

Sn-3Ag-0.5Cu계 솔더를 이용한 자동차 전장 부품 접합부의 열충격 특성에 관한 연구

전유재¹, 손선익¹, 김도석², 신영의^{1,a}

¹ 중앙대학교 기계공학부

² 코리아엔지니어링

A Study of Thermal Shock Characteristics on the Joints of Automotive Application Component using Sn-3Ag-0.5Cu Solder

Yu-Jae Jeon¹, Sun-Ik Son¹, Do-Seok Kim², and Young-Eui Shin^{1,a}

¹ School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

² Korea Engineer Manufacturing, Namyangju 472-804, Korea

(Received July 13, 2010; Revised July 19 2010; Accepted July 23 2010)

Abstract: This study investigated the characteristics of fracture behavior and mode on solder joints before and after thermal shock test for automotive application component using Sn-3.0Ag-0.5Cu solder, which has a outstanding property as lead-free solder. The shear strength was decreased with thermal cycle number, after 432 cycles of thermal shock test. In addition, fracture mode was verified to ductile, brittle fracture and base materials fracture such as different kind fractured mode using SEM and EDS. Before the thermal shock, the fractured mode was found to typical ductile fracture in solder layer. After thermal shock test, especially, Ag was found on fractured portion as roughest surface. Moreover, it occurred delamination between a PCB and a Cu land. Before thermal shock test, most of fractured mode in solder layer has dimples by ductile fracture. However, after thermal shock test, the fractured mode became a combination of ductile and brittle fracture, and it also could find that the fracture behavior varied including delamination between substrate and Cu land.

Keywords: Thermal shock test, Shear strength test, Lead-free solder, Automotive application component, Reflow

1. 서 론

최근 납 (Pb) 성분의 환경오염에 대한 국제 사회적 관심의 증대로 전자기기의 납사용에 대한 규제 법안 (restriction on use of certain hazardous substances, RoHS)이 제정되어 납, 수은 (Hg) 등의 특정 유해물질의 사용이 제한되고 폐 전기·전자제품의 회수 및 재활용을 의무화 시키고 있다. 이로 인해,

기존의 Sn-Pb계 솔더 (solder)를 대체할 수 있는 무연 솔더 (lead-free solder)의 사용이 가속화 되고 있고 [1,2], 이에 대응하여 무연 솔더에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적인 3원계 무연솔더는 Sn-Ag-Cu 및 Sn-Ag-Bi, Sn-Ag-In등이 널리 사용되고 있다. 하지만, 인듐 (In), 비스머스 (Bi)는 모두 산화하기 쉬우므로 플럭스 (flux)에 특별한 연구를 하거나 질소분위기에서의 작업을 필요로 하는 경우가 있어 작업 공정에 어려울 뿐 아니라 신뢰성 확보에도

a. Corresponding author; shinyoun@cau.ac.kr

취약한 부분이 있어, Sn-Ag-Cu계의 솔더가 가장 많이 사용되고 있다 [3].

점차 휴대용 디지털기기, 자동차, 통신위성, 의료기기와 관련된 부품들이 경박 단소화, 다기능화, fine-pitch화 되면서 열적, 기계적인 신뢰성에 취약해져 솔더 접합부의 파손 및 열변형에 의한 박리현상 등 많은 문제점들이 나타나기 시작했다.

특히, 자동차 전장 부품 (automotive application component)의 경우 다른 전기·전자 제품에 비해 훨씬 가혹한 환경에 노출되어 있기 때문에 신뢰성 시험 또한 다른 제품들보다 가혹한 조건이 요구되기에 대부분의 국내 완성차 업체에서 자체 시험법 및 규격을 가지고 자사 제품의 신뢰성 확보를 위해 노력을 기울이고 있다 [4,5]. 하지만, 자동차 전장 부품 신뢰성 관련 선행 보고된 연구는 많지 않은 실정이다. 또한, 무연 솔더가 적용된 자동차 전장 부품을 이용한 열사이클 (thermal cycle) 시험을 통해 솔더 접합부 계면의 신뢰성 평가에 관한 연구는 있었으나 관찰 범위가 금속간 화합물 (intermetallic compound) [6]층으로 제한되어지고 있어, 솔더층 및 PCB (printed circuit board) 와 Cu 랜드 (land)부 등과 같은 좀 더 다양한 파단부위를 확인하고 형상을 관찰함으로써, 파단의 원인을 정확히 규명할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 Sn-3Ag-0.5Cu계 솔더를 이용한 현재 자동차에 탑재된 핵심 전장 부품을 선정하여 열충격 (thermal shock) 시험 후 전단강도시험을 통해 기계적 강도를 측정하고, 파단된 부위를 확인하여 자동차 전장 부품의 접합부 열충격 특성 및 파괴형상에 대해 금속학적 특성을 확인하고 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 시편

본 실험에서 사용된 자동차 전장 부품은 실제 차량에 실장되는 핵심 저항 부품인 AN chip (9.0×2.9×1.25 mm)인 MLCC (multi layer ceramic capacitor) chip을 사용하였으며, 2.54~7 μm의 Ni와 0.7 μm이하의 Au로 표면 처리된 FR-4 PCB에 그림 1과 같이 240°C 피크 (peak) 온도로 하여 평균 220°C에서 약 60초 동안 리플로우 (reflow) 공정을 통해 실장된 시편이다. 리플로우 공정을 마친 시편은 25°C의 건조 챔버 (dry chamber)에 보관하여 습도 및 기타 외부 환경 조건

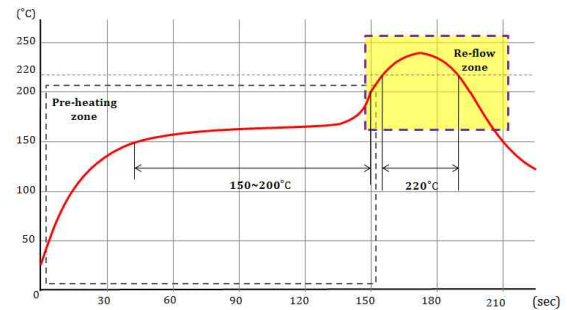


Fig. 1. Temperature profile of reflow process.

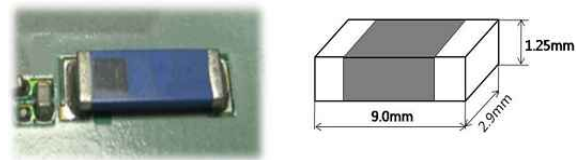


Fig. 2. Schematic of AN chip size and image.

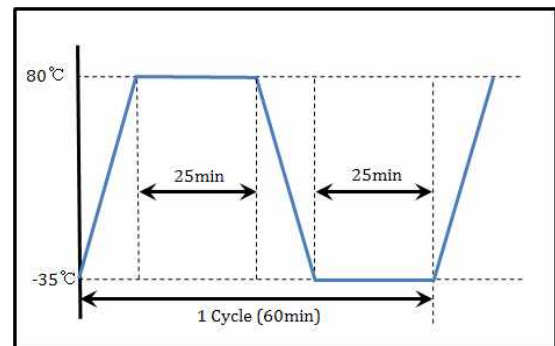


Fig. 3. Thermal shock cycle.

의 영향을 최소화 하였다. 그림 2에는 실험에 사용한 AN chip의 사이즈 및 형상을 나타내었다.

2.2 열충격 시험

장기 신뢰성에 가장 큰 영향을 미치는 열에 대한 특성을 확인하기 위하여 대표적인 가속 환경 시험 방법중의 하나인 열충격 시험을 ESPEC社 TSE-11-A를 이용하여 수행하였다 [7]. 열충격 시험 조건은 N社의 열충격 사내규격을 적용하여 그림 3과 같이 저온구간 -35°C와 고온구간 80°C에서 각각 25분

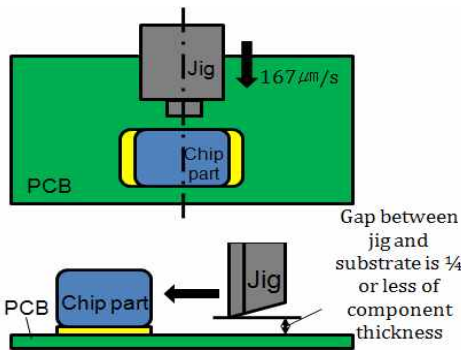


Fig. 4. Schematic diagram of shear strength test.

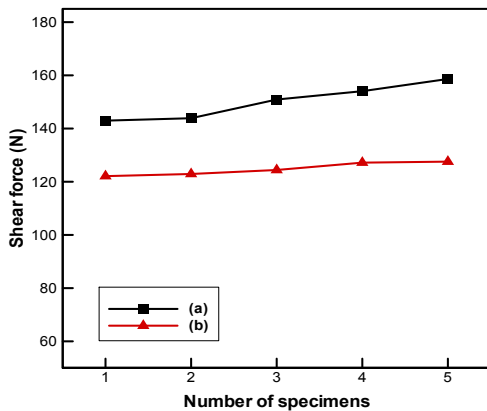


Fig. 5. Shear strength of AN chip (a) before and (b) after specimens of thermal shock test.

씩을 유지시켰으며, 램핑 (ramping) 시간은 10분으로 하였다. 열충격 싸이클의 횟수 또한 사내규격인 432 싸이클의 열충격 시험을 수행하였다.

2.3 전단강도 시험 및 표면관찰

열충격 시험에 따른 Sn-3Ag-0.5Cu계 솔더 접합부의 특성을 알아보기 위해 열충격 시험 전·후 AN Chip 5개를 동일한 조건을 주어 전단강도 값을 비교하였다. 전단강도 시험은 RHESCA 社의 PTR-1000을 사용하였으며, 시험규격은 JIS-Z-2198-7 [8]에 준한 167 μm/s로 설정하고, 지그의 높이는 30 μm의 높이가 되도록 일정하게 유지하여 실험하였다. 전단강도 시험 개략도는 그림 4에 나타내었다. 전단강도 시험을 통해 열적 특성을 수치화 하고, 파단부위의 원인을

규명하기 위해 SEM (scanning electron microscopy)과 EDS (energy dispersive x-ray spectrometer) 분석을 이용하여 파단부위의 금속학적 특성을 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열충격 시험 후 전단강도 변화

그림 5는 열충격 시험 유무에 따른 AN chip의 솔더 접합부의 기계적인 특성을 알아보기 위해 전단강도의 변동값을 나타낸 것이다.

그림 5의 그래프에서 보여지는 것과 같이 열충격 시험 전의 평균값이 150 N이고, 열충격 시험후의 평균값은 124 N으로 약 26 N정도 낮아진 수치를 확인하였다. 이는 장기 신뢰성에 큰 영향을 미치는 솔더 접합부의 열팽창 계수차에 의한 접합부 파괴, 솔더층, 금속간 화합물층의 특성이 변화하여 전단강도 값에 영향을 준 것으로 사료된다. 파단부의 위치, 솔더의 성분, 파단형태 또한 강도 값에 영향을 미칠 수 있으므로 파단부에 따른 금속학적 분석이 필요하다.

3.2 열충격 시험 후 파단면 분석

그림 6은 열충격 시험 전 EDS를 통해 AN chip의 전단시험을 실시한 파단면을 전체적으로 맵핑(mapping)하여 솔더의 정성적인 분포를 나타내었다. 그림 6 (a)Sn, (b)Ag, (c)Cu, (d)Si, (e)Al, (f)Sn, (g)Ag, (h)Si, (i)Al이 확인되었고, 그림 6 (d)Si, (e)Cu, (h)Si, (i)Al의 검출된 성분은 AN chip이 전단될 때, 솔더층에서의 파괴가 아닌 chip에서의 파괴가 일어나 검출된 것으로 분석되었으며, 그림 7은 파단면을 확대한 SEM사진을 나타내었다. 그림 7(a), (a)에서 보여지는 것과 같이 Sn이 검출된 파단면은 전형적인 솔더층 파괴 형상을 나타냈으며, Cu,Sn의 솔더가 검출된 위치는 보이드(void)가 형성된 곳으로 확인되었다. 또한 AN chip의 파괴 형상 중 가장 거칠게 파단된 부위에서는 Ag가 검출되었다.

그림 8은 열충격 시험 후 EDS를 통해 AN chip의 전단강도 시험을 실시한 파단면을 전체적으로 맵핑하여 솔더의 정성적인 분포를 나타내었다. 그림 8(a)Sn, (b)Ag, (c)Cu를 통하여 각각의 솔더 분포를 확인하였다. 솔더 성분이 검출되지 않은 부분은 전단강도를 받아 마지막 파단이 일어난 위치로써, PCB와 Cu랜드

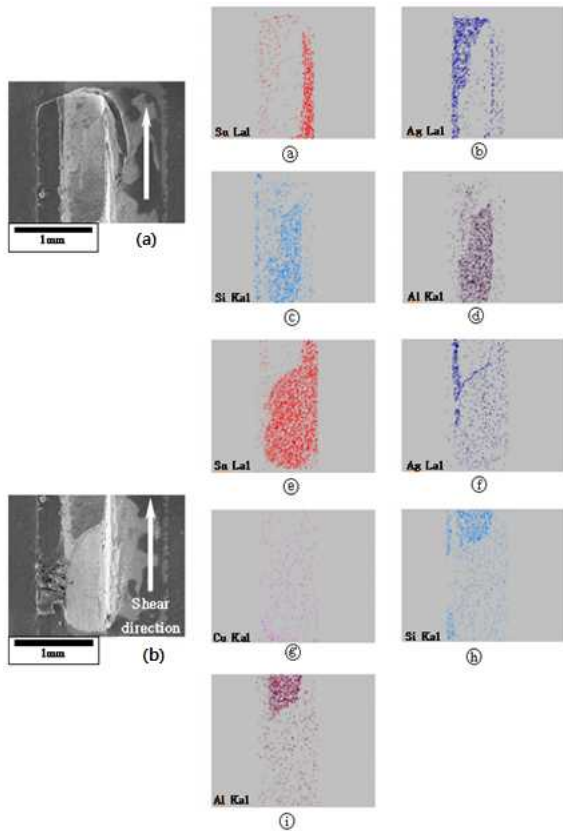


Fig. 6. EDS analysis of AN chip (before thermal shock test).

부의 박리로 인해 성분이 검출되지 않은 것으로 확인하였다. 열충격 사이클에 의해 솔더 접합부의 파괴가 아닌 기판과 Cu 랜드부의 박리 현상은 이종재료의 열팽창 계수에 의해 파괴된 것으로 사료되며, 자동차 전장 부품의 신뢰성 평가 시 솔더 접합부의 이상 유무 외에 랜드 접합부 및 모재인 이종재료간의 접합상태도 고려하여야 할 것으로 판단된다.

그림 9는 Sn이 검출된 전형적인 솔더층 파괴 형상 이외에 불규칙하게 파단이 일어난 부위를 확대하여 나타낸 것이다. 그림 9(a)에서 Sn이 검출되었고, 그림 9(b)에서 Cu가 검출됨으로서, Cu 랜드부에 가장 근접한 솔더층에서의 파단이 일어난 것으로 분석되며, Cu 랜드부가 전단 파괴에 의해 박리될 때 같이 탈락되어 나간 것으로 판단된다. 또한, 그림 9(c), (d)에서는 좌측과 우측에 나뉘어 Sn이 확인되었으며, 좌측에서의 Sn분포는 파괴가 되지 않은 솔더층이며, 우측의 Sn분포는 솔더 접합부 계면의 파단면으로 확인되었다.

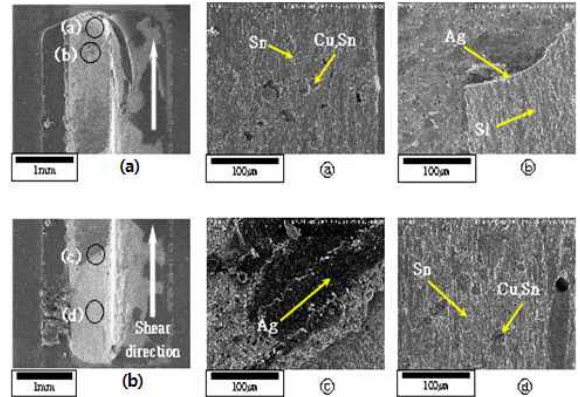


Fig. 7. SEM analysis of AN chip (before thermal shock test).

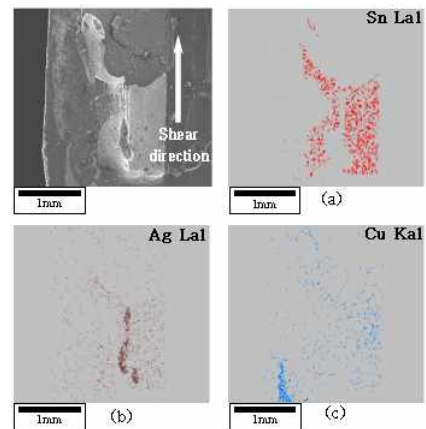


Fig. 8. EDS analysis of AN chip (after thermal shock test).

그림 9(d), (e)에서는 Ag성분이 검출되었는데, 이는 솔더층 중간부위인 필렛 (fillet)의 위치에서 파단된 것으로 확인되었다.

그림 10은 AN Chip의 솔더 접합부의 파단면을 확대하여 파단면에 따른 성분분석과 파괴형상을 나타내었다. 그림 10(a)Cu, (b)Cu·Sn, (c)Ag, (d)Sn, (e)Ag, (f)Cu·Sn, (g)Sn, (h)Sn을 확인하였다. 전단방향으로부터 파단된 계면의 성분을 분석한 결과, 그림 10(h)Sn에서부터 (e)Ag→(d)Sn→(g)Sn→(f)Cu·Sn→(c)Cu의 순으로 파단이 일어났으며, 그림 10(a), (b), (h)의 성분은 Sn으로서, 파단된 부위는 모두 dimple 형상으로 연성 파괴의 모드를 나타내었다.

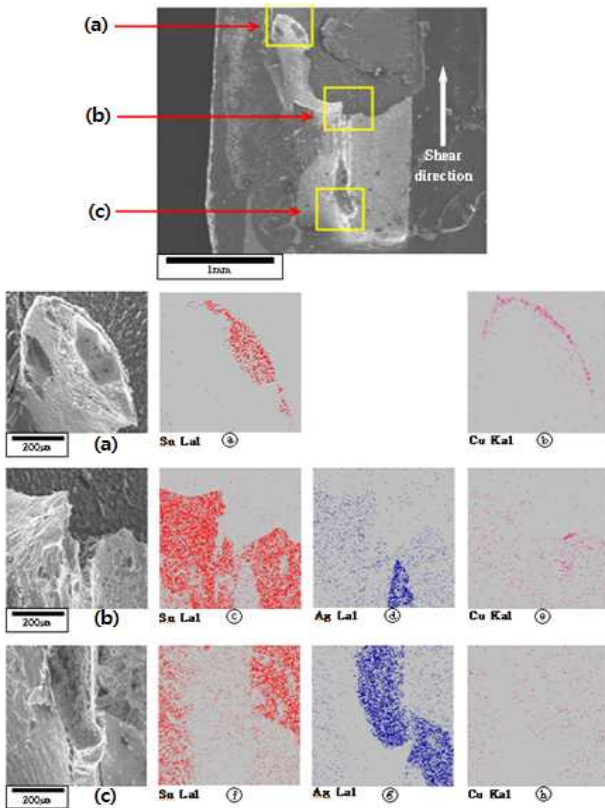


Fig. 9. EDS analysis of AN chip (after thermal shock test).

그림 10(b), (f)의 성분은 Cu, Sn이 검출되었고, 파단된 부위의 형상을 확인해 본 결과 취성파괴의 형상을 하고 있었으며, Cu, Sn의 솔더 성분이 검출된 것으로 보아 $Cu_6\cdot Sn_5$ 의 성장으로 인한 금속간 화합물층에서 파괴가 일어난 것으로 사료된다. 또한, Ag가 검출된 그림 10(c)의 부위는 chip의 측면에 닿는 필렛 부분이고, 그림 10(e)의 부위는 chip과 Cu랜드부의 솔더 접합부에서 파단된 것이다. 그 파단부위의 형상을 관찰 한 결과, 그림 10(c)인 필렛 부분의 솔더 파단면은 거칠은 형상을 나타내었고, 그림 10(e)의 Cu랜드부의 솔더 접합부에서의 파단면은 균일한 형상을 나타내고 있다. 이는 솔더 접합부의 형상이 복잡하고, 열충격 싸이클에 의해 금속간 화합물층에서의 파괴뿐만 아니라, 솔더층에서의 파괴도 동시에 일어나 다양한 파괴모드를 보여주고 있다고 판단되며, 같은 성분의 솔더가 검출되었다 하더라도 파단부위의 높이와 전단강도의 힘을 받는 각도에 따라 파괴되는 형상이 다르다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 그림 7(c)와 그림

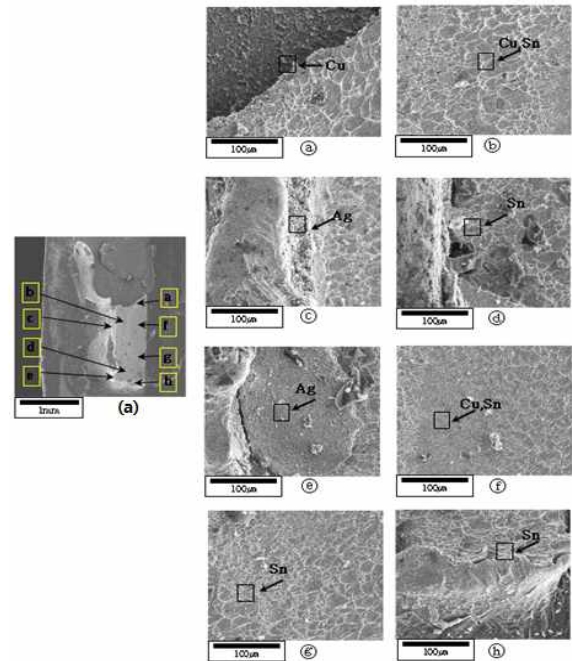


Fig. 10. EDS analysis of AN chip (after thermal shock test).

10(c)에서 Ag성분이 검출되었고, 파단부위가 가장 거칠게 나타난 것을 확인하였고, 파단된 위치를 확인해 본 결과 파단 부위가 가장 높은 곳에서 나타났으며, 솔더 접합부 계면에서의 파괴가 아닌 필렛 부분에서의 파괴형상을 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더를 이용한 자동차 전장 부품의 열충격 시험 전·후의 솔더 접합부의 파단된 부위와 형상의 특성에 대해 다음과 같은 파괴 모드를 확인할 수 있었다.

- 1) 열충격 시험 전 파괴는 전형적인 솔더층 파괴형상과 AN chip의 파괴형상을 확인하였으며, 가장 거칠게 파단된 부위는 Ag가 검출된 것을 확인하였다.
- 2) 열충격 시험 후 Cu랜드부와 PCB의 박리현상이 나타났으며, 그 부위를 제외한 대부분의 파단된 형상은 모두 dimple한 연성파괴의 형상을 확인하였다.

- 3) 열충격 시험 후 Ag층의 파단된 형상의 모습은 솔더 필렛 부분 상부에서 거칠게 떨어져나간 형상을 보였지만, 솔더 접합부의 Ag층은 깨끗하게 파단된 형상을 보여 연성파괴와 취성파괴가 동시에 복합적으로 일어난다는 것을 확인하였다.
- 4) 향후 솔더 접합부의 파단 형상에 대해 접합부의 면적 및 파단면의 위치와 파단된 솔더량의 정량적인 분석을 통하여 자동차 삽입 실장부품의 리플로우 공정 및 솔더 조성이 접합 파괴모드에 미치는 상관관계를 규명할 수 있는 지속적인 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 정부 (과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (No. R01-2007-000-20811-0).

REFERENCES

- [1] I. E. Anderson, *J. Master. Sci: Master Electron.* **18**, 55 (2007).
- [2] H. Y. Lu, *J. Master. Sci: Master Electron.* **17**, 171 (2006).
- [3] Y. E. Shin and S. J. Hwang, *J. KIEEME* **16**, 549 (2003).
- [4] W. B. Hampshire, *The Search for Leadfree Solders* (Soldering & Surface Mount Technology, MCB University Press, 1993) p. 49.
- [5] S. S. Ha, J. W. Kim, and S. B. Jung, *J. KWS* **24**, 6 (2006).
- [6] S. O. Ha, S. S. Ha, J. B. Lee, J. W. Yoon, J. H. Park, Y. C. Chu, J. H. Lee, S. J. Kim, and S. B. Jung, *J. Microelectron. Packag. Soc.* **16**, 33 (2009).
- [7] J. S. Park, I. J. Jo, and Y. E. Shin, *J. KIEEME* **22**, 199 (2009).
- [8] JIS Z 3198-7, *Translated and Published by Japanese Standards Association* (2003).