

광식각 기술을 이용한 미세라인의 형성 및 Series Resonator의 구현

박성대, 조현민, 이영신, 이우성, 박종철
전자부품연구원 고주파재료연구센터

Abstract

Using the photoimageable thick film conductors, $25\mu\text{m}$ line widths and $25\mu\text{m}$ spaces can be obtained. Test patterns are made by green tape lamination, paste printing, exposing to UV light, developing in an aqueous process and cofiring. Postfiring method using alumina substrate can be also applied to fine line formation. Series gap resonator formed by photopatterning process showed the improved signal transmission characteristics compared to that obtained by conventional screen printing.

1. Introduction

통신용 주파수의 증가에 따라 사용되는 부품 특성의 tolerance가 end-product의 특성에 중요한 변수로 작용되고 있으나, 기존의 적층공정을 사용할 경우에는 공정상의 tolerance로 인하여 원하는 특성을 얻기가 어렵다. 스크린 인쇄공정이 현재 적층공정의 핵심으로서 가장 각광받는 방법이나 $50\mu\text{m}$ 이하의 선폭 제작이 매우 어렵고 정밀도가 저하된다는 단점을 가지고 있다. Lithography를 이용한 박막기술의 경우 이미 sub- μm 라인까지도 형성되고 있으나, 이 경우 제작 단가비가 높고 장치비가 많이 들기 때문에, 공정 단가가 저렴한 후막 광식각 기술이 새로운 대안으로 주목받고 있다[1][2]. 본 연구에서는 후막공정과 광식각 기술을 활용하여 고주파 특성에 대응할 수 있는 $30\mu\text{m}$ 이하의 초미세라인을 구현하고, 또한 series gap resonator를 광식각으로 제작하여 스크린 인쇄 방법으로 제작한 것과 특성을 비교하였다.

2. Experiment

(1) 재료

본 연구에서는 알루미늄 기판과 LTCC 그린시트를 사용하여 postfiring과 cofiring의 두 가지 방법으로 기판 표면에 $30\mu\text{m}$ 이하의 전도성 미세라인을 형성하는 방법에 대하여 연구를 진행하였다. 본 연구에 사용된 재료들은 96% 알루미늄 기판, LTCC 그린시트, DuPont 6453, DuPont 7090 paste 등이다.

(2) 인쇄, 건조

특별한 패턴이 없는 전면인쇄용 $2'' \times 2''$ 스크린을 사용하여 기판 위에 인쇄된 페이스트를 상온에서 10분 동안 방치하여 평탄화(leveling)하였다. 주의할 점은 페이스트들이 감광성이기 때문에 작

업은 반드시 yellow room에서 이루어져야 한다는 것이다. Leveling이 완료된 기판은 80℃에서 20분 동안 건조하였다. 그린시트를 사용한 경우에는 시트를 일정두께로 적층한 후에 알루미늄 기판과 동일한 방법으로 인쇄하였다.

(3) 노광, 현상, 소성

테스트 패턴 제작을 위해 유리판 위에 크롬막을 입혀 마스크를 제작하였다. 테스트 패턴에는 20-200 μm 의 비아(via), 쉐기 모양의 line/space 측정 패턴, 20-120 μm 의 line/space 패턴 등이 포함되어 있다. 노광량과 현상시간에 따른 패턴의 변화를 관찰하기 위해 7090 및 6453 paste가 인쇄된 기판을 광량과 현상시간을 달리하여 실험하였다. 현상시간은 TTC를 기준으로 하여 $TTC \times \alpha$ 로 나타내어 조건을 설정하였는데, 여기서 TTC는 노광되지 않은 기판을 현상하였을 때, 페이스트가 현상액(Na_2CO_3 1wt% 수용액)에 의해 모두 씻겨나가는 시간이다.

소성은 box로를 사용하여 공기 분위기에서 소성하였는데, 알루미늄 기판을 사용한 경우에는 최고 온도 850℃에서 10분동안 유지되도록 하였으며, 승온속도는 10℃/min가 되도록 하였다. LTCC 그린시트를 사용한 경우에는 400℃에서 1시간 동안 유지하여 탈지하고, 최고 온도 850℃에서 10분 동안 유지되도록 하였으며, 400℃-800℃ 사이의 승온속도는 10℃/min가 되도록 하였다. 소성된 기판을 현미경으로 관찰하고 소성전후 패턴의 변화양상을 조사하였다.

3. Results and Discussion

(1) Fine line formation

Fig.1과 2는 알루미늄 기판과 LTCC 위에 형성된 7090과 6453의 미세라인을 나타내는데, 기존의 스크린 인쇄법으로는 어려운 30 μm 이하의 라인을 용이하게 만들어 낼 수 있음을 보여주고 있다. Fig.1로부터 postfiring된 7090 페이스트의 경우는 소성후에 미세라인의 선폭이 21 μm 로 감소하고, 선간 공백은 38 μm 로 증가하고 있음을 관찰할 수 있다. 그러나, 선폭/선간공백의 pitch는 소성전후에 약 60 μm 로 일정하게 유지되고 있다. Fig.2의 6453의 경우는 페이스트와 그린시트가 동시에 소성되기 때문에 Fig.1과는 다른 양상을 나타내게 되는데, 선폭/선간공백이 25/25 μm 로 거의 동일하였으며, 선폭/선간공백의 pitch는 그린시트의 수축과 함께 50 μm 로 감소하였음을 발견할 수 있다.

Fig.3은 노광량과 현상시간의 변화에 따른 패턴의 변화를 나타낸 것이다. 현상시간이 길어지면 부착력이 상대적으로 약해지는 20 μm , 30 μm 의 미세라인들이 기판으로부터 떨어져 나가게 됨을 관찰할 수 있다. 그러나 UV 조사량이 많아지면 부착강도를 증가시키는 역할을 하게 되어 동일한 현상 조건에서 떨어져 나가는 현상이 덜 하였다. 이러한 부착강도의 증가는 페이스트를 구성하고 있는 monomer가 UV에 의해 중합화되면서 나타나는 cross-linking 현상이 광량이 증가하면서 더 강해지기 때문이다.

(2) Series gap resonator

광식각 공정은 미세라인의 형성에 유용할 뿐만 아니라 microstrip과 같은 전송선로의 resolution을 향상시키는데도 유용하다. 임피던스 라인은 재료의 기하학적인 크기 및 전극의 크기에 따라서

변화를 하며 정확한 임피던스 라인을 만들기 위해서는 정밀한 치수 조절이 요구된다.

본 연구에서는 기판의 유전을 및 유전손실을 측정하기 위해 microstrip line과 series gap 공진기를 광식각 공정을 이용하여 제작하였다(Fig.4). LTCC 위에 형성된 패턴은 7090 paste를 이용하여 postfiring하는 방법으로 제작되었다. 한편, 스크린 인쇄를 이용한 방법으로도 동일한 공진기를 구성하여 두 패턴의 결과를 비교하여 보았다. 이 구조에서 50Ω 마이크로 스트립 라인의 선폴은 dielectric rod type Hakki-Coleman method를 이용하여 측정된 유전체 재료의 유전률과 기판의 치수에 따른 것이다.

(2-1) 유전을 측정

제작된 series resonator의 공진 주파수는 $\lambda/2$ line에서 2nd pole이 3.1847GHz에서, $\lambda/4$ line에서는 3.0887GHz에서 발생하였다. 이로부터 유전률은 다음과 같은 식으로부터 계산할 수 있다[3]. 우선 유효유전률(ϵ_{eff})은

$$\epsilon_{eff} = \left[\frac{c(n_1f_2 - n_2f_1)}{2f_1f_2(l_2 - l_1)} \right]^2 = 5.28$$

이고, 마이크로 스트립선로의 실제유전률은 다음의 식으로부터 유도해낼 수 있다.

$$\epsilon_r = \frac{2\epsilon_{eff} + f - 1 - C''}{f + 1 - C''}$$

위 식을 통하여 본 연구에서 사용된 LTCC 유전체 기판의 L-band 대역에서의 실질적인 유전률은 약 7.7의 값을 갖는 것으로 측정되었다.

(2-2) 유전손실 측정

Fig.5로부터 광식각 공정을 이용할 경우 스크린 인쇄 방식 보다 고주파 신호의 전송특성이 향상되는 것을 알 수 있다. 광식각 공정시는 주파수가 증가하여도 전송손실이나 반사손실의 변화가 미약하나 스크린인쇄의 경우 약 5GHz 이상이 되면 주파수 응답특성이 급격히 감쇄함을 볼 수가 있다.

유전체 기판의 유전손실은 각 공진주파수에서의 Q값을 이용하여 유도할 수 있다. 일반적으로 유전체의 Q는 다음과 같은 관계를 갖는다[3][4].

$$Q = \frac{f_0 (\text{공진주파수})}{BW (3dB \text{ Bandwidth})}$$

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_r}$$

$$Q_d = \frac{Q_c Q_r}{Q_c Q_r - Q (Q_r + Q_c)}$$

측정결과 중심주파수 1.59GHz에서 3dB bandwidth는 10.4MHz, 이때 loaded Q값은 약 91이었으며, 이 값으로부터 실제 Q는 77이 된다. 또한, Q_r 은 약 2210, Q_c 는 약 20으로 계산되었다. 실제 측정된 Q와 계산된 Q_c , Q_r 로부터 Q_d 를 유도한 후 이로부터 유전손실($\tan \delta$)을 구할 수 있고 다음의 식을 따른다.

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_{eff} (\epsilon_r - 1)}{Q_d \epsilon_r (\epsilon_{eff} - 1)}$$

결과적으로 Qd는 약 220, 유전손실은 0.005로 나타났다.

4. Conclusion

본 연구에서는 광식각 공정기술을 후막전도체에 응용하여 30 μm 이하의 전도체 라인을 형성할 수 있었다. 광식각시 노광조건과 현상조건을 달리하여 각 조건들이 패턴형성에 미치는 영향을 파악할 수 있었다. 또한 레조네이터 회로 패턴을 활용하여 재료 및 제작된 라인의 평가를 행하여 재료의 유전율, 삽입손실 등에 관한 정보를 얻을 수 있었다. 이러한 미세라인 형성 기술은 저손실의 전송선로의 구현에 유용할 것으로 판단되며, 향후 L,C,R 수동소자의 소형화 및 정밀도 향상과 그에 따른 복합모듈의 고집적화, 고기능화에도 유용할 것이다.

References

- [1] Y.L.Wang, P.J.Ollivier and M.A.Skurski, "Photoforemed Thick Film Materials and Their Application to Fine Feature Circuitry," Proceedings of 2000 International Conference on High-Density Interconnect and Systems Packaging, pp.579-584 (2000)
- [2] Peter Barnwell, "Microwave MCM-C Utilizing Low Loss LTCC and Photo-patterning Processes," Proceedings of 1999 International Conference on High Density Packaging and MCMs, pp.237-241 (1999)
- [3] D.A.Rudy, J.P.Mendelsoin and P.J.Muniz, "Measurement of RF Dielectric Properties with Series Resonant Microstrip Elements," Microwave Journal, March 1998.
- [4] D.I.Amey and S.J.Horowitz, "Tests Characterize High-Frequency Material Properties," Microwaves & RF, August 1997.

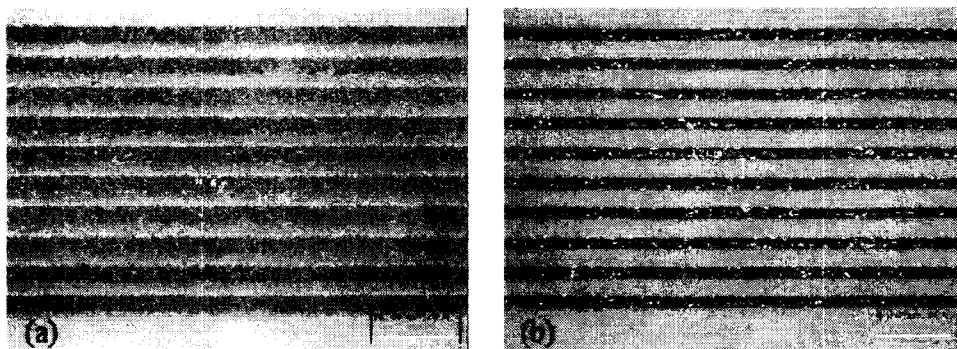


Fig. 1. 30 μm line & space pattern on alumina substrate formed by 7090 postfiring :

(a) after developing, (b) after firing

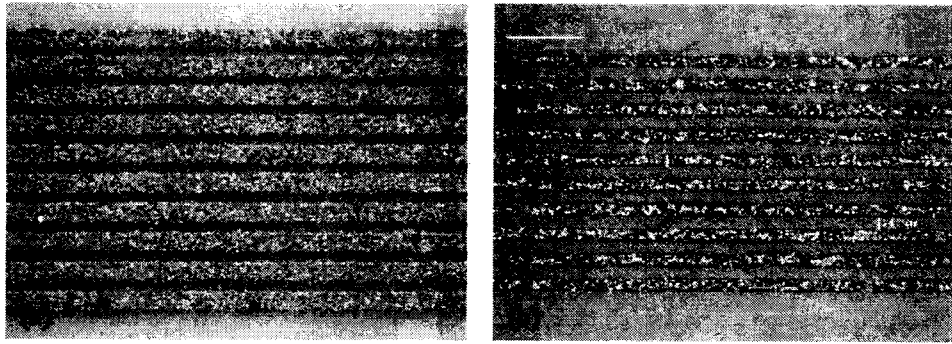


Fig. 2. 30µm line & space pattern on LTCC formed by 6453 cofiring:
 (a) after developing, (b) after cofiring

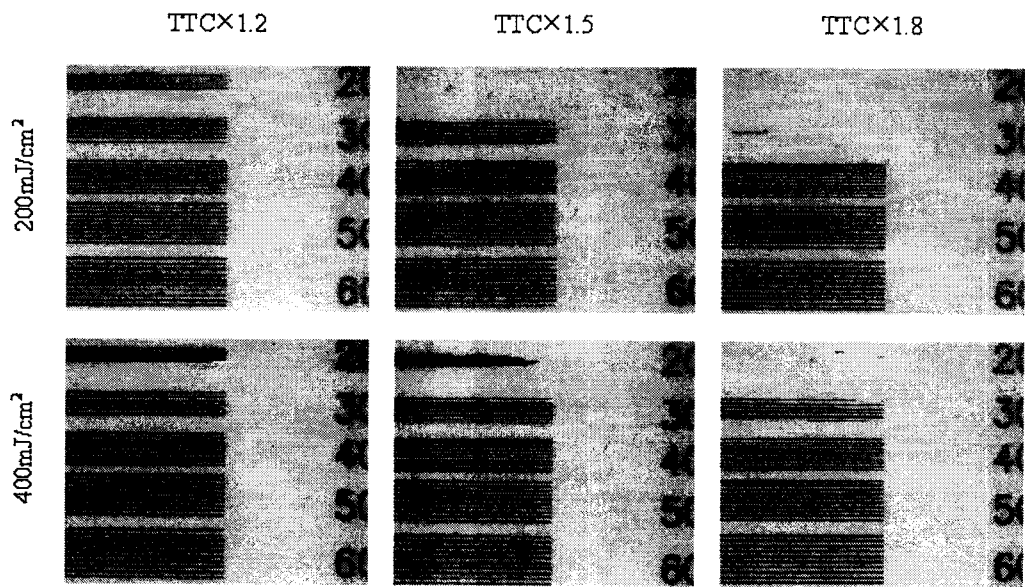


Fig. 3. Change of line/space pattern as a function of the UV amount and the developing time.

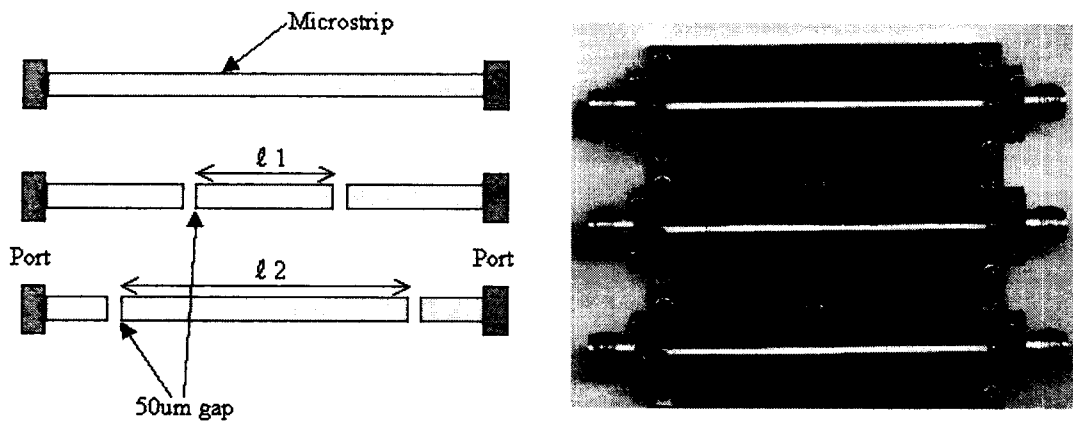


Fig. 4. Series gap resonator formed by photopatterning method.

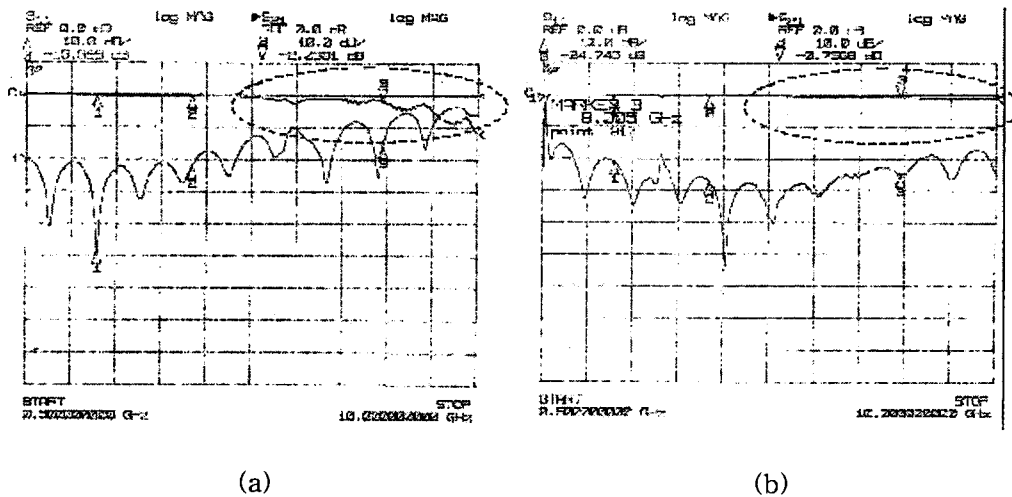


Fig.5. Transmission properties of (a) screen printed line and (b) photoimaged line.