

論文98-35D-2-10

접합된 Stepped Impedance Resonator를 이용한 온도보상형 유전체 대역통과 필터

(A Temperature Stable Bandpass Filter Using Dielectric-Filled Stepped Impedance Resonators)

林相圭*, 金垞哲*, 金德煥*, 河宗秀*, 吳昌憲*,
沈和燮*, 安哲*

(Sang-Kyu Lim, Jun-Chul Kim, Duck-Hwan Kim, Jong-Su Ha,
Chang-Heon Oh, Hwa-Sup Sim, and Chul An)

요 약

공진주파수의 온도계수(τ_f)가 큰 양(+)의 값을 가졌거나 혹은 음(-)의 값을 지녀 실제 활용되지 못하고 있는 마이크로파 유전체를 유전체 대역통과 필터에 응용하기 위한 대역통과 필터의 설계 방법이 제안되었고, 이 방법에 따라 제작된 대역통과 필터의 온도 안정성이 확인되었다. 이 방법에서 유전체 대역통과 필터를 구성하는 각각의 유전체 공진기는 서로 상반된 유전율의 온도계수(τ_ϵ)를 지닌 유전체를 접합시켜 만든 SIR(Stepped Impedance Resonator) 구조로 되어 있으며, 공진조건으로부터 접합 SIR의 공진주파수가 온도 변화에 안정하기 위한 길이 조건과 필터 설계에 필요한 susceptance slope parameter가 구해졌다. 설계하고자 하는 접합 SIR을 이용한 대역통과 필터는 중심주파수 915 MHz에서 통과대역폭 20 MHz를 갖도록 하였으며, 접합 SIR의 유전재료는 유전율의 온도계수(τ_ϵ)가 양(+)의 값을 갖는 MgTiO₃($\tau_\epsilon = +99$ ppm/°C)와 음(-)의 값을 갖는 Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃($\tau_\epsilon = -77$ ppm/°C)을 이용하였다. 최종적으로 필터 설계식에 따라 설계된 접합 SIR 대역통과 필터의 온도 안정성이 시뮬레이션과 실제 제작을 통해 확인되었다.

Abstract

The design method of a temperature stable bandpass filter using dielectric coaxial resonators of different dielectric constants (ϵ_r) is proposed. In this method, dielectric resonators with two dielectric ceramics with opposite signs of temperature coefficient of dielectric constant (τ_ϵ) to compensate for each other in this method. MgTiO₃ ($\tau_\epsilon = +99$ ppm/°C) as a positive τ_ϵ material and Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ ($\tau_\epsilon = -77$ ppm/°C) as a negative material were selected. The length of a SIR for the temperature stability was calculated according to the design method and the susceptance slope parameter of the SIR was obtained. A temperature stable bandpass filter using dielectric SIR's was designed, simulated and fabricated. The center frequency of this filter was 915 MHz and the pass bandwidth was 20 MHz. Temperature properties of this bandpass filter by simulations were compared with the measured results of the bandpass filter fabricated.

* 正會員, 西江大學校 電子工學科

(Department of Electronic Engineering, Sogang University)

※ 이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

接受日字: 1997년 12월 3일, 수정완료일: 1998년 2월 4일

I. 서 론

최근 무선 정보통신 수요의 증가에 따라 이에 필수적인 통신기기의 수요와 시장은 급증하고 있으며, 연구 개발의 규모 또한 매년 증가하고 있는 추세이다. 따라서 통신기기를 제조하고 있는 여러 회사들마다 날로 커지고 있는 시장에서의 우위를 점유하기 위하여

기기의 소형화, 고성능화, 저가격화를 실현시키려는 많은 연구가 행해지고 있으며, 이와 같은 맥락에서 마이크로파 대역의 통신 시스템을 구성하는 중요 요소인 duplexer, 대역통과 필터, 발진기 등에 유전체 공진기를 사용함으로써 기기의 소형화, 고성능화 및 저가격화를 일부 도모할 수 있게 되었다는 것은 이미 널리 알려진 일이다.

한편, 유전체를 마이크로파에 응용하려는 시도가 1939년 R. D. Richtmyer에 의해 처음 시도된 이후, 기기의 소형화를 위해 1960년대에 TiO₂를 사용한 마이크로파 필터가 제작되어 그 가능성을 제시하였으나^[1], TiO₂의 공진주파수의 온도계수(τ_f)가 너무 커서 실제 응용에는 곤란하였다. 따라서 마이크로파 유전체가 실제 통신 기기의 부품들에 응용되기 위해 가져야 되는 재료적 특성은 부품의 소형화를 위한 높은 유전율(ϵ_r)과 보다 높은 효율을 위한 적은 유전손실($\tan \delta$) 그리고 주로 공진기의 재료로 많이 이용되고 있기 때문에 공진주파수의 온도계수(τ_f)가 0 ppm/°C에 가까운 값을 가져야 한다는 것이다.

그러나 일반적으로 유전율이 큰 물질은 Cockbain과 Harrop^[2]이 지적한 대로 공진주파수의 온도계수(τ_f)가 큰 값을 갖는 것으로 알려져 있어 높은 유전율과 적은 유전손실을 갖는 동시에 공진 주파수의 온도계수가 0 ppm/°C인 단일상의 유전체를 개발하는 것은 매우 어렵다. 그러므로 이를 위해 공진주파수의 온도계수가 양(+)인 물질과 음(-)인 물질을 이용하여 새로운 고용체(solid solution)를 형성하거나 혼합상(mixed phase)을 이루게 하는 연구가 활발하게 진행되고 있으며^[3], 근래에는 이차상(secondary phase)을 이용한 연구도 행해지고 있다^[4]. 그러나 혼합하거나 고용체를 형성시킬 때에도 물질의 소결온도나 수축율 등에 차이가 있으면 원하지 않는 유전특성을 얻을 수 있으므로 소결조건이 비슷한 물질을 선택해야 하는 어려움이 있어 실제 재료 개발에 많은 비용과 시간이 소요되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 유전율과 유전손실 특성은 우수하지만 온도 특성이 좋지 않아 이미 보고되어 있지만 실제 활용되지 못하고 있는 여러 유전 재료를 유전체 공진기를 이용한 대역통과 필터에 활용할 수 있는 대역통과 필터의 설계 방법을 제안하였고, 실제 이 방법에 의해 제작된 필터의 온도 안정성을 확인함으로써 유전체 공진기를 이용한 부품 제작시, 보다 다양한 유전

재료의 이용 가능성을 확인하였다. 이 방법에서 대역통과 필터를 구성하는 각각의 유전체 공진기는 유전율의 온도계수(τ_ϵ)가 음(-)인 유전체와 양(+)인 유전체로 나뉘어져 있기 때문에 접합 SIR(Stepped Impedance Resonator) 구조를 갖게 되며, 공진기의 온도 안정성은 이 구조에 의해 이루어진다.

II. 서로 다른 유전체로 채워진 접합 구조의 유전체 SIR

위의 그림 1은 본 연구에서 사용한, 공진기의 내측 반경이 a이고 외측 반경이 b이며 서로 다른 유전율(ϵ_{r1} , ϵ_{r2})을 지닌 유전체로 채워진 접합 SIR의 단면을 나타낸 것이다. 이 접합 SIR은, 공진기의 기하학적인 변형에 의한 동일 유전체로 채워진 SIR^[5,6]과는 달리 서로 다른 유전율을 지닌 유전체의 접합에 의해 SIR 구조가 형성되며, 공진기의 물리적 형태는 UIR(Uniform Impedance Resonator) 처럼 동일한 내경과 외경을 갖고 있다. 한편, 접합 SIR의 개방면에서 들여다 본 입력 어드미턴스 Y_{in} 은 전송선로의 이론^[7]으로부터 식(1)과 같이 표현되며, 식(1)로부터 접합 SIR의 공진조건인 식(2)를 얻을 수 있다.

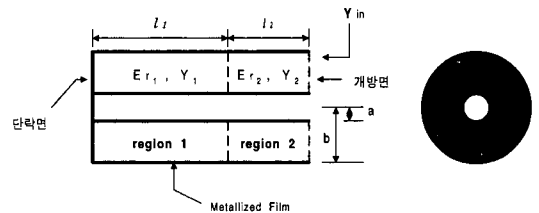


그림 1. 서로 다른 유전체로 채워진 접합 구조의 유전체 SIR

Fig. 1. Two kinds of dielectric-filled SIR.

$$Y_{in} = j Y_2 \frac{Y_2 \tan(\beta_1 l_1) \tan(\beta_2 l_2) - Y_1}{Y_2 \tan(\beta_1 l_1) + Y_1 \tan(\beta_2 l_2)} \quad (1)$$

$$\tan(\beta_1 l_1) \tan(\beta_2 l_2) = \frac{Y_1}{Y_2} = \sqrt{\frac{\epsilon_{r1}}{\epsilon_{r2}}} = K \quad (2)$$

식(1)과 식(2)에서 l_1 과 l_2 는 서로 다른 유전체로 채워진 각 부분의 길이를, ϵ_{r1} 과 ϵ_{r2} 는 각 부분의 유전율을 나타낸 것이다. Y_1 과 Y_2 는 유전율과 공진기의 기하학적인 구조에 의해 결정되는 각 부분의 특성 어드미턴스로 식(3)과 같이 표현되며, β_1 과 β_2 는 각 부분의 전파상수로 식(4)와 같이 표현된다. 또한, 이들

사이의 관계는 식(2)에서 나타낸 어드미턴스 비 (admittance ratio) K 에 의해 규정되며, 동일 유전체로 채워진 SIR의 K 와는 달리 접합 SIR의 K 는 서로 다른 유전율의 비에 의해 결정된다는 것을 알 수 있다.

$$Y_1 = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}}}{60 \ln(\frac{b}{a})}, \quad Y_2 = \frac{\sqrt{\epsilon_{r2}}}{60 \ln(\frac{b}{a})} \quad (3)$$

$$\beta_1 = \frac{\omega_0 \sqrt{\epsilon_{r1}}}{c}, \quad \beta_2 = \frac{\omega_0 \sqrt{\epsilon_{r2}}}{c} \quad (4)$$

(c : light velocity in free space, ω_0 : resonance frequency)

한편, 대역통과 필터를 설계하고자 할 때, 공진기의 susceptance slope parameter가 결정되어야 하는데 위의 접합 구조를 갖는 SIR의 경우 susceptance slope parameter는 그 정의로부터 계산될 수 있으며, 다음과 같이 식(5)로 표현된다.

$$b = \frac{\omega_0}{2} \frac{dB}{d\omega} \Big|_{\omega=\omega_0}$$

$$= \frac{\beta_2 Y_2 (K^2 l_1 + l_2) \tan(\beta_1 l_1) + K(l_1 + l_2) \tan(\beta_2 l_2)}{2 \tan(\beta_1 l_1) + K \tan(\beta_2 l_2)} \quad (5)$$

III. 접합 SIR의 온도 변화 안정 조건

공진기가 온도 변화에 안정하다는 것은 온도가 변화해도 공진기의 공진주파수가 변하지 않는다는 것을 의미한다. 따라서 접합 SIR의 공진주파수가 온도 변화에 따라 변하지 않으려면, 임의의 온도 T_1 와 $T_2(=T_1+\Delta T)$ 에서 접합 SIR은 동일한 공진주파수 f_0 로 공진을 일으켜야 하며, 이것은 T_1 와 T_2 에서 식(2)의 공진조건을 동시에 만족해야 함을 의미한다.

$$\tau_f = \frac{1}{f_0} \frac{\partial f_0}{\partial T} = -\left(\frac{1}{2} \tau_\epsilon + \alpha_L\right) \quad (6)$$

$$\tau_\epsilon = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{\partial \epsilon_r}{\partial T} \quad (7)$$

한편, 공진주파수의 온도계수 (τ_f)는 유전율의 온도계수 (τ_ϵ)와 유전체의 선형 열팽창 계수 (α_L)에 의해 결정된다^[8]는 것을 식(6)을 통해 알 수 있다. 따라서 접합 SIR의 공진 조건을 나타낸 식(2)에서 온도 변화에 따라 변화되는 요소는 전파상수 β 에 포함되어 있는 유전율 (ϵ_r)과 유전체의 각 부분에 해당되는 길이 l

에 있음을 알 수 있다. 그러나 대부분의 마이크로파 유전체의 경우, 선형 열팽창 계수 α_L 은 10 ppm/°C 내외로 매우 작아^[9] 온도 변화에 따른 공진기의 길이 변화는 거의 없다고 가정하면, 이제 유전율의 온도 변화에 따른 영향만 고려하면 된다. 따라서 임의의 온도 T_1 에서 ϵ_{r1} 과 ϵ_{r2} 를 갖는 접합 SIR의 공진주파수가 f_0 이기 위한 공진조건은 식(2)와 식(4)로부터 식(8)과 같이 표현되며, 임의의 온도 $T_2(=T_1+\Delta T)$ 에서 식(9)와 같이 표현된다.

$$\tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_{r1}}}{c} l_1\right) \tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_{r2}}}{c} l_2\right) = \sqrt{\frac{\epsilon_{r1}}{\epsilon_{r2}}} \quad (8)$$

$$\tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_{r1} + \Delta \epsilon_{r1}}}{c} l_1\right) \tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_{r2} + \Delta \epsilon_{r2}}}{c} l_2\right)$$

$$= \sqrt{\frac{\epsilon_{r1} + \Delta \epsilon_{r1}}{\epsilon_{r2} + \Delta \epsilon_{r2}}} \quad (9)$$

그리고 식(8)과 식(9)를 연립하여 풀면 식(10)과 같은 온도 변화에 안정하기 위한 접합 SIR의 길이 조건을 얻을 수 있다.

$$\frac{\tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{\frac{\epsilon_{r1}}{\epsilon_{r2}}}}{\tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_{r2}}}{c} l_2\right)}\right)}{\tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{\frac{\epsilon_{r1} + \Delta \epsilon_{r1}}{\epsilon_{r2} + \Delta \epsilon_{r2}}}}{\tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_{r2} + \Delta \epsilon_{r2}}}{c} l_2\right)}\right)} = \sqrt{\frac{\epsilon_{r1}}{\epsilon_{r1} + \Delta \epsilon_{r1}}} \quad (10)$$

식(10)은 설계하고자 하는 공진기의 공진주파수를 결정하고, 접합 SIR의 각 부분의 유전체에 대하여 유전율의 온도계수가 알려지면, 유전율의 온도계수 τ_ϵ 은 식(7)과 같이 정의되므로, 식(10)을 만족하는 접합 SIR의 각 부분의 길이 l_1 과 l_2 를 얻을 수 있음을 의미한다.

IV. 접합 SIR 대역통과 필터의 설계 및 시뮬레이션

접합 SIR을 이용하여 온도 변화에 안정한 대역통과 필터를 설계하기 위하여 설계 사양을 표 1과 같이 선택하였으며, 그림 2는 커패시턴스로 결합된 접합 SIR을 이용한 3단 대역통과 필터의 등가회로를 나타낸 것이다.

한편, 접합 SIR의 서로 다른 유전체로 된 부분의 유전재료는 상반된 유전율의 온도특성을 지닌 Mg

TiO₃ 와 Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})을 선택하였으며, 이들 유전재료의 유전특성을 표 2 에 나타내었다. 표 3은 온도 변화에 따라 변화하는 값들을 나타낸 것으로 표 2의 값들을 식(7)과 식(2) 및 식(4)에 대입하여 얻은 것이다.

표 1. 접합 SIR 대역통과 필터의 설계 사양
Table 1. Design specifications of a bandpass filter using SIR's.

중심 주파수	915 MHz
공진기의 수	3 개
필터 응답	Chebyshev Type
통과대역 ripple	0.02 dB
통과대역 폭	20 MHz

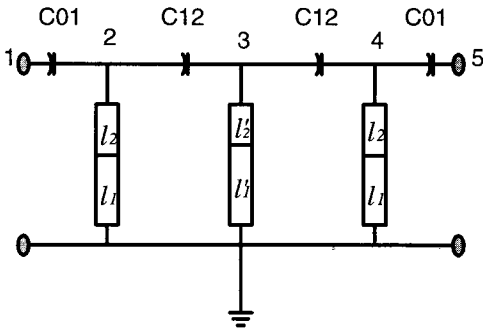


그림 2. 접합 SIR을 이용한 3단 대역통과 필터의 등가 회로도

Fig. 2. Equivalent circuit of a bandpass filter using SIR's.

표 2. 접합 SIR 유전체의 유전 특성

Table 2. Dielectric properties of the ceramics used in SIR's.

l_1, l'_1 영역	Ba(Zn _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ (BZN)	$\epsilon_{r1} = 40$	$\tau_{\epsilon 1} = -77$ (ppm/°C) ^[10]
l_2, l'_2 영역	MgTiO ₃ (MT)	$\epsilon_{r2} = 17$	$\tau_{\epsilon 2} = +99$ (ppm/°C) ^[11]

표 3. 온도 변화에 따른 ϵ_r, β 및 K의 변화

Table 3. ϵ_r, β , and K at various temperature.

	25 °C	75 °C	125 °C
ϵ_{r1} (BZN)	40	39.846	39.692
ϵ_{r2} (MT)	17	17.084	17.168
β_1 (BZN)	121.283 (rad/m)	121.049 (rad/m)	120.815 (rad/m)
β_2 (MT)	79.067 (rad/m)	79.262 (rad/m)	79.457 (rad/m)
$K = (\epsilon_{r1} / \epsilon_{r2})^{1/2}$	1.534	1.527	1.521

표 4. 접합 SIR을 이용한 3단 대역통과 필터의 최종 설계값

Table 4. Designed values of a bandpass filter using SIR's.

l_1 (BZN)	9.5959 mm
l'_1 (BZN)	9.8320 mm
l_2 (MT)	6.0934 mm
l'_2 (MT)	6.2433 mm
C01	1.483752 pF
C12	0.446766 pF

표 4에서 l_1 과 l_2 및 l'_1 와 l'_2 는 표 3의 값을 식(10)에 넣어 수치해석을 통해 얻은 온도 변화에 안정하기 위한 SIR 각 부분의 길이값이며, C01과 C12는 J-인버터를 이용한 대역통과 필터 설계 이론^[12]으로부터 접합 SIR의 susceptance slope parameter와 필터 설계식에 따라 계산하여 얻은 결합 커패시턴스 값을 각각 나타낸 것이다.

그림 3은 표 4의 값들을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 얻은 접합 SIR을 이용한 대역통과 필터의 온도 변화에 따른 주파수 응답 특성을 나타낸 것이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 접합 SIR 대역통과 필터의 주파수 응답 특성이 온도 변화에 따라 거의 변하지 않고 있음을 알 수 있다.

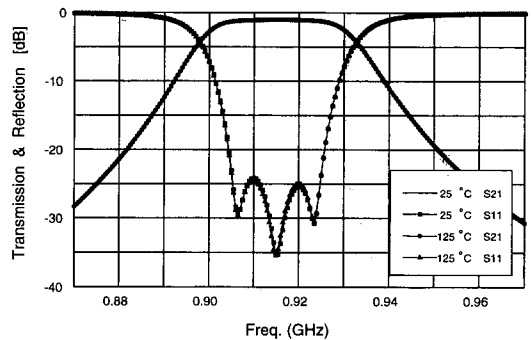


그림 3. BZN-MgTiO₃ 접합 SIR로 구성된 3단 대역통과 필터의 온도 변화에 따른 주파수 응답 (시뮬레이션)

Fig. 3. Calculated frequency responses of a bandpass filter using BZN - MgTiO₃ SIR's at various temperature.

그림 4는 τ_{ϵ} 이 -77 ppm/°C 인 Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})으로만 이루어진 UIR(Uniform Impedance Resonator)을 이용하여 설계한 3단 대역통과 필터의 온도 변

화에 따른 주파수 응답 특성을 나타낸 것으로, 유전체의 선형 열팽창 계수 α_L 은 무시하고, 온도 변화에 따른 유전율의 변화율만을 고려하여 동일한 설계 사양에 따라 같은 주파수 대역에서 시뮬레이션 한 것이다. 이 대역통과 필터는 그림 3의 접합 SIR을 이용한 대역통과 필터와 비교해 볼 때, 온도 상승에 따라 통과대역이 위쪽으로 약 3MHz(통과대역 폭의 15%) 이동하고 있음을 확인할 수 있다.

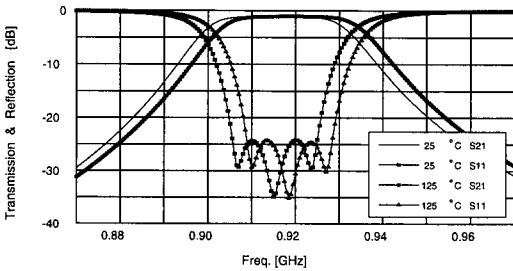


그림 4. Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ UIR로 구성된 3단 대역통과 필터의 유전율변화 (ϵ_r)만을 고려한 온도 변화에 따른 주파수 응답 (시뮬레이션)

Fig. 4. Calculated frequency responses of a bandpass filter using Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ UIR's with the consideration of only ϵ_r at various temperature.

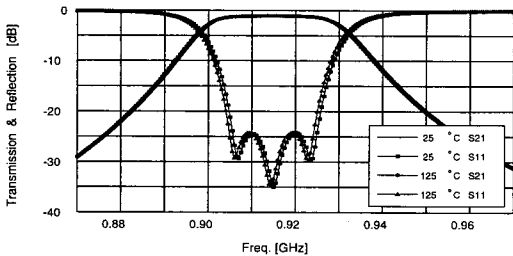


그림 5. Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ UIR로 구성된 3단 대역통과 필터의 선형 열팽창 계수(α_L)만을 고려한 온도 변화에 따른 주파수 응답 (시뮬레이션)

Fig. 5. Calculated frequency responses of a bandpass filter using Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ UIR's with the consideration of only α_L at various temperature.

그림 5는 온도 변화에 따른 공진기의 길이 변화가 유전체 대역통과 필터의 특성에 얼마나 영향을 미치는지 보여주는 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로 유전율의 변화율만을 고려한 그림 4와 비교해 볼 때 그 영향은 매우 미미하다고 할 수 있다. 그림 5에서 대역통과 필터는 Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})으로만 이루어진 UIR로 구

성되어 있으며, 동일한 설계 조건하에서 온도 변화에 따른 선형 열팽창 계수($\alpha_L=11.7$ ppm/°C^[10])만이 고려되었다. 따라서 앞에서 설정한 가정, 즉 유전체의 선형 열팽창 계수(α_L)는 유전율의 온도계수(τ_ϵ)에 비해 매우 작아 접합 SIR 설계시 무시할 수 있다는 가정은 타당하다고 여겨진다.

V. 실험결과

먼저 유전체 공진기를 제작하기 위해, 순도 99% 이상의 BaCO₃, ZnO 및 Nb₂O₅ 고순도 시약을 사용하여 통상적인 세라믹 분말 제조 공정에 따라 Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3}) 분말을 합성하였고, MgTiO₃ 분말은 순도 99.9%의 시약이 사용되었다. 합성된 Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3}) 분말과 MgTiO₃ 분말은 원통형 시편과 UIR 형태로 각각 등압 성형된 후, Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})은 1400 °C에서, MgTiO₃는 1380 °C에서 각각 2시간동안 유지하며 소결되었다. 특히 성형시 사용되는 금형은 두 유전체의 소결시 수축율이 다르므로 소결후 두 유전체가 같은 내경과 외경을 갖을 수 있도록 수축율을 고려하여 설계 및 제작되어야 한다.

한편, 소결된 원통형 시편들은 B. W. Hakki와 Coleman^[13]에 의해 제시되고 Courtney에 의해 수정 보완^[11]된 dielectric rod resonator 측정방법에 의해 유전율과 Q·f 값 및 온도 챔버를 이용하여 공진주파수의 온도계수와 유전율의 온도계수가 측정되었고, 측정값을 표 5에 나타내었다. 측정된 값들은 이미 보고되어 있는 값들과 거의 일치하였으며^[10,11], 이를 토대로 앞에서 설정한 설계사양과 설계된 값들에 따라 접합 SIR을 이용한 대역통과 필터를 제작하였다.

표 5. 접합 SIR 유전체의 유전 특성 측정값
Table 5. Measured dielectric properties of the ceramics used in SIR's.

Ba(Zn _{1/3} Nb _{2/3})O ₃	$\epsilon_{r1} = 40.3$	$\tau_{\epsilon 1} = -79$ (ppm/°C)	Q·f = 71,000 (GHz)
MgTiO ₃	$\epsilon_{r2} = 16.9$	$\tau_{\epsilon 2} = +100$ (ppm/°C)	Q·f = 132,000 (GHz)

제작된 접합 SIR을 이용한 3단 대역통과 필터의 온도 변화에 따른 주파수 응답 특성을 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 Marker 3은 중심주파수 915 MHz를 가리키고 Marker 1과 2는 설계한 통과대역의 양

가장자리 지점인 905 MHz와 925 MHz를 가리키고 있다. 그림 6에서 볼 수 있듯이, 25℃일 때 S21은 Marker 1 지점에서 -2.5972 dB, Marker 2 지점에서 -2.4926 dB 그리고 Marker 3 지점에서 -2.1857 dB를 가리키고 있고 S11은 Marker 1 지점에서 -30.63 dB, Marker 2 지점에서 -26.595 dB 그리고 Marker 3 지점에서 -24.308 dB를 가리키고 있다. 한편, 125℃에서 S21은 Marker 1 지점에서 -2.6305 dB, Marker 2 지점에서 -2.7002 dB 그리고 Marker 3 지점에서 -2.2902 dB를 가리키고 있고 S11은 Marker 1 지점에서 -26.001 dB, Marker 2 지점에서 -25.249 dB 그리고 Marker 3 지점에서 -24.05 dB를 가리키고 있다. 따라서 각 지점에서의 100℃ 온도 상승에 따른 S21의 변화량은 모두 약 0.2 dB 이내이고, S11의 변화량은 Marker 1 지점에서 4.63 dB, Marker 2와 3 지점에서는 1.5 dB 이내를 나타내어 온도 변화에 안정한 특성을 보여주고 있다.

MHz를 갖도록 제작되었다. 그림 7에서 Marker 3은 중심주파수 930 MHz를 가리키고 Marker 1과 2는 설계한 통과대역의 양 가장자리 지점인 920 MHz와 940 MHz를 가리키고 있다.

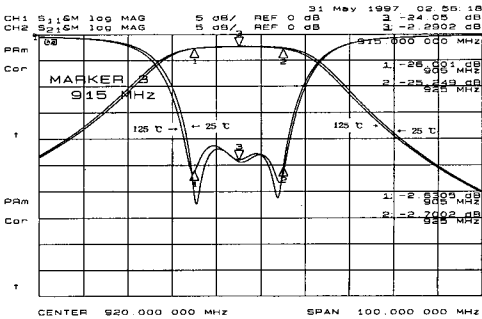


그림 6. BZN-MT 접합 SIR로 제작한 3단 대역통과 필터의 온도 변화에 따른 주파수 응답 특성 (측정값)

Fig. 6. Measured frequency responses of a bandpass filter using BZN-MT SIR's at various temperature.

한편, 그림 6에서 100℃ 온도 상승에 따라 통과대역이 아래쪽 주파수 대역으로 약 0.5 MHz 이동한 것을 볼 수 있는데 이는 접합 SIR 대역통과 필터 설계시 유전체의 선형 열팽창 계수를 고려치 않았기 때문인 것으로 보여진다.

그림 7은 접합 SIR로 제작된 3단 대역통과 필터의 온도 특성과 비교해 보기 위하여 Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ UIR로 제작한 3단 대역통과 필터의 온도 변화에 따른 주파수 응답 특성을 나타낸 것이다. 이 UIR 대역통과 필터는 중심주파수 930 MHz에서 통과대역 폭 20

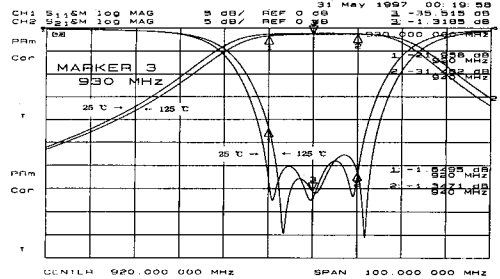


그림 7. Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ UIR로 제작한 3단 대역통과 필터의 온도 변화에 따른 주파수 응답 특성 (측정값)

Fig. 7. Measured frequency responses of a bandpass filter using Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ UIR's at various temperature.

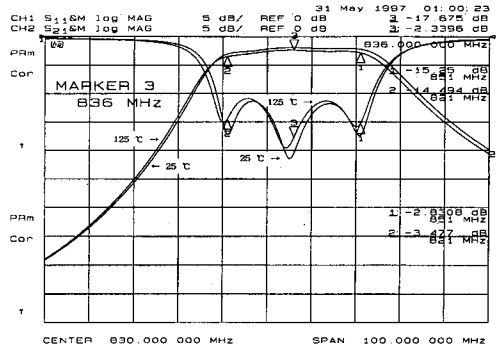


그림 8. 일본 Murata사의 유전체 3단 대역통과 필터의 온도 변화에 따른 주파수 응답 특성

Fig. 8. Temperature properties of a bandpass filter manufactured by the Murata company.

그림 7에서 볼 수 있듯이, 25℃일 때 S21은 Marker 1과 2 및 3 지점에서 -1.3 dB 이상을 가리키고 있고 S11은 -32 dB 이하를 가리키고 있다. 그러나 125℃로 온도가 상승함에 따라 통과대역이 위쪽 주파수 대역으로 이동하여 Marker 2와 3 지점에서 S21은 0.1 dB 이내의 미소 범위에서 감소하고 S11은 1 dB 정도 증가한 -31 dB 이하를 나타내지만, Marker 1 지점에서는 S21이 0.3 dB 감소했고 S11은 -21.958 dB로 25℃에서의 결과보다 10 dB 정도 증가했음을 알 수 있다. 이는 Marker 2와 3 지점에

서의 온도 상승에 따른 변화보다 Marker 1 지점에서의 변화가 매우 크다는 것을 나타내고 있으며, 통과대역이 위쪽 주파수 대역으로 이동하고 있음을 의미한다. 전체적으로 100°C 온도 상승에 따라 통과대역은 약 2.7 MHz (통과대역 폭의 13.5 %) 위쪽으로 이동하였으며, 온도 상승에 따라 통과대역이 이동하고 있는 경향은 앞절에서 살펴본 시뮬레이션 결과(그림 4 참조)와 일치하고 있다. 그러나 실제 실험 결과(그림 7 참조)는 그림 4의 유전율의 변화에 의한 것과 그림 5의 선형 열팽창에 의한 요소가 함께 나타나므로 시뮬레이션에서 보여진 온도 변화에 따른 통과대역의 이동 폭(그림 4 참조)과 약 0.3 MHz 차이를 보여주고 있다.

그림 8은 현재 상용화 되어 있는 일본 Mureta사의 유전체 3단 대역통과 필터의 온도 특성을 측정함으로써 온도 변화에 매우 안정한 특성을 보이고 있으며, 이와 비교해 볼 때, 그림 6의 접합 SIR로 제작된 대역통과 필터 또한 충분히 상업적으로 응용 가능하다는 것을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 연구에서는 온도 특성이 좋지 않아 실제 유전체 공진기를 이용한 부품 제작에 사용되지 못하고 있는 마이크로파 유전체의 활용 측면에서, 유전율의 온도계수(τ_ϵ)가 양(+)인 물질과 음(-)인 물질을 각각 독립적으로 이용하여 공진주파수가 온도 변화에 안정한 특성을 갖는 접합 SIR을 설계하여 궁극적으로 온도 변화에 안정적인 대역통과 필터를 제작하는 방법이 제안되었다.

이 유전체 대역통과 필터는 접합 SIR로 구성되어 있으며, 필터의 온도 안정성은 유전체의 선형 열팽창 계수(α_L)가 매우 작아 무시할 수 있을 경우, 접합 SIR의 서로 다른 유전체가 차지하는 각각의 길이에 의해 결정되고, 이 필터의 온도 안정성이 시뮬레이션과 실제 대역통과 필터의 제작을 통해 확인되었다. 즉, 유전율의 온도계수(τ_ϵ)가 -77 ppm/°C인 Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ 으로부터 채워진 UIR 대역통과 필터의 경우 온도 상승에 따라 통과대역이 위쪽 대역으로 상당부분 이동하지만, Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ ($\tau_\epsilon = -77$ ppm/°C) 과 MgTiO₃ ($\tau_\epsilon = +99$ ppm/°C)로 접합된 SIR 대역통과 필터의 경우 온도 변화에 따라 거의 안정적인 주파수

응답 특성을 보였다. 이는 현재 상용화 되어 있는 유전체 대역통과 필터의 온도 특성과 비교해 볼 때, 접합 SIR로 제작된 대역통과 필터가 충분히 응용 가능하다는 것을 의미한다. 따라서 응용된다면 유전체 공진기를 이용한 부품 제작시, 요구에 적합한 다양한 유전재료의 선택이 가능해지며, 특히 80 이상의 고유전율을 지니고 있으면서도 온도 특성이 좋지 않아 지금까지 활용되지 못했던 여러 유전재료의 활용으로 부품의 소형화에도 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] S. B. Cohn, "Microwave Bandpass Filters Containing High - Q Dielectric Resonators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-16, no. 4, pp. 218~227, April 1968.
- [2] A. G. Cokbain and P. J. Harrop, "The temperature Coefficient of Capacitance", *Brit. J. Appl. Phys. (J. Phys. D)*, Ser. 2, vol. 1, pp. 1109~1115, 1968.
- [3] M. Onoda, J. Kuwata, K. Kaneta, K. Toyama and S. Nomura, "Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-Sr(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ Solid Solution Ceramics with Temperature-Stable High Dielectric Constant and Low Microwave Loss", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 21, no. 12, pp. 1707~1710, 1982.
- [4] M. Takata and K. Kageyama, "Microwave Characteristics of A(B³⁺_{1/2}B⁵⁺_{1/2})O₃ Ceramics [A=Ba,Ca,Sr; B³⁺=La, Nd, Sm, Yb; B⁵⁺=Nb,Ta]", *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 72, no. 10, pp. 1955~1959, 1989.
- [5] Morikazu Sagawa, Mitsuo Makimoto and Sadahiko Yamashita, "A Design Method of Bandpass Filters Using Dielectric-Filled Coaxial Resonators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-33, no. 2, pp. 152~157, 1985.
- [6] Morikazu Sagawa, Mitsuo Makimoto and Sadahiko Yamasita, "Geometrical Structures and Fundamental Characteristics of Microwave Stepped Impedance Resonators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 45, no. 7, pp. 1078~

1085, 1997.

[7] Peter A. Rizzi, *Microwave Engineering Passive Circuits*, Prentice-Hall Inc., pp. 57~97, 1988.

[8] A. J. Moulson and J. M. Herbert, *Electroceramics : Materials · Properties · Applications*, Chapman & Hall, pp. 233~241, 1990.

[9] Junichi Takahashi, Keisuke Kageyama and Takashi Hayashi, "Dielectric Properties of Double-Oxide Ceramics in the System $\text{Ln}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ (Ln=La, Nd and Sm)", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 30, no. 9B, pp. 2354~2358, 1991.

[10] Shoichiro Nomura, Keiichiro Toyama and Kumiko Kaneta, "Dielectric Properties of Ceramics in the $\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-Sr}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ Solid Solutions", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 22, Supplement 22-2, pp. 83~86, 1983.

[11] W. E. Courtney, "Analysis and Evaluation of a Method of Measuring the Complex Permittivity and Permeability of Microwave Insulators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-18, no. 8, pp 476~485, 1970.

[12] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks and Coupling Structures*, New York : McGraw Hill, pp. 421~519, 1964.

[13] B. W. Hakki and P. D. Coleman, "A Dielectric Resonator Method of Measuring Inductive Capacities in the Millimeter Range", *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-8, pp 402~410, July 1960.

저 자 소 개

安 哲(正會員) 第 33卷 A編 第 4號 參照
현재 서강대학교 전자공학과 교수

金 垞 哲(正會員)
1991년 2월 서강대학교 물리학과 졸업(이학사). 1993년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993년 2월 ~ 현재 서강대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 초고주파 유전체 및 수동소자 회로 설계



金 德 煥(正會員)
1996년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1998년 2월 ~ 현재 서강대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 초고주파용 세라믹 재료 및 유전체 필터 설계



吳 昌 憲(正會員)
1996년 2월 서강대학교 물리학과 졸업(이학사). 1998년 2월 ~ 현재 서강대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 초고주파용 세라믹 재료 및 유전체 필터 설계

沈 和 燮(正會員)
1987년 8월 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1989년 8월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993년 8월 ~ 현재 서강대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 Electroceramics, Dielectric Measurement



林 相 圭(正會員)
1995년 2월 서강대학교 물리학과 졸업(이학사). 1997년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1998년 2월 ~ 현재 서강대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 초고주파용 세라믹 재료 및 유

전체 필터 설계



河 宗 秀(正會員)
1996년 2월 서강대학교 물리학과 졸업(이학사). 1998년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 초고주파용 세라믹 재료 및 유전체 필터 설계