

## 유전체 특성기판을 이용한 마이크로파 부품 기술 동향



김 종 현  
(광운대 전자공학과)

### 1. 서 론

21세기의 급격한 이동통신기술의 발달은 우리의 일상생활을 더욱더 편리하도록 만들고 있으며 정보의 질적인 성장을 야기시키고 있다. 이러한 이동 통신기술은 제1세대의 아날로그 기술, 제 2세대의 디지털 셀룰러기술과 곧 대두될 제 3세대의 IMT-2000 기술로 변화여감에 따라 고성능, 고효율 통신을 요구할 뿐만 아니라 고주파대역의 집적회로 기술발달로 회로의 소형화, 저가격화가 요구되었다. 정보처리 분야에서는 방대한 정보를 보다 더 짧은 시간 내에 처리하기 위해서는 고속, 고집적 LSI를 사용하여야 한다. IC 패키징용 재료는 지금까지 내부 전극으로서 W/Mo를 사용하는 다층 알루미늄 기판을 사용하여 1500℃이상의 고온 및 환원 분위기에서 동시 소성하여 제조하였다. 그러나 최근 IC Chip이 고속화 및 고집적화됨에 따라서 저유전율, 저열팽창 계수를 갖는 기판 재료에 대한 필요성이 높아져 왔다. 특히 이러한 기판 재료는 전도성이 우수한 Au, Pd/Ag, Ag 및 Cu등과 같은 도체재료를 사용하여 Cross talk를 방지할 수 있는 거리를 짧게할 수 있을 뿐만 아니라 절연층의 두께와 선폴을 줄일 수 있어서 미세 회로패턴을 구성할 수 있어서 동시 소성하기 위한 저온에서 소성(<1000℃)이 가능한 세라믹 재료가 요구되었다. 알루미늄을 비롯한 최근 주목을 받고 있는 주요 기판들은 Cu, Au와 같이

고전도성 도체와 동시 소성이 가능한 대형 컴퓨터용 IC Package등과 같이 고성능 기판 재료로서 사용된다. 반도체 칩의 속도가 점점 고속화되어짐에 따라서 신호가 도체를 통하여 전달되는 속도도 함께 빨라져야 전체 시스템의 고속화를 달성할 수 있다. 일반적으로 유전체 내에 있는 도체의 신호전달 지연시간( $T_d$  : Signal propagation delay time)은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$T_d = \frac{L \times \sqrt{\epsilon_r}}{C}$$

여기서 L은 신호의 전송 거리,  $\epsilon_r$ 은 기판 재료의 비유전율 그리고 C는 빛의 속도를 나타낸다. 예를 들어 알루미늄의 경우 유전상수가 9.5 정도이므로 지연시간은 약 10ns가 되며, 신호전달 지연시간을 감소시키기 위해서는 신호의 전송거리를 최소로 하고 비유전율 값을 낮게 하는 것이다. 또한 신호 전송 거리를 짧게 하기 위해서는 다층기판을 이용하여 소형부품의 고밀도 실장을 실현한다.

본 고에서는 고주파 통신시스템 소형화에 있어서 필수적인 유전체 특성기판의 재료와 종류를 알아보고 이를 이용한 소형화 부품 개발 현황에 대하여 알아본다.

### 2. 마이크로파 유전체 기판

## 2.1 마이크로파 유전체 기판의 유전특성

통신시스템을 구성하고 있는 대표적인 마이크로파 부품인 LNA(Low noise amplifier), HPA(High power amplifier)와 Mixer 등과 같은 고주파 능동소자들은 MMIC(Microwave monolithic integrated circuits)화 되어 소형화가 가능하지만, 발진기와 필터 등은 소형화하기가 까다롭다. 많이 사용되어 왔던 구리합금은 크기가 크고 무거워서 소형화에는 불가능하며 최근 SAW(Surface Acoustic Wave)필터 등의 개발로 소형화가 부분적으로 이루어졌으나 사용 가능한 주파수가 낮고 동작 파위가 작기 때문에 실용화 시에는 고려사항이 많다. 그러므로 고주파용 소자의 크기를 줄이면서 동작 파위도 크며 온도에 안정된 주파수 특성을 갖게 하기 위해서는 유전상수가 크며 유전손실이 작고, 온도변화에 따른 특성의 변화가 작은 유전체 재료가 필요하나, 산화물 이외의 유전상수가 큰 재료의 유전 분산(Dielectric dispersive)은 대부분 마이크로파 이하 대역에서 일어나므로 마이크로파 대역 내에서는 사용할 수 있는 유전상수가 큰 재료는 산화물 유전체 재료에 국한된다.

따라서, 마이크로파 대역에서 유전체 세라믹이 고주파 기기에 사용하게 된 것은 유전특성과 온도 특성이 우수한 재료가 개발됨으로써 유전체 공진기를 이용한 발진기와 필터가 소형화되었고 그 결과로 고주파용 시스템의 소형화, 고성능화가 가능하게 되었다.

마이크로파 영역에서 사용하는 유전체 기판으로써 크게 유기구수지 기판과 세라믹 기판으로 나눌 수 있다. 유기구수지 기판은 유전율이 낮아 신호 전송 지연시간이 낮다. 또 기판의 가공성이 우수하여 일반 마이크로파 회로기판 재료로써 광범위하게 사용되는 반면, 세라믹 기판 재료는 유전율이 높고 유전손실이 낮아 마이크로 회로 기판, 마이크로파 집적회로 등에 많이 사용된다. 유기구수지 기판으로써 테프론, 에폭시 수지 등 고분자 재료들이 많이 사용되고 있다. 표 1은 다양한 유기구수지 기판의 유전특성을 나타낸 것이다.

유기구수지 기판의 비유전율은 매우 낮으며 가타 각종 기판에 비하여 신호 지연시간을 최대한으로 줄일 수가 있지만 유기구수

표 1. 유기구수지 기판의 유전특성

Material	Dielectric Constant( $\epsilon_r$ )	$\tan \delta \times 10^4$	f (Hz)
Polyethylene	2.3	5	50-10 <sup>6</sup>
Teflon	2.0	5	10 <sup>6</sup>
Nylon	3.4	400	10 <sup>6</sup>
PVC	3.0-4.5	400-1000	10 <sup>6</sup>
Penol	4.5-5.0	150-300	10 <sup>6</sup>
Epoxy	3.6	190	10 <sup>6</sup>

표 2. 유기·무기 복합 재료기판의 유전특성

Material	Inorganic filler	Dielectric Constant( $\epsilon_r$ )	$\tan \delta$
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

지기판으로는 기계적 강도와 내열성 등이 나쁘기 때문에 고밀도 실장이 요구되는 박막형, 다층화가 어렵다. 따라서 초박막형 기판의 기계적 강도, 내열성 등을 개선하기 위하여 유기수지/무기 첨가제 복합 재료기판을 사용한다. 이 분야에 대한 국내의 연구는 매우 부족한 실정이므로 마이크로파 대역에서의 유기·무기 복합체의 연구는 향후 중요한 과제라 할 수 있다. 표 2는 유기·무기 복합 재료기판의 유전특성을 나타낸다.

## 2.2 마이크로파 유전체 세라믹 기판의 재료 및 종류

마이크로파에서 사용 가능한 기판들은 회로 형성과 소자 부품의 조립의 수단을 제공하며 외부 환경으로부터의 보호가 요구되므로 높은 전기 비저항, 낮은 유전손실, 높은 기계적 강도뿐만 아니라 적합한 열팽창 계수와 표면의 편평도, 잉크와의 부착성을 위한 표면 거칠기 등의 특성이 필요하다. 기판을 선정 시에는 크게 물리적 특성과 기판의 표면특성을 고려하여야한다. 물리적 특성이란 기판의 경도, 굴곡 및 압축강도, 기판치수의 정확도, 표면특성을 살피는 기계적 특성과 열 팽창계수, 열 전도성, 최고 사용온도 등의 열적 특성, 절연 내압, 전기저항, 유전상수, 손실상수를 고려하는 전기적 특성으로 나눌 수가 있다.

대표적인 유전체 특성 기판의 재료의 종류 및 특성을 몇가지 열거하면 다음과 같다.

### 2.2.1 GLASS

OPTO Electronics, Ni chrome Resistor 등에 사용되며, 가장 싼 것이 장점이다. 단점으로는 열 전도성 및 기계적 강도가 약하고 부식 및 세척에 대한 내 화학성이 약하다. 현재 거의 사용되고 있지 않다.

### 2.2.2 CERAMIC

· BARIUM TITANIUM : 높은 유전 상수를 가지고 있기 때문에 유전체로서 기판을 사용하여 높은 밀도의 부품을 만들 수 있다.

· ALUMINA (  $Al_2O_3$  ) : 알루미늄

일반적으로 가장 많이 사용되는 후막용 96% 와 박막용 99% 알루미늄으로 크게 구분되고 알갱이 크기는 3~5 $\mu$ m이다. 알루미늄 기판은 미세한 분말의 알루미늄에 산화 마그네슘,

산화칼륨, 이산화 실리콘과 같은 첨가물을 넣어 고온에서 소결함으로써 조밀하고 알갱이 크기가 작은 다결정질의 기판을 갖게 된다. 순수한 알루미늄은 2000도에서도 소결되기 어려우나 약 4~6%의 다른 산화물을 첨가함으로써 약 1700도 정도에서 소결시킬 수 있게 된다.

균질질의 혼합물을 얻기 위해 마이크로나 준마이크론 단위의 여러 가지 분말을 구형 또는 막대형 제분기에 넣어 혼합을 시키는데 이때 혼합을 돕기 위해 물을 넣어 주기도 한다. 이 혼합과정이 끝나면 혼합물은 건조되고 압착기를 사용하여 원하는 모양으로 만든 후 1648도 가마에서 소성한다. 알루미늄의 장점으로는 뛰어난 경도, 우수한 열적 안정성, 내 화학성, 절연성과 우수한 부착성이 있으며 단점으로는 깨지기 쉽고 진동 및 기계적 용력이 약하며 금속보다 열전도성이 작다.

· BERYLLIUM ( BeO )

특수 목적으로 사용되는 기판으로서 고 열전도성 요구 품목에 사용된다. 가격이 알루미늄의 10배 이상 비싼 것이 단점이나, 열 전도성 또한 10배 이상 우수한 장점이 있다.

표 3은 마이크로파 유전체 세라믹 재료의 유전특성을 나타낸 것이며 구성회로의 크기, 요구되는 손실 값, 온도특성에 맞추어 적당한 재료를 선정하여 사용하는 것이 바람직하다. TCF는 주파수의 온도 변화 계수를 말한다. TCF가 0±10ppm/℃ 보다 낮아야 온도 안정성이 우수한 부품을 구현할 수 있다. 표 3의 재료들은 기판형태로 제작하여 스트립라인 공진기(Strip line resonator), 마이크로스트립 칩 커패시터(Microstrip chip capacitor), 결합기(Coupler), Microwave 집적회로 등으로 많이 사용되는 데 이때 유전체 기판이 갖추어야할 조건은 밀도 및 기계적 강도가 높아야 하고 표면이 평탄하며, 전극과의 접착성이 우수하고 열전달 특성이 우수해야 한다

### 3. 마이크로파 유전체 부품에의 응용

마이크로파 시스템에 있어서 소형, 경량 및 고성능화가 필수적인 필터, 발전기, 그 외의 다양한 모듈은 능동소자(LSI)들과 함께 시스템의 기본성능, 크기와 중량 등을 결정하는 중요한 부품들이다. 유전체 세라믹을 이용한 마이크로파 유전체 부품들의 특성과 향후 전망을 몇가지 살펴보기로 한다.

#### 3.1 유전체 필터

유전체 필터는 삽입손실이 적고 온도특성이 양호하며 내전력이 커야 되는 특성을 가져야 된다. 필터를 두 개 결합한 형태인 듀플렉서(Duplexer)는 수신부와 송신부를 분리시켜주는 스위치로도 사용된다. 최근에는 사용주파수의 고주파화와 공진기간의 결합회로의 개량에 의해 필터의 크기가 4.8×4.3×2.8mm의 소형경량품이 생산되고 있다. 대부분의 유전체 필터는 단면적이 6×6mm 또는 3×3mm의 공진기를 2개 또는 3개를 결합시킨 형태를 사용하고 있으나 이 형태의 필터들은 생산성면과 크기에서 불리한 단점을 가지고 있는바, 모토로라사를 중심으로 하여 하나의 소결체로 필터를 구현하는 Monoblock형의 필터가 출현하였다. 또한 미국이나 일본에서도 Monoblock 형의 듀플렉서가 양산되고 있는 실정이다.

일본에서는 단말기의 소형, 경량화를 하기 위해서 세라믹 다층기술과 고주파 설계기술을 응용한 일체형의 LC 필터로써 200MHz~3GHz의 주파수 범위를 갖는 BPF(Band Pass Filter), LPF(Low Pass Filter)가 상품화하고 있다.

#### 3.2 VCO(Voltage Controlled Oscillator)

VCO는 주파수의 범위가 낮은 곳으로부터 PCS용에 이르기까지 광범위하게 여러 대역의 상품화가 이루어 졌다. 동작전압은 기기의 저소비전력지향에 만족하고 최저 동작전압이 2~

표 3. 마이크로파 유전체 세라믹 재료의 유전특성

Material	Dielectric Constant	Q ×(GHz)	TCF(ppm/℃)	Fo(GHz)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.8	260000	-55	9
CaTiO <sub>3</sub> -MgTiO <sub>3</sub>	21	56000	0	7
Ba(Mg <sub>1/3</sub> Ta <sub>2/3</sub> )O <sub>3</sub>	25	350000	-4	12
Ba <sub>2</sub> Ti <sub>6</sub> O <sub>20</sub>	40	36000	4	5
(Sn,Zr)TiO <sub>4</sub>	38	49000	0	7
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -BaO-Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiO <sub>2</sub>	88	4500	0	4
PbO-BaO-Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiO <sub>2</sub>	90	5200	3	1
(Pb,Ca)ZrO <sub>3</sub>	105	3600	3.7	1

3V, 소비전류도 5mA 정도까지 감소시킨 소자가 생산되고 있다. 또한 VCO에 PLL-IC와 LPF를 결합한 PLL 모듈도 개발되었다. 이러한 부품은 회로간의 정합을 정확히 하여 만듦으로 한 개의 기능모듈로 형성되어 기기설계 시간의 단축과 실장부품수의 감소를 가지도록 하여 기기의 소형화에 크게 도움이 되었으며 그 외 다층기판을 사용하여 회로의 LC부를 기판에 내장시킨 초소형 고주파 증폭기 모듈이 있으며 디지털 TDD 방식으로 됨으로써 필요하게 된 필터내장의 안테나 스위치 블록 등 최신의 재료, 공법, 설계기술을 구사한 각종 복합 모듈이 개발 생산됨에 따라 기기의 소형화를 크게 가속화시키고 있다.

### 3.3 안테나

현재 유전체 세라믹 안테나가 가장 많이 사용되고 있는 분야는 GPS(Global Positioning System)용으로 25mm×25mm×4mm 크기가 상용화되고 있으며 16×16mm 제품도 곧 상용화 될 것이다. 칩 유전체 안테나 9×6×1.8mm 및 6×4.5×1.8mm가 상용화되고 있으며 마이크로스트립형 안테나와 등가로 기판상에 실장가능하다. 특히 1.9GHz용으로 개발된 칩 세라믹 안테나는 6.3×5.0×1.5mm, 용적 0.047cc를 실현하고 있다. 그 외 유전체 세라믹 안테나는 셀룰러 폰, PCS, GSM, Wireless LAN등에서 활발히 응용되고 있다.

### 3.4 전력 증폭기(Power amplifier)

전력 증폭기는 MMIC소자로서 GaAs FET와 Si CMOS를 사용하는 것이 주류를 이루고 있었으나 단일 전원화, 고효율화등을 목적으로 SiGe, P-HEMT(Pseudo-morphic High-Electron Mobility Transistor), HBT(Heterojunction Bipolar Transistor)를 비롯하여 새로운 재료 및 구조가 제안되고 있다. 최근 방열성이 우수한 세라믹 다층기판을 채택함으로써 전력 증폭기 주변의 부품을 다층 기판 내에 수용하여 소형화를 한 전력 증폭기 모듈이 주목을 받고 있다. 세라믹 다층 기판의 중간 정도에 Cavity의 얇은 홈을 설계하고 그 곳에 저역 증폭기 MMIC의 배어칩을 본딩하고 보호코팅을 한 후에 다른 칩 부품을 탑재하여 하나의 전력 증폭기 모듈을 구성하는 것이다.

## 4. 결 론

지속적으로 대두되고 있는 마이크로파 기술의 이용은 우리에게 많은 편리함과 다양한 정보전달의 효율성을 제공하지만 그에 따른 기술개발이 반드시 병행되어야 할 것이다. 그 중에서도 유전체 특성기판을 이용한 고주파 부품의 소형, 경량화는 필수적이라 할 것이다.

마이크로파용 유전체 기판의 재료 및 종류에 대한 기술을 통하여 신호 전송 회로용 기판으로서는 유기수지에 무기 충전제를 넣은 복합기판이 많이 사용하였지만 최근에는 고주파용 기판분야에서 저온 소성 세라믹 기판에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 즉, 저유전율 GLASS와 세라믹 복합 분말을 소성하여 다층회로를 구현하는 것이다. 세라믹 다층회로 기판은 기존의 유기수지 기판에 비하여 다층화가 가능하다. 그러나 저온 소성 세라믹 다층 기판은 유전율이 약 6-7정도로 유기수지 기판에 다소 높으므로 향후 이를 개선할 수 있도록 세라믹 다층 기판의 유전율을 낮출 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 서 사 의 령

성명 : 김 중 현

#### ❖학력

1984년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 졸업

1990년 6월 : 독일 Ruhr Univ. Bochum  
전자공학과 공학박사

1994년 8월 : 독일 Dortmund Univ. 전자공학과 공학박사

#### ❖경력

1995년 4월 : 광운대학교 전파공학과 조교수

1999년 4월~현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수

#### ❖주관심 분야

초고주파 측정 및 센터, EMI/EMC, 초고주파 및 광 집적 회로