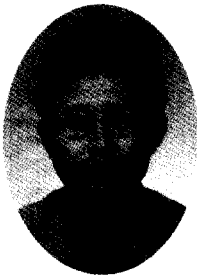


마이크로파 유전체 기판



김철호

삼성전기(주) 종합연구소
재료연구센터



박홍수

삼성전기(주) 종합연구소
재료연구센터

1. 서 론

최근 들어 “정보의 홍수”라는 단어를 피부에 느낄 만큼 우리들은 이미 일상 생활 여러 방면에서 정보를 빼고 생각한다는 것이 불가능할 정도가 되어있다. 즉 제3의 물결인 정보화 시대가 이미 시작되었고 생활에 정착 되었다는 것을 실감케 하는 것이다. 오늘날과 같이 우리의 일상 생활이

이렇게 편리해진 것은 정보화의 질적인 고도화를 발전시키고 있는 광범위한 신기술들의 출현에 기인하는데, 그 중에서도 정보화 시대의 주역인 대량의 정보를 고속으로 처리할 수 있는 정보 처리 기술과 정보를 고속으로 전송하는 정보 통신 기술의 진보가 크게 기인하는 것이라고 볼 수 있다.

정보화 시대에서는 방대한 정보를 공유하기 위하여 정보의 처리 및 전송 속도의 고속화가 필수적이며, 이를 실현하기 위하여 연산 및 전송 회로의 마이크로파화가 진행되어왔다. (표1)에 표시한 것과 같이 현재 정보 처리에 사용하는 일반 사무용 PC에서는 약 100MHz, EWS (Engineering Work Station)에서 150MHz 정도의 작동 주파수를 사용하고 있으며, 휴대용 단말기에서는 2GHz, 위성방송에서는 약 10GHz의 마이크로파를 이용하여 고품질의 음성, 화상 등을 전송한다.

정보 처리 분야에서 방대한 정보를 보다 더 짧은 시간 내에

처리하기 위해서는 고속, 고집적 LSI를 사용함과 동시에 신호 전송의 지연 시간을 최대한으로 단축해야한다. 신호 전송의 지연 시간(T_d)은 일반적으로 식(1)과 같이 표시하는데

$$T_d = \frac{L \times \sqrt{\epsilon_r}}{C} \text{-----(1)}$$

여기서 L은 신호의 전송 거리, ϵ_r 은 기판 재료의 비유전율 그리고 C는 광속을 나타낸다. 식(1)에 표시한 것과 같이 신호의 지연 시간(T_d)을 단축할 수 있는 방법은 거리(L)를 짧게하는 것과 회로 기판 재료의 비유전율을 낮추는 것이다. 또한 신호 전송 거리를 짧게 하기 위하여 다층 기판을 이용하여 소형부품의 고밀도 실장을 실현한다. 예를 들면 일반적으로 PC 및 EWS (Engineering work Station)에서는 약 4-10층, 대형 컴퓨터에서는 약 60층 정도의 다층 회로 기판을 사용하는 것이 모두 이러한 이유에 기인한다.

신호 전송의 지연 시간을 단

표 1. 정보처리 및 전송의 주파수대역.

분 야	사용 주파수 대역	고주파화의 목적	필요한 재료
정보 처리	30~300MHz	고속 연산 처리	저 유전율
정보 통신	300MHz~30GHz	대용량 신호 전송	저 유전손실

축하기 위한 하나의 방법으로 저 유전율 회로 기판을 사용하는 것은 현재까지 유전율이 비교적 낮고, 제조 및 가공이 용이한 유기 수지 재료들이 많이 사용되고 있다. 고속화가 특별히 요구되지 않은 일반 범용회로에서는 비유전율이 약 4.8정도의 GLASS-EPOXY(FR-4)를 많이 사용한다. 그러나 신호 전송의 고속화가 요구될 경우 비유전율이 약 3.5 정도인 POLYIMIDE 저 유전율 기판을 사용하기도 한다. 위의 두 가지 기판에 있어서 신호 지연시간을 비교해 보면 약 1.17배나 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 그러므로 실제 고속 전송 회로를 설계할 때 기판의 유전율, 내열성, 열 전달 특성, 열팽창 특성 등 여러 가지 특성들을 종합적으로 검토하여 신중하게 선택하는 것이 매우 중요하다.

한편, 정보 통신 분야는 휴대전화, 위성방송, 위성통신 등 다양한 무선 서비스가 제공되고 있다. 이들 기기들은 기존보다 고품질의 음성 및 화상을 무선으로 전송하기 위하여 신호 연산 처리에 비해 더 높은 주파수가 요구된다. 예를 들면 현재 많이 상용화된 위성 방송은 약 10GHz 정도에서 운영되고, WLAN은 2.4GHz, GPS 자동항법 장치는 1.57GHz, PCS(Personal Communication System)는 약 2GHz, CDMA 단말기(Code Division Multiple Access)는 약 900MHz 대역의 마이크로파를 사용한다. 이러한 새로 등장한 무선 송수신 기기들은 등장과 동시에 거대한 수요를 창출하였고, 이에 힘입어 마이크로파 관련 부품에 대한 수요도 급격히 증가하고있는 실정이다.

마이크로파 관련 기기에서는 일반적으로 유전율이 높고, 유전

손실이 낮으며, 온도변화에 안정한 회로 기판이 요구된다. 이 요구에 힘입어 새로 등장한 것이 바로 마이크로파 유전체 세라믹이라고 할 수 있다. 이 유전체 세라믹의 개발로 마이크로파 유전체 세라믹 회로 기판 뿐만 아니라 유전체 공진기, 유전체 필터 등 많은 마이크로파 관련 부품들이 개발되어 여러 마이크로파 기기에 광범위하게 사용되고 있다.

여기서는 마이크로파 영역에서 사용하는 전체적인 유전체 재료에 대하여 개략적으로 살펴보고, 현재 급격히 성장하고 있는 정보 처리 및 정보 통신 기기에서 광범위하게 사용되고 있는 각종 유전체 기판 재료에 초점을 두어, 기판 재료의 종류, 특성, 응용 및 평가 방법에 대하여 고찰해 보고자 한다.

2. 마이크로파 유전체 재료

2-1. 마이크로파의 기본 원리

유전체 재료의 유전특성에 대해서는 논문 및 관련 교과서¹⁾ 등에서 자세히 서술되어 있으므로 본문에서는 이에 대해 간략하게 언급하기로 한다.

일반적으로 유전체는 전자와 원자핵으로 구성된 이온간의 정전기 결합력으로 결합된 절연체이다. 마이크로파 전계가 유전체 물질에 가해질 때 그 유전체 물질 내부에서는 정/부 전하(電荷)가 외부 전계의 작용으로 미세 이동하는 분극(Polarization)현상이 발생한다. 분극현상은 외부에서 가해진 전계에 따라 전자와, 원자핵간의 위치 이탈로 발생하거나, 정/부 이온간의 위치 이탈로 인해 발생할 수도 있다.

유전체 분극은 많은 종류가 있으며 일반적으로 다음과 같이

(1). 전자구름과 핵이 외부 전계의 작용으로 상호 평행위치를

이탈하여 발생하는 전자분극(Electronic Polarization),

(2). 이온 결합 물질에서 이온간의 미세 이동으로 발생하는 형성되는 이온분극(Ionic Polarization),

(3). 유극성 분자의 배향에 의해 형성되는 쌍극자 분극(Dipole Polarization),

(4). 유전체의 계면에 전하가 집중되어 발생하는 공간전하 분극(Space Charge Polarization)으로 분류한다.

마이크로파 전계를 유전체 물질에 가하면 물질 내부의 전하가 전계의 작용에 의하여 미세 이동하는 분극현상이 발생한다. 물질 내부의 이러한 분극을 전기변위(Electric Displacement)로 정의하며, 그 양은 외부에서 가한 전사계(E)에 비례한다.

$$D = \epsilon \times E \text{-----}(2)$$

여기서 ϵ 는 분극의 정도를 나타내는 비례 계수이며 유전율(Dielectric Constant)로 부른다. 일반적으로 진공 상태의 유전율을 (3)식에 의해 계산할 수 있으며, 식 중의 C는 광속이다.

$$\epsilon_0 = 10^7/4\pi C \text{ [F/m]} \\ \epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0 \text{-----}(3)$$

진공상태의 유전율(ϵ_0)에 대한 물질의 유전율의 비율을 식(3)에서 표시한 비유전율(ϵ_r)로 정의한다.

위에서 서술한 비유전율은 벡터량으로 간주하며, 식(3)에 표시한 것과 같이 복소수로 표시한다.

$$\epsilon_r = \epsilon' - \epsilon'' \text{-----}(4)$$

우선 복소수 비유전율의 개념을 쉽게 이해하기 위하여 다음과 같이 설명하고자 한다. 외부에서

전계를 가할 때 유전체 내부에서 전하의 이동으로 분극이 발생하며, 전하 이동은 일정한 시간을 필요로 한다. 이 분극에 필요한 시간을 완화시간(τ)으로 부른다. 이 완화 시간은 앞에서 서술한 분극의 종류에 따라 다르며, 전자분극, 원자분극, 배향 분극 그리고 계면분극의 순차로 증가한다.

$$\tau(\text{전자분극}) < \tau(\text{이온분극}) < \tau(\text{쌍극자분극}) < \tau(\text{공간전하분극})$$

주파수가 f 인 전계를 유전체에 가할 때, 내부에서는 지연시간(τ)을 가지는 분극이 발생한다. 이 지연이 있는 분극을 지연각(δ)을 도입하여 다음과 같이 표시한다.

$$D = D_0 \exp(-j\delta) \quad (5)$$

여기서 $D_0 = \epsilon E$ 를 식(5)에 대입하면

$$D = \epsilon E \exp(-j\delta) = (\epsilon \exp(-j\delta)) \times E \quad (6)$$

로 된다. 식(6)내의 유전율(ϵ)부분을 지연각 δ 를 지닌 벡터로 취급할 수 있다. 즉

$$\epsilon = \epsilon \exp(-j\delta) = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (7)$$

여기서

$$\begin{aligned} \epsilon' &= \epsilon \cos(\delta), \\ \epsilon'' &= \epsilon \sin(\delta), \\ \tan(\delta) &= \epsilon''/\epsilon' \end{aligned}$$

유전율의 허수부와 실수부의 비율은 유전손실에 해당하며, 이 손실은 열 에너지로 전환되어 방출된다. 이 유전손실(열손실)을 이론적으로 계산할 수 있다(8)식).

$$P_{\text{loss}} = \frac{2\pi f E^2 \epsilon''}{\pi f E^2 \epsilon' \tan \delta} \quad (8)$$

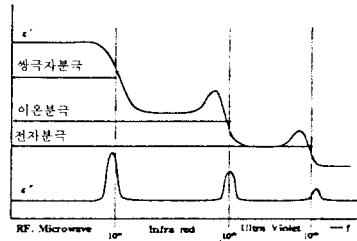


그림 1. 유전율(ϵ' , ϵ'')과 주파수, 각종 분극의 관계

식(8)에 의하면 유전 물질 내부의 유전손실은 외부에서 가한 전자기(E) 및 주파수와 유전율의 허수부와 비례한다. 그러므로 $\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta$ 는 마이크로파 손실을 발생하는 요소로서 유전손실 계수라고 한다.

(그림1)에 나타낸 것은 주파수 증가에 따른 비유전율의 실수부와 허수부의 변화 경향이다. 그림에 나타난 것과 같이 비유전율의 실수부는 주파수의 증가에 따라 계단식으로 감소하는데 반하여 비유전율의 허수부는 실수부 계단 근처에 피크가 형성된다. 이 비유전율 허수부의 각 피크치는 유전체 내부에서 발생하는 쌍극자 분극, 원자분극, 전자분극 등에 해당하며, 외부에서 가한 전자기 주파수가 유전체 내부의 고유 분극 주파수에 근접할 때 유전손실이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

2-2. 유기 수지 기판, 유기수지/ 무기 충전제 복합 기판 재료

마이크로파 영역에서 사용하는 유전체 기판으로써 크게 유기수지 기판과 세라믹 기판으로 분류할 수 있다. 유기수지 기판은 유전율이 낮아 신호 전송 지연시간이 낮다. 또 기판의 가공성이 우수하여 일반 마이크로파 회로 기판 재료로서 광범위하게 사용

되는 반면, 세라믹 기판 재료는 유전율이 높고, 유전손실이 낮으므로 마이크로 회로 기판, 마이크로파 집적회로 등에 많이 사용된다.

유기수지 기판으로써 테프론, 에폭시 수지 등 고분자 재료들이 많이 사용되고 있으며, (표2)에 일반적으로 많이 사용되는 재료들의 유전특성 등을 나열하였다. 고분자 기판 재료에는 일반적으로 배향성 분극에 의해 유전손실이 발생한다(그림1). 고분자의 분자량이 비교적 크기 때문에 주파수의 증가에 따라 배향 분극에 의한 유전손실이 수 MHz대역의 비교적 낮은 주파수에서 발생한다. 또, 고분자 재료의 유전 특성은 온도와 사용 주파수에 대한 의존성이 매우 높으므로 사용할 때 작동환경의 온도, 습도 및 주파수 등에 각별히 주의를 기울여야 한다.

표 2. 유기수지 기판의 유전

재 료	비유전율	$\tan \delta \times 10^4$	f/Hz
폴리에치렌	2.3	5	50-10 ⁶
테프론	2.0	5	10 ⁶
나이론	3.4	400	10 ⁶
PVC	3.0-4.5	400-1000	10 ⁶
페놀수지	4.5-5.0	150-300	10 ⁶
에폭시 수지	3.6	190	10 ⁶

(표2)에 나열한 것과 같이 유기수지 기판의 비유전율은 매우 낮으며, 기타 각종 기판에 비하여 신호 지연시간을 최대한으로 줄일 수 있다. 그러나 유기수지 기판만으로는 기계적 강도와 내열성 등이 나쁘기 때문에 고밀도 실장이 요구되는 박형, 다층화가 어렵다. 일반적으로 초박형 기판의 기계적 강도, 내열성 등을 개선하기 위하여 유리섬유 등의 무기물 충전제(Filler)를 첨가하여

기판의 강도, 내열성 등을 향상시킨 유기수지/무기 첨가제 복합 기판 재료를 실제로 사용한다.

유기 수지/ 무기 충전제(filler) 복합재료는 유기 수지내부에 무기 충전제가 분산되어 있는 상태이며 이 무기 입자 분산 계의 유전특성에 대하여는 Maxwell, Wagner²⁾, Sillars³⁾ 등이 1900년대 전후 이미 연구를 진행하였다.

충진제의 형태에 따라 복합계의 유전율(ϵ)은 식 (9), (10), (11)으로 계산할 수 있다.

(구형 충전제)

$$\epsilon = \epsilon_1 \left\{ 1 + 3\phi \frac{(\epsilon_2 - \epsilon_1)}{2\epsilon_1 + \epsilon_2} \right\} \quad (9)$$

(판형 충전제)

$$\epsilon = \epsilon_1 \left\{ 1 + \phi \frac{(\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_2} \right\} \quad (10)$$

(봉형 충전제)

$$\epsilon = \epsilon_1 + \phi(\epsilon_2 - \epsilon_1) \quad (11)$$

여기서 ϕ 는 충전제의 체적 충전 비율, ϵ , ϵ_1 , ϵ_2 는 복합체, 유기수지 및 무기 충전제의 비유전율이다. 상기 (9), (10), (11)식에서 표시한 것과 같이 무기 충전제의 입자 형태에 따라 복합체의 유전특성이 다른데 Wagner 등이 이론적으로 전개한 식(9), (10), (11)에서는 충전제의 입자 크기의 영향을 고려하지 않았다. 그러나 실제 충전계에서는 입자 크기의 영향은 무시할 수 없을 정도로 크다. Tripathi⁴⁾는 PVC에 0.1 μ m과 0.45 μ m인 Mica를 첨가하여 각각 입자 크기가 유전특성에 미치는 영향을 관찰하였다.

그 결과 유전율은 입자가 작을수록 높게 나타났고, 주파수가 높을수록 감소하였다. 그리고 유기/무기 복합 계에서 무기 충전 입자의 표면에 흡착된 수분, 입자 표면의 정전기 등 입자의 표면 계면 특성이 복합계의 특성에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

(표 3)에 나열한 것은 현재 많이 사용하고 있는 유기/무기 복합 기판 재료들이다. 유기/ 무기 복합계의 유전 특성을 고려할 경우 충전제의 선택, 표면의 처리 방법 등 매우 중요한 요소 기술들이 요구된다. 이 분야에 대한 연구는 현재 매우 미미한 실정이며 일부 우수한 연구 결과도 기업의 know-how로 간주되어 공개 되지 않고 있다. 특히 마이크로파, 초마이크로파 대척으로서 유기/무기 복합체의 연구는 현재 남아있는 매우 중요한 과제 중의 하나이기도 하다.

표 3. 유기 /무기 복합 기판재료의 유전특성

유기재료	무기 충전제	비유전율	tan δ
Epoxy	E-Glass 60Wt%	4.30	0.015
S-PS	Glass 30Wt%	3.10	0.0047
LCP	Glass 30Wt%	3.37	0.0040
BT Resin	D-Glass 40%	3.40	0.0027

2-3. 마이크로파용 세라믹 기판 재료

마이크로파 유전체 세라믹 재료의 개발은 유전체 공진기용 세라믹 재료로써 시작되었고, 그 후 이들 재료들이 마이크로파용 유전체 세라믹 기판으로 제작되어 마이크로파 집적 회로 기판, 마이크로파용 Capacitor 등으로 광범위하게 사용되어 왔다. 현재까지 이들 재료에 대하여 많은

책자와 논고^{5,6,7)}에서 상세하게 설명되어 있어 본문에서는 주로 기판 재료에 초점을 두고 설명하고자 한다.

마이크로파 유전체 세라믹 재료에 대하여 일반적으로 다음과 같이

- 1.적당한 비유전율,
- 2.높은 무부하 Q-값 (Qu=1/tan δ),

3.낮은 주파수 온도 변화 계수 세가지 특성이 동시에 만족 해야 한다. 유전체 내부에서 마이크로파의 파장은 유전율의 제곱근에 반비례한다($\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon}$). 유전율이 높을수록 파장이 짧아지므로, 회로의 소형화가 가능하다. 또한 무부하 Q-값이 높으면 재료의 유전손실이 낮으므로 작고 특성이 우수한 회로를 구성할 수 있으며, 주파수의 온도 변화 계수가 낮아야 (TCF<0 \pm 10ppm/ $^{\circ}$ C) 온도 안정성이 우수한 부품을 구현할 수 있다. (표3)은 현재까지 개발된 대표적인 마이크로파 유전체 재료의 유전특성을 정리하였으며, 구성 회로의 크기, 요구되는 손실 값, 온도특성 등에 맞춰 적당하게 재료를 선정하여 사용해야 한다.

(표4)에 나열한 재료들은 TEM, TE₀₁₅ 모드 공진기로 제작되어 이동 통신 단말기 등에 사용되는 듀플렉서(Duplexer), 유전체 필터용 공진기 부품으로 광범위하게 사용되고 있다. 또 이들 재료들을 기판 형태로 제작하여 Strip line 공진기, Microwave chip capacitor, Coupler, Microwave 집적 회로 등으로도 많이 사용되는데 이때 유전체 기판이 갖추어야 할 조건으로는

1. 밀도 및 기계적 강도가 높고,
2. 표면이 평탄하며, 전극과의 접착성이 우수하고,

표 4. 마이크로파 유전체 세라믹 기판의 전기적 특성

재료	비유전율	Q*f(GHz)	Tcf(ppm/°C)	fo(GHz)
Al ₂ O ₃	9.8	260000	-55	9
CaTiO ₃ -MgTiO ₃	21	56000	0	7
Ba(Mg _{1/3} Ta _{2/3})O ₃	25	350000	-4	12
Ba ₂ Ti ₉ O ₂₀	40	36000	4	5
(Sn,Zr)TiO ₄	38	49000	0	7
Bi ₂ O ₃ -BaO-Nd ₂ O ₃ -TiO ₂	88	4500	0	4
PbO-BaO-Nd ₂ O ₃ -TiO ₂	90	5200	3	1
(Pb,Ca)ZrO ₃	105	3600	3.7	1

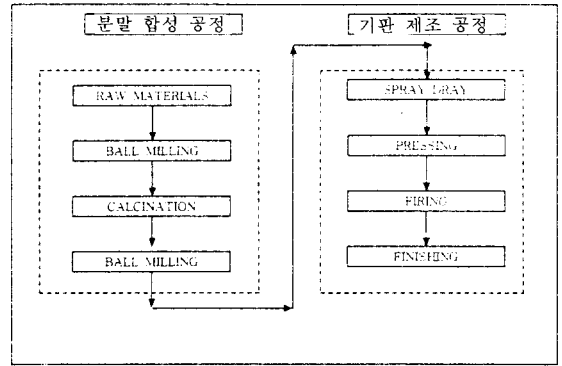


그림 2. 유전체 세라믹기판 제조 공정도

3. 열 전달 특성이 우수해야 한다.

유전체 세라믹 기판의 제조 공정을 살펴보면 우선 기판용 원료로 (표4) 와 같은 마이크로파 용 유전체 세라믹 조성물을 사용하는데 (그림2)에 도시한 것과 같이 일반 세라믹 원료 합성 및 제작 방법에 의해 원하는 조성물을 제조한다. 즉 TiO₂, MgO₂ Bi₂O₃, BaO, Nd₂O₃ 등의 원료 분말을 일정한 비율로 혼합한 후, 설정한 온도 (약 1000- 1100°C)에서 하소한 후 분말을 다시 Ball Mill로 분쇄하여 마이크로파 유전체 세라믹 조성물을 얻는다. 합성된 유전체 조성물에 소결조제, 유기 바인더와 용매 등을 첨가한 후, 분무 건조법(Spray Dry)으로 과립 구형 분말 (Granule Powder)을 제조한다. 합성된 과립 분말을 고정 밀도 프레스로 정밀 성형한 후, 약 1330°C에서 소성하여 세라믹 기판을 얻는다.

위에서 설명한 각각의 공정은 많은 변수들이 있으며 이 변수들에 의하여 세라믹 기판의 품질이 좌우된다. 그러므로 고품질의 기판을 얻기 위해서는 생산에서 각각의 변수들을 엄격하게 관리해야만 우수한 품질의 세라믹 기판

표 5. 시판중인 유전체 세라믹 기판의 특성

제조회사	기종	크기(mm)	재료	밀도	유전율	Q*F	Tcf
Trans-tech [®]	S8500	50x50	(Sn,Zr)TiO ₄	5.2g/cm ³	38	>40,000	0±30
	S8800	50x50	Ba ₂ Ti ₉ O ₂₀	4.5g/cm ³	39	>30,000	-25±10
	S8600	50x50	BaO/Nd ₂ O ₃ /TiO ₂	5.7g/cm ³	80	>9,000	0±30
SUMITOMO [®]	N21	50x50	--	3.8g/cm ³	21	>50,000	5±5
	N37	50x40	--	4.5g/cm ³	37	>40,000	5±3
	N92	50x50	--	5.7g/cm ³	92	>5,000	5±6

을 얻을 수 있다. 참고로 (표5)에는 마이크로파 유전체 세라믹 기판을 전세계에 판매중인 일본의 SUMITOMO사 및 미국 Trans-Tech 사 기판의 특성을 정리하였다. 이밖에 여러 회사에서 유전체 기판들이 시판되고 있으나, 특성들은 (표5)와 대부분 유사하다.

3. 유전체 기판의 측정 방법

마이크로파 유전체 재료의 평가 방법은 여러 논문에서 발표되었고, 일부 항목은 이미 표준화되어있다^{10,11)}. 일반적으로 유전체 세라믹 재료에 대한 평가 방법으로써

1. 도파관법(Wave Guide Method)
2. 평행판 유전체 공진기법

(Hakki-Coleman Method¹²⁾)

3. 공동 공진기법 (Cavity Resonance Method)의 세가지 방법이 많이 사용된다. 이들 방법사이에는 각각 장단점이 있어, 실제 측정시 반드시 종합적으로 검토해야만 보다 정확한 수치를 얻을 수 있다.

도파관법은 도파관 내에 유전체를 설치하여 반사파와 투과파의 진폭 또는 위상을 측정하여 비유전율 및 유전손실을 구하는 방법이다. 이 방법은 측정이 간단하다는 장점이 있으나, 재료의 유전손실이 낮을 경우 반사계수가 1에 가까우므로 측정 오차가 비교적 크다. 평행판 유전체 공진기법은 금속 평판 내에 원주형 유전체 시편을 설치하여 공진기를 구현하여 측정하는 방법이다.

이 공진기에 전자파를 주입하면 전자기 에너지가 공진기 및 금속 평판간에 축적되어 TE_{0m1} 모드 공진이 발생하며 이 공진 상태를 이용하여 유전체의 유전율 및 유전 손실을 측정한다. 공동 공진 기법은 금속 공동 (Cavity) 내에 원주형 유전체 시편을 설치하여 TE₀₁₆ 모드 공진을 이용하여 비유전율과 유전손실을 계산하는 방법이다.

위에서 설명한 유전체 평가 방법은 모두 유전체 블록으로 공진기를 구현하여 유전체 특성을 평가하는 방법이기 때문에 기관 형태의 유전체를 직접 평가할 수 없다. 일반적으로 기관재료와 동일한 유전체 조성이라도 성형 밀도, 소성 온도 등에 의해 특성이 다르다. 따라서 유전체 기관을 직접 평가하는 것이 가장 정확하다고 할 수 있다.

유전체 기관을 직접 평가하는 방법으로는

- (1). Strip Line 공진기법
- (2). 유전체 공진기 삽동법(攝動法)이 많이 사용된다.

Strip Line 공진기법은 유전체 기관의 표면에 Strip Line 공진기를 구현하여 유전체 기관의 특성을 평가하는 방법이다. (그림3)에 표시한 것과 같이 2매의 유전체 기관사이에 Strip Line 공진기 패턴 전극을 인쇄하고 외부면은 접지 상태로 한다. Strip Line 공진기의 경우 공진기의 길이 L은 전파 파장(λ)의 정수 배이며 다음과 같은 식이 성립된다.

$$L + \Delta L = l \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (12)$$

여기서 l=1,2,3,....., ΔL은 실험 방법으로 결정하므로 식(12)을 이용하여 기관의 비유전율과 손

실양을 계산할 수 있다. 또 원형 공진기일 경우 다음식이 성립한다.

$$D + \Delta D = J_{01} \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (13)$$

여기서 J₀₁=3.8317이며, 직경 보상치 ΔD를 해석에 의해 정확하게 결정할 수 있다.

위에서 서술한 Strip Line 공진기법은 유전체 기관을 평가하는데 가장 많이 사용하는 방법으로써 공진 주파수 측정치 F₀에 의해 비유전율, 무부하 Q 값을 얻는 방법이다.

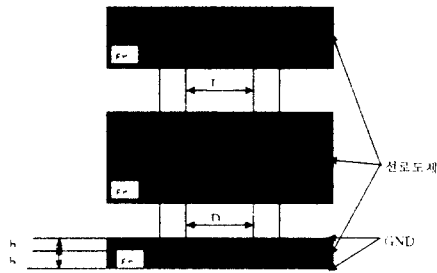


그림 3. Stripline 공진기법으로 유전체 기관을 평가하는 방법

유전체 공진기 삽동법(攝動法)은 (그림4)에서 보는 것과 같이 2개의 TE₀₁₆ 모드 공진기 사이에 유전체 기관을 삽입하여 비접촉 방식으로 유전체 기관을 평가하는 방법이다. 즉 공진기 내부 유전체 기관을 삽입하면 공진기계의 공진 주파수가 미세하게 변화한다. 이 미세한 변화는 공진기 내부 전자기계의 분포 상태를 변화시키지 않으며, 단지 유전체 기관의 비유전율과 비례한다는 이론에 입각한 측정 방법이다. 이 방법으로 기관의 특성을 평가할 때 식(14),(15)에 표시한 것과 같이 일반적으로 표준 기관

을 사용하여 표준과의 상대치를 측정하여 평가한다.

$$\epsilon_r = \frac{\Delta \omega_r}{\Delta \omega_{r0}} \times (\epsilon_{r0} - 1) + 1 \quad (14)$$

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_{r0} - 1}{\epsilon_{r0}} \times \frac{\omega_r}{\Delta \omega_r} \times \left(\frac{1}{Q_0} - \frac{1}{Q_{00}} \right) + \tan \delta_0 \quad (15)$$

여기서 ε_{r0}, tanδ₀은 표준 기관의 비유전율과 유전손실이며, ε_r, tanδ₀은 평가 기관의 비유전율과 유전손실이다. Δω공진 주파수의 변화량, 1/Q₀는 공진계의 손실양을 표시한다.

위에서 서술한 유전체 공진기 삽동법(攝動法)은 비접촉 비파괴로 기관의 특성을 측정할 수 있으며, 실제 기관 양산시 가장 편리하게 사용할 수 있는 방법이기도 하다.

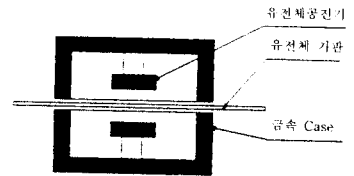


그림 4. 공진기 삽동법으로 유전체 기관을 평가하는 방법

4. 맺음말

위에서 마이크로파용 각종 유전체 기관 재료와 그의 측정 방법에 대하여 간략하게 서술했다. 신호 전송 회로용 기관으로서 현재까지 주로 유기 수지에 무기 충전제를 넣은 복합 기관들이 많이 사용되고 있다. 그러나 최근 수 년간 기관 분야에서 가장 주목할만한 것이라고 한다면

아마 저온 소성 세라믹 다층 회로 기판에 대한 연구라고 할 수 있을 것이다. 즉, 저유전율 Glass 와 세라믹 복합 분말을 소성하여 다층회로를 구현하는 것이다. 이 세라믹 다층 회로 기판은 기존의 유기 수지 기판에 비하여 다층화가 용이하며, 고밀도 실장이 가능하다. 또 이 기판은 내열성이 우수하여 가혹한 환경에서도 성능이 유지되므로 미래의 유망한 기판재료로써 각광을 받고 있다. 현재 이 저온 소성 세라믹 다층 기판의 비유전율은 약 6-7 정도로 유기 수지 기판에 비해 다소 높다. 이를 개선하기 위하여 세라믹 기판 내에 기공을 도입하여 기판의 비유전율을 낮추는 연구들이 많은 연구들이 진행되고 있으며^{13,14,15)}, 일부 기술들은 이미 실용화 단계까지 진행될 것으로 알려져 있다.

마이크로파 유전체 세라믹 기판 분야에서도 현재 많은 연구들이 진행되고 있으며, 주로 고유전율과 저 손실 유전체 재료의 개발 및 저온 소성 가능한 신규

재료 조성 개발에 치중되어 있다. 이미 발표된 자료를 보면 약 850-950°C 근처에서 온 전극과 동시에 소성할 수 있는 조성들이 개발되어, 마이크로파용 Chip LC Filter, Chip Ceramic Antenna 등 제품에 적용되어 시판되고 있다.

전반적으로 유전체 기판 분야는 전자업계에서 가장 중요한 역할을 하고 있다. 향후 정보화 시대가 발달함에 따라 보다 고기능 기판의 요구가 더욱 커질것이며 이에 힘입어 지속적인 발전이 이루어 질 것이다.

5.참고문헌

1. W. D. Kingery and B. Francois, "Introduction to ceramics", John Wiley Sons, Inc.(1979)pp970
2. K. W. Wagner, arch. f. Electrot Echn.,2,371(1914)
3. R. W. Sillars, J.I.E.E. 80, 378(1937)
4. Tripathi. A., Tripathi A. K.,

- P.K.C., Mater. Sci. letter, 9, 443(1990)
5. H. Ouchi, " Microwave Dielectric Ceramics", Ceramics jpn, 30[4]294-7(1995)
6. T. Nojima," Microwave Dielectric Ceramis in Mobile Communication", Ceramics jpn, 30[4]298-300(1995)
7. H. Sato," Process of Microwave Dielectric Ceramics", Ceramics jpn, 30[4]305-8 (1995)
8. 97 Trans-Tech Catalog pp 5-59 9. 97 SUMITOMO Catalog pp15
10. IEC Pub.556
11. JIS C2565 Microwave 用 Ferrite 實驗方法
12. B. W. Hakki, and P. D. Coleman, IRE Trans. on MTT-8, 402(1960)
13. 特開平4-23491 (NEC)
14. 한국 특허 95-23552(삼성전기)
15. 한국 특허 95-23553 (삼성전기)

< 천 재일 위원 >