

Abstract

There are many kinds of dielectric materials in microwave dielectric filters for mobile telecommunication. But It is need to new dielectric materials for IMT2000, Bluetooth, wireless LAN to miniaturize the dielectric filters. These kinds of materials should have high dielectric constants, high Q, and low firing sintering temperature(<900°C). Multilayer monolithic dielectric filters are manufactured by BiNbO₄, dielectric ceramics cofired at 875°C.

Key word: Dielectric ceramic, filter, mobil telecommunication, multilayer ceramics, low temperature sintering.

요 약

이동통신용 유전체 필터에 사용되는 유전체 재료는 많이 상용화 되어 있다. 그러나 향후 IMT2000, Bluetooth, wireless LAN등에 채용될 부품은 더욱 소형화로 여기에 필요한 새로운 유전체 재료가 요구된다. 이러한 필터는 결국 적층 일체형 필터의 제작이 대두되고 이를 위해서는 높은 유전율에 높은 Q값을 갖는 저온소결(900°C이하)재료가 필요하다. 본고에서는 저온소결이 가능한 BiNbO₄ 재료를 갖고 설계, 적층공정 등을 통하여 적층일체형 필터를 제작하였다.

I. 서 론

정보화 사회로의 급속한 진전에 따라 개발된 이동통신은 그 수요의 증가에 따라 국내에서도 1세대 세룰러로 출발하여 2세대 CDMA를 거쳐 현재 2.5세대라 할 수 있는 PCS서비스 단계까지 발전하여 왔으며 향후 3세대 무선통신이라 할 수 있는 IMT-2000서비스시대의 개막을 위해 각계에서 경쟁과 노력을 기울이고 있다. 정보화 사회로 대변되는 현시대에서는 이러한 이동통신은 일상생활의 필수 도구로 확고한 자리를 차지하고 있으며, 이는 국내에서도 불과 몇 년의 기간동안에 이동통신 가입자수가 유선통신 가입자수를 상회하는 상황으로도 알 수 있다.

특히 IMT-2000 의 경우 다양한 형태의 멀티미디어 정보(음성 및 비음성 데이터, 정지화상 및 동영상 데이터, 실시간 정보처리 등의 광대역 정보)를 보다 정확하고 신속하게 이용할 시스템을 목적으로 하고 있으며, 이동통신으로 이러한 서비스를 하기 위해서는 가격이 저렴하면서도 소형의 단말기를 필요로 하며, 이러한 소형화에 대한 요구는 RF부품에 집중되고 있다.

단말기의 안테나 다음 단계에 위치한 송수신단의 분리역할을 하는 듀플렉서는 RF부품 중에서 가장 핵심부품이라 할 수 있고, 그 부가가치성과 기술의 파급적 효과는 여타의 RF부품중 으뜸이라 할 수 있다. 진보된 공정과 설계기법을 통한 소형의 듀플렉서를 저렴하게 양산할 수 있는 기술의 개발은 이동통신의 발전을 위해 확보해야할 핵심 기술이며, 이와 같은 기술들의 뒷받침에 힘입어 고도의 정보화 사회로의 진전도 가능해지고 있다.

세라믹 유전체 필터는 VCO, TCXO 등과 함께 이동통신부품의 중요한 위치를 차지하고 있으며 사용 주파수와 기지국, 단말기 등의 사용 목적에 따라 특성과 크기가 틀려진다. 기지국용으로는 크기보다 특성을 중시하는 방향으로 필터의 선택이 이루어지지만, 단말기에 사용되는 것은 소형화에 더 중점을 둔다. 기지국용 필터류들은 국내 시장에서 많은 국내 업체들이 생산하고, 시장을 점유하고 있지만, 단말기에 사용되는 소형의 필터류 들은 상황이 그렇지 못한 편이다. 국내에서도 '90년도에 들어와 늦게나마 여러 기업들과 학계에서 이에 대한 활발한 연구 개발이 이루어지고 있다.

초고주파 대역에서 유전체를 사용하는 이유는 온도에 대한 안정성과 소형화를 이룰 수 있기 때문이다. 유전체내에서는 초고주파의 파장이 유전체의 유전상수에 반비례하여 파장이 $\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r}$ 만큼 짧아지므로 유전상수가 클수록 소자의 소형화가 가능하게 되고, 금속으로 소자를 만들었을 때에는 부피가 커지는 것은 물론이고 금속의 열팽창에 의해 주파수의 안정도가 떨어지게 되는데 이러한 현상들은 유전체를 사용함으로써 해결될 수 있다.

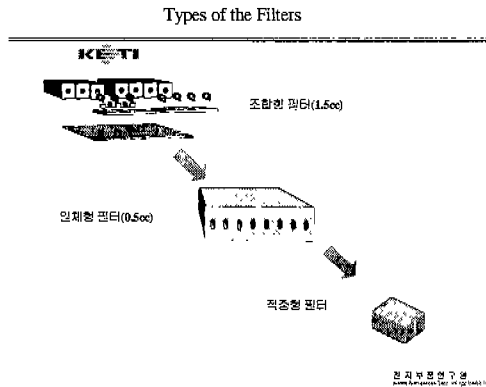
유전체 재료를 고주파에 응용하려는 시도는 1939년 Richt-myer^[1] 에 의해 처음 시도되었으며, 1960년대에 Okaya^[2], Cohn^[3] 등이 TiO₂를 이용하여, 소형이면서 유전손실이 작은 유전체 공진기와 필터를 제작하여 그 가능성이 제시되었으나 공진주파수의 온도계수 (TCF ≒ 450 ppm/°C) 가 너무 커서 실제 응용에는 곤란하였다.

유전체 필터에 요구되는 세라믹 재료는 높은 유전율(ε), 높은 Q, 그리고 공진주파수의 온도안정성(Tcf, -20~80°C) 등이 요구되고 있다. 900 MHz 대역의 셀룰라, 1.8 GHz 대역의 PCS까지만 해도 유전율 80이상, Qf 5000이상, Tcf는 5 ppm 이하의 재료가 주류를 이루고 있다. 그러나 IMT2000(2.1 GHz대역), 무선 LAN, Bluetooth(2.4 GHz대역) 등으로 더욱

주파수가 올라감에 따라 공진주파수의 파장이 짧아지므로 저절로 필터의 크기는 작아지게 된다. 따라서 고주파화 할수록 유전체 재료의 선택은 높은 유전율보다는 높은 Q값을 갖는 재료를 선택하게 된다. 물론 유전율도 높고 Q값도 높으면 좋지만 현재까지 나와 있는 재료를 보면 유전율이 높은 재료일수록 Q값은 작아지는 경향이 있어 재료의 여러 특성값에 적절한 것을 고려하여 선택하게 된다.

세라믹 유전체 필터의 종류를 외형으로 구분하여 크게 두 가지로 분류하면 일체형 듀플렉서와 개별 공진기들의 조합형으로 나눌 수 있다. 이들의 특징적 장·단점을 들어 표현하자면 일체형 듀플렉서의 경우 금속 표면을 적게 사용하는 구조로 삽입손실 면에서 장점을 찾을 수 있으며, 세라믹 공정단계가 비교적 간단하고 외부회로를 필요로 하지 않아 공정비용이 다른 것에 비하여 저렴한 편이다. 반면 여러 공진기를 조합하여 만드는 듀플렉서의 경우 이러한 감쇄특성을 위한 회로설계가 매우 용이하여 비교적 간단히 그리고 여러 가지 방법을 통하여 원하고자 하는 특성을 구현할 수 있다. 그러나 이 경우 일체형의 듀플렉서와 달리 사용되는 금속표면이 상대적으로 많아서 손실이 큰 편이며, 조립을 하는 공정이 비교적 까다로운 편이어서 숙련된 기술자들을 요하기 때문에 이의 양산라인 관리가 쉽지 않은 편이다.

그러나 IMT2000 통신에는 음성뿐만 아니라 동영상 등의 데이터를 포함한 많은 부품이 실장될 것으로 예상되어 부품의 소형화가 더욱 절실히 요구되고 있다. 이러한 요구에 충족할 수 있는 새로운 필터로서, 기존의 조합형이나 일체형의 동축형 구조를 이용한 필터류나 듀플렉서 보다는, 제작이 용이하고 양산이 유리한 적층 공정을 이용한 소형화된 적층 일체형 필터로의 개발이 시급한 상황이다. 특히 1.8 GHz 대역 이상의 주파수에서는 SAW 필터의 특성이 세라믹 제품보다 떨어지는 편이며, 고가의 생산



[그림 1] 유전체 필터의 종류

장비를 필요로 하기 때문에 IMT-2000을 위한 듀플렉서로는 부적합하며, 기존의 CDMA와 달리 주파수가 높아서 세라믹의 유전율이 크지않더라도 소자의 크기가 작아지기 때문에 적층 공정을 이용하는 것이 좀더 유리함을 알 수 있다. 그러나 기존의 적층 기술을 이용한 필터의 경우 LC 필터가 대부분으로 그 특성이 듀플렉서에 이용하기에는 미흡하기 때문에 스트립 라인 방식과 같은 설계 기술이 도입되어야 하며, 이러한 설계에 맞는 공정이 뒤따라 개발되어야 한다. 이러한 새로운 적층공정과 설계기법의 개발이 이루어져야만 후발주자로서 단말기용 RF 부품 시장의 점유율을 높일 수 있는 가능성이 큰 것으로 판단된다. [그림 1]은 유전체 필터의 개발방향에 따른 개략도로서 개별 공진기 조합형 필터, 일체형 필터 그리고 적층 일체형 필터로의 소형화되는 과정을 나타내었다.

본고에서는 최근 적층 일체형 필터의 기술로서 요구되는 재료, 설계, 공정 및 개발 제품의 특성에 대하여 논하고자 하였다.

II. 본 론

2-1 고주파 유전체 재료

초고주파 대역에서 유전체를 사용하는 이유는 온도에 대한 안정성과 소형화를 이룰 수 있기 때문임은 이미 서론에서 언급하였다. 그러나 초고주파 대역에서 유전체 재료의 Q값은 일반적으로 공기일 때보다 작기 때문에 이의 단점을 최소화하여 발진 소자와 같이 주파수 안정도가 Q값과 반비례 관계에 있는 소자들에 유전체를 사용하기 위해서는 재료의 손실이 작아야 한다. 더구나 주파수와 Q값은 서로 반비례 관계가 있기 때문에 높은 주파수 영역에서 사용되는 소자인 경우 유전체의 손실은 매우 중요한 요소가 된다. 따라서 보다 낮은 유전손실을 갖는 유전체가 필요하게 된다.

유전체 재료를 고주파에 응용하려는 시도는 오래전부터 있었으나 TiO_2 는 공진주파수의 온도계수 ($TCF \approx 450 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$)가 너무 커서 실제 응용에는 곤란하였다. 이와 같은 공진주파수의 온도계수를 향상하고, 앞절에서 기술한 고주파 유전체 재료에 필요한 요구조건을 만족시키며, 그 특성을 향상하기 위한 연구가 1970년대부터 연구가 활발하여, $BaO-TiO_2$ 계, $BaO-Re_2O_3-TiO_2$ (Re: Nd, Sm, La)계, $(Mg, Ca)TiO_3$ 계, $(Zr, Sn)TiO_4$ 계, $(CaSrBa)ZrO_3$ 계, 복합페로브스카이트 (complex perovskite) 화합물계의 단일 화합물과 고용체의 우수한 고주파 유전체 세라믹스가 개발되었고, 최근에는 개인 이동 통신 부품의 소형화, 경량화를 위하여 유전상수가 80 이상인 고 유전율 세라믹스에 대한 연구와 적층 유전체필터용 900°C 이하 저온 소결 유전체 재료의 연구도 활발히 진행되고 있으며, 또한 고주파 기기의 사용 주파수가 높아짐에 따라 유전상수의 향상보다는 무부하 Q 값 ($\approx 1/\tan \delta$)을 증가시키려는 연구도 활발히 진행되고 있다. 지금까지 보고되고 있는 대표적인 고주파 유전체 재료의 종류와 특성은 다음과 같다.

2-1-1 $BaO-TiO_2$ 계

$BaO-TiO_2$ 계의 여러 가지 상중 고주파 유전체 재

료로서 이용되는 것은 $BaTi_4O_9$ 과 $Ba_2Ti_9O_{20}$ 로써, 각각 유전율은 37, 40, Q값은 4 GHz에서 9000, 6000 이고, 온도안정성은 $Ba_2Ti_9O_{20}$ 이 ($TCF= 2 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$) $BaTi_4O_9$ ($TCF= 15 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$) 보다 우수하다^[4]. 그러나 일반적인 세라믹스 제조공정으로는 제거하기 힘든 제 2 상의 형성으로 단일상의 $BaTi_4O_9$, $Ba_2Ti_9O_{20}$ 을 얻기가 용이하지 못하다. 그러므로 하소 분말을 산(acid) 처리하여 제2상을 용출A^[5] 제거하거나, SnO_2 , 나 ZrO_2 를 미량 첨가하므로써 단일상의 $Ba_2Ti_9O_{20}$ 를 제조^[6]할 수 있었으며, MnO와 WO_3 를 첨가하여 온도안정성과 Q값을 조절하였고^[7], 최근 0.03~0.3 mol%의 $BaSnO_3$ 를 첨가^[8]하여 $BaCO_3$ 와 TiO_2 의 반응성을 증가시켜, 단일상의 $Ba_2Ti_9O_{20}$ 를 형성시키고 고주파 유전특성을 향상시켰다.

2-1-2 BaO- R_2O_3 - TiO_2 계

본계는 BaO- TiO_2 계 중 TiO_2 함유량이 많은 영역에 희토류 화합물(Nd_2O_3 , Sm_2O_3 , La_2O_3)를 첨가한 계로써 대표적인 화합물은 $BaO \cdot R_2O_3 \cdot 5TiO_2$ 와 $BaO \cdot R_2O_3 \cdot 4TiO_2$ (R:Nd, Sm, La) 이지만 본계에서는 단일상에 대한 여러 가지 다른 견해가 있고 일반적인 산화물 혼합법으로는 단일상의 제조가 어렵고, 여러 상이 혼합상으로 존재하여 조성에 따라 여러상의 혼합효과에 의해 고주파 유전특성이 조절된다.

BaO- Nd_2O_3 - TiO_2 계는 유전상수 70~90, 유전손실 ($\tan \delta$)는 5×10^{-4} 정도이지만 유전상수의 온도계수 (TCK)가 $-100 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 로서 비교적 크다. 그러므로 온도 안정성을 향상하기 위하여 BaO 대신에 Bi_2O_3 나 PbO 를 일부 치환하여 4 GHz에서 유전상수는 60~90, Q값은 1100~2000, 공진주파수의 온도계수 (TCF)가 거의 0(zero)에 근접하는 우수한 재료가 보고^[9]되었다.

BaO- Sm_2O_3 - TiO_2 계는 3 GHz에서 유전상수는 75~95, Q값은 2000, TCF 는 $-17 \sim -20 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 를 나

타낸다. 또한 공진 주파수의 온도계수를 향상하기 위하여 BaO대신 SrO를 일부 치환한 (Ba,Sr)O- Sm_2O_3 - TiO_2 계는 소결후 TiO_2 , $Ba_2Ti_9O_{20}$, $BaO \cdot Sm_2O_3 \cdot 5TiO_2$ 상이 존재하며 세상이 상호 보완하여 3 GHz에서 유전상수는 70~90, Q값은 3700, TCF는 0(zero)를 갖는다^[10].

BaO- La_2O_3 - TiO_2 계는 앞의 두계에 비하여 유전상수 (100~110)는 비교적 높으나 Q값(500~700)이 크게 감소하고 TCF ($500 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$)가 크게 증가하였다^[11]. 또한 BaO-(Sm,La) $_2O_3$ - TiO_2 , BaO-(Nd,Sm) $_2O_3$ - TiO_2 , BaO-(Nd,La) $_2O_3$ - TiO_2 , BaO-(Pr,Nd) $_2O_3$ - TiO_2 계와 본계의 유전손실을 향상하기 위하여 R_2O_3 - TiO_2 (R:La, Nd, Sm)계에 대한 연구도 활발히 진행되고 있으며, 첨가제 및 제조공정 변화에 의한 고주파 유전 특성의 향상이 기대되어지는 계이다.

2-1-3 ZrO_2 - SnO_2 - TiO_2 계

$ZrTiO_4$ 는 정전용량의 온도계수(TCC)가 작은 온도 보상용 콘덴서 재료이였으나 SnO_2 가 첨가됨에 따라 고주파 유전특성이 우수한 것이 입증되어 많은 연구 개발이 이루어졌다. 조성변화에 대한 고주파 유전특성중 $Zr_{0.8}Sn_{0.2}TiO_4$ 는 우수한 고주파 유전특성^[12]($k=36 \sim 37$, $Q=6000$, $TCF=0$)을 나타내고 있으며 Q값은 출발물질(TiO_2 (anatase), 순도, 첨가제 (NiO , MnO_2 , Fe_2O_3 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , Sb_2O_5))^[12,13], 제조공정^[14]에 의해 증진된다고 보고되고 있다.

2-1-4 복합 페롭스카이트 계

일반식 $A(B_{1/3}B'_{2/3})O_3$ (A=Ba, Sr, B=Mg, Zn, Mn, Ni, Ca, Co, B'=Nb, Ta) 으로 표현되는 본 계의 본계의 복합 페롭스카이트 구조는 단순 입방정(cubic) 페롭스카이트 구조에서 B격자 이온인 B, B' 이온이 1:2로 규칙화(ordering)됨에 따라 육방정(hexagonal) 형태의 규칙적인 의사입방정(pseudocubic)구조를 갖

는다고 보고되고 있으며 B격자이온의 이온반경차가 클수록, 전하차가 클수록 B격자이온의 규칙화는 더욱 증진되고, 격자 비틀림 (lattice distortion) 현상의 증진으로 높은 Q값을 나타낸다고 알려져 있고^[13], 또한 B격자 이온의 규칙화와 격자 비틀림 현상의 고주파 유전손실 감소에 대한 기여도에 관한 연구에 의하면 격자비틀림 현상보다는 B격자 이온의 규칙화에 의하여 고주파 유전손실은 더욱 감소된다고 보고되고 있다^[16].

저손실 고주파 유전체 재료인 복합 페로 스카이트 화합물중 우수한 고주파 유전특성을 나타내는 Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O₃ (k=30, Q= 15000(12 GHz), TCF=0 ppm/°C) 와 Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O₃ (k=25, Q=16800 (10.5 GHz), TCF=4.4 ppm/°C) 의 고주파 유전특성을 향상하고자 ZrO₂,^[17] SnO₂^[18]를 첨가하여 유전손실을 크게 감소하였으며, 소결온도가 1650 °C로 높은 Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O₃에 BaWO₄를 첨가하여 1450 °C에서도 우수한 고주파 특성 (k=24, Q=13000 (10.5 GHz), TCF=0)을 보고^[19] 하였다.

이 외에도 여러 복합페로스카이트 재료에 적당한 첨가제를 통한 유전율, Q값 개선과 소결온도 등을 낮추려는 연구들이 진행되었고 이들을 대략 <표 1>에 나타내었다.

그러나 이제껏 나열된 유전체 재료들은 개별공진기 조합형 필터나, 일체형 필터를 제작하기에 만족할 만한 유전특성을 갖고 있는 것이나 적층 필터를 제작하기에는 제조사 소결온도가 1300°C이상으로 높아 부적합하다. 2 GHz 이상의 주파수 대역 적층 필터에 필요한 유전체는 유전율 30~40 또는 그 이상이며 Qf 값은 10,000이상이고 적층 동시소결온도가 900 °C 이하인 재료가 요구된다.

최근의 고주파 유전체 재료의 저온 소결은 800 ~1000 °C 범위에서 소성이 가능하여 은이나 구리 같은 금속과 동시 소결이 가능하게 해주는 것으로 지금까지의 연구 방향은 Bi₂O₃계 세라믹스나 알루

<표 1> 고주파 대역 유전체 재료

Materials	ϵ_r	Q	τ_f (ppm/°C)	f_0 (GHz)
MgTiO ₃ -CaTiO ₃	21	8000	0	7
Ba(Mg,Ta)O ₃	25	16000	3	10
Ba(Mg,Ta)O ₃	25	35000	4	10
Ba(Sn,MgTa)O ₃	25	20000	0	10
Ba(Mg,Ta)O ₃ -Ba(Zn,Ta)O ₃	27	15000	0	10
Ba(Zn,Nb)O ₃ -Ba(Zn,Ta)O ₃	30	14000	0	12
Ba(Zr,Zn,Ta)O ₃	30	10000	0	10
(Ca,Sr,Ba)ZrO ₃	30	4000	5	11
BaO-TiO ₂ -WO ₃	37	8800	2	6
(Zr,Sn)TiO ₄	38	7000	0	7
Ba ₂ Ti ₃ O ₂₀	40	8000	2	4
Sr(Zn,Nb)O ₃ -SrTiO ₃	43	5000	-5~+5	5
BaO-Sm ₂ O ₃ -5TiO ₂	77	4000	15	2
BaO-PbO-Nd ₂ O ₃ -TiO ₂	90	5000	0	1

미나계에 glass frit이 약 40~50 % 정도를 차지하는 세라믹과 glass frit의 복합 재료에 대한 것이었다. 이와 같은 재료들은 대체로 기존 마이크로파 유전체 재료 보다 상대적으로 유전율이 크게 저하된다. 또 다른 접근 방법은 기존의 마이크로파 유전체 재료에 저온 소결 첨가제를 첨가함으로써 소결 온도를 낮추려는 시도인데 기존 재료들은 대부분 1,350 °C 이상에서 열처리해야만 고유의 특성을 얻을 수 있고, 특히 ZnO-SnO₂-TiO₂나 Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O₃ 같은 재료는 1450~1600°C 이상에서 장시간 열처리해야 하기 때문에 단일 성분 및 여러 가지 성분으로 구성된 저온 소결 첨가제 혹은 glass frit을 소결 조제로 첨가하고 있으나 100~200 °C 정도 소결온도를 낮출 수 있었으나 1000°C이하는 불가능하였다. 이상과 같은 지금까지 개발되었거나 연구중인 저온 소결 마이크로파 유전체 재료를 정리하면 <표 2>와 같다.

2-1-5 Bi₂O₃-Nb₂O₅ 세라믹스

$\text{Bi}_2\text{O}_3:\text{Nb}_2\text{O}_5 = 1 : 1$ 화합물인 BiNbO_4 는 천연적으로는 발견되지 않지만 이와 유사한 BiTaO_4 는 존재하고 bismutotantalite 라고 한다.^[20]

Dihlstorm^[21]과 Aurivillious^[22]는 BiNbO_4 와 BiTaO_4 를 합성하려는 연구를 하였으나 합성된 것들은 천연의 bismutotantalite와 다른 orthorhombic의 구조를 가졌으며 이는 SbTaO_4 와 Sb_2O_4 와 같은 구조를 갖고 있음을 확인하였다.

이러한 BiNbO_4 는 1020°C 이하에서는 저온상의 orthorhombic 구조를 가지고 있으나 그 이상 온도부터 융점까지는 triclinic 상으로 존재하고 온도를 낮추어도 비가역적으로 변하지 않는다고 보고되어 있다.^[20] BiNbO_4 의 저온상과 고온상을 비교해 볼 때 결정학적으로는 고온상이 더 안정적이며 더 낮은 대칭성을 갖는다. 따라서 고온 상으로 전이하면 열

처리에 의해 저온상으로 바뀌지 않는다.

이와 같은 BiNbO_4 계에 대한 유전특성 연구는 Hiroshi 등에 의해 저온 소결 첨가제로서 CuO , V_2O_5 등을 소량 첨가한 재료와 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CaO-Nb}_2\text{O}_5$ 계에 대해서 마이크로파 유전 특성에 대한 연구가 있었다.

BiNbO_4 는 $1,000\sim 1,020^\circ\text{C}$ 에서 단일상으로 합성할 수 있으며, BiNbO_4 는 유전상수(k) 37~40.5, Qf 5000~14000 [GHz]의 마이크로파 유전특성을 나타낸다. 따라서 적층필터재료로서 저온소결 가능성이 있는 BiNbO_4 재료에 저온소결 첨가제로 CuV_2O_6 를 첨가하여 소결온도를 BiNbO_4 는 $800\sim 900^\circ\text{C}$ 로 낮출 수 있었으며 유전상수(k) 45 Qf 7000~14000 [GHz]의 값을 나타내어 우수한 마이크로파 유전특성을 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 BiNbO_4 재료에 저온소결 첨가제로 CuV_2O_6 를 합성하여 적층재료로 필터를 제작하였다.

<표 2> 고주파유전체의 조온소결 재료

Material	소결 온도	유전율	QF	TCF
PMN modified ($\text{Pb}_{1-x}\text{A}_x$)($\text{Mg}_{(1-x)/3}\text{B}_{x/3}\text{Nb}_{1/3}$) O_3	1000 ~1200	70~90	4000 ~7000	< ± 5
$x\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-(1-x)TiO}_2 + \text{V}_2\text{O}_5$	800 ~900	20~50	80 ~2200	-90 ~-20
$a\text{LaO} \cdot b\text{CaO} \cdot c\text{TiO}_2 \cdot d\text{MgO}$ + silicate glass 35~60wt%	800 ~900	15~22	250 ~350	-30 ~+30
$x\text{BiO}_{3/2} \cdot y\text{CaO} \cdot z\text{NbO}_{5/2} +$ additives	900 ~1000	50~60	150 ~900	<+30
$x\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot (1-x)\text{GeO}_2 \cdot y\text{CaTiO}_3$	850 ~875	30~43	1600 ~4000	< ± 60
$x\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot (1-x)\text{GeO}_2 \cdot y\text{CaTiO}_3$	850 ~875	27~41	1600 ~2500	< ± 50
$\text{BiO}_{3/2} \cdot \text{CaO} \cdot \text{NbO}_{3/2}$ $\text{BiO}_{3/2} \cdot \text{CaO} \cdot \text{ZnO} \cdot \text{NbO}_{3/2}$ +additives(CuO , V_2O_5)	875 ~975	40~45	2200 ~4300	< ± 40
$\text{BaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{Nd}_2\text{O}_3 +$ ($\text{BaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$) glass 5 vol%	930	72	4000	+8
$\text{Nd}_2\text{O}_3 - \text{WO}_3$	1000	32	5100	+27

2.2 고주파 유전체 적층필터 설계

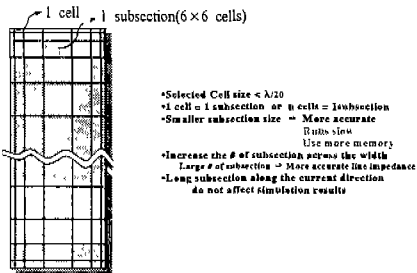
기존의 조합형 유전체 필터는 설계가 비교적 용이하며 급변하는 부품시장에 적용하기가 용이한 편이지만 조립공정 등 비교적 공정단계가 길고 까다로운 편이어서 오랜 경험과 노하우를 갖고 있는 일본의 업체에 비하여 적정이윤을 형성하기 어려우며, 일체형의 경우에도 개발이 어려운 단점을 차지하더라도 기존의 선진업체들이 보유하고 있는 특허의 회피가 어려운 실정으로 지속적인 시장이 성장하는 상황에서 경쟁력을 확보하기 어려운 상황이다. 그러나 적층공정을 이용한 일체형 필터의 경우 자동생산이 가능하기 때문에 이러한 실정에서 경쟁력을 확보할 수 있는 유일한 방안이라고 판단된다. 그러나 기존에 적층형 유전체 필터들은 대부분은 LC-type이어서 그 특성이 듀플렉서로 이용되기에는 부적합한 상황이다. 적층형 공정을 이용하면서도 기존

의 듀플렉서의 특성을 만족시키기 위해서는 집중소자보다는 분포소자를 이용한 설계기법을 이용하여야 한다.

필터를 구현하기 위해서는 고주파 회로 설계 simulation tool을 이용하게 되는데 여러 simulator중 여기서는 전자기적 해석과 구조적 설계가 고려된 sonet simulator를 이용하였다. 먼저 공진기의 전자기적 해석을 위한 공진기의 단위 cell을 나누게 되는데 cell을 작게 많이 나누면 설계값은 정확하지만 계산결과를 내는데 많은 시간이 소요되고 simulator에 많은 메모리 용량을 차지하게 되어 효과적이지 못하고 반대로 cell을 크고 적은 수로 나누면 빠른 계산시간과 적은 메모리 용량으로 결과를 얻을 수 있으나 그 계산값은 부정확한 결과를 얻게 된다. 따라서 [그림 2]에서 보는 바와 같이 공진기의 전류밀도의 분포를 보면 전류의 진행방향으로는 중간부분에서 전류밀도의 변화가 작고 진행방향의 끝부분에서 밀도변화가 크며, 진행 방향의 수직방향으로 그리고 끝으로 갈수록 전류밀도 변화가 크기 때문에 공진기의 끝부분 가장자리 쪽에서 cell 크기를 작고 촘촘히 나누고, 중간부분은 cell을 넓고 길게 함으로써 계산시간을 짧게 하면서 결과치의 정확도를 높일 수 있다.

일체형 필터의 기본 등가회로는 [그림 3]과 같으며 공진기 3개를 coupling하여 만든 구조로 적층필터에

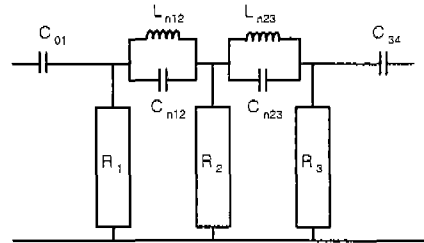
Subsectioning of the structure.



-subsection example of the strip line resonator -

[그림 2] 공진기의 전류 분포

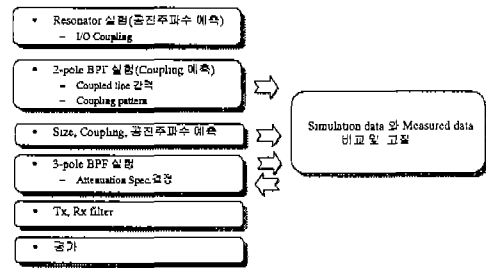
Design of the monolithic ceramic filter



Equivalent Circuit of the monolithic filter

[그림 3] 일체형 필터의 등가회로

Process

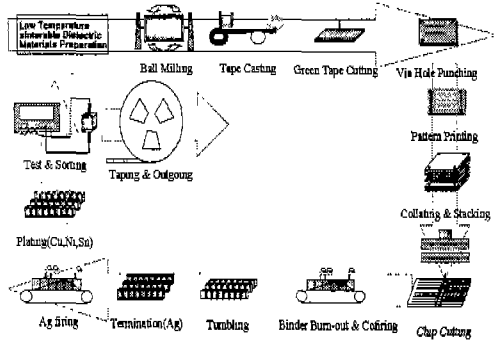


[그림 4] 적층 유전체 필터의 설계과정

서 이를 공간적으로 배열하여 제조하고 평가후 다시 설계하여 피드백 반복을 함으로써 조절된다. 그림 4에, 이의 실험 결과와 simulation 반복을 거치면서 최종 필터를 제작하는 개략도를 보였다.

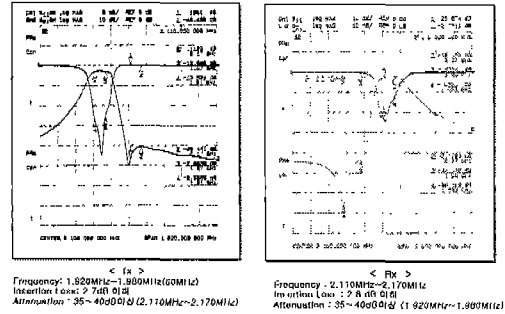
2.3 필터 제작 및 특성

필터 제작은 기본 세라믹 원료를 합성하는 것부터 시작을 한다. [그림 5]에 적층필터 제조의 개략도를 나타내었다. 먼저 저온 소결이 가능한 원료를 합성하여 미세하게 분쇄 및 각종 binder와 유기 용매를 혼합하는 ball mill을 하게 된다. Ball mill후 슬러리 상태에서 캐리어 필름을 통해 태입 캐스팅 공정을 통해 두께 약 100 μm 로 쉬트 성형을 거쳐 10 \times



[그림 5] 적층 유전체 필터의 제조과정

Band-Pass Filter for IMT-2000



[그림 7] 적층유전체 필터 특성(IMT2000)

10 cm 크기로 컷팅을 한다.

쉬트중 필요한 층은 층간 회로의 연결을 위한 via hole punching을 하고 쉬트별 회로설계에 의한 대로 pattern을 인쇄한다. 층별 쉬트를 정렬이 유지되도록 적층을 하고 열가압 lamination 공정을 거친다. 적층된 쉬트를 개개의 필터가 형성되도록 cutting을 하고 동시소결을 한다. 소결된 일체형 세라믹의 외부전극을 입히고 전극소부를 한 후에 특성평가를 통한 필터 불량률 선별함으로써 최종 필터가 제작된다.

[그림 6]은 IMT2000 주파수 대역의 최종 제작된 필터의 실물로서 듀플렉서로 제작된다면 기존 상용화된 부품보다 크기면에서 1/4이하 수준으로 소형화됨을 볼수 있다. [그림 7]은 필터 특성을 보여주는

데이터로서 송신단대역에서 삽입손실 2.7 dB 이하, 감쇄특성 40 이상, 수신단 대역에서 삽입손실 2.8 dB 이하, 감쇄특성 40 dB 이상의 특성을 보이고 있다.

III. 제 언

우리나라는 유선통신과 달리 이동통신 분야에서는 세계적인 괄목할 성장을 하고 있으며, CDMA를 세계 최초로 상용화 시킨 경험을 바탕으로 IMT-2000에서도 주도적 역할이 기대된다. 그러나 CDMA개발을 위하여 미국의 퀄컴사에 엄청난 자금을 투자하여야 했으며, 지금도 계속적인 기술료를 지불하고 있고 단말기에 들어가는 많은 부품들이 수입되고 있는 실정을 간과해서는 않된다. 이러한 전례를 거울 삼아 IMT-2000, bluetooth, 무선 LAN 만큼은 그 핵심기술뿐 아니라 관련 부품도 필히 국산화해야 하는 필요성을 안고 있다.

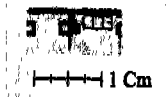
적층필터는 부품의 소형화 추세에 확보해야 될 필수적인 연구개발 분야로서 풀어야 할 문제가 산적해 있다. 상기 필터제조에서 쉬트 성형시 안정된 새로운 재료와 바인더 시스템을 더욱 연구해야 하며 동시소결시 세라믹-내부전극간 수축을 및 반응성 제어 문제 등도 아직 해결해야 될 문제가 많이

Out-Side View of the Multi-layer filter



-Motorola sample (Bulk type)
:6.03[L]×20.6[w]×4.1[t] (=0.5cc)

· 일체형 듀플렉서와 비교 (A/B-판시용)



-Multi-layer sample
:6.04[L]×6.03[w]×1.14[t] ×2 (=0.083cc)

· 개입된 작은 일체형 유전체 필터. (A/B-판시용)

[그림 6] 적층 유전체 필터

남아 있다. 적층필터는 이제 시장이 형성되려는 단계에 와 있고 일본에서도 무라타, 소신, 마쓰시다 정도에서만 개발에 힘쓰고 있으며 국내는 이제 걸음마 정도의 연구개발에 뛰어든 수준이다.

기존의 단말기 RF 모듈은 PCB에 부품을 SMD한 형태이나 최근 LTCC기술을 활용한 안테나, 듀플렉서, 필터가 적층 일체형으로 제작하려는 노력과 적층 R, L, C 기술을 적용, PLL 모듈의 소형화 개발을 시도하고 있다. 이러한 추세는 RF 모듈이 단말기에 장착이 용이하며, 양산성이 탁월하고, 대량 생산시 저가화 실현이 가능해지 때문이다. 국내에서도 세라믹 원료개발, 적층공정, 회로설계기술 등의 연구개발에 많은 투자를 아끼지 말아야 할 것이다.

참고문헌

- [1] R. D. Richtmyer, "Dielectric Resonator", *J. Appl. Phys.*, 10[1], 391, 1939.
- [2] A. Okaya, "The Rutile Microwave Resonators", *Proc. IRE*, 48:1921, 1960.
- [3] S. B. Chon, "Microwave Band pass Filters Containing High Q Dielectric Resonators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, MTT-16 [4], 218, 1968.
- [4] H. M. O'Bryan, Jr., J. Thomson and J. K. Plourde, "A New BaO-TiO₂ Compound with Temperature-Stable High Permittivity and Low Microwave Loss", *J. Am. Ceram. Soc.*, 57 [10], 450, 1974.
- [5] H. M. O'Bryan, R., J. Thomson and J. K. Plourde, "Effects of Chemical Treatment on Loss Quality of Microwave Dielectric Ceramics", *Ber. Dt. Keram. Ges.*, 55[7], 348, 1978.
- [6] J. M. Wu and H. W. Wang, "Factors Affecting the Formation of Ba₂Ti₉O₂₀", *J. Am. Ceram. Soc.*, 71[10], 869, 1988.
- [7] S. Nomura, K. Tomaya and K. Kaneta, "Effect of Mn Doping on the Dielectric Properties of Ba₂Ti₉O₂₀ Ceramics at Microwave Frequency", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 22[7], 1125, 1983.
- [8] K. H. Yoon, J. B. Kim, W. S. Kim, and E. S. Kim, "Effect of BaSnO₃ on the Microwave Dielectric Properties of Ba₂Ti₉O₂₀", *J. Mater. Res.*, 11[8], 1996, 1996.
- [9] W. S. Kim, K. H. Yoon, E. S. Kim, and K. H. Joe, "Effect of WO₃ on Microwave Dielectric Properties of BaO-Nd₂O₃-4TiO₂ system", *J. Kor. Phys. Soc.* 32[2], 374, 1998.
- [10] J. M. Wu and M. C. Chang, "Reaction Sequence and Effects of Calcination and Sintering on Microwave Properties of (Ba,Sr)- Sm₂O₃-TiO₂ Ceramics", *J. Am. Ceram. Soc.* 73[6], 1599, 1990.
- [11] K. C. J. Raju, V. Sivasubramanian, R. Pragasam, B. Viswanathan, and V. R. K. Murthy "Contributions to the dielectric constant of the system BaLn₂Ti₄O₁₂ from packing fraction and nephelauxetic ratio", *J. Appl. Phys.*, 74[3], 1968, 1993.
- [12] K. Wakino, K. Minai, and H. Tamura, "Microwave Characteristics of (Zr, Sn)TiO₄ and BaO-PbO-Nd₂O₃-TiO₂ Dielectric Resonators", *J. Am. Ceram. Soc.*, 67[4], 278, 1984.
- [13] K. H. Yoon, Y. S. Kim, and E. S. Kim, "Microwave Dielectric Properties of (Zr_{0.8}Sn_{0.2})TiO₄ Ceramics with Pentavalent Additives", *J. Mater. Res.*, 10[8], 2085, 1995.
- [14] S. Hirano, T. Hayashi, and A. Hattori, "Chemical Processing and Microwave Characteristics of (Zr,Sn)TiO₄ Microwave Dielectrics", *J. Am.*

- Ceram. Soc.*, 74[6], 1320, 1991.
- [15] S. B. Desu and H. M. O. Bryan, "Microwave Loss Quality of $BaZn_{1/3}Ta_{2/3}O_3$ Ceramics", *J. Am. Ceram. Soc.*, 68[10], 546, 1985.
- [16] E. S. Kim and K. H. Yoon, "Effect of Nickel on Microwave Dielectric Properties of $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3}O_3)$ ", *J. Mater. Sci.*, 29, 830, 1994.
- [17] K. Wakino, M. Murata and H. Tamura, "Far Infrared Reflection Spectra of $Ba(ZnTa)O_3$ - $BaZrO_3$ Dielectric Resonator Material", *J. Am. Ceram. Soc.*, 69[1], 34, 1986.
- [18] H. Matsumoto, H. Tamura, and K. Wakino, "Ba $(Mg,Ta)O_3$ - $BaSnO_3$ High-Q Dielectric Resonator", *Jap. J. Appl. Phys.*, 30[9B], 2347, 1991.
- [19] K. H. Yoon, D. P. Kim, and E. S. Kim, "Effect of $BaWO_4$ on the Microwave Dielectric Properties of $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3}O_3)$ ", *J. Am. Ceram. Soc.*, 77[4], 1062, 1994.
- [20] R. S. Roth et al *J. Res. Natl. Bur. Stand. Sec., A 66A*, 451, 1962.
- [21] K. Dihlstorm. *Z. Anorg. Allgen. Chem* 239, 75, 1938.
- [22] B. Aurivillius, *Arkiv Kemi* 3[20], 153, 1951.

≡ 필자소개 ≡

김 준 철

1991년 2월: 서강대학교 물리학과 (공학사)
 1993년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
 1997년 5월~현재: 전자부품연구원 선임연구원
 [주 관심분야] RF 필터, 듀플렉서, 압전응용 소자



이 형 규

1984년 2월: 연세대학교 세라믹공학과 (공학사)
 1986년 2월: 과학기술원 재료공학과 (공학석사)
 1989년 8월: 과학기술원 재료공학과 (공학박사)
 1989년 10월~1992년 3월: 삼성반도체 선임연구원
 1992년 4월~현재: 전자부품연구원 수석연구원
 [주 관심분야] RF 필터, 듀플렉서, 압전응용 소자



방 규 석

1993년 2월: 인하대학교 재료공학과 (공학사)
 1995년 2월: 인하대학교 재료공학과 (공학석사)
 1995년 5월~현재: 전자부품연구원 선임연구원
 [주 관심분야] RF 필터, 압전응용 소자, 압전 액츄에이터

