

논문 18-7-5

$\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3$ 세라믹스로 보상된 AT-cut 수정 공진자의 주파수 온도특성

Frequency-temperature Characteristics of AT-cut Crystal Resonator Compensated by $\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3$ Ceramics

오동언^{1,a}, 문경현¹, 류주현²
(Dong-On Oh^{1,a}, Keyong-Hyeon Mun¹, and Ju-Hyun Yoo²)

Abstract

In this paper, simple AT-cut crystal resonator utilizing $\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3$ relaxator ceramics as load capacitor were designed and their frequency-temperature characteristics were investigated. In order to modify temperature dependence of dielectric constant, $\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3$ ceramics were manufactured with the variations in Sr substitution. At the composition with 6 mol% Sr substitution as load capacitor, frequency-temperature characteristics of AT-cut crystal resonators with the series load capacitance were similarly varied as those of cut orientation variation, and also compensated.

Key Words : AT-cut crystal resonator, Temperature compensation

1. 서론

최근, 디지털 기술의 진보와 확산에 따라 IC, 메모리 카드 등과 같은 전자 부품의 수요가 급증하고 있으며, IC나 네트워크 채널 등의 clock source로 사용되는 BAW(bulk acoustic wave) 공진자와 오실레이터 또한 그 수요가 점차 증대되고 있다. 벌크파 공진자 및 오실레이터 중, 수정을 이용한 공진자 및 오실레이터는 높은 품질계수와 안정도, 상대적 저가의 가격 등의 이유로 널리 사용되고 있다. 수정 공진자와 오실레이터의 활용에 있어서 보다 높은 주파수와 고 안정도를 점차 요구하고 있는 실정이다. 이러한 요구사항은 사진식각법과 에칭 기술 등을 이용한 고주파 공진자 및 높은 안정도를 가지는 TCXO의 개발로 충족되고 있다[1-3].

20~30 °C 사이에서 변환점이 존재하는 3차함수 주파수 온도 특성을 가지는 두께 전단 진동모드 AT-cut 수정 공진자는 낮은 공진주파수의 온도계수로 널리 사용되어지고 있다[4]. AT-cut 수정 공진자의 주파수 온도 특성은 우선적으로 절단각에 의존하며, 기판의 길이와 넓이 비, 전극의 크기와 두께, 두께전단모드와 다른 모드의 coupling 등에 영향을 받는다[5,6]. 특정 작동 온도구간에서의 사용을 위해 AT-cut 수정의 절단각을 조절하는 것으로 최소의 주파수 편차를 가지는 공진자 설계가 가능하다. 그러나 대량 생산의 경우 절단방향, 전극, 기판 등의 비 균일성 발생으로 여전히 상대적으로 높은 주파수 온도 편차를 가지게 된다. 보다 높은 주파수 온도 안정도가 요구되는 경우 수정 공진자, 온도 센서, 보상 회로로 구성된 TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator)가 사용되며, 온도에 따른 보상 네트워크의 총 부하 (Load Capacitance)의 변화로 수정 공진자의 공진 주파수를 이동시키는 방법으로 주파수 온도 특성이 보상된다[7].

본 연구에서는 -20에서 70 °C사이의 온도범위에서 온도가 증가함에 따라서 유전상수가 증가하는

1. (주)씨니전자 기업부설 연구소
(충북 충주시 목행동 457)
2. 세명대학교 전기공학과
a. Corresponding Author : piezo77@hotmail.com
접수일자 : 2005. 3. 28
1차 심사 : 2005. 4. 26
2차 심사 : 2005. 5. 19
심사완료 : 2005. 6. 3

특성을 보이는 $\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3$ (abbreviated as BNKT) 세라믹스의 유전상수 온도 특성을 이용하여 AT-cut 수정 공진자의 공진 주파수를 이동시키는 방법으로 수정 공진자의 주파수 온도 특성을 보상하려하였다. 부하 캐패시터가 연결된 AT-cut 수정 공진자에서 부하 용량값이 증가함에 따라서 공진주파수가 무부하 공진주파수로 떨어지는 특성을 이용하려고 $-20\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$ 온도에서 정(+)의 공진주파수 온도 계수를 가지는 수정 공진자의 의도적으로 사용되었으며, 수정 공진자 주파수 온도 특성을 보상시키려 하였다. BNKT 세라믹스의 유전상수 온도특성을 개량시키기 위해, 이전 연구를 기초로 하여[8], $\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3$ 세라믹에 Sr 첨가에 따라 제조 하였다. 특정 동작 온도에서 수정 공진자의 주파수 온도특성 보상에 적합한 유전상수 온도 특성을 보이는 세라믹스를 $1\times 1\text{ mm}$ 크기의 0.68 mm 의 두께를 가지는 20pF 단판형 캐패시터로 제조하였으며, 이 세라믹스를 부하 캐패시터로 이용하여 13 MHz AT-cut 수정 공진자의 주파수 온도 특성을 조사하였다.

2. 실험

2.1 세라믹 캐패시터 제작

BNKT 세라믹스를 보통 화합물 혼합법으로 제조 하였다. 이전 연구에 추가로 Sr 치환량을 증가시켰으며, 사용된 조성은 다음과 같다.

$(1-x)\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3 + x\text{SrTiO}_3 + 0.3\text{wt}\%\text{Nb}_2\text{O}_5$ (단, $x=0, 0.06, 0.1, 0.16$)

성형된 각각의 시편을 $1,150\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 2시간 소결하였으며 1 mm 의 두께로 연마 한 후 진극처리 되었다. 유전상수의 온도특성은 -20 에서 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 의 범위에서 LCR meter(Ando AG-4304)를 사용하여 측정하였다. 수정 공진자의 동작온도 구간에서 정(+)의 주파수 온도계수를 가지는 AT-cut 수정 공진자의 온도 특성 보상에 적당한 유전상수 특성을 보이는 $6\text{ mol}\%$ Sr이 치환된 시편을 $1\times 1\text{ mm}$ 크기의 0.68 mm 두께를 가지는 20pF 단판형으로 제조하였다.

2.2 AT-cut 수정 공진자

윤량가공(beveling), 윤곽가공(countering), 에칭(etching) 등과 같은 일반적인 수정 공진자 제조 공정을 사용하여 $35\text{ }^\circ 8' 15''$ 을 절단 각도를 가지는 13 MHz AT-cut 공진자를 UM(ultra-miniature)

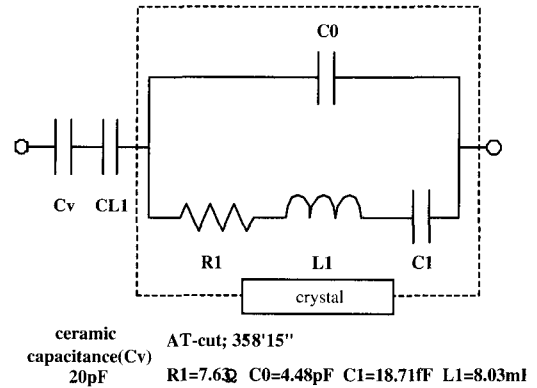


그림 1. 수정 공진자의 등가회로.

Fig. 1. Equivalent circuit of crystal resonator.

type로 제조 하였다. 20pF 의 용량을 가지는 단판형으로 가공된 $6\text{ mol}\%$ Sr 치환된 세라믹 캐패시터 (C_v)를 수정 진동자와 직렬로 연결하였으며, 일반적인 칩 캐패시터($CL1$)를 C_v 와 직렬이 되도록 삽입하였다. 온도 변화에 의한 BNKT 세라믹스의 용량값 변화로 발생된 주파수 변화를 식 (1)을 사용하여 각 온도에서 구하였으며, 제작된 AT-cut 수정 공진자의 고유의 주파수 특성과 비교하여 Sr $6\text{ mol}\%$ 치환된 BNKT 세라믹스를 부하 캐패시터로 선정하였다.

$$f_p = f_0 \left(1 - \frac{C_1}{2(C_0 + C_L)} \right) \quad (1)$$

(f_p ; load capacitance 연결시 공진 주파수)

(f_0 ; 무 부하시 공진 주파수)

그림 1에 사용된 13 MHz 수정 공진자의 등가회로와 파라미터 값을 보였다. 수정 공진자 특성 검사기(S&A, 250A)를 사용하여 파라미터값을 측정하였으며, 수정 공진자의 주파수 온도 특성은 수정 공진자 온도검사 시스템(S&A, 2800A)을 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 $-20\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$ 범위에서 Sr 치환에 따른 BNKT 세라믹스의 유전상수의 온도의존성을 보이고 있다. Sr 치환량이 증가함에 따라, 유전상수의 온도 의존성 곡선은 위로 이동하는 경향을 보였다.

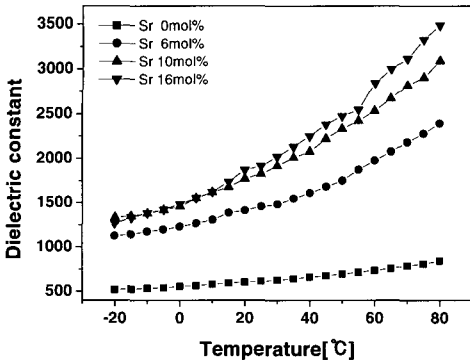


그림 2. Sr 치환에 따른 유전상수의 온도 의존성.
Fig. 2. Temperature dependence of dielectric constant of BNKT ceramics with Sr substitution.

표 1. 6 mol% Sr 치환된 BNKT 세라믹스의 물성.

Table 1. Physical properties of BNKT ceramics substituted with 6 mol% Sr.

Dielectric constant	ϵ_{33}^T/ϵ	1151
Density	$\rho[g/cm^3]$	5.52
Curie Temperature	$T_c[^\circ C]$	285
Grain size	μm	1.14

표 1에 6 mol% Sr 치환된 BNKT 세라믹스의 물성 보였다. 본 연구에서의 세라믹 특성의 주 고려 사항은 수정 공진자의 동작 온도 구간에서의 유전상수의 온도 의존성이다. Sr 치환에 따른 BNKT 세라믹스의 물리적, 미세 구조적 특성은 이전 연구에서 논의 되었다[8].

그림 3은 그림 2에서 얻어진 6 mol% Sr이 치환된 BNKT 유전상수의 온도 의존성 데이터를 이용하여 20pF로 가공하였을 경우 CL1을 2pF로 하였을 때에 식 1을 사용하여 각 온도에서 얻어진 값이다. 6 mol% Sr이 치환된 BNKT 세라믹스의 온도가 증가함에 따라서 증가하는 유전상수 온도 특성은 AT-cut 수정 공진자의 주파수를 낮아지게 하는 보상 곡선을 형성하며, 이 보상곡선과 AT-cut 수정 공진자의 고유 주파수 온도 특성의 합으로 보상된 주파수 온도 특성이 얻어졌다. 6

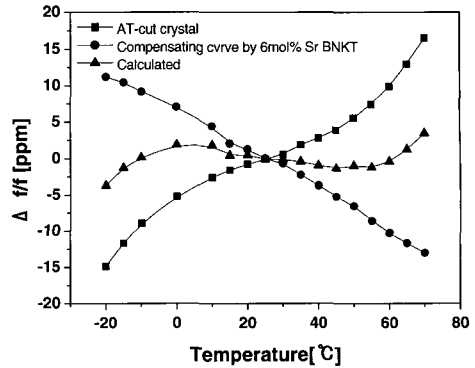


그림 3. 6 mol% Sr 치환된 BNKT로 계산된 AT-cut 공진자의 주파수 온도 특성.

Fig. 3. Calculated frequency-temperature characteristics of AT-cut resonator with BNKT ceramics substituted with 6 mol% Sr.

mol% Sr 치환 이외의 Sr이 치환된 BNKT 세라믹스는 그림 3과 같은 보상 곡선 계산에서 높은 주파수 편차를 보여 6 mol% Sr 치환된 BNKT 세라믹스를 부하 캐패시터로 선정하였다.

그림 1에서 보인바와 같이 AT-cut 수정 공진자, BNKT 세라믹스(Cv), 칩 캐패시터(CL1)로 연결된 수정 공진자의 CL1 변화에 따른 주파수 온도 특성을 그림 5에 보였다. 여기서 BNKT 세라믹스는 일반적인 수정 발진회로의 부정저항(negative resistance)을 고려하여 20pF로 제작하였다[9]. 그림에서 볼 수 있듯이, 의도적으로 제작된 35° 8' 15" 을 절단 각도를 가지는 13 MHz AT-cut 공진자의 부하가 없을 때 주파수 온도 특성은 Cv를 삽입하였을 경우 직렬 캐패시터 CL1에 따라 크게 변화하였다. 직렬 캐패시터 CL1을 변화시키기에 따라서 pulling sensitivity(단위 pF당 주파수 변화 [ppm/pF])가 변하기 때문에 온도에 따라 유전상수가 변하는 Cv에 의해 보상된 수정 진동자의 주파수 온도 특성은 직렬 캐패시터 CL1이 증가함에 따라 변화하였다. CL1이 8pF의 경우 높은 pulling sensitivity로 인해 AT-cut 수정 공진자 고유의 주파수 온도 특성이 그림 3에 보인 Cv에 의한 보상 곡선 쪽으로 주파수 곡선으로 변화하였다.

그림 3에서 CL1이 2pF일 때 얻어진 적정 주파수 온도 곡선이 그림 5에서 5~6pF에서 보인 것은 IC내부에 포함된 용량값과 회로 외부의 용량값에 의한 영향 때문이다. 그림 4는 Bechmann 식으로 얻어진 일반적인 AT-cut 수정 공진자의 절단 각

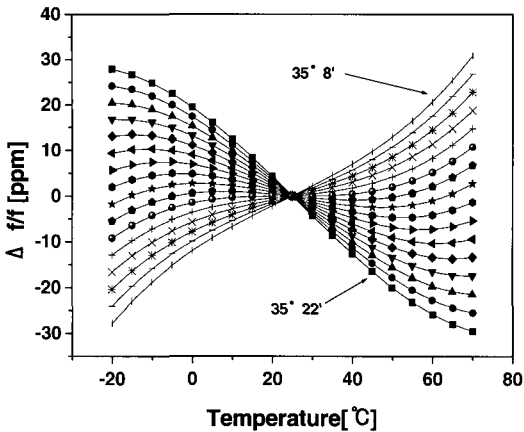


그림 4. 절단각도 변화에 따른 AT-cut 수정 공진자의 주파수 온도 특성.

Fig. 4. Frequency-temperature characteristics of AT-cut crystal resonator according to the cut orientation.

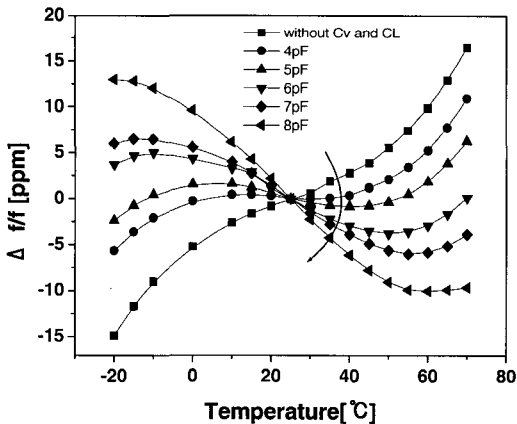


그림 5. CL1 변화에 따른 수정공진자의 주파수 온도 특성.

Fig. 5. Frequency-temperature characteristics of crystal resonators with the variation in CL1.

도 변화에 따른 그림이다. 그림 5에서 보인 것처럼 본 시스템에서 직렬 캐패시터의 용량 값을 변화시킴으로써 AT-cut 수정 공진자의 절단 방향을 바꾸는 것과 같은 효과를 보였다. 그림 3에서의 얻어진 보상곡선과 그림 5에서의 CL이 5와 6pF에서 얻어진 적정 보상곡선에서 -10 °C 이하와 60 °C 이

상에서는 충분하지 않은 pulling sensitivity로 인하여 충분한 보상이 이루어지지 않았는데 이러한 현상은 써미스터와 일반 칩 캐패시터로 구성된 일반적인 회로 보상 방법에서도 나타나는 현상이다. 보다 충분한 보상을 위해 BNKT 세라믹의 유전상수의 온도 특성을 개선하여 적용하거나 다른 유전체를 사용하는 것으로 보상정도를 향상 시킬 수 있을 것이다. 일반적으로 수정 공진자가 IC 등의 clock source로 사용 시 발진 IC, 부하 캐패시터 등으로 구성된 간단한 발진회로를 구성하게 되는데, 본 기술을 적용, 활용시 안정도 향상에 유용할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 BNKT 세라믹스를 부하 캐패시터로 사용한 AT-cut 수정 공진자를 고안하였으며, 주파수 온도 특성과 응용 가능성을 조사하였다. 이 시스템에서 AT-cut 수정 공진자의 주파수 온도 특성은 직렬 캐패시터를 변화시킴에 따라 AT-cut 수정 공진자의 절단 각도를 변화 시키는 것과 같은 특성을 보였으며, 수정 공진자 고유의 주파수 온도 특성을 보상할 수 있었다. 본 기술은 실장된 수정 공진자의 발진회로와 오실레이터, 발진 IC 등에 적용, 활용시 안정도를 높이는데 유용할 것이며, 또한 TCXO, VCXO(voltage controlled crystal oscillator) 등에도 이용 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] F. M. Stern and J. Dowsett, "The fabrication of high frequency fundamental crystals by plasma etching", Proc. 43rd Ann. Freq. Control. Symp., p. 634, 1989.
- [2] Li Li, T. Abe, and M. Esahhi, "Fabrication of miniaturized bi-convex crystal micro-balance using reactive ion and melting photoresist", Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 114, No. 2-3, p. 496, 2004.
- [3] C. Wuthrich, S. D. Piazza, U. Ruedi, and B. Studer, "Batch fabrication of AT-cut crystal resonators up to 200MHz", 1999 Joint Meeting EFTF-IEEE IFCS, p. 807, 1999.
- [4] R. Bechmann, A. D. Ballator, and T. Lukazek, "Frequency-temperature behavior of thickness modes of double-rotated quartz

- plates", Proc. 15th Ann. Freq. Control. Symp., p. 23, 1961.
- [5] J. Zelenka, "Piezoelectric Resonators and Their Applications", Elsevier, p. 211, 1986.
- [6] J. Zelenka, "The influence of electrodes on the frequency-temperature characteristics of rotated Y-cut quartz resonators", Ultrasonics, Vol. 35, No. 1, p. 171, 1997.
- [7] A. Ballato. "Frequency-temperature-load capacitance behavior of resonators for TCXO application", IEEE Trans. Sonics & Ultrasonics Vol. 25, p. 185, 1978.
- [8] J. Y. Yoo, D. O. Oh, Y. H. Jeong, J. I. Hong, and M. Y. Jung, "Dielectric and piezoelectric characteristics of $\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3$ lead-free ceramics substituted with Sr", Materials Letters, Vol. 58, No. 29, p. 3831, 2004.
- [9] M. Toki, "Low DC-driving-voltage crystal oscillator", 1999 Joint Meeting EFTF-IEEE IFCS, p. 412, 1999.