

## 전도성 입자의 형태가 감광성 실버 페이스트의 미세 전극 패턴 형성에 미치는 영향

임호선<sup>†</sup> · 최학렬\* · 김범준\* · 박성대

전자부품연구원 전자소재응용연구센터, \*(주)휘닉스소재 기술연구소  
(2015년 2월 4일 접수, 2015년 2월 27일 수정, 2015년 2월 27일 채택)

### Effect of Conductive Filler Shape on Fine Electrode Pattern of Photosensitive Silver Pastes

Ho Sun Lim<sup>†</sup>, Hakryul Choi\*, Bumjoon Kim\*, and Sung-Dae Park

Electronic Materials & Device Research Center, Korea Electronics Technology Institute,  
25 Saenariro, Bundanggu, Seongnam-si, Gyeonggi-do 463-816, Korea

\*R&D Team, Phoenix Materials, 130 Gongdan-dong, Gumi-si, Gyeongsangbuk-do 730-902, Korea

(Received February 4, 2015; Revised February 27, 2015; Accepted February 27, 2015)

**초록:** 전도성이 우수한 미세 전극 패턴을 형성하기 위해 은 분말을 함유한 감광성 페이스트를 구현하고 입자의 형태에 따른 전기적 특성을 평가하였다. 노블락 에폭시 변성 아크릴레이트 올리고머, 아크릴레이트 단량체, 광개시제를 혼합하여 광경화 및 알칼리 현상이 가능한 수지조성을 기반으로 은 분말을 첨가하여 감광성 Ag 페이스트를 제조하였다. 구형 은 분말의 함량이 증가할수록 전도성 입자간 밀집도가 좋아져 비저항(volume resistance) 값은 낮아졌으며, 88 wt%의 구형 은 분말을 함유한 페이스트는  $1.14 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 의 값을 나타내었다. 구형과 판상형 은 분말을 8:2의 비로 혼합하였을 때 84 wt%로 은 분말의 함량을 줄였음에도 불구하고 비저항은  $7.04 \times 10^{-5} \Omega\text{-cm}$ 로 가장 우수한 값을 보였다. 이 결과는 판상형 은 분말이 구형 분말 사이의 전도성 연결을 개선하여 전기가 흐르기 용이하도록 만들어 주었기 때문이다.

**Abstract:** Photosensitive silver pastes were developed using a mixture of spherical and flake-type silver particles for fine electrode patterns with high electrical conductivity, and the electrical characteristics were evaluated as a function of particle shape. The photosensitive silver pastes mixed up novolac epoxy-modified acrylate oligomer, acrylate monomer, and photoinitiator as a photocurable and alkali-developable binder resin composition, and silver spheres and flakes as conductive fillers. With a increase of silver loading amount the volume resistance decreased due to enhancement of packing density between the conductive fillers, where the conductive paste with 88 wt% silver sphere content showed  $1.14 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ . When the silver particles loading and sphere to flake ratio were 84 wt% and 8:2, the volume resistance exhibited  $7.04 \times 10^{-5} \Omega\text{-cm}$ . This result was attributed to improvement of electrical contacts between silver spheres by flakes.

**Keywords:** photosensitive silver pastes, electrical conductivity, fine electrode pattern, particle shape effect.

## 서 론

터치스크린(touch screen panel, TSP) 기술이 내장된 스마트폰 기기는 PDA, 내비게이션, 터치폰, 태블릿 PC의 순서로 발전해 왔으며, 점차 태블릿 겸용 노트북 PC인 스마트 PC와 all-in-one PC 등의 중대형 기기로 확산되고 있는 추세이다. 이에 따라 TSP 기술은 대면적화, 높은 선명성 및 투과율 증대, 박막화 및 경량화, 고속/저전력 구동, 긴 내구성 구현, 저

비용 등의 기술적 이슈에 초점을 맞추어 개발되고 있다.<sup>1-10</sup> 특히 TSP 디스플레이의 대면적화 및 고해상도 구현을 위해서는 베젤(bezel) 부분을 최소화하는 것이 핵심이며, 수십  $\mu\text{m}$  미만의 미세 전극 패턴 형성을 위한 전극 소재 및 공정 기술의 개발에 대한 관심이 높아지고 있다.<sup>11</sup>

일반적으로 필름 타입의 TSP 모듈은 좌우 베젤 부분을 통해 TSP 하단으로 배선이 연결되는데, 주로 실버 페이스트를 인쇄하여 투명 터치스크린 필름의 인듐주석산화물(indium tin oxide, ITO) 전극 패턴과 연성회로기판(flexible printed circuit board, FPCB)을 연결하기 위한 전극을 형성하는데 사용하였다.<sup>11</sup> 특히 현재의 기술적 관심은 베젤 전극 부분의 패턴 선폴을 점점 작게 만드는 데 집중되고 있으며, 여러 가지 기술

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: hslim@keti.re.kr

©2015 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

을 활용하여 베젤 전극의 선폭을 감소시키는 데 많은 노력을 기울이고 있다. 실제로 100 μm 선폭의 베젤 전극 패턴을 30 μm 선폭으로 감소시키면 4 inch 기준 TSP에서 베젤 전극의 총 크기를 1.7에서 0.51 mm로 감소시킬 수 있으며, 화면 비율을 15:9라고 가정하였을 때 4 inch 크기의 화면이 4.16 inch가 되어 사용자의 시인성 및 편의성을 크게 향상시킬 수 있다.<sup>11</sup>

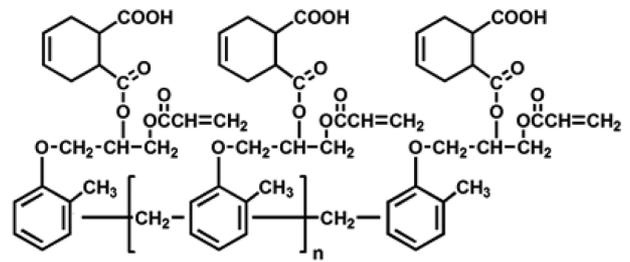
현재 TSP에서 미세 베젤 전극을 형성하기 위해 사용되는 기존 기술은 전도성 페이스트를 스크린 프린팅(screen printing) 하여 8~12 μm의 두께로 인쇄하는 방법이 주로 사용되고 있었다.<sup>12,13</sup> 스크린 인쇄용 전도성 페이스트는 바인더 수지 내에 금속 입자를 90% 이상 충전할 수 있어 높은 전기전도도를 구현할 수 있는 장점이 있으나, 공정 특성상 50 μm 미만 선폭의 미세 전극 패턴을 형성하기가 어려워 베젤부의 두께를 줄이는 데 한계가 있다. 또한 미세 선폭의 한계를 극복하기 위한 방법으로 메탈 증착, 포토리소그래피, 오프셋 등을 사용하고 있으나, 대부분 초기 투자비 대비 효율이 낮아 광범위하게 적용되지 못하고 있는 실정이다.<sup>14-18</sup> 특히 포토 공정을 이용한 다이렉트 메탈 전극 패턴 형성 기술은 20 μm 미만 선폭의 베젤 전극 패턴 구현이 가능하지만 고가의 공정 장비 및 전극 재료가 소요된다는 단점이 있어 이 기술이 적용된 일부 스마트 기기의 가격을 향상시키는 주요 원인이 되고 있다.

이를 해소하기 위하여 간편한 공정으로 저렴하게 미세 전극 패턴을 형성하기 위한 대체 기술에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 감광성 실버 페이스트 기반의 포토 공정 기술은 미세 선폭을 구현할 수 있는 유용한 기술로 많은 관심을 받고 있다.<sup>14</sup> 그러나 포토 공정 기반의 감광성 페이스트는 20 μm 미만의 미세 전극 패턴을 형성하기에 용이하지만 전도성 입자의 충전되는 양이 제한적이라 높은 전도도를 구현하기 어렵고, 미세 패턴 선폭 제어 및 기관과의 부착력을 높여주기 위해 전도성 입자의 크기, 형태와 분산도에 대한 제어 기술이 필수적으로 확보되어야 한다.

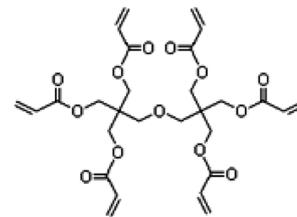
본 연구에서는 전도성 입자의 형태가 감광성 실버 페이스트의 전기적 특성에 미치는 영향을 파악하기 위한 기초적 실험으로써, 구형 및 판상형 입자의 비율 및 함량을 달리하여 저항값과 광조사에 따른 전극 패턴의 해상도를 평가하였다.

## 실 험

**재료.** 감광성 고분자 수지로는 노블락 에폭시 변성 아크릴레이트 올리고머(PN2601), 6관능 아크릴 단량체로 dipentaerythritol hexaacrylate(DPHA)을 (주)폴리네트론으로부터 공급받아 사용하였다(Scheme 1). 광개시제로 Irgacure 907, 2,4,6-trimethylbenzoyl diphenylphosphine oxide(TPO)를, 증감제로 Darocur ITX(isopropyl thioxanthone)를, 분산제로 BYK-111



(a) acrylate oligomer (PN2601)



(b) monomer (DPHA)

**Scheme 1.** Chemical structures of (a) novolac epoxy-modified acrylate oligomer (PN2601); (b) 6-functional acryl monomer (DPHA).

을 추가적인 정제과정 없이 사용하였다. 전도성 입자로 마이크로 크기의 은 분말을 (주)창성으로부터 공급받았으며, 평균 직경 1 μm의 구형과 1.5 μm의 판상형 은 분말을 사용하였다. 페이스트의 점도 조절을 위한 추가 용매로 삼전순약의 ethyl carbitol acetate(ECA)를 사용하였다.

**감광성 페이스트 제조.** 150 mL 용기에 일정량의 아크릴레이트 조성물과 분산제를 넣고 고속페이스트 믹서(PDM-300, 대화테크)를 이용하여 2분간 혼합하여 vehicle을 제조하였다. 분산제의 양은 첨가될 은 분말 대비 0.5 wt%를 투입하였다. 혼합된 vehicle에 은 분말을 80~90 wt%까지 첨가량을 달리 하며 투입하고 2차 고속 믹싱을 실행하였다. 고속 믹싱 전 ECA를 추가하여 페이스트의 점도를 조절하였으며, EXAKT50 3-roll mill을 이용하여 혼합물을 분산시켜 페이스트를 제조 후 고속 믹싱을 1회 추가 실시하였다.

**미세 전극 패턴 형성.** 제작된 페이스트의 현상성을 평가하기 위해 3 inch 알루미늄 기판 위에 스크린 인쇄로 60×60 mm<sup>2</sup> 면적에 전면 도포하고 상온에서 10분간 레벨링 후, 80 °C에서 20분간 건조하였다. 다양한 미세라인 패턴을 가지는 크롬 마스크와 Opto Finetech사의 KP-1200 노광기를 이용하여 200~500 mJ/cm<sup>2</sup>의 광량으로 노광 실험을 진행하였다. 1 wt% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 수용액을 분사하여 미세라인 현상 및 세척 후, 패턴이 형성된 기판을 오븐에 넣어 130 °C에서 1시간 동안 경화시켰다.

**분석.** 전도성 페이스트의 미세 전극 패턴은 광학현미경으로 현상 여부와 선폭을 측정하였고, 표면 상태는 SEM으로 관찰하였다. 페이스트의 전기적 특성은 Loresta GP를 이용하

여 측정하였으며, 측정 시편은 페이스트를 3 inch 알루미늄 기판 위에 2.5×3.5 cm의 크기로 도포 후 광경화하여 제조하였다.

**결과 및 토론**

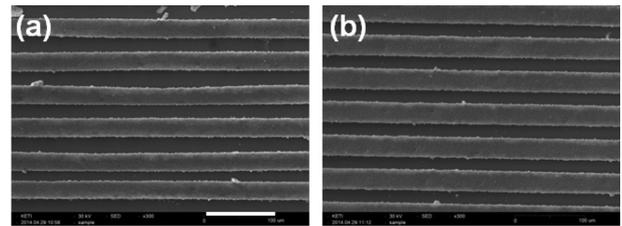
**은 분말의 함량에 따른 미세라인 패턴 형성.** 전도성 페이스트 내 직경 1 μm 구형 은 분말의 첨가량을 달리하여 페이스트의 미세패턴 형성을 위한 현상성 및 전기전도도의 변화를 관찰하였다. 실험에 사용된 아크릴레이트 올리고머 PN2601은 에폭시, 아크릴산, 산무수물을 기반으로 합성한 것으로 알칼리성 수용액을 이용하여 용이하게 현상된다.<sup>19-22</sup> 노블락 타입 에폭시와 아크릴산의 반응을 통해 올리고머 분자 중에 하이드록시기(-OH)를 형성시키고, tetrahydrophthalic anhydride와 같은 산무수물을 반응시켜 올리고머 분자 중에 카르복실기(-COOH)를 도입하였다. 이 노블락 에폭시 변성 아크릴레이트 올리고머는 알칼리성 수용액에서 카르복시기가 중화반응을 하게 되어 물에 잘 녹을 수 있는 염(salt) 형태의 분자 구조를 가지게 되고, 이에 따라 노광이 되지 않은 영역에서는 이 염 형태 아크릴레이트 올리고머의 용해도가 증가하게 되어 물에 씻겨 나가면서 페이스트 막이 제거, 현상이 진행된다.

Figure 1은 은 분말을 80 wt% 함유한 실버 페이스트의 노광 및 현상 공정 후 만들어진 30 μm 선폭 미세 전극 패턴의 광학현미경 사진이다. 노광되는 광량이 일정 수준 이상이 되면 미세 라인의 선폭이 손상없이 현상되었다. 광량이 200부터 300 mJ/cm<sup>2</sup>로 증가함에 따라 미세 선폭의 크기가 32에서 35 μm로 증가하였으나, 400 및 500 mJ/cm<sup>2</sup>로 광량을 증가시킨 경우는 선폭의 크기에서 큰 차이를 보이지 않았다. 선폭의 증가는 마이크로 크기의 은 분말이 투과되는 빛을 산란시켜 빛에 반응하여 안정한 도막을 형성하는 페이스트 영역이

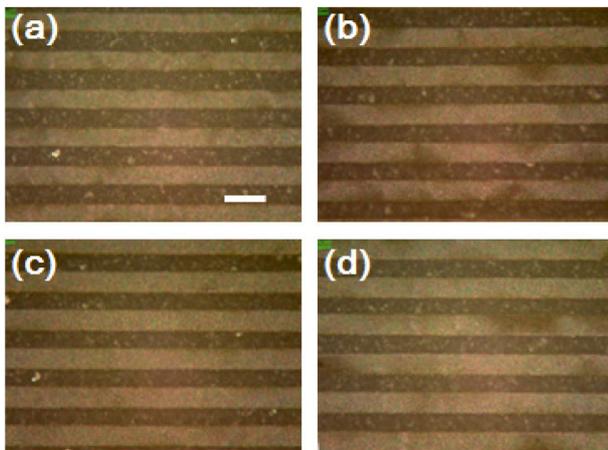
넓어졌기 때문으로 판단된다. 200과 300 mJ/cm<sup>2</sup>이 노광된 시료의 표면 SEM 사진은 Figure 2에 나타내었다. SEM 사진에서 관찰된 것처럼 두 시료의 경우 모두 미세 라인 패턴이 직선으로 곧게 잘 뻗어 있는 것을 관찰하였으며, 200에서 300 mJ/cm<sup>2</sup>로 노광량을 증가시키면 미세 라인의 선폭이 광학현미경 사진과 동일하게 증가한다는 것을 확인하였다.

은 분말의 함량을 80에서 88 wt%까지 달리하여 미세 패턴을 제조하였다. Figure 3은 은 분말의 함량을 달리하되, 노광량이 증가하여도 더 이상 선폭이 증가하지 않는 300 mJ/cm<sup>2</sup>의 광량으로 노광시킨 미세패턴의 광학현미경 사진이다. Figure 3에서 보는 것과 같이 첨가된 은 분말의 함량에 상관없이 유사한 선폭의 곧게 뻗은 미세라인 패턴이 형성되었다. 그러나 페이스트의 전도도를 높이기 위해 은 분말의 함량을 높이면 바인더 수지가 입자를 효과적으로 잡아 주지 못해 패턴 노광 후 알칼리 용액 현상 시 페이스트가 기판에서 쉽게 분리가 되어 미세 패턴 형성이 불가능하였다.

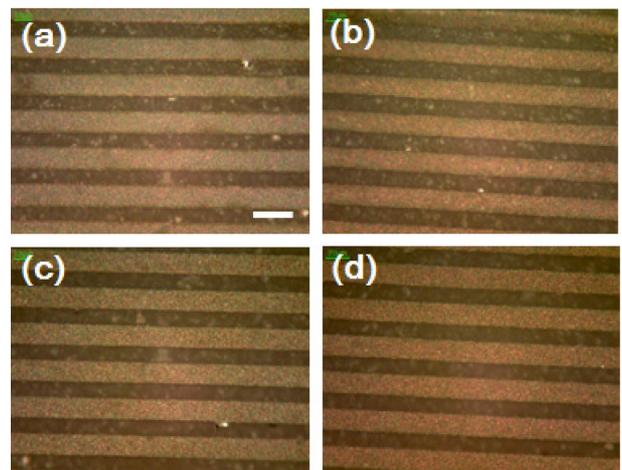
**은 분말의 함량이 전기적 특성에 미치는 영향.** 미세라인 패턴이 형성된 전도성 페이스트에서 구형 은 분말의 함량에



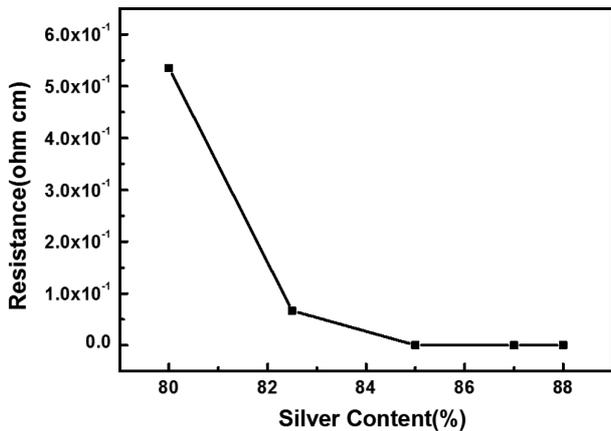
**Figure 2.** SEM images of micropattern for photosensitive silver paste with 80 wt% silver content as a function of light exposure dose: (a) 200 mJ/cm<sup>2</sup>; (b) 300 mJ/cm<sup>2</sup> (scale bar: 100 μm).



**Figure 1.** Optical images of micropattern for photosensitive silver paste with 80 wt% silver content as a function of light exposure dose: (a) 200 mJ/cm<sup>2</sup>; (b) 300 mJ/cm<sup>2</sup>; (c) 400 mJ/cm<sup>2</sup>; (d) 500 mJ/cm<sup>2</sup> (scale bar: 60 μm).

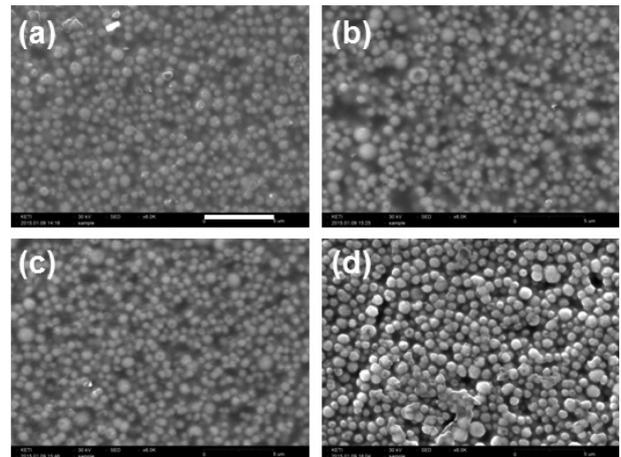


**Figure 3.** Optical images of micropattern for photosensitive silver paste with 300 mJ/cm<sup>2</sup> light exposure as a function of silver content: (a) 82.5 wt%; (b) 85 wt%; (c) 87 wt%; (d) 88 wt% (scale bar: 60 μm).



**Figure 4.** Resistance of conductive pastes as a function of spherical silver particle contents.

따른 전기적 특성을 비교·평가하였다(Figure 4와 Table 1). 80 wt% 은 분말을 함유한 페이스트는  $0.534 \Omega\cdot\text{cm}$ 의 비저항 (volume resistance) 값을 보였으며, 은 분말의 함량이 증가할 수록 비저항은 점점 낮아지는 경향을 보였다. 은 분말이 82.5, 85, 87, 그리고 88 wt%로 증가함에 따라 비저항은 각각 0.067,  $1.93 \times 10^{-4}$ ,  $1.34 \times 10^{-4}$ , 그리고  $1.14 \times 10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}$ 의 값을 보였다. 이는 은 분말의 양이 증가함에 따라 입자간 접촉이 좋아져서 전기가 더 잘 흐를 수 있는 전기 전달 통로가 형성되었기 때문이다. Figure 5는 은 분말의 함량 증가에 따른 전도성 페이스트의 SEM 사진이다. SEM 결과에서 볼 수 있는 것처럼 은 분말의 함량이 80 wt%일 때는 입자들 사이 사이에 유기물 바인더가 들어가 있는 영역이 많은 것으로 관찰되지만, 은 분말의 함량이 82.5, 85, 88 wt%로 증가할수록 입자들 사이에 유기물 성분이 차지하는 비율이 점점 감소하는 경향을 보였다. 또한 은 분말의 함량이 80에서 85 wt%로 증가할 때 페이스트의 전도도는 급격히 증가하였으나 85 wt% 이상의 은 분말을 함유 시에는 전도도의 증가 폭은 크지 않았다. 이 결과는 80 wt%의 은 분말을 함유한 페이스트의 경우 입자간 사이에 낮은 전기 전도도를 보이는 바인더 수지가 전기의 흐름을 방해하여 비교적 높은 비저항을 보인데 반해 은 함량이 증가할수록 상대적으로 은 분말간의 간격이 조밀해져서 전기의 흐름이 좋아졌기 때문이다(Figure 5). 또한 일정 수준 이상 은 분말을 함유하게 되면 구형 분말의 충전이 어느 정도



**Figure 5.** SEM images of photosensitive silver pastes as a function of silver content: (a) 80 wt%; (b) 82.5 wt%; (c) 85 wt%; (d) 88 wt% (scale bar: 5  $\mu\text{m}$ ).

포화 상태에 도달하기 때문에 더 이상 두드러진 증가는 관찰되지 않는 것으로 판단된다.

**은 분말의 형태에 따른 페이스트의 특성 변화.** 구형 은 분말과 판상형 은 분말을 일정비로 혼합하여 페이스트의 전기적 특성을 평가하고 미세라인 패턴을 구현하였다. 구형의 은 분말을 사용하였을 때 88 wt%까지 함량을 증가시켜도  $10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}$  수준의 저항값이 최소였으나, 판상형 은 분말을 80 wt%만 함유하여도 저항값이 반으로 낮아지는 결과( $\sim 5 \times 10^{-5} \Omega\cdot\text{cm}$ )가 관찰되었다. 그러나 판상형 은 분말만 함유한 페이스트의 경우 노광·현상 후 은 분말이 기판에 강하게 접착하여 패턴이 형성되지 않아 우수한 전기적 특성을 보임에도 불구하고 미세라인 패턴을 형성하는 데 부적합하였다. 따라서 본 실험에서는 미세라인 패턴의 현상이 가능하면서 우수한 전기적 특성을 보이는 최적의 조합을 찾기 위하여 은 분말 85 wt% 함량을 기준으로 구형과 판상형의 은 분말의 비율을 달리하여 비저항 값을 측정하였다.

은 분말의 함량 및 구형과 판상형 은 분말의 비에 따른 비저항 값의 변화는 Figure 6과 Table 2에 나타내었다. 순수한 구형 은 분말 85 wt%로 구성된 페이스트의 비저항은  $1.93 \times 10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}$ 의 값을 보인 반면에 구형과 판상형을 9:1의 비로 혼합한 페이스트는  $1.19 \times 10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}$ 의 값으로 구형 은 분말

**Table 1. Electrical Characteristics of the Conductive Pastes with Silver Loading Contents**

Silver content (wt%)	Resistance ( $\Omega$ )	Sheet resistance ( $\Omega/\text{sq}$ )	Volume resistance ( $\Omega\cdot\text{cm}$ )	Conductivity (S/cm)
80	1.263E+02	5.567E+02	5.348E-01	9.873E+00
82.5	2.057E+01	5.617E+01	6.689E-02	2.736E+02
85	3.733E-02	1.645E-01	1.938E-04	5.248E+03
87	3.158E-02	1.392E-01	1.340E-04	7.492E+03
88	1.809E-02	7.972E-02	1.148E-04	8.710E+03

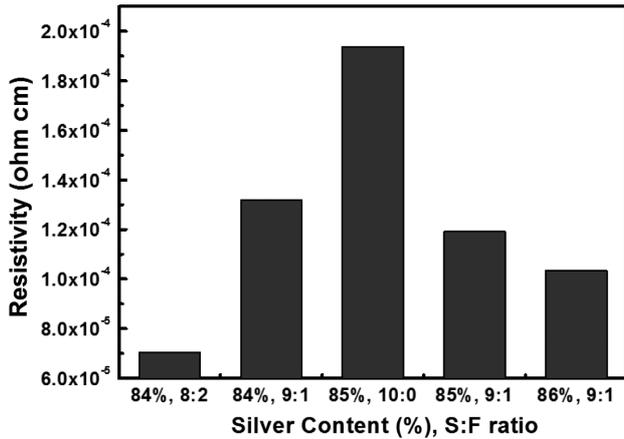


Figure 6. Resistance of conductive pastes as a function of loading contents and sphere to flake ratio of silver particles.

88 wt%를 함유한 페이스트와 유사한 값을 보였다. 이 결과로부터 판상형 은 분말의 소량 첨가가 전도성 페이스트의 전기적 특성을 개선하는 데 효과적이라는 것을 알 수 있다.<sup>23</sup> 이는 판상형 은 분말이 인접한 구형 은 분말 사이의 연결을 좋게 하여 전기가 흐를 수 있는 경로를 좋게 만들어 주기 때문으로 추정된다. 한편, 8:2의 비로 혼합한 페이스트는 미세라인 패턴이 형성되지 않았다. 구형과 판상형 은 분말을 9:1의 비로 혼합하여 86 wt%의 은 분말을 함유한 페이스트는  $1.03 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 값으로 조금 더 낮아지는 결과를 보였으나 동일 조합 87 wt%에서는 현상이 되지 않아 비저항 값을 낮추는 데 한계를 보였다.

더 낮은 비저항을 보이는 페이스트를 구현하기 위하여 첨가되는 은 분말의 함량을 낮추면서 전기 전달 경로를 좋게 만드는 판상형 은 분말의 함량을 증가시켜 전기적 특성을 평가하였다. 구형과 판상형 은 분말이 9:1의 비로 84 wt% 혼합된 페이스트의 비저항은  $1.31 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 값을 보여 구형 은 분말 87 wt%를 함유했을 때와 유사한 결과를 보였다. 구형과 판상형 은 분말 8:2의 비로 혼합한 페이스트의 경우  $7.04 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 으로 가장 낮은 비저항 치를 보이는 것을 관찰하였다. 이는 판상형 은 분말이 구형 은 분말 사이의 접촉을 용이하게 하기 때문에 나타나는 결과이다. Figure 7에서 보이는 것처럼 판상형 은 분말의 함량이 많을수록 판상형 은 분말이

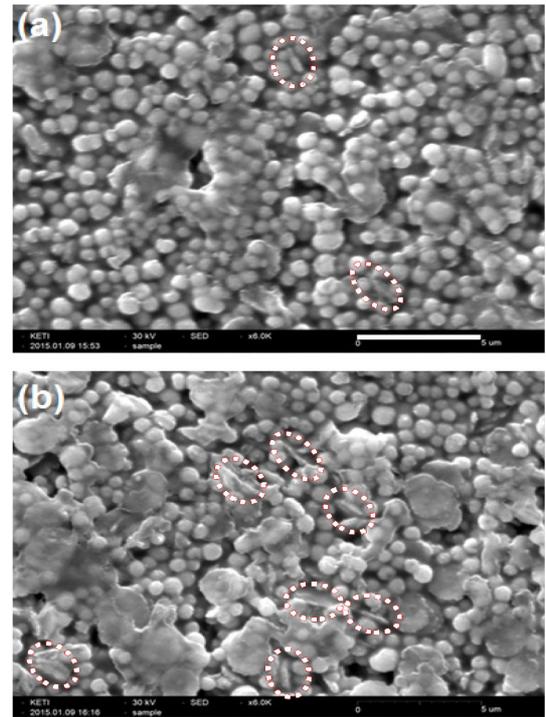


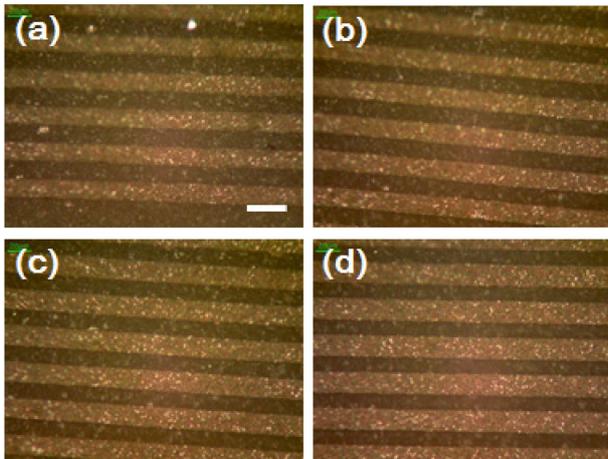
Figure 7. SEM images of conductive pastes with 84 wt% silver content as a function of spherical/flake ratio of silver particle: (a) 9:1; (b) 8:2. The red dotted circles indicate flake-shaped silver particles (scale bar: 5 μm).

구형 은 분말 사이의 연결을 좋게 하여 전기전도도가 좋아지는 것으로 보여진다. 그러나 판상형 은 분말의 함량을 일정량 이상 증가시켜도 판상형 은 분말이 기판에 붙으려는 성향 때문에 미세라인 패턴의 현상이 깔끔하게 되지 않았으며, 전도도 또한 크게 증가하지 않았다.

Figure 8은 구형과 판상형 은 분말을 8:2의 비로 84 wt% 함량으로 제조한 페이스트의 미세라인 패턴 광학현미경 사진이다. 구형 은 분말만 사용했을 때와 유사하게 노광량이 200에서  $300 \text{ mJ/cm}^2$ 로 증가할수록 패턴의 선폭이 33에서  $35 \mu\text{m}$ 로 증가하였으며, 400,  $500 \text{ mJ/cm}^2$ 을 노광하였을 때는 변화가 없었다. 이는 혼합되어 있는 마이크로 크기의 구형과 판상형 은 분말이 노광되는 빛을 산란시키기 때문이다. 한편,

Table 2. Electrical Characteristics of the Conductive Pastes as a Function of Loading Contents and Sphere to Flake Ratio of Silver Particles

Silver content (wt%)	Sphere to flake ratio	Resistance ( $\Omega$ )	Sheet Resistance ( $\Omega/\text{sq}$ )	Volume Resistance ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	Conductivity (S/cm)
84	8:2	1.632E+00	5.871E-02	7.044E-05	1.432E+04
84	9:1	2.689E-02	1.240E-01	1.318E-04	7.651E+03
85	9:1	2.514E-02	1.116E-01	1.192E-04	8.501E+03
86	9:1	2.012E-02	8.867E-02	1.035E-04	1.006E+04



**Figure 8.** Optical images of micropattern for photosensitive silver paste with 84 wt% silver content and 8:2 sphere:flake ratio as a function of light exposure dose: (a) 200 mJ/cm<sup>2</sup>; (b) 300 mJ/cm<sup>2</sup>; (c) 400 mJ/cm<sup>2</sup>; (d) 500 mJ/cm<sup>2</sup> (Scale bar: 60 μm).

미세라인 패턴의 모양은 곧게 직선으로 잘 뻗어 있는 것을 관찰하였다.

## 결론

미세 전극 패턴의 선폭을 줄여 디스플레이 베젤부를 최소화하기 위한 감광성 실버 페이스트를 제조하였다. 특히 페이스트의 전도성에 핵심 역할을 하는 은 분말의 형상이 전기 전도도 및 미세 패턴 현상성에 미치는 영향을 관찰하였다.

은 분말의 함량이 증가함에 따라 전도성 페이스트의 전기 전도도는 크게 향상되었다. 80으로부터 88 wt%까지 구형 은 분말의 함량을 증가시키기에 따라 비저항은 0.534 Ω·cm로부터 1.14×10<sup>-4</sup> Ω·cm로 낮아졌다. 이는 은 분말의 첨가량이 증가함에 따라 전기가 흐를 수 있는 경로가 좋아졌기 때문이다. 구형과 판상형의 은 분말을 혼합하여 제조한 전도성 페이스트는 판상형 은 분말이 구형 은 분말 사이의 연결을 돕기 때문에 구형 은 분말만으로 구성된 페이스트보다 우수한 전기전도도를 보였다. 구형과 판상형 은 분말이 9:1의 비로 혼합된 85 wt% 분말 함량의 페이스트는 1.19×10<sup>-4</sup> Ω·cm의 비저항 값을 보여 88 wt%의 구형 은 분말로만 구성된 페이스트와 유사한 값을 보였다. 판상형 은 분말의 첨가에 의한 전기전도도 개선효과는 은 분말의 사용을 줄여 페이스트의 가격을 낮출 가능성이 있을 것으로 추정된다. 또한 8:2의 비로 혼합된 84 wt% 은 분말 함량의 페이스트에서 7.04×10<sup>-5</sup> Ω·cm의 가장 낮은 비저항 값을 구현하였다.

감광성 실버 페이스트를 이용하여 미세 전극 패턴을 제조하였을 때 노광되는 광량이 300 mJ/cm<sup>2</sup>까지 증가함에 따라 선폭이 증가하였으나 이후는 큰 차이가 없었으며, 입자 형태와 관계없이 35 μm까지 선폭이 증가하는 것을 관찰하였다.

이는 은 분말의 입자 크기가 마이크로 수준이라 노출되는 UV를 산란시키기 때문으로 판단되며, 입자의 크기가 마이크로보다 작고 입자 분산도가 균일할수록 패턴의 정확도가 증가할 것으로 기대된다.

**감사의 글:** 본 연구는 (주)휘닉스소재의 연구비 지원으로 수행되었음.

## 참고 문헌

1. R. G. Gordon, *MRS Bull.*, **25**, 52 (2000).
2. J. Wang, M. Liang, Y. Pang, T. Qiu, J. Zhang, and L. Zhi, *Adv. Mater.*, **24**, 2874 (2012).
3. J. Lee, P. Lee, H. Lee, D. Lee, S. S. Lee, and S. H. Ko, *Nanoscale*, **4**, 6408 (2012).
4. A. Elschner and W. Lövenich, *MRS Bull.*, **36**, 794 (2011).
5. K. S. Kim, Y. Zhao, H. Jang, S. Y. Lee, J. M. Kim, K. S. Kim, J.-H. Ahn, P. Kim, J.-Y. Choi, and B. H. Hong, *Nature*, **457**, 706 (2009).
6. J. van de Groep, P. Spinelli, and A. Polman, *Nano Lett.*, **12**, 3138 (2012).
7. L. Hu, H. S. Kim, J.-Y. Lee, P. Peumans, and Y. Cui, *ACS Nano*, **4**, 2955 (2010).
8. J.-Y. Lee, S. T. Connor, Y. Cui, and P. Peumans, *Nano Lett.*, **8**, 689 (2008).
9. J. H. Lee, P. Lee, D. Lee, S. S. Lee, and S. H. Ko, *Cryst. Growth Des.*, **12**, 5598 (2012).
10. S. H. Ko, H. Pan, C. P. Grigoropoulos, C. K. Luscombe, J. M. J. Frechet, and D. Poulidakos, *Nanotechnology*, **18**, 345202 (2007).
11. E. Y. Heo, *Display Focus*, **22**, 22 (2012).
12. S. E. Shaheen, R. Radspinner, N. Peyghambarian, and G. E. Jabbour, *Appl. Phys. Lett.*, **79**, 2996 (2001).
13. D. A. Pardo, G. E. Jabbour, and N. Peyghambarian, *Adv. Mater.*, **12**, 1249 (2000).
14. S.-J. Kim, J. M. Lee, W.-J. Lee, S. Kim, C. P. Park, B. Park, and I. In, *Chem. Lett.*, **43**, 1855 (2014).
15. D.-Y. Shin, J. W. Han, and S. Chun, *Nanoscale*, **6**, 630 (2014).
16. M. Tredinnick, P. Barnwell, and D. Malanga, *Proc. 34th International Symposium on Microelectronics*, 676 (2001).
17. M. Skurski, M. Smith, R. Draudt, D. Amey, S. Horowitz, and M. Champ, *Int. J. Microcirc. Electron. Pack.*, **21**, 355 (1998).
18. S. D. Park, Y. S. Lee, H. M. Cho, W. S. Lee, and J. C. Park, *J. Microelectron. Packag. Soc.*, **8**, 69 (2001).
19. S. D. Park, N. M. Kang, J. K. Lim, D. K. Kim, N. K. Kang, and J. C. Park, *J. Kor. Ceram. Soc.*, **41**, 313 (2004).
20. D. K. Kim, J. K. Lim, W. G. Kim, and J. R. Haw, *Polym. Korea*, **28**, 531 (2004).
21. D. K. Kim, J. K. Lim, W. G. Kim, and J. L. Heo, *Polym. Korea*, **29**, 237 (2005).
22. S. S. Baek, S. W. Lee, and S. H. Hwang, *Polym. Korea*, **37**, 121 (2013).
23. H. S. Lim, S.-N. Kim, J. A. Lim, and S. D. Park, *J. Mater. Chem.*, **22**, 20529 (2012).