 전장품은 다른 일반적인 제품과 달리 고온 고습, 열충격, 진동, 오염 등의 복합적이고 가혹한 사용 환경에 노출된다⁴⁾. 특히 트랜스미션과 엔진 주변의 사용 중 온도는 130°C~150°C에 이른다. 대표적 무연 솔더 조성으로 신뢰성이 검증되어 널리 사용 중인 Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305)의 경우 217°C의 용점을 갖는 중온계 솔더에 가까우며 특정 환경조건에서 신뢰성이 급격히 저하되는 문제를 나타냄으로 엔진룸 내 전장품에 적용하기에는 어려움이 있다.

Table 1 Environment of automotive electronics

Parameter	Consumer	Industrial	Automotive
Temperature	0°C ~ +40°C	-10°C ~ +70°C	-40°C ~ +155°C
Operation Time	1~3 years	5~10 years	up to 15 years
Humidity	Low	Environment	0~100%
Tolerated failure rates	3%	<<1%	target: zero failure
Supply	up to 2 years	up to 5 years	up to 30 years

본 연구에서는 Sn-Cu 무연솔더에 Cr, Ca를 미량 첨가하여 솔더페이스트와 솔더볼 형태의 접합소재로 제조한 후 젖음성, 기계적 강도 등의 접합물성을 평가하여 엔진룸용 전장품의 접합소재로서의 적합여부를 평가하였다.

2. 사용 재료

2.1 솔더 모합금 및 페이스트 제조

Cr, Ca는 산화에 취약하므로 Sn 호일(Foil)과 함께 압연하여 용융시킴으로서 합금화를 용이하게 하였다. 유도가열을 이용해 진공분위기에서 600°C까지 상승시킨 후 Ar 분위기에서 1100°C로 가열하여 Cr을 완전히 용해시켰다. 이후 균질화 처리를 하고 ICP 분광기(Inductively Coupled Plasma Spectrometer)를 통하여 성분분석을 진행하였으며, 이를 통해 미량의 Cr과 Ca의 정량분석을 행하였고, Sn-0.7Cu-0.2Cr, Sn-0.7Cu-0.2Cr-0.15Ca의 솔더합금 조성을 확인하였다.

솔더 페이스트는 진공 가스 아토마이저(Atomizer)를 이용하여 20~38 μm 크기의 파우더를 제립한 후 RMA 타입 플러스와 혼합하여 제조하였다. Fig. 1은 위 방식으로 제조된 모합금과 솔더 페이스트를 보여주고 있다.

3. 실험 방법

3.1 솔더 물성평가 방법

3.1.1 Test PCB 제작

제작된 솔더 페이스트에 대한 접합강도, 인쇄성을 평가하기 위하여 FR4 재질의 시험평가용 경성 PCB를

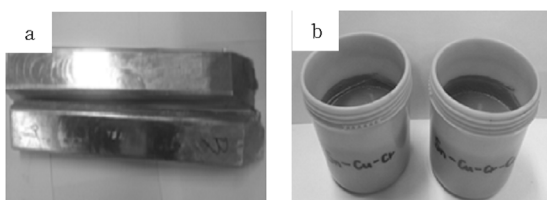


Fig. 1 Sn-Cu-Cr-Ca mother alloy(a) and its solder paste(b)

제작하였다. PCB는 1005 사이즈 캐패시터 칩의 전단 강도 및 QFP 리드의 45° 인장강도, 0.08~0.8 mm 패드간 거리를 가지는 연속 인쇄성 시험을 평가하기 위해 설계, 제작되었다. 칩과 QFP의 접합강도 시험용 모듈은 솔더 페이스트를 사용하여 리플로우 공법으로 제작하였으며 리플로우 공정의 최고 온도(Peak temperature)는 260°C로 설정하였다. 젖음성 시험은 벌크솔더, 전단강도와 인장강도, 퍼짐성, 150°C Aging 시험은 모두 솔더볼을 이용하여 시편을 제작한 후 시험하였다.

3.1.2 용점 및 젖음성 측정

솔더의 용점을 측정하기 위하여 두 솔더 조성을 각 10 mg을 구형으로 제작한 후, DSC (Differential Scanning Calorimetry)분석을 진행하였다. 젖음성은 모합금을 용융시킨 솔더 조(Solder bath)에 Cu 쿠폰을 침전시켜 젖음력(Wetting force)를 측정하는 방법(JIS-Z-3282)으로 측정하였으며 퍼짐성은 동판위에 솔더볼을 용융시킨 후 접촉각을 측정하여 퍼짐율(%)을 산출하는 방식(JIS-Z-3197)을 사용하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 솔더 페이스트 점도 및 연속 인쇄성

Spiral 점도계를 사용하여 솔더페이스트의 점도를 측정된 결과 Sn-Cu-Cr은 193 pa·s, Sn-Cu-Cr-Ca는 185pa·s를 각각 나타내었다. 이는 산업용 솔더링 공정에서 사용하는 대표적인 솔더 제조사의 솔더페이스트의 점도가 215pa·s에서 183pa·s사이의 값을 보이는 것에 비교하면 상용솔더의 점도값을 만족하는 결과였다. 솔더의 산업적 양산적용에는 솔더의 점도와 함께 연속 인쇄성도 중요한 요소이다. 연속인쇄성은 일반적으로 칩소성에 관련되어 있는데 0.55에서 0.70사이의 값을 보이고 있다. 솔더페이스트의 연속 인쇄성 시험에서 메탈마크 교체 없이 20회 연속 인쇄 후 패드간 거리 0.2 mm에서 브리지(Bridge)가 발생하지 않는 양호한 인쇄성을 보였다. 이 결과는 솔더페이스트 형태로 제조된 Sn-Cu-Cr-Ca 무연솔더가 양산과정에 적용하는 기초물성

을 만족하고 있음을 나타내는 것이었다.

4.2 용점 및 젖음성

DSC(Differential Scanning Calorimetry)를 이용하여 용점을 측정된 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Sn-Cu-Cr은 230.9°C Sn-Cu-Cr-Ca는 231.3°C를 각각 나타내었다. 시료는 합금의 중앙 부분에서 10 mg 씩 채취하였으며, 50°C에서 안정화 시킨 후 10°C/min으로 300°C까지 상승시키고 같은 속도로 냉각시켰다. Sn-0.7Cu합금의 공정온도가 227°C인 것을 감안하면 Cr과 Ca의 첨가로 약 4°C이상의 온도상승이 나타난 것으로 사료된다. 현재 상용화 되어 적용되고 있는 고온계 솔더로 Sn-5Sb 합금의 공정온도가 245°C이고 기존의 고온계 솔더에 대해 보고를 감안하면⁹⁾ 230°C이상의 용점을 지니는 개발합금은 새로운 중고온계 합금이라고 할 수 있겠다.

특히 Sb함유 솔더가 Sb의 유해성 검증으로 지속적 사용이 불투명한 것을 고려하면 중, 중온계 솔더 적용에 대한 대안으로서 적용될 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 3은 Wetting balance 시험기를 이용하여 용융

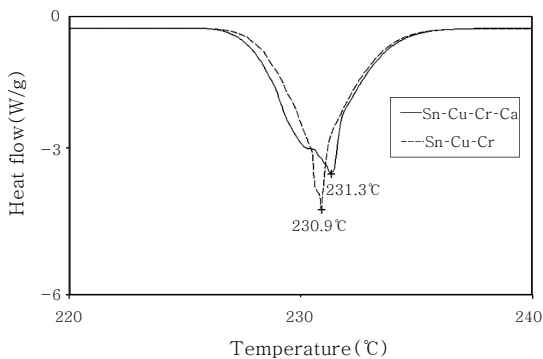


Fig. 2 DSC Results of Sn-Cu-Cr and Sn-Cu-Cr-Ca alloy

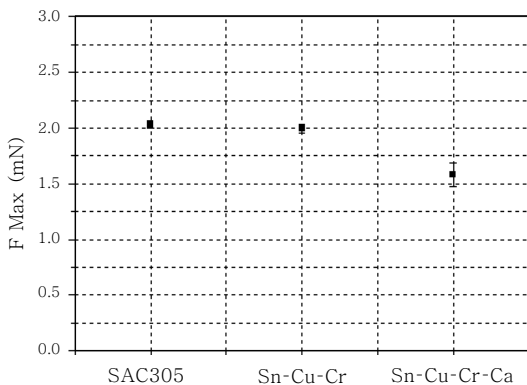


Fig. 3 Wetting force of SAC305 and Sn-Cu-Cr(Ca) alloys

솔더에 대한 Cu 쿠폰의 젖음력을 측정된 결과이다. SAC305와 Sn-Cu-Cr은 약 2 mN으로 동등한 수준의 젖음력을 나타내었지만, Sn-Cu-Cr-Ca는 SAC305 솔더에 비교하여 평균 5% 가량 낮은 젖음력을 나타내었다. 이는 Ca의 산화도가 다른 원소에 비교하여 높기 때문에 Ca의 산화가 Cu pad와의 표면 반응을 방해하여 젖음력을 저하시킨 것으로 추측된다. Ca의 친산화력은 물성제어가 어렵기 때문에 솔더 페이스트 제조시에 산화막 제거의 효과를 증진시키기 위한 플럭스 개발과 함께 reflow공정에서 예비 가열온도와 공정시간의 최적화를 이루는 공정 조건을 개발하는 것이 양산공정에서 필요하리라 사료된다.

4.3 퍼짐성 및 접합강도

Fig. 4는 접촉각 시험기를 이용하여 용융시킨 솔더와 Cu pad 표면과의 접촉각 측정 단면 이미지이다. 솔더의 퍼짐율은 아래와 같은 식으로 산출되었다.

$$\text{퍼짐율}(\%) = \frac{\text{시험에 이용한 솔더의 직경-퍼진솔더의 높이}}{\text{시험에 이용한 솔더의 직경}}$$

Sn-Cu-Cr 솔더의 Cu pad에 대한 퍼짐율은 약 84%±2%의 결과를 나타내었다. 상대적 비교를 위하여 SAC305와 Sn-0.7Cu솔더의 퍼짐성을 측정된 결과, SAC305 상용 솔더의 경우 약 85%, Sn-0.7Cu 상용 솔더는 82%의 퍼짐율을 나타내었다. 퍼짐성은 소재의 계면장력과 관련되는 물성임을 고려하면 기존 상용솔더의 계면장력과 유사한 값을 지닌다고 판단된다. 이는 상온에서 시험하였을 때 플러스의 영향을 많이 받게 되기 때문에 솔더 자체의 물성으로 평가하기는 어려우나, 플러스의 영향을 동일하다고 가정하였을 때 상용솔더에 물성을 만족하는 것으로 사료된다.

1005 칩의 전단강도와 0.65피치 QFP의 인장강도

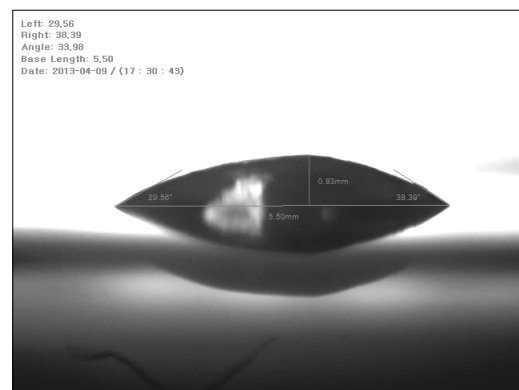


Fig. 4 Contact angle image of Sn-Cu-Cr solder

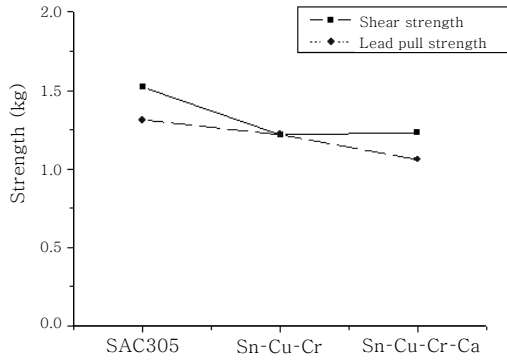


Fig. 5 Joint strength of 1005 type resistance chip and QFP lead as each alloy composition

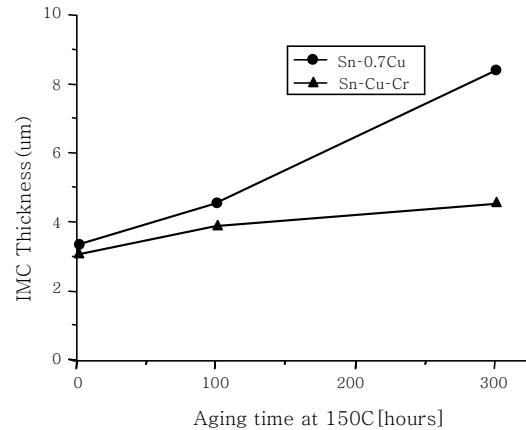


Fig. 7 Changing of IMCs layer thickness with various aging time(150°C)

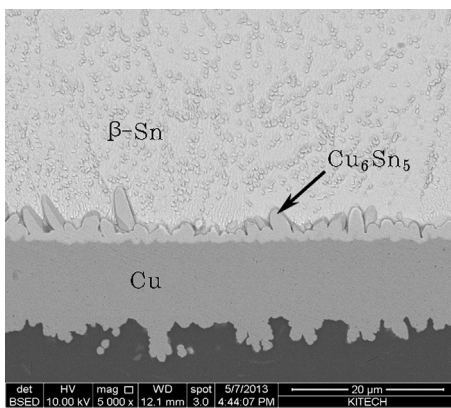


Fig. 6 Cross sectional SEM image of interface between Sn-Cu-Cr and Cu pad after soldering

결과를 Fig. 5에 나타내었다. SAC305솔더와 비교하여 Cr과 Cr-Ca이 함유된 두 조성이 다소 낮게 나타났지만, 오차범위 이내에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 단위면적당 접합강도는 1.25 kg/mm²으로 양호한 값을 나타내었다. 이는 reflow공정에서 예열시간과 온도를 충분히 주어서 플럭스를 활성화 시켜 솔더페이스트 내 산화막을 제거하고 void와 같은 결함이 없이 접합부를 형성한 것으로 판단된다. Fig. 6의 단면 전자현미경 사진에서 솔더의 내부와 계면에서 결함이 없는 양호한 접합부의 형상을 보여주고 있다.

4.4 금속간화합물(IMC) 분석

Fig. 6은 접합 후의 솔더 내부에 미세조직과 함께 Sn-Cu-Cr 조성의 솔더링 후 접합계면에 형성되는 금속간 화합물을 보여주고 있다. Cu₆Sn₅ 금속간화합물층이 2~4 μm 두께의 불균일 형태로 형성되어 있으며, 솔더 내부 상(phase)인 β-Sn 내에도 금속간 화합물 입자(IMC particle)가 일부 분포하고 있었다. 이는 Sn-Cu솔더에서 나타나는 조직과 비교하여 유사한 미

세조직을 나타내며, EDS 분석결과 Cr이 계면에서는 발견되지 않은 것으로 나타나서 β-Sn내에 분산되어 있을 것으로 사료된다.

이는 ICP 정량적 분석결과, Cr의 함유량이 확인되었음을 고려하면 Cr의 첨가량이 매우 적어서 EDS의 분해능으로 확인이 어려운 것으로 판단되며 계면에서의 편석현상은 없었음을 확인한 결과이다.

Fig. 7은 150°C에서 각 100시간과 300시간 aging 시험 후 금속간 화합물층의 두께변화를 측정된 결과이다. Sn-Cu는 초기두께 3.3 μm에서 300시간 후 8.4 μm로 5.1 μm 증가한데 비해 Sn-Cu-Cr 합금은 약 1.4 μm 증가하였다. 총 금속간 화합물 두께를 비교하면 Sn-Cu-Cr에서 발생한 Cu₆Sn₅ 금속간 화합물의 두께는 Sn-0.7Cu 합금에서 발생한 금속간 화합물의 약 50%에 해당하는 두께로 현저히 금속간 화합물의 발생 및 성장이 적은 것을 알 수 있다. 이는 기존의 연구⁸⁾인 Sn-Ag-Bi-Cr 합금계의 실험에서 Cr의 첨가가 Cu₆Sn₅의 형상을 초기 컬럼리 구조에서 Cr의 첨가에 따라 라운드 타입의 형상으로 바뀌게 되어 Sn의 확산이 억제됨으로 인해 IMC의 성장이 적어지게 된다는 보고와 잘 일치하고 있다. Sn-Cu-Cr-Ca 합금의 경우, Sn-Cu-Cr과 매우 유사한 결과를 나타내어 Ca첨가에 대한 영향이 나타나지 않았다고 판단된다. 결과적으로 Cr의 첨가는 금속간화합물의 성장을 억제하는 효과를 나타내는 것으로 나타났다. 이전의 연구에 따르면, Cr의 첨가에 대해 Sn-Ag-Bi-Cr합금에 대해 Cr과 Ca의 Sn에 대한 고용도가 없음을 고려해 보면 결정립계 혹은 계면 근처에 존재하는 Cr이 금속간 화합물의 형성 및 이동을 방해하여 IMC의 두께증가가 적은 것으로 추측되나, 향후의 연구에서 금속간 화합물의 형성억제 기전과 이것이

접합부 신뢰성에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하리라 판단된다.

5. 결 론

기존 Sn-Cu 공정솔더에 Cr, Ca를 미량 첨가하여 자동차 전장품용 중온계 접합소재를 개발하고 기초물성 및 접합성을 평가하였다.

1) 개발된 중온 솔더의 조성은 각 Sn-0.7Cu-0.2Cr 과 Sn-0.7Cu-0.2Cr-0.15Ca이며 DSC 측정결과 용점은 230.9℃와 231.3℃로 측정되었다.

2) 제작된 솔더페이스트는 185~193 pa·s의 점도를 나타내었으며, 20회 연속인쇄 후 0.2 mm에서 브리지(Bridge)가 나타나지 않는 우수한 인쇄성을 보였다.

3) Sn-Cu-Cr 솔더의 퍼짐율은 84%를 나타내었으며, 젖음력(Wetting force)은 2 mN으로 SAC305와 동등한 수준의 젖음력을 나타내었지만, Sn-Cu-Cr-Ca는 10% 낮은 값을 나타내었으며, 원인은 Ca의 산화영향으로 추측된다.

6) 1005 칩의 전단강도와 0.65피치 QFP의 인장강도는 SAC305에 비해 Cr, Ca 두 조성이 다소 낮게 나타났다으나, 오차범위 이내에서 있었으며 단위면적당 접합강도는 1.25 kg/mm²으로 양호한 값을 나타내었다.

7) 주사전자현미경을 통하여 Cu₆Sn₅ 금속간화합물층이 2~4 μm두께의 불균일 형상으로 형성되어 있는 것을 확인하였다. 전반적인 형상은 Sn-Cu의 조직과 유사하였으며, EDS 분석결과 Cr은 검출되지 않았으나 ICP결과 미량의 Cr이 검출되어 β-Sn내에 분산되어 있을 것으로 추측된다.

8) 150℃ 방치시간에 따른 금속간화합물층의 두께변화를 측정한 결과 Sn-Cu에 비해 Sn-Cu-Cr이 두께증가가 적었으며, 이는 Cr 첨가의 효과로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 글로벌전문기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Yong-Hob Ko, Sehoon Yoo and Chang-Woo Lee : Evaluation on Reliability of High Temperature Lead-free Solder for Automotive Electronics, Journal of Microelectronics & Packaging Society, **17-4** (2010), 35-40
2. Sanghun Jin, Namhyun Kang, Kyung-mox Cho, Changwoo Lee, Wonsik Hong : Behavior of Vibration Fracture for Sn-Ag-Cu-X Solders by Soldering, Journal of KWJS. **30-2** (2012), 65-69 (in Korean)
3. Yu-Jae Jeon, Do-Seok Kim, Young-Eui Shin : A Study on the Fracture Mode Characteristics of Automotive Application Component Lead-free Solder Joints, Journal of KSAE, **19-6** (2011), 90-96
4. S. I. Son, Y. E. Shin, Y. J. Jeon : A Study on Tensile Characteristic of QFP Lead-free Joint for Automotive Electrical Parts, Korean Society of Precision Engineering, (2010), 1103-1104
5. Guobiao Su, Yongjiu Han, Chunyan Wang, Hongbin Wang and Xicheng Wei : Effect of 0.05% Cr on Intermetallic Compound Layer Growth for Sn-Ag-Cu Lead-free Solder Joint during Isothermal Aging, 16th IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers) International Symposium(2009), 393-396
6. Xi Chen, Anmin Hu, Ming Li, Dali Mao : Effect of Aging on the Interfacial Reaction between Sn-9Zn-xCr Solder and Cu Substrate, IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers), (2007), 1-4
7. G. Subbarayan : A procedure for automated shape and life prediction in flip-chip and BGA solder joints, Journal Electron Packaging, **118**, (1996) 127-133
8. H. Wang, A. Hu, C.C.M. Li, D.Mao, "Oxidation Behavior and Intermetallic Compounds Growth of Sn-Ag-Bi-Cr Lead-free Solder", IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers), (2007), 1-4
9. Namhyun Kang, Hye Sung Na, Seong Jun Kim, Chung Yun Kang, Alloy design of Zn-Al-Cu solder for ultra high Temperatures, Journal of Alloys and compounds, **467, Issues 1-2**, 7 January 2009, 246-250