

PSS-PT-PZ 초전형 적외선 검출기의 잡음특성

Noise Properties of the PSS-PT-PZ Pyroelectric Infrared Detector

우 승 일*, 류 기 원*, 이 성 갑*, 이 영 희*
 (Woo Seong-Il, Ryu Ki-Won, Lee Sung-Gap, Lee Young-Hie)

요 약

0.10Pb(Sb_{1/2}Sn_{1/2})O₃-0.25PbTiO₃-0.65PbZrO₃ 세라믹을 소결온도 및 시간을 각각 1200~1250[°C]에서 2, 4, 6시간으로 변화시켜 제작하였으며, 시편의 소결조건 및 MnO₂(0~0.30 mol%) 첨가량에 따른 잡음특성을 관찰하였다.

초전계수 및 전압감도는 1250[°C]에서 2시간 소결시킨 시편에서 각각 3.49x10⁻⁸[C/cm²K], 147[V/W]의 최대값을 나타내었다. 초전형 적외선 검출기의 잡음특성에 있어 증폭기의 전류 잡음 ΔV_i가 총 잡음전압에 대해 지배적인 경향을 나타내었으며, MnO₂가 0.24[mol%] 첨가된 1250[°C]에서 2시간 소결시킨 시편에서 가장 양호한 pop-corn잡음특성을 나타내었다.

Abstract

0.10Pb(Sb_{1/2}Sn_{1/2})O₃-0.25PbTiO₃-0.65PbZrO₃ ceramics were fabricated by the mixed oxide method. The sintering temperature and time were 1200~1250[°C], 2, 4, 6[hr], respectively. The noise properties with sintering conditions and contents of MnO₂(0~0.30 mol%) were investigated.

Pyroelectric coefficient and voltage responsivity of the specimen sintered at 1250[°C] for 2[hr] were 3.49x10⁻⁸[C/cm²K], 147[V/W], respectively. In the noise properties of the pyroelectric infrared detector, leakage current noise(ΔV_i) of the amplifier is the dominant component of total noise. The specimen doped with 0.24[mol%] MnO₂ sintered at 1250[°C] for 2[hr] showed the good pop-corn noise property.

* : 광운대학교 전자재료공학과

接受日字: 1993年 5月 22日

1. 서 론

최근 전자통신 및 정보 산업이 고도화됨에 따라 각종 센서소자의 필요성이 증가하고 있으며, 특히 초전형 적외선 센서는 생활공간의 온도(-30[°C]~300[°C])에서 동작이 가능하고 파장의 의존성이 없으며 가격이 저렴하기 때문에 침입 경보기, 자동문, 공장 자동제어 및 비접촉방사 온도계등으로의 용

용 및 수요가 급증하고 있다.

초전형 적외선 센서로의 응용을 위한 세라믹 재료에 관한 연구는 우수한 강유전 특성 및 각종 미량의 첨가물에 따라 구조적, 전기적 특성을 향상시킬 수 있는 PbTiO₃ 및 Pb계 복합 3성분계 재료가 주류를 이루고 있다.¹⁾ 1981년 X.Yuhuan등²⁾은 PbTiO₃ 세라믹에 불순물을 첨가하여 유전 및 초전특성을 조사하였으며, T.Ogawa등³⁾은 Pb(

$Sb_{1/2}Sn_{1/2}O_3$ - $PbTiO_3$ - $PbZrO_3$ 세라믹을 HIP (hot isostatic press) 소결법으로 제작하여 17.9×10^{-8} [C/cm^2K]의 우수한 초전계수 특성을 보고하였다. 1983년 R.W.Whatmore⁴⁾는 $Pb(Fe_{1/2}Nb_{1/2})O_3$ - $PbTiO_3$ - $PbZrO_3$ 세라믹을, 1989년 T.Takenaka⁵⁾등은 $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ - $PbZrO_3$ 세라믹의 초전특성을 연구하는등 적외선 검출기의 응용을 위한 활발한 연구가 진행되고 있다.

그러나 강유전성 세라믹을 이용한 초전형 적외선 검출기는 주위 환경으로 부터의 충격, 열자극 및 진동등에 의한 잡음(noise)의 발생으로 인한 오동작의 가능성 때문에 신뢰성이 요구되는 곳에서는 응용에 제한을 받는 단점을 갖고 있다. 이러한 문제점에도 불구하고 현재 초전형 적외선 검출기의 잡음특성에 관한 연구는 미비한 실정이며, 특히 주위환경 변화에 의한 돌발성 잡음에 대해서는 이론적 규명이 되어 있지 않은 상태이다.

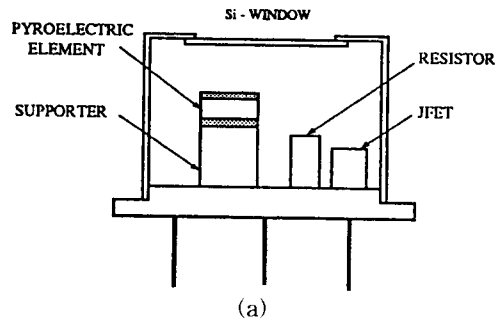
본 연구에서는 $0.10Pb(Sb_{1/2}Sn_{1/2})O_3$ - $0.25PbTiO_3$ - $0.65PbZrO_3$ 강유전성 세라믹을 소결조건 및 MnO_2 (0~0.30 mol%)첨가량을 변화시켜 시편을 제작한 후, 시편의 소결조건 및 MnO_2 첨가량에 따른 잡음특성에 대해 고찰하고자 한다.

2. 실험

2-1 시편의 제작

PbO , Sb_2O_3 , SnO_2 , TiO_2 , ZrO_2 및 MnO_2 의 시료를 조성식 $0.10Pb(Sb_{1/2}Sn_{1/2})O_3$ - $0.25PbTiO_3$ - $0.65PbZrO_3$ + MnO_2 (0~0.30[mol%])에 따라 평량한 후, 아세톤을 분산매로하여 혼합 분쇄하였다. 혼합 분쇄된 시료를 전기로(LINDBERG,8309 84)에서 $850[^\circ C]$ 로 2시간 하소시킨 후 원통형 금형($\phi 12mm$)에 5[gr]씩 넣고 $1.2[ton/cm^2]$ 의 압력으로 성형하였으며, 소결온도($1200, 1250[^\circ C]$) 및 시간(2, 4, 6[hr])을 변화시켜 소결하였다. 소결된 시편은 다이아몬드 커터(ISOMET 11-1180)를 사용하여 $0.4[mm]$ 의 두께로 절단한 후, 실크 스크린법으로 은 전극을 부착하였으며

$100[^\circ C]$ 에서 DC $30[KV/cm]$ 의 전계를 30분 동안 인가하여 분극처리를 하였다. 분극된 시편을 $200[\mu m]$ 의 두께로 표면처리한 후, 은 전극을 진공증착하였으며, 도전성 접착제(SM 900-118-90, Japan)로 알루미늄 지지대에 부착하여 적외선 검출기를 제작하였다. 금속케이스는 적외선 창 재료로 Si 웨이퍼가 부착된 TO-5형 패키지를 사용하였으며, 내부에는 증폭소자(JFET, Siliconix, J203)와 $100G[\Omega]$ 의 저항이 내장되어 있다. 그림 1(a)는 초전형 적외선 검출기의 모식도를 나타낸 것이다. 그림 1(b)는 본 연구에서 제작한 적외선 검출기의 구조를 나타낸 것이다. 적외선 검출기는 주위 환경으로 부터의 진동, 온도 및 압력등에 의한 잡음출력을 감소시키기 위해 상호 분극방향이 반대인 2개의 초전소자를 병렬연결한 구조이다.⁶⁾



(a)



(b)

그림 1 초전형 적외선 검출기의 구조

Fig. 1 Structure of the pyroelectric infrared detector.

2-2 측정

초전형 세라믹을 적외선 센서로 응용할 경우 가장 중요한 성능지수인 초전계수, p는 M.Shimhony⁷⁾등이 제시한 측정회로 및 식 (1)과 (2)를 이용하여 적외선 입력신호에 대한 초전압응답 특성으로 부터 구하였다.

$$p = \frac{K \cdot C \cdot H}{A^2 \cdot F_0} \quad [C/cm^2 K] \quad (1)$$

$$V_p = k\tau_T \theta^{1/(1-\theta)} \quad [V] \quad (2)$$

여기서, p=초전계수[C/cm²K], C=합성 정전용량(=시편의 정전용량+FET입력용량)[F], H=열용량(=체적비열x두께x면적)[J/K], A=시편의 수평면적[cm²], F₀=입사광 강도[Watt/cm²], k=재료상수, V_p=최대 출력 전압[V], τ_T=열적 시정수[sec], θ=τ_e/τ_T, τ_e=전기 시정수[sec]

또한 각 시편을 적외선 센서 소자로 제작한 후 입사된 적외선 에너지(Watt)에 대한 출력 신호(Volt)의 비를 나타내는 전압감도(voltage responsivity) R_V를 식(3)를 이용하여 계산하였다.⁸⁾

$$R_V = \frac{\omega \eta A R p \tau_T^2 (1 + \omega \tau_e^2)^{-1/2}}{H (1 + \omega^2 \tau_T^2)^{-1/2}} \quad (3)$$

여기서, ω=각주파수[Hz], η=방사도, R=합성저항(1/시편의 저항 + 1/부하저항)[Ω]

초전형 적외선 검출기에 대한 잡음의 원인으로서는 검출기의 유전체 손실에 의한 유전손실잡음, ΔV_s, 입력저항에 의한 Johnson 잡음, ΔV_J, 적외선 센서와 주위 환경과의 열적 요동(thermal fluctuation)에 기인한 열적잡음, ΔV_T 및 증폭소자의 누설전류 및 전압에 의한 잡음, ΔV_i와 ΔV_v가 있으며, 식(4)~(8)에 나타내었다.⁹⁾

$$\Delta V_s = \left(\frac{4kT \tan \delta}{\omega C_s} \right)^{1/2} \quad [V \cdot Hz^{-1/2}] \quad (4)$$

$$\Delta V_J = \left(\frac{4kTR}{1 + \omega^2 C^2 R^2} \right)^{1/2} \quad [V \cdot Hz^{-1/2}] \quad (5)$$

$$\Delta V_T = \frac{R_V (4kT^2 G)^{1/2}}{\eta} \quad [V \cdot Hz^{-1/2}] \quad (6)$$

$$\Delta V_i = i_n R \left(\frac{1}{1 + \omega^2 \tau_e^2} \right)^{1/2} \quad [V \cdot Hz^{-1/2}] \quad (7)$$

$$\Delta V_v = e_n \quad [V] \quad (8)$$

여기서, G=열전도도[J/K sec], i_n=증폭기의 잡음전류[A], e_n=증폭기의 잡음 전압[V]

3. 결과 및 고찰

표 1은 0.10Pb(Sb_{1/2}Sn_{1/2})O₃-0.25PbTiO₃-0.65PZrO₃시편의 소결조건에 따른 구조적, 유전적 및 초전적 특성을 나타낸 것이다.

시편의 소결온도 및 시간이 증가함에 따라 평균 결정립크기는 증가하는 경향을 나타내었으며, 유전상수는 소결온도 및 시간이 증가함에 따라 증가하여, 1250[°C]에서 4시간 소결시킨 경우 321의 최대값을 나타낸 후 감소하였다. 소결조건 변화에 따른 유전손실은 0.3~0.5[%]의 양호한 특성을 나타내었다.

초전계수는 소결온도 및 시간에 따라 증가하여 1250[°C]에서 2시간 소결시킨 경우 3.49x10⁻⁸[C/cm²K]의 최대값을 나타내었으며, 소결시간이 증가함에 따라 시편내 PbO의 휘발에 기인한 기공의 형성으로 감소하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 PZT계 세라믹을 파인 소결할 경우 PbO의 휘발에 의해 시편 내부에 기공이 형성되며 소극전계의 증가에 따른 전기적 특성이 감소한다. 본 연구에서 제작한 시편의 소결조건에 따른 소결밀도, 유전상수 및 초전계수특성을 관찰한 결과, 1250[°C]에서 2시간 소결시킨 시편에서 최대소결밀도 및 초전계수특성을 나타내었으며, 1250[°C]에서 4시간 소결시킨 시편에서 최대 유전상수특성을 나타내었다. 이와같은 소결조건에 따른 전기적특성의 차이는 강유전 세라믹의 초전특성이 유전특성에 비해 기공 및 소극전계에 대해 더 큰 영향을 받기 때문으로 사료된다. 전압감도는

표 1 0.10PSS-0.25PT-0.65PZ시편의 소결조건에 따른 구조적, 유전적 및 초전적 특성

Tabel 1 Structural, dielectric and pyroelectric properties with sintering conditions in 0.10PSS-0.25PT-0.65 PZ specimens.

Sample No.	Sintering Condition	Grain Size [μm]	Sintered Density [g/cm^3]	Relative Dielectric Constant	Dielectric Loss [%]	Pyroelectric Coeff. $\times 10^{-8}[\text{C}/\text{cm}^2\text{K}]$	Voltage Responsivity [V/W]
B - 2	1200[°C]-2[hr.]	5.56	7.47	287	0.38	3.32	137
B - 4	1200[°C]-4[hr.]	6.47	7.56	293	0.35	3.38	134
A - 2	1250[°C]-2[hr.]	7.38	7.57	302	0.34	3.49	147
A - 4	1250[°C]-4[hr.]	8.14	7.44	321	0.42	3.41	144
A - 6	1250[°C]-6[hr.]	9.17	7.24	308	0.56	3.29	131

표 2 0.10PSS-0.25PT-0.65PZ시편의 소결조건에 따른 잡음전압

Tabel 2 Noise voltage with sintering conditions in 0.10PSS-0.25PT-0.65PZ specimens.

Sample No.	Sintering Condition	Temperature Noise ΔV_T [$\text{V}/\text{Hz}^{1/2}$]	Voltage Noise ΔV_V [$\text{V}/\text{Hz}^{1/2}$]	Dielectric Loss Noise ΔV_δ [$\text{V}/\text{Hz}^{1/2}$]	Johnson Noise ΔV_j [$\text{V}/\text{Hz}^{1/2}$]	Current Noise ΔV_i [$\text{V}/\text{Hz}^{1/2}$]
B - 2	1200[°C] - 2[hr.]	2.6×10^{-8}	4.2×10^{-8}	6.7×10^{-7}	3.1×10^{-6}	4.0×10^{-5}
B - 4	1200[°C] - 4[hr.]	2.6×10^{-8}	4.2×10^{-8}	6.5×10^{-7}	2.5×10^{-6}	3.2×10^{-5}
A - 2	1250[°C] - 2[hr.]	2.7×10^{-8}	4.2×10^{-8}	6.2×10^{-7}	2.1×10^{-6}	3.1×10^{-5}
A - 4	1250[°C] - 4[hr.]	2.5×10^{-8}	4.2×10^{-8}	6.4×10^{-7}	2.4×10^{-6}	3.5×10^{-5}
A - 6	1250[°C] - 6[hr.]	2.5×10^{-8}	4.2×10^{-8}	6.9×10^{-7}	3.0×10^{-6}	4.2×10^{-5}

1250[°C]에서 2시간 소결시킨 시편에서 147 [V/W]의 최대값을 나타내었으며, 이는 전압 감도특성이 초전계수에 비례하고 정전용량에 반비례하기 때문에 최대 초전계수와 비교적 낮은 유전상수를 갖는 시편에서 우수한 특성을 나타내었다.

표 2는 소결조건에 따른 초전형 적외선 센서의 잡음특성을 나타낸 것이다.

적외선 센서의 주위환경과 열적 변동에 기인한 온도잡음(ΔV_T)은 검출소자의 전압 감도와 열전도도 특성에 의존하며, 일반적으

로 낮은 잡음전압특성에 의해 무시할 수 있다. 증폭소자의 전압잡음(ΔV_V)은 초전소자에 대한 영향을 받지 않으며, 4.2×10^{-8} [$\text{V}/\text{Hz}^{1/2}$]의 낮고 일정한 특성을 나타내었다. 유전손실잡음(ΔV_δ)은 1250[°C]에서 2시간 소결시킨 시편에서 최소값을 나타낸 후 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 강유전성 세라믹을 이용하여 초전소자를 제작하는 경우 높은 유전손실특성에 의해 전체 잡음전압에 대해 중요한 역할을 한다. 그러나 본 연구에서 제작한 시편의 경우 양호

한 유전손실 특성($\tan\delta=0.003\sim 0.005$)에 기인하여 비교적 낮은 잡음전압 특성을 나타내었다. 그러나 1250[°C]에서 6시간 소결시킨 시편의 경우 높은 유전손실특성에 기인하여 가장 높은 유전손실 잡음특성을 나타내었다. Johnson잡음(ΔV_J)은 소결온도 및 시간이 증가함에 따라 완만하게 감소하여 1250[°C]에서 2시간 소결시킨 시편에서 최소값을 나타낸 후 증가하는 경향을 나타내었으며, 정전용량의 변화에 따른 전기적 시정수의 변화에 기인한 것으로 사료된다. 증폭소자의 전류잡음(ΔV_i)은 총잡음전압에 대해 지배적인 경향을 나타내었으며, 1250[°C]에서 2시간 소결시킨 시편에서 최소값을 나타내었다. 이는 본 연구에서 사용한 증폭소자의 잡음 전류가 $6 \times 10^{-15} [A/Hz^{1/2}]$ 의 비교적 높은값을 가지며, 적외선 검출기의 전류잡음특성이 전기적 시정수에 반비례하기 때문이다.

그림 2는 소결온도 및 시간에 따른 초전형 적외선 검출기의 pop-corn 잡음특성을 나타낸 것이다.

그림 2(a)는 온도를 $-30\sim 70[^\circ C]$ 까지 7시간 동안 적외선 검출기에 인가한 온도 graph를 나타낸 것이며, 그림 2(b)~(f)는 적외선 검출기의 pop-corn잡음특성을 나타낸 것이다. pop-corn잡음특성의 소결온도 및 시간에 따른 의존성은 관찰되지 않았으며, 1250[°C]에서 2시간 소결시킨 A-2를 이용한 적외선 센서에서 가장 양호한 특성을 나타내었다.

pop-corn잡음특성은 주위환경으로 부터의 충격, 온도변화등에 의한 돌발성 잡음으로서 신뢰성이 요구되는 곳에서는 오동작의 가능성 때문에 응용에 있어 큰 제약을 받는다. 따라서 이러한 잡음특성을 개선시키기 위해 $0.10Pb(Sb_{1/2}Sn_{1/2})O_3-0.25PbTiO_3-0.65PbZrO_3$ 시편에 $MnO_2(0\sim 0.30 \text{ mol}\%)$ 를 첨가한 후 1250[°C]에서 2시간 동안 소결시켜 시편을 제작하였으며, MnO_2 첨가량에 따른 잡음특성에 대해 관찰하였다.

표 3은 MnO_2 첨가량에 따른 시편의 잡음 특성을 나타낸 것이다.

온도잡음(ΔV_T)은 MnO_2 가 0.24[mol%]첨가된 시편에서 $3.7 \times 10^{-8} [V/Hz^{1/2}]$ 의 최대값을

나타내었으며 일반적으로 낮은 잡음전압특성에 의해 무시된다. 증폭소자의 전압잡음(ΔV_v)은 초전소자에 영향을 받지 않고 일정한 특성을 나타내었다. 유전손실잡음(ΔV_δ)은 MnO_2 첨가량에 따라 완만하게 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 첨가된 Mn 이온이 시편 소결시 +2가 또는 +3가로 이온화되며, 단위격자의 B-자리에 치환된다. Mn 이온과 전기적 중성을 유지하기 위해 형성된 산소 공격자에 의해 축결함 중심의 Mn-V_o 결합을 형성하며, 이들이 분역의 회전을 억제하고 안정화 역할을 하므로 유전손실 특성이 감소하기 때문이다.¹⁰⁾ Johnson잡음(ΔV_J)은 MnO_2 첨가량에 따라 다소 증가하는 경향을 나타내었으며, MnO_2 첨가량이 증가함에 따른 정전용량의 감소에 의해 전기적 시정수가 감소하기 때문이다. 증폭소자의 전류잡음(ΔV_i)은 MnO_2 가 0.24[mol%] 첨가된 시편에서 최대값을 나타내었으며, 총잡음전압에 대해 지배적인 경향을 나타내었다. 이는 소결조건에 따른 잡음전압특성에서 고찰한 바와같이 사용한 증폭소자의 잡음전압이 비교적 높은값을 가지며, MnO_2 첨가량이 증가함에 따른 전기적 시정수의 감소에 기인한 것으로 사료된다.

그림 3은 MnO_2 첨가량에 따른 적외선 검출기의 pop-corn잡음특성을 나타낸 것이다.

MnO_2 가 0.24[mol%] 첨가된 1250[°C]에서 2시간 소결시킨 시편에서 가장 양호한 pop-corn 잡음특성을 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 강유전성 $0.10Pb(Sb_{1/2}Sn_{1/2})O_3-0.25PbTiO_3-0.65PbZrO_3$ 세라믹을 이용하여 초전형 적외선 검출기를 제작한 후 시편의 소결조건 및 MnO_2 첨가량에 따른 잡음 특성을 관찰하였다. PSS-PT-PZ시편의 유전 및 초전특성은 1250[°C]에서 2시간 소결시킨 시편에서 가장 양호한 특성을 나타내었으며, 1250[°C]에서 4시간 이상 소결시킨 시편의 경우 과잉 소결에 의한 PbO의 휘발에 기인하여 전기적 특성이 감소하였다. MnO_2 첨가량에 따른 적외선 검출기의 잡음

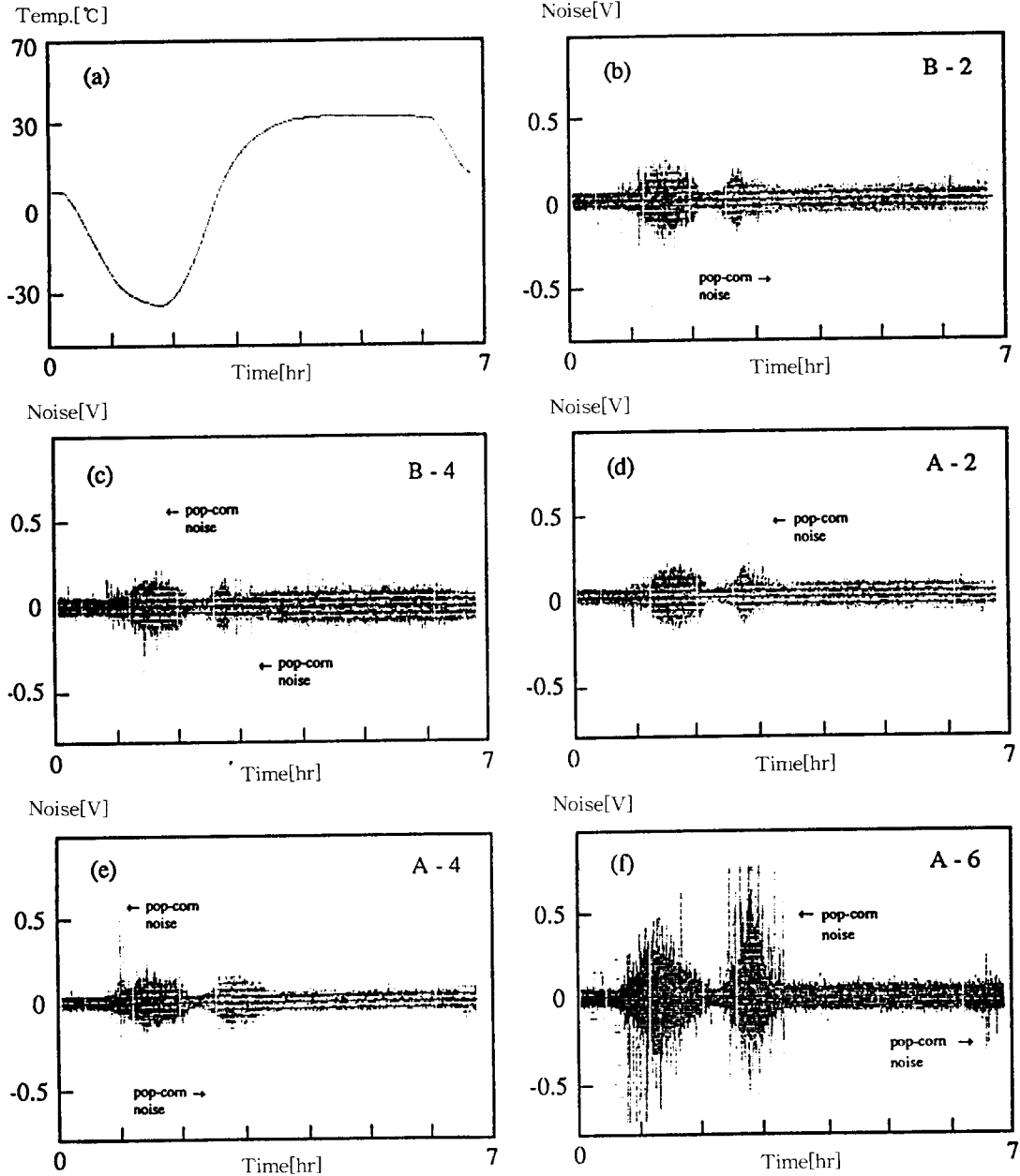


그림 2 소결조건에 따른 0.10PSS-0.25PT-0.65PZ시편의 pop-corn잡음특성
 Tabel 2 Pop-corn noise properties with sintering condition in 0.10PSS-0.25PT-0.65PZ specimens.

특성은 증폭소자의 전류잡음에 기인한 잡음 전압이 총 잡음전압에 대해 지배적인 경향을 나타내었다. 따라서 초전형 적외선 검출기를 저주파 영역에서 사용하는 경우 증폭기의 전류잡음은 초퍼 주파수에 반비례하므

로 낮은 전류잡음 특성을 갖는 증폭소자를 선택해야 한다.

참고 문헌

PSS-PT-PZ 초전형 적외선 검출기의 잡음특성

표 3 0.10PSS-0.25PT-0.65PZ시편의 MnO₂첨가량에 따른 잡음전압

Table 3 Noise voltage with contents MnO₂ in 0.10PSS-0.25PT-0.6PZ specimens.

MnO ₂ Contents [mol%]	Temperature Noise ΔV_T [V/Hz ^{1/2}]	Voltage Noise ΔV_V [V/Hz ^{1/2}]	Dielectric Loss Noise ΔV_δ [V/Hz ^{1/2}]	Johnson Noise ΔV_J [V/Hz ^{1/2}]	Current Noise ΔV_i [V/Hz ^{1/2}]
0.00	2.7×10^{-8}	4.2×10^{-8}	6.2×10^{-7}	2.1×10^{-6}	3.1×10^{-5}
0.06	2.8×10^{-8}	4.2×10^{-8}	5.5×10^{-7}	2.3×10^{-6}	3.2×10^{-5}
0.12	3.0×10^{-8}	4.2×10^{-8}	4.4×10^{-7}	2.6×10^{-6}	3.5×10^{-5}
0.18	3.3×10^{-8}	4.2×10^{-8}	4.3×10^{-7}	2.8×10^{-6}	3.9×10^{-5}
0.24	3.7×10^{-8}	4.2×10^{-8}	4.2×10^{-7}	3.0×10^{-6}	4.0×10^{-5}
0.30	2.9×10^{-8}	4.2×10^{-8}	4.3×10^{-7}	3.1×10^{-6}	3.8×10^{-5}

1. S.G.Poter, "A Brief Guide to Pyroelectric Detector" ,Ferroelectrics, Vol.33, pp. 193~206, 1981
2. X.Yuhuan, L.Zhngyung and Z.Xiujuan, "Dielectric and Pyroelectric Properties of a PbTiO₃ Ceramics Series Modified by Mn, Nb and Ce" ,Ferroelectrics, Vol.37, pp.615~618, 1981
3. T.Ogawa, Y.Iida and M.Toyoda, "Pyroelectric Characteristics of Lead Titanates Zirconate Family Ceramics" ,Trans. IEE of Japan., Vol.97,pp.547~554, 1981
4. R.W.Whatmore, "High Performance Conducting Pyroelectric Ceramics" ,Ferroelectrics, Vol.49, pp.201~210, 1983
5. T.Takenaka, A.S.Bhalla, L.E.Cross and K.Sakata, "Dielectric, Piezoelectric and Pyroelectric Properties of Lead Zirconate-Lead Zinc Niobate Ceramics" , J.Am.Ceram.Soc., Vol.72, pp. 1016~1023, 1989
6. 男井喜一, 安達一出夫, "焦電型 赤外線 センサ, 電子技術, Vol.21, pp.41~46, 1979
7. M.Shimhony and A.Shaulov, "Measurement of the Pyroelectric Coefficient and Permittivity from the Pyroelectric Response to Step Radiation Signals in Ferroelectrics" , Appl.Phys.Lett., Vol. 21, pp 375~377, 1972
8. S.B.Lang, "Ferroelectrics and Related Phenomena, Vol.2, Sourcebook of Pyroelectricity" ,Gorden and Breach Sci. Pub., pp.48~53, 1974
9. A.Shaulov, M.I.Bell and W.A.Smith, "Direct Measurement of Pyroelectric Figures of Merit of Proper and Improper Ferroelectrics" ,J.Appl.Phys., Vol.50, pp. 4913~4919, 1979
10. H.J.Hegemann, "Loss Mechanism and Domain Stabilization in Doped BaTiO₃" ,J.Phys.C; Solid State Phys., Vol.11, pp.3333~3344, 1978

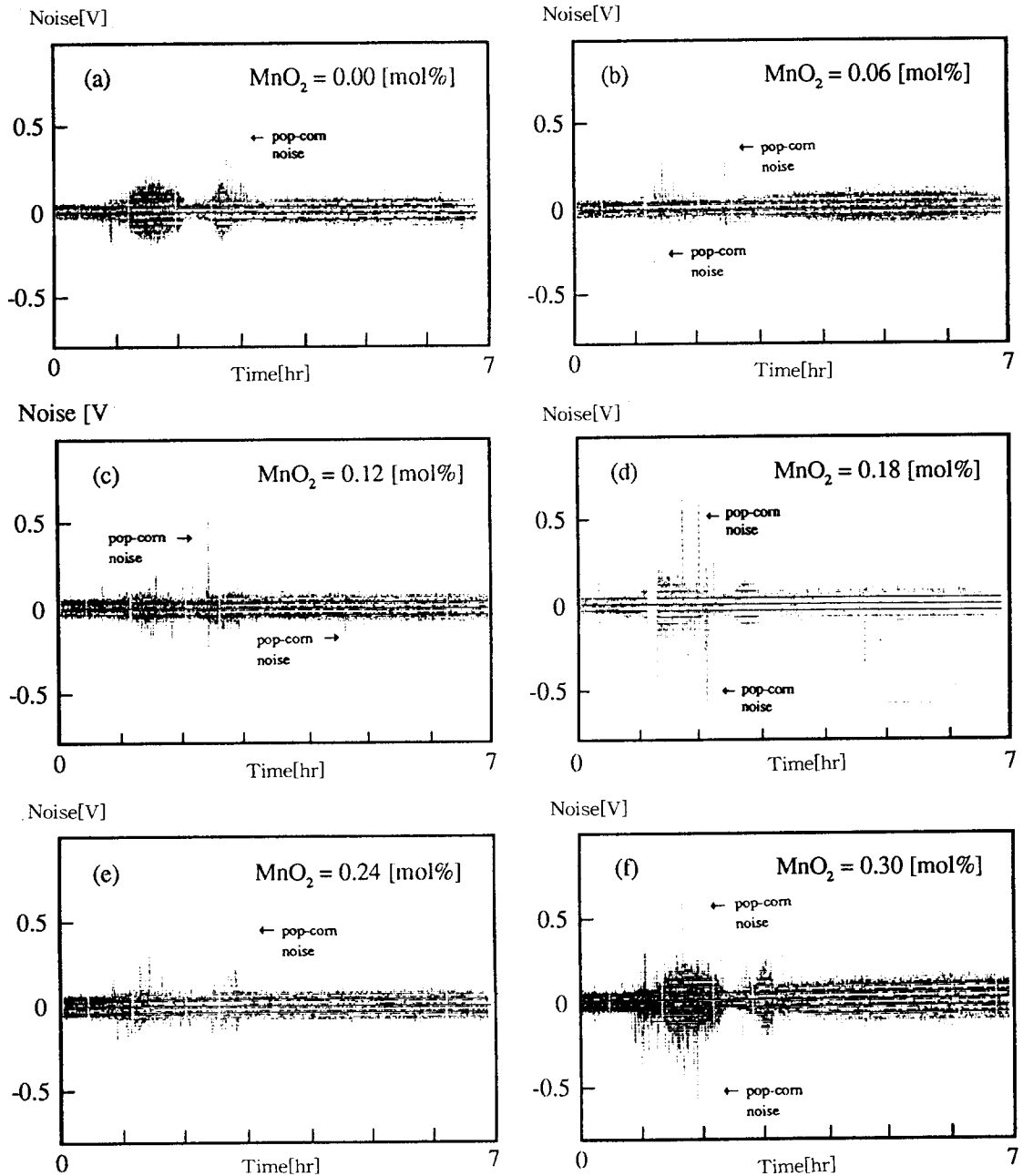


그림 3 MnO_2 첨가량에 따른 0.10PSS-0.25PT-0.65PZ시편의 pop-corn잡음특성
 Tabel 3 pop-corn noise properties with contents of MnO_2 in 0.10PSS-0.25PT-0.65PZ specimens.

著者紹介



이성갑

1963년 5월 1일생. 1985년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전자재료공학과(공박). 1993년 현재 광운대 공대 전자재료공학과 강사.



류기원

1962년 2월 4일생. 1985년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1987년 동 산업대학원 졸업(석사). 현재 광운대 공대 전자재료공학과 박사과정 수료.



이영희

1951년 9월 23일생. 1973년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동 대학원 전기공학과(공박). 1985년~86년 Penn. State MRL 객원연구원. 현재 광운대 공대 전자재료공학과 교수.



우승일

1968년 11월 30일생. 1991년 2월 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1993년 2월 광운대 공대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사).