

## 저온동시소성용 감광성 은(Ag) 페이스트의 광식각 특성

박성대<sup>†</sup> · 강나민\* · 임진규\*\* · 김동국\*\* · 강남기 · 박종철

전자부품연구원 고주파재료연구센터

\*래피더스(주)

\*\*한양대학교 신소재화학과

(2004년 1월 17일 접수; 2004년 3월 18일 승인)

## Photolithographic Properties of Photosensitive Ag Paste for Low Temperature Cofiring

Seong-Dae Park,<sup>†</sup> Na-Min Kang,\* Jin-Kyu Lim,\*\* Dong-Kook Kim,\*\* Nam-Kee Kang, and Jong-Chul Park

High Frequency Materials Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Pyungtaek 451-865, Korea

\*Rapidus Inc., Uiwang 437-801, Korea

\*\*Department of Chemistry and Material Science, Hanyang University, Ansan 426-791, Korea

(Received January 17, 2004; Accepted March 18, 2004)

### 초 록

후막 광식각 기술은 스크린 인쇄 등의 일반적인 후막공정에 노광 및 현상 등의 리소그래피 공정을 접목시킨 새로운 기술이다. 본 연구에서는 후막 광식각 기술을 이용하여 미세라인을 형성할 수 있는 저온동시소성용 Ag 페이스트를 개발하였다. 페이스트를 구성하는 Ag 분말과 폴리머, 모노머, 광개시제 등의 양을 조절하여 미세라인을 형성할 수 있는 최적 조성을 연구하였으며, 또한 노광량과 같은 공정변수가 미세라인 형성에 미치는 영향을 연구하였다. 실험결과 폴리머/모노머 비, Ag 분말 중량비, 광개시제의 양 등이 미세라인의 해상도에 영향을 미치는 주요 인자임을 확인할 수 있었다. 개발된 감광성 Ag 페이스트를 저온동시소성용 그린 시트에 전면 인쇄한 후 건조, 노광, 현상, 적층, 소성 과정을 통하여, 소성 후 20 µm 이하의 선폭을 가지는 후막 미세라인을 형성할 수 있었다.

### ABSTRACT

Thick film photolithography is a new technology in that the lithography process such as exposure and development is applied to the conventional thick film process including screen-printing. In this research, low-temperature cofireable silver paste, which enabled the formation of thick film fine-line using photolithographic technology, was developed. The optimum composition for fine-line forming was studied by adjusting the amounts of silver powder, polymer and monomer, and the additional amount of photoinitiator, and then the effect of processing parameter such as exposing dose on the formation of fine-line was also tested. As the result, it was found that the ratio of polymer to monomer, silver powder loading, and the amount of photoinitiator were the main factors affecting the resolution of fine-line. The developed photosensitive silver paste was printed on low-temperature cofireable green sheet, then dried, exposed, developed in aqueous process, laminated, and fired. Results showed that the thick film fine-line under 20 µm width could be obtained after cofiring.

**Key words :** Photosensitive, Silver paste, Photolithography, Fine-Line, Low-Temperature cofiring

### 1. 서 론

최근 무선통신시스템은 활용 범위의 확장에 따라 전송되는 데이터의 양이 많아지면서, 점차 사용 주파수가 고주파화되어 가고 있어, 고주파용 부품 특성의 안정성이 최종 제품의 특성에 중요한 변수로 작용하고 있다. 또한,

최종제품의 소형화, 경량화, 기생성분의 최소화, 신뢰성 증가, 노이즈 특성 향상 등을 위하여 모듈 표면에 실장되는 수동소자를 내부에 실장하는 SOP (System-On-Package) 등에 대한 연구가 차세대 패키지 기술로서 주목을 받고 있으며,<sup>1-3)</sup> 이 기술에 필요한 재료의 하나로서 저온동시소성 세라믹 (LTCC: Low Temperature Cofired Ceramics)에 대한 연구가 이루어지고 있다.<sup>4,6)</sup>

LTCC는 구성재료의 고주파 특성이 우수하며, 모듈내부에 수동소자를 내장할 수 있고, 소성 온도가 1000°C 이하로서 전기전도도가 높은 Au, Ag, Cu 등을 내부전극으로

Corresponding author : Seong-Dae Park

E-mail : sdpark@keti.re.kr

Tel : +82-31-6104-385 Fax : +82-31-6104-126

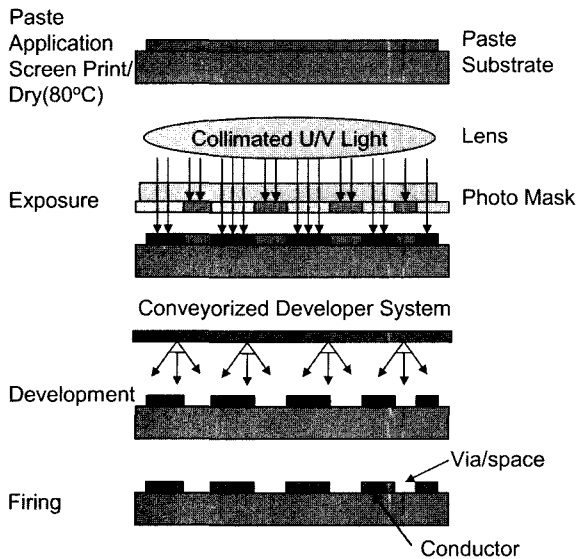


Fig. 1. Schematic diagram of thick film photolithography.

사용할 수 있어 전극에 의한 손실을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.<sup>7)</sup> 일반적으로 LTCC 모듈은 저온소성용 분말을 그린시트로 제작한 후, 편칭, 페이스트 인쇄, 적층, 소성의 단계를 거쳐 제작이 된다. 그러나, 현재의 LTCC 공정에서 일반적으로 사용되는 스크린 인쇄공정으로는 형성할 수 있는 도선의 해상도에 한계가 있어, 이에 대응하기 위한 방법으로 감광성 전도체 페이스트를 이용한 후막 광식각 기술로 미세라인을 형성하는 기술이 국내외에서 연구 중에 있다.<sup>8-10)</sup> 후막 광식각 기술은 박막 공정을 후막에 적용한 기술로서 기판 위에 감광성 페이스트를 도포한 후 포토마스크를 통하여 자외선에 의한 경화를 시키고, 현상용액을 스프레이하여 경화되지 않은 부분을 제거함으로써 패턴을 형성하는 공정이다. Fig. 1은 후막 리소그래피 공정의 흐름을 보여주는 개략도이다.<sup>11)</sup>

감광성 페이스트는 PDP용, 세라믹 모듈용 등으로 일부 상용화된 제품들이 있긴 하나, 이와 관련하여 저온동시소성용 감광성 페이스트를 구성하는 재료들의 작용이나 공정 변수들에 대한 세심한 연구내용이 발표된 바가 많지 않다.<sup>12,13)</sup> 본 연구에서는 위와 같은 후막 광식각을 이용하는 LTCC 공정에 적용이 가능한 감광성 Ag 페이스트의 최적 조성을 연구하였으며, 각 조성에 대한 미세라인 현상특성을 비교, 분석하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 감광성 페이스트의 제조

#### 2.1.1. 재료

감광성 페이스트의 최적 조성을 찾기 위하여 폴리머와 모노머, 광개시제 등의 종류 및 첨가량을 조절하며 실험

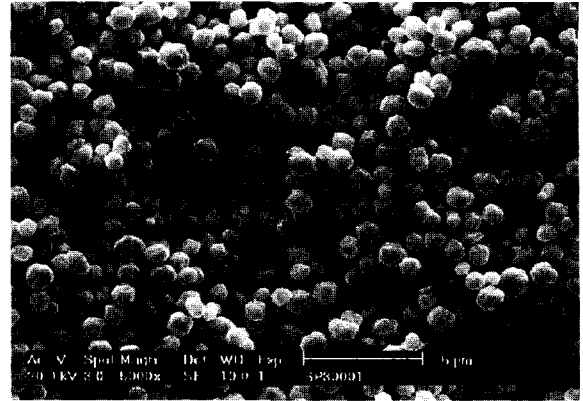


Fig. 2. SEM photograph of Ag powder.

을 진행하였다. 실험재료로는 Fig. 2의 평균입도 1 μm인 Ag 분말(Degussa, SP3000-1), 폴리머 레진 4종(미원상사, KB-01/02/04/05), 모노머 3종(미원상사, M300/310/340), 광개시제(TPO), 분산제(Hypermer PS-2), 점도조절용 용매( $\alpha$ -terpineol/butyl carbitol acetate=2/1), 윤활제(Oleic acid) 등이 사용되었다.

Tables 1과 2는 감광성 페이스트 제작을 위해 사용된 폴리머 레진과 모노머의 기본 특성을 요약한 것이다. 감광성 페이스트에 사용되는 폴리머는 methylmethacrylate(MMA)와 methacrylic acid(MAA)를 주성분으로 하는 공중합체(co-polymer)이며, 그 일반적인 합성 구조를 Fig. 3에 나타내었다. 이 폴리머는 인쇄후 기관과의 부착성을 부여하는 역할을 하는 재료이며, 산(acid, -COOH)을 가지고 있기 때문에 현상액에 현상액과 반응하여 염을 형성하는 기능을 한다. 통상 탄산나트륨( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )을 물(distilled water)에 소량(0.4~1.0%) 용해시킨 용액을 현상액으로 사용하기 때문에, 현상액이 페이스트에 닿으면 Fig. 4와 같이 페이스트 내 산과 반응하여 염을 형성하게 되고, 이 염은 물에 잘 녹기 때문에 노광에 의해 경화되지 않은 부분에서는 페이스트가 제거된다.

노광에 의해 경화되는 부분을 형성하는 것은 모노머와 광개시제의 역할이다. 광개시제는 자외선을 흡수하여 라디칼(radical)을 형성하는데, 이 라디칼이 탄소 이중결합을 가진 모노머와 반응하여 급격히 광중합 체인을 형성함으로써 노광된 부분을 경화시키며, 이 부분은 현상액에 대하여 경화되지 않은 영역보다 낮은 용해도를 가지게 되어 공정 후 패턴으로 남게 된다.<sup>14)</sup>

#### 2.1.2. 페이스트 및 그린시트 제조 공정

먼저 밀폐용기에 폴리머 레진, 모노머, 광개시제를 넣고 고속 페이스트 교반기(Thinky AR-250)로 약 2분간 혼합하여 비클(vehicle)을 제작한 후, Ag 분말과 분산제를 넣고 다시 2분간 혼합한다. 이후 약 20분 동안 3분 롤러(Exact 50)를 이용하여 응집체를 분쇄, 분산시키고, 이때 용매 첨가

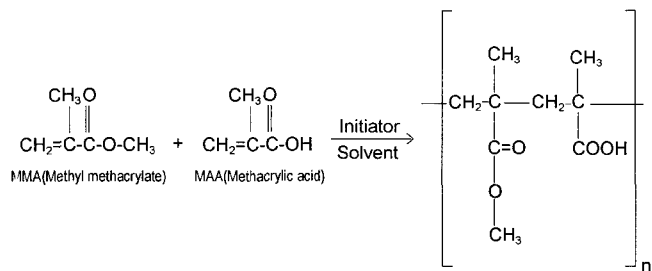
**Table 1.** Properties of Polymer Resins

Code	Copolymer compositions	Weight ratio (%)	Acid value (mgKOH/g)	Viscosity (mPa · s, @25°C)	Solid content (%)	Molecular weight
KB-01	Methylmethacrylate (MMA)	83	45.54	18900	40	19187
	Methacrylic acid (MAA)	17				
KB-02	Methylmethacrylate (MMA)	67.3	52.64	32300	45	15617
	2-hydroxyethylmethacrylate (HEMA)	6.7				
	n-butylmethacrylate (nBMA)	8.9				
	Methacrylic acid (MAA)	17.1				
KB-04	Methylmethacrylate (MMA)	70.5	42.40	52000	45	30386
	2-hydroxyethylmethacrylate (HEMA)	12.5				
	Methacrylic acid (MAA)	17				
KB-05	Methylmethacrylate (MMA)	76.7	44.36	26300	40	10804
	Styrene	8.9				
	Methacrylic acid (MAA)	14.4				

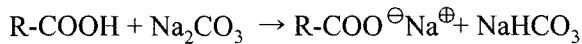
\*Solvent used for polymerization reaction : Propylene glycol monomethyl ether acetate.

**Table 2.** Compositions and Chemical Structures of Monomers

Code	Compositions	Chemical structure
M300	Trimethylolpropane Triacrylate (TMPTA)	$(CH_2=CHCOOCH_2)_3C-CH_2CH_3$
M310	Trimethylolpropane Ethoxylated Triacrylate (TMPEOTA)	$[CH_2=CHCOO(CH_2CH_2O)_nCH_2]_3C-CH_2CH_3, n \approx 3$
M340	Pentaerythritol Triacrylate (PETA) mixed with Pentaerythritol Tetraacrylate (PETTA)	$(CH_2=CHCOOCH_2)_3C-CH_2OH$



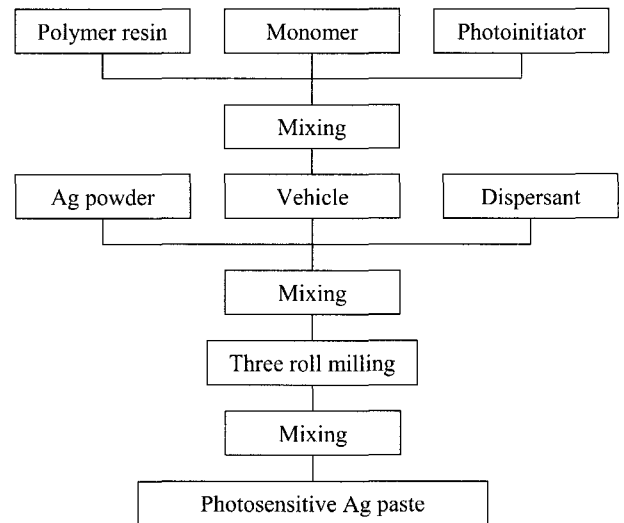
**Fig. 3.** Synthesis of basic polymer resin.



**Fig. 4.** Principle of aqueous development process.

량의 조절로 페이스트 점도를 60,000~80,000 mPa · s 범위로 조절하였다. 최종적으로 고속 교반기에서 다시 2분간 혼합 및 탈포하여 감광성 Ag 페이스트 제작을 완료하였다. 구성성분의 혼합비는 실험변수별로 다르게 조절하였으며, Fig. 5에 감광성 Ag 페이스트의 제조공정을 도식화하여 나타내었다.

한편, 저온소성세라믹 그린시트는 듀폰의 9599 분말을 이용하였는데, 저온에서 Ag 전극과 동시소성이 가능하고, 우전율이 낮으며, 우수한 절연저항 값을 갖고 있다. 분말의



**Fig. 5.** Fabrication procedure of photosensitive Ag paste.

양은 70 vol%로 고정하고, 슬러리 제조를 위해 가소제는 DBP (Dibutyl Phthalate), 결합제는 PVB (Poly Vinyl Butyral), 분산제는 BYK사의 polyester와 polyamine의 공중합체 (BYK111), 용매는 결합제 용해능이 우수한 톨루엔과 에탄올의 혼합조성을 사용하였다. 1차 밀링은 9599 분말, 분산제, 용매를 jar에 넣고 24시간 실시하였고, 2차 밀링시 결합제와 가소제를 넣고 다시 24시간 혼합하여 슬러리를 제작하였다. 슬러리 탈포 후 테일 캐스터를 이

용하여 두께 100 μm의 저온동시소성용 그린시트를 제작하였다.

2.2. 테스트 패턴 제작

그린시트를 프린팅에 적합하도록 100×100 mm로 절단한 후, 50×50 mm의 도포영역을 가진 전면 인쇄용 스크린(400 mesh, 5 μm emulsion)을 사용하여 제조된 감광성 Ag 페이스트를 LTCC 그린시트 위에 인쇄하였다. 페이스트의 평탄화를 위하여 약 10분간 상온에서 유지한 후, 80°C에서 10분간 건조하였다. 노광 공정은 Opto Finetech 사의 KP-1200 노광기를 이용하였으며, Ag의 광투과율이 높지 않음을 감안하여 1500 mJ/cm<sup>2</sup>로 광량이 높은 영역에서 주로 실시하였으나, 광량조절 실험의 경우는 300~1500 mJ/cm<sup>2</sup> 영역에서 단계적으로 실시하였다. 현상은 30°C, 1 wt% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 수용액을 ITI사의 컨베이어형 현상기에서 스프레이하는 방식으로 실시하였으며, 현상시간은 TTC (Time To Clear)의 1.0~1.2배의 범위 내에서 실시하였다. 여기서 TTC는 노광되지 않은 건조된 페이스트를 현상하였을 때, 도포영역이 현상액에 의해 그린시트로부터 완전히 제거되는 시간을 의미한다. 현상 후 테스트 패턴의 일례를 Fig. 6에 나타내었으며, 이는 비아 패턴, 썸기모양의 선폭/선간격 측정패턴, 미세라인/선간격 패턴 등으로 구성되어 있다. 현상 후에 80°C 오븐에서 20분간 건조하고, 일정두께를 맞추기 위하여 100 μm 그린시트 7장을 함께 적층하였다. 소성은 12 zone 연속로에서 실시하였으며, 850°C에서 20분간 유지되는 프로파일로 실시하였다. 측정현미경(Nikon, MM-40)으로 현상 후 및 소성 후의 미세라인과 선간격을 관찰하고 각 조성 변수별로 비교, 분석하였다.

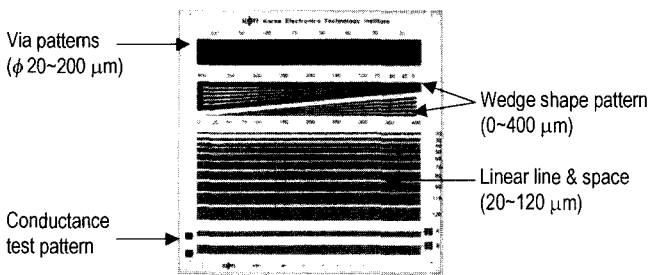


Fig. 6. Test pattern for the evaluation of fine line resolution.

3. 결과 및 고찰

3.1. 폴리머 레진/모노머 비율과 Ag 분말량의 변화에 따른 현상특성

Table 3과 같은 조성비로 폴리머 레진/모노머 비와 Ag 분말량의 변화에 따른 감광성 Ag 페이스트의 인쇄특성 및 현상특성을 관찰하였다. 여기서, 광개시제의 양은 모노머 중량의 30%로 고정하였고, 용매와 운환제는 3분 롤러 작업시 첨가하였다. 그린시트 상에 인쇄 및 건조 후 표면상태는 #1 페이스트의 경우 끈적임(tackiness)이 남아 있어 노광시 마스크에 달라붙는 등 후공정에 어려움이 있었는데, #1 페이스트에 분자량이 작은 모노머의 양이 상대적으로 가장 많았기 때문으로 판단되며, 모노머의 양이 줄면서 끈적임이 덜 하여 후공정에 영향이 없었다.

Fig. 7은 각 배치별로 TTC에 해당하는 시간동안 현상

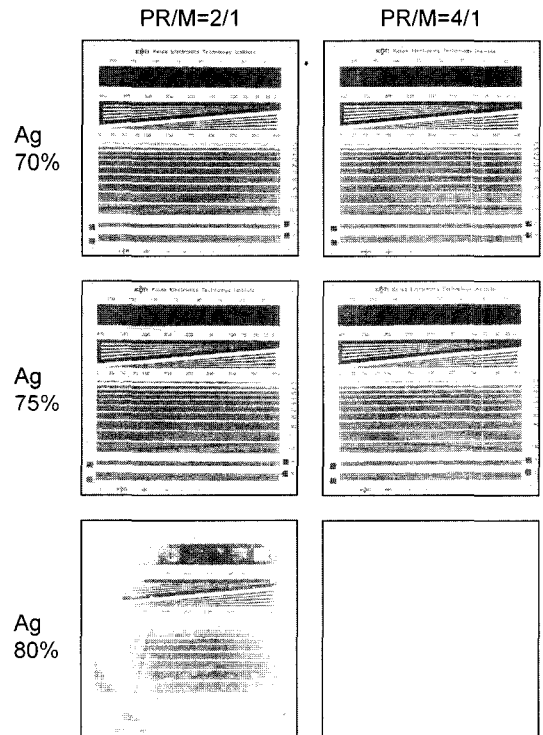


Fig. 7. Test patterns after development according to silver content and polymer/monomer ratio.

Table 3. Paste Compositions of Experiment about Silver Content and Polymer/Monomer Ratio

(unit: wt%)

Composition	Code	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Ag powder	SP3000-1	70	70	75	75	80	80
Polymer resin	KB-01	20	24	17	20	13.3	16
Monomer	M310	10	6	8	5	6.7	4
Photoinitiator	TPO	3	1.8	2.4	1.5	2	1.2
Dispersant	PS-2	0.7	0.7	0.75	0.75	0.8	0.8
Polymer/monomer ratio		2/1	4/1	2/1	4/1	2/1	4/1

한 후 관찰한 테스트 패턴의 모습이다. Ag 분말 투입량이 80 wt%인 경우 패턴이 잘 형성되지 않고 있음을 알 수 있으며, 70, 75 wt%인 경우에도 20  $\mu\text{m}$  패턴은 잘 형성되지 않았다. 현상 후 패턴의 형성에는 폴리머와 모노머가 모두 영향을 주게 되는데, 폴리머는 기판과의 결합력을 부여하는 역할을 하는 것으로 절대적인 양이 부족할 경우 현상시에 패턴을 유지할 수가 없다. 모노머는 노광시 광개시제와 함께 작용하여 중합체를 형성함으로써 노광 부위를 경화시키는 역할을 하므로 모노머의 상대량이 적으면 또한 패턴을 유지하기 어렵다. Ag의 투입량이 많았던 80% 조성은 상기 복합적인 요인으로 부착력이 약하여 기판으로부터 거의 분리된 것이며, 모노머가 상대적으로 많은 폴리머 레진/모노머=2/1인 조성이 20  $\mu\text{m}$  수준의 미세한 패턴형성에는 4/1인 조성보다 유리한 것으로 판단된다.

Ag 투입량을 결정하는데 중요한 요소로 그린시트와의 수축을 매칭을 고려해야 한다.<sup>15)</sup> Fig. 8은 Ag 투입량에 따른 그린시트와의 매칭 특성을 관찰하기 위하여 두께 100  $\mu\text{m}$  그린시트 위에 20 $\times$ 20 mm 사각패턴을 인쇄하고, 시트 2장을 아래에 추가로 적층한 후 동시소성한 시료를 관찰한 것이다. Ag 투입량이 많아질수록 소성체의 휨이 심해지고 있음을 관찰할 수 있다. 즉, Ag 70%의 경우 그린시트와의 수축을 매칭이 양호하였으나, 상대적으로 75, 80%의 경우는 부적합하였다. 페이스트의 건조 후 표면 끈적임 여부,

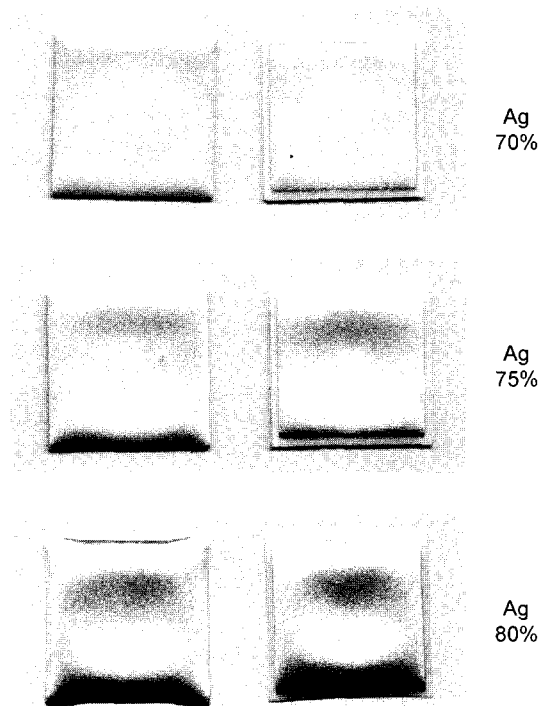


Fig. 8. Result of matching with LTCC according to silver content.

노광/현상 특성, 매칭 특성 등을 모두 고려하여 Ag 투입량이 70 wt%, 폴리머 레진/모노머 비가 4/1인 조성(#2)을 기본조성으로 선정하고 이후 각 변수별 실험에 적용하였다.

### 3.2. 폴리머 종류에 따른 현상특성

현상 후 해상도를 향상시키기 위해서 폴리머 레진의 조성을 보완하는 실험을 진행하였다. Table 1의 KB-02,04,05에 대하여 Ag 투입량 70 wt%, 폴리머 레진/모노머 비가 4/1인 조성의 페이스트를 제조하여 현상 특성을 조사하였다. 실험결과 KB-05의 경우는 현상이 되지 않았고, KB-02와 04의 경우는 Fig. 9(a)에 나타낸 것처럼 현상이 되었는데, KB-02는 20  $\mu\text{m}$  패턴까지 현상이 가능하였으나, KB-04는 20  $\mu\text{m}$  패턴이 손상이 되었으며, 또한 페이스트의 잔류물이 현상 후에도 시트에 남아 노광되지 않은 영역이 깨끗하게 제거되지 못하였다. Fig. 9(b)는 (a)의 30  $\mu\text{m}$  패턴을 확대하여 관찰한 것으로 위에서 기술한 KB-02와 04의 현상특성 차이를 보여주는 사진이다.

폴리머 레진을 구성하고 있는 중합첨가제 중 2-hydroxyethylmethacrylate(HEMA)는 -OH기를 포함하고 있는 물질인데, -OH기의 존재는 그린시트 또는 기판과의 접합력을 증진시키는 것으로 알려져 있다.<sup>16)</sup> 따라서, 이 HEMA의 첨가량의 차이 때문에 KB-02와 KB-04에서 Fig. 9와 같은 차이가 나타나는 것으로 판단된다. 즉, KB-04의 경우 적정량 이상이 첨가되어 오히려 해상도를 떨어뜨리는 요인으로 작용하고 있는 것으로 여겨진다. 중합첨가제 n-butylmethacrylate(nBMA)는 유리전이온도(Tg)가 20 $^{\circ}\text{C}$  부근으로 MMA(105 $^{\circ}\text{C}$ )나 MAA(185 $^{\circ}\text{C}$ ) 보다 낮아서 건조된 페이스트 막을 유연하게 하는 역할을 하고, 물에 대한 저항력을 높이는 효과를 주는 것으로 알려져 있어, 20  $\mu\text{m}$  까지 해상도를 높이는데 도움이 된 것으로 판단된다. KB-05의 경우 styrene을 중합첨가제로 사용하였는데, styrene이 막을 딱딱하게 하는 특성이 있기는 하나, 현상이 되지 않은 이유는 불분명하다.

### 3.3. 모노머 종류에 따른 현상특성

모노머의 종류에 따른 현상특성을 관찰하기 위하여 Table 2의 모노머 3종에 대하여 테스트 패턴을 제작하고, 해상도를 분석하였다. KB-02를 폴리머 레진으로 사용하고, Ag 투입량 70 wt%, 폴리머 레진/모노머 비가 4/1인 조성을 기본으로 하여 3종의 감광성 Ag 페이스트를 제조하고 현상 특성을 조사하였다. 각 페이스트에 대하여 1500  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ 로 패턴을 노광하고, TTC에 해당하는 시간으로 현상한 후 20~40  $\mu\text{m}$  패턴 영역을 관찰한 사진을 Fig. 10(a)에 나타내었다. M300의 경우는 20  $\mu\text{m}$  패턴이 떨어지고 있으며, M310은 현상이 잘 되었으나, M340은 M300과 반대로 현상이 잘 되지 않은 것처럼 보였다. Fig. 10(b)와 같이 20  $\mu\text{m}$  패턴 영역을 확대 관찰하여 보면 M310이 가장

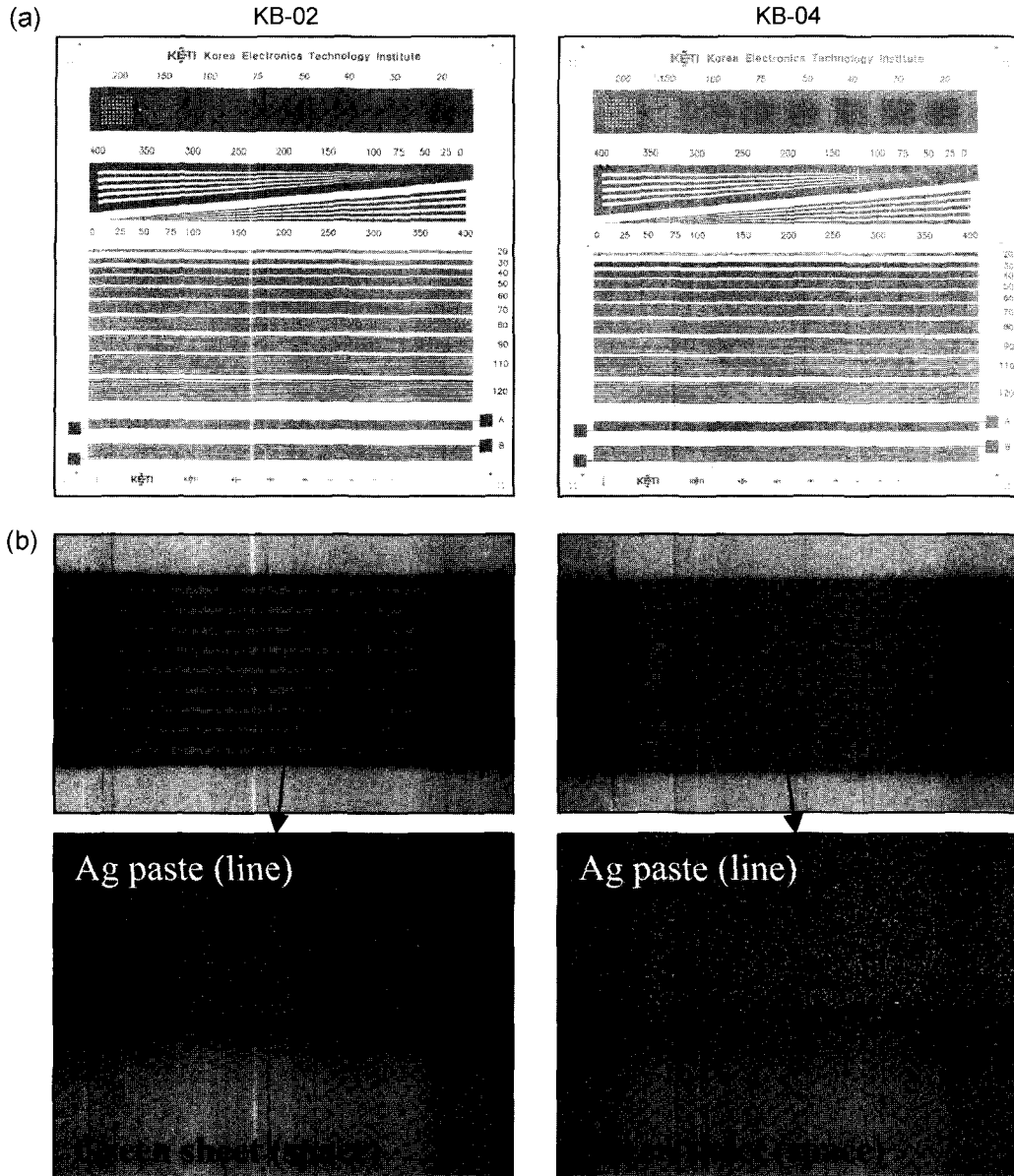


Fig. 9. Comparison of KB-02 and KB-04 : (a) test patterns after development and (b) cleanliness of space between 30 μm lines.

안정적으로 패턴이 형성되었고, M340의 경우 패턴이 완벽하게 현상이 되지 않은 것을 알 수 있다. M340의 경우는 현상시간을 좀더 길게 하면 M310과 같은 패턴이 형성 가능할 것이다.

모노머의 경우는 재료별 광경화 특성의 차이가 있기 때문에 하나의 노광 조건으로 특성을 비교하는 것은 무리가 있다. 따라서, 300, 600, 900, 1200, 1500 mJ/cm<sup>2</sup>으로 광량을 변화시켜가며 미세라인 형성 양상을 비교하는 실험을 진행하였는데, 조건별 미세라인 현상특성을 정성적으로 판단해 보면 Table 4와 같이 정리할 수 있다. 현상 시간은 TTC의 1.0~1.2되는 시간영역 안에서 이루어지도록 조절하였다.

300 mJ/cm<sup>2</sup>의 경우는 광량 부족으로 모두 패턴형성이 잘 이루어지지 않았으며, 600 mJ/cm<sup>2</sup>의 경우에도 20 μm 라인의 일부가 떨어지는 현상이 발견되었으며, 900 mJ/cm<sup>2</sup> 이상의 노광량에서는 대체로 현상 후 패턴이 유지되었다. M340의 경우 1500 mJ/cm<sup>2</sup>로 노광시 광중합이 많이 일어나 주어진 현상조건에서 현상이 미처 완료되지 않은 것으로 판단된다.

자외선 광량에 따른 각 모노머들의 노광력을 정량화하기 위하여 마스크상에서 20~50 μm에 해당하는 미세라인 패턴의 선폭을 측정현미경(Nikon, MM-40)을 이용하여 측정한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. M300의 경우는 마스크 패턴보다 대부분 작은 값으로 측정되었는데, 이는 노

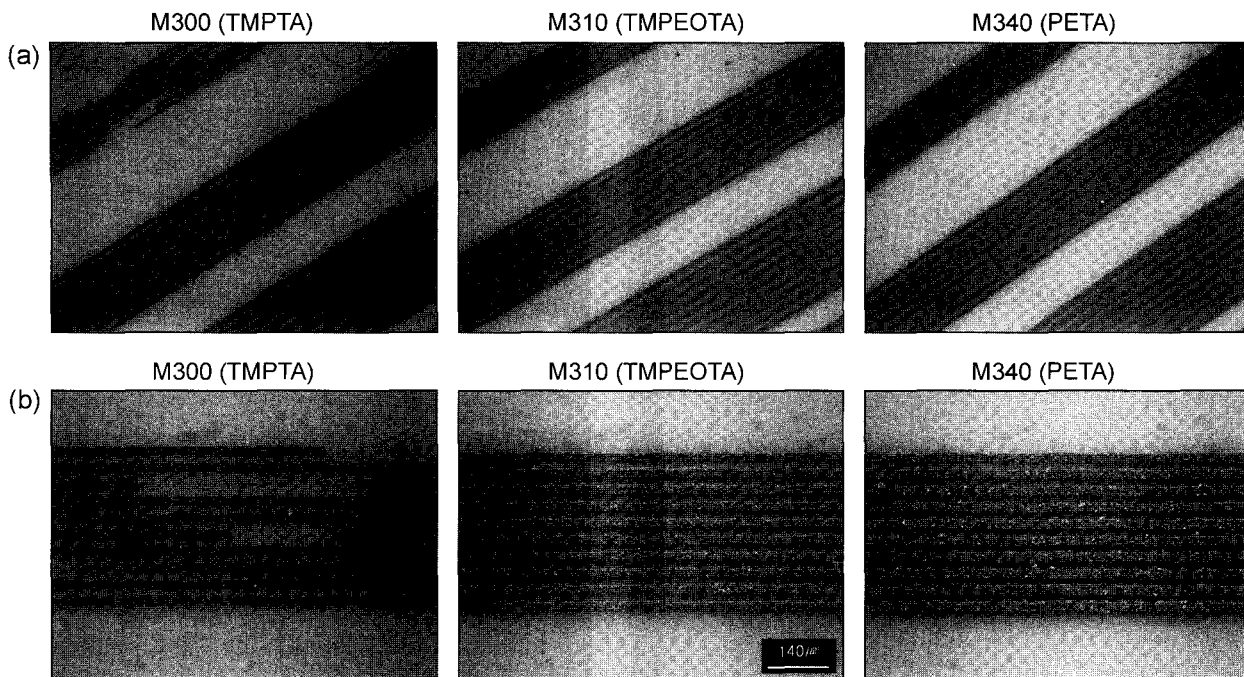


Fig. 10. Comparison of development properties as to various monomer: (a) 20~40 μm line/space pattern and (b) magnified 20 μm line/space pattern.

Table 4. Qualitative Description of the Development Results according to Exposing Dose

Monomer	Exposure (mJ/cm <sup>2</sup> )					Remark
	300	600	900	1200	1500	
M300	×	△	△	○	○	○ : Good
M310	×	△	○	○	○	△ : Somewhat unsatisfactory
M340	×	△	○	○	△	×

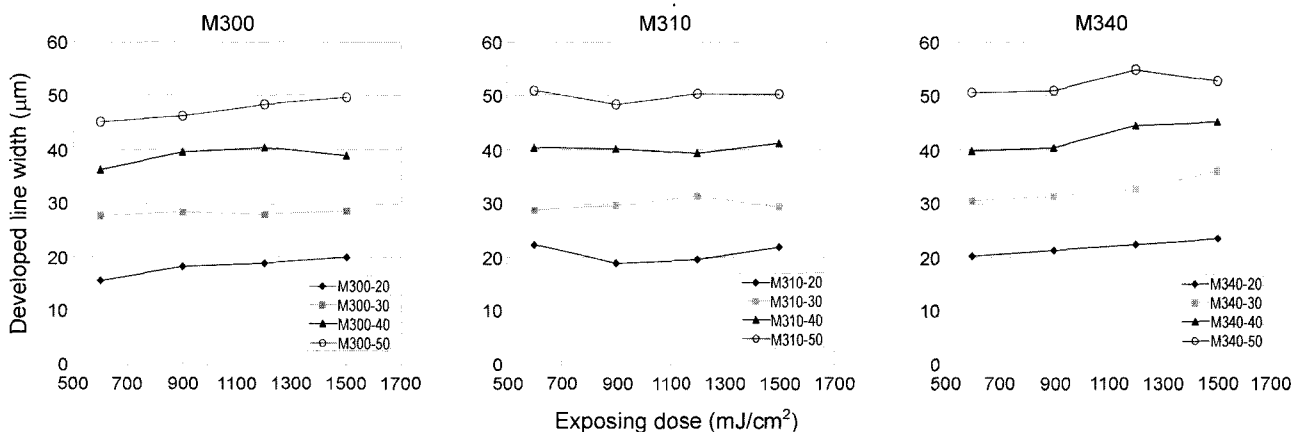


Fig. 11. Comparison of line width as a function of UV exposing dose.

광력이 강하지 않음을 의미하므로, 감광성 Ag 페이스트 용으로는 적합하지 않다고 여겨진다. M310은 대부분의 광량 조건에서 마스크 패턴의 선폭에서 크게 벗어나지 않는 선폭을 보였는데, 이는 넓은 노광량 범위에서도 균일한 선폭을 얻을 수 있는 공정의 안정성을 가지고 있다고

해석할 수 있다. M340은 마스크 패턴보다 넓은 선폭을 나타내었으며, 광량별 증가에 따라 미세라인 선폭이 대체로 증가하는 경향을 보였는데, 작용기가 3개뿐인 다른 모노머들과 달리 작용기가 4개인 모노머가 혼합되어 있어 광중합 반응이 더 활발하게 일어나기 때문인 것으로 판

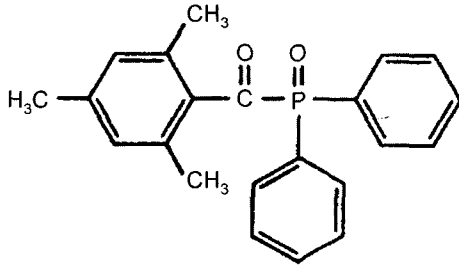


Fig. 12. Structure of photoinitiator (TPO).

단되며, 노광량과 현상시간의 적절한 조절에 의해 감광성 Ag 페이스트에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

### 3.4. 광개시제 함유량에 따른 현상특성

광개시제는 광중합 반응초기에 자외선을 받아 라디칼을 형성하여 모노머의 광중합 반응을 시작하게 하는 중요한 첨가물로서, 함유량의 적절한 조절은 필수적이다. 본 연구에서 사용한 광개시제인 TPO(2,4,6-trimethylbenzoyl-diphenyl-phosphine oxide)의 분자구조를 Fig. 12에 나타내었다. TPO는 빛을 받아 분자내 결합이 깨져 라디칼을 형성하는 acrylphosphine oxide계 재료로서, 365 nm UV에 대한 흡광 특성이 우수한 것으로 알려져 있다.<sup>16)</sup>

KB-02를 폴리머 레진으로, M310을 모노머로 사용하고, Ag 투입량 70 wt%, 폴리머 레진/모노머 비가 4/1인 조성을 기본으로 하여 감광성 Ag 페이스트를 제조하고 현상 특성을 조사하였다. 광개시제의 함유량을 모노머 중량의 10, 20, 30, 40, 50 wt%로 구분하여 5종의 페이스트와 테스트

패턴을 제작하고, 그 중 25  $\mu\text{m}$  부근의 쐐기모양(wedge shape) 패턴을 관찰한 결과를 Fig. 13에 나타내었다. 광개시제의 함유량이 10%인 조성은 광중합이 제대로 이루어지지 않아 패턴 형성이 잘 이루어지지 않았다. 함유량 20%인 조성은 25  $\mu\text{m}$ 까지 현상이 되었으나 그 이하는 그린시트로부터 분리가 되었고, 30% 이상인 조성부터는 25  $\mu\text{m}$  이하의 패턴까지도 선명하게 형성이 되었다. 그러나, 광개시제가 더 증가하여도 해상도가 크게 달라지지는 않는데, 이는 광중합반응에 소모되는 모노머의 양이 고정되어 있기 때문이다. 과량 첨가로 인해 반응에 기여하지 않고 남아있는 광개시제는 페이스트 내에 남아 오히려 건조된 페이스트 막의 특성을 저하시킬 우려가 있으므로, 광개시제 함유량은 모노머 중량의 30% 정도가 적당하다고 판단된다.

Fig. 14는 폴리머 레진으로 KB-02, 모노머로 M310을 사용하고, Ag 투입량 70 wt%, 폴리머 레진/모노머 비가 4/1, 광개시제 함유량이 모노머의 30 wt%인 조성의 감광성 Ag 페이스트를 이용하여 제작된 테스트 패턴을 LTCC 그린시트와 850°C에서 동시소성한 후, 마스크 상의 20  $\mu\text{m}$ 와 30  $\mu\text{m}$  미세라인 패턴의 소성된 모습을 광학현미경으로 관찰한 것이다. 동시소성에 의해 입성장된 Ag 입자의 모습을 관찰할 수 있다. 소성후 각각 14  $\mu\text{m}$ 와 21  $\mu\text{m}$ 의 선폭을 나타내었으며, LTCC와의 동시소성에 의하여 선간 피치가 약 17% 정도 줄었음을 관찰할 수 있다. 도선 내에 존재하는 일부 결함들과 선폭의 편차는 향후 좀더 개선되어야 할 부분으로 볼 수 있으며, 아직 평가되지 않은 변수들, 예를 들면, Ag 입자 크기와 형상, 페이스트 도포 두

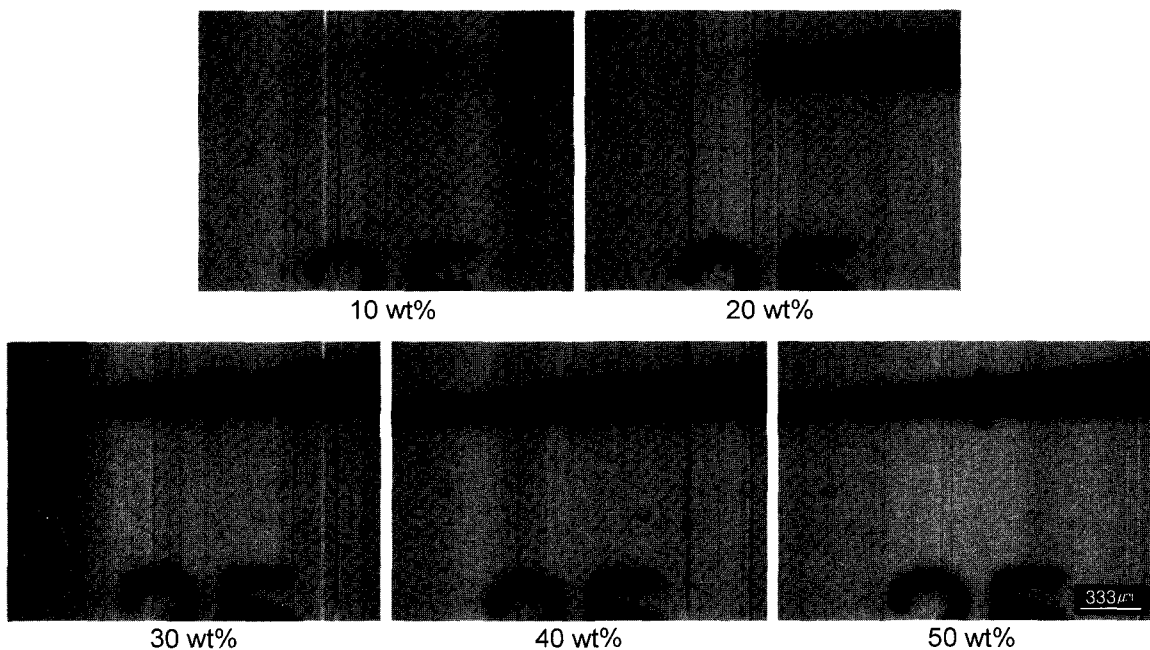


Fig. 13. Change of developed wedge patterns around 25  $\mu\text{m}$  line with the amount of photoinitiator.



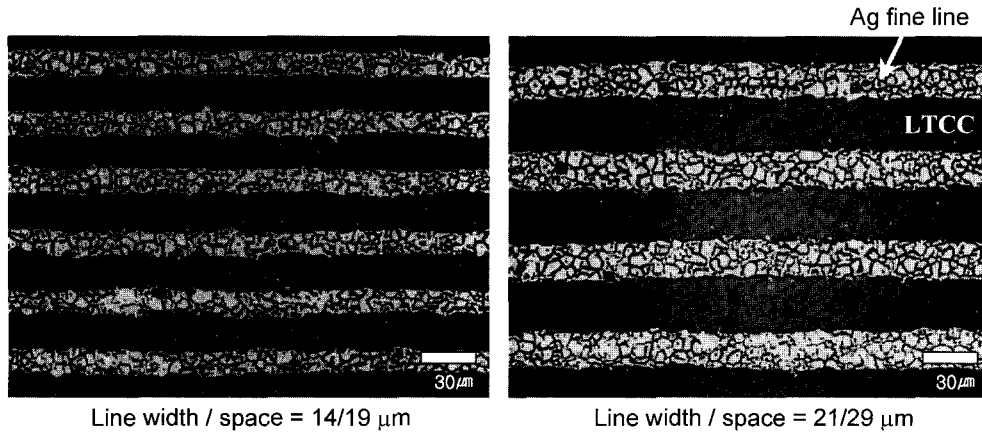


Fig. 14. Photographs of the thick-film fine lines on LTCC after cofiring.

께, 유리 프리트 첨가 여부 등이 페이스트의 미세라인 구현 특성에 미치는 영향에 대해서도 추가적인 연구가 필요하다.

#### 4. 결 론

후막 광식각 기술을 이용하여 미세라인을 형성할 수 있는 LTCC용 감광성 Ag 페이스트에 대한 연구를 실시하였다. 감광성 페이스트를 구성하는 Ag 분말량, 유기물 조성, 그리고 노광량 등이 미세라인 해상도에 미치는 중요한 변수들을 확인할 수 있었다. 해상도와 LTCC와의 수축을 매칭을 고려할 때, Ag 분말의 투입량은 70%가 가장 양호하였고, 투입량이 더 많아지면 특성이 저하되었다. 폴리머 레진과 모노머의 함량비는 후공정에 영향을 주는 인쇄후 건조막의 끈적임과 현상후의 해상도를 모두 고려하여 4/1 조성을 선정하였다. 미세라인의 해상도를 더욱 높이기 위하여 폴리머 및 모노머의 종류를 바꿔가며 실험한 결과, 폴리머는 MMA와 MAA의 기본 공중합체에 HEMA와 nBMA가 적정량 첨가된 KB-02가 가장 좋은 해상도와 선간격 내 잔류물 제거특성을 보였으며, 모노머는 노광량에 따른 해상도를 관찰한 결과 TMPEOTA로 구성된 M310이 해상도와 공정안정성에 있어서 가장 우수하였다. 광개시제의 함량은 모노머 중량대비 30% 이상일 때 25 μm 이하의 미세라인이 형성 가능하였다. 향후 감광성 페이스트에 대한 지속적인 연구를 통하여 기존의 인쇄공정으로 구현하기 어려운 미세패턴의 형성이 가능한, 초소형 고주파 대역 모듈과 부품 제작을 위한 새로운 재료 및 공정 기술을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국가지정연구실사업(후막 리소그래피를 활용한 마이크로파 모듈용 핵심기술 개발)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### REFERENCES

1. R. L. Gacusan, "System-On-Package (SOP) : Next Generation Convergent Microminiaturized Microsystems Package Solution," *Proceedings of the 35th International Symposium on Microelectronics*, 188-93 (2002).
2. K. Lim, S. Pinel, M. Davis, A. Sutono, C. Lee, D. Heo, A. Obatoynbo, J. Laskar, E. Tantzzeris, and R. Tummala, "RF-System-On-Package (SOP) for Wireless Communications," *IEEE Microwave Magazine*, March, 88-99 (2002).
3. R. Tummala, "SOP : Microelectronics Systems Packaging Technology for the 21st Century," *Advancing Microelectronics*, May/June, 31-9 (1999).
4. J. H. Park and J. K. Park, "LTCC Materials and its Processing Technology," *Ceramist*, 4 [4] 41-8 (2001).
5. C. J. Lee, H. J. Kim, and S. C. Choi, "A Sintering behavior of Glass/Ceramic Composite Used as Substrate in High Frequency Range," *J. Kor. Ceram. Soc.*, 37 [4] 302-07 (2000).
6. S. H. Sim, C. Y. Kang, J. W. Choi, Y. J. Yoon, H. J. Kim, H. W. Choi, and S. J. Yoon, "Design of T/R Switch Using LTCC Technology," *J. Kor. Ceram. Soc.*, 40 [4] 375-79 (2003).
7. S. D. Park, H. G. Kang, Y. H. Park, and J. D. Mun, "LTCC and LTCC-M Technologies for Multichip Module," *J. Microelectronics and Packaging Soc.*, 6 [3] 25-35 (1999).
8. M. Tredinnick, P. Barnwell, and D. Malanga, "Thick Film Fine Line Patterning a Definitive Discussion of the Alternatives," *Proceedings of the 34th International Symposium on Microelectronics*, 676-81 (2001).
9. M. Skurski, M. Smith, R. Draudt, D. Amey, S. Horowitz, and M. Champ, "Photoimageable Silver Cofireable Conductor Compatible with 951 Green Tape," *Int. J. Microcircuits and Electronic Packaging*, 21 [4] 355-60 (1998).
10. S. D. Park, Y. S. Lee, H. M. Cho, W. S. Lee, and J. C. Park, "Formation of Fine Line and Series Gap Resonator Using the Photoimageable Thick Film Technology," *J. Microelectronics and Packaging Soc.*, 8 [3] 69-75 (2001).
11. <http://www.dupont.com/mcm/product/fodel.html>
12. L. S. Park, S. W. Jeong, and S. H. Paek, "Water-Developable Photosensitive Barrier Rib for PDP and Photolithographic

- Process," *J. Kor. Ind. Eng. Chem.*, **12** [7] 820-26 (2001).
13. T. Masaki, A. Yoshimura, K. Iwanaga, and G. Tanaka, "Photosensitive Conductive Paste," *Proceedings of 97 IEMT/IMC*, 356-61 (1997).
  14. <http://www.dupont.com/mcm/pdfs/fodel.pdf>
  15. C. R. Chang and J. H. Jean, "Effects of Silver-Paste Formulation on Camber Development During the Cofiring of a Silver-Based, Low-Temperature-Cofired Ceramic Package," *J. Am. Ceram. Soc.*, **81** [11] 2805-14 (1998).
  16. J. H. Hong, "3.Components of UV Curable Coating," pp. 25-60 in *UV Curable Coating*, Publishing Department of Chosun University, 2002.