

LED 리드프레임 패키징용 Cu/STS/Cu 클래드 메탈의 기계 및 열전도 특성의 온도 안정성 연구

김 용 성^{*,†} · 김 일 권^{**}

^{*}서울과학기술대학교 NID대학원

^{**}서울과학기술대학교 신소재공학과,

Thermal Stability of the Mechanical and Thermal Conductive Properties on Cu-STS-Cu Clad Metal for LED Package Lead Frame

Young-Sung Kim^{*,†} and Il-Gwon Kim^{**}

^{*}Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology,
Seoul 139-743, Korea

^{**}Advanced Materials Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
Seoul 139-743, Korea

[†]Corresponding author : youngsk@seoultech.ac.kr

(Received ; October 29, 2013 ; Revised October 29, 2013 ; Accepted October 30, 2013)

Abstract

We have investigated thermal stability of the mechanical and thermal conductive properties of Cu/STS/Cu 3 layered clad metal lead frame material for a LED device package at different temperatures ranging from RT to 200°C. The fabricated Cu/STS/Cu clad metal has a good thermal stability for the mechanical tensile strength and thermal conductivity of the over 50 Kg/mm² to the 150°C and 270 W/m · K to the 200°C, respectively. This clad metal lead frame material at a high temperature of 150°C shows a reinforced mechanical tensile strength by 1.5 times to conventional pure copper lead frame materials and also a comparable thermal conductivity to typical copper alloy lead frame materials.

Key Words : Clad metal, LED lead frame, Thermal stability, Thermal conductivity

1. 서 론

최근 전자부품 및 소자의 발전으로 이에 대응하기 위해서는 금속복합소재, 고강도 합금강, 특수금속 등의 새로운 하이브리드 소재의 개발이 요구되고 있다. 이는 단일금속소재로 다양한 기계 및 열전달 특성을 확보하는데 한계가 있어 이들의 요구에 만족하는 하이브리드 신소재의 개발이 필요하다¹⁻³⁾.

특히, LED(light emitting diode)는 3, 5족 화합물 반도체로 전류에 의해 전자와 정공이 서로 결합하여 발광하는 소자이다. LED는 현재 우수한 광 효율과 내구성 및 신뢰성이 양호하여 디스플레이 소자나 조명 등

의 광 에너지 분야에 사용되고 있다²⁻⁴⁾. 또한 LED는 친환경 적으로 수은을 사용하지 않는 장점을 가지고 있으며 높은 전기효율과, 긴 수명으로 차세대 조명 소자로 각광 받고 있다¹⁻³⁾. 또한 최근 LED제품 패키징시 리드프레임은 LED의 광 효율과 제품 신뢰성 및 열 저항에 크게 영향을 미치고 있다. 따라서 LED 리드프레임 패키징용 구리소재에 대한 높은 기계적 강도와 열 전도 특성의 안정성 요구가 증가하고 있다²⁻³⁾. 현재 LED 리드프레임으로 Cu-Fe-P 계 동합금, 42 alloy(42% NiFe) 및 Cu-Ni-Si계 동합금 등의 소재가 많이 사용되고 있다. 하지만 이들 합금소재는 국제 연동 표준(%IACS : international annealed copper standard)에서 요구하는 50kg/mm²이상의 기계적 강도와 70% 이상의 전

기 전도도에 대한 요구를 충족시키지 못하고 있다²⁻³⁾. 이러한 문제점을 해결 하기 위해 리드프레임에 사용 중인 합금 재료들에 첨가되는 원소의 조합이나 열처리 조건, 합금비등을 조절하여 높은 기계적 강도 및 열전달 특성을 확보하려는 연구가 이루어 지고 있다^{2,5)}. 하지만 이들 연구에서는 기계적 및 열전도 특성의 확보에 대한 한계가 있기 때문에 최근 다양한 소재를 구리 소재에 적층시켜 높은 기계적 특성과 우수한 열전도 특성의 안정성을 확보하려는 연구가 진행 되고 있다⁴⁻⁶⁾.

본 연구에서는 LED제품에서 요구하는 높은 기계적 특성을 확보하기 위해 열전도 특성이 높은 Cu에 높은 기계적 강도를 가진 STS소재를 Cu/STS/Cu구조로 적층 시킨 후 압연하였다. 또한 이들 소재의 디바이스 응용 시 제품에서 발생하는 열 영향에 대한 소재의 기계 및 열 안정성 평가를 위해 상온에서 200℃까지 50℃씩 변화를 주어 기계적 특성 및 열전도 특성을 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 LED 리드프레임 패키징용 클래드메탈 제작

본 실험에서는 클래드메탈 리드프레임 소재의 모재는 높은 기계적 강도를 가진 스테인레스 스틸(STS316L,

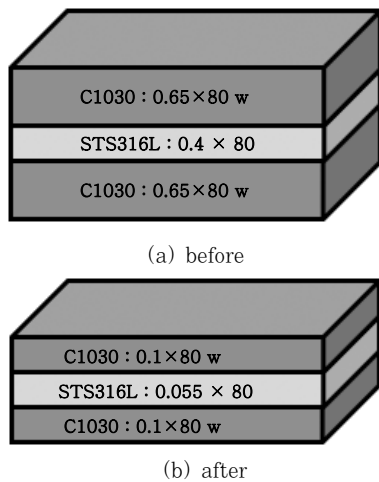


Fig. 1 Cross sectional structure of suggested Cu/STS/Cu clad metal lead frame materials: (a) before rolling, (b) after rolling

제조사: 대양금속)을 사용하였으며 부재는 Cu(C1030, 제조사: 이구산업, Cu-99.96, P-0.0017, O2-0.0038)를 사용하였다. 클래드 메탈의 두께는 스테인레스 스틸의 두께를 400 μ m, Cu의 상하층 두께를 각각 650 μ m를 사용하였다. 또한 전체 소재의 클래딩 시 접착력 강화를 위해 소재의 표면에 브러싱작업을 수행한 후, 압연은 2단롤을 사용하여 상온에서 냉간압연하였다. 이때 1회당 평균압하비 10% 수준으로 최종 압하율은 85% 수준으로 제어하였다. 제작된 클래드메탈의 두께측정 및 표면분석은 광학 현미경(LG-PS2, 제조사 : Olympus)을 사용하여 측정 및 관찰 하였다. Table 1 에서는 시험에 사용된 클래드메탈 Cu/STS/Cu의 재질을 나타내었다.

2.2 기계적 특성 측정

Cu/STS/Cu 클래드 메탈의 기계적 특성은 소재의 응용되는 분야가 LED 리드프레임인 점을 감안하여 마이크로 시험편을 제작하여 측정하였다⁷⁻⁹⁾. 제작된 시험편의 인장강도는 마이크로인장시험기 (SMT-H50, Space Solution)를 사용하여 로드 셀 50kg·f, 하중부가속도는 100 μ m/s로 상온에서 200℃까지 50℃ 간격으로 온도의 변화를 주어 측정하였다. 미소경도시험은 FUTURE-TECH사의 JP/FM7을 사용하여 시험하중은 25 gf (245.2 mN), 유지시간은 10초로 측정하였다. 경도시험은 미세연마를 실시한 표면 중에서 흠이 없고 조도가 가장 좋은 곳을 선택하여 압입자 크기의 5배의 간격으로 5회씩 측정하였다.

2.3 열전도 측정

클래드 소재의 열전도 특성을 분석하기 위해 각 시험편의 비열은 시차 주사 열량계(DSC: differential scanning calorimetry, DSC 204 F1, Netzsch, Germany)로 열 흡수량을 측정하였으며, 시험편의 밀도는 아르키메데스 (Archimedes)의 수중 부유법으로 측정하였다. 열 확산 특성을 측정하기 위해 25 mm 원형 디스크 형태로 방전 가공된 클래드 소재 표면에 레이저 펄스의 균일 흡수와 반사를 방지하기 위해 콜로이드 흑연입자를

Table 1 Detail specification of specimen for experiment.

Sample	Composition and hardness		Maker
Cu/STS/Cu clad metal (thickness: 1.7 mm) Manufactured by Lee-Ku Eng. Co.	Cu C1030	Cu : 99.96%, P : 0.0017%, O2:0.0038% Hardness : 98 Hv	Lee-Ku Eng. Co.
	STS 316L	Cr : 18%, Ni : 13%, Mo : 3%, C : 0.03% P : 0.045%, Mn : 2%, Si : 1%, Fe : 63% Hardness : 200 Hv	Dae-Yang Metal Co.

분사하여 처리하였다. 가공된 클래드 소재의 열 확산 특성은 laser flash법(NanoFlash LFA 447, Netzsch, Germany)으로 상온에서 200℃까지 50℃ 간격으로 측정하였다. 또한 열 확산계수를 측정하기 위해 박판의 아랫면에 Xenon nano-flash laser 를 조사하였다. 그리고 박판 샘플의 윗면에서 적외선 온도 센서를 사용하여 온도변화를 전압의 변화를 통해 환산하여 열 확산계수 α 값을 이론적 계산을 통해 구하였다^{10,11)}. 또한 측정된 각 시편의 비열과 밀도 및 열 확산계수를 식(1)의 관계식을 사용하여 온도변화에 따른 열전도도를 구하였다²⁾.

$$k = \alpha \rho C_p \quad (1)$$

식(1)에서 $k(\text{W/m}\cdot\text{K})$ 는 열전도도, $\alpha(\text{m}^2/\text{s})$ 는 열 확산 계수(thermal diffusivity), $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$ 는 밀도(density), $C_p(\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K})$ 는 비열(specific heat)를 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 Cu/STS/Cu 3층 클래드메탈의 온도변화에 따른 기계적 특성을 평가하기 위해 응력 변형률 곡선을 각각 비교하여 나타내었다.

인장강도는 상온에서 실험한 시편이 $53.74 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ 로 가장 우수한 특성을 나타내었으며, 온도가 증가함에 따라 인장강도가 $48.85 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ 수준으로 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 200℃에서 인장강도 값은 약 10% 감소하는 경향을 보였다. 이는 일반적으로 조명용 등기구 LED 소자의 칩 패키징 부분에서 발열제한 온도인 80℃ 부근임을 고려한다면, 이보다 높은 100℃에서 150℃ 온도영역에서 인장강도는 $50 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ 이상을 유지하는 것으로 나타났다. 따라서 본 클래드메탈 소재의 기계적 특성은 150℃까지 온도 안정성이 있는

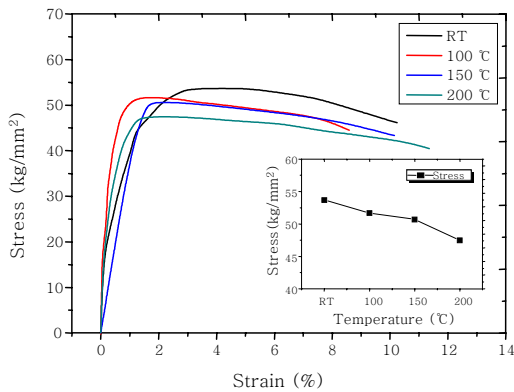


Fig. 2 Stress & Strain curves of the Cu/STS/Cu clad metal at different temperatures ranging from RT to 200℃

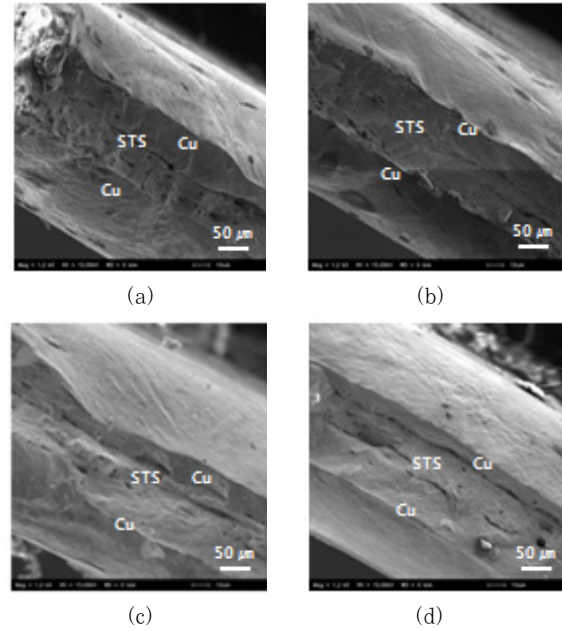


Fig. 3 Fracture morphology of the Cu/STS/Cu clad metal at different temperatures ranging from RT to 200℃, (a) RT, (b) 100℃, (c) 150℃, (d) 200℃

것으로 나타났다.

Fig. 3은 Cu/STS/Cu 3층 클래드메탈의 온도변화에 따른 기계적 특성 평가후의 시험편의 파면을 주사전 자현미경(SEM)을 이용하여 관찰하였다. 소재의 기계적 강도특성을 유지하는 STS 316L 소재의 파면은 상온에서 200℃까지 전 범위에 걸쳐서 내부에 균일한 미세 dimple들이 균일하게 분포하는 전형적 연성파면의 특징을 지니며 특별한 파면의 변화를 보이지 않고 있음을 보였다. 반면 STS 316L을 클래딩하고 있는 C1030소재의 경우 온도의 증가에 따라 연신된 두께 측의 감소가 얇아지고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 온도 증가함에 따라 C1030소재의 탄성계수가 감소하여 소성변형이 크게 나타난 것으로 판단된다^{1,3)}. 따라서 온도 변화에 따른 클래드메탈의 기계적 강도의 감소의 원인은 압연시 가공경화된 C1030소재의 열에 의한 연화 효과가 지배적인 것으로 판단된다.

Fig. 4는 Cu/STS/Cu 3층 클래드 메탈의 실험온도 변화에 따른 샘플의 단면 및 경도 값의 변화를 나타내었다. Fig. 4(a)는 시험 전 단면 광학현미경으로 관찰한 단면 이미지이다. 경도 시험 전 상온에서 단면 이미지를 분석한 결과 각층간의 경계면에서 결합이 없는 안정된 3층 구조를 나타내었다. Fig. 4(b)는 Cu/STS/Cu 3층 클래드 메탈의 실험온도 변화에 따른 각 층별 경도를 측정된 결과를 나타내었다. 실험시 STS 및 Cu 소재별 열처리 효과에 따른 미소경도를 측정된 결과 상

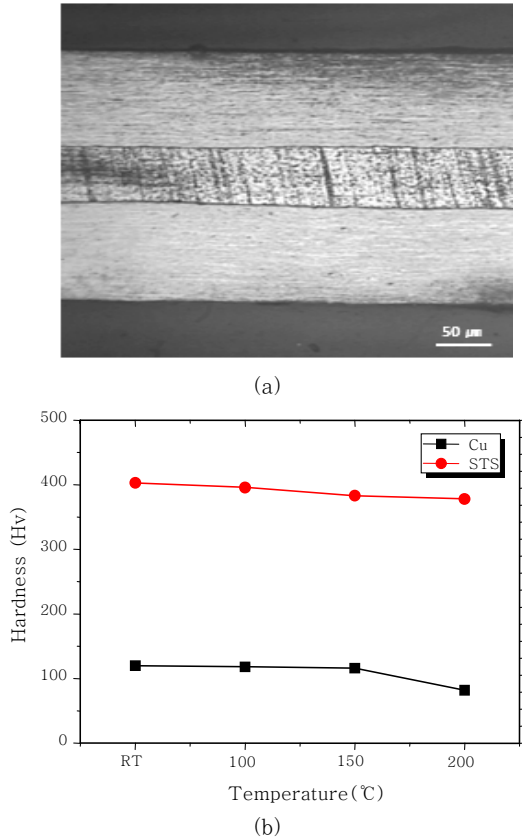


Fig. 4 Cross sectional image(a) and change of micro Vickers hardness of the Cu/STS/Cu 3-layered clad metal lead frame material(b) at different temperatures ranging from RT to 200°C

온에서 150°C까지는 경도의 변화가 크게 나타나지 않았으며, 소재의 가공에 따른 경도의 균질도는 매우 균질한 값을 나타내었다. 그러나 200°C에서 열처리된 클래드메탈은 STS 소재의 경우 경도의 감소는 5% 미만의 변화를 보였으나, Cu소재의 경우 경도가 약 20% 이상 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 200°C 고온상황에서 클래드 소재의 경도 특성은 평균적으로 10%를 상회함을 나타내었으나 클래드소재의 경도에 대한 열 안정성은 크게 감소되지 않음을 알 수 있다.

Fig. 5는 상온에서 laser flash법으로 측정된 Cu/STS/Cu 3층 클래드메탈 리드프레임 소재의 열 확산계수 측정결과와 온도변화에 따른 클래드 메탈의 열전도도, 비열, 열 확산계수를 비교하여 나타내었다.

시차주사 열량계로 상온에서 200°C까지 온도의 변화를 주어 Cu/STS/Cu 3층 클래드 메탈의 비열을 측정 한 결과 온도가 증가함에 따라 비열 특성이 약간 증가 하는 경향을 보였다. 하지만 laser flash법으로 상온에서 200°C까지 온도의 변화를 주어 열 확산계수를 측정 한 결과 온도가 증가함에 따라 열 확산 계수가 감소하

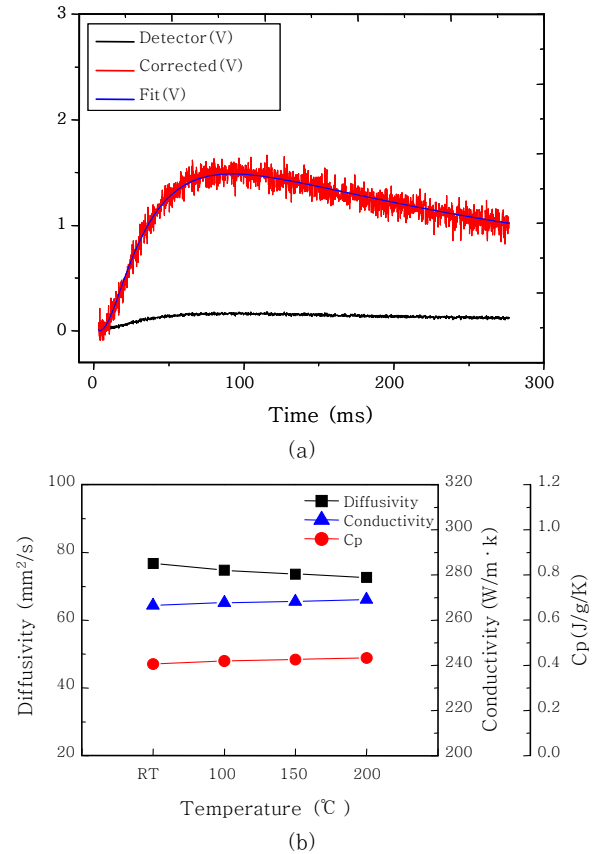


Fig. 5 Laser Flash measurement result (a) and diffusivity, Cp, conductivity of Cu/STS/Cu 3-layered clad metal lead frame material (b) at different temperatures ranging from RT to 200°C

는 경향을 나타내었다. 측정된 비열과 열 확산계수, 밀도 값을 이용하여 식(1)를 사용하여 계산된 평균 열전도도는 270.2(W/m·K) 나타났으며, 온도변화에 따른 값을 변화는 크게 나타나지 않았다. 이는 온도가 증가함에 따라 비열 특성의 값이 증가하였으나, 열 확산계수가 오히려 감소하여 열전도도 값에 크게 변화가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 따라서 Cu/STS/Cu 3층 클래드메탈은 열전도도가 약 270(W/m·K) 수준으로 방열특성은 온도에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험에서 검토된 상온에서 200°C 까지 열전달계수의 변화가 전혀 나타나지 않은 것을 고려한다면 클래드소재의 LED 패키징 리드프레임으로 사용 시 칩에서 발열하는 온도 구간인 100 °C 전후에서 안정된 방열특성을 나타낼 것으로 판단된다.

4. 결 론

압연공정에서 압연율 85%를 적용하여 Cu/STS/Cu 3층 구조의 클래드메탈 리드프레임 소재를 제조하였다.

제조된 Cu/STS/Cu 클래드메탈 리드프레임 소재는 온도의 안정성을 확보하기 위해 온도 변화에 따른 기계적, 열전도도 특성을 분석 하였다. Cu/STS/Cu 클래드메탈의 기계 및 열전도도 특성에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기계적 인장강도는 상온에서 53.72 kg/mm²의 가장 우수한 인장강도를 확보 하였다.

2) 열처리 효과에 따른 마이크로 비커스 경도 측정 결과 열처리 효과에 의한 경도의 변화는 150℃까지는 크게 변화가 나타나지 않아 상온에서 150℃까지의 열안정성을 확보 하였다.

3) 온도 변화에 따른 열전도도는 약 270(W/m·K)로 높은 열전달 특성을 나타냈으며 온도 변화에 따른 열전도도는 크게 나타나지 않았다. 따라서 상온에서 200℃까지 우수한 열안정성을 가진 열전달 특성을 확보하였다.

이상의 결론으로부터 Cu/STS/Cu 3층 구조의 클래드메탈 리드프레임 소재는 상온에서 150℃까지 원소재의 특성을 95%이상 유지하는 안정한 기계 및 열전달 특성을 확보하였다. 따라서 LED 패키징용 클래드메탈 리드프레임 소재로 적용 가능 할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 2011-0643 지식경제부의 부품소재기술개발사업 관리번호: 100383982) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Young-Bae Kim, Jongsup Lee, Guen-Ahn Lee and Sangmok Lee "An Overview and Prospects for Hybrid Materials" Trends in Metals & Materials Engineering, 24, 4 (2011), 24-30 (in Korean)
2. Chang-Hun Lee, Ki-Chul Kim and Young-Sung Kim "Study on the Mechanical Properties and Thermal Conductive Properties of Cu/STS/Cu Clad Metal for LED/semiconductor Package Device Lead Frame", Journal of KWJS, **30-3** (2012), 230-235 (in Korean)
3. E. Fred Schubert, "Light Emitting Diodes", 2nd Ed. p.13, Cambridge University Press, 2003
4. D. J. Lee, D. H. Ahn, E. Y. Yoon, S. I. Hong, S. H. Lee and H. S. Kim, "Estimating interface bonding strength in clad metals using digital image correlation", Scripta Materialia 68 (2013), 893-896
5. S. H. Kee, W. J. Kim, J. P. Jung, "Reflection characteristics of electrodeless deposited Sn-3.5Ag for LED lead frames", Surface & Coatings Technology **235** (2013), 778-783
6. Y. H. Cho, B. J. Kwon, "Main issue and technology trend of domestic and international LED light", Korea institute of S&T evaluation and planning, **2010-2** (2010), 109-134 (in Korean)
7. S. J. Yoo, D. H. Kim, "Super thin 0.25 mm thickness white LED lamp with PCB type lead frame", journal of the korean institute of electrical and electronic material engineers, **23-1**(2010), 34-37 (in Korean)
8. B. J. Kim, M. H. Jeong, S. H. Hwang, H. Y. Lee, S. W. Lee, K. D. Chun, Y. B. Park, Y. C. Joo, "Relationship between tensile characteristics and Fatigue failure by folding or bending in Cu foil on flexible substrate", J. Microelectron. Packag. Soc., **18-1** (2011), 55
9. J. S. Jeong, K. H. Shin, J. H. Kim, "Estimation of mechanical properties of Sn-xAg-0.5Cu lead-free solder by tensile test", Journal of KWJS, **29-1** (2011), 41-45 (in Korean)
10. Soon-Jae Yu, Do-Hyung Kim, Yong-Seok Choi and Heetae Kim, "Development of a very small LED lamp with a low-thermal-resistance lead frame for an LCD backlight unit", J. Information Display, **10-2** (2009), 49-52
11. R. Kisiel, M. Jarosz, "Thermal properties of SiC-ceramics substrate interface made by silver glass composition", Electronics Technology(ISSE), 34th International spring seminar on. (2011), 98-102