ISSN (Print) 1598-5385
ISSN (Online) 2233-6648
≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society 31(6), 322-327 (2021) https://doi.org/10.4283/JKMS.2021.31.6.322

Study on the Fabrication of Electric Conductivity Fe-Cu-X System Alloy for IC Semiconductor Test Socket

In-Ho Kim
R&D Center NTECHNE CO. Ltd., Cheonan 31027, Korea

Byung-Seo Jeon
Department of Fusion Chemical Engineering, Hanyang University, Ansan 15588, Korea

Tae-Heng Lee and Chang-Bin Song*
Div. of Materials Eng., CAMP², Kongju National University, Cheonan 31080, Korea

(Received 3 December 2021, Received in final form 22 December 2021, Accepted 23 December 2021)

This study was carried out to develop a new alloy superior to pure nickel powder used as a conductive powder material for a semiconductor test socket. As such means, composition variation of Fe-(3~70)wt%Cu binary system and Fe-Cu-X (X = Ag, Co, Sn) ternary system alloy, ingot manufacturing, thermal treatment, polishing, microstructure observation, and physical properties (electrical resistance, magnetism and hardness) were investigated. As a result, some of Fe-Cu binary alloys and Fe-Cu-X ternary system alloy had better properties than pure Ni. For example, in the Fe-(3~70)wt%Cu binary system alloy, the Fe-50wt%Cu alloy had electrical resistance (ρ) = 6.8×10^{-8} Ω·cm, magnetism (Bs) = 0.9 (T) and hardness (Hv) = 209.8, which were superior to pure Ni. One of those reasons was estimated to be due to an increase in the volume fraction on the εCu (S.S.). In addition, in the case of Fe-Cu-X ternary system alloys, particularly, it was confirmed that the addition of Ag, Co, and Sn elements has a slight effect of increasing electrical resistance, but the magnetism (Bs) decreased as expected.

Keywords : semiconductor test socket, electric conductivity powder, electrical resistance, magnetism, hardness

IC 반도체 테스트 소켓용 전도성 Fe-Cu-X계 합금 제조에 관한 연구

김인호
엔테크네(주) 기술연구소, 충남 천안시 서북구 입장면 연곡길 172-24, 31027

전병서
한양대학교 첨단소재공학과, 경기 안산시 상록구 한양대학로 55, 15588

이태행 · 송창빈*
공주대학교 공과대학 신소재공학부, 첨단분말소재부품센터, 충남 천안시 서북구 천안대로 1223-24, 31080

(2021년 12월 3일 받음, 2021년 12월 22일 최종수정본 받음, 2021년 12월 23일 게재확정)

본 연구는 반도체 테스트 소켓용 전도성 분말소재로 사용되는 순 니켈분말(pure Ni powder)보다 우수한 새로운 합금을 개발하기 위해서, Fe-(3~70)wt%Cu 2원계 및 Fe-Cu-X(X = Ag, Co, Ni, Sn) 3원계 합금의 조성설계, 잉곳제조, 열처리 및 연마 후, 미세조직 관찰 및 물성(전기저항, 자성 및 경도)을 조사하였다. 그 결과, Fe-Cu 2원합금 및 Fe-Cu-X 3원계 합금 중, 몇몇의 합금은 니켈보다 우수한 특성이 얻어졌다. 예를 들면, Fe-(3~70)wt%Cu 2원계 중, Fe-50wt%Cu 합금은 전기저항(ρ) = 6.5×10^{-8} Ω·cm, 자성(Bs) = 0.9(T) 및 경도(Hv) = 209.8로 순 니켈(pure Ni)보다 우수한 특성이 얻어졌다. 이러한 원인 중 하나는 εCu 고용체 상

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.
*Corresponding author: Tel: +82-41-521-9374,
Fax: +82-41-568-5776, e-mail: cbsong@kongju.ac.kr

의 체적 분율의 증가로 인한 것으로 추정되었다. 또한 Fe-Cu-X 3원계 합금의 경우에, 특히 Ag, Co 및 Sn 원소의 첨가는 전기저항의 증대효과가 다소 있는 것으로 확인되었으며, 자성은 예상한 대로 첨가량이 증가함에 따라 감소함을 확인하였다.

주제어 : 반도체 테스트 소켓, 전도성 분말, 전기저항, 자성, 경도

I. 서 론

최근 IC 반도체 소자는 스마트폰/태블릿PC 등 각종 모바일 통신용 기기는 물론, IT, BT, 자동차 및 가정용/산업용/의료용/국방용 등의 각종 다양한 전기.전자부품이 증가함에 따라 그 수요 또한 증가하고 있다. 이러한 반도체 소자 패키지는 최종적인 전기적 및 성능 테스트가 필수적이며, 특히 테스트 소켓의 핵심적 소재부품인 전도성 분말(electric conductivity powder)은 전기적 특성 향상을 위해 우수한 전도성뿐만 아니라, 특히 소켓을 제조할 때 전도성 분말의 정렬(배열)에 중요한 적당한 자성과 소켓의 반복적인 사용에 따른 수명 향상을 위해 적절한 경도가 요구된다. 그러나 현재 전도성 분말소재로 대부분의 상용 제품에 적용되고 있는 순 니켈(pure Ni) 분말의 경우에는 전도성 및 자성은 충분하지만, 특히 경도(Hv)가 100 정도로 낮아 테스트 소켓의 수명이 저하되는 단점 때문에 그에 적합한 소재개발이 절실한 상황이다[1-10].

따라서 본 연구는 Ni보다 우수한 새로운 전도성 합금을 개발하기 위해, 동일한 연구팀에 의해 당 학회지에 이미 게재된 니켈기(Ni based) 합금제조에 관한 연구[12]에 이어서 철기(Fe based) Fe-(3~70%)Cu 2원계 및 Fe-Cu-X(X = Ag, Co, Sn) 3원계 합금의 화학적 조성설계, 전기저항, 자성 및 경도 특성을 조사하였다. Fig. 1은 반도체 테스트 소켓 제조공정에 관한 모식도 및 상용 제품사진을 나타낸 것이다.

II. 실험 방법

본 연구에서 시도한 합금조성 범위는 Fe-(3~70)wt%Cu 2원계 및 Fe-Cu-X(X = Ag, Co, Sn) 3원계 합금이며, 합금시료의 제조는 상용 시약 급 순도 99%이상의 원료금속을 전자저울로 천평하여 알루미나(혹은 마그네시아) 도가니에 장입하여 고주파 유도 진공용해로를 이용하여 용해하여 수냉식 동몰드에 냉각한 후, 절단(25 mm × 25 mm × 6 mm), 열처리(250~800 °C, Ar 분위기), 연마 및 버핑하였다. 준비된 합금잉곳의 전기저항은 4 point 표면저항기, 자속밀도(Bs)는 진동시료 자성 측정기(VSM), 경도는 마이크로 비커스 경도기(Hv)로 측정하였으며, 일부의 합금시료는 미세조직 관찰 및 상 분석을 위해 OM/XRD로 분석하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. Fe-(3~70%)Cu 2원계 합금

Table I은 본 연구에서 조사된 Fe-(3~70)wt%Cu 2원계 합금의 전기저항, 자성(자속밀도) 및 경도, 그리고 열처리 조건을 나타낸 것이다. 우선 전기저항의 경우에는 Cu 첨가량이 3~12w%Cu까지의 합금은 순 철(pure Fe)보다 크게 증가하였지만, 12w%Cu 이상 첨가하면 비교적 선형적으로 감소하여 Fe-50wt%Cu 합금에서는 순 니켈(pure Ni)보다 낮은 값이 얻어졌다. 이러한 결과는 우선 Cu의 첨가량이 적은 합금(3~12w%Cu)은 불순물 농도에 의한 마시젠의 규칙(Matthiessen's rule, $\rho_i = AC_i(1 - C_i)$과 혼합법칙($\rho_i = \rho_\alpha V_\alpha + \rho_\beta V_\beta$, V와 ρ는 각각 상에 대한 체적 분율과 비저항)에 의존함을 알 수 있었다. 하지만 Cu 첨가량이 12% 이상 증가하면, Fig. 2에 나타낸 Fe-Cu 2원계 평형상태도[13]에서 알 수 있듯이, Fe-rich 측의 αFe(Cu_3Fe_{17})와 Cu-rich 측의 εCu(fcc) 고용체(S.S.)의 체적 분율의 변화에 의한 혼합법칙(rule of mixture)에 더욱 의존하기 때문인 것으로 추정되었다. 또한 합금의 자성(자속

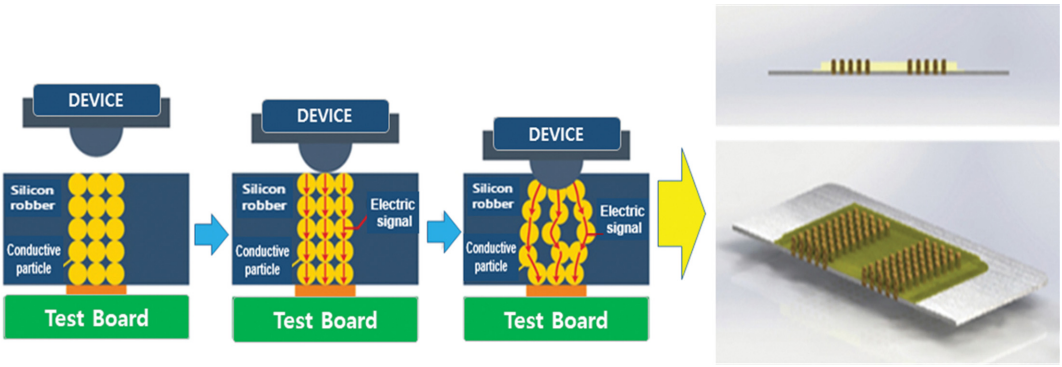

Fig. 1. (Color online) A schematic diagram of a commercial product photograph for IC semiconductor test socket.

Table I. Results of electrical resistance, magnetism and hardness of Fe-(3~70%)Cu binary system alloys attempted in this study.

Alloy composition (wt%)	Heat treatment and properties				Rep.
	Electric resistance (ρ, 10^{-8} Ω·cm)	Saturation magnetic flux density (Wb/m^2, T)	Hardness (HV)	Heat treatment condition	
pure Ni	6.8	0.52	105.6	-	
pure Co	5.7	1.38	253	-	
pure Fe	10.7	1.94	150	-	
Fe-3wt%Cu	12.4	2.0	175.6	500 °C × 5 h	
Fe-5wt%Cu	13.6	1.9	237.9	〃	
Fe-8wt%Cu	13.2	1.9	248.9	〃	
Fe-10wt%Cu	14.0	1.8	284.7	〃	
Fe-12wt%Cu	14.3	1.8	297.8	〃	
Fe-15wt%Cu	10.2	1.7	281.3	〃	
Fe-20wt%Cu	9.7	1.6	280.8	〃	
Fe-30wt%Cu	8.5	1.5	245.1	〃	
Fe-40wt%Cu	7.4	1.1	220.6	〃	
Fe-50wt%Cu	6.5	0.9	209.8	〃	
Fe-60wt%Cu	-	-	-	〃	heavy segregation
Fe-70wt%Cu	-	-	-	〃	〃

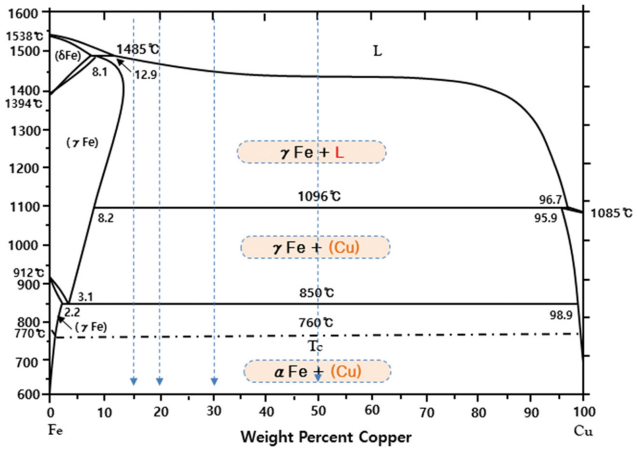

Fig. 2. (Color online) Equilibrium phase diagram of Fe-Cu binary system [15].

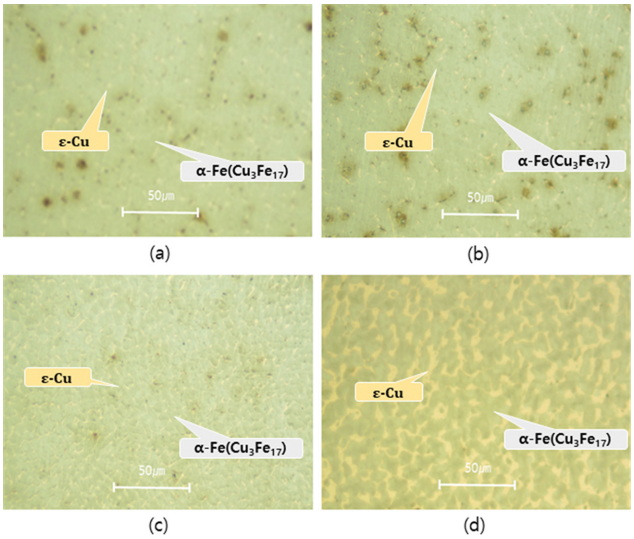

Fig. 3. (Color online) Photomicrographs of Fe-Cu alloy samples prepared by heating at 500 °C for 5 h; (a) Fe-15wt%Cu alloy, (b) Fe-20wt%Cu alloy, (c) Fe-30wt%Cu alloy and (d) Fe-50wt%Cu alloy.

밀도)은 Cu 첨가량이 증대함에 따라 비교적 선형적으로 감소하였지만, Cu 첨가량이 50 wt% 함유한 경우에도 자성(Bs) = 0.9(T) 및 경도(Hv) = 209.8(Fe의 1.4배 이상)이 얻어짐으로써, 기존 전도성 합금분말로 사용되는 순 니켈보다 우수한 특성이 얻어졌다.

한편 본 연구에서 시도한 Fe-60wt%Cu 및 Fe-70wt%Cu 합금시료는 심한 편석(segregation)이 발생되어 측정이 불가하였다. 원래 Fe-Cu 2원합금은 Fig. 2의 Fe-Cu 2원계 평형상태도에서 알 수 있는 바와 같이, αFe(bcc) 및 εCu(fcc) 고용체 외에도 γFe(fcc) 및 δFe(bcc)가 존재한다. 또한 2개의 포정반응(peritectic reaction)과 1개의 공석반응(eutectoid reaction)이 일어나며, 1096 °C 이상 고온에서는 γ-Fe(fcc) 고상과 액상(L)의 공존 영역이 광범위하게 존재할 뿐만 아니라, 액상 용해도 차이(liquid miscibility gap)에 따른 L_1(bcc Fe-rich phase)과 L_2(fcc Cu-rich phase)이 존재하므로, 실제로 합금 잉곳 제조 시 편석(segregation)이 발생하는 것이 알려져 있다[16].

Fig. 3 및 Fig. 4는 Table I에 나타낸 Fe-(3~70%)Cu 2원계 합금시료 중, (a) Fe-15w%Cu, (b) Fe-20w%Cu, (c) Fe-30w%Cu 및 (d) Fe-50w%Cu의 미세조직 관찰 및 XRD 분석 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3은 상기한 4종류 합금의 광학현미경(OM)에 의한 미세조직 관찰 결과로서, Cu첨가량 변화에 따라 Fe-Cu 2원계 평형상태도에서 알 수 있는 Fe-rich

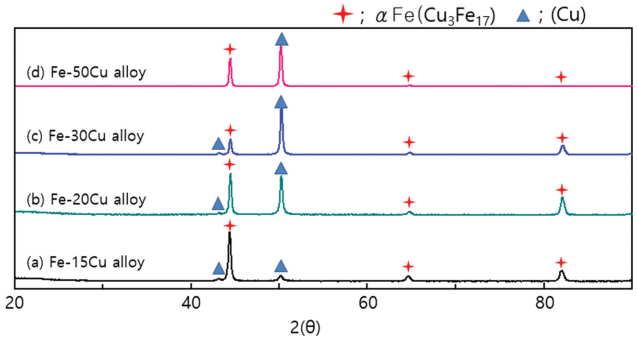

Fig. 4. (Color online) Comparison of XRD patterns of Fe-Cu alloy samples prepared by heating at 500 °C for 5 h; (a) Fe-15wt%Cu alloy, (b) Fe-20wt%Cu alloy, (c) Fe-30wt%Cu alloy and (d) Fe-50wt%Cu alloy.

측의 αFe(bcc)와 Cu-rich 측의 εCu(fcc) 등의 고용체(S.S.)로 추정되는 2개의 상이 관찰되었다. 또한 Fig. 4에 나타낸 합금의 XRD 분석결과는 Fig. 3에 나타낸 합금시료와 동일한 것으로서 Cu 함유량이 증대함에 따라 고용체 εCu peak의 강도가 증가함과 동시에 αFe(Cu_3Fe_{17}) peak의 강도가 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 상분석의 결과는 OM에 의해 관찰된 합금의 미세조직과 일치함을 알 수 있다.

이상과 같이, 본 연구에서는 수행된 Fe-(3~70)wt%Cu 2원계 합금의 전기저항은 기본적으로 마시젠 규칙에 의존하지만, 특히 합금 중 Cu의 함유량 증가에 따라 εCu 고용체 상의 체적 분율의 증가, 즉, 혼합법칙에 의한 체적 분율의 증대가 주요 원인인 것으로 추정되었다. Fig. 5는 Fe-(3~70)wt%Cu 2원계 합금 중, Fig. 3 및 Fig. 4에 나타낸 합금시료를 VSM으로 측정한 자화곡선을 나타낸 것으로 Cu의 함량에 따라 자성, 즉, 포화자화(Ms = emu/g)이 감소함을 알 수 있었다. 이들 포화자화(Ms)는 합금밀도를 고려하여 포화자속 밀도(Wb/m^2, T)로 환산하여, 이하 합금의 자성(Bs)으로 약하였다. 또한 합금의 경도는 Cu의 함유량 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

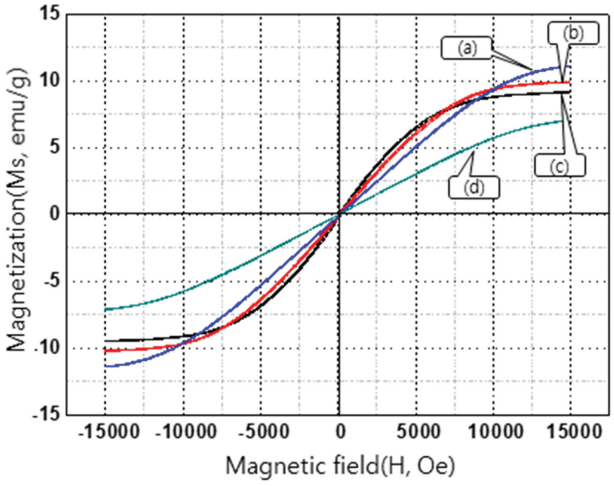

Fig. 5. (Color online) Comparison of magnetic properties curves of Fe-Cu alloy samples were measured by the VSM; (a) Fe-15wt%Cu alloy, (b) Fe-20wt%Cu alloy, (c) Fe-30wt%Cu alloy and (d) Fe-50wt%Cu alloy.

3. Fe-Cu-X(X = Ag, Co, Sn) 3원계 합금

Fe-Cu-X 계 3원계 합금은 전절에서 확보한 Fe-(3~70)wt%Cu 2원계 합금의 특성평가 결과를 토대로 해서, 주기율표에서 Ni보다 전기저항이 낮은 원소 중, Ag, Co, Sn 등의 제3원소를 Fe를 대체하여 다양한 화학적 조성비로 변화시켜 Fe-Cu-X 3원계 합금을 제조하여 특성을 조사하였다. 첨가원소의 종류 및 첨가량에 따른 효과 및 특징 등을 설명하면 다음과 같다.

은(Ag)은 전기저항이 1.59×10^{-8} Ω·m로 금속원소 중 가장 우수한 원소로서, 대부분 합금의 전기저항은 예상대로 다소 감소하였다. Fig. 6은 본 연구에 수행된 합금시료 중, Fe-20wt%Cu-(0.1~2.0)wt%Ag계 합금에 대한 결과로서, 전기저항은 Ag의 첨가량이 1.5 wt%까지는 Fe-20wt%Cu보다 감소하

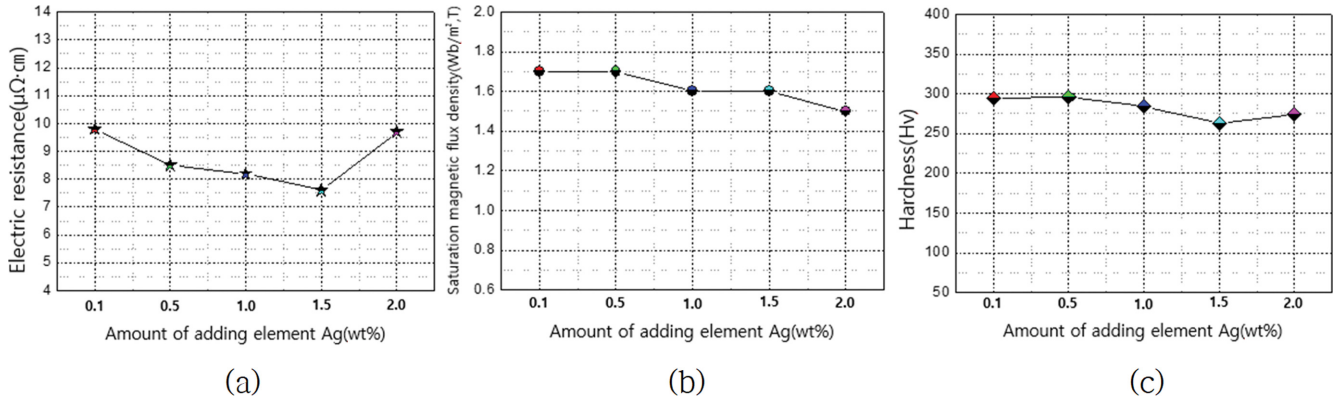

Fig. 6. (Color online) Comparison of electrical resistance (a), magnetism (b) and hardness (c) according to the addition of element Ag in Fe-20Cu-(0.1~2.0)Ag ternary system alloys prepared by heating at 500 °C for 5 h.

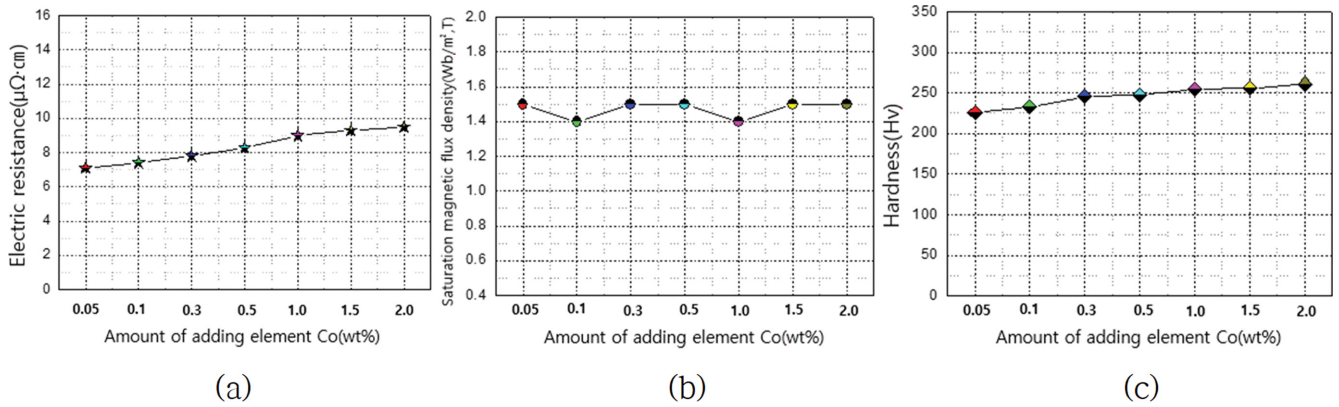

Fig. 7. (Color online) Comparison of electrical resistance (a), magnetism (b) and hardness (c) according to the addition of element Co in Fe-30Cu-(0.05~2.0wt%)Co ternary system alloys prepared by heating at 500 °C for 5 h.

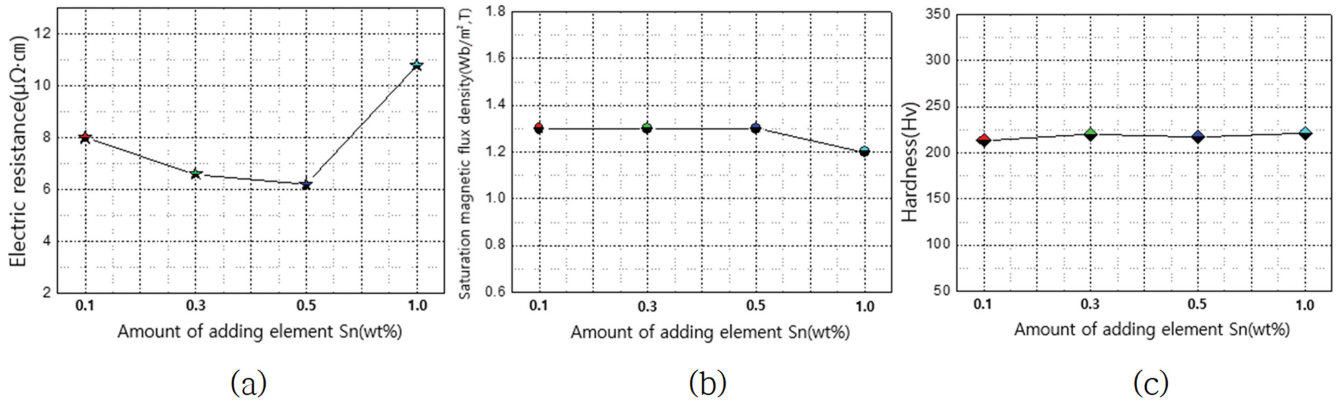

Fig. 8. (Color online) Comparison of electrical resistance (a), magnetism (b) and hardness (c) according to the addition of element Sn in Fe-40Cu-(0.1~1.0wt%)Sn ternary system alloys prepared by heating at 500 °C for 5 h.

지만, 2.0 wt%의 시료는 크게 증가하였다. 특히 2.0 wt% 이상 합금의 전기저항이 오히려 크게 증대하는 이유는 Fe-Ag 2원계 및 Cu-Ag 2원계 합금 사이에서 존재하는 Fe와 Cu 금속의 Ag에 대한 고용도(solubility)의 차이, 즉, Fe-Ag 2원계의 αFe는 0.05 wt% 이하, Cu-Ag 2원계의 (Cu) 고용체에서는 약 8 wt%로 차이가 크기 때문인 것으로 추측되었다. 또한 자성(자속밀도) 및 경도의 감소는 원래 Ag는 반자성체(antiferromagnetic substance)이며, 경도가 Fe보다 낮기 때문인 것으로 생각되었다.

코발트(Co)는 강자성체일 뿐만 아니라, 비저항이 5.68×10^{-8} Ω·m로 Ni보다 작고 경도가 크기 때문에 합금의 전기저항 감소 및 경도 향상에 효과가 예상되었다. Fig. 7은 본 연구에서 수행된 다양한 조성변화에 대한 합금 중, Fe-30wt%Cu-(0.05~2.0)wt%Co계 합금의 특성을 나타낸 것이다. 전기저항은 Co 첨가량 증가에 따라 선형적으로 증대하였다. 그러나 0.5 wt%Co까지는 Table I에 나타낸 Fe-30wt%Cu 2원 합금보다 감소하였으며, 또한 경도는 예상대로 다소 증가하였다. 한편 자성(Bs)은 Co 첨가량이 증가함에 따라, 즉, Co는 원래 보아자자(Bohr magneton)가 1.7로서 Fe(2.12)보다 작기 때문에 자속밀도(Bs)는 감소할 것으로 예상되었다. 그러나 Fig. 7(b)에 나타낸 바와 같이, Co 첨가량 증가에 따라 큰 차이가 없는 것으로 확인되었으며, 오히려 측정 오차로 생각되어 향후 보다 상세한 보충실험이 필요한 것으로 판단되었다.

주석(Sn)은 원래 비저항이 12.8×10^{-8} Ω·m로 Fe 및 Cu에 비해 비교적 크지만, 원래 Cu같이 반자성체이며, Fe-Sn 2원계 및 Cu-Sn 2원계 합금에 다수의 다양한 고용체 및 금속간 화합물이 존재하므로 전기저항 감소 및 자성증대 효과보다는 경도 상승효과가 기대된 원소이다. Fig. 8은 본 연구에서 수행된 여러 합금조성 중, Fe-40wt%Cu-(0.1~1.0)wt%Sn 3원계 합금에 대한 결과이다. 우선 전기저항의 경우 Sn의 첨가량에 따른 변화가 비교적 큰 것으로 났지만, Fig. 7(a)에 나타낸 0.5 w% 첨가한 합금시료는 약 6.2×10^{-8} Ω·cm으로서, Table I에 나타낸 Fe-40wt%Cu 2원 합금시료의 7.4×10^{-8} Ω·cm에 비하면 약 16% 정도 감소하였다. 1.0 w% 함유한 시료는 크게 증하였다. 자성(Bs)은 예상대로 크게 감소하였으며, 경도는 첨가량에 따라 큰 변화는 없지만 약간의 상승효과가 있는

것으로 나타났다. 한편 Sn은 Fe-Cu 2원계 합금 용해 시 고온에서 액상 용해도 차이에 따른 영향을 주는 원소로 알려져 있으므로, 합금잉곳의 균질한 조직을 얻기 위해 적정량의 첨가가 필요할 것으로 판단되었다.

IV. 결 언

본 연구는 IC 반도체 테스트 소켓의 전기적 특성 향상을 위해 우수한 전도성뿐만 아니라, 테스트 소켓 제조의 용이성 및 수명 향상 요구에 부합하는 자성 및 경도를 갖는 새로운 합금개발을 위해 Fe-Cu 2원계 합금 및 Fe-Cu-X(X = Ag, Co, Sn) 3원계 합금조성을 이용하여, 고주파 유도로 용해에 의한 합금잉곳 제조, 열처리 및 물성 평가(전기저항, 자성 및 경도) 등을 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

[1] Fe-Cu 2원계 합금의 경우, 우선 전기저항은 Cu 첨가량이 3~12 wt%까지는 증가하였지만, 15 wt% 이상이 되면 감소하여 50 wt%에서는 Ni보다 낮은 값이 얻어졌다. 이러한 결과는 전기저항이 낮은 εCu 고용체(S.S.) 상의 체적 분율의 증가로 인한 것으로 판단되었다. 자성(Bs)은 Cu 첨가량이 증가함에 따라 감소하였지만, Fe-50wt%Cu 합금은 0.9(T)로 Ni의 0.52(T)보다 1.7배 이상으로 매우 큰 값이 얻어졌다. 한편 경도는 200(Hv) 이상으로 철(Fe)보다 1.4배 이상으로 비교적 높은 값이 얻어졌으며, 이러한 결과는 Fe-Cu 2원계에 존재하는 α-Fe(bcc) 및 εCu(fcc)의 고용체의 체적 분율에 기인하는 것으로 추정되었다.

[2] Fe-Cu-X(X = Ag, Co, Sn) 3원계 합금은 첨가원의 종류 및 첨가량에 따라 물성변화 및 특징을 간략하게 요약하면 다음과 같다. 은(Ag)은 전기저항 감소효과가 비교적 큰 것으로 나타났지만, 자성(자속밀도) 및 경도는 다소 감소하기 때문에 첨가량 효과는 대체적으로 미약한 것으로 나타났다. 코발트(Co)는 첨가량 증대에 따라 전기저항이 다소 증가하지만, 0.5 wt%까지는 Fe-30wt%Cu 2원 합금보다 감소하였다. 또한 자성(Bs)은 약간 감소할 것으로 예상되었지만 큰 차이가 없을 뿐만 아니라, 경도가 약간 증가하므로 첨가효과가 비교적 양호한 것으로 나타났다. 주석(Sn)은 첨가량 증가에 따라 전기저항이 증가하지만, 0.5 wt%까지 첨가할 경우 약 16%까지 감소하였다. 또한 자성(자속밀도)은 예상대로 크게 감소하였지만, 경도는 첨가량에 따라 다소 증가하는 것으로 볼 때 첨가효과 비교적 큰 것으로 나타났다.

이상과 같이 본 연구에서 시도한 Fe-Cu 2원계 합금 및 Fe-Cu-X 3원계 합금 중, 몇몇의 합금조성은 기존 전도성 분말로 사용되는 순 Ni보다 우수한 특성이 얻어짐으로써, 향후 기존에 사용되는 Ni의 대체 소재로써 채택 가능성이 높은 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 산업통산자원부 Kiat 기반구축사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

[1] Korean registration patent, No.10-1266124, 2013.
[2] Japanese Patent Application Laid-Open, No. 2014-538736 (P2014-538736).
[3] Japanese Patent Application Laid-Open, No. 2015-513956 (P2015-513956).
[4] Korean registration patent, No. 10-1672935, 2016.
[5] Korean registration patent, No. 10-1735774, 2017.
[6] Korean publicized patent, No. 10-2020-0110012, 2020.
[7] Korean registration patent, No. 10-1823004, 2018.
[8] C. M. Lin, W. C. Chen, and W. Fang, J. Micromech Microeng. **17**, 2461 (2007).
[9] C. Cho, S. Kim, D. Kong, J. Nam, and B. Kim, Japanese J Applied Physics **50**, 6S (2011).
[10] B. Tunaboylu, IEEE Transactions on Device and Materials Reliability **14**, 580 (2014).
[11] M. J. Che, J. A. Yoo, S. M. Kim, T. H. Lee, C. B. Song, Koer J. Mater. Res, In proceedings of Korean Society for Spring Conference (2019), pp. 5~6.
[12] I. H. kim, S. Kim, T. H. Lee, and C. B. Song, J. Korean Magn. Soc. **30**(6) (2020).
[13] T. B. Massalski, Binary alloy Phase Diagram 2nd Edition, 2 ASM (1986) pp. 1408~1409.
[14] I. Ohnuma, T. Saegusa, Y. Takaku, C. P. Wang, X. J. Liu, R. Kainuma, and K. Ishida, J. Electron. Mater. **38**, 1, (2009).