

의료전자기기 적용을 위한 그래핀 나노시트 함량에 따른 Sn58Bi 무연 솔더 접합부의 접합 특성 평가

전유재¹, 강민수² 

¹ 여주대학교 의료재활학과

² 선문대학교 스마트자동차공학부

Evaluation of the Bonding Properties of Sn58Bi Lead-Free Solder Joints According to the Content of Graphene Nanosheets for Medical Electronic Devices

Yu-Jae Jeon¹ and Min-Soo Kang²

¹ Department of Medical Rehabilitation Science, Yeosu Institute of Technology, Yeosu 12652, Korea

² Division of Smart Automotive Engineering, Sunmoon University, Asan 31460, Korea

(Received February 3, 2021; Revised February 19, 2021; Accepted February 20, 2021)

Abstract: In this study, solder joints mixed with graphene-nanosheets (GNSs) were investigated for the manufacture of highly reliable electronic devices. In order to analyze the effect of adding GNSs, experiments were performed by adding various amounts of GNSs (0.01, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5 wt%). To compare and analyze the properties of the solder joints to which GNSs were added, shear forces were measured, and cross-sectional observation was performed. The bonding strength of the solder joints containing 0.05% GNSs was the highest, and the bonding strength of the solder joints with higher GNSs contents did not increase. This is because, as the content of GNSs increases, the viscosity of the solder paste also increases; therefore, the solder paste detachability from the metal mask was lowered and a sufficient amount was not applied. In addition, due to the high content of GNSs, the fluidity of solder powder and paste decreased, resulting in defects in the shape of the solder joint. Therefore, the optimal GNSs content in this study was 0.05%, and studies for optimal viscosity should be continued.

Keywords: Lead-free solder, Electronics, Solder joints, Graphene nanosheets (GNSs), Reliability, Bonding characteristic

1. 서론

최근 반도체 및 전자패키징 기술 발전은 다양한 분야에서 전자기기 사용을 높이고 있다 [1]. 특히, 의료용 임플란트 및 항공 우주 및 통신과 같은 분야의 전자기기들은

수년, 수십 년 동안 신뢰성을 유지해야 한다 [2]. 의료분야의 전자, 제조공학의 트렌드는 휴대성, 소형화, 연경성, 인간공학, 보안 및 신뢰성으로 다양한 전자 디바이스 및 센서 간의 고신뢰성을 바탕으로 한 네트워킹이 핵심이다 [3]. 따라서 고신뢰성의 의료전자기기를 위해서는 기존의 반도체 산업에서 사용하던 접합 프로세스 및 제조공정에 있어서 한 단계 높은 수준의 소재 및 공정 개발로 의료용 전자기기의 신뢰성 확보를 위한 연구가 지속적으로 수행되어야 한다. 최근 친환경 소재 사용에 대한 환경규제 법안 및 유해물질 제한 지침(restriction of hazardous

✉ Min-Soo Kang; kang10101@sunmoon.ac.kr

Copyright ©2021 KIEEME. All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

substances directive, RoHS) 또한 산업적용 범위가 보다 넓어지고 있다. 특히 일반 가전을 비롯하여 노트북, 휴대전화 등의 전자모듈 제조에 적용되는 무연 솔더(Pb-free solder)는 Sn-Ag계를 중심으로 Sn-Cu계, Sn-Bi계 등에 제3의 원소 혹은 제4의 원소를 미량 첨가하는 연구들이 많이 진행되어 왔다 [4-7]. 최근 기존의 금속원소를 첨가하여 무연 솔더의 기계적·화학적 특성을 향상시키는 연구뿐만 아니라, 다양한 소재의 첨가물을 활용하여 무연 솔더 접합부의 접합 특성을 향상시키고 접합부 신뢰성을 확보하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다 [8-10]. 최근에 주목받고 있는 탄소나노튜브(CNT)는 기계적 성질이 우수하여 폴리머, 금속 및 세라믹에 다양하게 혼합되어 기존 소재의 특성을 강화하는 효과가 있다 [11,12]. 검증된 강화 효과를 통해 솔더 페이스트에 적용하기 위한 연구들이 진행되었으며, CNT 함유된 솔더 페이스트로 솔더 접합부를 형성하면 솔더 조직의 조밀화를 통해 기계적/전기적 효과가 향상되는 것이 확인되었다 [11-13]. 또한 솔더 접합부에 혼합된 탄소나노튜브(CNT) 및 그래핀 나노시트(GNSs)는 솔더 내부에서 Sn-Cu의 고상 확산 경로를 억제하여 금속간화합물의 성장을 억제하는 효과가 있는 것으로 확인되었다. 그러나 이러한 다양한 첨가물의 효과를 정량적으로 비교 분석하기 위해서는 첨가물의 함량에 따른 다양한 기계적/전기적 특성을 정량적으로 분석하고 최적화해야 할 필요성이 있다.

따라서 본 연구에서는 42Sn58Bi(Sn58Bi)솔더 페이스트에 그래핀 나노시트(graphene-nanosheets, GNSs)를 혼합하여 복합재료 솔더 페이스트를 합성하고, 혼합된 GNSs의 함량에 따른 접합 특성 변화를 비교 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험 시편 및 재료

GNSs의 함량에 따른 무연 솔더 접합부의 접합 특성을 평가하기 위해 그림 1(a)와 같이 R3216 규격 resistor chip을 사용하여 시편을 제작하였다. R3216 chip은 길이 3.2 mm, 너비 1.6 mm, 높이 0.55 mm 크기의 일반적인 저항 기능을 갖는 chip으로 내부에 저항 구조를 가지고 있으며, 외부에 covering layer와 outside termination (Ag layer & Ni-barrier)이 도금된 형상을 하고 있다. 준비된 R3216 chip을 PCB에 접합하기 위해 그림 1(b)와 같이 PCB 위에 Cu substrate를 구성하였으며, OSP (organic solderability preservative) 마감처리 하여

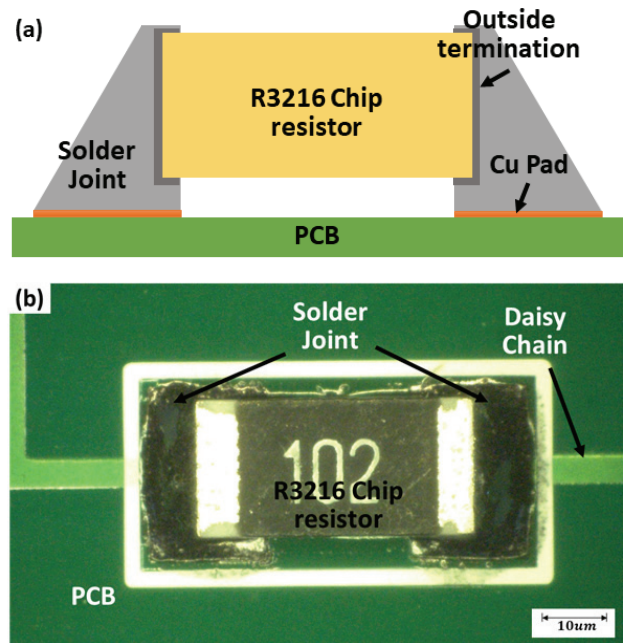


Fig. 1. (a) Schematic diagram of specimen structure and (b) specimen shape.

PCB를 준비하여 접합공정을 수행하여 시편을 제작하였다. GNSs가 함유된 복합소재 접합재료를 합성하기 위해 Sn58Bi 솔더 페이스트와 GNSs를 혼합하여 복합소재 접합재료를 합성하였다. 사용된 솔더 페이스트는 TAMURA사의 TLF-401-11 Sn58Bi 솔더 페이스트로 솔더 입자 크기는 T5 (10~25 um)이다. 혼합된 GNSs는 XGscience사의 M15 grapheneplate로 GNSs의 사이즈는 두께 6~8 nm, 직경은 15 um이다. 이러한 상용 GNSs는 입자 가장자리에 에테르, 카르복시기, 히드록시기와 같은 작용기를 가지고 있기 때문에, 혼합 시 다른 화합물을 형성할 수 있으며, 솔더 내부에 잘 융합될 수 있다. 솔더 접합부에 혼합된 GNSs의 효과를 분석하기 위해 솔더 페이스트와 GNSs를 wt% 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5%의 비중으로 혼합하여 기계적 교반기를 이용하여 10시간 동안 교반하여 혼합의 균질성을 확보하였으며, 다양한 함량의 GNSs가 포함된 솔더 페이스트를 합성하였다.

2.2 접합 특성 평가

접합공정을 수행하기 위해 전극 단자의 형상과 동일하게 가공된 메탈 마스크를 PCB 위에 정렬하고 스쿼지 방식을 통해 GNSs-솔더 페이스트를 전극 단자에 도포하였다.

도포된 GNSs-솔더 페이스트 위에 R3216 chip을 실장하고 접합 장비를 이용하여 온도프로파일에 따라 접합공정을 수행하였다. 상용 Sn58Bi 솔더 및 GNSs-솔더 페이스트의 용점은 큰 차이가 나타나지 않기 때문에 상온에서 시작하여 전처리 구간을 포함한 솔더의 용점보다 10~20°C 높은 온도에서 접합 후 냉각과정을 따르는 기본 온도 프로파일에 따라 접합 공정을 수행하였다. 이러한 이유는 용점에 따라 금속의 솔더가 용융되어 접합 메커니즘이 진행되며, 혼합된 GNSs는 용융되지 않는 비활성 입자이기 때문에 온도 프로파일 변화에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단하여, 동일한 온도 프로파일에서 접합 공정을 수행하였다 [14,15]. 솔더 접합부의 접합 특성은 전단력을 측정하여 외력에 대한 저항성을 비교 분석하였다. 전단력 측정은 PTR-1000 (RHESCA사) 전단시험기를 사용하여 JIS Z 3198-7의 시험규격에 따라 실험 시편의 1/4 높이 이하 (150 μm)에서 10 mm/s의 속도에서 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 GNSs 함유량에 따른 무연 솔더 접합부의 특성 평가

무연 솔더 내부에 함유된 GNSs의 효과를 분석하기 위해 전단력을 측정하여 그림 2에 나타내었다. 전단력의 크기 변화를 분석한 결과, GNSs가 함유된 솔더는 GNSs의 함유량의 증가에 따라 전단력이 높아지는 것으로 나타났으며, GNSs의 함유율이 0.05 wt%에서 최대 전단력 65.14 N이 측정되었지만 GNSs의 함유량이 0.05 wt%를 초과할 경우 전단력이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. GNSs가 함유되지 않은 Sn58Bi 상용 솔더 접합부의 전단력은 51.35 N으로 나타났다. 이는 GNSs가 함유되지 않은 솔더 접합부의 전단력보다 GNSs가 함유된 솔더 접합부에서 전단력이 26.8% 정도 향상되었음을 알 수 있다. GNSs의 함량이 0.1 wt% 이상의 솔더 접합부에서는 GNSs 0.05 wt%의 솔더 접합부보다 전단력이 낮아지기 시작했으며, 0.5 wt%의 GNSs가 함유된 솔더 접합부는 51.07 N으로 측정되어 초기의 GNSs가 함유되지 않은 솔더 접합부의 전단력과 큰 차이가 없음을 확인하였다. 이러한 결과를 비교 분석하기 위해 그림 3의 GNSs 함량에 따른 솔더 접합부의 미세 조직 변화를 고찰하였다. 그 결과, 솔더 접합부의 미세조직은 GNSs의 함량이 높아질수록 조밀화되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 조밀화된 조직은 솔더 내부의 금속 조직 간의 접촉면은 증가시키고, 증가된

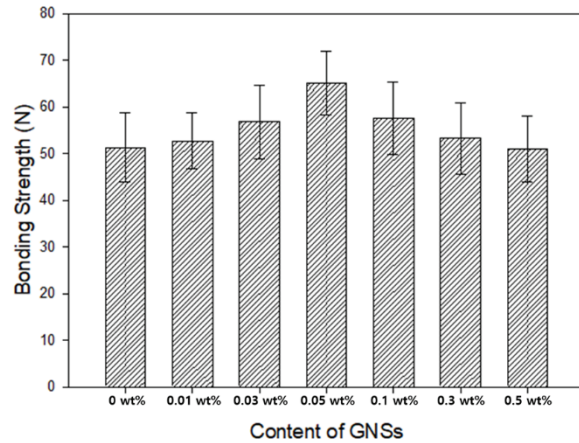


Fig. 2. Bonding strength of solder joints according to the content of GNSs.

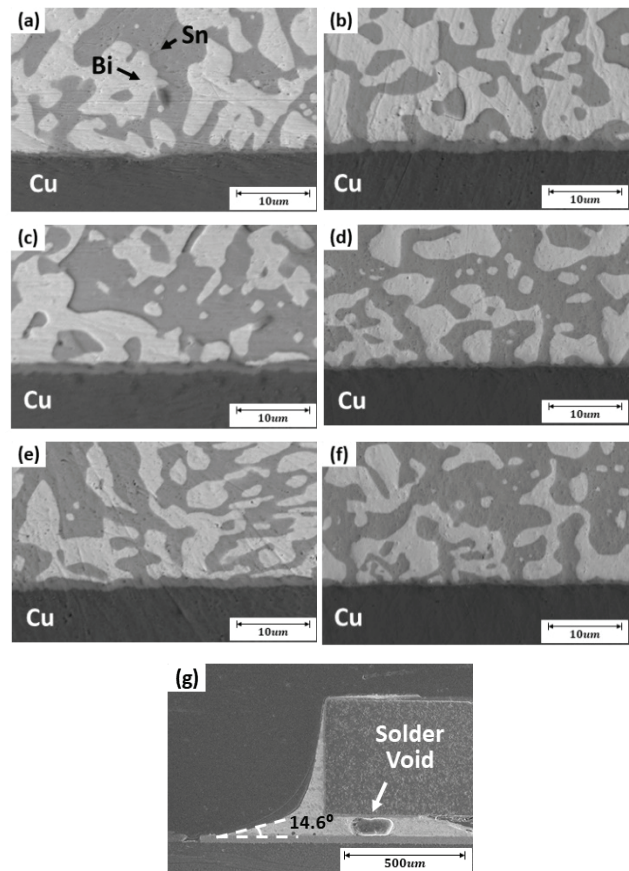


Fig. 3. Microstructure of solder joints according to the content of GNSs (a) 0 wt%, (b) 0.01 wt%, (c) 0.03 wt%, (d) 0.05 wt%, (e) 0.1 wt%, (f) 0.3 wt%, and (g) 0.5 wt%.

접촉 계면은 외력에 따른 전위의 이동을 억제한다. 이를 통해 솔더 자체의 인장강도 및 인성의 기계적 특성을 향상시킬 수 있다 [16]. 이러한 솔더 미세조직의 변화는 응력 메커니즘으로 이어지며, 외력에 대한 저항성이 높아지는 것을 확인할 수 있다 [17,18]. 일반적으로 솔더 조직에 GNSs와 같은 첨가물이 추가될 경우, 솔더의 자체적 연신율과 인장강도가 올라가는 것으로 보고되고 있다. 이러한 연구 결과와 같이 본 연구에서 GNSs-솔더 접합부 내부의 GNSs와 솔더 입자의 결합 효과에 의해 솔더 조직이 미세화되고 강화되는 것을 알 수 있다 [19,20]. 그러나 GNSs의 함량이 0.05%를 초과할 경우, 솔더 접합부 전단력은 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 GNSs의 재결합 효과에 기인한 것으로 분석할 수 있다. 솔더 내부의 과도한 GNSs의 함량으로 일부 GNSs는 솔더 조직을 미세화하고, 일부의 GNSs는 반 데르 발스 힘으로 인해 단층의 GNSs가 서로 재결합하여, 다층의 GNSs를 구성하게 된다. 이러한 다층의 GNSs는 솔더 접합부 내부에서 GNSs 계면의 미끄러짐 현상을 유발하고, 기계적 특성을 저하시킬 수 있다 [21,22]. 이러한 솔더 접합부의 GNSs의 함량에 따른 전단력 저하를 고찰하기 위해 접합부의 단면 형상을 비교 분석하였다.

3.2 GNSs 함유량에 따른 무연 솔더 접합부의 형상 평가

GNSs 함량에 따른 솔더 접합부의 형상을 비교 분석하기 위해 그림 4에 나타내었다. GNSs의 함량이 0 wt%인 기존의 Sn58Bi 상용 솔더 접합부의 경우 접촉각이 68.6°로 측정되었다. 솔더 접합부 내부의 GNSs의 함량이 증가할수록 접촉각은 감소하였으며, 0.3 wt%의 GNSs가 포함된 솔더 접합부의 접촉각은 21.0°, 0.5 wt%의 GNSs가 포함된 솔더 접합부는 14.6°로 가장 낮게 나타났다. 이러한 원인은 솔더 접합부의 접합공정에 기인한 것으로 판단할 수 있다. 솔더 페이스트의 중요한 물성 중 하나는 점성이다. 솔더 페이스트가 스크린 프린팅 공정을 통해 메탈 마스크를 통과할 수 있을 만큼 점성이 낮아야 한다. 그러나 GNSs의 함량이 높아질수록 솔더 페이스트의 점성이 높아지며, 메탈 마스크의 빠짐성이 낮아져 충분한 양이 도포되지 못한 것으로 판단할 수 있다. 접합공정에서 솔더 페이스트가 충분히 도포되지 못한 상태에서 솔더 접합공정이 진행된다면, 그림 4(g)와 같이 PCB의 Cu pad와 솔더 접합부의 접촉각이 낮아지며, 솔더 접합부의 형성이 온전하게 이루어지지 않은 것을 확인할 수 있다. 또한 상대적

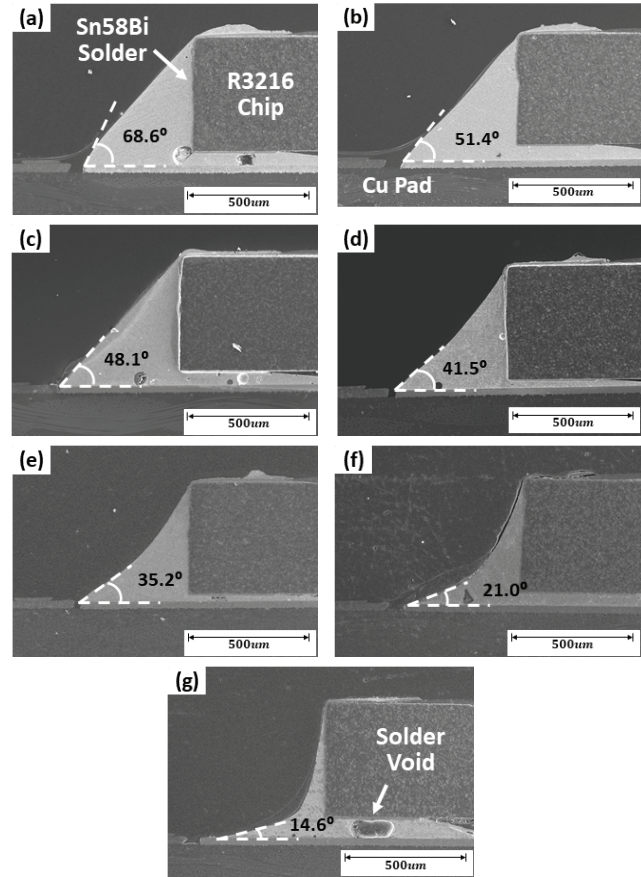


Fig. 4. Cross-sectional image according to the content of GNSs (a) 0 wt%, (b) 0.01 wt%, (c) 0.03 wt%, (d) 0.05 wt%, (e) 0.1 wt%, (f) 0.3 wt%, and (g) 0.5 wt%.

으로 점성이 낮았던 0 wt%의 GNSs가 함유된 솔더 접합부의 경우, 솔더의 젖음 현상을 통해 솔더가 chip의 상단까지 형성된 것을 확인할 수 있다. 그러나 GNSs의 함량이 높은 0.5 wt%의 솔더 접합부의 경우, GNSs에 의해 솔더 파우더의 결합과 유동, 젖음 특성이 저하되어 chip 상단까지 솔더 접합부가 형성되지 못한 것을 확인할 수 있다. 이러한 솔더 접합부의 형상으로 인해 외력에 취약해지며 솔더 접합부의 전단력에 영향을 미친 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 고신뢰성 솔더 접합부를 개발하여 의료 전자기기에 적용하기 위한 연구를 수행하였다. 고신뢰성 솔더 접합부를 형성하기 위해 Sn58Bi 솔더 페이스트에 GNSs를 혼합한 GNSs-Sn58Bi 솔더 접합부의 접합특성

에 대해 비교 분석하였다. 솔더 접합부에 첨가된 GNSs의 효과를 비교 검증하기 위해 다양한 함량의 GNSs를 혼합하여 솔더 페이스트를 제조하였다. 그 결과, 솔더 접합부의 전단력은 GNSs의 함량이 증가할수록 높아졌으나, 0.05 wt%의 GNSs가 함유된 솔더 접합부에서 최대의 전단력을 보였고, 0.05 wt%를 초과하여 함유된 솔더 접합부의 전단력은 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 원인으로는 GNSs의 함량이 솔더 조직의 미세화와 솔더 조직 간의 접촉면을 증가시켜 외력에 따른 전위의 이동을 억제함으로써 솔더 자체의 기계적 물성을 강화하는 것으로 판단할 수 있다. 그러나 GNSs의 함량이 0.05 wt%를 초과하여 높아질수록 솔더 페이스트의 점성 증가로 접합 공정 시 메탈 마스크의 솔더 페이스트 빠짐성이 저하되어 접합 공정에서 솔더 페이스트의 양이 충분히 도포되지 못한 것에 따라 전단력이 낮아지는 것으로 판단할 수 있다. 또한 GNSs의 높은 함량에 따라 솔더 파우더 및 페이스트의 유동성이 저하되어 솔더 접합부의 형상에 불량이 발생하는 것으로 판단할 수 있다. 본 연구를 통해 확보된 GNSs의 함량에 따른 솔더 접합부의 접합 특성에 대한 연구를 바탕으로 GNSs가 함유된 솔더 페이스트의 점성을 조절하고 최적의 조건을 도출하여 고신뢰성 솔더 접합부를 개발하는데 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

ORCID

MinSoo Kang

<https://orcid.org/0000-0001-8310-7708>

REFERENCES

- [1] T. Y. Park, J. C. Park, and H. U. Oh, *Int. J. Fatigue*, **114**, 206, (2018). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2018.05.012>]
- [2] V. Venkatadri, L. Yin, Y. Xing, E. Cotts, K. Srihari, and P. Borgesen, *Proc. 2009 59th Electronic Components and Technology Conference* (IEEE, San Diego, USA, 2009). [DOI: <https://doi.org/10.1109/ECTC.2009.5074045>]
- [3] P. Wu, *Proc. SENSORS, 2010 IEEE* (IEEE, Waikoloa, USA, 2010) p. 1187. [DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2010.5690645>]
- [4] J. H. Bang, D. Y. Yu, Y. H. Ko, J. W. Yoon, and C. W. Lee, *J. Weld. Joining*, **34**, 26 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.5781/JWJ.2016.34.1.26>]
- [5] A. Y. Kim, C. M. Oh, and W. S. Hong, *J. Weld. Joining*, **33**, 25 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.5781/JWJ.2015.33.3.25>]
- [6] Y. J. Jeon, D. S. Kim, and Y. E. Shin, *Trans. Korean Soc. Auto. Eng.*, **19**, 90 (2011).
- [7] S. W. Jung, M. S. Kang, Y. J. Jeon, D. S. Kim, and Y. E. Shin, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **29**, 152 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2016.29.3.152>]
- [8] M. N. Ervina Efzan and I. Siti Norfarhani, *Trans. Electr. Electron. Mater.*, **16**, 112 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.4313/TEEM.2015.16.3.112>]
- [9] M. S. Kang, D. S. Kim, and Y. E. Shin, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **32**, 6 (2019). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2019.32.1.6>]
- [10] B. S. Yim, J. I. Lee, and J. M. Kim, *J. Weld. Joining*, **35**, 15 (2017). [DOI: <https://doi.org/10.5781/JWJ.2017.35.3.3>]
- [11] J. Bernholc, D. Brenner, M. Buongiorno Nardelli, V. Meunier, and C. Roland, *Annu. Rev. Mater. Res.*, **32**, 347, (2002). [DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.matsci.32.112601.134925>]
- [12] S. Xu, Y. C. Chan, K. Zhang, and K. C. Yung, *J. Alloys Compd.*, **595**, 92 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.01.083>]
- [13] S.M.L. Nai, J. Wei, and M. Gupta, *J. Electron. Mater.*, **35**, 1518 (2006). [DOI: <https://doi.org/10.1007/s11664-006-0142-9>]
- [14] L. Xu, X. Chen, H. Jing, L. Wang, J. Wei, and Y. Han, *Mater. Sci. Eng., A*, **667**, 87 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.04.084>]
- [15] K. N. Tu and K. Zeng, *Mater. Sci. Eng., R*, **34**, 1 (2001). [DOI: [https://doi.org/10.1016/S0927-796X\(01\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0927-796X(01)00029-8)]
- [16] J. Shen, Y. Pu, H. Yin, D. Luo, and J. Chen, *J. Alloys Compd.*, **614**, 63 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.06.015>]
- [17] S. Y. Fu, X. Q. Feng, B. Lauke, and Y. W. Mai, *Composites Part B*, **39**, 933 (2008). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2008.01.002>]
- [18] M. A. Rafiee, J. Rafiee, Z. Wang, H. Song, Z. Z. Yu, and N. Koratkar, *ACS Nano*, **3**, 3884 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1021/nn9010472>]
- [19] X. Hu, Y. C. Chan, K. Zhang, and K. C. Yung, *J. Alloys Compd.*, **580**, 162 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.05.124>]
- [20] A. A. El-Daly and A. E. Hammad, *Mater. Des.*, **40**, 292 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.04.007>]
- [21] X. D. Liu, Y. D. Han, H. Y. Jing, J. Wei, and L. Y. Xu, *Mater. Sci. Eng., A*, **562**, 25 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.10.079>]
- [22] D. Ma and P. Wu, *J. Alloys Compd.*, **671**, 127 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.02.093>]