



전자부품 커넥터의 접속 신뢰성 향상을 위한 Au-Sn 합금 도금층 연구

최종환, 손인준*

경북대학교 신소재공학부 금속신소재공학전공

A study on Au-Sn alloy plating layer improving reliability of electrical contacts

Jong Hwan Choi, Injoon Son*

Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

(Received 15 December, 2022 ; revised 16 December, 2022 ; accepted 18 December, 2022)

Abstract

In this study, the effect of Au-Sn alloy coating on reliability of electrical contacts was investigated via comparison with Au-Co alloy coating. The results show that Au-Sn alloy exhibited lower contact resistance and higher solder spreadability than those of Au-Co alloy after thermal aging. In the case of Au-Co alloy plating, the underlying Ni element diffused into Au-Co layer to form Ni oxides on surface during thermal aging, leading to increased contact resistance and decreased solder spreadability. Meanwhile, for Au-Sn alloy plating, Au-Ni-Sn metallic compound was formed at the interface between Au-Sn layer and underlying Ni layer. This compound acted as a diffusion barrier, thereby inhibiting the diffusion of Ni to Au-Sn layer during thermal aging. Consequently, Au-Sn alloy layer showed better contact reliability than that of Au-Co alloy layer.

Keywords : Au-Sn alloy plating; Au alloy plating; Contact resistance; Connection reliability; Thermal aging.

1. 서 론

커넥터(connector)는 기능이 서로 다른 기기를 전기적으로 접속시키는 부품으로 모바일기기, AV 기기, 자동차부품, 산업기기 등의 전자부품에 널리 적용되고 있다. 커넥터는 부식 특성을 향상시키고, 접점의 접촉저항(contact resistance)을 낮추기 위해 Cu 기판 위에 Ni 하지도금 후 Au, Ag, Pd, Rd 등 귀금속(noble metal)[1]을 도금을 실시하게 되며 커넥터 간 접속신뢰성(connection reliability)을 위해 Au 도금을 실시하게 된다. 다만, 국내 및 국제적으로 금 가격이 높은 관계로 금의 사용량을 줄이면서 접속신뢰성을 유지하는 Au 합금도금이 Au 도금 대신 커넥터용 도금에 사용

되고 있다[2]. Au 합금도금은 우수한 내식성, 낮은 접촉저항 및 우수한 솔더링성을 가지기 때문에 커넥터, 인쇄회로기판(PCB) 등과 같은 전자부품용 부품에 사용되고 있으며[2-4] Au 도금층 보다 경도가 향상되고 접촉저항이 비교적 적은 Ni, Co가 Au 합금도금의 합금원소로 사용된다[5-7]. 커넥터에 적용되는 Au 합금도금층의 접촉저항은 합금 원소의 종류, thermal aging 온도, 용융 솔더와 전자부품을 고정시키는 표면실장공정(surface mounting process)[8]에서의 시간 및 모재인 Cu와 Au 합금도금층 사이의 하지도금 종류에 따라 영향을 받는다[9-11]. 또한, thermal aging의 영향으로 Au 합금도금층 표면이 산화되거나 하지도금층의 원소가 Au 합금도금층으로 확산되어 접촉저항이 증가된다고 보고되고 있다[12-16]. Au 합금도금층으로 모재인 Cu의 확산을 방지하기 위해 Au 합금도금층 형성 전 Cu보다 확산 계수가 작은

*Corresponding Author: Injoon Son
Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, Kyungpook National University
Tel: +82-53-950-5563 ; Fax: +82-53-950-6559
E-mail: ijson@knu.ac.kr

Ni 도금을 실시하며 Ni 도금은 Cu와 Au 합금도금층 사이의 확산장벽(diffusion barrier)으로 널리 사용된다[13]. 다만 Ni 도금층이 Au 합금도금층으로 Cu의 확산을 억제하지만, thermal aging의 영향으로 Ni이 Au 합금도금층으로 확산되어 Au 합금도금층 표면에 Ni 산화막이 형성되어 접착저항이 증가하게 된다[17]. 또한, 표면실장공장에서 Sn-Pb계 솔더 용융점은 456 K로 낮은 온도이지만 Pb의 유해성으로 인해 2000년대부터 RoHS(Restriction of hazardous substances directive)가 발효되면서 Pb의 사용이 제약을 받으며 무연솔더(Pb free solder)가 쓰이고 있지만 무연솔더의 용융점이 기존 Sn-Pb계 솔더의 용융점보다 20~30 K가량 더 높고 전자부품의 고밀도화로 인해 thermal aging의 시간도 증가하였기 때문에 thermal aging의 영향으로 Au 합금도금층의 접착저항이 증가하는 경향을 보이게 된다[17, 18]. 기존 합금원소로 사용되던 Co, Ni 대신 Sn을 첨가한 Au-Sn 합금이 솔더링성이 양호하고, 고유저항이 작은 등의 기능성이 높은 것이 실용성 측면에서 인정되고 있다[19]. Au-Sn 합금 도금의 용도로서는 우수한 내마모성, 내식성, 도전성을 이용한 전자재료로 사용되고 Au에 Sn을 첨가함으로써 용점이 저하되어 집적회로(integrated circuit)의 와이어 본딩(wire bonding)이 행해지는 리드 프레임(lead frame)에 사용되는 본딩용 도금에 사용되고 있다. 또한, 금속간 화합물인 δ -AuSn, ξ -Au₅Sn을 기반으로 하는 Au-Sn 합금이 우수한 솔더링성을 가진다고 알려져 있다[20, 21]. 따라서, 본 연구에서는 커넥터용 Au 합금 도금의 합금원소로 사용되던 Co, Ni 대신 Au-Ni-Sn 금속간 화합물을 구성하여 Ni의 확산을 억제하는 Sn을 사용하여 Au-Sn 합금도금층을 형성하였으며 thermal aging의 영향에 따른 접착저항 및 솔더링성에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용한 시편은 총 면적이 0.001 m²인 직사각형의 Cu 시편에 약 3 μ m 두께의 Ni 하지도금을 실시한 후 약 0.1 μ m 두께의 Au 합금 도금을 실시한 시편을 사용하였다. 도금을 실시하기 전, 전처리로서 상용화 된 분말형 전해 탈지제(Ace-Clean, Okuno, Japan)을 사용하여 음극 전해탈지(323 K, 500 A/m²에서 90초)를 실시한

후, 산세(5 vol% 황산 용액에서 30초)를 실시하였다. 표 1에 Ni 하지도금액 조성도와 도금 조건을 나타내었다. Ni 하지도금액은 와트욕을 기본조성으로 하여 균일한 광택 외관을 얻기 위해 상용화 된 유기광택제(Makrolux NF, Atotech, Germany)와 보조광택제 1(Ni-Conc, Atotech, Germany), 보조광택제 2(Y-19, Atotech, Germany)를 사용하여 도금을 실시하였다. Au 합금도금은 시안화금칼륨, 구연산염을 기본 조성으로 합금의 원소로 Co, Sn을 첨가하여 Au 합금도금을 실시하였다. 표 2에 Au 합금 도금액 조성 및 도금조건을 나타내었다. Au 합금 도금층의 합금원소의 함량을 분석하기 위해 Au 합금 도금층을 왕수에 용해시킨 다음, 유도 결합 플라즈마 분광기(Opima 7300 Dv, Perkin Elmer, USA)를 사용하여 분석하였다. 표 3에 Au 합금 도금층의 합금원소 함량을 나

Table 1. Watts bath composition and electroplating conditions

Bath Concentration	Nickel sulfate hexahydrate	250 g/L
	Nickel chloride hexahydrate	40 g/L
	Boric acid	30 g/L
	Organic brightener (Makrolux NF)	1 mL/L
	Assistance brightener 1 (Ni-Conc)	3 mL/L
	Assistance brightener 2 (Y-19)	2 mL/L
Electroplating conditions	Anode	Ni
	Temperature	323 K
	Current density	300 A/m ²
	Electroplating time	300 sec
	Agitation	500 rpm with magnetic stirrer

Table 2. Au-Co and Au-Sn bath composition and electroplating conditions

Au-Co Bath Concentration	Potassium gold cyanide	8.77 g/L (Au: 6 g/L)
	Potassium citrate	100 g/L
	Citric acid monohydrate	50 g/L
	Cobalt Sulfate heptahydrate	2.38 g/L (Co: 0.5 g/L)
Au-Sn Bath Concentration	Potassium gold cyanide	8.77 g/L (Au: 6 g/L)
	Potassium citrate	100 g/L
	Citric acid monohydrate	50 g/L
	Tin methanesulfonate (Sn: 300g/L)	1.67 ~ 16.67 mL/L (Sn: 0.5 ~ 5 g/L)
Electroplating conditions	Anode	Pt mesh
	Temperature	313 K
	Current density	50 A/m ²
	Electroplating time	40 sec
	Agitation	300 rpm with magnetic stirrer
	pH	4.2 (Au-Co bath) 4.6 (Au-Sn bath)

Table 3. Contents of Co and Sn elements in the Au-Co and Au-Sn alloy electroplated layers

Content	Au-Co Co: 0.5 g/L	Au-Sn Sn: 0.5 g/L	Au-Sn Sn: 2 g/L	Au-Sn Sn: 5 g/L
Sn (wt.%)	-	11.6	15.9	24.2
Co (wt.%)	0.76	-	-	-

타내었다. Au 합금 도금층 및 Ni 하지도금층의 두께는 X선 형광 분석 도금두께 측정기(XAN250, Helmut Fisher, Germany)를 사용하여 측정하였다. Au 합금 도금 시편의 thermal aging은 핫플레이트(HHP-411V, Shamal hotplate, Japan)를 사용하여 대기 중에서 533 K 온도에서 180~600초 간 실시하였다. 접촉저항 측정은 4-프로브 측정법(4-point probe method)으로 직류 접촉 저항계(356H, TSURUGA, Japan)를 사용하여 하중변화(0.245~0.98 N)에 따른 접촉저항을 측정하였다. 솔더퍼짐성은 Au 합금 도금시편 표면의 산화막 제거 및 솔더의 표면장력을 저하시키기 위해 플렉스(ALPHA UP-78, MacDermid Alpha, USA)를 도포한 후, 직경 0.76 mm의 Sn-Ag-Cu계(Sn-3.0 wt% Ag-0.5 wt% Cu) 무연솔더볼(S-Pak Solder ball, SDS Co. Ltd, Korea) 9개를 시편 표면에 올린 후 533 K으로 가열된 핫플레이트에서 15초 간 솔더링을 실시한 후 표면에 접촉된 9개의 솔더의 높이를 측정하여 평균값을 식(1)에 대입하여 솔더퍼짐율을 계산하였다.

$$S_R = (D - H) / D \times 100 \quad (1)$$

(S_R : 퍼짐율(%), D : 솔더링전 솔더의 직경, H : 솔더링후 솔더의 높이)

Thermal aging에 따른 Au-Co 합금도금과 Au-Sn 합금도금의 접촉저항과 솔더퍼짐성의 변화 요인을 파악하기 위해서 X선 광전자기(NEXSA, ThermoFisher, USA)를 사용하여 Au 합금 도금층 표면 및 깊이 방향으로 원소의 정성 및 정량분석, 화학적 결합상태를 조사하였다. Ar 이온 스퍼터는 각 시편마다 0~60초 간은 12초 간격으로 실시하고 60~2400초간은 60초 간격으로 실시하였다. Au-Sn 합금 도금 시편의 결정상 및 단면을 분석하기 위해 약 1.5 μm 두께의 Au 합금 도금을 실시한 시편을 사용하였다. X선 회절분석기(EMPYRAN, Malvern Panalytical, UK)와 XRD Database(PDF, ICDD, USA)를 사용하여 결정상을 분석하였으며, FIB-SEM(NX5000, Hitachi, Japan)를 사용하여 밀링(Milling) 실시 후 도금층의 단면을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 접촉저항에 미치는 합금원소의 함량 및 thermal aging의 영향

Au-0.76 wt.% Co, Au-11.6 wt.% Sn, Au-

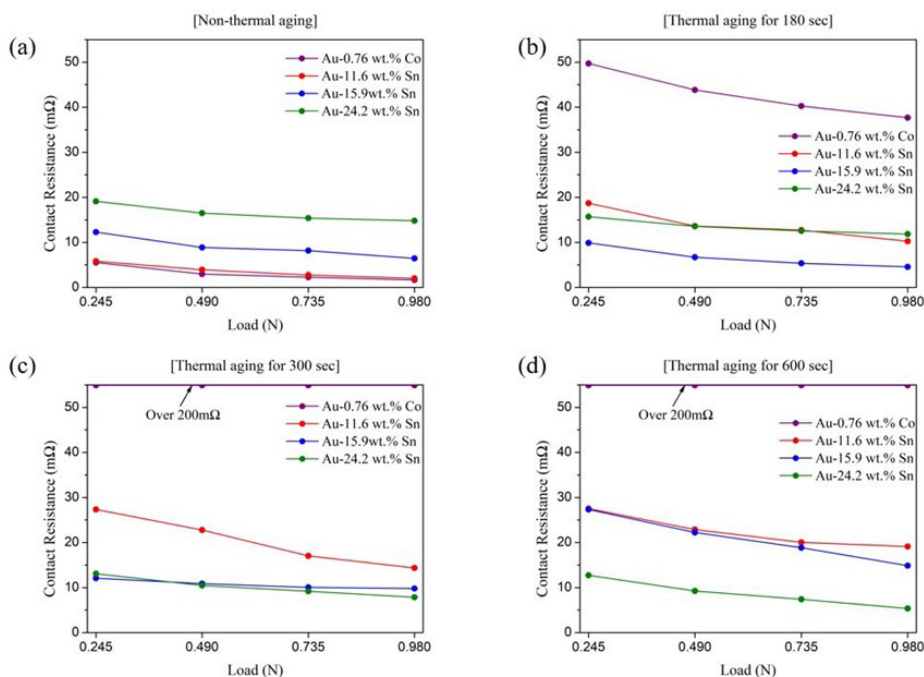


Fig. 1. Contact resistance of Au-Co alloy and Au-Sn alloys with (a) no thermal aging, and thermal aging at 533 K for (b) 180 sec, (c) 300 sec, and (d) 600 sec.

15.9 wt.% Sn, Au-24.2 wt.% Sn 합금도금층의 thermal aging 시간에 따른 접촉저항의 변화를 그림 1에 나타내었다. Au-Co, Au-Sn 합금도금층 모두 접촉저항은 하중증가에 따라서 감소하는 경향을 나타내었다. Thermal aging을 실시하지 않은 경우의 접촉저항(a)은, Au-0.76 wt.% Co와 Au-11.6 wt.% Sn 합금도금층은 0.245 N 하중에서 접촉저항 값이 6 m Ω 이하로 거의 비슷한 값을 보여주었으며 Au-15.9 wt.% Sn 합금도금층과 Au-24.2 wt.% Sn 합금도금층은 다소 높은 접촉저항 값을 보였다. Au-0.76 wt.% Co 합금도금층의 접촉저항이 Au-Sn 합금도금층보다 접촉저항이 낮은 이유는 Co의 전기전도도가 Sn보다 높기 때문에 접촉저항이 낮은 것으로 판단된다. Thermal aging을 180초 간 실시한 경우(b), Au-11.6 wt.% Sn 과 Au-24.2 wt.% Sn 합금도금층의 접촉저항은 thermal aging 실시 전보다 감소하는 경향을 보였으며 Au-11.6 wt.% Sn 합금도금층의 접촉저항은 증가하는 경향을 보였다. Au-0.76 wt.% Co 합금도금층의 접촉저항은 Ni 확산에 의한 산화피막의 성장으로 50m Ω 으로 증가하는 경향을 보였다고 판단된다. Thermal aging을 300초 간 실시한 경우(c), Au-0.76 wt.% Co 합금도금층의 접촉저항은 200 m Ω 을 초과하여 접촉저항 값이 큰 폭으로 증가하는 경향을 보였으며 Au-11.6 wt.% Sn 합금도금층도 증가하는 경향을 보였다. Au-15.9 wt.% Sn 합금도금층과 Au-24.2 wt.% Sn 합금도금층은 접촉저항이 감소하는 경향을 보였다. Thermal aging을 600초 간 실시한 경우(d), Au-24.2 wt.% Sn 합금도금층의 접촉저항은 계속 낮아지는 경향을 보였으며 Au-11.6 wt.% Sn 합금도금층은 thermal aging을 300초 간 실시했을 경우의 접촉저항 값과 차이가 없었다. Au-15.9 wt.% Sn 합금도금층은 Au-11.6 wt.% Sn과 비슷한 값을 보였다. 즉, Au-Sn 합금도금에서 Sn의 함량이 많을수록 thermal aging 실시 전의 접촉저항 값은 높으나 thermal aging을 실시하는 시간이 길수록 접촉저항 값이 감소하였다가 다시 증가하여 30 m Ω 이하의 값을 나타내었다. 또한 Au-Co 합금도금층은 thermal aging을 실시하면 접촉저항 값이 급속히 증가하였다. 이는 합금원소 인 Co의 산화와 하지도금 원소인 Ni이 확산되어 산화피막이 성장하여 접촉저항 값이 증가함을 알 수 있다[18].

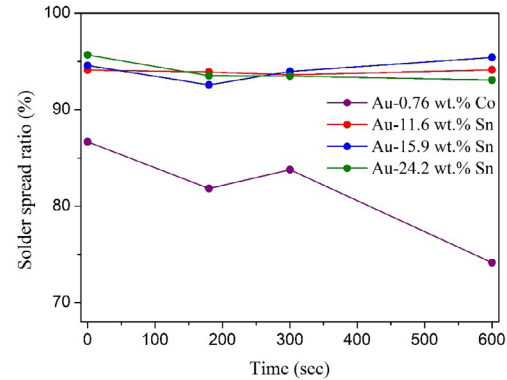


Fig.2 Solder spreadability of Au-Co and Au-Sn alloy layers after thermal aging.

3.2. 솔더퍼짐성에 미치는 합금원소의 함량 및 thermal aging의 영향

Au-0.76 wt.% Co, Au-11.6 wt.% Sn, Au-15.9 wt.% Sn, Au-24.2 wt.% Sn 합금도금층의 thermal aging 시간에 따라 15초간 솔더링을 실시했을 때의 솔더퍼짐률(%)을 그림 2에 나타내었다. Au-11.6 wt.% Sn, Au-15.9 wt.% Sn, Au-24.2 wt.% Sn 합금도금층의 솔더퍼짐률은 thermal aging 실시 전 약 95%로 높은 값을 나타냈으며 thermal aging 실시 후에도 비슷한 값을 보여주었다. 이는 용점이 낮고 솔더퍼짐성이 좋은 Sn이 Au-Sn 합금도금의 합금원소로 사용되어 나타난 결과로 판단된다. Au-0.76 wt.% Co 합금도금층의 솔더퍼짐률은 thermal aging 실시 전 86%로 Au-Sn 합금도금층 보다 낮게 나타났으며 600초 간 thermal aging을 실시했을 때 약 74%로 감소한 결과 값을 보였다. 이는 thermal aging에 따른 산화피막의 성장에 따라 솔더퍼짐성이 감소했다고 사료된다.

3.3. XPS를 이용한 thermal aging에 따른 Au-Co, Au-Sn 합금도금층의 표면분석

Au 합금도금에서의 합금원소에 따른 thermal aging 실시 후의 접촉저항 및 솔더퍼짐성의 영향을 분석하기 위해 XPS를 사용하여 Au-0.76 wt.% Co, Au-24.2 wt.% Sn 합금도금층 표면에서 깊이방향으로 40분간 Ar에칭을 실시하여 원소분석을 하였다. 533 K에서 thermal aging을 600초 간 실시한 Au-0.76 wt.% Co, Au-24.2 wt.% Sn 합금도금 시편의 원소별 depth profile을 그림 3에 나타내었다. Au-Co 합금도금층 표면(a,b)에서는 Ni 및 O의 함량이 높은 반면, Au-Sn 합

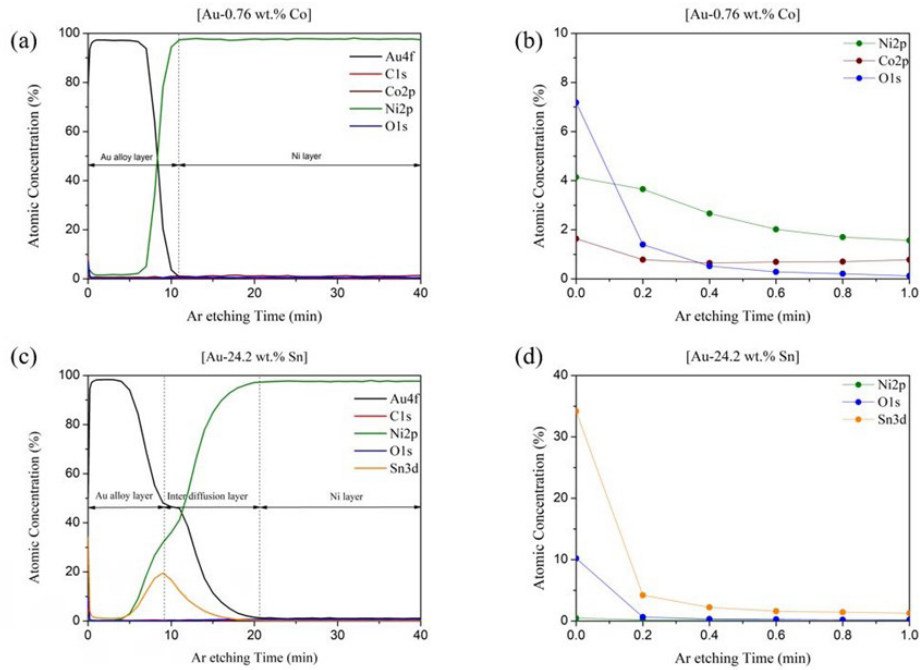


Fig. 3. XPS depth profiles of the interface between Ni and (a,b) Au-Co alloy, and (c,d) Au-24.2 wt.% Sn alloy layers after thermal aging at 533 K for 600 sec [(a,c): 40 min, (b,d): 1 min].

합금도금층 표면(c,d)에서는 Ni이 거의 검출되지 않았음을 확인할 수 있다. 이는 Au-Co 합금도금 시편에서 Ni하지도금층의 Ni이 thermal aging으로 인해 Au-Co 합금도금층으로 확산되었음을 나타내고 Ni과 O가 공존하는 것을 볼 때 Ni산화물을 형성하는 것을 보여준다. 또한, Au-Co 합금도금층 표면을 1분간 Ar에칭을 실시했을 때(b), Ni와 O의 함량이 감소하는 것으로 보아 얇은 Ni산화물층이 존재하는 것을 알 수 있다. 한편, (c)에

서 Ar에칭 시간이 5분에서 20분 사이 Au 합금도금층과 Ni 하지도금층 사이의 계면에서 Sn과 Ni의 함량이 높게 검출되었는데 이는 Au-Sn 합금도금층과 Ni 하지도금층 사이의 계면에서 Au-Ni-Sn 금속간 화합물이 형성되었을 것이라고 사료된다. 이로 인해 Au-Sn 합금도금층 표면으로 Ni이 확산되지 않았을 것으로 판단된다. Au-0.76 wt.% Co 합금도금 시편의 XPS spectra를 보여주는 그림 4에서, Co2p(a) 스펙트럼에서 CoO

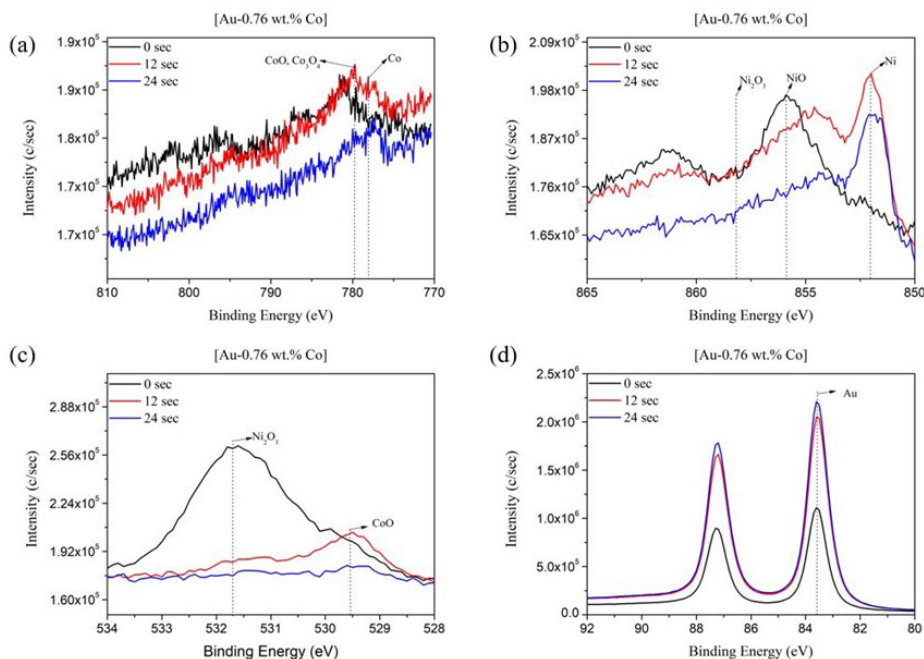


Fig. 4. XPS spectra of Au-Co alloy [(a) Co2p, (b) Ni2p, (c) O1s, and (d) Au4f] after thermal aging at 533 K for 600 sec.

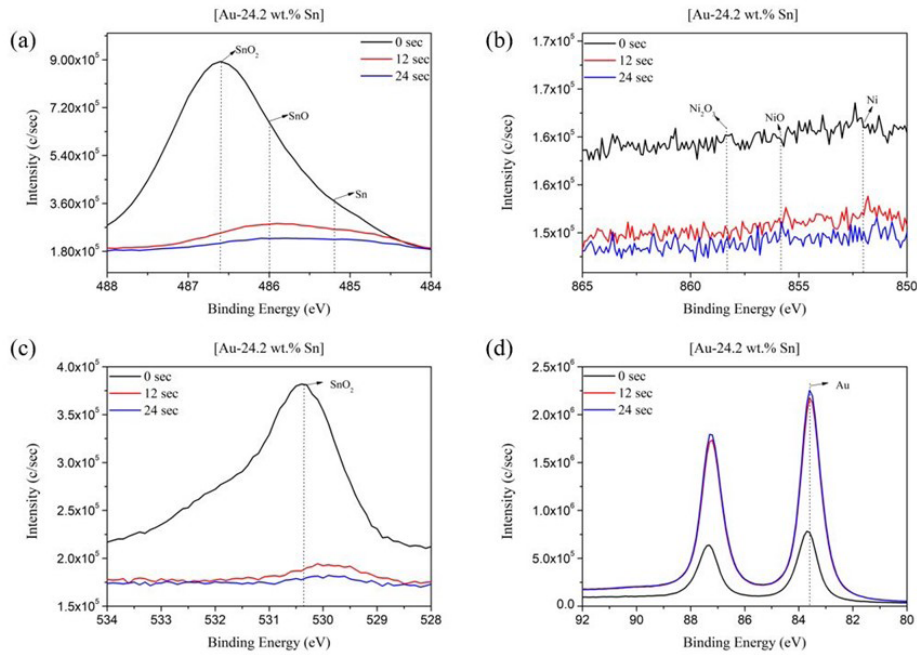


Fig. 5. XPS spectra of Au-24.2 wt.% Sn alloy [(a) Sn3d, (b) Ni2p, (c) O1s, and (d) Au4f] after thermal aging at 533 K for 600 sec.

와 Co_3O_4 가 관찰되어 Co가 산화된 상태로 존재하는 것을 보여주며[22], Ni2p(b) 스펙트럼에서 thermal aging의 영향으로 Ni 하지도금층의 Ni 이 Au-Co 합금도금층으로 확산하여 대기중의 O와 결합하여 NiO와 Ni_2O_3 산화물을 형성하는 것을 보여준다. O1s(c) 스펙트럼에서 Ar 에칭시간 0 sec에서 Au-Co 합금도금층 표면에서 Ni_2O_3 피크가 확인되어 산화물 형성하고 있음을 보여주고 Ar 에칭시간 12 sec에서 CoO 피크가 확인되어 Co가 산화물로 존재하고 있음을 나타낸다. Au4f(d) 스펙트럼에서는 Au 피크만 관찰되어 이는 Au가 산화하지 않고 금속상태로 존재하고 있음을 나타낸다. Au-24.2 wt.% Sn 합금도금 시편의 XPS spectra를 보여주는 그림 5에서, Sn3d(a) 스펙트럼에서 Ar 에칭시간이 0 sec에서 SnO_2 피크가 관찰되어 Au-Sn 합금도금층 표면에서 Sn이 산화된

상태로 존재하는 것을 보여주며 Ni2p(b) 스펙트럼에서는 Ni 과 Ni 산화물 피크가 검출되지 않았다. O1s(c) 스펙트럼에서도 Sn3d 스펙트럼과 마찬가지로 SnO_2 피크가 관찰되었으며 Au4f(d) 스펙트럼에서는 Au 피크만 확인되었다.

3.4. Thermal aging 영향에 따른 Au-Sn 합금도금층의 X선 회절 분석

Thermal aging 실시 후의 Au-Sn 합금도금의 결정상을 비교하기 위해 Au-24.2 wt.% Sn 합금도금 thermal aging 실시 전의 시편(a)과 533 K에서 thermal aging 600초 실시 후의 시편(b)의 X선 회절패턴을 그림 6에 나타내었다. Thermal aging 실시 전의 시편 회절패턴(a)에서 rhombohedral 구조의 Au_5Sn (#31-0568),

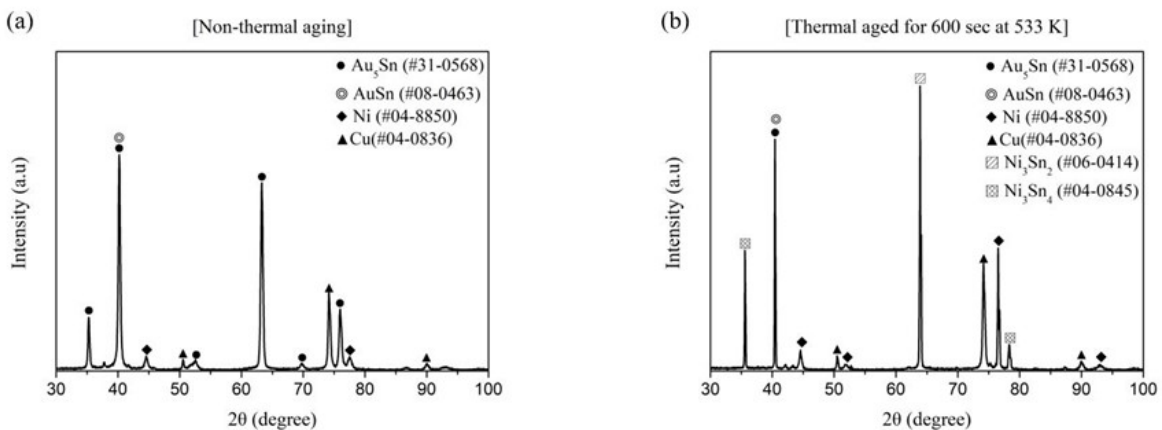


Fig. 6. X-ray diffraction patterns of Au-24.2 wt.% Sn alloy with (a) non-thermal aging and (b) thermal aging at 533 K for 600 sec.

hexagonal 구조의 AuSn(#08-0463), FCC구조의 Ni(#04-0850)과 Cu(#04-0836)피크가 관찰되었다. 또한, thermal aging 실시 후의 시편 회절 패턴에서 thermal aging 실시 전의 시편과 마찬가지로 Au₅Sn, AuSn, Ni과 Cu피크가 관찰되었고 더불어 hexagonal 구조의 Ni₃Sn₂(#06-0414)와 monoclinic 구조의 Ni₃Sn₄(#04-0845)피크가 관찰되었다.

3.5. Thermal aging 영향에 따른 Au-Sn 합금도금의 FIB-SEM 단면 분석

Thermal aging 실시전 시편의 FIB-SEM 사진 그림 7에서 Au-Sn 합금도금층과 Ni 하지도금층,

모재인 Cu 층이 나타났으며 또한 EDS mapping 사진 (b-f)에서도 Au, Ni, Cu, Sn이 상호 확산 없이 존재하는 것을 볼 수 있다. Thermal aging 실시 후 시편의 FIB-SEM 사진 그림 8에서는 thermal aging 실시전 시편과는 다르게 Au-Sn 합금도금층과 Ni 하지도금층 사이에 약 400 nm 두께의 Au-Ni-Sn 층과 90 nm 두께의 Ni-Sn층이 나타나는 것을 확인 할 수 있다. Ni(b)이 Au-Sn 합금도금층 표면으로의 확산이 일어나지 않았다. Au-Ni-Sn 금속간 화합물이 Ni의 확산을 억제하여 Au-Sn 합금도금층에서 Ni 산화물이 생성되지 않았음을 확인 할 수 있다[Fig.3 (d)]. Au-Ni-Sn 금속간 화합물이 나타나는 것은 thermal aging을 실시하는 동안 Ni 하지도금층의 Ni 원자

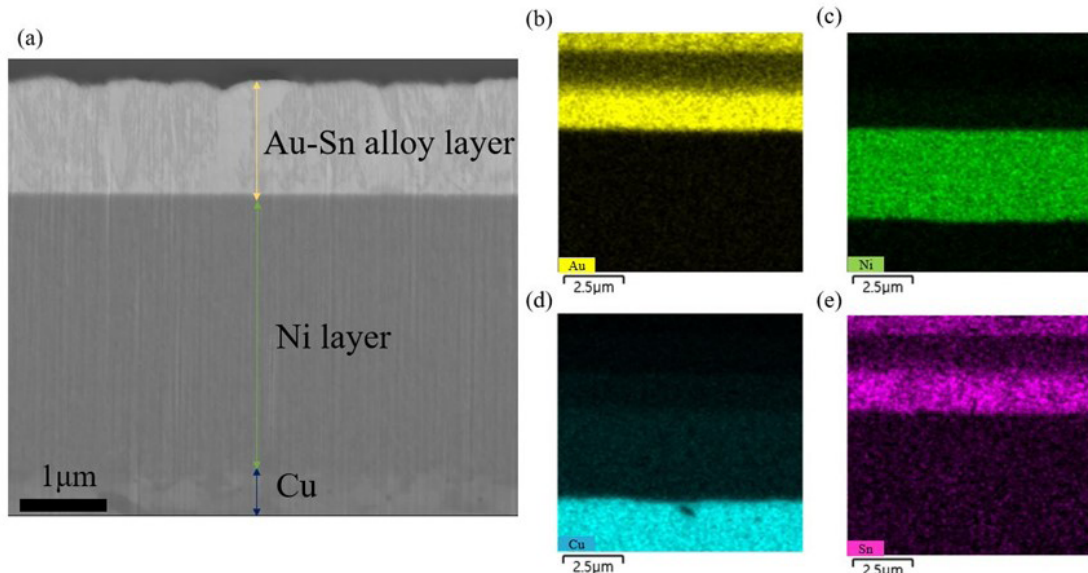


Fig. 7. (a) Cross-sectional FIB-SEM image and (b-e) EDS mappings of Au-24.2 wt.% Sn alloy [(b) Au, (c) Ni, (d) Cu, and (e) Sn] before thermal aging.

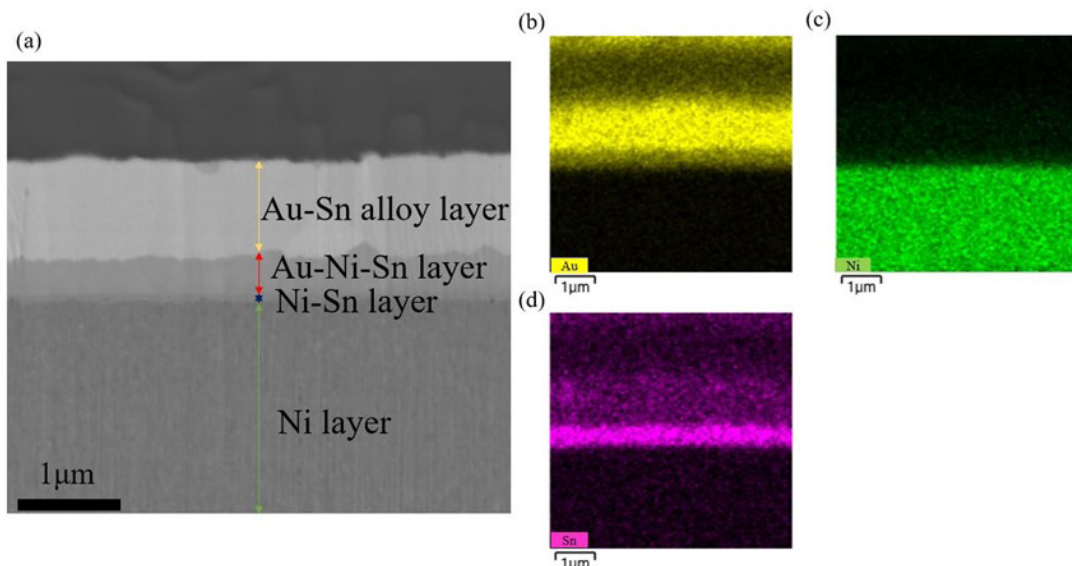


Fig. 8. (a) Cross-sectional FIB-SEM image and (b-e) EDS mappings of Au-24.2 wt.% Sn alloy [(b) Au, (c) Ni, and (d) Sn] after thermal aging at 533 K for 600 sec.

가 AuSn 격자(Lattice)의 Au의 자리로 이동하면서 치환형 고용체가 형성되어 Au-Ni-Sn 금속간 화합물이 나타난 것으로 판단된다[23].

4. 결 론

본 연구에서는 커넥터의 접촉신뢰성을 높이기 위해 Au-Sn 합금도금을 실시하여 Au-Co 합금도금과 비교 thermal aging 실시에 따른 접촉저항과 솔더퍼짐성에 대한 영향을 연구하였다. Au-Co 합금도금층 표면은 thermal aging에 의해 Ni 하지도금층의 Ni이 Au-Co 합금 결정립계를 통해 확산하여 Ni 산화물을 구성하였다. 여기서 형성된 Ni산화물이 높은 접촉저항 값과 낮은 솔더퍼짐성을 갖게 하는 요인으로 작용하였다. Au-Sn 합금도금층 표면은 thermal aging 실시했을 때, Au-Sn 합금도금층과 Ni 하지도금층 사이 Au-Ni-Sn 금속간 화합물을 구성하여 Au-Sn 합금도금층 표면으로의 Ni 확산을 방지하였다. 이는 thermal aging 실시 후에도, Au-Co 합금도금과 비교해서 낮은 접촉저항 값과 높은 솔더퍼짐성을 갖게 하는 요인으로 작용하였다. Au-Ni-Sn층이 나타난 것은 thermal aging에 의해 하지도금층에서 Ni이 확산하면서 Au-Sn 합금도금층의 Au-Sn 격자의 Au 자리로 이동하면서 치환형 고용체가 형성되어 나타난 것으로 판단된다.

References

- [1] C. S. Back, H. K. Chang, H. C. Kim, Properties of the gold and palladium-nickel alloy plated layers on electrical contact materials, *J.Surf. Sci. Eng.*, 25(3) (1992) 107-115.
- [2] J. G. Han, T. M. Kang, An investigation of characteristics of Au plating for telecommunication components, *J.Surf. Sci. Eng.*, 25(6) (1992) 309-317.
- [3] P. Goodman, Current and future uses of gold in electronics, *Gold Bulletin*, 35(1) (2002) 21-26.
- [4] I. R. Christie, B. P. Cameron, Gold electrodeposition within the electronics industry, *Gold Bulletin*, 27(1) (1994) 12-20.
- [5] M. Liew, S. Roy, K. Scott, Development of a non-toxic electrolyte for soft gold electrodeposition: an overview of work at University of Newcastle upon Tyne, *Green Chemistry*, 5(4) (2003) 376-381.
- [6] H. Angerer, N. Ibl, On the electrodeposition of hard gold, *J. Appl. Electrochem.*, 9(2) (1979) 219-232.
- [7] R. P. Netterfield, P. J. Martin, Nucleation and growth studies of gold films prepared by evaporation and ion-assisted deposition, *Appl. Surf. Sci.*, 25(3) (1986) 265-278.
- [8] J. W. Lee, I. J. Son, Effect of alloying elements and thermal aging on the contact resistance of electroplated gold alloy layers, *J.Surf. Sci. Eng.*, 46(6) (2013) 235-241.
- [9] M. Antler, Contact resistance of oxidized metals: dependence on the mating material, *IEEE Trans Components, Hybrids Manuf. Technol.*, 10(3) (1987) 420-424.
- [10] Y. Okinaka, M. Hoshino, Some recent topics in gold plating for electronics applications, *Gold Bulletin*, 31(1) (1998) 3-13.
- [11] M. R. Pinnel, H. G. Tompkins, D. E. Heath, Oxidation kinetics of copper from gold alloy solution at 50°-150°C, *J. Electrochem. Soc.*, 126(10) (1979) 1798-1805.
- [12] O. Kurtz, J. Barthelmes, R. Rütger, M. Danker, Thermal aging of technical hard gold electrodeposits, *Met. Finish.*, 109(5) (2011) 19-23.
- [13] H. G. Tompkins, M. R. Pinnel, Relative rates of nickel diffusion and copper diffusion through gold, *J. Appl. Phys.*, 48(7) (1977) 3144-3146.
- [14] T. E. Brady, C. T. Hovland, Scanning auger microprobe study of gold-nickel-copper diffusion in thin films, *J. Vac. Sci. Technol.*, 18(2) (1981) 339-342.
- [15] M. R. Pinnel, H. G. Tompkins, D. E. Heath, Oxidation of nickel and nickel-gold alloys in air at 50°-150°C, *J. Electrochem. Soc.*, 126(7) (1979) 1274-1281.
- [16] M. Antler, Gold plated contacts: effect of substrate roughness on reliability, *Plating*, 56(10) (1969) 1139.

- [17] M. Antler, Gold plated contacts: effect of thermal aging on contact resistance. in *Electrical Contacts-1997 Proceedings of the Forty-Third IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*. IEEE., (1997) 121-131.
- [18] H. Kumakura, M. Sekiguchi, Increase in contact resistance of hard gold plating during thermal aging--nickel-hardened gold and cobalt-hardened gold, *IEICE Trans. Electron.*, 82(1) (1999) 13-18.
- [19] A. Kaoru, *JPS series alloy plating II Au alloy plating 2*, Japan Plating Association, Tokyo, (2003) 142-177.
- [20] J. Ciulik, M. Notis, The Au-Sn phase diagram, *J. Alloys Compd.*, 191(1) (1993) 71-78.
- [21] G. S. Matijasevic, C. C. Lee, C. Y. Wang, Au- Sn alloy phase diagram and properties related to its use as a bonding medium, *Thin solid films*, 223(2) (1993) 276-287.
- [22] S. C. Petitto, E. M. Marsh, G. A. Carson, M. A. Langell, Cobalt oxide surface chemistry: The interaction of CoO(100), Co₃O₄(110) and Co₃O₄(111) with oxygen and water, *J. Mol. Catal. A Chem.*, 281(1-2) (2008) 49-58.
- [23] S. Anhock, H. Oppermann, C. Kallmayer, R. Aschenbrenner, L. Thomas, H. Reichl, Investigations of Au-Sn alloys on different end-metallizations for high temperature applications [solders], in *Twenty Second IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium. IEMT-Europe 1998. Electronics Manufacturing and Development for Automotives (Cat. No. 98CH36204)*. IEEE., (1998) 156-165.