

LTCC System에서의 Stripline 구조 특성 연구

유찬세 · 이우성 · 강남기 · 박종철
전자 부품 연구원

Analysis of Stripline Structure(Resonator) in LTCC System

C. S. Yoo, W. S. Lee, N. K. Kang and J. C. Park

Korea Electronics Technology Institute(KETI)

초 록: LTCC를 이용하여 2차원, 3차원 회로를 구성하는 경우에 R, L, C의 수동소자 이외에 stripline이나 microstripline인 같은 전송선로들이 첨가되게 된다. 따라서 이러한 전송선로들에 대한 정확한 분석을 필요로 하게 된다. 전송선로의 특성에서 유전체의 유효 유전율과 유전체 손실값, 도체의 유효 전기전도도와 같은 물성치와 도체 및 유전체 표면의 거칠기, 구조의 크기와 같은 기하학적인 특성들이 영향을 주게 된다. 본 연구에서는 스트립라인 구조를 대상으로 위의 물성치와 구조에 관한 변수들을 정량화 함으로써 stripline구조를 분석하고 그 특성을 정량화하였다.

Abstract: In ceramic systems, many components including embedded passives and TRL(transmission line) are used for composition of 3-dimensional circuit. So the exact analysis on this components must be performed. As for the TRL's, material properties including electrical conductivity of metal, loss factor and effective dielectric constant of dielectric material and geometrical factors like roughness of surface, vias, dimension of stripline structure have a large effect on the characteristics of transmission lines. In this research, effect of material and geometrical factors on the characteristics of stripline structure is analyzed and quantified by simulation and measurement.

Key Words: ceramic, transmission line, material properties

1. 서 론

세라믹 시스템을 이용한 3차원 모듈에는 내층형 수동 소자 이외에 여러 가지 연결선로, via 등이 포함되게 된다. 연결 선로들은 수동소자와는 달리 재료 및 구조의 특성에 더 큰 영향을 받는다. 세라믹 시스템에서는 일반적으로 도체 페이스트와 유전체 그린 쉬트를 사용하는데 이들의 물성치는 실제 모듈 내에서 이상적인 값과 상이한 수치를 갖게 되고 이로 인해 특성에 대한 예상치는 작지 않은 오차를 나타내게 된다. 본 연구에서는 이러한 재료의 특성과 구조적인 요소들에 대한 실제적인 특성에 접근함으로써 stripline 구조에 대한 해석을 시도하였다.

2. 실험방법

Stripline 구조를 제작함에 있어서 도체로는 Ag

paste를, 그리고 유전체는 Dupont사의 9599 powder($\epsilon_r=7.8$)를 green tape으로 제작하여 사용하였다. 제작 공정은 tape casting에서 소성공정에 이르는 일반적인 적층 공정을 적용하였고, 측정시에는 PCB 형태로는 측정이 어렵기 때문에 Probe station(Cascade microtech)을 이용하였다.

특성치 예측에는 Agilent ADS 1.3, HFSS 5.3(Agilent)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이상적인 stripline 특성

Stripline 구조는 다른 형태의 전송선로에 비해 도체에 의한 손실값이 크지 않고 특히 3차원 모듈의 적용될 경우 다른 수동소자들과 수직적으로 배열될 수 있기 때문에 공간 활용에 있어서도 장점을 가지고 있다. Fig. 1에 제시된 회로는 VCO 회로의 공진단 부

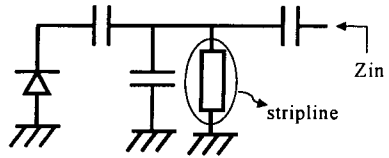


Fig. 1. Circuit of resonant part of VCO.

분인데 short 종단된 stripline stub를 사용한 경우이다. 이 회로의 분석에 있어서 stripline의 특성이 어떤 영향을 미치는가에 관심을 가지고 연구를 진행하였다.

Stripline 구조에서 도체부분을 완전 도체로 보고 유전체 손실이 없다고 가정하면 short 종단한 경우 임피던스의 주파수에서 허수 성분의 리액턴스 만을 갖는 소자로 동작하게 된다. Fig. 2의 예를 보면 2 GHz에서 임피던스는 $Z=0+j36.7\Omega$ 이었다.

그러나 실제 구조에서는 이상적인 short 종단은 불가능하며 일정부분의 도체를 통해 종단되게 된다. 세라믹 모듈에서는 via를 통해서 종단되는 경우가 많은데 이 부분의 영향이 크게 나타난다. 그 형태와 등가 회로가 Fig. 3에 제시되어있다.

위의 결과를 보면 via의 실수 저항 성분을 0.01, 0.1 ohm을 증가시킬때 smith chart상에서 그 궤적이 단위원 내부로 들어오게 되고 이 때문에 2.33 GHz에서의 실수 저항 성분이 0.25, 2.35 Ω 으로 증가하게 된

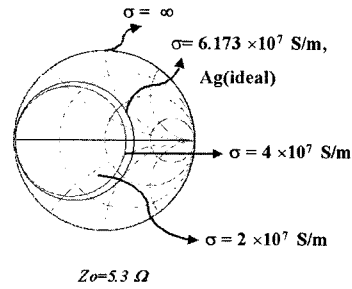


Fig. 4. Characteristics of stripline in the variation with electrical conductivity.

다. 이러한 특성은 stripline의 특성 임피던스에 따라 그 영향이 달라지는데 특성 임피던스 값이 작아질수록 via의 영향이 커지게 된다.

3.2 유효 물성치의 영향

위의 경우는 유전체 손실이 없고 도체는 완전 도체를 가정한 경우인데 이들 변수에 대한 영향을 조사해 보았다.

Fig. 4를 보면 Ag 전극의 이상적인 전기전도도를 이용하여도 특성의 왜곡이 심하게 일어나고 있음을 알 수 있다. 이러한 영향도 stripline의 특성임피던스가 작아질수록 크게 나타난다. 그리고 LTCC 시스템에서는 이상적인 금속을 사용하지 않고 유기물과 glass 성분이 혼재되어 있는 페이스트 형태의 전극을

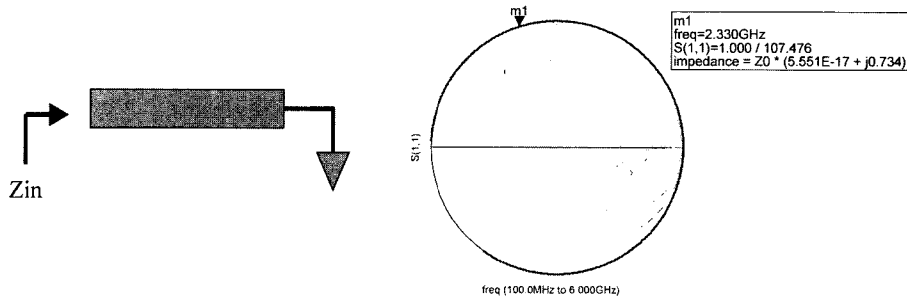


Fig. 2. Result of ideal simulation of stripline.

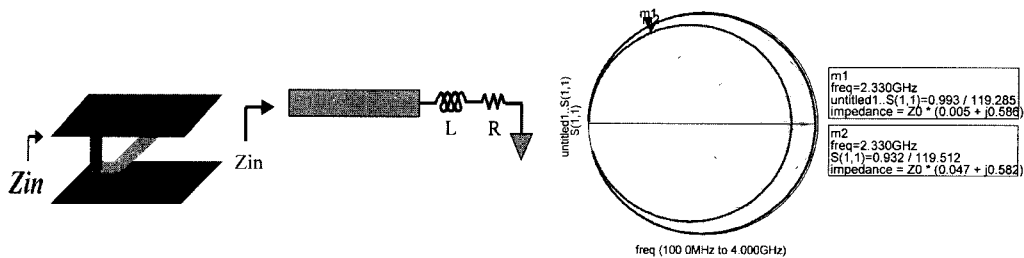


Fig. 3. Result of simulation considering via termination ($Z_0=6.15 \Omega$).

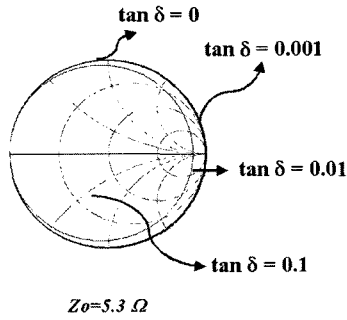


Fig. 5. Characteristics of stripline in the variation with dielectric loss.

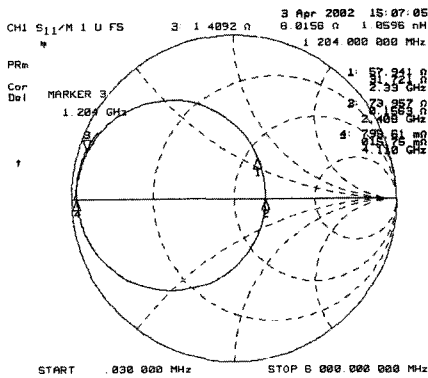


Fig. 6. Measurement data of stripline.

사용하기 때문에 유효 전기전도도는 이상적인 값보다 작게 나타날 수 있다. 유전체 손실에 의한 영향도 관찰해 보았는데 그 결과가 Fig. 5에 나타나 있다.

유전체 손실값이 증가할수록 그 궤적이 내부로 들어오게 되고 원치않는 실수 저항 성분이 발생하게 되는데 이 영향도 특성임피던스가 작아질수록 커지게 된다. 실제 stripline을 측정 한 결과에서도 이러한 물성치들의 영향이 반영되어 있음을 Fig. 6에서 확인할 수 있다.

Stripline의 왜곡된 특성이 공진단 전체의 특성에 미치는 영향을 조사해 보았다.

공진 주파수에서의 특성이 크게 왜곡되고 있음을 Fig. 7에서 확인할 수 있다.

3.3 유효 물성치 추출 실험

이러한 이유 때문에 도체의 유효한 전기전도도와 유전체 손실값을 정량화하는 것이 필요하다. 더욱이 screen printing에 의한 후막 공정의 경우 전극 및 유전체의 표면 roughness가 크기 때문에 위에서와 같이

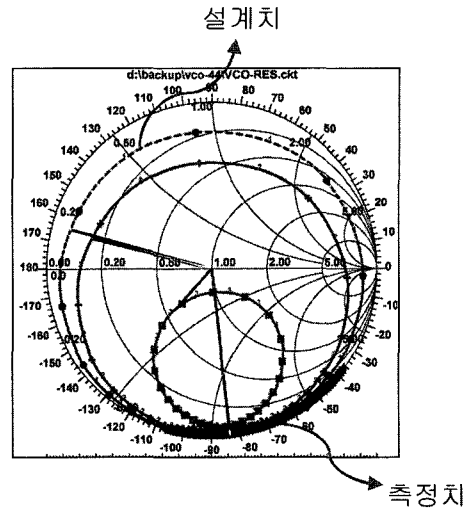


Fig. 7. The effect of stripline on the characteristics of resonator part of VCO.

Table 1. DC resistance in the variation with W(width) and L(length) of stripline

| | (unit: Ω) | | | |
|----------|-----------|--------|--------|--------|
| | L=8 mm | 12 mm | 16 mm | 18 mm |
| W=100 μm | 0.2545 | 0.4195 | 0.564 | 0.7325 |
| 200 | 0.113 | 0.1655 | 0.2345 | 0.3205 |
| 300 | 0.0705 | 0.11 | 0.157 | 0.2075 |
| 400 | 0.0545 | 0.085 | 0.116 | 0.151 |
| 500 | 0.04 | 0.0566 | 0.0905 | 0.123 |

Ag의 이상적인 전기전도도인 6.173×10^7 S/m 값보다 낮은 값을 갖게 되고 line의 특성은 더 악화되게 된다. 이 부분을 정량화하기 위해 선폭과 길이를 변화시켜 가면서 DC 저항값을 측정하였고 내부 line dimension 분석을 통해 roughness가 고려된 유효 전기전도도 값을 추출하였다.

위의 실험을 통해 얻은 Ag 전극의 유효 전기전도도는 4×10^7 S/m 정도로 이상치의 2/3 정도되었다. 이때 dimension은 내부분석을 통해 직접 측정 한 결과를 이용하였다. 이는 Ag 전극의 절대적인 값이라기 보다는 stripline 구조에서의 유효치이고 μ-strip이나 CPW 같은 구조에서는 다른 값을 가지리라고 추측된다.

3.4 Attenuation 모델링 및 측정

위에서 추출한 물성을 stripline의 손실값으로 검증해 보기 위해 2-port 측정용 stripline sample을 제작하

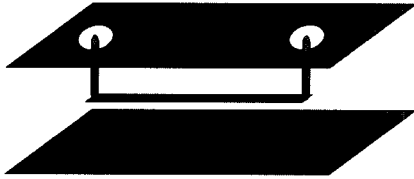


Fig. 8. Shape of stripline struture.

여 attenuation을 측정하고 이를 modeling하여 물성치들을 추출해보았다. 그 형태가 Fig. 8에 나타나 있다.

내부 dimension 관찰을 통해 얻은 수치를 이용하여 특성 임피던스 값을 계산하고 측정치와 비교해 보았는데 그 결과가 Table 2에 제시되어 있다.

유효 dimension을 이용하여 계산한 결과와 실제 측정치와 거의 일치하고 있음을 알 수 있었는데 이는 물리적으로 측정된 구조의 dimension이 전기적으로 유효한 dimension과 잘 일치하고 있음을 시사한다. Line의 attenuation 결과 추출시 임피던스 차이에 의한 부분(0.02 dB)을 보정하고 분석을 시행하였다. 측정 및 보정된 attenuation 결과가 Table 3, Fig. 9에 나타나 있다.

이 결과와 앞서 실험했던 DC 저항값을 바탕으로 이 구조를 modeling 해 보았다. DC에서의 attenuation은 유전체 손실에는 무관하고 도체에 의해 발생한다. 반면 그 외의 영역에서는 두 부분 모두 영향을 미친다. 이를 이용하여 modeling 한 결과가 Fig. 10, Table 4에 제시되어 있다.

Table 2. Comparion of measurement value of Zo with calculated W=86 μm, B(유전체 두께)=454.8 μm

| | Measured | Calculated |
|-------|----------|------------|
| Zo(Ω) | 53.4 | 53.6 |

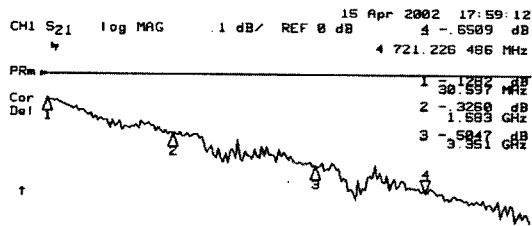


Fig. 9. Measurement of attenuation of stripline.

Table 3. Measurement data of attenuation of stripline

| f(GHz) | 0 | 1.583 | 3.351 | 6 |
|-----------------|--------|--------|---------|---------|
| Attenuation(dB) | -0.166 | -0.326 | -0.5047 | -0.7724 |

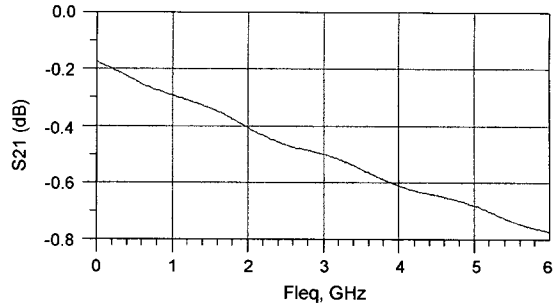


Fig. 10. The result of simulation of stripline.

Table 4. The result of simulation of stripline (l=33 mm)

| f(GHz) | 0 | 1.583 | 3.351 | 6 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| Attenuation(dB) | -0.164 | -0.325 | -0.505 | -0.775 |

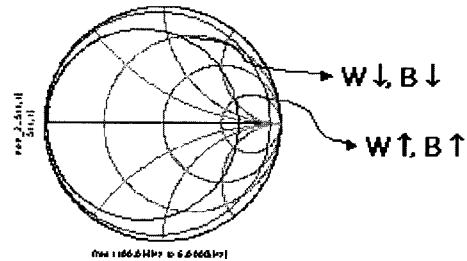


Fig. 11. Comparison of stripline dimension parameters. (W:선폭, B:유전체두께)

앞의 DC 저항 측정 결과와 마찬가지로 유효 전기 전도도 값이 4×10^7 S/m 정도이고 유전체 손실값은 0.003(6 GHz)정도 일때 측정 결과와 가장 잘 일치하였다. 이 손실값은 일반적으로 알려진 Dupont system의 손실값이기도 하다. 이 결과를 이용하여 VCO 내 공진 회로를 설계하였다.

3.5 스트립라인 최적 설계

본 연구에서 사용한 공진회로에서는 stripline의 특성 임피던스 값이 작을수록 주파수 선택 특성이 좋았다. 다만 구조를 설정할 때 같은 특성 임피던스를 구현하더라도 유전체 두께를 크게 하고 선폭을 넓게 하는 경우와 유전체 두께와 선폭 모두 작게 하는 방법이 있는데 전자의 경우가 line의 Q값, 즉 손실 측면에서는 유리한데 이에 대한 비교 결과가 Fig. 11에 나타나있다.

위의 결과는 두가지 모두 특성 임피던스가 10 Ω이 있으나 선폭과 유전체 두께를 크게 할 경우에 그 궤적이 단위원에 더 근접하여 실수 저항 성분이 작게

나타나고 있음을 보여준다. 선폭을 크게 할 경우 모듈의 크기 면에서 비효율적일 수 있기 때문에 설계하는 모듈의 크기에 맞게 설계하는 것도 필요하다.

4. 결 론

Stripline 구조를 설계함에 있어 유효한 재료 물성치들을 추출하였고 이를 이용해 VCO 내의 회로 설계에 적용하였다. 실제 시스템에서는 이상적인 물성치와 다른 값들을 나타내기 때문에 이에 대한 정확한 보정을 통해 line의 DC 및 RF 거동을 해석하였다. 본 연구에서 사용한 은 전극의 유효 전기전도도는 4×10^7 S/m이었고 전극의 metal content, 입자 크기 등에 따라 달라질 것으로 예측된다. Stripline의 손실은 6 GHz에서 0.594 dB/inch로 μ -stripline의 2~3 배 정도로 크게 나타났고 이를 보정하기 위해 구조 설정에 있어서 loss 성분이 최소화 될 수 있는 구조, 즉 선폭과

stripline 구조의 두께를 최대화 하는 구조를 선정함으로써 동일 재료에서 stripline의 Q 값을 극대화하였다.

참고문헌

1. Pozar "Transmission line theory" Microwave Engineering 2nd edition, 56-96 Wiley.
2. HARLAN HOWE, JR "Stripline circuit design" 33-77 1973 ARTECH HOUSE, INC.
3. K.C.Gupta, Ramesh Garg, I.J.Bahl "Microstrip lines and Slotlines" 41-100 (1979), ARTECH.
4. 윤장석, 이우성, "저온 소성용 SiO₂-TiO₂-Bi₂O₃-RO 계 Glass ceramic 유전체 재료의 B₂O₃ 첨가에 따른 Ag 후막과의 동시 소결시 정합성 및 유전 특성 연구", 마이크로전자 및 패키징학회지, 6(3), 37-43 (1999).
5. 박성대, "Multichip module 개발을 위한 LTCC 및 LTCC-M 기술" 마이크로전자 및 패키징학회지, 6(3), 25-35 (1999).