

## LTCC 기판의 60 GHz 대역 유전특성 및 LTCC 위에 구현된 전송선로의 전달특성 측정

김동영\* · 문재경 · 김해천 · 유현규

한국전자통신연구원 IT·융합부품연구소 초고주파소자팀

### Measurement of Dielectric Properties of LTCC Substrate and Transmission Characteristics of Transmission Lines on LTCC Substrate at 60 GHz

Dong-Young Kim\*, Jae Kyoung Mun, Haecheon Kim, and Hyun Kyu Yu

Microwave Device Team, ICCLE, Electronic and Telecommunications Research Institute (ETRI),  
161 Kajong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea

The dielectric properties at millimeter-wave band(MMW) of commercially available LTCC substrate were measured using cavity resonance method. A6S substrate from Ferro has best dielectric properties at MMW bands, and the other substrates also have good dielectric properties. CBCPW (Conductor backed coplanar waveguide) lines for MMW were designed and measured. The transmission losses of CBCPW lines on LTCC substrate with  $\tan\delta$  less than 0.002 were 0.1dB/mm. As the  $\tan\delta$  of LTCC substrate increases to 0.004, the losses of CBCPW lines at 60 GHz increase to 0.15dB/mm. However, this transmission loss of 0.15dB/mm is sufficiently low in the application of LTCC as a packaging technology at MMW band. As expected, the transmission losses of lines were critically dependant on the dielectric properties of the substrate used.

**Keywords:** LTCC, dielectric properties, millimeter-wave, transmission line

#### 1. 서 론

현대사회가 정보화 사회로 급격히 변화함에 따라서 무선이동통신에서 전달되는 데이터가 단순한 음성의 전송에서 영상 등을 포함하는 멀티미디어 데이터로 변화하고 있다. 이러한 고용량 멀티미디어 데이터의 전송을 위한 고속 광대역 통신기술이 보급되고 있으며 전송속도를 증가시키기 위한 연구도 활발히 진행되고 있다. 전송속도를 증가시키기 위해서는 필연적으로 통신에 필요한 대역폭이 증가하여야 한다. 이와 같이 고속 통신에 필요한 대역폭을 확보하는 방안으로 밀리미터파 대역의 통신에 관한 연구가 전세계적으로 널리 진행되고 있다. 특히 60 GHz 대역의 주파수는 산소에 의한 전파감쇄가 심하기 때문에 원거리 통신에는 부적합하지만 이러한 감쇄현상을 이용하는 경우 주위의 셀간의 간섭이 없는 작은 셀을 구성하는 것이 가능하므로 피코셀통신용 주파수 대역으로 연구가 되고 있다.<sup>[1]</sup> 특히 국내에서도 2006년에 57~64GHz대역을 비인가 주

파수 대역으로 할당하여 주파수 사용료를 지불하지 않고도 사용이 가능하기 때문에 통신뿐 아니라 다른 분야에서도 이 주파수 대역을 활용하려는 연구가 진행되고 있다.

60 GHz 무선통신과 관련하여 관련 MMIC의 개발과 더불어 패키징 기술에 대한 중요성도 증가하고 있는데 특히 단말기의 소형 경량 저가격화 추세에 따라서 기존의 금속 도파관을 이용한 패키징을 대체하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[2]</sup> 특히 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramics)기술과 LCP(Liquid Crystal Polymer) 기술이 주목을 받고 있다.<sup>[3]</sup> LTCC는 다층 세라믹모듈 제조기술로 세라믹과 폴리머가 혼합된 flexible한 그린쉬트위에 스크린 프린팅 기술을 이용하여 금속 패턴을 인쇄하고 이를 여러층 적층하여 모듈을 제조하는 기술로 기존의 금속도파관방식에 비해서 필터등의 수동소자를 모듈의 내부에 구현할 수 있으므로 소형이고 저가격으로 모듈을 제작할 수 있는 방법이다.<sup>[4]</sup>

이러한 LTCC를 60 GHz대역에 사용하기 위해서는 재료적인 측면에서 보면 사용되는 LTCC 유전체와 금속 페이스트가 밀리미터파 대역에서 작은 손실을 가져야 한다. 현재 상용으로 구입

\*Corresponding author: kimdyey@etri.re.kr

가능한 밀리미터파용 LTCC 쉬트중에서는 Ferro사의 A6S와 Dupont사의 DP943이 가장 널리 사용되고 있다.

본 논문에서는 A6S와 DP943, 그리고 국내의 RN2 technology에서 개발한 2종의 쉬트를 가지고 60 GHz에서의 유전특성을 측정하고 이를 바탕으로 CBCPW (Conductor Backed Co-Planar Waveguide) 전송선로를 설계, 제작하고 60 GHz 대역에서의 전송특성을 측정하여 유전특성이 밀리미터파 대역의 전송특성에 미치는 영향에 대해서 논의하고자 한다.

## 2. 실험

원형도체공동기 구조를 가지고 TE<sub>01p</sub>모드를 사용하는 cavity resonance method (공동공진기법)을 이용하여 60 GHz 대역에서 LTCC 기판의 유전 특성을 측정하였다. 이 방법은 Kobayashi가 처음으로 제안한 방법으로 밀리미터파 대역에서 유전체의 유전특성을 보다 정확하게 측정할 수 있는 방법으로 알려져 있다.<sup>[5]</sup> 본 연구실에서는 Kobayashi의 측정법을 응용하여 그림 1과 같은 공진기를 설계, 제작하였다. 측정을 위한 시편은 평판형 구조를 가지므로 금속 패턴이 없는 LTCC 기판을 적층하여 일반적인 LTCC 공정에 따라 적층(lamination), 압착 및 소결하여 기판을 제조하였다. 또한 60 GHz 근방의 주파수에서 공진을 만들기 위하여 LTCC 기판의 유전율을 고려하여 시편의 두께를 적당한 두께로 연마하였다. 이렇게 제작된 시편을 그림 1의 공동공진기 안에 장착하고 벡터신호망 분석기(Vector Network Analyzer)로 S-parameter를 측정하고 이때 나타난 공진 피크의 공진주파수와 반치폭(full width half maximum)으로부터 시편의 유전상수와 유전손실을 계산하였다.

위에서 측정된 유전특성을 가지고 60 GHz 대역에서 50Ω의 임피던스를 가지는 CBCPW 전송선로를 설계하고 설계 결과에 맞추어 LTCC기판에 전송선로 패턴을 제작하였다. 제작공정은 우선 LTCC 그린쉬트 위에 금속 패턴을 스크린프린팅을 이용하여 인쇄하고 인쇄된 sheet 5층을 층간의 정렬에 주의하여 적

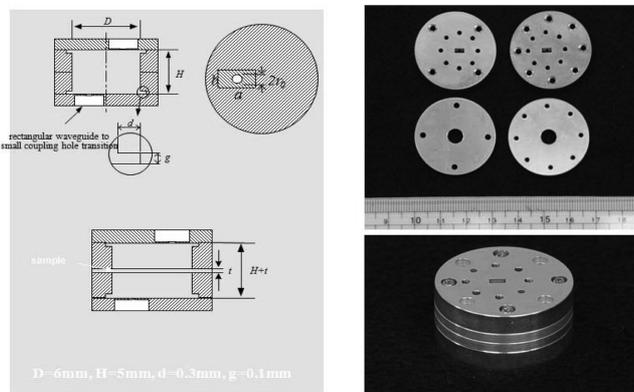


Fig. 1. Cavity resonator for dielectric measurement.

층한 후 70°C에서 3000psi의 압력을 가하면서 10분간 압착하였다. 금속 페이스트는 각각 LTCC 쉬트와 소결시 매칭이 되도록 제작된 페이스트를 사용하였으며 모두 은을 주원료로 하는 페이스트가 사용하였다. 압착된 시편을 850°C에서 10분간 소결하여 전송선로 테스트 모듈을 제작하였다.

HP8510C 벡터신호망분석기를 이용하여 제작된 전송선로의 60 GHz 대역에서의 전송특성을 측정하였다

## 3. 결과 및 고찰

그림 2에 유전특성 측정결과의 대표예로 Ferro사의 A6S 쉬트의 s-parameter 측정 결과 TE<sub>011</sub>모드의 공진 피크를 나타내었다. 측정 시편의 두께, 측정된 공진 피크의 공진 주파수, 공진 피크의 반치폭을 바탕으로 공동공진기의 모드차트와 비교하여 유전체의 유전율과 유전손실을 구할 수 있다.

위와 같은 방법으로 측정된 각각의 LTCC 유전체의 유전율과 유전손실을 표 1에 나타내었다.

Ferro사의 A6S는 Calcium Boro Sillicate Glass를 주성분으로 하며 고온에서 실리카가 결정화 되면서 우수한 유전특성을 보이는 것으로 알려져 있다. 특히 유전율과 유전손실이 100GHz까지 거의 평탄한 우수한 특성을 보이는 것으로 알려져 있다. 표 1의 측정결과에서 알 수 있듯이 사용된 유전체 중에서 가장 손실이 작음을 알 수 있다. Dupont사의 DP943은 알루미늄을

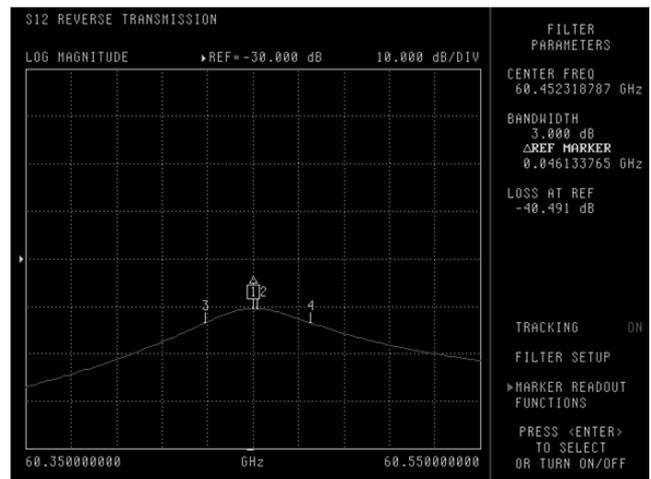


Fig. 2. Resonance peak at 60 GHz for Ferro A6S sheet.

Table 1. Dielectric properties at 60 GHz band for various LTCC sheet

	$\epsilon_r$	tand
A6S	6.0	0.0016
DP943	7.2	0.0019
RN2 A	6.5	0.0039
RN2 B	5.6	0.0058

기본으로 하고 소결온도를 낮추기 위하여 유리상이 첨가된 조성을 가지고 있으며 역시 60 GHz에서의 우수한 유전특성을 보여주고 있다. RN2 technology의 쉬트도 알루미늄을 주성분으로 하며 첨가되는 유리상의 조성이 다른데 앞의 쉬트들보다는 유전손실이 크지만 기계적 강도 등에서 다른 쉬트에 비해 우수한 특성을 가지고 있다.

이러한 측정결과를 바탕으로 Ansoft사의 HFSS(High Frequency Simulation Software)를 이용하여 60 GHz에서 50Ω의 임피던스를 가지는 CBCPW 선로를 설계하였다. 설계시 측면 그라운드와 신호선로 사이의 간격은 80 μm, 유전체의 두께는 200 μm로 고정하였으며 신호선의 선폭은 사용되는 유전체의 유전상수에 따라서 다른 값을 가진다. LTCC 공정을 이용하여

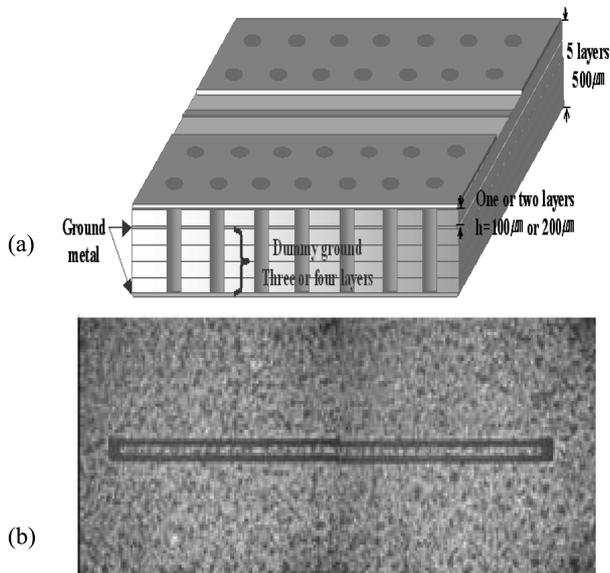


Fig. 3. Schematic(a) and photograph(b) of CBCPW line.

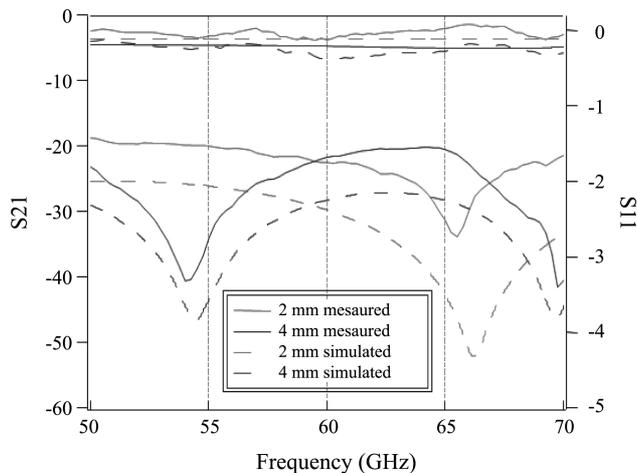


Fig. 4. S-parameter measurement result for CBCPW lines on Ferro A6S sheet.

설계된 치수에 맞게 CBCPW 전송선로를 제작하였다. 그림 3(a)와 같이 전체 적층수는 LTCC 공정에서 요구하는 최소한의 층수인 5층으로 하였으며 5층 중에서 위쪽의 두 층을 유전체로 사용하였고 나머지 3층은 via를 이용하여 그라운드 층으로 만들었다. 그림 3(b)에 Ferro A6S 쉬트로 제작된 CBCPW 전송선로의 사진을 나타내었다.

전송선로의 길이를 2 mm와 4 mm 두 가지 종류로 라인을 제작하였다. 벡터신호분석기를 이용하여 제작된 선로의 V-band (50~75GHz)에서의 S-parameter를 측정하였다. Ferro A6S의 측정결과를 그림 4에 나타내었다.

그림에서 점선이 HFSS 모사실험(Simulation) 결과이고 실선이 실제 측정 결과이다. S11은 선로의 임피던스 정합을 나타내는 것으로 제작된 선로가 50Ω에 가까운 임피던스를 가짐을 보여주고 있다. 모사실험결과와 측정결과를 비교해 보면 측정결과가 모사실험결과보다 S11이 큰 값을 가지고 있는데, 이는 모사실험의 경우는 이상적인 형태의 라인을 가정하고 있으나 실제 제작된 선로는 LTCC공정이 스크린 프린팅을 사용하여 금속 패턴을 제작하기 때문에 일반 반도체 공정에 비해서 라인이 매끄럽지 않고 또한 표면도 거친 특성을 가지기 때문으로 생각된다. 그러나 측정된 S11이 V-band 전 대역에서 -20dB 이하의 값을 가지기 때문에 제작된 선로가 50Ω에 근접한 임피던스를 가짐을 알 수 있다. S21은 전송선로의 손실을 나타내는 값으로 모사실험결과와 측정결과가 거의 같음을 알 수 있다. Dupont DP943과 RN2의 쉬트도 거의 비슷하게 모사실험결과와 측정결과가 일치하는 결과를 보여주었다.

각각의 측정결과를 표 2에 요약하였다. 결과를 보면 Ferro와 Dupont사의 쉬트는 60 GHz에서 전송손실이 매우 작아서 mm당 0.1dB 이하의 손실을 보인다. RN2\_A의 경우는 유전손실이 0.0038로 Dupont이나 Ferro사의 쉬트보다 큰 값을 가지므로 전송손실도 증가하여 mm당 전송손실이 0.15dB 정도의 값을 가지고 이보다 유전손실이 큰 RN2\_B 쉬트는 mm당 0.2dB 정도의 전송손실을 보여준다.

일반적으로 전송선로의 전송손실은 유전체의 유전손실과 금속의 저항에 의한 손실 그리고 전송선로의 구조에 의해서 발생하는 방사손실로 이루어진다. 그런데 본 실험에서 사용된 금속

Table 2. Transmission loss at 60 GHz of CBCPW lines fabricated on various LTCC sheet

	2 mm Loss (dB)	4 mm Loss (dB)	mm 당 Loss (dB/mm)
A6S	0.16	0.35	0.095
DP943	0.09	0.26	0.085
RN2_A	0.32	0.61	0.145
RN2_B	0.35	0.77	0.21
DP943*	0.73	1.41	0.34

은 모두 은을 주성분으로 하고 있어서 전기저항은 거의 비슷한 값을 가질 것으로 생각된다. 따라서 금속의 저항에 의한 손실은 모두 비슷한 값을 가진다고 생각할 수 있다. 또한 전송선로의 구조는 모두 같은 CBCPW 형태를 가지므로 방사손실 또한 비슷한 값을 가질 것으로 생각된다. 따라서 전송선로의 전송손실에는 유전체의 유전손실이 가장 큰 기여를 하는 것으로 여겨진다. 따라서 측정결과를 보면 유전체의 유전손실이 전송손실과 직접적으로 연관되어 있음을 알 수 있다. 또한 60 GHz에서  $\tan \delta$ 가 0.004 정도인 RN2\_A의 경우도 선로의 전송손실이 mm 당 0.15dB 정도로 작기 때문에 실제 사용하는 데는 큰 무리가 없을 것으로 생각된다.

참고로 DP943\*로 표시된 선로는 금속으로 은이 아니고 Pd이 첨가된 페이스트를 사용하여 제작한 것이다. 은을 전극으로 사용하면 도체의 저항이 작기 때문에 전송손실을 줄일 수 있는 장점이 있지만 은은 공기중에서 장시간 방치하면 표면이 산화되며 MMIC의 패키징시에 와이어본딩이 힘들다는 단점을 가진다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 표면을 금으로 도금하거나 Pd등이 첨가된 전극을 사용한다. 그러나 Pd은 도체의 저항이 크기 때문에 전송선로의 전송손실을 증가시킨다. 일반적으로 도체의 저항에 의한 전송손실은 주파수에 비례하여 증가하기 때문에 낮은 주파수에서는 큰 문제없이 사용할 수 있지만 밀리미터파 대역과 같이 높은 주파수에서는 유전체의 유전손실보다 더 중요해진다. 따라서 LTCC를 밀리미터파 대역에 사용하기 위해서는 전기적인 측면만을 고려하면 유전체의 유전손실 뿐 아니라 금속의 저항까지 종합적으로 고려해서 재료를 선택해야 한다.

## 4. 결 론

공동공진기법을 이용하여 현재 상용으로 구입 가능한 LTCC용 유전체의 밀리미터파 대역에서의 유전특성을 측정하였다. 측정결과 Ferro사의 A6S가 가장 우수한 유전특성을 보여주었고 나머지 유전체도 우수한 특성을 가지고 있었다. 유전특성 측정결과를 기반으로 CBCPW 전송선로를 제작하여 선로의 밀리미터파 대역 전송특성을 조사하였다. 유전체의 유전특성이 선로의 전송특성에 많은 영향을 주고 있음을 확인하였으며 특히 선로의 전송손실은 유전체의 유전손실과 거의 비례적인 관계를 가짐을 확인하였다. 또한 유전체의 유전손실뿐 아니라 사용되는 금속의 저항에 따라서도 전송선로의 손실이 크게 증가함을 확인하였다. 따라서 실제로 LTCC를 밀리미터파 대역에 사용하기 위해서는 전기적인 측면만을 고려하면 유전체의 유전손실과 금속의 저항을 같이 고려하여 재료를 선정해야 함을 알 수 있다.

## 참고문헌

1. H. H. Meinel, *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.* **43**, 1639 (1995).
2. R. Tummala and E. Rymaszewski, *Microelectronics Packaging Handbook*, pp. 196-216, Chapman & Hall, New York (1997).
3. D. C. Thompson, *IEEE Microwave and wireless components letters* **16**, 410 (2006).
4. Y. Imanaka, *Multilayerd Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) Technology*, pp. 6-12, Springer, New York (2005).
5. Y. Kobayashi and T. Shimizu, *IEEE MTT-S Digest* **4**, 1885 (1999).