

LED 및 반도체 소자 리드프레임 패키징용 Cu/STS/Cu 클래드메탈의 기계적/열전도/전기적 특성연구

이 창 훈* · 김 기 출** · 김 용 성* †

*서울과학기술대학교 NID대학원

**목원대학교, 소재디자인공학과

Study on the Mechanical Properties and Thermal Conductive Properties of Cu/STS/Cu Clad Metal for LED/semiconductor Package Device Lead Frame

Chang-Hun Lee*, Ki-Chul Kim** and Young-Sung Kim* †

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

**Department of Material Design Engineering, Mokwon University, Daejeon 302-729, Korea

†Corresponding author : youngsk@seoultech.ac.kr

Abstract

Lead frame which has a high thermal conductivity and high mechanical strength is one of core technology for ultra-thin electronics such as LED lead frames, memory devices of semiconductors, smart phone, PDA, tablet PC, notebook PC etc. In this paper, we fabricated a Cu/STS/Cu 3-layered clad metal for lead frame packaging materials and characterized the mechanical properties and thermal conductive properties of the clad metal lead frame material. The clad metal lead frame material has a comparable thermal conductivity to typical copper alloy lead frame materials and has a reinforced mechanical tensile strength by 1.6 times to typical pure copper lead frame materials. The thermal conductivity and mechanical tensile strength of the Cu/STS/Cu clad metal are 284.35 W/m·K and 52.78 kg/mm², respectively.

Key Words : Clad metal, Lead frame, LED, Semiconductor

1. 서 론

‘발광다이오드’로 해석되는 LED(light emitting diode)는 빛을 방출하는 광소자이다. LED는 화합물반도체 특성을 이용해 전기 에너지를 빛 에너지로 전환시키는 반도체의 일종으로서 1962년 GaAsP를 사용하여 적색 가시광선 방출이 GE(general electric)의 Nick Holonyak Jr.에 의해 최초로 개발되었다. 이후 황색 LED, 1995년 일본 니치아사의 나카무라슈지에 의한 청색 LED의 개발에 이어 백색 LED가 개발되었다. LED는 기존의 광원대비 월등히 높은 광원효율과 저전력소모(백열등의 약 10%), 장수명(5만시간정도), 빠른 반응속도, 친 환경성(무수은) 등의 장점을 가지고 있다

1.2). LED는 최근 자동차의 표시등, LCD TV나 핸드폰 키패드의 BLU(back light unit), 일반조명등, 가시광통신, 의료분야, 농업과 수산업 등에 폭넓게 이용되면서 반도체산업을 뛰어넘어 차세대 산업군으로 주목 받고 있다. 특히 스마트폰, PDA 및 노트북, 태블릿 PC등과 같은 개인용 모바일 정보통신기기에서는 소형화 및 슬림화의 요구가 계속 증대되고 있다. 최근에는 대형 디스플레이 기기에서도 슬림화에 대한 요구가 커지고 있으며, LED BLU를 이용하여 어느 정도 슬림화를 달성하였으나 향후, 전자 부품산업계 전반에 걸쳐 슬림화가 요구되고 있다³⁾.

개인용 모바일 정보통신기기의 소형화 및 슬림화에 대한 요구가 증대하면서 LED 및 반도체 리드프레임용

구리소재에 대하여 높은 기계적 강도와 높은 전기전도도 및 열전도도의 특성에 관한 요구는 점점 커지고 있다. 특히 리드프레임은 LED 패키지의 광 효율과 열 저항 및 신뢰성에 크게 영향을 미치는 요소이다. 현재 이러한 리드프레임의 소재로는 Cu-Fe-P 계 동합금, Cu-Ni-Si 계 동합금 및 42 alloy(42% NiFe) 등의 다양한 합금소재가 사용되고 있다. 하지만 이러한 소재의 경우, 국제 연동 표준(%IACS : international annealed copper standard) 에서 요구하는 50~60kg/mm²의 기계적 강도와 70~80% 수준의 전기 전도도에 대한 요구를 충족시키지 못하고 있다. 전자 소자에 사용되는 금속 재료의 경우 반복적인 열변형이 가해질 경우 오작동을 유발하며, 기계적 파손의 원인이므로 대한 신뢰성을 향상시키기 위한 연구도 활발히 진행 중이다^{4,5)}. 이러한 요구에 부응하기 위하여 소자 패키징에 사용되는 리드프레임에 사용중인 합금 재료들에 첨가되는 원소의 조합이나 합금비, 열처리 조건 등을 조정하여 높은 강도의 기계적 특성을 확보하고자 시도하고 있다. 하지만 이러한 시도들은 기계적 강도 특성의 확보에 한계를 보이고 있기 때문에, 새로운 소재 및 공정기술에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다^{3,6)}.

KS D 0234-1992에 의하면 클래드(clad)는 “어떤 금속을 다른 금속의 전체 면에 걸쳐 피복하고, 또한 그 경계면이 금속 조직적으로 접합되어 있는 것”으로 정의하고 있으며, 클래드메탈(clad metal)은 “강재를 모재로한 클래드”로 정의되고 있다⁷⁾. 즉, 클래드메탈은 모재가 갖고 있지 않은 새로운 특성을 부재를 통하여 충족시켜 각 금속재료의 장점을 동시에 구현하는 것이 특징이다. LED용 리드프레임은 우수한 열 전도성과 기계적 강도 특성을 동시에 요구하고 있다. 본 논문에서는 압연 공정으로 만들어진 클래드메탈 시료를 기계적 강도, 열 전도도, 전기 전도도 시험을 통하여 일반적인 리드프레임 용도의 C194 동합금과 비교하였으며, LED 리드프레임 적용 시 소자 성능에 가장 영향을 미치는 방열 특성을 검토하기 위해 소재의 기계 및 열전달 특성을 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 LED 및 반도체 리드프레임 패키징용 클래드메탈 제작

실험을 위한 클래드메탈 리드프레임 소재의 모재는 높은 기계적 강도 특성을 갖고 있는 스테인레스 스틸(STS304, 제조사: 대양금속, 클래딩 압연 전 경도:



Fig. 1 Cross sectional structure of suggested clad metal lead frame materials.

175 Hv)을 사용하였고, STS의 두께는 100 μm 이다. 부재는 높은 전기 전도도와 열전도도 특성을 가지고 있는 Cu(C1030, 제조사: 이구산업, Cu-99.96, P-0.0017, O₂-0.0038, 클래딩 압연 전 경도: 70 Hv)를 사용하였고, Cu의 두께는 상하 모두 150 μm 로 Fig. 1 과 같이 제어하였다. 클래드메탈 리드프레임 소재를 제조하는 공정에서 원소재의 표면처리방법, 압연속도, 압하율 등의 조건에 따라 원소재에 크랙이 발생하기도 하였고, STS와 Cu간의 접합력에 차이가 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 다양한 예비실험 조건들로부터 검토된 최적의 공정조건인 압연속도는 6 m/min, 압하율은 62%의 조건으로 클래드메탈을 제조하였다. 전형적인 단일층의 구리합금 리드프레임소재(C194, 제조사: 이구산업, 주요성분: Cu-97.23, Fe-2.531, P-0.0091, Zn-0.0038, 주요불순물: Sn-0.0071, Ni-0.0210, 두께: 0.36 mm)와 본 연구에서 제안된 클래드메탈 리드프레임 소재의 기계적 특성 및 열전도 특성을 비교 분석하였다. 실험에 사용된 시편의 재질은 Table 1 에 기술하였다.

2.2 기계적 특성 측정

Cu/STS/Cu 클래드메탈의 인장강도시험은 KS 규격에 의하여 진행하였으며, 소재 응용 분야가 리드프레임인 점을 감안하여 소형/박판형 소재에 대한 테스트의 개념으로 마이크로 인장 시험편을 제작하여 측정하였다⁷⁾. 치수효과(size effect)에 의한 물성치의 변화를 확인하기 위하여 마이크로 인장 시험편(파단부단면적 < 0.4 mm²)을 제작하였다⁸⁾. 클래드메탈의 인장강도 측정의 신뢰성과 상대 비교를 위하여 현재 LED 리드프레임에 많이 적용되는 C194 구리 합금에 대해서도 동일한 방법으로 인장강도 시험을 실시하였다. 마이크로 인장시험은 SPACE SOLUTION사의 장비를 사용하였고, 하중부가속도는 2 mm/min, 로드 셀은 50 kg · f 이었다. 미소경도시험은 FUTURE-TECH사의 JP/FM7

Table 1 Detail specification of specimen for experiment

Sample	Contents and Hardness		Maker
C194(thickness: 0.36mm)	Cu: 97.23, Fe: 2.531, P: 0.0091, Zn: 0.166, Sn: 0.0071, Ni: 0.0210 Hardness: 99 Hv		Lee-Ku Eng. Co.
Cu/STS/Cu clad metal (thickness: 0.4mm) Manufactured by Lee-Ku Eng. Co.	Cu	C1030, Cu:99.96, P:0.0017, O2: 0.0038 Hardness before cladding press: 70 Hv	Lee-Ku Eng. Co.
	STS	SUS304, Hardness before cladding press: 175 Hv	Dae-Yang Metal Co.

장비를 사용하였으며, 시험하중은 245.2 mN (25gf), 시험력, 유지시간은 10초로 하여 시험하였다. 경도측정은 미세연마를 실시한 표면 중에서 흠(defect)이 없고 조도가 가장 좋은 곳을 선택하여 3층 클래드 소재당 5회씩 측정하였다.

2.3 열전도 측정

열전도 특성분석을 위하여 우선 각 시편의 비열은 시차 주사 열량계(DSC: differential scanning calorimetry, DSC 204 F1, Netzsch, Germany)로 알루미늄(Al_2O_3) 표준시편과의 열 흡수량을 비교하여 측정하였고, 시편의 밀도는 아르키메데스(Archimedes)의 원리인 수중 부유법으로 측정하였다. 또한, 각 시편의 열 확산 특성은 Laser Flash법(NanoFlash LFA 447, Netzsch, Germany)으로 측정하였다. 열 확산계수를 측정하기 위해 박판의 아랫면에 Xenon nano-flash laser 를 조사하고, 박판 샘플의 윗면에서 적외선 온도 센서를 이용해 온도변화를 전압의 변화를 통해 환산하여 열 확산계수 α 값을 이론적 계산을 통해 구하였다. 환산에 사용된 방식은 Cape-Lehman 이론적 모델을 pulse correction으로 보정한 값이다⁹⁾. 측정된 각 시료의 비열과 밀도, 열 확산계수를 이용하여 식(1)의 관계식을 이용하여 열전도도(thermal conductivity, k , W/m·K)를 구하였다¹⁰⁾.

$$k = \alpha \rho C_p \tag{1}$$

$\alpha (m^2/s)$ 는 열 확산계수(thermal diffusivity), $\rho (kg/m^3)$ 는 밀도(density), $C_p (J/kg \cdot K)$ 는 비열(specific heat)을 나타낸다.

2.4 전기 전도도 측정

전기 전도도 실험은 더블 브릿지 장비를 이용하여 KS D 0240 규격에 의거 측정하였다. 구리선에 대한 표준저항은 “20℃ 의 온도조건에서 길이 1m, 일정한

단면적(1mm²)을 가지는 표준 열처리된 구리선의 저항은 1/58 Ω, 즉 0.017 241 Ω”이며, 이 값을 100 % IACS (international annealed copper standard)로 정의한다^{11,12)}. 식(2)의 근거를 통하여 전기 전도도를 구하였다.

$$\% IACS = \left(\frac{1}{\rho}\right) \times 1.7241 \mu\Omega \cdot cm \tag{2}$$

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 C194 구리합금 리드프레임 단일소재와 Cu/STS/Cu 3층 클래드메탈 리드프레임 소재의 인장

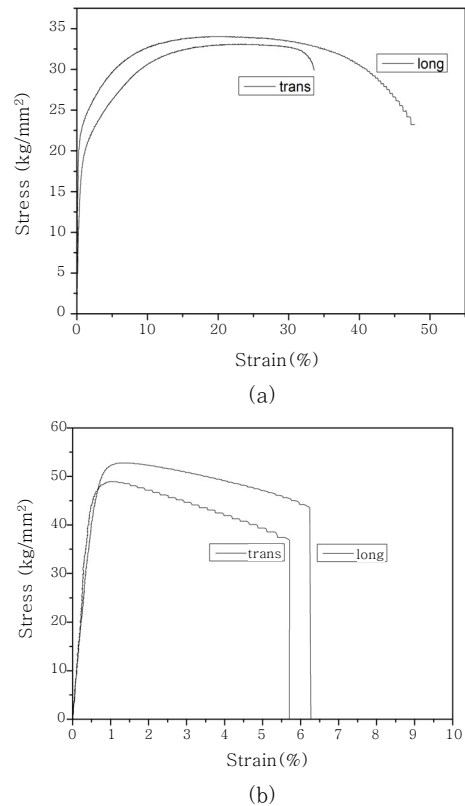


Fig. 2 Stress vs. Strain Curve; (a) C194 Cu alloy material (thickness: 0.36 mm), (b) Cu/STS/Cu 3-layered clad metal material (thickness: 0.40 mm)

시험 결과를 각각 비교해 나타내었다.

인장강도는 압연방향에 나란한 방향이 압연방향에 수직한 방향 보다 크게 나타났으며, 이는 금속소재의 소성 가공효과에 의한 가공경화 효과가 압연방향 쪽으로 크게 작용한 것으로 판단된다. 압연방향과 나란한 방향의 인장강도는 C194와 Cu/STS/Cu 클래드메탈 각각 33.04, 52.78 kg/mm² 로 측정되었다. 가공방향에 평행하게 소재 가공에 따른 경화 및 강화 효과가 보다 크게 나타나고 있다. C194에 대한 Cu/STS/Cu 클래드메탈의 상대적인 인장강도의 증가는 C194의 159.75%이며 약 1.6배 증가하였다. 이와 같이 클래드 메탈 소재의 50 kg/mm² 이상의 높은 기계적 특성을 요구하는 향후 고품질용 LED, 반도체 및 다양한 전자 소재의 리드프레임 소재로의 응용 가능성을 제시하고 있다.

본 연구결과에는 언급하지 않았지만 리드프레임용 순동 합금의 가공방향에 따른 경화효과 Hv 130 수준에서 압연방향에 따른 가공경화효과는 5% 미만으로 큰 변화를 보이지 않았다. 한편 Cu/STS/Cu 3층 구조의 클래드메탈의 외형은 스테인레스 스틸 strip 양쪽에 구리 또는 구리합금 strip을 덧대어 접합(cladding) 압연을 하였다. 이때 육안상 외관은 일반구리합금 strip과 차이가 없으나 strip을 절단하여 절단면의 접합상태를 광학현미경으로 관찰한 결과 Fig. 3의 (a)와 (b)처

럼 Cu/STS/Cu의 각 층간 경계면에서 결합이 없는 안정된 3층 구조를 확인 할 수 있다. 소재 단면의 가공에 따른 경도의 균질도를 확인하기 위해 미소경도의 측정된 결과를 Fig. 3. (c), (d)에 나타내었다. 경도는 소재에 따라 균질한 값을 가지며, 압연방향에 나란한 방향이 압연방향에 수직한 방향 보다 5% 수준의 경도 증가를 나타내었다. 즉 압연 시 클래드 금속 소재들의 소성가공에 따르는 길이 방향으로의 가공경화 효과가 더욱 크게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

Laser Flash법으로 측정된 전형적인 LED 리드프레임 소재인 Cu(C194)와 본 연구에서 제안한 Cu/STS/Cu 3층 구조를 갖는 클래드메탈 리드프레임 소재의 열 확산계수 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다.

시차주사 열량계로 측정된 C194와 Cu/STS/Cu 클래드메탈의 비열은 섭씨 50도에서 각각 0.380, 0.350 (J/g·K) 이었다. Laser Flash법으로 측정된 열 확산계수는 C194와 Cu/STS/Cu 클래드메탈 각각 85.832, 82.556(mm²/s) 이었다. 측정된 비열과 열 확산계수, 밀도 값을 이용하여 식(1)에 의해 계산된 열전도도는 C194 295.63(W/m·K), Cu/STS/Cu 클래드메탈 284.35(W/m·K)이었다. 열 특성분석결과 Cu/STS/Cu 클래드메탈 리드프레임 소재의 열전도도는 Cu 단일층 리드프레임소재의 열전도도의 96.2% 에 해당하는 값

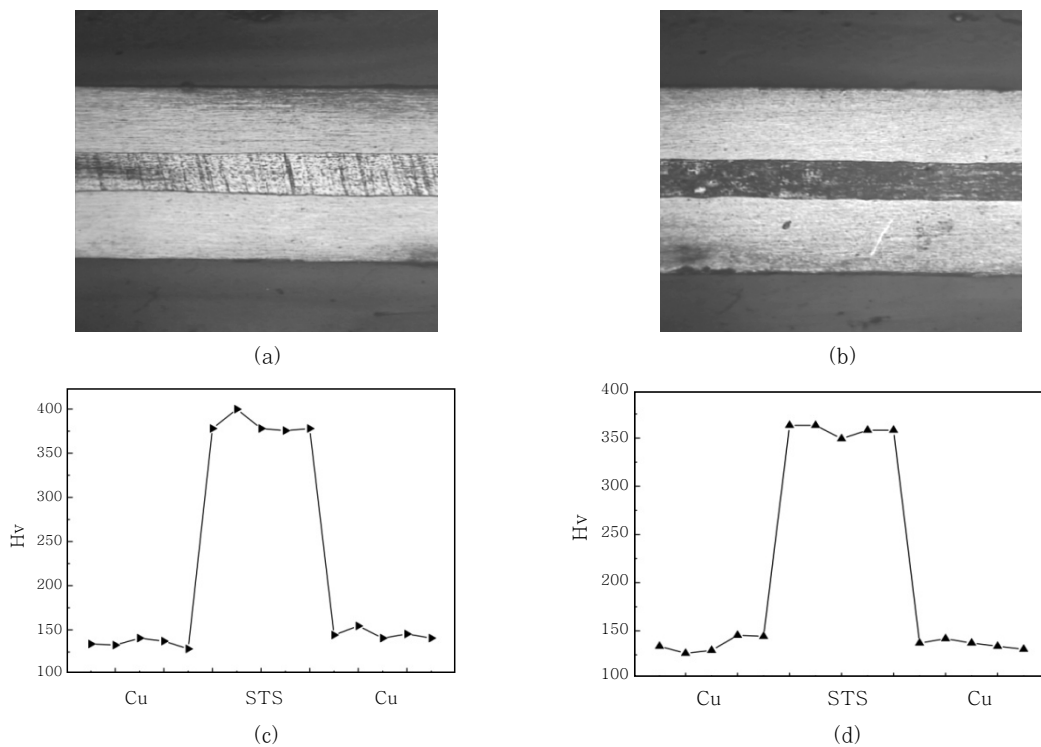


Fig. 3 Cross sectional images and micro Vickers hardness of Cu/STS/Cu 3-layered clad metal lead frame material: (a) cross sectional image of longitudinal direction of press, (b) cross sectional image of transverse direction of press, (c) micro vickers hardness(Hv) for longitudinal direction of press, (d) micro vickers hardness for transverse direction of press

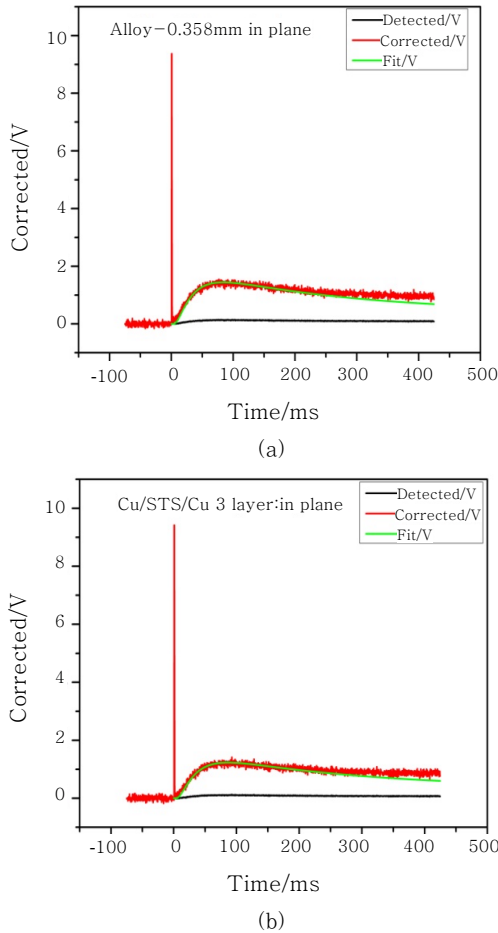


Fig. 4 Laser Flash measurement results: (a) C194 Cu alloy lead-frame material (thickness: 0.36mm), (b) Cu/STS/Cu 3-layered clad metal lead frame material (thickness: 0.4mm)

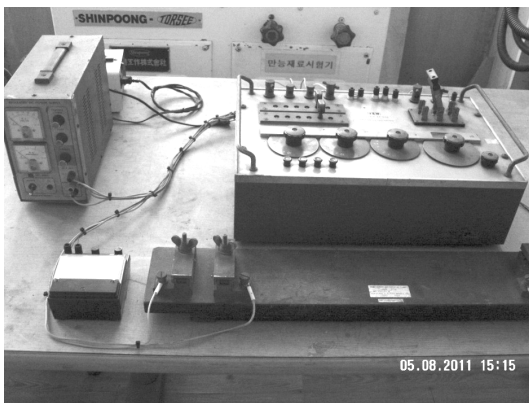


Fig. 5 Double bridge equipment

으로 단일 Cu에 0.1 mm 두께의 스테인레스 스틸이 삽입되었을 때 열전도도는 약 3.8% 감소하였다. 따라서 STS를 메인 프레임으로 하는 3층 클래드 소재는 리드프레임 전용 Cu(C194) 소재의 열전달 특성의 감소

를 최소화 시키며, 앞서 기계적인 강도특성은 최대화시킬 수 있는 특성을 보여준다. 본 클래드 소재는 향후 고품질용 LED 및 반도체 리드프레임의 소재로 적용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

클래드 소재의 전기적 특성을 일반 단일 동합금소재와 비교 평가하기 위해 비저항 값을 아래 Fig. 5의 더블 브릿지 장비를 이용하여 측정하여 계산하였다.

C194 합금의 비저항 값은 $2.33\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 였으며, Cu/CTS/Cu 클래드메탈의 비저항 값은 $2.15\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 를 보였다. 식(2)를 이용하여 환산 하였을 때 C194 합금 74 %IACS, Cu/CTS/Cu 클래드메탈 80 %IACS의 전기 전도도 값을 각각 나타내었다. 클래드메탈이 단일층인 C194 동 합금에 비해 전기 비저항의 값이 다소 감소하여 IACS 값이 약 6% 우수한 전기적 특성을 보인 것은 3층 클래드 소재화에 따라 전기적으로 각 층이 병렬 연결의 저항체로 구성됨에 따라 단일 소재의 직류 전기적 특성보다 저항의 감소효과가 발생되어 전도율의 향상에 기여한 것으로 판단된다.

4. 결 론

압연공정을 통해 Cu/STS/Cu 3층 구조의 클래드메탈 리드프레임 소재를 제조하였다. 제안된 Cu/STS/Cu 클래드메탈 리드프레임 소재와 현재 일반적으로 사용되고 있는 구리합금 리드프레임 소재(C194)의 기계적, 열전도도 특성을 비교 하였고, 전기 전도도를 측정하였다. 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기계적 인장강도는 구리합금 리드프레임 소재(C194)와 비교하여 STS 클래드 된 소재가 1.6배 강화된 52.78 kg/mm^2 의 인장특성을 보였다.
- 2) 마이크로 비커스 경도 측정 결과 C194 및 클래드 공히 소재 압연방향과 수직방향의 경도 차이는 미미하지만 압연방향이 수직방향 보다 5% 가량 증가하였다.
- 3) 열전도도 특성은 단일 구리합금 리드프레임 소재(C194)에 비해 클래드 소재는 약 3.8% 감소한 $284.35 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$ 를 보였으나 열전도도의 특성은 원소재의 특성에 96% 이상 우수한 특성을 보였다.
- 4) 전기 전도도는 C194 합금 74 %IACS, Cu/CTS/Cu 클래드메탈 80 %IACS 의 값을 나타냈다. 풀림 (annealing)한 순동을 기준으로 약 6% 높은 전도율을 가진다. 이는 3층 클래드 소재의 병렬구조 형성에 따른 직류 저항의 감소효과에 기인한 것으로 판단된다.

이상의 결론으로부터 현재 일반적으로 사용되고 있는 구리합금 리드프레임 소재의 열전도도 특성과 비교하여 크게 감소하지 않고 기계적 인장강도가 강화되었고, 높

은 전기 전도도 값을 보이는 Cu/STS/Cu 클래드메탈 리드프레임 소재는 슬림화가 요구되는 모바일 정보통신 기기에 적용 할 수 있는 LED 및 반도체소자의 패키징용 클래드메탈 리드프레임 소재로 적용 가능 할 것으로 예상된다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. E. Fred Schubert, "Light Emitting Diodes", 2nd Ed. p.13, Cambridge University Press, 2003
2. 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)
3. 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**, 34-37 (2010) (in Korean)
4. Ilho. Kim and S. B. Lee, "Reliability assessments of lead-contained and lead-free BGA solder joints under cycle bending loads", J. Microelectron. Packag. Soc., **13-1** (2006)
5. 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
6. 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
7. Y. H. Hwang, H. M. Park, J. U. Jun, S. K. Kim, J. S. Jung, M. K. Ha, "Development of clad material diesel engine", 한국기계학회, The Korean society of manufacturing process engineers, 2003, 217-220 (in Korean)
8. 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**, 41-45 (2011) (in Korean)
9. R. Kisiel, M. Jarosz, "Thermal properties of SiC-ceramics substrate interface made by silver glass composition", Electronics Technology(ISSE), 34th International spring seminar on. 98-102(2011)
10. K. J. Euh, S. B. Kang, ManchangGui, "Thermal conductivity characteristics of SiCp/Al composited fabricated by atmospheric plasma spraying", J.Kor.Inst. Met& Mater, **43-1**, 17-22 (2005) (in Korean)
11. J. H. Kang, S. O. Han "DC and AC characterization of metal conductivity using the van der pauw measurement method", The transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, 2007, 157~160 (in Korean)
12. K. J. Hong, L. S. Hun "A study on the precision measurement of metal electrical resistivity", The transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, 2007, 37-39 (in Korean)



- 김기출(金基出)
- 1968년생
- 목원대학교 소재디자인공학과 교수
- 전자재료, 나노 유/무기 복합소재
- e-mail : kckim30@mokwon.ac.kr



- 이창훈(李昌勳)
- 1983년생
- 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 석사과정
- 나노IT융합기술 및 전자신소재
- e-mail : icss96@nate.com



- 김용성(金龍成)
- 1962년생
- 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 교수
- 나노IT융합기술 및 전자신소재
- e-mail : youngsk@seoultech.ac.kr