

Study on the Compositions of Photosensitive Ag Paste for Patterning Embedded Fine-Line Inductor in LTCC

Sang Myoung Lee,^{*,**†} Seong Dae Park,^{*} Myoung Jae Yoo,^{*} Woo Sung Lee,^{*}
Nam Kee Kang,^{*} and Sahn Nahm^{**}

^{*}Electronic Materials Packaging Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Gyeonggi 463-816, Korea

^{**}Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

(Received November 27, 2006; Accepted January 29, 2007)

LTCC 내장형 미세 라인 인덕터 구현을 위한 감광성 Ag Paste 조성에 관한 연구

이상명^{*,**†} · 박성대^{*} · 유명재^{*} · 이우성^{*} · 강남기^{*} · 남산^{**}

^{*}전자부품연구원 전자소재패키징연구센터

^{**}고려대학교 신소재공학과

(2006년 11월 27일 접수, 2007년 1월 29일 승인)

ABSTRACT

Line width under 100 μm with good resolution is difficult to achieve using conventional thick-film process utilizing screen printing method. However, combined with lithography technology finer line and space for miniaturization and highly integrated package is achievable. In this study, photosensitive Ag paste of optimum formulation used for thick film lithography technology was fabricated by various Ag powder, glass powder and additives. As the result, line width of 30 μm with good definition and reduced mismatch during co-firing with LTCC substrate was acquired. Formulated Ag paste was used to pattern embedded fine line inductor with over 90% yield.

Key words : Ag Paste, LTCC, Thick film lithography, Embedded inductor

1. 서 론

최근 전자부품의 소형화 요구에 따라 실장부품의 많은 영역을 차지하는 수동부품을 줄이기 위하여, 기존의 인쇄 회로용 기판재료에서 구현하기 어려웠던 수동소자를 기판 내부로 집적화 할 수 있는 저온 동시 소성 세라믹(LTCC, low temperature cofiring ceramics)이 주목 받고 있다.^{1,2)}

LTCC에서 사용되는 재료는 고주파 대역에서 특성이 우수하며, 모듈 내부에 수동소자를 내장 할 수 있고, 소성온도가 1000°C 이하로써 전기전도도가 우수한 Ag, Au, Cu 등을 내부 전극으로 사용 할 수 있어 전극에 의한 손실을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. LTCC를 이용한 다층 세라믹 기판은 테이프 캐스팅(Tape casting), 펀칭(Punching), 스크린 인쇄(Screen printing), 적층(Lamination), 소성(Cofiring)의 단계로 제작된다. 그러나 정밀하고 미세한 패턴을 요구하는 고주파 대역에서 사용이 증가함에 따라서 낮은 정밀도와 100 μm 이하의 패턴구현에 한계를 가지고 있는 스크

린 인쇄 방법에 대응하기 위한 방법으로 후막 리소그래피 기술이 연구 되고 있다.³⁻⁶⁾ 기존의 후막 인쇄 공정에 반도체 에칭 공정을 적용시킨 후막 리소그래피 기술은 감광성 페이스트를 도포한 후 포토마스크를 통하여 UV에 의해 경화를 시키고, 현상용액을 분사하여 경화되지 않은 부분을 제거함으로써 미세하고 균일한 패턴을 형성할 수 있다. Fig. 1은 후막 리소그래피 공정의 모식도이다. 그러나 후막 리소그래피 기술에 사용되는 LTCC용 감광성 페이스트에 관한 조성의 영향이나 공정변수에 대한 연구가 부족한 현황이다.⁷⁾

본 논문에서는 후막 리소그래피 기술에 사용되는 감광성 Ag페이스트의 Ag분말 양과 유기물, 노광량이 미치는 영향에 대한 선행 실험 결과를 바탕으로 이러한 변수들을 최적 조성으로 고정한 후에 실험을 진행하였으며,⁸⁾ 고해상도의 미세 라인 패턴을 구현하기 위해서 다양한 크기와 형태의 Ag분말을 실험하였고 다양한 첨가제를 첨가하여 표면특성을 개선하였다. 그리고 감광성 페이스트와 LTCC 그린 시트에서 발생하는 매칭성 문제를 해결하기 위해서 유리 분말을 첨가함으로써 최적 조성의 페이스트를 제작 할 수 있었다. 또한 제작된 페이스트를 이용하여 높은 정밀도를 가지는 선폭 30 μm 이하의 내장형 미세 라인 인덕터를 구현할 수 있었다.

[†]Corresponding author : Sang Myoung Lee

E-mail : leesangmyoung@hanmail.net

Tel : +82-31-789-7237 Fax : +82-31-789-7209

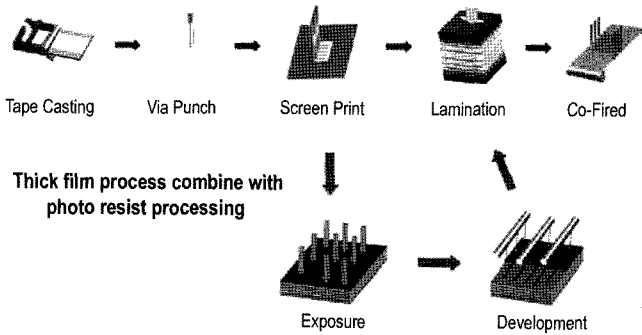


Fig. 1. Process flow of thick film lithography technology.

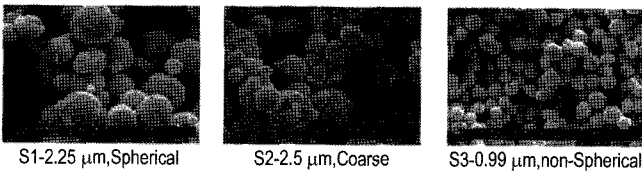


Fig. 2. SEM analysis of Ag powder.

2. 실험 방법

2.1. 재료

최적 조성의 페이스트 제작을 위하여 Fig. 2와 같이 입자 크기와 형태가 다른 Ag분말 S1(2.25 μm, spherical, Daejoo), S2(2.5 μm, coarse, Daejoo), S3(0.99 μm, non spherical, Degussa)을 사용하였으며, 유리 분말은 Temen사의 TG-4를 첨가하였다. 유기물 재료인 바인더 폴리머(KB-18, 미원상사)는 MMA(methylmethacrylate)와 MAA(methacrylic acid) 모노머를 주재료로 하여 ECA(ethyl carbitol acetate) 용액 중에서 용액중합으로 제작된 레진을 사용하였고, 반응기가 3개인 PETA(pentaerythritol triacrylate)에 반응기가 4개인 PETTA(pentaerythritol tetraacrylate)가 섞여 있는 모노머(M340, 미원상사)와 광개시제로써 TPO(2, 4, 6-trimethylbenzoyl diphenyl phosphine oxide)가 사용되었다. 그 외에 인쇄 후의 표면상태 개선을 위하여 첨가제로써 Antiterra-203, BYK-333, Disperbyk-110(BYK Chemical)를 사용하였으며 Table 1에 기본 특성을 나타내었다. 그리고 실험에 사용된 그린시트는 Dupont 9599 분말과 가소제(dibutyl phthalate), 바인더(polyvinyl butyral), 용매(toluene, ethanol)를 혼합하고 탈포하여 슬러리로 제조 한 후 tape caster를 이용하여 두께 60 μm

로 제작되었다.

2.2. 실험 과정

페이스트 용기에 바인더 폴리머, 모노머, 광개시제를 넣고 고속 페이스트 교반기(Thinky AR-250)로 2분간 혼합하여 비이클(vehicle)을 제작한 후, Ag분말과 유리 분말, 첨가제를 넣고 다시 2분간 혼합하였으며, 3롤 밀러(Exact 50)를 이용하여 응집체를 분쇄, 분산하였다. 그 후, 최종적으로 고속 교반기에서 다시 2분간 혼합 및 탈포하여 감광성 Ag페이스트 제작을 완료하였다. 이렇게 제작된 페이스트를 비아 펀칭을 한 그린시트 위에 스크린을 이용하여 스크린 프린터(Microtec)로 인쇄 한 후, 상온에서 레벨링 시간을 10분간 유지하고 80°C에서 10분간 건조 하였다. 노광 공정은 미세라인 인덕터 패턴이 형성되어 있는 마스크를 장착한 노광기(KP-1200, Opto Finetech)로 1500 mJ/cm² 조사 하였으며, 현상 공정은 스프레이 방식의 현상기(ITI)에서 30°C, 1 wt% Na₂CO₃ 수용액으로 현상하였다. 그 후에 패턴이 형성된 그린시트를 우리 시스템에서 제작한 적층기를 이용하여 50 bar, 65°C로 10장(600 Mm)을 적층 하였으며, 850°C에서 소성하였다. 제작된 샘플은 광학 현미경(MM-40, NIKON)과 투과 엑스레이 현미경(HMXT 160TT, X-TEK)으로 관찰하였으며, O/S 측정은 멀티미터(ME-31, METEX)로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Ag분말의 입자 크기와 형태의 영향

Ag분말의 입자 크기와 형태에 대한 영향만을 관찰하기 위해서 유기물 재료인 바인더와 모노머는 24 wt%와 6 wt%로 고정하였으며, 광개시제는 모노머 중량의 30 wt%가 되도록 첨가하였다. 또한 S1, S2, S3 Ag분말을 일정 중량인 70 wt% 사용하여 감광성 페이스트를 제작하였다. 이렇게 제작된 페이스트를 후막 리소그래피 기술을 이용하여 그린시트 위에 미세라인을 형성하였으며 현상공정과 소성 후 미세라인의 해상도를 광학현미경을 이용하여 관찰하였다.

Fig. 3(a)와 같이 현상 후 S1, S3의 경우는 미세라인을 형성 할 수 있었으나, S2는 라인의 정밀도와 해상도가 떨어졌다. 이는 구형 입자인 S1보다 불균일한 입자 형태를 가지는 S2에 의한 산란으로 인하여 광량에 과도한 영향

Table 1. Properties of Additives.

	Amine value (mgKOH/g)	Acid value (mgKOH/g)	Density (20°C)	Solid content (%)	Flash point (°C)	Specific gravity (g/cm ³)	Solvent
AntiTerra-203	51	51	0.89	50	46	0.89	Alkylbenzenes
BYK-333	-	-	0.94	≥97	>100	1.04	-
Disperbyk-110	-	53	1.03	52	42	1.03	Methoxypropyl acetate /Alkylbenzenes

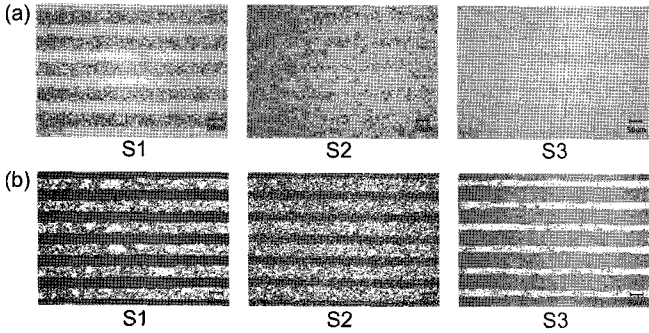


Fig. 3. Image of 50 μm line and space pattern; (a) after development and (b) after co-firing.

을 받아서 미세 라인을 형성 할 수 없는 것으로 판단되며, 비슷한 입자크기를 가지고 있는 경우 불규칙한 입자 형태보다 구형의 균일한 입자 형태를 가지는 Ag분말을 이용한 페이스트가 보다 우수한 해상도를 나타냄을 알 수 있었다. S3의 경우는 Fig. 2의 SEM 이미지에 나타나듯이 S1, S2보다 입자크기가 작고 균일한 크기의 입자 분포를 가지고 있기 때문에 상대적으로 산란강도가 작아져서 미세 라인을 형성 할 수 있는 것으로 판단된다.

소성 후의 특성을 관찰하기 위하여 미세 라인이 형성된 그린시트 아래에 추가로 두께 60 μm시트를 10장 적층하여 850°C에서 소성하였으며 미세 라인 형상과 선폭의 수축률을 측정하였다. 미세 라인 형상은 Fig. 3(b)와 같이 S1보다 입자크기가 미세한 S3의 경우에서 보다 치밀하고 우수한 형상이 관찰되었으며, 선폭을 측정하여 수축률을 계산한 결과 S1=18%, S3=46%로 S1보다 S3가 높은 수축률을 나타내었다. 이러한 현상은 소성과정 중 치밀화 거동에 의해 나타나는 것으로 판단되며, S3가 S1보다 우수한 형상을 나타내었으나 20%의 수축률을 가지는 LTCC 그린시트와 높은 수축률을 보이는 S3의 수축률 차이로 인하여 휘는 현상이 발생되므로 우수한 미세 라인 해상도와 알맞은 그린시트와의 수축률을 나타내는 S1분말을 선정하여 이후 실험에 적용하였다.

3.2. 첨가제와 함유량에 따른 표면 특성

페이스트의 인쇄성과 레벨링(leveling) 특성이 나쁘면 인쇄 후 screen mesh 자국 등이 남아있거나 표면이 평탄하지 않아서 미세하고 정밀한 패턴을 구현하기가 어렵다. 이에 따라서 인쇄성과 인쇄 후 표면의 평탄화를 위한 레벨링(leveling) 특성을 개선하기 위하여 첨가 용매를 줄여서 점도를 높이는 실험을 해보았으나 인쇄성만 조금 개선되고 레벨링 특성은 개선되지 않았다. 이에 따라서 최적의 인쇄성과 레벨링 개선을 위하여 다양한 종류의 첨가제를 첨가해 보았으며, 첨가제의 양과 screen mesh를 조절하여 미세하고 정밀한 라인을 구현 해 보았다.

각기 다른 특성의 첨가제를 Ag분말의 1 wt% 첨가하여

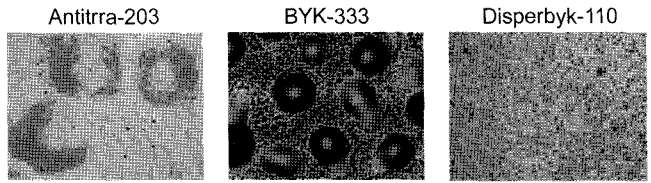


Fig. 4. Comparison of surface condition by various additives.

제작한 페이스트를 그린시트 위에 325 mesh의 스크린을 이용하여 인쇄한 후에 광학현미경을 이용하여 표면 상태를 자세히 관찰한 결과 Fig. 4와 같이 각기 다른 표면특성을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다. 인쇄 후에 Antiterra-203과 Disperbyk-110을 첨가한 페이스트로 도포한 표면과 달리 BYK-333의 경우는 표면에 엉김 또는 분화구 등의 현상이 심하게 나타내었다. 이러한 현상은 습윤 분산제인 다른 첨가제들과 달리 BYK-333은 실리콘(Polydimethyl siloxane) 첨가제로써 실리콘 주 골격에 가치를 붙이는 방법으로 표면의 장력의 저하시키고 표면유동성을 증가시켜서 레벨링 특성만을 개선하는 첨가제이기 때문에 분산을 위한 첨가제가 없이 독자적으로 사용 할 경우 분산이 되지 않아서 오히려 인쇄성을 악화시키는 것으로 판단된다. 입체 장애 효과(Steric hindrance)를 이용하는 분산제인 AntiTerra-203을 사용하였을 경우에는 입자가 응집되는 현상과 기포가 관찰되었으며, 정전기적인 반발력(Electrostatic repulsion)을 이용하는 습윤 분산제인 Disperbyk-110 첨가한 경우는 입자의 응집 현상이 거의 관찰 되지 않았으나, 분화구 현상의 기포가 관찰되었다. 이와 같은 분화구 현상을 개선하기 위하여 분산성이 보다 우수하고 가장 양호한 표면 상태를 나타내는 Disperbyk-110의 양을 Ag분말의 5 wt%까지 증가시키고 인쇄 스크린을 325 mesh에서 200 mesh와 400 mesh로 변화를 주었다. Fig. 5와 같이

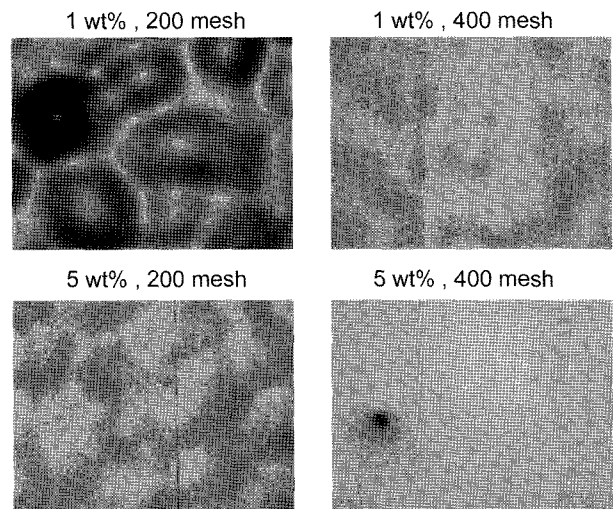


Fig. 5. Surface condition by Disperbyk-110 content and screen mesh size.

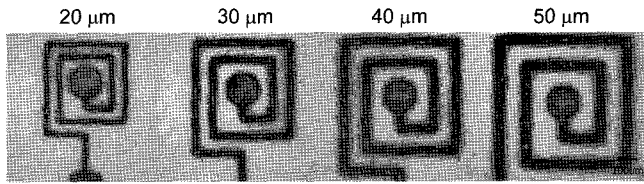


Fig. 6. After developed, fine-line inductor on LTCC green sheet.

200 mesh 보다 미세한 400 mesh에서 우수한 표면 특성을 나타내었으며, Disperbyk-110의 양을 Ag분말의 5 wt% 첨가한 페이스트를 이용하여 도포한 표면상태가 가장 우수하였다.

표면 특성을 개선시킨 페이스트를 이용하여 그린시트에 미세 라인 인덕터를 형성한 결과 Fig. 6과 같이 현상 후에 20 μm의 매우 미세한 라인을 구현 할 수 있었다. 이는 적절한 첨가제의 첨가와 공정조건의 개선으로 표면특성을 향상시킴으로써 보다 우수한 해상도의 미세 라인을 얻을 수 있었던 것으로 판단된다.

3.3. 유리 분말 첨가에 따른 매칭 특성

내장형 미세 라인 인덕터를 구현하기 위하여 선폭(W)은 20, 30, 40, 50 μm로 선 간격(S)은 1 W, 2 W, 3 W로 인덕터 패턴을 디자인 하여 마스크로 제작하였다. 제작된 마스크를 이용하여 인덕터 패턴을 구현한 그린시트를 중심으로 두께 60 μm의 그린 시트를 위로 5장 아래로 4장 적층하고 상부와 하부에 전극을 인쇄한 후에 850°C로 소성하여 내장형 미세 라인 인덕터를 제작 하였다.

그러나 제작된 내장형 미세 라인 인덕터의 수율을 O/S 테스트를 이용하여 측정하였으나 30% 이하의 매우 낮은 수율을 나타내었다. 이러한 원인은 Fig. 7(a)와 같이 소성 과정에서 페이스트와 그린시트의 매칭성이 맞지 않아서 라인이 갈라지거나 끊기는 현상에 의해 발생하는 것으로 판단된다. 이러한 매칭성 문제는 그린시트 제작에 사용된 Dupont 9599 분말과 열적 특성이 유사한 TEMEN사의

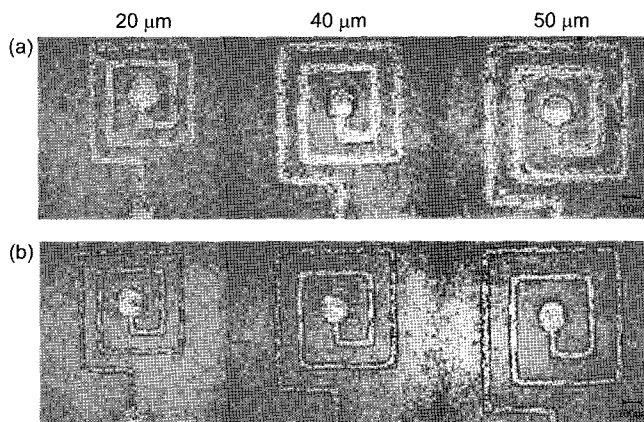


Fig. 7. Fine-line inductor: (a) without glass powder and (b) with glass powder.

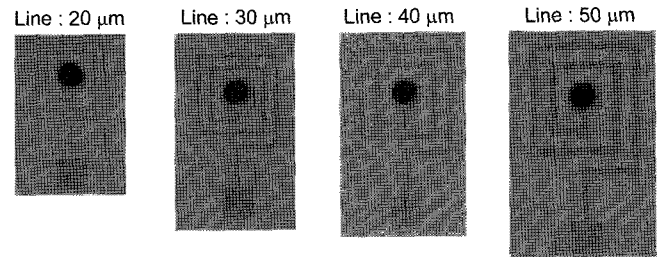


Fig. 8. X-ray scope image of embedded fine line inductor.

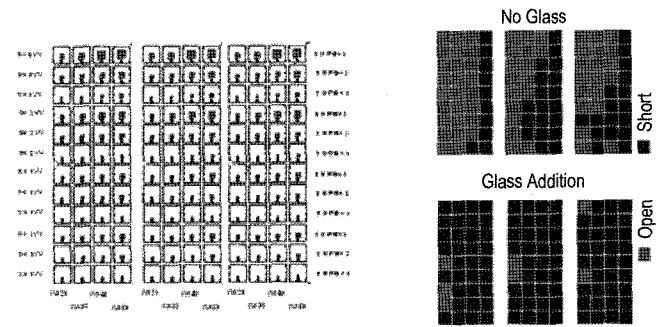


Fig. 9. Embedded fine line inductor pattern and yield (>90%).

TG4 유리 분말을 1 wt% 첨가하여 해결하였다. 이러한 현상은 소성 과정에서 유기물이 없어진 공간의 자리를 액상의 유리 분말이 채우며 Ag입자의 재배열과 응집이 활발히 이루어져서 균일한 전극이 형성되는 것으로 판단된다.⁹⁻¹¹⁾ Fig. 7(b)와 같이 소성과정에서 발생하는 그린시트와의 매칭성 문제를 해결할 함으로써 정밀한 미세 라인 인덕터를 구현할 수 있었다. 최적 조성의 페이스트를 이용하여 패턴하고 적층하여 내장형 미세 라인 인덕터를 제작하였으며, 내부의 인덕터 패턴을 관찰하기 위해서 투과 엑스레이 현미경으로 관찰하였다. Fig. 8과 같이 고해상도의 내장형 후막 미세라인 인덕터를 구현할 수 있었으며, O/S 테스트를 통하여 90% 이상의 높은 수율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 9에 내장형 미세 라인 인덕터 패턴과 유리 분말 첨가에 따른 수율의 변화를 나타내었다.

4. 결 론

내장형 미세 라인 인덕터를 제작하기 위하여 최적 조성의 LTCC용 감광성 Ag페이스트를 제작하였다. 구형의 입자와 규칙적인 입자크기를 가지는 Ag분말이 산란에 의한 영향을 적게 받으며, 높은 비표면적을 가지는 미세한 입자의 Ag분말은 소성과정에서 치밀화 거동에 의해 매우 높은 수축률을 보이는 것을 확인함으로써 최적의 Ag분말을 선정할 수 있었다. 또한 첨가제 종류에 따른 표면특성을 차이를 알 수 있었으며, 첨가제의 양과 인쇄 공정 조건을 조절하여 우수한 표면특성을 얻음으로써 고해상도의

미세라인을 획득할 수 있었다. 또한 그린시트에 사용된 분말과 유사한 열적 특성의 유리 분말을 1 wt% 첨가함으로써 소성과정에서 발생하는 그린시트와 페이스트의 매칭성 문제를 해결하여 90% 이상의 높은 수율을 가지는 30 Mm 이하의 내장형 미세 라인 인덕터를 제작 할 수 있었다.

REFERENCES

1. D. Amey and P. Barnwell, "Ceramic Technology for Integrated Packaging for Wireless," *IEEE Integrated Circuits Symposium*, 63-6 (1999).
2. S. D. Park, H. G. Kang, Y. H. Park, and J. D. Mun, "LTCC and LTCC-M Technologies for Multichip Module," *J. Microelectronic & Packaging Soc.*, **6** [3] 25-35 (1999).
3. S. D. Park, M. J. Yoo, N. K. Kang, and J. C. Park, "Fabrication of Photoimageable Silver Paste for Low-Temperature Cofiring Using Acrylic Binder Polymers and Photosensitive Materials," *Macromolecular Research*, **12** [4] 391-98 (2004).
4. 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).
5. 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).
6. Y. L. Wang, P. J. Ollivier, and M. A. Skurski, "Photoformed Thick Film Materials and their Application to Fine Feature Circuitry," pp. 579-84, *Proceedings of 2000 International Conference on High-Density Interconnect and Systems Packaging, Denver, Colorado, 2000*.
7. T. Masaki, A. Yoshimura, K. Iwanaga, and G. Tanaka, "Photosensitive Conductive Paste," pp. 356-61, *Proceedings of 97 IEMT/IMC, 1997*.
8. S. D. Park, N. M. Kang, J. K. Lim, D. K. Kim, N. K. Kang, and J. C. Park, "Photolithographic Properties of Photosensitive Ag Paste for Low Temperature Cofiring(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **41** [4] 313-22 (2004).
9. R. M. German, "Sintering Glass-Filled Ceramic Composite: Effect of Glass Properties," *Ceramic Transaction*, **1** 969-77 (1998).
10. S. W. Lee, K. H. Kim, K. B. Shimb, and K. D. Koo, "Fabrication of Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC) Chip Couplers for High Frequencies: Effect of Sintering Process on Ag Diffusion(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **36** [5] 490-96 (1999).
11. B. B. Koo and H. G. Kim, "Effect of Frit and Sintering Conditions on the Microstructure and Electrical Property in Ag and Ag/Pd Thick Film Conductors(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **25** [6] 623-30 (1988).