

후막 광식각 기술을 이용한 미세라인 및 Series Gap Resonator의 구현

박성대 · 이영신 · 조현민 · 이우성 · 박종철

전자부품연구원 고주파재료연구센터

Formation of Fine Line and Series Gap Resonator Using the Photoimageable Thick Film Technology

S.D. Park, Y.S. Lee, H.M. Cho, W.S. Lee and J.C. Park

High Frequency Materials Research Center, Korea Electronics Technology Institute

초 록: 후막 광식각 기술은 스크린 인쇄 등의 일반적 후막공정에 노광 및 현상 등의 리소그래피 공정을 접목시킨 새로운 기술이다. 그린시트를 적층한 후 감광성 Ag 페이스트를 도포하고, 패턴을 노광, 현상, 동시소성하여 스크린 인쇄법으로는 어려운 25 μm 선폭과 25 μm 선간공백을 구현하였다. 알루미늄 기판을 사용하였을 경우에도 유사한 방법으로 20 μm 에 가까운 선폭이 구현 가능하였으며, 노광량과 현상시간이 미세라인 형성에 있어서 가장 중요한 공정변수임을 확인하였다. 또한, 광식각 기술을 이용하여 정밀도가 높고 고주파 대역에서 전송특성이 우수한 microstrip 전송선로와 series gap 공진기를 제작하여, 이로부터 기판의 유전률 및 유전손실을 계산하였다.

Abstract: Photoimageable thick film technology is a new technology in that the lithography process such as exposure and development is applied to the conventional thick film process. Line resolution of 25 μm width and 25 μm space could be obtained by laminating green sheet, printing photoimageable Ag paste, exposing the test patterns, developing, and co-firing. In case of using the alumina substrate, 20 μm fine line could be also obtained by similar process. Test results showed that exposing power density and developing time were the most important processing parameters for the fine line formation. Microstrip and series gap resonators with well-defined line morphology and good transmission characteristics in high frequency were formed by this new technology, and thereby dielectric constant and loss of test substrate were calculated.

1. 서 론

최근 무선통신 시스템은 점차 고주파 대역화 되어가고 있어 사용되는 부품 특성의 안정성이 최종 제품의 특성에 중요한 변수로 작용되고 있다. 또한 최종 제품의 소형화는 부품의 고집적화를 요구하고 있어, 이에 대응하기 위한 공정기술의 개발이 필요하다. 스크린 인쇄공정이 현재 적층공정의 핵심으로서 가장 각광받는 방법이나 선폭 50 μm 이하의 도선 제작이 어렵고, 선폭이 작아질수록 수율이 떨어지며, 또한 도선의 기하학적 정밀도가 낮다는 단점을 가지고 있다. 리소그래피(lithography)를 이용한 박막기술의 경우 이미 1 μm 미만의 선폭까지도 가능하지만, 이 경우 제작 단가비가 높고 장치비가 많이 들기 때문에, 공정 단가가 저렴한 후막 광식각 기술이

새로운 대안으로 주목받고 있다. 후막 광식각 기술은 기존의 스크린 인쇄 방법으로 기판위에 페이스트를 도포한 후 세부 패턴은 리소그래피 기술을 이용하여 형성시키는 기술이다.^{1,2)} 본 연구에서는 이러한 후막 광식각 기술을 활용하여 고주파 특성에 대응할 수 있는 30 μm 이하의 미세라인을 구현하고, 또한 정밀도가 높은 microstrip 전송선로와 series gap 공진기(resonator)를 제작하여 기판의 유전특성을 계산하고, microstrip의 전송특성을 스크린 인쇄로 제작한 것과 비교하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 알루미늄 기판과 저온동시소성세라믹(LTCC: low temperature co-fired ceramic) 그린시트를 사

용하여 동시소성(co-firing)과 후소성(post-firing)의 두 가지 방법으로 기판 위에 30 μm 이하의 전도성 미세라인을 형성하는 방법에 대하여 연구를 진행하였다. 본 연구에는 96% 알루미나 기판, LTCC 그린시트, DuPont 6453 Ag, DuPont 7090 AgPt 페이스트 등이 사용되었다.

특별한 패턴이 없는 전면인쇄용 2"×2" 스크린을 사용하여 알루미나 기판 위에 인쇄된 페이스트를 상온에서 10분 동안 방치하여 평탄화(leveling)하였다. 평탄화가 완료된 기판은 80°C에서 20분 동안 건조하였다. 그린시트를 사용한 경우에는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 시트를 일정두께로 적층한 후에 알루미나 기판과 동일한 방법으로 페이스트를 인쇄하였다.

테스트 패턴 제작을 위해 유리판 위에 크롬막을 입혀 마스크를 제작하였다. Fig. 2는 기판 위에 형성된 테스트

패턴의 모양을 나타내는데, 여기에는 20-200 μm 지름의 비아(via), 썸기 모양의 선폭/선간공백(line width/space) 측정 패턴, 20-120 μm의 선폭/선간공백 패턴 등이 포함되어 있다. 노광량과 현상시간에 따른 패턴의 변화를 관찰하기 위해 7090 및 6453 페이스트가 인쇄된 기판을 광량과 현상시간을 달리하여 실험하였다. 현상시간은 TTC(time to clear)를 기준으로 하여 $TTC \times \alpha$ 로 나타내어 조건을 설정하였는데, 여기서 TTC는 노광되지 않은 기판을 현상하였을 때, 페이스트가 현상액(Na_2CO_3 1.0 wt% 수용액)에 의해 모두 씻겨나가는 시간이다.¹⁾

소성은 실험용 전기로를 사용하여 공기 분위기에서 소성하였는데, 알루미나 기판을 사용한 경우에는 최고 온도 850°C에서 10분 동안 유지되도록 하였으며, 승온 속도는 10°C/min가 되도록 하였다. LTCC 그린시트를

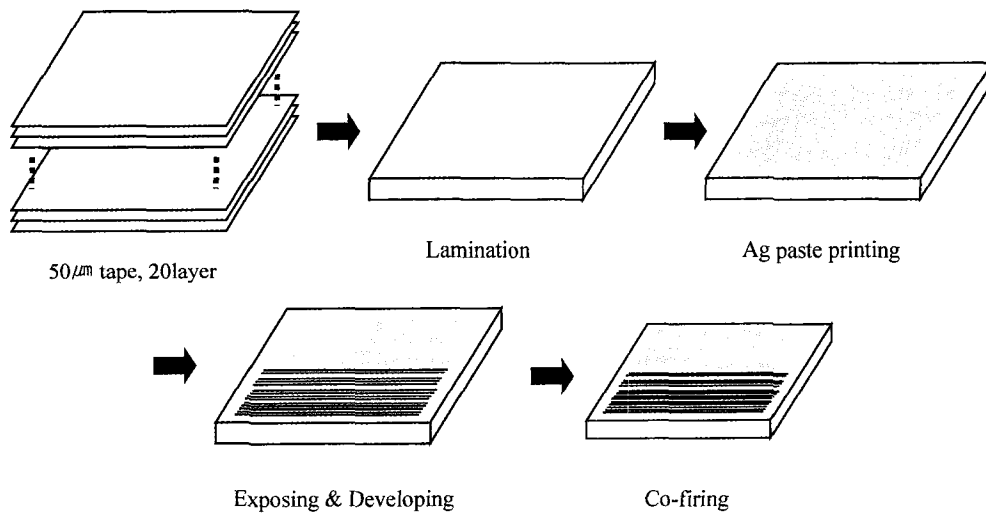


Fig. 1. Fabrication process for fine line test pattern on green tape.

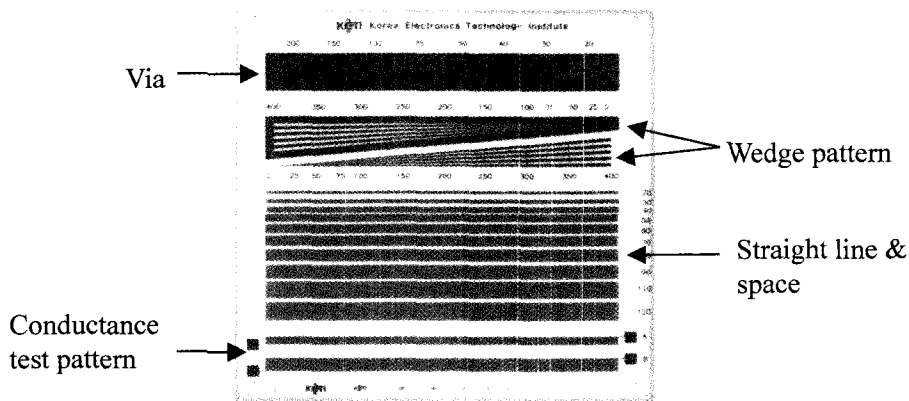


Fig. 2. Fine line/space and via test pattern.

사용한 경우에는 400°C에서 1시간 동안 유지하여 탈지하고, 최고 온도 850°C에서 25분 동안 유지되도록 하였으며, 400°C에서 850°C 사이의 승온속도는 10°C/min가 되도록 하였다. 소성된 기판을 현미경으로 관찰하고 소성전후 패턴의 변화양상을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 미세라인 형성

Fig. 3과 4는 알루미늄 기판과 LTCC 위에 형성된 7090과 6453의 미세라인을 나타내는데, 기존의 스크린 인쇄법으로는 어려운 30 μm 이하의 라인을 용이하게 만들어 낼 수 있음을 보여주고 있다. 알루미늄 기판 위에 소성된 7090 페이스트의 경우는 소성후에 미세라인의 선폭이 21 μm로 감소하고, 선간공백은 38 μm로 증가하고 있음을 Fig. 3으로부터 관찰할 수 있었다. 그러나, 선폭/선간공백의 피치는 소성전후에 약 60 μm로 일정하게 유지되고 있다. Fig. 4의 6453 페이스트의 경우는 패턴과 그린시트가 동시에 소성되기 때문에 Fig. 3과는 다른 양상을 나타내게 되는데, 소성후 선폭/선간공백이 25/25 μm

로 거의 동일하였으며, 선폭/선간공백의 피치는 그린시트의 수축과 함께 50 μm로 감소하였음을 발견할 수 있다. 소성후 선간공백에 잔존하는 Ag 페이스트는 관찰되지 않았다.

Fig.5는 노광량과 현상시간의 변화에 따른 현상후 라인 패턴의 변화를 나타낸 것이다. 현상시간이 길어지면 부착력이 약한 20 μm, 30 μm의 미세라인들이 기판으로부터 떨어져 나가게 됨을 관찰할 수 있다. 그러나 자외선(UV: ultraviolet, 365 nm)의 노광량이 많아지면 부착강도를 증가시키는 역할을 하게 되어 동일한 현상조건에서 떨어져 나가는 현상이 덜 하였다. 기판과의 부착강도의 증가는 감광성 페이스트를 구성하고 있는 단량체(monomer)가 자외선에 의해 중합화되면서 나타나는 가교현상(cross-linking)이 광량이 증가하면서 더 강해지기 때문이다. 단량체가 중합화되면서 현상액에 대한 용해도가 급격히 감소하게 되므로 자외선에 조사된 부분은 현상액에 대한 저항력을 가지게 되는데, 자외선 조사량이 많아지면 페이스트의 가장 아래 부분인 기판과의 계면에서 더 많은 중합체가 형성될 것이므로 동일한 현상조건에서 기판과의 부착력이 증가하게 된다.

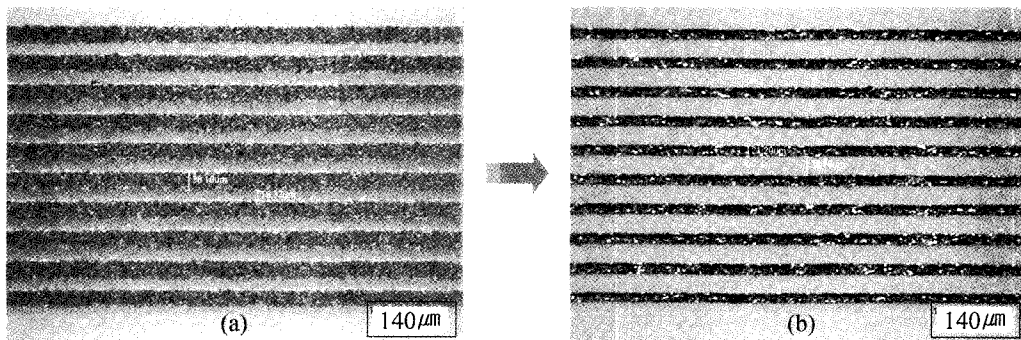


Fig. 3. 30 μm line/space pattern on alumina substrate formed by 7090 paste post-firing: (a) after developing and (b) after firing.

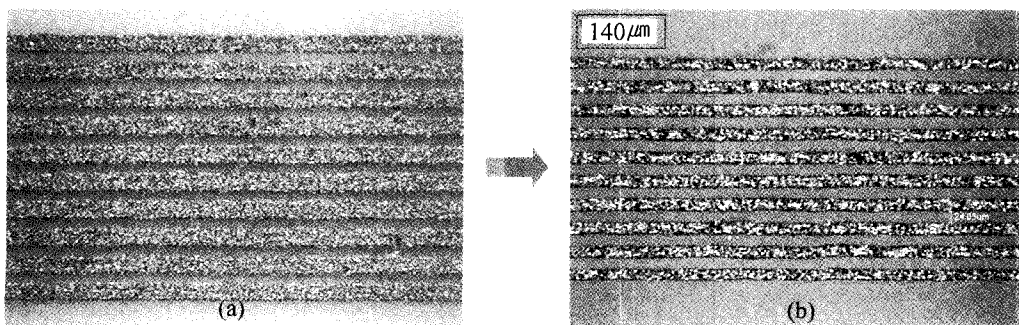


Fig. 4. 30 μm line/space pattern on LTCC formed by 6453 paste co-firing: (a) after developing and (b) after co-firing.

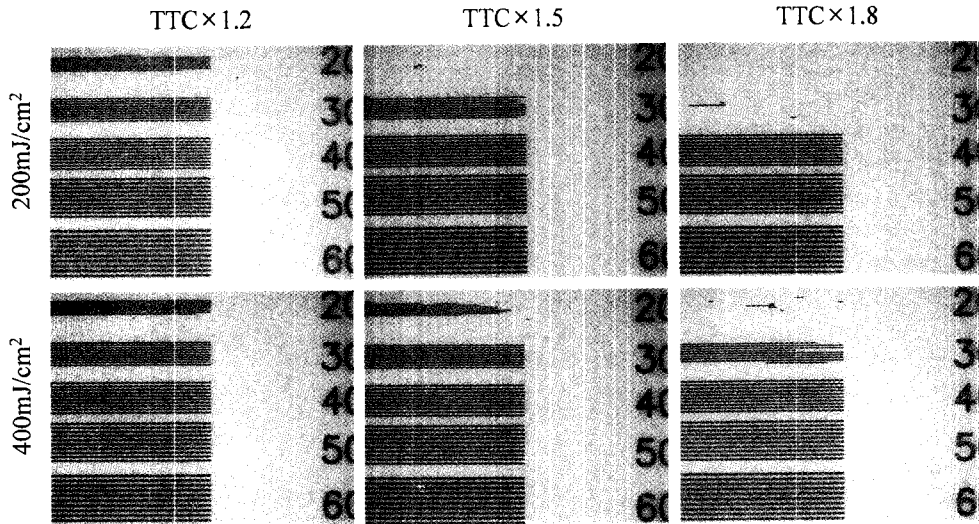


Fig. 5. Effects of the UV amount and the developing time on 7090 line/space patterns.

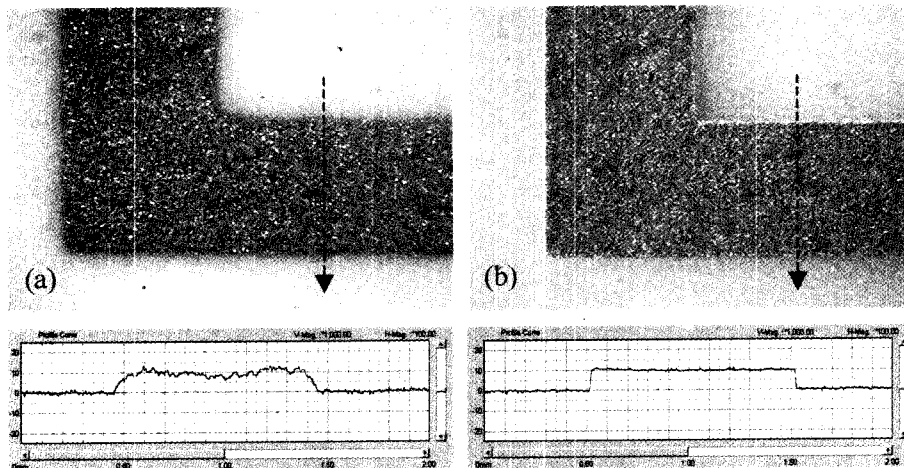


Fig. 6. Comparison of (a) screen-printed patterns and (b) photo-imaged patterns ($W=1$ mm line).

3.2. Series gap 공진기의 구현

후막 광식각 공정은 미세라인의 형성에 유용할 뿐만 아니라 microstrip과 같은 전송선로의 치수정밀도를 향상시키는 데도 유용하다. Fig. 6은 각각 일반 스크린 인쇄법과 광식각 공정으로 형성된 라인의 사진과 그 외형(contour)의 측정결과인데, 이로부터 광식각 공정의 상대적으로 우수성을 쉽게 알 수 있다. 전송선로는 기판재료의 기하학적인 크기 및 전극의 크기에 따라서 변화를 하며 정확한 전송선로를 만들기 위해서는 정밀한 치수 조절이 요구되므로, 이러한 점에서 광식각 공정이 유리한 점이 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 기판의 유전률 및 유전손실을 측정하

기 위해 Fig. 7과 같은 microstrip과 series gap 공진기를 광식각 공정을 이용하여 제작하였다. LTCC 위에 형성된 패턴은 7090 페이스트를 이용하여 후소성하는 방법으로 제작되었다. 한편, 스크린 인쇄를 이용한 방법으로도 microstrip을 구현하여 두 패턴의 전송손실 결과를 비교하여 보았다. 여기서 50Ω microstrip은 Hakki-Coleman 방법을 이용하여 측정된 기판재료의 유전률과 치수에 따른 것으로, 선폭(W)은 0.935 mm, 두께(t)는 0.01 mm, 그리고 접지면까지의 거리, 즉 기판의 두께(h)는 0.805 mm였다.

3.2.1. 유전률 측정

Fig. 8은 제작된 두 공진기의 전송특성을 측정할 결과

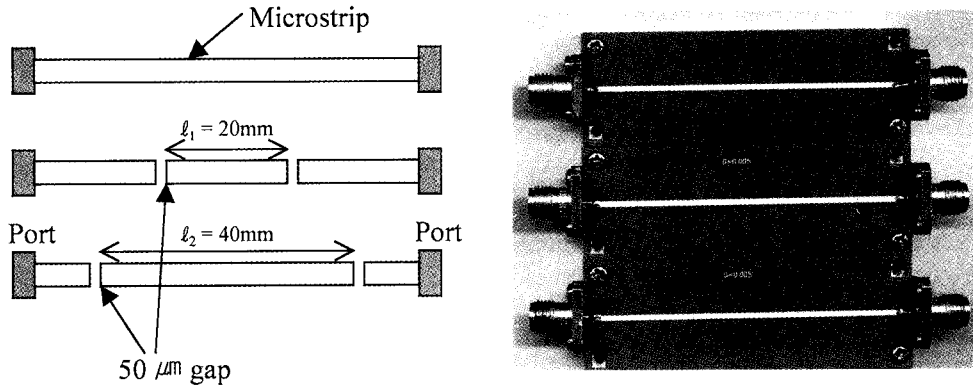


Fig. 7. Series gap resonator formed by photopatterning method.

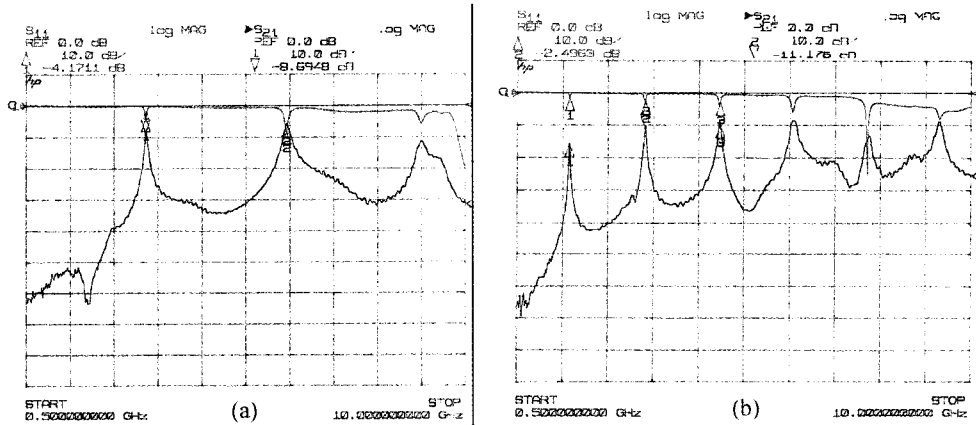


Fig. 8. Resonant characteristics of (a) $\lambda/2$ resonator and (b) $\lambda/4$ resonator.

로서, $\lambda/4$ 공진기의 2차 고조파는 3.1847 GHz에서, $\lambda/2$ 공진기의 기본 공진은 3.0887 GHz에서 발생하였다. 이상적인 공진기의 경우 $\lambda/4$ 공진기의 2차 고조파와 $\lambda/2$ 공진기의 기본 공진은 동일한 주파수에서 나타나야 하지만 실제로는 오차가 발생하게 되는데, 이로부터 기판의 유효유전률(ϵ_{eff} : effective dielectric constant)을 유도해낼 수 있다.

측정된 두 공진주파수 값으로부터 기판의 유전률은 다음과 같은 방법으로 계산할 수 있다.³⁾ 우선 유효유전률은

$$\epsilon_{eff} = \left[\frac{c(n_1 f_2 - n_2 f_1)}{2f_1 f_2 (l_2 - l_1)} \right]^2 = 5.28 \quad (1)$$

- c : speed of light in vacuum
- n_1 and n_2 : orders of the resonances of two resonant segments
- l_1 and l_2 : physical lengths of two resonant segments

이고, 기판의 실제 유전률(ϵ_r : relative dielectric constant)은

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

C'' : geometrical correction factor of microstrip line

이다. 각 미지수에 대한 계산식과 그 값들은 Table 1에 나타난 바와 같은데, 여기서 a, b, u, f 등은 계산식을 간단히 하기 위해 적용된 변수들이다.

위 유전률 식은 $\epsilon_r = f(\epsilon_r)$ 의 형태이므로 순환연산법(iteration method)을 이용하여 초기값과 결과값을 일정 오차 범위 내에서 수렴시킴으로서 기판의 유전률을 유도하였고 그 결과는 Table 2와 같다. 여기서 초기값(ϵ_0)은 Hakki-Coleman 방법으로 측정된 유전률값을 이용하였다. 실험결과로부터 본 연구에서 사용되는 LTCC 유전체 기판의 실제 유전률은 L-band 대역에서 7.694의 값

Table 1. Parameters for the calculation of dielectric constant

$a = 1 + \frac{1}{49} \cdot \ln \left[\frac{u^4 + \left(\frac{u}{52}\right)^2}{u^4 + 0.432} \right] +$	0.996
$\frac{1}{18.7} \cdot \ln \left[1 + \left(\frac{u}{18.1}\right)^3 \right]$	
$b = 0.564 \cdot \left(\frac{\epsilon_r - 0.9}{\epsilon_r + 3}\right)^{0.053}$	0.551
$u = \frac{W}{h}$	1.161
$C'' = \frac{\left(\frac{t}{h}\right)}{2.3\sqrt{u}}$	5.012×10^{-3}
$f = \left(1 + \frac{10}{u}\right)^{-ab}$	0.289

을 갖는다고 볼 수 있다.

3.2.2. 유전손실 측정

Fig. 9은 광식각 공정을 이용할 경우 스크린 인쇄 공정을 이용할 경우보다 고주파 신호의 전송특성이 향상되는 결과를 보여주고 있다. 광식각 공정의 경우는 주파수가 10 GHz 가까이 증가하여도 전송손실(S_{21})의 변화가 미약하나, 스크린 인쇄의 경우 약 5 GHz 이상이 되면 전

Table 2. Dielectric constant at each iteration step

	1st	2nd	3rd	4th	5th
Initial (ϵ_0)	7.8	7.695	7.694	7.694	7.694
Result (ϵ_r)	7.695	7.694	7.694	7.694	7.694

송손실이 증가함을 알 수 있는데, 이는 Fig. 6에서 관찰된 바와 유사하게 전송선로의 기하학적 정밀도가 광식각 공정에 의해 향상되었기 때문이다.

유전체 기판의 유전손실은 각 공진주파수에서의 품질계수(Q: quality factor)값을 이용하여 유도할 수 있다. 일반적으로 유전체의 Q는 다음과 같은 관계를 갖는다.^{3,4)}

$$Q = \frac{f_0(\text{=resonant frequency})}{BW(\text{=3dB band width})} \quad (3)$$

본 실험에서는 중심주파수 1.59 GHz에서 3 dB 대역폭(band width)은 17.5 MHz였고, 이 때 Q값은 91이었다. 이 값은 테스트 패턴으로부터 측정된 부하품질계수(Q: loaded quality factor)이므로

$$\frac{Q_u}{Q_l} = \frac{1}{1 - \sqrt{\frac{P_l}{P_A}}} \quad (4)$$

P_l : the power transmitted at resonance

P_A : the available power delivered by the source

의 관계를 이용하면 무부하품질계수(Q_u : unloaded quality factor)는 114가 된다. 이 결과와 함께, 전극손실(conductor loss), 유전손실(dielectric loss), 방사손실(radiation loss) 등을 고려하여 유전손실만을 유도할 수

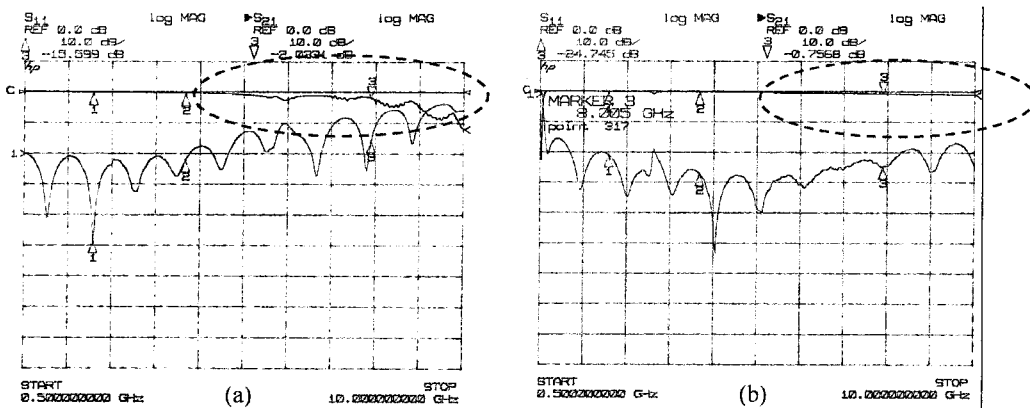


Fig. 9. Transmission properties of (a) screen-printed line and (b) photo-imaged line.

있다. 우선 Q_u 는

$$\frac{1}{Q_u} = \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_r} \quad (5)$$

Q_c : quality factor due to conductor losses

Q_d : quality factor due to dielectric losses

Q_r : quality factor due to radiation losses

의 관계를 가지는데, 여기서 Q_c 와 Q_r 는 계산을 통해 근사적으로 알 수 있는 값이므로 유전손실에 의한 Q_d 를 다음의 식으로부터 유도할 수 있다.

$$Q_d = \frac{Q_u Q_c Q_r}{Q_c Q_r - Q_i(Q_r + Q_c)} \quad (6)$$

Q_c 와 Q_r 의 계산식을 이용하여 두 값을 구하고³⁾, 앞서 계산된 Q_u 와 함께 식 (6)에 대입한 결과, Q_d 는 220이 되며, 식 (7)에 따라 유전손실($\tan \delta$)은 0.0048이었다.⁴⁾

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_{eff}(\epsilon_r - 1)}{Q_d \epsilon_r (\epsilon_{eff} - 1)} \quad (7)$$

4. 결 론

광식각 공정기술을 후막 전도체에 응용하여 25 μm 선 폭과 25 μm 선간공백을 갖는 미세라인을 형성할 수 있었다. 광식각시 노광량과 현상시간이 패턴의 해상도에 미치는 영향을 분석한 결과, 노광량이 증가함에 따라 적

정 현상시간이 증가하고 현상후 페이스트-기판간 부착력도 증가하게 되어 공정 재현성이 우수하게 되었다. 광식각 기술로 제작된 series gap 공진기 패턴을 활용, 기판 재료 및 전송선로의 평가를 행하여 기판재료의 유전률, 유전손실을 계산할 수 있었으며, 일반적인 스크린 인쇄 공정보다 전송특성이 우수한 전송선로를 구현할 수 있었다. 후막 광식각 공정 기술은 향후에도 저손실의 전송선로의 구현에 유용할 것으로 판단되며, 인덕터, 커패시터, 저항 등 수동소자의 소형화 및 정밀도 향상과 그에 따른 복합모듈의 고집적화, 고기능화에도 유용할 것이다.

참고문헌

1. Y. L. Wang, P. J. Ollivier and M. A. Skurski, "Photoformed Thick Film Materials and Their Application to Fine Feature Circuitry," Proceedings of 2000 International Conference on High-Density Interconnect and Systems Packaging, 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, 237-241 (1999).
3. D. A. Rudy, J. P. Mendelsohn and P. J. Muniz, "Measurement of RF Dielectric Properties with Series Resonant Microstrip Elements," Microwave Journal, Vol. 41, No. 3, 22-41 (1998).
4. D. I. Amey and S. J. Horowitz, "Tests Characterize High-Frequency Material Properties," Microwaves & RF, Vol. 36, No. 8 (1997).