

반도체 패키징용 금-코팅된 은 와이어의 부식특성

홍원식^{1,†} · 김미송¹ · 김상엽² · 전성민² · 문정탁² · 김영식³

¹한국전자기술연구원 융복합전자소재연구센터, 경기도 성남시 새나리로 25

²엠펜이전자(주) 기술연구소 재료개발팀, 경기도 용인시 금어로 405

³국립안동대학교 신소재공학부, 경상북도 안동시 경동로 1375

(2021년 9월 30일 접수, 2021년 10월 14일 수정, 2021년 10월 15일 채택)

Corrosion Characteristics of Gold-Coated Silver Wire for Semiconductor Packaging

Won Sik Hong^{1,†}, Mi-Song Kim¹, Sang Yeop Kim², Sung Min Jeon²,
Jeong Tak Moon², and Youngsik Kim³

¹Electronic Convergence Materials & Device Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Seongnam, 13509, Korea

²Material Development Team, R&D Center, MK ELECTRON CO.,LTD., Yongin, 17030, Korea

³School of Materials Science and Engineering, Andong National University, Andong-si, 36729, Korea

(Received September 30, 2021; Revised October 14, 2021; Accepted October 15, 2021)

In this study, after measuring polarization characteristics of 97.3 wt% Ag, Au-Coated 97.3 wt% Ag (ACA) and 100 wt% Au wires in 1 wt% H₂SO₄ and 1 wt% HCl electrolytes at 25 °C, corrosion rate and corrosion characteristics were comparatively analyzed. Comparing corrosion potential (E_{CORR}) values in sulfuric acid solution, ACA wire had more than six times higher E_{CORR} value than Au wire. Thus, it seems possible to use a broad applied voltage range of bonding wire for semiconductor packaging which ACA wire could be substituted for the Au wire. However, since the E_{CORR} value of ACA wire was three times lower than that of the Au wire in a hydrochloric acid solution, it was judged that the use range of the applied voltage and current of the bonding wire should be considered. In hydrochloric acid solution, 97.3 wt% Ag wire showed the highest corrosion rate, while ACA and Au showed similar corrosion rates. Additionally, in the case of sulfuric acid solution, all three types showed lower corrosion rates than those under the hydrochloric acid solution environment. The corrosion rate was higher in the order of 97.3 wt% Ag > ACA > 100 wt% Au wires.

Keywords: Semiconductor Packaging, Corrosion, Bonding wire, Au-Coated Ag wire (ACA), Au wire

1. 서론

반도체 패키징(Semiconductor packaging) 공정에는 소자(Die 또는 Device), 기판(Substrate), 리드 프레임(Lead frame), 솔더 또는 접착제(Solder 또는 adhesive), 본딩 와이어(Bonding wire), 에폭시 몰딩 소재(Epoxy molding compound, EMC) 등 다양한 소재를 사용하여 접합과정 및 패키징 공정을 통해 반도체 패키지가 제조된다. 이 공정 중 반도체 패키징용 소자(Device)의 전기적 신호 전달을 위해 사용되는 미세 와이어는 금(Gold, Au), 은

(Silver, Ag), 구리(Copper, Cu), 팔라듐 코팅된 구리(Pd-coated Cu), 팔라듐 도핑된 구리(Pd-doped Cu), 금 코팅된 구리(Au-coated Cu) 등을 사용하여 제작 된다 [1]. Au 와이어는 내부식성뿐만 아니라 약 216 MPa (H_v)의 낮은 경도 특성으로 와이어 본딩 공정성과 Al 패드와의 접합부에 금속간화합물(Intermetallic compound, IMC)을 빠르게 형성하여 접합 특성이 우수한 장점이 있지만, 높은 원자재 가격으로 인해 대체 소재의 본딩 와이어 개발 및 패키징 공정 적용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중 Au 와이어는 급격한 가격 상승으로 Cu, Ag 등 동등성능이며 저가격 대체 와이어 소재 수요가 급증하고 있다. 이러한 관점에서 Au 와이어와 전기전도도 및 열전도도가 유사하고, 내부식성이 우수한 Ag 와

[†]Corresponding author: wshong@keti.re.kr

홍원식: 수석연구원, 김미송: 연구원, 김상엽: 책임, 전성민: 선임, 문정탁: 상무, 김영식: 교수

이어의 적용방안이 연구되고 있다 [1-5]. 반도체 패키징용 본딩 와이어 소재로 적용하기 위해 Cu 소재는 강도가 너무 높고, Ag 소재는 고습신뢰성에 취약한 문제로 인해 메모리 반도체, 카메라모듈, LED 등의 소자 적용에 한계가 있다. Cu 및 Ag 와이어 적용 시 본딩 공정 중 산화방지를 위한 추가 공정조건이 별도로 요구된다. 따라서 Ag 소재의 고인성 특성을 유지하며 고습 신뢰성에 대응 가능하고, 공정 중 대기 분위기에서 초음파 접합이 가능한 금속 코팅 특수 와이어 개발이 요구되고 있다 [1-9].

따라서 본 연구에서는 기존에 사용하던 반도체 패키징용 100wt% Au 와이어를 대체하기 위한 97.3 wt% Ag 와이어 및 Au-Coated 97.3 wt% Ag (ACA) 와이어의 전기화학적 분극특성을 25 °C, 1 wt% 황산(H₂SO₄) 용액과 1 wt% 염산 (HCl) 용액에서 비교 하였으며, 각각의 와이어에 대한 부식특성 및 부식속도를 비교분석 하였다.

2. 연구방법

2.1 분극특성 측정용 본딩 와이어

분극특성에 사용된 본딩 와이어의 종류는 다음 Table 1에 나타내었다. Ag 와이어 모재의 순도는 97.3 wt%를 사용하였으며, Au는 100 wt% 순도의 와이어를 사용하였다. 사용된 모든 와이어의 직경은 20 μm 이었다.

3종 와이어의 분극특성 측정을 위해 Fig. 1과 같은 절차에 따라 작업전극(Working Electrode)을 제작하였다. Working Electrode용 구리 동선을 절단하여 피복을 제거 (Fig. 1a) 한 후 일정 길이로 절단된 와이어 시편(Fig. 1b)을 통전이 가능한 탄소 테이프(Carbon Tape)에 부착

(Fig. 1c)하였다. 탄소 테이프에 부착한 시편과 구리 동선을 연결(Fig. 1d,e) 한 후, 시험시편 외에 구리선이 노출되는 부분은 내산화용 에폭시(Epoxy : 8265S model, J-B Weld Co. Ltd., USA)를 사용하여 절연 도포(Fig. 1f) 하였다.

Table 1. Chemical composition and diameter of bonding wires

Bonding Wires	Chemical Composition	Wire Diameter
Ag Wire	97.3 wt% Ag	20 μm
Au-Coated Ag Wire (ACA)	100 wt% Au-Coated 97.3 wt% Ag	
Au Wire	100 wt% Au	

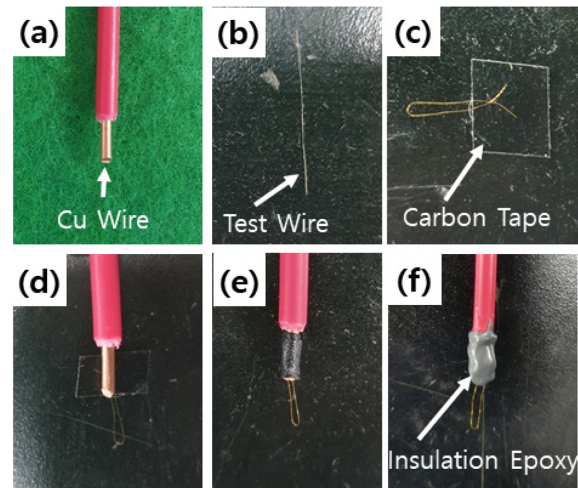


Fig. 1. Photographs of working electrode preparation procedures for polarization test

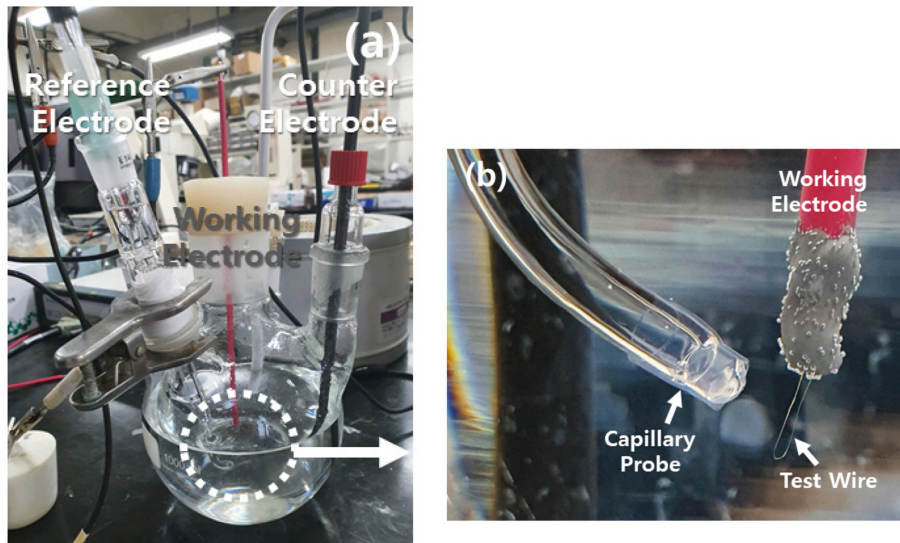


Fig. 2. Photographs of (a) polarization test cell and (b) magnified view of test wire and reference electrode

2.2 본딩 와이어의 분극곡선 측정

3종의 본딩 와이어에 대한 부식속도 및 분극특성 비교를 위해 다음과 같이 분극시험(Polarization Test)을 진행하였다. 분극곡선 측정은 25 °C, pH = 0.08, 1 wt% 황산(H₂SO₄) 용액과 1 wt% 염산(HCl) 용액에서 측정하였다. Fig. 2a는 분극곡선 측정을 위한 분극 셀 구성 사진이며, Fig. 2b는 시험용 와이어와 캐필러리 프로브(Capillary Probe) 셋업 사진이다. 시험에 사용된 용액(Electrolyte)은 질소(N₂)가스를 사용하여 200 mL/min, 30 min 간 탈기하여 사용하였다. 분극시험에는 정전위계(Potentiostat, Interface 1000, Germany)를 사용하여 1 / mV/s 속도로 시편에 정전압을 인가하였다. 이때 기준전극(Reference Electrode)은 은/염화은(Ag/AgCl) 전극을 사용하였고, 상대전극(Counter Electrode)은 고풍도 흑연 봉(Graphite Rod)을 사용하였다 [10-12].

3. 연구결과 및 고찰

3.1 본딩 와이어 단면분석 결과

분극특성 측정에 사용된 3종의 본딩 와이어 소재의 단면분석 및 FIB 이온밀링(Ion Milling) 분석 결과를 다음 사진(Fig. 3)에 나타내었다. 와이어의 종단면은 Fig. 3a, Fig. 3d 그리고 Fig. 3g에 나타내었으며, 횡단면은 Fig. 3b, Fig. 3e 및 Fig. 3h에 나타내었다. 와이어의 직경은 모든 시편에서 20 ± 0.1 μm로 균일한 진구도를 유지한 단면을 형성하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 ACA 와이어의 경우에는 표면에 Au 도금 층이 매우 균일하게 형성된 것을 확인할 수 있었다. Au 도금은 전해도금을 공정으로 약 0.26-0.3 μm 도금된 것을 확인하였다.

Fig. 3c, Fig. 3f 및 Fig. 3i는 와이어 단면을 집중 이

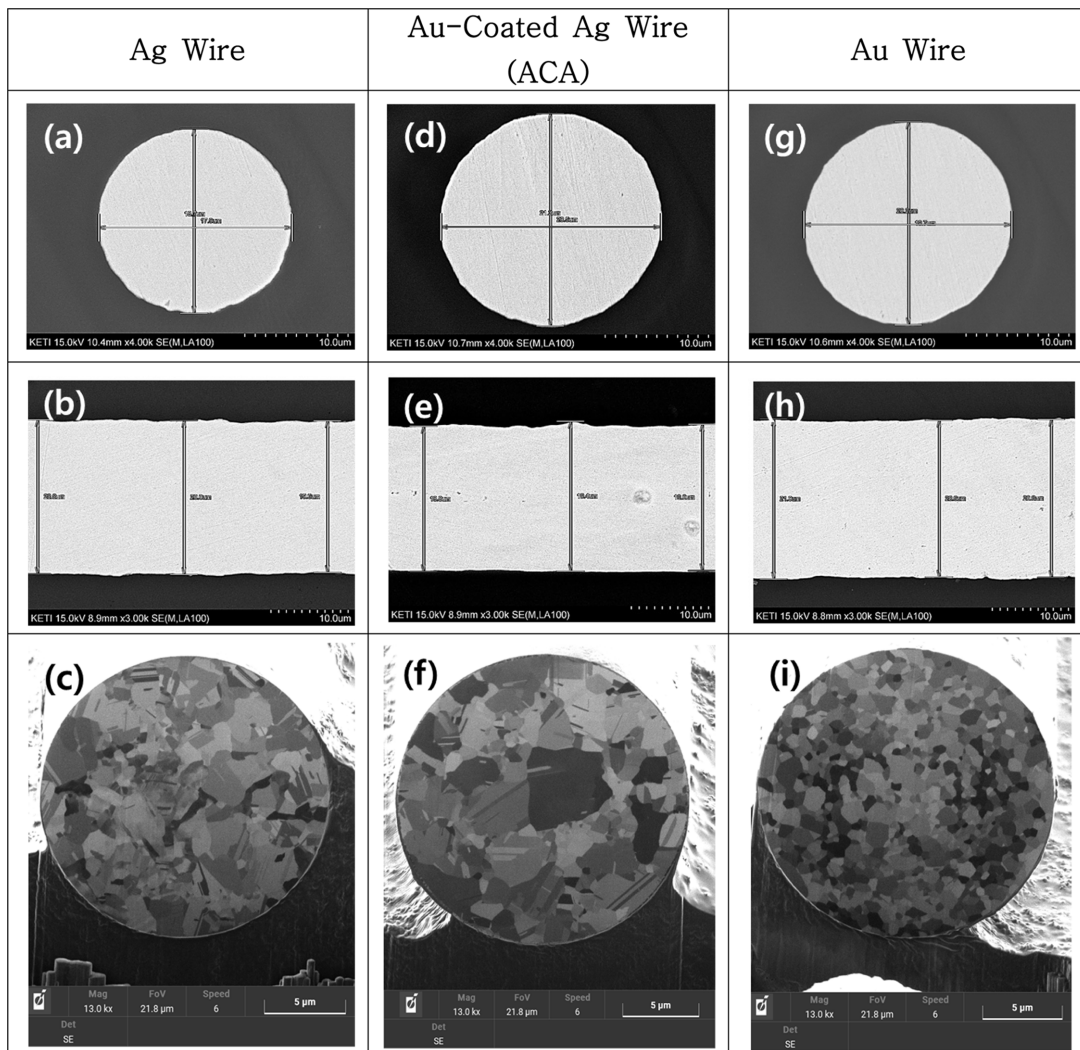


Fig. 3. Cross-sectional SEM and FIB micrographs of various bonding wires: (a-c) Ag wire, (d-f) ACA wire and (g-i) Au wire

온 빔(Focused Ion Beam, FIB) 장비를 이용하여 이온 밀링(Ion Milling) 후 단면 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM) 사진이다. 현재 반도체 패키징용 본딩 와이어로 사용되고 있는 Au 와이어의 단면은 입자(Grain) 크기가 가장 작으며, 그 다음으로 Ag 와이어, ACA 와이어 순으로 입자 크기가 증가하고 있는 것을 알 수 있다. Grain 형상은 3종 모두 등축정(Equiaxed) grain을 형성하고 있으며, Au 와이어는 ACA 와이어에 비해 입계(Grainboundary) 밀도가 큰 것을 알 수 있었다. 또한 모재가 97.3 wt% Ag 와이어를 사용하고 있는 Ag와 ACA 와이어의 경우, 순수한 Ag 와이어에 비해 Au 도금된 ACA 와이어 모재의 grain size가 증가된 것을 알 수 있다. 이것은 와이어 도금 공정이 추가됨에 따라 와이어 소재의 grain이 증가된 것으로 사료된다.

3.2 본딩 와이어의 분극곡선 측정결과

Fig. 4는 25 °C, pH=0.08의 1 wt% H₂SO₄ 용액에서 측정된 Ag, ACA 그리고 Au 와이어의 분극곡선 측정 결과이다. 이 결과로부터 3종 와이어의 부식전위(E_{CORR})와 부식전류밀도(i_{CORR}) 값을 비교한 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 97.3 wt% Ag, ACA 및 100 wt% Au 와이어의 E_{CORR} 값은 각각 37, 132 및 27 mV (SCE) 였으며, 이때의 i_{CORR} 값은 각각 1.55 × 10⁻¹⁰, 1.83 × 10⁻¹⁰ 그리고 1.10 × 10⁻¹⁰ A/cm² 으로 측정되었다. 황산용액 내에서는 Ag와 Au의 E_{CORR}과 i_{CORR}은 유사한 수준으로 나타났으며, ACA는 높은 E_{CORR} 값을 나타내었다. 또한 i_{CORR} 값으로 비교하면, 97.3 wt% Ag 보다 ACA 낮았으며, 100 wt% Au 보다는 다소 높게 나타났다. 이것으로 보아, 황산용액 분위기에서는 ACA 와이어의 부식특성은 Au 보다는 다소 낮으나, Ag 와이어 보다 우수한 것으로 판단된다. 또한 E_{CORR} 를 비교하면 Au 보다 ACA가 높은 부식전위를 나타내, 반도체 패키징용 본딩 와이어로 사용할 경우, 패키지 부분 내부에서 사용되는 인가전압 범위를 넓은 범위에서 사용 가능할 것으로 보인다.

Fig. 5는 3종의 동일한 Ag, ACA 그리고 Au 와이어에 대해 25 °C, pH=0.08의 1 wt% HCl 용액에서 측정된 분극특성 측정 결과이다. 앞선 황산용액 내에서 실험결과와는 다소 다른 경향을 나타내었다. 97.3 wt% Ag, ACA 및 100 wt% Au 와이어의 E_{CORR} 값은 각각 -258.8, -50.1 및 184.3 mV (SCE) 이였고, 이때 i_{CORR} 값은 각각 2.11 × 10⁻⁹, 1.16 × 10⁻⁹ 그리고 1.37 × 10⁻⁹ A/cm² 으로 측정되었다. E_{CORR} 으로 보면 Au > ACA > Ag 순으로 100 wt% Au 와이어가 가장 높은 E_{CORR} 값을 보였으며, 그 다음으로 ACA 와이어가 높게 나타났다. 또한 i_{CORR} 값으로 보면, 97.3 wt% Ag 와이어가 가장 높게 나타났으며,

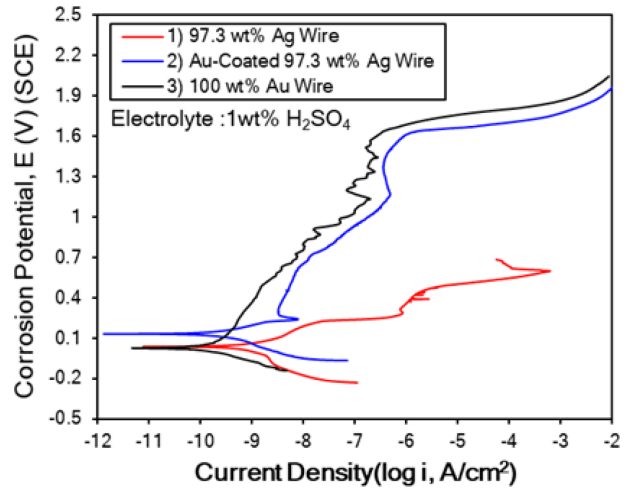


Fig. 4. Polarization curves of 97.3 wt% Ag, Au-coated 97.3 wt% Ag and 100 wt% Au wires in 1 wt% H₂SO₄ electrolyte at 25 °C, pH = 0.08

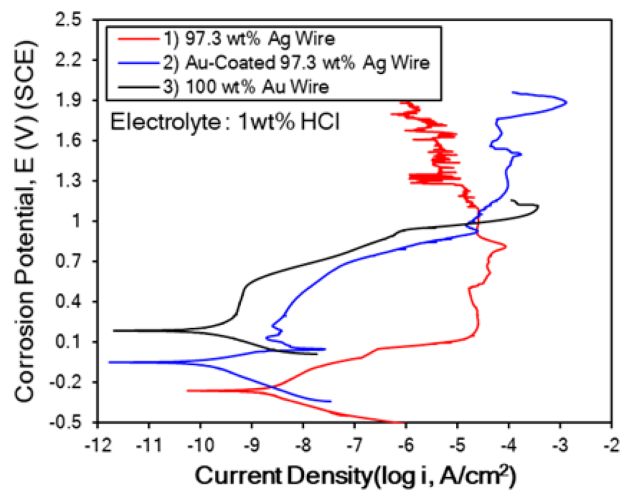


Fig. 5. Polarization curves of 97.3 wt% Ag, Au-coated 97.3 wt% Ag and 100 wt% Au wires in 1wt% HCl electrolyte at 25 °C, pH = 0.08

ACA와 100 wt% Au 와이어는 유사한 전류밀도를 나타낸 것으로 보아, 유사한 부식특성을 갖는 것으로 사료된다. 따라서 염산용액 환경에서는 ACA 와이어가 Au 와이어를 대체 가능할 것으로 판단되지만 E_{CORR} 값이 Au 보다는 낮은 전위 값을 나타내고 있어, 반도체 패키징용 본딩 와이어로 사용할 경우, 반도체 패키지 내부에 인가되는 전압과 전류의 사용범위를 고려하여 적용해야 할 것으로 판단된다.

3.2 본딩 와이어의 부식속도 비교

일반적으로 부식속도는 다음의 equation (1)에 나타난 식과 같이 정량적으로 계산될 수 있다 [10-12].

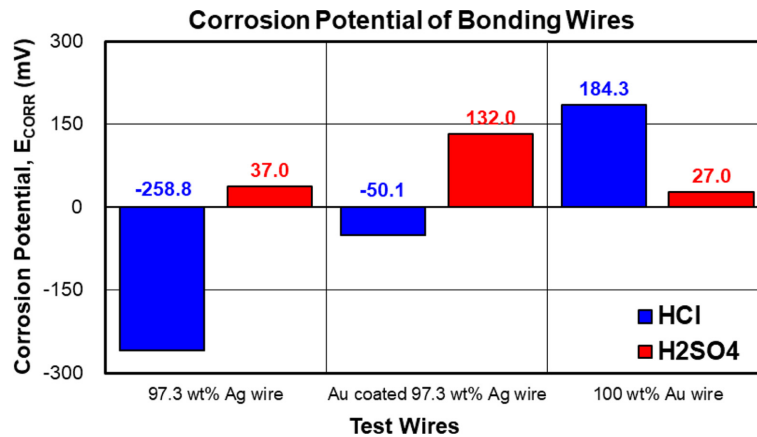


Fig. 6. Corrosion potential (E_{CORR}) comparison of 97.3 wt% Ag, Au-coated Ag and 100 wt% Au wires in 1 wt% H_2SO_4 and 1wt% HCl electrolytes at 25 °C, pH = 0.08

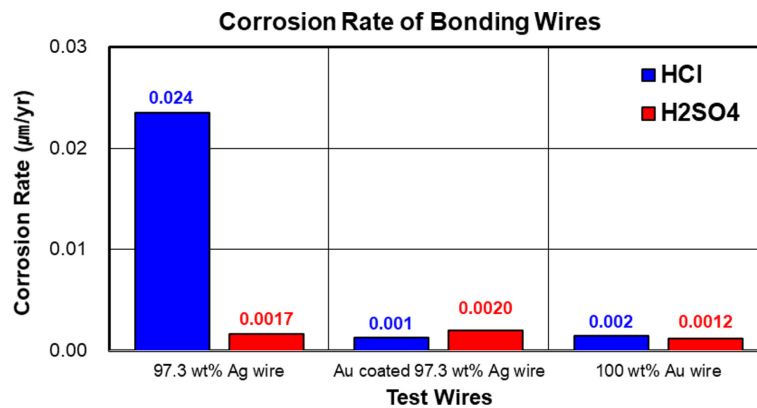


Fig. 7. Corrosion rate comparison of 97.3 wt%, Au-coated Ag and 100 wt% Au wires in 1wt% H_2SO_4 and 1wt% HCl electrolytes at 25 °C, pH = 0.08

$$\text{Corrosion Rate} = K \cdot a_i/ZD \quad (1)$$

여기서, K는 0.129 mpy, 3.27 m/yr, 0.00327 mm/yr, a_i 는 금속의 원자량, i 는 전류밀도(A/cm^2), Z는 원자가, D는 밀도(g/cm^3)이다.

분극특성 측정결과로부터 equation (1)을 이용하여 3종 와이어에 대한 부식속도 계산 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 염산용액에서는 97.3 wt% Ag 와이어가 가장 빠른 부식속도를 나타냈으며, ACA와 Au는 각각 0.001과 0.002 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 로 유사한 부식속도를 나타내었다. 또한 황산용액 환경에서는 3종 모두 염산용액 환경 보다 낮은 부식속도를 나타내었고, 97.3 wt% Ag, ACA 그리고 100 wt% Au 와이어의 부식속도는 각각 0.0017, 0.0020 및 0.0012 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때, 염산 및 황산이 포함된 부식성 환경에서는 ACA 와이어가 Au 와이어를 대체하여 사용 가능할 것으로 생각된다. 다만, ACA 와이어의 사용환경 전압과 전류 범위를 고려하여 상용해야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 25 °C, 1 wt% H_2SO_4 와 1 wt% HCl 용액에서 97.3 wt% Ag, Au-Coated 97.3 wt% Ag (ACA) 및 100 wt% Au 와이어의 분극특성을 측정 후 각각의 와이어에 대한 부식속도 및 부식특성을 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 97.3 wt% Ag, ACA 및 100 wt% Au 와이어의 미세조직 분석결과, 직경 20 μm 의 진구도를 양호하게 형성하였고, 3종 모두 equiaxed grain을 형성하고 있었으며, Au 와이어가 가장 fine grain 미세조직을 형성하고 있었다.
2. 황산용액 내에서는 본딩와이어의 부식특성 비교결과, Ag와 Au의 E_{CORR} 과 i_{CORR} 은 유사하였으며, ACA는 높은 E_{CORR} 값을 나타내 부식 저항성이 높은 것으로 판단된다. 전류밀도를 고려할 경우, ACA 와이어의 부식특성은 Au 보다는 다소 낮으나, Ag 와이어 보다 우수한 것으로 판단되며, ACA 와이어 사용환경 전압 범위

를 높게 적용 가능할 것으로 보인다.

3. 염산용액에서 E_{CORR} 값은 Au > ACA > Ag 순으로 100 wt% Au 와이어 다음으로 ACA 와이어가 낮게 나타났다. 또한 i_{CORR} 값으로 보면, ACA와 100 wt% Au 와이어는 유사한 전류밀도를 나타낸 것으로 보아, 유사한 부식특성을 갖는 것으로 사료된다. 따라서 염산용액 환경에서는 ACA 와이어가 Au 와이어를 대체 가능할 것으로 판단된다.

4. 분극곡선 측정결과를 바탕으로 3종 와이어의 부식 특성을 비교하였다. 그 결과, 염산용액에서 부식속도는 97.3 wt% Ag 와이어가 가장 빠르고, ACA와 Au는 유사한 부식속도를 나타냈다. 또한 황산용액의 경우, 3종 모두 염산용액 환경 보다 낮은 부식속도를 나타내었고, 97.3 wt% Ag > ACA > 100 wt% Au 와이어 순으로 부식속도가 빠르게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 경기도와 (재)차세대융합기술원에서 지원한 소재·부품·장비산업 자립화 연구지원사업(과제번호: AICT-010-T2)의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.

Acknowledgements

This work was supported by the Independence Research Support Program for Materials, Components and Equipment Industry funded by Gyeonggi Province and Advanced Institute of Convergence Technology (AICT) in the Republic of Korea.

References

1. M. S. Kim, W. S. Hong, S. Y. Kim, S. M. Jeon, J. T. Moon, Y. Kim, *Ultrasonic Bonding Interface Degradation Characteristics of Gold-Coated Silver Wire for Semiconductor Packaging*, *Journal of Welding and Joining*, **39**, 343 (2021). Doi: <https://doi.org/10.5781/JWJ.2021.39.4.1>
2. I. J. P. Jung, *Ultrasonic Bonding of Electronic Parts*, p. 7, *Proc. 2008 Autumn Meeting of KWJS*, Incheon (2008).
3. J. Y. Park, C. M. Oh, D. H. Won, and W. S. Hong, *Ultrasonic Bonding Property of Aluminium Wire for Power Conversion Module of Automotive*, *Journal of Welding and Joining*, **36**, 57 (2018). Doi: <https://doi.org/10.5781/JWJ.2018.36.3.9>
4. M. Schneider-Ramelow, C. Ehrhardt, *The reliability of wire bonding using Ag and Al*, *Microelectronics Reliability*, **63**, 336 (2016). Doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.microrel.2016.05.009>
5. P. Lall, S. Deshpande, and L. Nguyen, *Reliability of Copper, Gold, Silver, and PCC Wirebonds Subjected to Harsh Environment*, p. 724, *Proc. Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, IEEE 68th (2018). Doi: <https://doi.org/10.1109/ECTC.2018.00113>
6. N. B. Jaafar and E. W. L. Ching, *Comparison of Au/Al, Cu/Al and Ag/Al in Wirebonding Assembly and IMC Growth Behavior*, p. 10, *Proc. Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)*, IEEE 18th (2016). Doi: <https://doi.org/10.1109/EPTC.2016.7861432>
7. J. M. Kim, J. P. Jung, S. H. Kim, and J. H. Pack, *Packaging Technology in Electronics and 3-dimensional Stacking Packaging*, *Journal of Korean Welding and Joining*, **23**, 23 (2005).
8. Y. W. Tseng, F. Y. Hung, and T. S. Lui, *Wire bonding of Au-coated Ag wire, bondwire properties, bondability and IMCs formation*, p. 1, *Proc. European Micro-electronics Packaging Conference* (2015).
9. H. Yang, K. Cao, X. T. Zhao, W. Liu, J. Lu, and Y. Lu, *Brittle-to-ductile transition of Au₂Al and AuAl₂ intermetallic compounds in wire bonding*, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **30**, 862 (2019). Doi: <https://doi.org/10.1007/s10854-018-0357-6>
10. A. Sil and V. N. Kuman, *Comprehensive Empirical Equation for Assessing Atmospheric Corrosion Progression of Steel Considering Environmental Parameters*, *Corrosion Science and Technology*, **19**, 174 (2020). DOI: <https://doi.org/10.14773/cst.2020.19.4.174>
11. K.-H. Jung and S.-J. Kim, *An Experimental Investigation of the Application of Artificial Neural Network Techniques to Predict the Cyclic Polarization Curves of AL-6XN Alloy with Sensitization*, *Corrosion Science and Technology*, **20**, 62 (2021). DOI: <https://doi.org/10.14773/cst.2021.20.2.62>
12. Denny A. Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, 2nd ed., p. 120, Pearson, London (2020).