

전자재료용 동합금의 개발현황



김창주

(KIMM 재료기술연구부)

- '47-'71 성균관대학교 금속과(학사)
- '73-'76 서울기계공고 교사
- '76-'78 연세대학교 산업대학원 재료과(석사)
- '82-'86 부산대학교 대학원 금속과(박사)
- '79-현재 한국기계연구원 책임연구원



이정무

(KIMM 재료기술연구부)

- '85-'89 서울대학교 금속공학과(학사)
- '89-'91 서울대학교 대학원 금속과(석사)
- '91-현재 한국기계연구원 연구원

1. 머릿말

동합금은 IC나 LSI의 실현과 앞으로 예상되는 VLSI(Very Large Scale Integration), ULSI(Ultra Large Scale Integration) 등의 개발에 따라 도전재료로서 요구되던 종래의 단순한 동의 특성이 합금화하면서 다양해지고 있다.

IC(집적회로)를 중심으로한 일렉트로닉스 반도체산업의 성장은 경박단소(輕薄短小)라는 용어를 낳게 하였으며, 그의 의미는 장치, 기기 및 부품에 있어서 자원, 에너지, 공간, 효율 및 기능 등의 경제효과를 극대화시키는 방법인 것이다. 이러한 방향은 모든 산업에서 추구하고 있으며, 앞으로도 지속적으로 성취해야하는 필연적인 과제가 될 것이다. 그리고 LSI(차세대에는 VLSI, ULSI)를 중심으로한 광통신, 메카트로닉스, OA(Office Automation), FA(Factory Automation) 및 HA(Home Automation) 등의 고도정보기기의 개발과 운용도 역시 당면한 중요 과제이다.

예를 들어 컴퓨터가 통신기술을 결합하면 정보통신 시스템을 구사하게 되고, 이는 폭넓은 경제활동과 기업활동을 활성화하며, 사회생활이나 가정생활도 통합 디지털 통신서비스, 유선 TV 등과 같은 매체를 통하여 정보 통신 고도화를 실현시킬 수 있다.

따라서 현재의 전자용 동합금재료라 하면 종래의 도전재료인 순동(純銅)이라는 관념을 넘어, 본래의 도전성은 가능한한 해치지 않으며 기계적인 강도의 향상과 새로운 기능을 부여하려는 합금화의 중요성이 증대되어 많은 연구개발이 시도되고 있으며, 다음에 설명하는 분야 등에 부품재로서 다양하게 적용되고 있다.

2. 동합금의 실용현황

2.1 전자부품에 사용되는 동합금

2.1.1 반도체 package용 동합금

반도체소자, IC는 package 기술의 진보에 따라 사용되는 리드재를 비롯한 접속재도 무산소동(C1020), tough-pitch동(C1100), 인탈산동(C1201) 등의 순동계에서 Cu-Ag계, Cu-Sn계, Cu-Fe계 등의 저합금, C19400, C19500 등의 Cu-Fe-P계와 같은 화합물석출분산형 합금, C5191, C5212 등의 인칭동계 합금까지 광범위하게 이르고 있다.

표 1, 표 2, 표 3 및 표 4는 각각 고도전형(도전률 IACS 86%이상, 인장강도 500MPa 미만), 고강도 고전전형(도전률 IACS 70~85%, 인장강도 450MPa 이상), 고강도 중도전형(도전률 IACS 30~70%, 인장강도 450MPa 이상) 및 고강도형(도전률 IACS 30% 미만, 인장강도 500MPa 이상)으로 분류한 것으로, 현재 lead재 및 접속용으로 실용화되어

있는 동합금들의 성분 및 특성이다. 그리고 이들 소재의 형상은 주로 원형 및 이형 선재나 스트립이 대표적이다.

이러한 소재는 전자기기에 있어서 사용하는 반도체의 종류, package의 형상과 종류등에 따라서 요구되는 특성이 다르며, 대개 아래와 같은 특성으로 대별할 수 있다.

- 1) 1차 특성: package 설계에 필요한 물성치, 기계적 성질
- 2) 성형성: stamping, etching 등의 가공공정
- 3) 2차 특성: package의 용이성, 표면성상, 물리화학적 현상 및 신뢰성

한편 국내의 경우 컴퓨터를 비롯한 전자기기의 수요증대와 성능 고도화 추세에 맞추어 소재의 수요량과 특성향상의 요구는 향후 폭등될 것으로 본다. 그 예로서 일본의 경우를 보면, 1992년을 기준하여 월간 8,000톤 이상이 되며 금액으로는 1,600억엔 이상이 된다. 이를 국내의 실정에 비추어 추산하면 1/20의 규모로 보아도 연간 7,000~8,000 억원의 규모임을 알 수 있다.

표 1 고도전형 동합금

합금명	표준조성 (wt%)	대표적인 특성					제조사
		인장강도 (MPa)	연신률 (%)	도전률 (%IACS)	열팽창계수 (10 ⁻⁶ /°C)	연화온도 (°C)	
무산소동 (C1020)	99.96Cu 10ppm O ₂	372	6	101	17.7	220	-
Cu-Zr (CA151)	0.15Zr bal Cu	470	10	90	17.5	480	Olin
Cu-Ag (CA155)	0.08Ag, 0.1Mg 0.06P, bal Cu	441	4	86	17.7	400	三菱
Cu-Fe (KFC) (C19210)	0.1Fe, 0.03P bal Cu	412	4	90	17.2	400	古河 三菱
Cu-Sn (EFTEC-3S)	0.15Sn, 0.01P bal Cu	412	4	90	17.7	375	神戸 三菱
Cu-Co (Cuprofor)	0.22Co, 0.07P bal Cu	490	6	88	17.0	500	-
EFTEC-6 (C18030)	0.15Zr, 0.1Sn bal Cu	320-440	0-8	90	17.2	-	古河

표 2 고강도·고도전형 동합금

합금명	표준조성 (wt%)	대표적인 특성					제조사
		인장강도 (MPa)	연신률 (%)	도전률 (%IACS)	열팽창계수 (10 ⁻⁶ /°C)	연화온도 (°C)	
DK-3	0.15NiB, 0.05P 0.07Sn, 0.20Fe bal Cu	380-500	0-8	75	17.3	-	同和
-	0.3Cr, 0.25Sn 0.1Zn, bal Cu	350-650	5-8	75-80	17.0	-	-
-	0.3Cr, 0.05Mg 0.1Zr, 0.02Si bal Cu	480-640	5-9	80	17.1	-	-
-	0.55Cr, 0.25Zr bal Cu	500	10	85	17.7	-	-
C197	0.6Fe, 0.08Mg 0.3Ti, bal Cu	600-700	-	72	17.6	-	Olin
MCL-1	0.25Cr, 0.1Zr bal Cu	620	6	80	-	-	三菱
SLF-3	0.8Cr, 0.1Sn bal Cu	520	13	80	-	-	住鐵
Al-35	0.35Al(Al ₂ O ₃) bal Cu	588	11	85	20.0	700	Kabell

표 3 고강도·중도전형 동합금

합금명	표준조성 (wt%)	대표적인 특성					제조사
		인장강도 (MPa)	연신률 (%)	도전률 (%IACS)	열팽창계수 (10 ⁻⁶ /°C)	연화온도 (°C)	
Cu-Fe (CA194)	2.3Fe, 0.12Zn 0.03P, bal Cu	450	5	65	16.3	400	Olin 三菱
Cu-Fe-Co (CA195)	1.5Fe, 0.8Co 0.6Sn, bal Cu	617	3	50	16.9	425	Olin
Cu-Fe-Sn (Tamac-5)	1.0Fe, 1.25Sn 0.1P, bal Cu	510	4	40	16.7	420	-
Cu-Fe (EFTEC-4S)	2.4Fe, 0.5Zn	470	4	65	16.3	400	-
Cu-Fe (EFTEC-5)	1.0Fe, 0.5Zn 0.5Sn, bal Cu	550	12	50	-	-	古河
Cu-Sn (EFTEC-8)	2.0Sn, 0.15Zr bal Cu	550	13	35	-	-	古河
Cu-Ni (EFTEC-8)	0.25Ti, 1.5Ni 2.0Sn, 0.5Zn bal Cu	650	10	35	-	-	古河

技術現況分析

합금명	표준조성 (wt%)	대표적인 특성					제조사
		인장강도 (MPa)	연신률 (%)	도전률 (%IACS)	열팽창계수 (10 ⁻⁶ /°C)	연화온도 (°C)	
Cu-Sn (CA505)	1.25Sn bal Cu	451	8	40	17.6	350	古河
Cu-Sn (S-1)	1.0Sn bal Cu	430	16	40	-	-	古河
Cu-Sn (CA501)	0.7Sn bal Cu	420	6	60	17.6	325	-
Cu-Zn (CA220)	10Zn bal Cu	421	5	44	18.2	275	-
Cu-Zn (CA220)	15Zn bal Cu	430	8	37	18.6	400	-
Cu-Ni-Si (KLF-1)	3.2Ni, 0.7Si bal Cu	608	9	55	17.0	570	-
Cu-Ni-Si (KLF-16)	3.2Ni, 0.7Si bal Cu	480	6	65	-	-	神戸
Cu-Fe-Sn (KFL-5)	2.0Sn, 0.1Fe bal Cu	588	9	35	16.5	430	-
Cu-Fe-Sn (KFL-125)	1.25Sn, 3.2Ni 0.7Si, bal Cu	600	7	35	-	-	神戸
Cu-Sn-Ni (MF202)	2.0Sn, 0.2Ni bal Cu	539	11	30	17.0	400	-
Cu-Sn-Ni	2.0Sn, 0.2Ni 0.1Zn, bal Cu	500-600	9	32	17.7	400	-
C19520	0.85Fe, 0.30P 0.85Sn, bal Cu	420-600	4-10	45	16.7	-	-
C19750	0.6Fe, 0.05Mg 0.2P, 0.23Sn bal Cu	550	-	65	17.3	-	Olin
ML21	0.6Fe, 0.08Mg 0.3Ti, bal Cu	620	9	50	17.7	-	三井
-	1.6Ni, 0.4Si 0.3Zn, bal Cu	400-550	5-16	58-67	17.2	-	-
C64710	3.2Ni, 0.7Si 0.3Zn, bal Cu	500-600	8-15	55	17.0	-	-
C70250	3.0Ni, 0.65Si 0.15Mg, bal Cu	690	-	45	-	-	Olin
-	3.2Ni, 1.25Sn 0.7Si, 0.3Zn bal Cu	680	9	35	17.0	-	-
MF202	2.0Mn, 0.2Ni bal Cu	550	11	30	-	-	三菱
NB105	1.0Ni, 0.5Sn bal Cu	550	7	50	-	-	-
PMC102	1.0Ni, 0.2Si 0.05P, bal Cu	500	6	60	-	-	豊山
K72	0.35Ti, 1.0Ni 0.3Cr, 0.9Sn bal Cu	550	8	650	-	-	Wicland

표 4 고강도형 동합금

합금명	표준조성 (wt%)	대표적인 특성					제조사
		인장강도 (MPa)	연신률 (%)	도전률 (%IACS)	열팽창계수 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	연화온도 ($^{\circ}\text{C}$)	
Cu-Sn (CA510)	5.0Sn, 0.1P bal Cu	549	12	15	17.8	325	-
Cu-Si-Sn (CA654)	3.0Si, 1.5Sn 0.07Cr, bal Cu	588	18	7	17.5	350	-
Cu-Ni-Sn (CA725)	9.0Ni, 2.3Sn bal Cu	637	7	11	16.5	500	神戸
TNB	4.0Sn, 0.6Fe bal Cu	600	8	22	-	-	三菱
C50700	2.0Sn, 0.15P bal Cu	530	3	30	17.8	400	-
C50900	4.0Sn, 0.20P bal Cu	600	5	20	17.9	400	-
C5191	6.0Sn, 0.2P bal Cu	650	10	18	18.0	400	古河 三菱
C5212	8.0Sn, 0.2P bal Cu	700	10	13	18.2	400	-

2.1.2 수동(受動) 부품용 동합금

저항, condenser로 대표되는 수동부품에 사용되는 동합금은 저항재료와 리드선으로, 후자의 경우가 많다. 종래에는 주석도금선과 피복동선이 주류를 이루었으나 고도화 추세에 따른 근래에는 합금선화 내지는 복합선화하는 경향이다.

합금선의 종류에는 Cu-Sn계 합금(저 Sn 합금인 C50100과 C50500), Cu-Fe계 합금(C19200, C19400), Cu-Zr계 합금(C15000, C15100), Cu-Zr-Cr계 합금 등이다. 이들 선재들에 대한 기계적 성질(인장강도)와 도전률의 비교를 그림 1에 나타내었다. 그리고 저항선은 주로 Cu-Ni계, Cu-Mn계 및 Cu-Ni-Mn계가 대표적이다.

2.1.3 기구(機構) 부품용 동합금

Switch, Relay, Connector 및 Contactor 등의 기구부품의 주요 구성재의 하나는 스프링재와 접

점재이다. 특히 동합금계 스프링재료는 다른 전자재료에 앞서서 통신기기용 스프링재료로서 발전해 왔다. 이들 접속류 부품 간에는 특정의 기능과 필요한 전기적 정보를 높은 충실도와 신뢰도로서 전달해야하는 역할이 있다. 그리고 종래에 있어서 재료의 종류를 보면 황동(C2680), 인청동(C3212), 양백(C7701), 베릴륨동(C1720), Cu-Ti계, Cu-Ni-Si계 및 Cu-Ni-Sn계 합금 등이 주류를 이루고 있다. 근래까지의 발전 추세를 알아볼 수 있는 방법 중의 하나로서, 재료강도의 변천을 인장강도 면에서 보면, 1950년대가 Cu-Zn계 합금으로 $50\text{Kg}/\text{mm}^2$ 정도였음에 비해 현재에는 Ni-Be계 합금으로 $200\text{Kg}/\text{mm}^2$ 까지 도달하여 10년 마다 $50\text{Kg}/\text{mm}^2$ 씩 증가한 결과가 된다.

동계 스프링재료에 특기되는 것은 wire spring relay용 Cu-Ni계 합금의 개발이며, 이는 그 후의 응용개발에 많은 기여를 했다. 그러나 Cu-Ni계

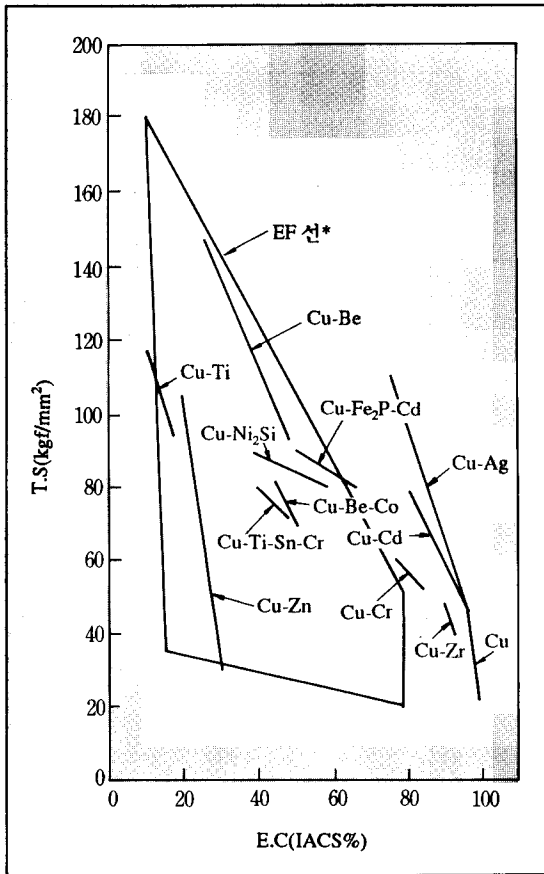


그림 1. 동피복선(銅被複線)과 동합금선의 기계적 성질과 도전률의 비교(EF 선* : 동피복선)

스프링재료는 step by step 방식 시대의 C7701이 있으나 응력부식감수성이 심하여 mold-in-type에는 부적당하여 C7101(Cupronickel)에 0.35~0.7% Si를 첨가한 석출경화형 합금이 개발되었다. 그리고 미국에서는 Cu-Ni-Sn계 합금의 개발이 시도되어 내식성과 납땀성이 우수한 C72500(Cu-9Ni-3Sn) 합금, 강화기구에 spinodal 분해를 이용한 Cu-9Ni-6Sn합금 등이 개발되어 connector에 채용되게 되었다. 그림 2에는 순동에 첨가한 첨가원소와 영율의 변화를 나타내었다. 그림 3에서와 같이 Cu계 합금에서 Ni의 첨가 특징은 내식성 외에 동에 첨가하는 원소로서 유일하게 영율을 향상시키므로 적합성이 크다.

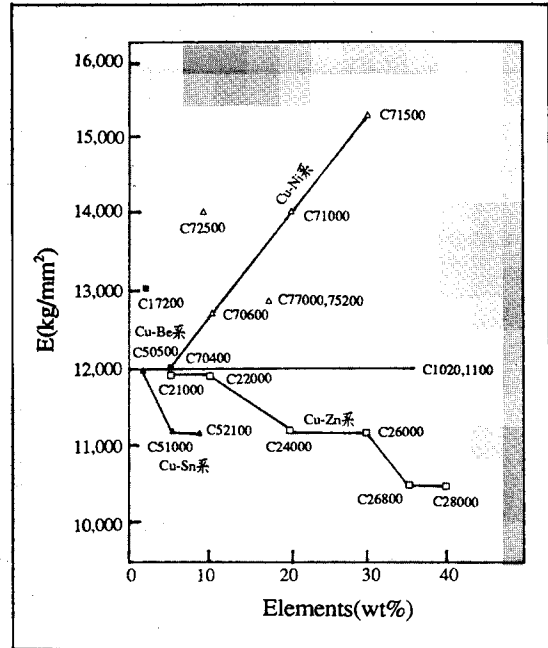


그림 2. 각종 첨가원소에 따른 동합금의 영율 변화

경우에 따라서 스프링재료의 기능은 강도, 자성, 열전도, 접점, 내마모 및 내습동성 등 다종다양한 특성의 조합을 요구한다. 따라서 이러한 요구에 맞는 단일 금속은 제조가 어려우므로, 서로 다른 특성을 갖는 재료를 조합한 복합재료(cladding재)가 필요하다. 그 형상은 보통 그림 3과 같이 분류되며, 전자재료의 경우는 접점 스프링으로 사용되는 경우가 많아, 신뢰성 면에서 피복재에는 귀금속이 많이 사용된다. 모재는 도전성, 비자성 등의 이유로 동계 스프링재료가 많이 쓰이며, 종래의 사용 예는 표 5와 같다.

1) Connector & Contactor 재료

대부분을 접하는 기관용 connector는 고밀도실장, 소형화의 경향에 의해 1차적으로는 다극화로서 ZIF(Zero Insertion Force)화의 경향이며, 2차적으로는 극소 pitch로서 IC package의 소형화에 맞추어 2.54mm pitch에서 1.78mm pitch로 축소되었다. 그 위에 half pitch connector로서는 1.27mm pitch의 제품화가 이루어졌다. 그리고 contactor면은 U자 형으로 압입하는 것 만으로도 자동적인 접속이 가능한 방식이 많다.

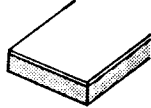
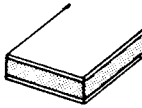
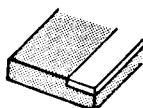
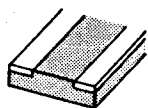
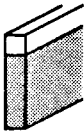
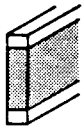
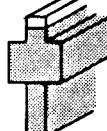
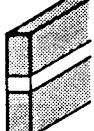
기본형식				
명 칭	over-lay	double-lay	in-lay	double-in-lay
기본형식				
명 칭	edge-lay	double-edge-lay	이형 edge-lay	through-lay

그림 3. Clad 재료의 형상과 명칭

표 5 전자부품에 사용되는 복합재료

용 도	모재 합금	접점 피복재	강도	전도	열전	내식	내마모	성형	접합
Connector	Cu-Sn	Au	0	0		0	0	0	0
	Cu-Be	Au-Ag							
	Cu-Zn	Au-Ag-Pd Ag							
Micro motor	Cu-Sn	Ag-Pd	0	0			0	0	0
	Cu-Ni-Zn	Au-Ag							
	Cu	Au-Ni							
Key switch	Cu-Sn	Au	0	0		0		0	0
	Cu-Zn	Au-Ag							
		Au-Pd Ag							
Relay micro Switch	Cu-Sn	Au	0	0		0		0	0
	Cu-Ni	Au-Ag							
	Cu-Zn	Au-Pd Ag							
Small switch	Cu	Ag		0	0			0	0
	Cu-Zn	Ag-Ni							
Slide switch	Cu-Sn	Ag	0	0		0	0	0	0
	Cu-Ni-Zn	Ag-Pd							
		Ag-Cu Au-Ag							

Connector용 접촉 스프링재료는 현재까지 Cu-Be합금과 인칭동이 주류를 이루며, 특히 Cu-Be합금은 고가이나 복잡한 형상을 갖는 connector에 적합하여 성형가공성과 신뢰성이 높은 스프링

특성을 갖는 석출경화형 재료로 대표적 위치를 점한다. 그러나 최근에는 이와같은 기존의 재료에 대해 새로운 기능을 부여하여 부가가치를 높이고 기기의 cost performance를 높이는 연구개발이 추

진되고 있다. 한 가지의 예로는 Cupro-Nickel을 기본으로 한 Cu-Ni-Sn 합금이 큰 성과가 있는 것으로 보고되어 있다.

Cu-Ni-Sn의 3원합금은 Cu보다 원자반경이 큰 Sn의 첨가로 커다란 정합왜(整合歪)를 얻어 경화시키는 특징으로써 Ni와 Sn의 배합에 관한 연구가 활발하다.

표 6과 그림 5는 개발결과의 예로서, 표 6에서 CA725 합금은 우수한 내식성과 납땀특성이 요구되는 전자부품에 적용할 목적으로 개발된 것으로, 현재 미국에서 connector 스프링재의 표준재료가 되고 있다. 이 합금은 인청동이나 양백과 동등한 강도를 갖고며, 영율이 높고 응력완화특성에 좋고, 납땀특성이 무엇보다 우수하다. 그리고 일본에서는 최근에 CA725 합금을 국산화함과 아울러 Cu-9Ni-6Sn 합금을 개발하여 실용화 단계에 이르고 있다는 보고도 있다.

2) Switch & Contactor 재료

스위치는 1차측 회로의 전원 절환, 2차측 회로의 절환, 위치, 압력, 온도제어 및 액면검출 등의 기능을 갖는 종류로 분류되나 최근 OA기기의 발전으로 2차측의 미소전류 및 신호의 절환이 주기능인 slide switch, DIP switch 및 key bord switch 등 실로 다양하다. 따라서 최근에는 TTL(Transister Transister Logic), C-MOS(상관성 금속산화막 반도체), microprocessor 등의 직접접속형이 증가하여, 10mA 정도의 개폐전류에 대한 접촉신뢰성이 요

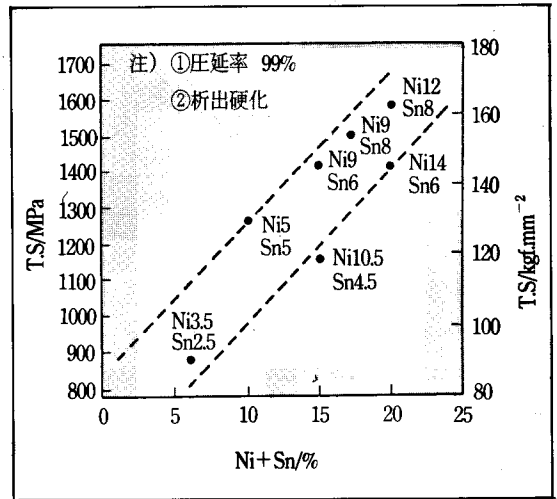


그림 4. Cu-Ni-Sn계 합금의 강도

구되므로, 보다 신뢰성이 높은 금속접점재료가 사용되고 있다.

금속접점의 특징은 (1) 접촉저항이 작고, (2) 접점구조의 자유도가 커야하며, (3) 접점개폐가 예민하여 ON-OFF 파형이 안정하여야 한다. 특히 최근에는 소형화의 경향에 따라 접점 스프링도 일층 박판으로 이행하고 있으며, 100 μ m 이하의 편두께인 박판에서는 Cu-Be 합금이 가장 신뢰성이 높다.

그리고 앞으로는 접점가공 방법이나 재료를 개량하여 신뢰도의 증진과 보다 효율적인 경제성이 고려되어야 한다.

표 6 고강도 동합금의 비교

합금종류	압연률	시험편 방향	항복강도(MPa)	최소 곡률반경(mm)
CA510 (인청동)	97.3	압연방향	755	12
		수직방향	657	2
CA762 (양 백)	97.4	압연방향	823	24<
		수직방향	725	12
CA725 (Cu-9Ni-2Sn)	89.0	압연방향	686	12
		수직방향	617	2
CA172 (Cu-Be)	96.5	압연방향	1,137	24<
		수직방향	931	10
Cu-9Ni-6Sn (spinodal 분해형)	98.4	압연방향	1,127	12
		수직방향	941	3

3. 동합금의 당면 개발과제

고도정보화 사회로의 진입에 따라 정보입력, 출력, 변환기기 및 주변기기는 그 성격상 소형화, 경량화, 고집적화 및 높은 신뢰성이 요구된다. 이를 위해서는 고집적화된 LSI, VLSI 및 ULSI가 실현되어야 하고 고실장밀도화된 SMT(Surface Mount Technology, 표면실장기술)의 방향이 예상된다. 이와같은 배경에서 볼 때 전자재료에 사용되는 동합금을 고찰해 본다.

3.1 반도체 package용 동합금의 기술과제

현재 사용되고 있는 lead frame, connector 및 contactor용 합금을 보면 Cu-Fe계, Cu-Sn계 및 Cu-Ni계로 대별할 수 있다. 이들을 인장강도(T.S)와 도전률(IACS%)의 관계로 보면 모두 낮은 수준의 것들이 많으며, 다음과 같은 합금 특유의 결점을 갖고 있다.

1) Cu-Fe계

Fe₃P가 주성분인 화합물의 석출분산강화와 내열성향상을 이용하고 있으나, 성형성, 도금성, 납땀성, 접합성 등에 결점이 있다. 또 자성을 갖는 경우도 있으며, 이는 Fe가 1% 이상의 고 Fe계에서 현저하나 Fe가 0.1%인 경우에도 무시할 수가 없다.

2) Cu-Sn계

C14410(0.15% Sn)은 내열 고전도합금의 대표이나 강도가 낮아 높은 도전률을 유지하면서 높은 강도를 얻기 위해서는 석출강화기구가 필요하다. 인청등은 42합금에 상당하는 강도를 갖지만 cost performance의 점에서 큰 기대는 어렵다. C50500의 개량으로서 개발된 Cu-2%Sn계는 Ni, Fe 및 Cr 등의 미량 첨가로 55Kg/mm², 30~35%IACS 정도의 특성을 얻을 수 있다. 고 Sn 합금의 일반적인 특성은 산화피막의 밀착성, 방열성 및 강도 등에서 만족스럽지 못하다.

3) Cu-Ni계

C72500은 도전성이나 가공성이 좋지 못하며,

납땀 접합부의 가열경시열화의 문제도 갖고 있다. Cu-Ni-Si계의 코르손합금은 Ni₃Si의 석출을 이용하여 T.S-E.C의 관계를 향상시킬 수 있었으나 과량의 Ni, Si에 의한 도전성이나 sub scale 등의 유해한 점도 고려할 필요가 있다.

3.2 기구부품용 동합금의 기술과제

기구부품의 구성은 개폐작동을 하는 전기접점부, 필요한 접촉압을 주는 부하가압부, 구동하는 자기회로와 전체를 고정하는 부분, 하우징부 및 단자부 등이며, 동합금이 관여하는 부분은 부하가압부의 스프링 재료와 단자재료가 주류를 이룬다. 단자재료는 반도체 lead frame 재료와 거의 동일한 과제로서, 동계 스프링재료와 복합재료의 기술과제를 열거한다.

1) 스프링재료

- 가) 고강도화 : 부품의 소형, 고탄성, 내응력 완화성, 내피로성
- 나) 내식성 : 내응력부식균열성
- 다) 경계성 : Cu-Be계의 대체 재료, Cu-Sn 합금에서 저 Sn화
- 라) 강화기술 : 신 강화기구(spinodal 분해, 석출분산 등), 신 가공열처리기술
- 마) 재료의 응력완화성을 고려한 스프링 설계 기술

2) 복합재료(점점 스프링재료)

- 가) 내환경성 : migration, 확산 및 응력부식균열 등
- 나) base metal 접점의 이용

3.3 동합금의 환경열화

향후 전자기기의 사용범위가 확대되면서 각종의 환경하에서 사용이 예상되므로 환경열화 인자의 영향을 받아 열화현상이 생기게 된다. 이러한 문제점들을 보면 대략 아래와 같이 열거할 수 있으며, 이의 해결은 신뢰성을 향상하는 데 필연적이다.

- 1) 피막생성 : 대기부식, 저온산화, 유화·할로겐

- 화, 고온산화, creep(유화 크립, 흡습 크립), 반응성 부착물(유기물 및 무기물)등
- 2) migration : 전해 migration(저온, 침수, 고습), 전자 migration, 크립 등
- 3) 확산 : 고체 확산(박막/모재, 접합 등), 固氣 확산(Cu의 H₂ 취화, Cu합금 내부산화, Ag/Cu의 산화 등)
- 4) 환경취성 : 응력부식균열, 부식피로, 수소취화
- 5) 기타

4. 동합금의 개발동향

전자재료로서의 동합금 개발은 광범위하나, 가장 대표적인 것은 반도체용 lead frame재, 기구부품용 connector & contactor재 및 수동부품용 저항선, 리드선재들이다.

4.1 새로운 lead frame 재료의 개발동향

SMD(Surface Mount Device, 표면실장용장치)가 개발의 주류가 된다고 볼때, package의 효율적 진전을 위해 lead frame의 역할은 종래 이상의 중요성을 갖는다. 소형 고밀도 package, 특히 QFP(Quad Flat Package)에서는 lead부가 접하는 역할이 증대된다. 다시 말하면, 고성능 lead frame 재료는 package의 신뢰성과 cost performance에 의해 결정되기 때문이다. lead frame 재료는 특히 열전도도, 열팽창계수, 반복굽힘 피로를 포함하는 강도가 중요하며 소형화 多 pin화의 요구에 따라 엄격한 규격을 요한다. 따라서 새로운 리드프레임 재료로서 채용하기 위해서는 보다 다양한 방면에서 물성이 개선되어야 하며, 다음과 같은 점들의 개선에 노력하고 있다.

- 1) 인성, 굽힘강도
- 2) 내식성
- 3) 도금성 및 접합성
- 4) 성형가공성(동일 평면성, 잔류응력)
- 5) 내구성(약 500°C)
- 6) 비자성(고급 음향기기에 적용할 경우)
- 7) 제조원가

위의 사항들을 요약하면 첫째, 정밀한 프레스 가공을 위해 적당한 인성, 기지경도 및 신률의

조화를 갖어야 동일 평면성이 좋으며 둘째, 본딩을 위해서 도금성이 좋을 것과 셋째, 고집적화에 대해 열방산이 좋아야하며 넷째, 경제성과 신뢰성이 따라야 함을 의미한다.

4.2 고성능 동합금의 개발

LSI, VLSI 및 ULSI의 실현, SMT 대응 package의 증가에 따라서 동합금이 갖는 전기 및 열전도성이나 영율의 특징과 함께 가공성형성이나 신뢰성 요인에 유의한 고성능 동합금의 개발의 요구가 많아지고 있다. 그림 5는 고성능 lead frame 재료로서 새로이 개발한 합금을 일반 합금과 기존의 lead frame 합금과 비교한 것이다. 새로운 lead frame 재료는 모두 고강도·고도전성 합금으로 석출강화, 분산강화 및 고용강화 기구를 조합한 개발방법임을 알 수 있다.

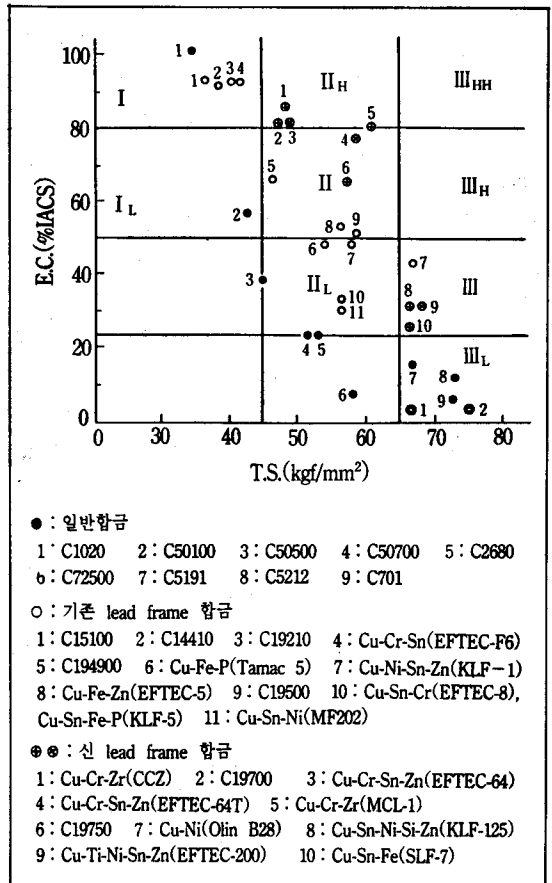


그림 5. 각종 lead frame용 동합금

1) II-그룹 합금

도전률 80% 이상, 인장강도 45~60Kg/mm²의 재료는 PLCC(Plastic Leaded Chip Carrier)나 SOIC (Small Outline IC) 등의 SMT 대응 장치에는 물론, 종래의 반도체 소자나 BIP·IC에도 적용되고 있다. 미국 Olin사의 C19700(Cu-0.6Fe-0.05Mg-0.2P) 외에 일본에서는 Cu-Cr-Zr계가 개발되고 있다. 고가인 Zr을 사용하지 않은 Cu-Cr-Sn계는 가공성형성, 도금성 및 납땀강도에서 치명적인 결점을 갖고 있다. 그러나 이러한 결점을 개량한 새로운 합금인 EFTEC-64/64T(Cu-0.3Cr-0.25Sn-0.1Zn)이 보고되어 기대를 모으고 있다.

한편 고강도·고도전성 합금으로써 가능성을 보이고 있는 Cu-Cr계 및 Cu-Cr-Zr계에 대한 연구결과의 한 예를 소개하면 다음과 같다.

가) Cu-Cr 합금

그림 6, 그림 7 및 그림 8은 Cu-Cr 2원합금에 있어서 880°C에서 열간압연한 시료에 대하여 960°C에서 1시간 유지 및 수냉하여 용체화처리하고 85% 냉간압연 후, 시효온도가 450°C인 경우의 Cr 함량에 따른 고용효과와 시효효과를 강도적인 면과 전기적 특성인 도전률을 통하여 관찰한 것이다.

그림 6에서 처럼, 용체화처리에 의한 Cr의 고용강화 효과를 보면 Cr의 함량이 증가됨에 따라 인장 및 항복강도가 완만하기는 하나 거의 직선적으로 증가한다. 이들 합금을 시효처리하면 인장 및 항복강도는 고용상태에 비해 평균적으로 15~16 kg/mm² 정도의 절대치 향상이 있고, Cr의 함량이 0.27%에서 0.45%로 증가한 경우에 증가폭이 크며 그 이상의 Cr함량 증가에 대해서는 완만하지만 직선적인 경향의 시효강화를 보인다.

그림 7에서 보면, 용체화처리 상태에서의 경도 변화는 Cr 함량의 증가에 따라 거의 직선적으로 증가한다. 이를 시효처리한 상태는 용체화처리 상태에 비해 절대치로 HRB 30 정도의 경도가 평균적으로 상승하였으며 Cr 함량증가에 따라서는 경도의 증가가 완만하다.

그림 8은 Cr의 고용 및 시효 상태의 도전률로서 각각의 경우에 Cr 함량이 고용한도 이내인 0.27%에서 고용한도 이상인 0.45%로 증가하면 다소

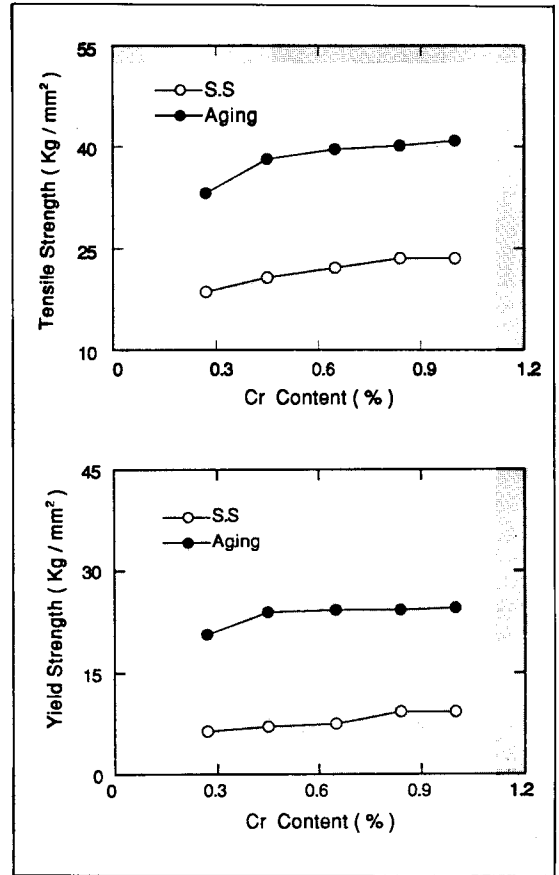


Fig.6 Effect of solid solution and aging on tensile and yield strength of Cu-Cr alloys.

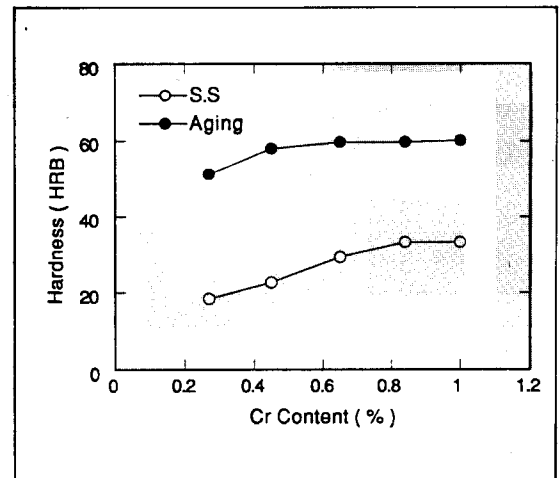


Fig.7 Effect of solid solution and aging on hardness of Cu-Cr alloys.

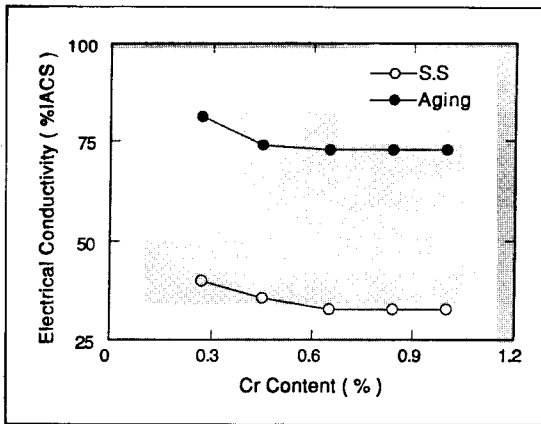


Fig.8 Effect of solid solution and aging on electrical conductivity of Cu-Cr alloys.

크게 저하하며 그 이상의 Cr 함량의 증가에 따라서는 완만하게 저하한다. 즉 도전률은 용체화 및 시효처리 상태에서 Cr의 증가에 따라 고용한도까지 저하가 크고 미고용 유리 Cr의 증가에 따라서는 저하하는 경향이 둔화하여 유리 Cr의 영향이 적음을 보인다.

한편, 시효상태에서는 고용상태에 비해 IACS 40% 정도의 평균적 도전률의 절대치 상승이 있으며, 이는 시효경화성 합금을 용체화 온도에서 급냉하면 용질원자의 고용에 따라 다량의 Vacancy를 형성하는 내부 결함에 의해 전기저항이 높아지고 적당한 온도에서 시효처리하면 용질원자가 석출되면서 전기저항은 다시 낮아지는 데 기인한다.

그림 9는 Cu-Cr 합금의 용체화처리 후 시효시 냉간압연률이 인장강도 및 경도에 미치는 영향이다. 모든 경우에 있어서 냉간압연률의 증가에 따라 시효 후의 강도와 경도는 증가하며 이는 일반적으로 냉간압연률 증가에 따라 기지내에 증가되었던 결함들이 시효시에 중간상 또는 석출물의 핵생성 Site로서 제공되는 기회가 많아져 시효강화 효과가 증대되었기 때문이다. 한편 Cu-0.27%Cr 합금의 경우는 전술한 바와 같이 Cr량이 고용한도 이내인 경우로 고용한도를 초과한 Cu-0.45%Cr 합금에 비해 상대적으로 낮은 강도와 경도를 보이며 그 이상 Cr 함량이 높아질수록 미고용 유리 Cr량에 비례한 분산강화 효과로 강도와 경

도도 높아지고 있다.

그림 10은 Cr 함량 및 압연율의 증가에 따른 시효 도전률의 변화로서 고용한도 이내인 Cu-0.27%Cr 합금의 평균적 도전률은 절대치가 가장 높고 고용한도를 다소 벗어난 Cu-0.45%Cr 합금은 급격히 저하하였으며 그 이상의 Cr 함량에 따라서는 미고용 유리 Cr량에 비례하여 저하하고 있다. 여기서도 시효시 용질원자에 의한 중간상 또는 석출물의 생성은 용체화 처리시에 나타난 Vacancy등의 내부결함을 소멸시키는 결과가 되어 도전률에 좋은 영향을 미치며 미고용 유리 Cr의 존재를 저해하는 요인이 되고 있음을 의미한다.

그림 11은 Cu-0.27%Cr 합금과 Cu-0.65%Cr 합금에서 시효온도에 따른 시효경도의 변화를 나타낸 것으로 400~425°C의 온도구간에서 2시간 유지하여 최고의 경도치를 얻을 수 있으며 그 이상의 온도나 시간에서는 과시효가 일어나고 있음을 나타내고 있다.

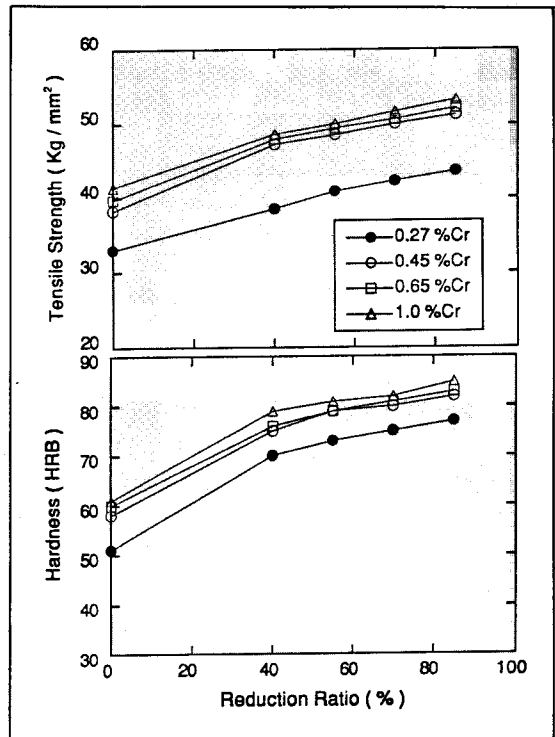


Fig.9 Effect of cold rolling and aging on tensile strength and hardness of Cu-Cr alloys.

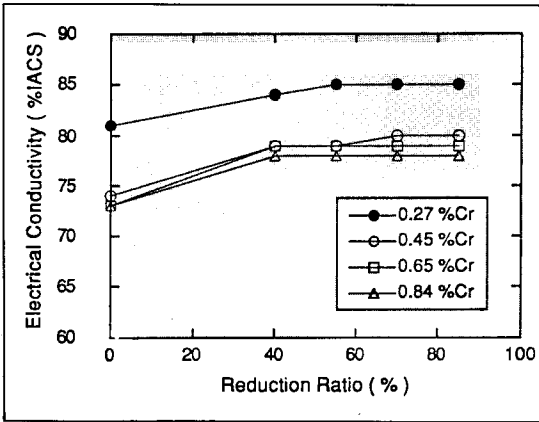


Fig.10 Effect of cold rolling and aging on electrical conductivity of Cu-Cr alloys.

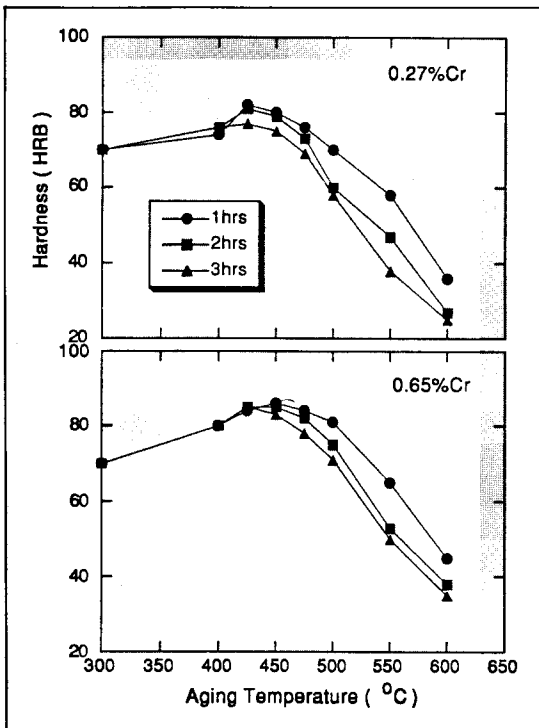


Fig.11 Effect of aging temperature on electrical conductivity of Cu-0.27%Cr & Cu-0.27%Cr alloys.

나) Cu-Cr-Zr 합금

그림 12는 Cu-0.2wt%Cr-0.2wt%Zr의 예로서, 880°C에서 열간압연한 시료에 대하여 960°C에서 1시간 유지 및 수냉하여 용체화처리하고 85%

냉간압연 후, 시효온도가 450°C인 경우의 시효시간에 따른 경도 및 도전률의 변화이다. 경도 및 도전률의 증가는 시효처리 1시간 정도이면 거의 포화치에 도달하며, 그 이후는 매우 완만하게 증가하여 거의 일정한 수준을 유지한다고 볼 수 있다. 여기서 시료의 처리과정을 살펴볼 때, 우선 용체화처리를 통하여 Cr 및 Zr을 과포화 상태로 한 후 냉간압연을 함에 따라, 금속의 일반적인 현상인, 결정립은 심하게 변형을 받게되고 변형에 따른 전위밀도의 증가에 따라 가공경화도 수반하게 된다. 이를 시효처리함에 따라, 냉간가공시에 발생되었던 가공경화는 제거가 되어 이에 따른 강화효과는 사라지나, 석출물이 생성됨에 따라 기지는 강화되어 경도를 증가시키게 된다. 한편 도전률의 변화측면에서 보면 시효처리전 상태의 기지조직은 심하게 변형됨에 따른 전위가 고착된 가공경화 상태이므로 고착된 높은 전위는 전기전도도를 방해함에 따른 낮은 도전률을 보이고 있지만 시효처리에 따라 고착전위가 제거되고 과포화된 고용 원소가 석출됨에 따라 도전률은 회복 내지는 증가하고 있다.

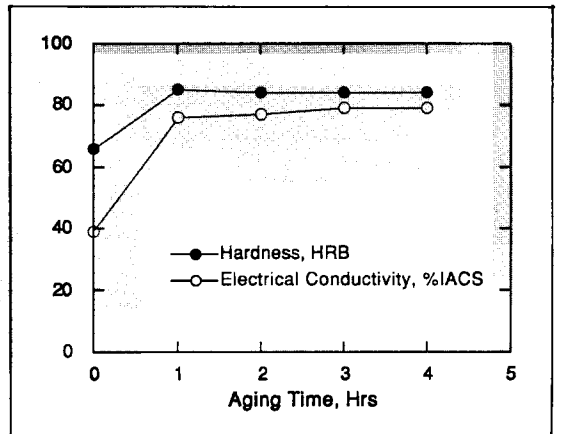


Fig.12 Effect of aging time on electrical conductivity and hardness of Cu-0.2%Cr-0.2%Zr alloy.

그림 13은 위의 시료에 대하여 400°C, 425°C, 450°C, 475°C 및 500°C에서 4시간씩 시효처리한 경우에 경도 및 도전률의 변화이다. 여기서 보면 시효온도가 높아질수록 경도는 저하하며 도전률은 상

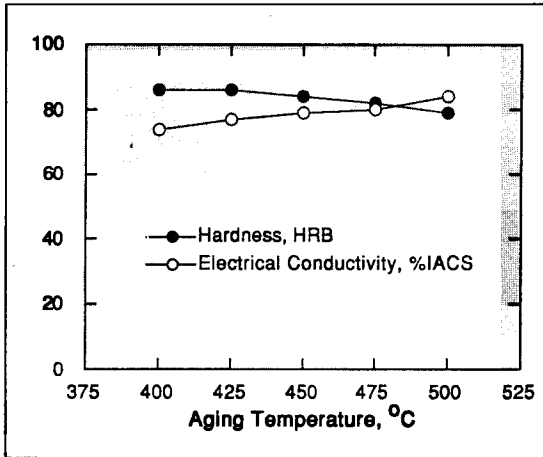


Fig.13 Effect of aging temperature on electrical conductivity and hardness of Cu-0.2%Cr-0.2%Zr alloy.

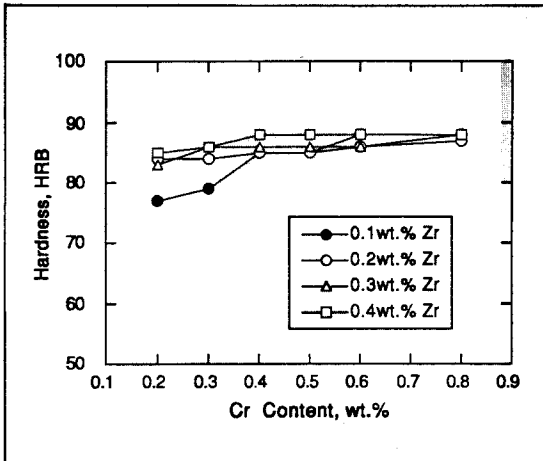


Fig.14 Effect of Cr and Zr content on hardness of Cu-Cr-Zr alloys.

승하고 있다. 따라서 고강도 고도전 재료로서 공업적으로 이용하기 위한 최적조건은 경도와 도전률이 각각 HRB 80이상, IACS 80% 이상인 점을 감안하면 최적 시효처리 온도는 경도와 도전률의 변화곡선이 서로 교차하는 근방인 450~475°C 구간이 될 수 있다.

그림 14는 Cr 및 Zr의 함량에 따른 시효처리 후 경도의 변화로서 Cr과 Zr의 함량이 증가함에 따라 경도는 상승하고 있다. 그러나 그 정도에 있어서 Cr과 Zr의 함량이 각각 0.2wt%와 0.1wt%

로서 합금 총량이 0.3wt%이며 각각의 원소로 보아도 960°C에서 용체화 처리시에 최대 고용량에 미달하는 경우인 Cu-0.2wt%Cr-0.05wt%Zr 시료와 이 보다는 Cr의 함량이 0.15wt% 높지만 그래도 최대 고용량에는 미달하며 Zr의 함량은 0.05wt%로 총합금량이 0.35wt%인 Cu-0.3wt%Cr-0.05wt%Zr 시료의 경우는 Cr의 최대 고용량인 약 0.4wt%까지 Cr 함량의 증가에 따른 정도의 상승폭이 매우 심하다. 그러나 이를 경계로 Cr과 Zr 함량이 높은 다른 시료들과 마찬가지로 완만한 증가를 보인다.

그리고 Cr량이 일정한 경우에는 Zr의 함량의 증가에 따라 경도도 다소 증가하며 Cr의 함량이 0.2~0.3wt%로 낮은 경우는 Zr이 0.2wt%로 증가한 경우에 정도의 증가폭이 크다. 이는 최대 고용량까지는 시효 후 석출경화 효과가 크나, 이 후에는 석출강화에 필요한 최대용량이 이미 포화되었으므로 미고용 유리 Cr이나 Zr등에 의한 분산강화 효과에 따른 영향으로 볼 수 있다.

그림 15는 Zr은 0.1wt%를 첨가하고 Cr의 함량을 0.2wt%에서 0.3wt%, 0.4wt%, 0.5wt%, 0.6wt% 및 0.8wt%로 증가시키기에 따라 도전률은 점차 저하하며, 특히 Cr의 함량이 0.4wt%까지 증가하는 동안에 다소 두드러지다고 볼 수 있다. 그러나 Zr의 함량이 0.2wt% 이상인 경우에는 Cr의 함량에 관계없이 도전률의 변화에는 큰차이가 없으나 전반적으로 Cr과 Zr의 증가에 따라 도전률이 감소하는 경향은 확인할 수 있다. 여기서 Zr의 함량이 0.1wt%이며 Cr의 함량이 증가하는 경우는 Zr은 고용한도 이내로써 시효됨에 따라 Zr계 석출물은 최대 석출량에 비하면 그 한계 이내이며 주로 Cr 석출 및 유리 Cr의 량의 증가에 따른 도전률의 감소를 생각할 수 있다. 그리고 Zr의 최대고용량 이상인 0.2wt%을 초과하는 경우에는 Cr의 함량이 최대 포화량 이상부터는 유리 Cr과 Zr량의 증가에 따른 현상으로 도전률의 저하는 매우 완만하다. 여기서 Cr과 Zr의 함량이 도전률에 미치는 영향을 분석해 볼 때 Zr의 영향이 크며 특히 Zr의 최대 포화량 이전에서 보다 민감함을 알 수 있다.

그림 16은 Cr과 Zr의 총합량을 0.7wt%로 일정하게 하고 각각의 첨가비가 다른 경우에 시효처리 후 경도와 도전률의 변화로서, Cr의 함량비는

증가하고 Zr의 함량비가 감소하는 경우에 경도의 증가는 거의 없으나 도전률은 완만하나마 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 이로서 Cr과 Zr에 있어서 각각 고용한도 이상에 있어서 유리 Cr은 강도에 영향을 미치며 Zr은 강도 보다는 도전률에 미치는 영향이 큼을 알 수 있다.

이상의 결과에서 Cu-Cr계 및 Cu-Cr-Zr계 합금의 경우는 인장강도 50kg/mm^2 이상, 도전률 IACS 80% 이상인 고강도·고도전성 합금을 실용화할 수 있는 가능성이 충분히 예상된다.

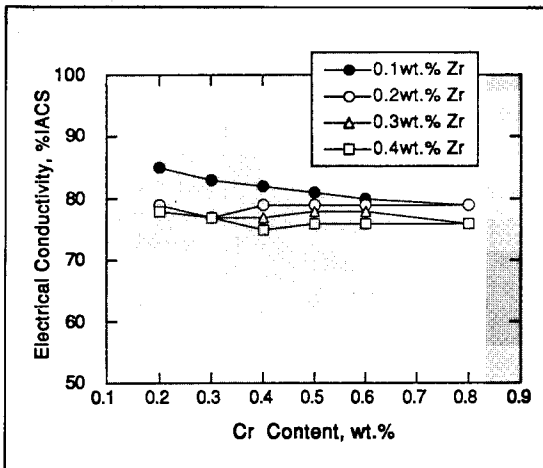


Fig.15 Effect of Cr and Zr content on electrical conductivity of Cu-Cr-Zr alloys.

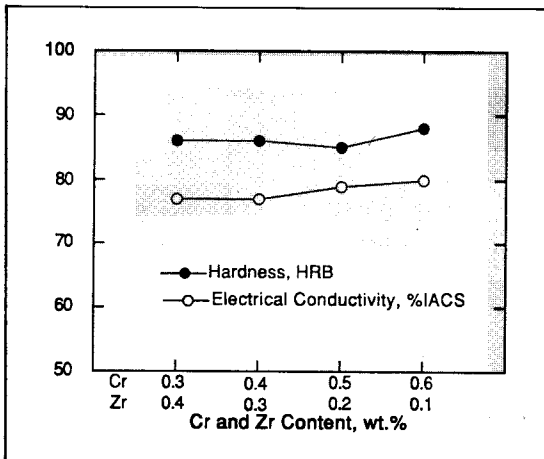


Fig.16 Effect of Cr and Zr content on hardness and electrical conductivity of Cu-Cr-Zr alloys.

2) III-그룹 합금

42합금에 상당하는 강도로서 도전률이 10% 이상인 동합금의 개발은 최근의 일로, 대표적으로는 Cu-2Fe-2Sn, Cu-3.2Ni-0.5Si-1.25Sn-0.3Zn과 Cu-0.25Ti-1.5Ni-0.5Zn-2.0Sn이다. 위에서 Cu-Ti계는 Ti, Ni 및 Sn의 미세 석출물로서 Ni₃Si 화합물의 수분의 1 정도의 소량으로도 비슷한 수준의 강화효과를 나타내게 하였다. 그리고 이는 가공성형성, 도금성 및 납땜 접합강도 등에서 우수한 성질을 나타낸다고 한다.

3) 본딩용 lead frame 합금

Bonding area에 온도금을 생략하고 wire bonding을 하는 것은 기존의 반도체 소자에서 일부 실용화되었으며, IC에의 적용도 가능하다. 그리고 최근에는 Cu wire 방식의 개발에 의해 경제적 효과가 일층 기대될 전망이다. 일반적으로 동합금의 청정표면에 금(Au)선을 직접 접합하기는 가능하나 실용상의 접합은 합금에 따라 매우 다르다. 한 예를 보면 Cu-0.1Sn-0.15Cr, Cu-0.3Cr-0.25Sn-0.1Zn 등은 Cu-Fe계보다 접합성이 우수하다.

이상과 같은 추세에 따라서 전자재료용 동합금의 신재료 개발을 그림 5로 설명하면, 궁극적으로는 VLSI, ULSI용 고강도·고도전성 재료가 요구되며 그 추진방안의 제 1단계로서는 IACS 80% 이상, 인장강도 600MPa 이상의 LSI용 부품재의 개발, 중장기적인 제 2단계에서는 이보다 더욱 개량된 IACS 85% 이상, 인장강도 650MPa 이상의 VLSI 또는 ULSI용 lead frame 및 관련 부품재의 개발전략이 지배적이다.

4. 동합금의 평가기술

표 7은 전자재료용 동합금 중에서 가장 엄격한 대상인 lead frame 합금의 경우, 각종의 특성을 평가하기 위한 방법의 예로서 제시한 것이다.

이와 마찬가지로 엄격한 특성평가를 받아야하는 주변기기용 부품재의 경우도 유사하며, 보다 과학적인 수단을 확립할 필요가 있다. 향후 SMT용 장치의 증가가 예측되므로 SMD용 lead frame

재료와 주변기기용 부품재의 필요 특성인 방열성, 내열충격성, 납땀성 및 내습성 등에 대응한 높은

신뢰성을 보장할 고도의 평가기술의 개발도 요구된다.

표 7 lead frame 재료의 평가방법

분류	평가항목	평가방법	분류	평가항목	평가방법
1 차 특 성	A. 물성		2 차 특 성	E. 도금성	
	1. 열전도율(K)	간편법 K-LσT		1. Inner 리드도금	온도금-가열 납땀도금
	2. 전기전도율(σ)	2중 Bridge법		2. After 리드도금	
	3. 경화율	진동시험자력계		F. Bonding성	
	4. 열팽창율	열진동측정		1. Die bonding성	Die bond→ Cure test
	5. 밀도			1) Paste법	
	6. 탄성계수	박판Spring시험		2) 공정법	
	B. 기계적 성질			3) 납땀법	
	1. 인장, 항복강도 연신률	인장시험		2. Wire bonding법	Full test 산화환원
2. 경도(HRB, HV)	경도계	3. Bare bonding법			
3. 반복굽힘회수	STD 883/2004	1) Wire bond			
4. 내열성	정온연화도	2) Die bonmd			
5. Stiffness	Moment식	G. 산화 teel 특성			
6. Spring성(K _B)	박판Spring시험	1. 대기산화속도	음극환원법		
7. 응력완화	양지량법	2. 산화막 밀착성	Tape 각리시험		
8. 피로강도	판Spring시험기	H. 봉입특성			
9. Bending 가공	Bending시험기	1. 유리봉입	유리wetting성 접착력 측정		
성 형 성	C. 프레스 가공성		2. Resin mold		
	1. 소재, 치수, 형상	SEMI G4-82	I. 납땀 및 Brazing성		
	2. 잔류응력	X선	1. 납땀 Wetting성	STD 202E	
	3. fRAME 치수	공구현미경	2. 납땀강도 열화	150°C×100hr	
	4. 금형수명	프레스 시자	3. Resoldability	150°C×24hr	
	5. Bending 가공성	B-9 참조	4. 납땀피로		
	6. Bending 치수	B-9 참조	5. 은 Brazing성	접합력 측정	
	D. Etching성		J. 내열성, 기타		
	1. 소재, 치수, 형상	SEMI G18-84	1. SCC 감수성	3 Vol NH ₃	
	2. 잔류응력	C-2 참조	2. 가습산화	60°C×95%RH×24 ~96hr	
3. Frame형상, 치수	공구현미경	3. 가스부식	H ₂ S-Cl ₂ -NO ₂ -H ₂ O		
4. Etching rate	Etching	4. 염수시험			
5. Etching 표면	Etching	5. 수소취성시험	H ₂ 가열(350°C×2hr, 500°C×0.5h)		

5. 맺음말

동합금의 유용성은, 고도 정보화 사회로의 진보에 따라 중요성이 더욱 두드러지고 있다. 이는 순동이 이종 금속과의 융합성이 우수하고 합금화에 의해 다양한 특성과 기능을 나타낼 수 있기 때문이다. 한편 전자기기 부품용 소재로서의 동합금이 추구하는 바는 도전성을 가능한한 희생하지 않으면서 강도를 향상시킬 수 있는 방안, 내식성을 향상시킬 수 있는 방안 및 scrap을 재활용함으로써 경제성을 높이는 방안 등이 될 것이다.

참 고 문 헌

1. 坂本光雄 : 최근의 전자부품용 금속재료, 日本金屬學會會報, 24, 6 (1985) 494-502
2. 黒柳卓 : 전자재료로서의 동 및 동합금, 경금속, 37, 4 (1997) 313-326
3. 김희중 : 우리나라 기능재료의 동향 (1990) 13-29
4. 岩村卓郎 등 : 동 및 동합금, 금속, 10 (1993) 27-35
5. 월간 전자부품 : 전자재료의 최근 동향 7 (1988)
6. ASM : Metals handbook, 10th edition, vol.2 (1990) 241
7. 김창주, 이정무, 오충섭 : 접점용 크롬동 판재 제조. MBI 102-1922·C (1994) 21
8. N.I.Revina, A.I.Novikov, A.K.Nikolaev and V.M. Rozenberg : Sov. Non-Ferr. Met. Res., 1, 6, (1973) 73-75.
1. 坂本光雄 : 최근의 전자부품용 금속재료, 日本