

## Ag계 도체 및 RuO<sub>2</sub>계 저항체 페이스트의 특성에 미치는 무연계 글라스 프리트 조성의 영향

구본급<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 한밭대학교 신소재공학부

### Effect of Lead Free Glass Frit Compositions on Properties of Ag System Conductor and RuO<sub>2</sub> Based Resistor Pastes

Bon-Keup Koo<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Division of Advanced Materials Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

(Received July 27, 2010; Revised November 2, 2010; Accepted February 16, 2011)

**Abstract:** The effect of lead free glass frit compositions on the properties of thick film conductor and resistor pastes were investigated. Two types lead free frits, HBF-A(without Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and HBF-B(with Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) were made from SiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, ZnO, MnO, ZrO<sub>2</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. And Ag based conductor pastes and RuO<sub>2</sub> based resistor paste were prepared by mixed with these frits and functional phase(Ag and RuO<sub>2</sub>), and organic vehicle. The properties of thick film conductor and resistor sintered at 850°C were studied after printing on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> substrate. The morphology of the sintered films surface were SEM and EDS were carried out to analysis the chemical composition on resistor surface and state of Ru atom in frit matrix.

**Keyword:** Lead free, Glass frit, Conductor paste, Resistor paste, Blending curve

#### 1. 서론

혼성집적회로 (HIC) 및 후막 칩 부품 제조에 있어 도체 및 저항체 페이스트는 기판과 함께 매우 중요한 소재이다. 도체 페이스트의 주성분은 Ag 등의 금속분말과 금속을 기판에 접착시키는 역할을 하는 글라스 프리트 (glass frit: 이하 프리트) 그리고 페이스트의 인쇄 특성을 부여하는 유기물질인 전색제 (vehicle)로 구성되어 있다. 한편, 저항체 페이스트는 RuO<sub>2</sub> 등과 같은 도전성 산화물 분말과 이들 산화물을 연결 시켜 기판에 접착시키는 역할과 저항막의 저항을 조절할 목적으로 사용되는 프리트 그리고 전색제로 구성되어

있다 [1-3]. 여기서 도체나 저항체 모두에서 중요한 성분은 프리트이다. 프리트는 기판과 유사한 열팽창 계수를 가져야 하며, 높은 내전압특성 및 적당한 유전상수가 요구되고, 소성온도 보다 훨씬 낮은 온도에서 녹아서 퍼져야 하는 유동특성을 가져야 된다고 알려져 있다 [4].

후막용 페이스트에 사용되는 프리트로 가장 널리 알려진 조성은 PbO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>계로 다량의 PbO를 포함하고 있는 조성이다 [4]. 이 프리트는 열팽창 특성이나 연화점 및 퍼짐성에서 프리트의 요구 조건을 잘 만족하여 페이스트 제조에 널리 사용되고 있다 [4]. 이러한 PbO를 다량 함유한 저융점 유리 프리트는 페이스트 특성을 나타내는데 적합하지만 Pb가 포함된 소재는 최근 토양 및 수질오염 등의 환경문제를 유발

a. Corresponding Author; koobk@hanbat.ac.kr

시켜 위험물질 제한 (RoHS; restriction of hazardous substances in electrical and electronic equipment)과 전기전자장비 폐기규제 (WEEE)와 같은 환경보호규정에서 제한하기 때문에 전 세계적으로 사용이 제한되고 있어 Pb를 사용하지 않은 무연계 (Pb free) 소재 재료에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다 [5-8]. 또한, 프린트 조성이 후막 도체 및 저항체 막의 특성에 미치는 영향과 전기전도 기구에 대하여 오래 전부터 많은 연구가 이루어 졌지만 도전성분과 프린트 사이의 반응에 대해서는 아직 명확히 밝혀져 있지 못한 실정이다 [9,10].

본 연구에서는 무연계 도체 및 저항 페이스트를 개발하기 위한 기초연구로써 먼저 SiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, ZnO, MnO, ZrO<sub>2</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등을 이용하여 조성이 다른 두 종류의 무연계 프린트를 제조한 후 프린트의 물성을 측정하여 표준화를 하였다. 그리고 제조한 두 종류의 프린트를 이용하여 도체 및 저항페이스트를 제조한 후 이를 알루미늄 기판에 인쇄한 다음 여러 온도에서 소성하여 얻은 도체 및 저항체의 막의 물성을 측정하여 무연계 프린트 조성이 막의 특성이 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 무연계 프린트 제조 및 특성측정

무연계 프린트를 제조하기 위해 SiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, ZnO, MnO, ZrO<sub>2</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등을 이용하여 표 1과 같이 HBF-A와 HBF-B 두 종류의 프린트의 조성설계를 하였다. 여기서 두 프린트의 가장 큰 차이는 프린트 용융점을 낮추기 위해 HBF-A의 경우에는 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사용하지 않고 알칼리 및 알칼리토류 산화물 성분을 첨가한 반면 HBF-B의 경우에는 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가하여 조성설계를 한 점이다. 각각의 조성대로 시약을 평량한 후 플라스틱 통에 넣고 지르코니아 볼과 증류수를 넣고 12시간 동안 균일하게 혼합 하였다. 혼합한 슬러리를 건조한 후 건조된 분말을 알루미늄 도가니에 넣어 1,300℃에서 용융 한 다음 증류수에 부어 급냉하여 유리 괴상을 만들었고, 이를 제트밀을 이용하여 미세하게 분쇄하여 프린트 분말을 제조하였다. 제조한 프린트의 입도를 입도분석기 (NICOMP, Accusizer-780A)로 측정하였고, 비중을 비중병을 이용하여 측정하였다. 또한 시차열

Table 1. Compositions of lead free frits.

Sample No.	Composition (wt. %)								
	SiO <sub>2</sub>	RO	R' <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	ZrO <sub>2</sub>
HBF-A	15	16	17	2	0	12	32	2	4
HBF-B	13	0	0	3	56	6	19	0	3

분석기 (differential thermal analysis, DTA)를 이용하여 프린트의 연화점을 측정하였다. 한편, 프린트를 0.1g 평량한 후 디스크 상태로 성형한 분말을 알루미늄 기판에 놓고 600℃에서 850℃까지 변화시키면서 프린트의 퍼짐성실험을 한 후 (1)의 공식으로 퍼짐성을 계산하였다.

$$\text{Spreading Ratio}(\%) = (S_2 - S_1) / S_1 \times 100 \quad (1)$$

여기서 S<sub>1</sub>은 반응 전의 단면적이며, S<sub>2</sub>는 열처리 후 알루미늄 기판에 퍼진 시료의 단면적이다.

### 2.2 도체 페이스트의 제조 및 특성 측정

국내 A사 Ag 분말과 앞에서 제조 한 두 종류의 프린트 (HBF-A, HBF-B) 그리고 α-terpineol과 butyl carbitol acetate를 혼합한 용매에 용질인 Ethyl cellulose를 용해하여 만든 전색체를 표 3과 같은 조성으로 평량한 후 3 roll mill을 이용하여 균일하게 혼합함으로써 두 종류의 도체 페이스트 (HBC-A, HBC-B)를 제조하였다.

도체페이스트를 그림 1(a)와 같은 테스트 패턴을 이용하여 스크린프린터로 알루미늄 기판에 인쇄한 후 레벨링을 위해 약 10분간 대기 중에서 유지한 다음, 120℃로 유지된 오븐에 넣어 용매를 건조하였다. 건조된 막을 최고온도가 850℃로 유지되어 있는 5 zone 벨트로에서 소성하였다. 이때 최고 온도에서의 유지 시간은 10분으로 하였다.

얻어진 소결 도체막의 저항을 멀티미터를 이용하여 측정하였고, 주사전자현미경 (scanning electron microscope, SEM, JSM-6300, JEOL Ltd.)으로 막의 미세구조를 관찰하였으며, 직경 2 mm 핀을 도체막에 납땀을 한 후 인장력 측정 (tensile test) 방법으로 도체막의 부착력(adhesion)을 측정하였다.

**Table 2.** Composition of conductor pastes.

Sample No.	Compositions (wt%)		
	Ag	Frit	Vehicle
HBC-A	60	(HBF-A) 10	30
HBC-B	60	(HBF-B) 10	30

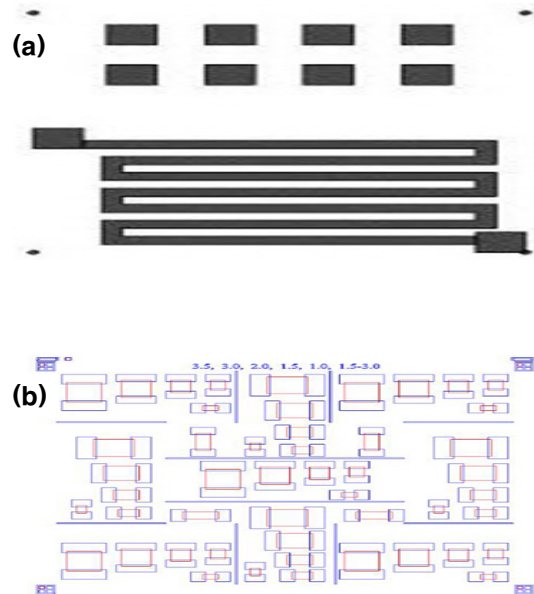
**Table 3.** Composition of resistor pastes.

Series	Sample No.	composition (wt%)		
		Frit / contents	RuO <sub>2</sub>	Vehicle
HBR-A	HBR-1	HBF-A / 60	10	30
	HBR-2	HBF-A / 50	20	
	HBR-3	HBF-A / 40	30	
HBR-B	HBR-4	HBF-B / 60	10	30
	HBR-5	HBF-B / 50	20	
	HBR-6	HBF-B / 40	30	

### 2.3 저항체 페이스트의 제조 및 특성 측정

앞에서 언급한 두 종류의 프리트 (HBF-A, HBF-B) 와 Aldrich사의 순도 99.9% RuO<sub>2</sub> 그리고 도체페이스트를 제조할 때 사용한 vehicle을 이용하여 표 4와 같은 두 종류의 저항체(HBR-A, HBR-B)를 제조하였다. HBR-A 계열은 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 포함되지 않은 HBF-A 프리트를 사용한 경우이고, HBR-B는 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가된 HBF-B 프리트를 사용한 저항체 계열이다. 저항 조절을 위해 프리트와 RuO<sub>2</sub>의 양을 60:10, 50:20, 40:30으로 변화시켜 각각 3종류의 저항페이스트를 제조하였다. 저항체막의 제조는 도체막과 유사한 방법으로 제조하였다.

알루미나기판에 스크린프린터에 그림 1(b)의 테스트 패턴의 스크린을 장착하고 그 위에 도체페이스트를 인쇄하여 도체막을 형성한 후 최고온도가 850°C로 유지되고 있는 벨트로에서 소성하여 얻은 도체 전극막 사이에 저항체 페이스트를 인쇄하였다. 이때 종횡비(aspect ratio)는 1 이었다. 저항체 페이스트의 소성 조건은 도체 페이스트 소성조건과 동일하게 실시하였다. 얻어진 저항막의 저항을 멀티미터를 이용하여 측정하여 브랜딩 커브를 얻었고, 막의 미세구조를 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였으며, 막의 조성을 에너지 분산 분광기 (energy distribution spectroscopy, EDS, EX-205 7593H, Horiba)를 이용하여 분석하였다.

**Fig. 1.** Test pattern of (a) conductor, (b) resistor.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 프리트의 특성

제조한 무연계 프리트의 물성을 표 4에 나타내었다. 밀도의 경우 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가된 HBF-B의 경우가 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가하지 않고 제조한 무연계 프리트 보다 크게 나타남을 알 수 있었다. 그리고 DTA로 측정하여 얻은 유리의 연화점은 HBF-B의 경우가 HBF-A보다 40°C 정도 낮게 나타났고, 평균입경은 두 경우 거의 유사하게 4 μm 정도임을 알 수 있었다. Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 비중이 8.76, 용점이 820°C로 PbO를 대체하는 산화물로 용점이 낮아 다른 산화물과 유리상은 만들 때 연화점을 낮추는 효과있다고 사료된다.

그림 2에 두 종류의 프리트의 퍼짐성 결과를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가된 프리트 (HBF-B)의 퍼짐성이 모든 온도에서 크게 나타났고, 특히 800°C 이상에서 그 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 프리트의 유동특성에 큰 영향을 주는 성분임을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 PbO를 첨가한 계의 결과와 매우 유사한 퍼짐성을 보임을 알 수 있었다 [11]. 따라서 조성에 따라 퍼짐성 및 연화점이 다르게 되고 이런 차이가 도체 및 저항체에 전기적 특성에 미치는 영향에 대하여 연구를 하였다.

Table 4. Properties of lead free frits.

	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Softening Point (°C)	Spreading Ratio (%)	Average Particle Size (μm)
HBF-A	2.46	~560	166	3.89
HBF-B	3.71	~520	390	3.96

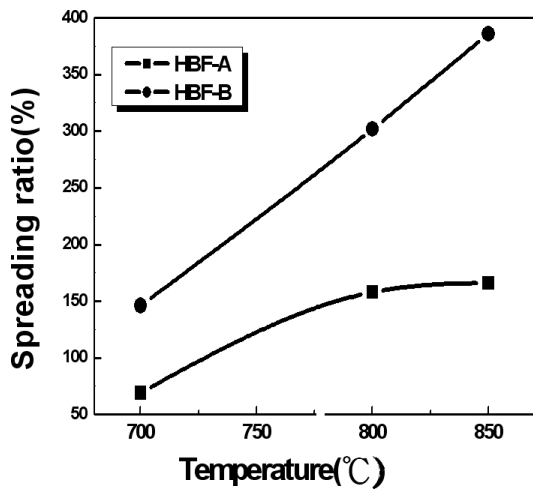


Fig. 2. Changes of spreading ratio of lead free glass frits on reaction temperatures.

### 3.2 도체 페이스트의 특성

그림 3은 두 종류의 무연계 프린트를 이용하여 제조한 각각의 도체 페이스트를 알루미늄 기판에 인쇄한 후 850°C로 유지된 벨트로에서 10분간 소결한 도체막의 표면을 SEM으로 관찰한 미세구조 사진이다. 퍼짐 특성이 큰 HBF-B를 사용하여 만든 도체페이스트의 경우 (b)가 막의 금속성분인 Ag의 입자성장이 잘 일어나 치밀한 막을 만들고 있음을 알 수 있었다. 한편 상대적으로 유동성이 낮은 HBF-A를 사용한 경우 (a)는 금속의 입자 성장이 잘 일어나지 못하여 유리상이 금속막과 알루미늄 기판 사이에 고르게 퍼지지 않고 표면에 모여 있는 상태를 보이고 있다. 이는 액상소결의 이론에서 알 수 있듯이 HBF-B를 사용한 페이스트가 금속 Ag 원자가 유리 액상을 통해 용해-재 석출되어 이동하는 현상이 유동성이 큰 프린트에서 잘 일어나 그로 인해 물질 이동이 활발하게 되어 금속 입자 성장이 잘 일어났기 때문이라고 앞선 연구

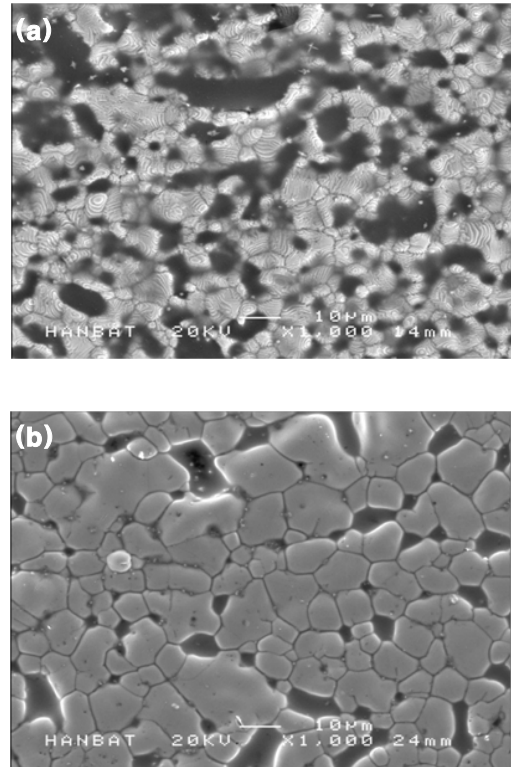


Fig. 3. SEM micrographs of conductor film surface sintered at 850°C; (a) HBF-A, (b) HBF-B.

결과를 토대로 설명할 수 있다 [12].

이와 같은 막의 미세구조는 도체막의 전기적 및 기계적 특성에 영향을 미칠 것으로 예측할 수 있다. 표 5에서 보는 바와 같이 막의 전기저항은 두 경우에 크게 차이는 나지 않았지만 그래도 막의 미세구조가 잘 발달된 HBF-B의 경우가 약간이라도 적은 값을 가졌는데 앞선 연구 결과에서 연구되어진 바와 같이 이는 전자의 이동경로가 짧기 때문이라고 예측된다 [13]. 그러나 막의 부착력은 두 경우에 크게 차이가 있는데 HBF-A의 경우는 8.05 kg인 반면 HBF-B의 경우는 12.55 kg으로 크게 나타났는데 이는 막의 미세구조와 큰 관련성이 있음을 알 수 있다. 즉 도체막의 표면이 주로 금속성분으로 구성되어 있는 경우가 납땀이 더 잘 일어났고, 유리상이 금속막과 기판을 잘 융착시켜 접착 특성이 크게 나타났으며, 반면에 유리상이 표면에 퍼져있는 경우는 납땀이 잘 되지 못해 부착력이 작게 나타났다고 볼 수 있다. 본 실험에서 제조한 도체 페이스트의 부착력 값은 PbO가 포함

Table 5. Properties of conductor film sintered at 850°C.

	Sheet Resistivity	Adhesion
HBC-A	13 mΩ/sq.	8.05 kg
HBC-B	12 mΩ/sq.	12.55 kg

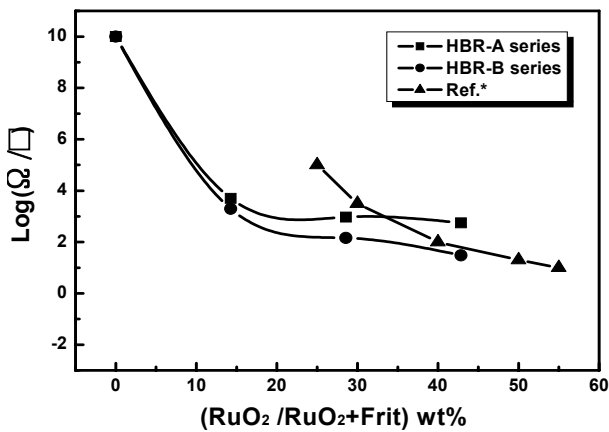


Fig. 4. Sheet resistivity vs. concentration of RuO<sub>2</sub> in various resistor paste.

된 프릿트를 이용하여 문헌에서 보고한 도체 페이스트의 부착력 값과 거의 유사한 값이라는 것을 알 수 있었다 [14]. 따라서 HBR-B 조성의 프릿트는 무연계 도체페이스트 제조에 적합한 프릿트 조성임을 알 수 있었다.

### 3.3 저항 페이스트의 특성

후막저항체는 RuO<sub>2</sub>, Bi<sub>2</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등과 같은 저항이 낮은 산화물 도전성물질과 매우 저항이 높은 프릿트를 주성분으로 이루어져 있고, 이들 저항체의 소결 후 저항은 이들 두 성분 즉 도전성 산화물 분말과 프릿트 분말의 상대량에 따라 변화한다. 그림 4에서 보는 바와 같이 퍼짐성이 큰 프릿트를 사용한 저항페이스트가 퍼짐성이 작은 프릿트를 사용한 저항페이스트보다 동일한 RuO<sub>2</sub> 첨가에서 저항이 작게 나타났다. 여기서 주목해야 할 사항은 바로 RuO<sub>2</sub>의 값이 매우 고가라는 사실이다. 따라서 RuO<sub>2</sub>의 양을 적게 첨가해도 원하는 저항이 나오는 것이 페이스트의 경제적인

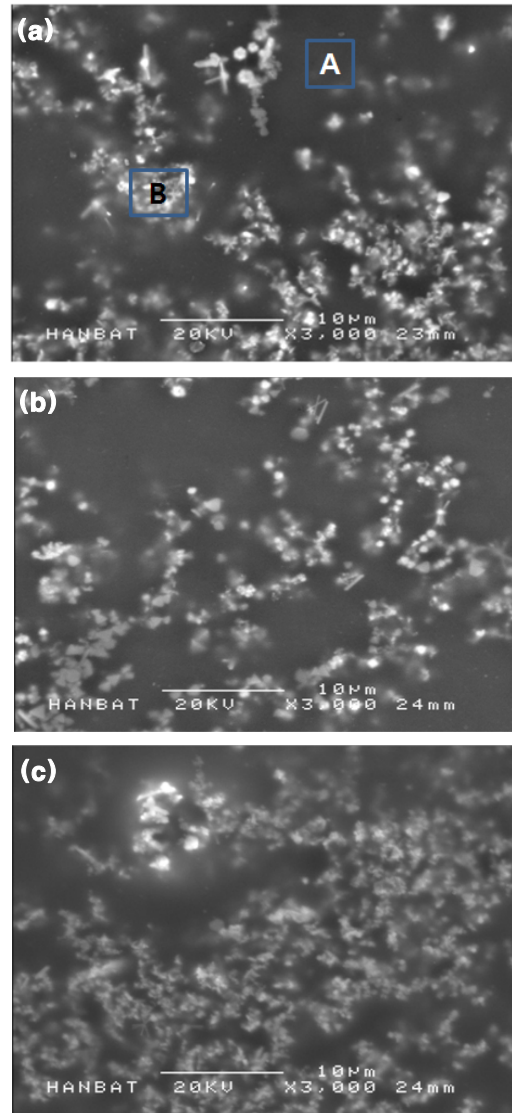


Fig. 5. SEM surface images of resistor film sintered at 850°C; (a) HBR-1, (b) HBR-2, and (c) HBR-3.

면에서 매우 바람직하다고 할 수 있다. 이들 페이스트의 특성이 페이스트로서 적절한지를 기존의 널리 사용되고 있는 PbO를 첨가하여 만든 저항 페이스트와 비교하기 위해 그림에 Ref.로 표기하여 같이 나타내었다 [15]. 실험결과에서 보는 바와 같이 우리가 제조한 무연계 프릿트를 사용한 페이스트가 전체적으로 동일한 양의 RuO<sub>2</sub>를 첨가한 페이스트에서 유연계 저항페이스트보다 저항이 낮게 나타난 것으로 보아 이 무연계 프릿트는 무연계 저항 페이스트로 제조하기에 충분하다는 결론을 얻을 수 있었다.

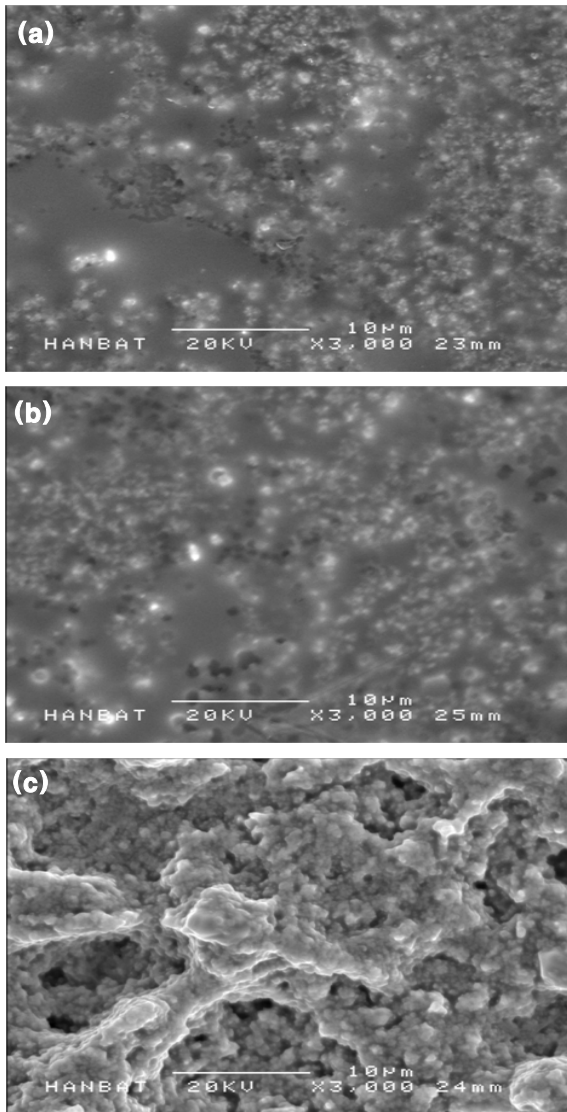


Fig. 6. SEM surface images of resistor film sintered at 850°C; (a) HBR-4, (b) HBR-5, and (c) HBR-6.

한편 성질이 전혀 다른 도전체상과 프리트상 사이의 반응은 저항막의 다량 존재하는 프리트상의 조성 변화를 일으키고, 도전상과 프리트 상으로 형성된 미세구조는 저항 특성에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

그림 5는 상대적으로 퍼짐성이 낮은 프리트 HBF-A와 도전상인 RuO<sub>2</sub>를 변화시켜 제조한 저항체 페이스트 (HBR-1, HBR-2, HBR-3)를 알루미늄 기판에 인쇄하여 850°C에서 소결한 막의 미세구조 사진이다. 도전상의 양이 적은 HBR-1의 경우 그림에 A로 표시한 프리트가 용융된 것으로 보는 상과 그림에 B로

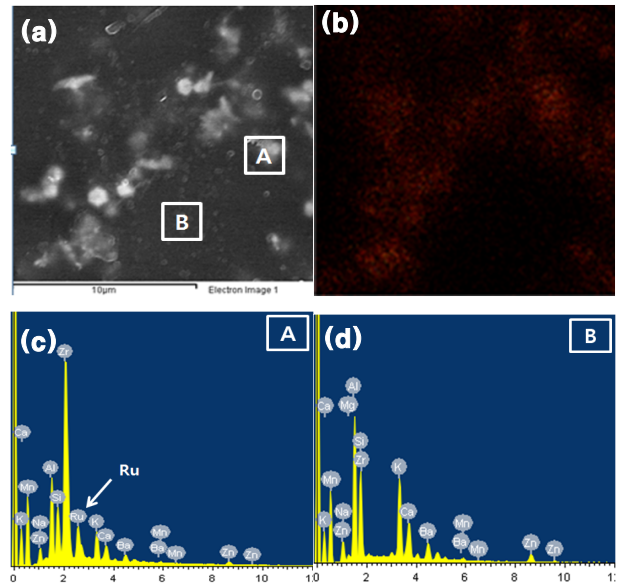


Fig. 7. SEM and EDS data of HBR-1 resistor surface sintered at 850°C; (a) surface microstructure, (b) dot map of Ru element, (c) EDS data of point A, and (d) EDS data of point B.

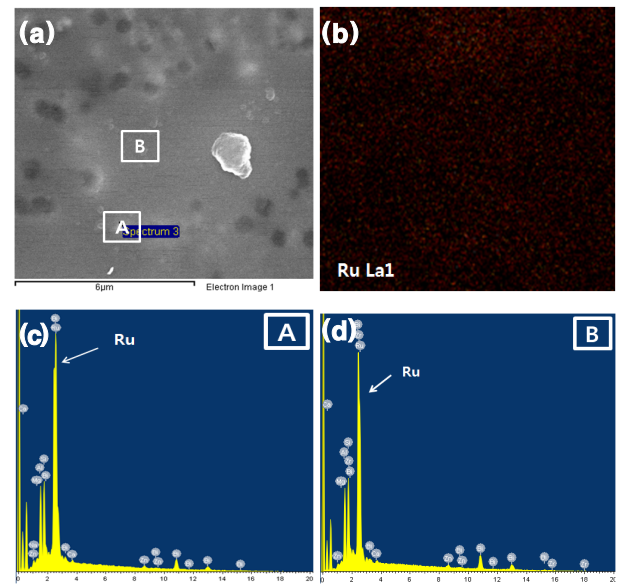


Fig. 8. SEM and EDS data of HBR-4 resistor surface sintered at 850°C; (a) surface microstructure, (b) dot map of Ru element, (c) EDS data of point A, and (d) EDS data of point B.

표시한 도전상으로 보이는 부분이 분리되어 있고, 도전상의 양이 많아질수록 그 간격은 점차 작아짐을 알 수 있었다.

**Table 6.** Ru concentration of HBR-1 and HBR-4 resistor surface sintered at 850°C analysed by EDS.

		App Conc.	Intensity Corr.	Wt.%	At.%
HBR-1	A	13.93	0.5415	15.33	9.53
	B	-	-	-	-
HBR-4	A	40.24	0.9123	27.52	24.84
	B	5.68	0.8796	4.60	4.30

\* Point A, B는 그림 8과 9의(a)에 나타난 점임.

그림 6은 퍼짐성이 큰 프릿트 HBF-B와  $\text{RuO}_2$ 의 양을 변화시켜 제조한 페이스트 (HBR-4, HBR-5, HBR-6)를 알루미늄 기판에 인쇄하여 850°C에서 소결한 막의 미세구조 사진이다. 도전성 분말이 뭉쳐져 있는 것으로 보이는 상이 그림 6에 비해 고르게 퍼져 있는 것을 볼 수 있었고, 프릿트가 표면에 널리 퍼져 있지 않고 저항막과 기판에도 고르게 퍼져 있을 것으로 보인다. 따라서 그림 6의 미세구조에서 보는 저항체에 비해 전체적으로 저항이 낮게 나타났다.

그림 7은  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 가 포함되지 않은 퍼짐성이 낮은 프릿트로 제조한 저항체를 850°C에서 소결한 막의 표면 사진 (a)와 전체 면에 Ru 원소의 분포를 보여주는 dot map (b) 그리고 그림 (a)의 각 점 A, B에서의 EDS 분석 결과이다. 그림 (a)에서 보는 바와 같이 도전상이 고르게 퍼져있지 못하고 뭉쳐있는 모습을 볼 수 있었고, Ru dot map (b)에서 보는 바와 같이 Ru의 분포가 프릿트에는 관찰되지 않음을 알 수 있었는데 이는 (c)와 (d)의 EDS 결과로도 알 수 있었다.

한편, 그림 8은  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 가 포함되어 퍼짐성이 큰 프릿트 HBF-B를 사용한 저항체를 기판에 인쇄한 후 850°C에서 소결한 막의 미세구조 사진 (a)과 전체 면의 Ru 원소의 dot map (b) 그리고 그림 (a)의 A, B 점에서의 EDS 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 그림 7의 경우 보다 저항 막이 널리 퍼져 있음을 (b)의 Ru 원소의 dot map Ru 원소가 막 전체에 고르게 분포되어 있는 결과로 확인할 수 있었다. 이는 (c)와 (d)의 EDS 결과로 분명히 규명되었는데 그림 (c)와 (d)에서 보는 바와 같이 도전상  $\text{RuO}_2$ 로 보이는 부분과 프릿트로 보이는 부분의 위치에서 Ru의 존재가 모두 확인되었다. 이는  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 가 포함된 프릿트가 동일한 온도에서 유동성도 좋고, 도전상과의 확산 반응도 잘

일어나 도전상이 프릿트상 내로 확산되어 나타난 결과로 사료된다. 지금까지의 EDS 결과를 표 6에 정리하였다. 이상의 결과에서 보는 바와 같이 프릿트의 조성에  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 와 같이 반응성을 높이는 성분이 존재하면 저항체의 도전 특성을 나타내는  $\text{RuO}_2$ 와 같은 물질이 더 많이 확산되어 저항체의 프릿트 매트릭스의 저항을 낮게 만들고 동일한 양의  $\text{RuO}_2$ 가 첨가된 반응성이 상대적으로 적은 프릿트를 사용한 저항체보다 저항을 더 작게 만드는 효과가 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 무연계 도체 및 저항체 페이스트 소재를 개발하기 위한 기초연구로써 먼저  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 를 첨가하지 않은 계와 첨가한 계의 무연계 프릿트 조성을 설계하여 혼합된 분말을 1300°C에서 용융하여 프릿트를 제조하여 각각의 물성을 측정하였으며, 두 종류의 프릿트를 이용하여 도체 및 저항페이스트를 제조한 후 이를 알루미늄 기판에 인쇄하여 850°C에서 소성하여 얻은 막의 물성 측정하여 프릿트 조성이 막의 특성이 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1.  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 가 첨가된 프릿트의 퍼짐성이  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 를 첨가하지 않은 프릿트에 비해 모든 온도에서 크게 나타났고, 특히 800°C 이상에서 그 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다. 따라서  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 가 프릿트의 유동특성에 큰 영향을 주는 성분임을 알 수 있었다.
2.  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 를 첨가하여 만든 프릿트로 제조한 도체 페이스트의 경우  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 를 첨가하지 않은 도체 페이스트의 경우보다 소결막의 표면에 금속입자의 성장이 잘 일어나 저항이 작게 나타났으며, Adhesion 특성도 양호하게 나타남을 알 수 있었는데 이는 반응성이 큰 프릿트상으로 도체상이 용해-재 석출이 활발히 일어나 금속막의 입자성장이 잘 일어났고, 프릿트상이 금속막과 기판 사이에 퍼져 접착이 잘 일어나서 나온 결과로 사료된다.
3. 프릿트의 조성에  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 와 같이 유동성과 반응성을 높이는 성분이 존재하면 도전 성분인  $\text{RuO}_2$ 와 같은 물질이 프릿트 내로 잘 확산되어 저항막의 저항을 낮게 만들므로 동일한 양의  $\text{RuO}_2$ 가 첨가된 유동성이 적은 프릿트를 사용한 저항체보다 저항이 더 낮게 나타남을 알 수 있었다.

## REFERENCES

- [1] P. J. Holmes and R. G. Loasby, *Handbook of Thick Film Technology*, (Electrochemical Pub. Limited) 97 (1976).
- [2] L. C. Hoffman, *J. Am. Ceram. Bull.*, **63**, 572 (1984).
- [3] C. S. McCANDLISH and A. L. Dow, *J. Am. Ceram. Bull.*, 64 (1985).
- [4] R. W. Vest, *J. Am. Ceram. Bull.*, **65**, 631 (1986).
- [5] A. Kshirsagar, S. Rane, U. Mulik, D. Amalnerkar, *Mater. Chem. Phys.*, **101**, 492 (2007).
- [6] S. Rane, M. Prudenziati, B. Morten, *Mater. Lett.*, **61**, 595 (2007).
- [7] S. Rane, M. Prudenziati, B. Morten, L. Golonka, A. Dziedzic, *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, **16**, 687 (2005).
- [8] S. Jagtap, S. Rane, R. Aiyer, and D. Amalnerkar, *Current Applied Physics*, **10**, 1156 (2010).
- [9] C. C. Sartain, *J. Non-Crystall. Solid.* **5**, 55 (1970).
- [10] G. H. Pick, C. H. Seager, *J. Appl. Phys.*, **48**, 5152 (1977).
- [11] H. G. Kim, B. K. Koo, T. H. No, *Report of the Korea Ministry of Commerce, Industry and Energy*, **B17-951-3304-03-2-3**, 22 (1998).
- [12] B. K. Koo, H. G. Kim, *J. Kor. Ceram. Soc.*, **25**, 623 (1988).
- [13] Y. S. Chung and H. G. Kim, *IEEE Trans. CHMT*, **11**, 195 (1988).
- [14] P. J. Holmes and R. G. Loasby, *Handbook of Thick Film Technology* (Electrochemical Pub. Limited, 1976) p. 142.
- [15] P. J. Holmes and R. G. Loasby, *Handbook of Thick Film Technology* (Electrochemical Pub. Limited, 1976) p.111.