

論文2000-37SD-10-5

초전형 적외선 센서의 3 차원 모델링과 최적화된 주변회로 설계 (3-D Simulation of Pyroelectric IR Sensor and Design of Optimized Peripheral Circuit)

閔 庚 埴*, 姜 聲 俊**, 尹 英 燮*

(Kyung Jin Min, Seong Jun Kang, and Yung Sup Yoon)

요 약

본 연구에서는 전압감도, 잡음등가전력, 비검출능 등의 초전형성들을 각 파라미터의 상호작용을 고려하여 3 차원으로 모델링하였다. 그 결과, 전압응답특성은 저주파수 영역의 경우, 단면적에 대한 의존성 없이 두께가 작을수록 큰 전압응답을 보이고, 고주파수 영역의 경우는 $20G\Omega$ 의 부하저항에서 단면적이 작을수록 우수한 전압응답을 보이지만 두께에는 전혀 의존하지 않음을 알 수 있었다. 비검출능은 저주파수 영역에서 $20G\Omega$ 의 부하저항, $4 \times 10^{-10} m^2$ 이상의 단면적, 그리고 $1 \times 10^{-5} m$ 이하의 두께에서 아주 우수한 특성을 나타내었고, 고주파수 영역에서는 $1 \times 10^{-5} m$ 이하의 두께와 $2 \times 10^{-10} m^2$ 이상의 단면적에서 저항에 관계없이 높은 비검출능을 나타내었다. 또, 초전형 적외선 센서의 증폭 및 주파수 대역을 설정하기 위한 주변회로를 설계하였다. 본 연구에서는 1 개의 단일 op-amp를 JFET의 드레인 부분의 단자에 연결한 quasi-boot-strap 회로를 사용하여, 2 개의 op-amp를 이용한 상용화된 주변회로에 비해 약 56 % 의 잡음저하와 원하는 주파수 대역 및 증폭도를 얻을 수 있었다.

Abstract

Pyroelectric characteristics such as voltage responsivity, noise equivalent power and detectivity are modeled 3-dimensionally considering the interaction of each parameters. Also, the circuit is designed to set up the frequency band width and the signal amplification of the pyroelectric IR sensor. The case of low frequency region shows that the voltage response increases with the independence of the sensor area as the thickness decreases. In the high frequency region, it is found that the voltage response with the load resistor of $20G\Omega$ increases with the independence of the sensor thickness as the sensor area decreases. In the low frequency region, the detectivity becomes excellent at the load resistor of $20G\Omega$, the sensor area larger than $4 \times 10^{-10} m^2$ and the sensor thickness thinner than $1 \times 10^{-5} m$, while, in the high frequency region, it shows high value at the sensor thickness thinner than $1 \times 10^{-5} m$ and the sensor area smaller than $2 \times 10^{-10} m^2$ with the independence of the load resistor. In the circuit design, quasi-boot-strap circuit is employed, in which a single op-amp is connected to the drain of JFET. Desirable frequency band width, amplification rate and the remarkable drop of noise of about 56 % from that of conventional circuits with double op-amps are obtained.

* 正會員, 仁荷大學校 電子材料工學科

(Dept. of Electronic Materials & Device Engineering,
Inha Univ.)

** 正會員, 麗水大學校 半導體·應用物理學科

(Dept. of Semiconductor and Applied Physics,
Yosu National Univ.)

接受日字:2000年4月6日, 수정완료일:2000年7月29日

I. 서 론

강유전체는 우수한 유전성, 압전성, 초전성 및 광학적 특성을 가지고 있어 다양한 전자 소자에 응용되고 있다.^[1-3] 그 중 초전형 적외선 센서는 강유전체의 온도변화에 따른 자발분극의 변화로 야기되는 초전효과(pyroelectric effect)를 이용하는 것으로, 상온에서

동작이 가능하고 감도의 과장 의존성이 적으며 조작이 간편하다는 등의 장점을 가지고 있기 때문에 침입경보기, 화재경보기 등과 같은 전자장치와 비접촉 온도측정과 제품검사 등의 공장자동화에 사용되고 있다. 앞으로 로봇의 시각이나 근접각 센서, 인공위성에서의 사진촬영, 비접촉 피부검사 등의 의학용, 레이더 등의 군사용에까지 그 활용범위가 점차 확대되어 갈 것이다.^[4-6]

초전형 적외선 센서의 연구는 초전특성들의 온도와 주파수 의존성에 대한 광범위한 연구에도 불구하고, 초전물질의 두께, 단면적, 부하저항, 주파수 등의 변수에 대해서는 2차원적인 논의에만 머무르고 있으며, 두께와 단면적, 또는 부하저항과 주파수 등의 상호작용에 의한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 그러나, 실제적으로 두께와 단면적, 부하저항과 주파수 등의 다변수 관계에 의해서 초전형 적외선 센서의 초전특성들은 크게 영향을 받기 때문에 2차원적인 변수의존성들에 대한 초전특성들의 연구는 최적화된 초전형 적외선 센서의 실현에 커다란 장애가 되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 전압감도(voltage responsivity), 잡음등가전력(noise equivalent power), 비검출능 (specific detectivity) 등의 초전특성들을 각 파라미터의 상호작용을 고려한 3차원으로 모델링하여 최적화된 초전형 적외선 센서를 실현시키고자 하였다.

또한, 초전형 적외선 센서의 증폭 및 주파수 대역을 설정하기 위한 주변회로에 대한 연구는 초전특성 자체에 대한 연구에 비해 극히 미미한 수준이었다. 그러나, 초전형 적외선 센서를 완벽하게 구현하기 위해서는 최적화된 주변회로의 설계가 필수적이다. 주변회로를 설계할 때 고려해야 할 점은 초전형 적외선 센서에서 출력되는 신호가 매우 미약하므로 잡음의 최소화 및 신호의 증폭과 더불어 응용분야에 따른 주파수 대역폭의 조정이 필요하다는 점이다. 상업적으로 이용되고 있는 주변회로의 경우, 두 개의 op-amp를 사용하여 증폭과 주파수 대역폭 설정에 응용하고 있다.^[7] 이 경우 많은 저항과 캐패시턴스, 두 개의 op-amp 사용 등에 의한 잡음이 비교적 크고 회로가 복잡해지는 단점을 가지고 있다. 이를 극복하기 위해서, 본 연구에서는 한 개의 단일 op-amp를 JFET의 드레인 부분의 단자에 연결한 quasi-boot-strap 회로를 설계하여 잡음의 최소화와 원하는 주파수 대역폭 및 증폭도를 얻을 수 있었다.

II. 이론적 배경

변수들 상호간의 관계를 고려한 초전특성들을 3차원으로 묘사(simulation) 하기 위해 그림 1에 나타난 것과 같은 모델을 설정하였다.

열손실을 줄여 초전특성들을 향상시키기 위해, 기판의 뒷면을 깎아내어 초전물질로 사용되는 LiTaO₃가 공기와 직접적으로 접촉하게 만들었고, 흡수율을 증가시키기 위해 black coating 처리를 하였다. 초전물질로 사용된 LiTaO₃에 대한 파라미터들을 표 1에 나타내었다.

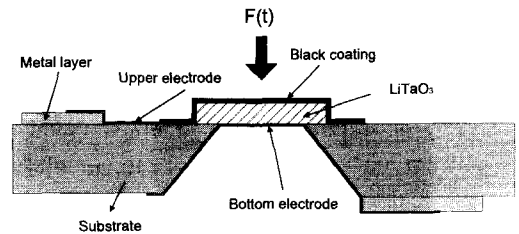


그림 1. LiTaO₃ 를 사용한 초전형 적외선 센서의 시뮬레이션 위한 모델

Fig. 1. Structural model for simulation of pyroelectric IR sensor using LiTaO₃.

표 1. 초전형 적외선 센서 시뮬레이션에 사용된 LiTaO₃의 파라미터

Table 1. Parameters of LiTaO₃ used in simulation of pyroelectric IR sensor.

Element	η	$F_0[W/m^2]$	$H_0[J/m^2K]$	$\gamma[C/m^2K]$	$\sigma[W/m^2K]$
Value	1	2	3.2×10^{-6}	2.3×10^{-4}	5.667×10^{-6}
Element	ϵ_r	$Rcr [Ω]$	$T_0 [K]$	$\tan \delta$	
Value	47	10.3×10^9	300	0.005	

이때, 흑체로부터 방사된 열선속이 주파수(Ω)와 진폭(F_0)을 가지고 초전물질에 입사되면, 초전물질에 공간적으로 작은 온도변화(θ)가 야기된다. 이에 따라 초전물질의 열방정식은 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.^[8-9]

$$\frac{d}{dt}(H\theta) + G\theta = \eta F(t) \tag{1}$$

여기서, η 는 초전소자의 흡수율, θ 는 초전소자의 평균 온도증가, H 는 체적 비열, G 는 열적 컨덕턴스,

$F(t)$ 는 열선속으로 초파와 시료의 거리차이에 따라 변화될 수 있다. 또, 전기소자에 흐르는 전류와 초전전류가 동일하다고 가정하면 다음과 같은 식(2)을 얻을 수 있다.^[10]

$$\frac{d(UC_{cr})}{dt} + \frac{U}{R_{cr}} = A_o \gamma \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (2)$$

여기서, U 는 초전 전압응답, A_o 는 초전물질의 단면적, γ 는 초전계수, C_{cr} 과 R_{cr} 은 각각 초전물질의 캐패시턴스와 저항이다. 식 (1)과 (2)를 정리하면, 초전 전압 U 와 전압감도 R_V 에 관한 식이 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$U = \frac{\gamma R_o \Omega \eta F_o A_o}{\sqrt{(4\pi \eta \sigma T_0^3)^2 + (\Omega H_o d)^2} \sqrt{1 + (\Omega C_{cr} R_o)^2}} \quad (3)$$

$$R_V = \left| \frac{U}{F_o A_o} \right| \quad (4)$$

여기서, R_o 는 초전물질의 내부저항과 측정회로의 부하저항이 병렬연결 되어 얻어지는 저항, C_{cr} 은 초전물질의 캐패시턴스, σ 는 스테판-볼츠만 상수, d 는 초전물질의 두께이다.

잡음등가전력(noise equivalent power)은 센서 잡음과 동일한 출력 신호를 주기 위해 필요한 열선속을 의미하며, 그에 대한 수식은 다음과 같이 정의된다.^[11]

$$NEP = \frac{V_n}{R_V} \quad (5)$$

$$V_n = \sqrt{\frac{4kT_s R (1 + \Omega \tau_E \tan \delta)}{1 + \Omega^2 \tau_E^2}} \quad (6)$$

여기서, V_n 은 잡음전압이다. 잡음등가전력(noise equivalent power)은 센서의 잡음 출력과 신호 출력이 같게 될 때, 센서의 최소 적외선 세기를 나타내는 특성으로 값이 작을수록 우수한 초전특성을 나타낸다.

비검출능(specific detectivity)은 센서의 성능을 정의하는 신호 대 잡음비를 의미하며, 그에 따른 수식은 다음과 같이 표현될 수 있다.^[12]

$$D^* = \frac{\sqrt{A_o}}{NEP} \left[\frac{cm\sqrt{Hz}}{W} \right] \quad (7)$$

식 (7)에서 나타났듯이, 비검출능(specific detectivity)은 면적으로 규격화되어 있기 때문에 재료 자체의 검출능력을 비교하기에 가장 적합한 초전특성 중의 하나이다.

다음으로 본 연구에서는 초전형 적외선 센서에 적합한 quasi-boot-strap 회로를 설계하여 인체감지에 적합한 1~8Hz의 주파수 대역폭과 약 125배의 증폭도를 구현하고, 상업적으로 사용되는 증폭회로 보다 개선된 잡음특성을 구현하였다.^[13]

III. 결과 및 논의

그림 2는 단면적 $3 \times 10^{-10} \text{ m}^2$ 과 두께 $2 \times 10^{-5} \text{ m}$ 일 때, 변조주파수와 부하저항에 따라 변화되는 전압응답을 나타낸 것이다.

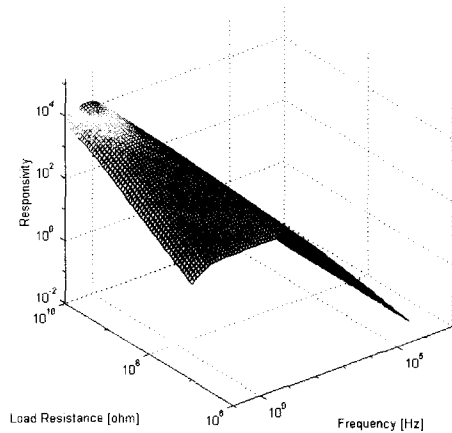


그림 2. 부하저항과 주파수에 따른 전압응답 특성(단면적 : $3 \times 10^{-10} \text{ m}^2$, 두께 : $2 \times 10^{-5} \text{ m}$)

Fig. 2. Dependence of the voltage responsivity on the load resistance and frequency (Area : $3 \times 10^{-10} \text{ m}^2$, thickness : $2 \times 10^{-5} \text{ m}$)

그림 2에서 보듯이, 전압응답특성은 전기적 시상수(electrical time constant)의 역수를 의미하는 임계주파수 이상에서 감소하는 양상을 나타낸다. 이는 초전형 적외선 센서에 입사되는 열선속에 의해 시료 내에 미세한 온도차가 발생하여, 시료 내 분극의 크기에 따라 표면에 발생하는 초전전하는 주파수의 증가에 따라 시료 내 분극의 움직임에 제약을 받기 때문이라고 생각된다. 부하저항의 경우는 전압응답과 비례하여 부하저항의 증가에 따라 높은 전압응답을 나타내고, 저항의 증가에 따라 전기적 시상수가 증가하기 때문에

전압응답의 주파수 대역폭이 감소하는 양상을 보인다. 그리고 그림 2로부터 고저항과 저주파수 대역이 우수하고 전압응답 특성을 나타낸다는 것을 확인할 수 있다.

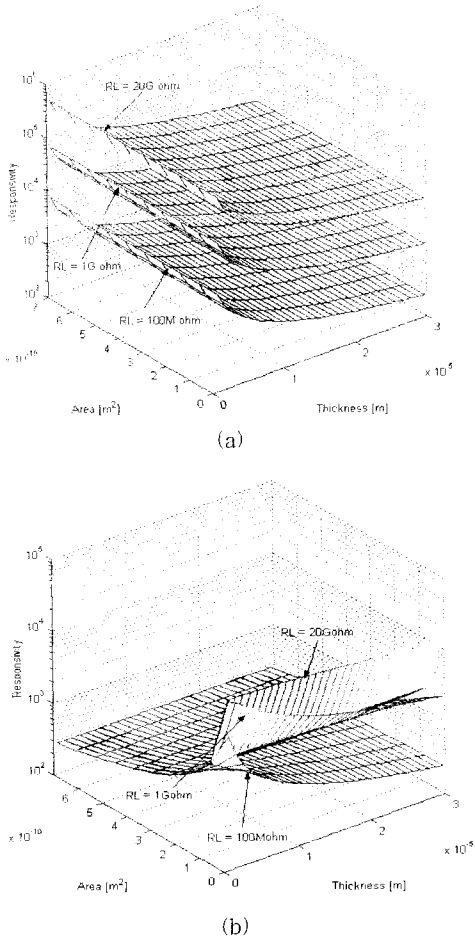


그림 3. 단면적과 두께에 따른 전압응답 특성 : (a) 저주파수 영역, (b) 고주파수 영역

Fig. 3. Dependence of the voltage responsivity on the area and thickness : (a) low frequency, (b) high frequency

저주파수와 고주파수에 따른 전압응답의 두께와 단면적 의존성을 그림 3 (a)와 (b)에 나타내었다. 그림 3 (a)에서 보듯이, 저주파수 (1Hz)의 경우는 단면적에 대한 의존성 없이 두께가 작을수록 큰 전압응답을 나타내었다. 반면에, 그림 3 (b)에 나타난 고주파수 (1MHz)의 전압응답은 두께와 단면적 의존성이 매우 다르게 나타났는데, 100MΩ의 부하저항에서는 두께와 단면적이 작은 부분에서 전압응답이 제일 우수하였고, 20GΩ의 부하저항에서는 단면적이 작을수록 우수한 전압응답을 보이지만 두께에는 전혀 의존하지 않았다.

그림 2와 3으로부터, 주파수, 부하저항, 두께, 그리고 단면적의 파라미터들이 전압응답 특성에 개별적으로 작용하지 않고, 서로 상호작용에 의해 관계를 갖는다는 사실을 알 수 있었다.

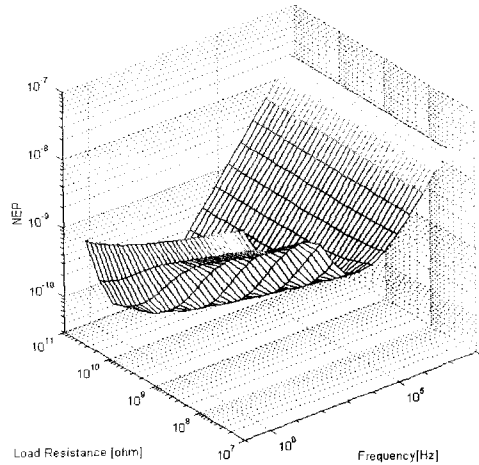


그림 4. 부하저항과 주파수에 따른 잡음등가전력 특성 (단면적 : $3 \times 10^{-10} \text{m}^2$, 두께 : $2 \times 10^{-5} \text{m}$)

Fig. 4. Dependence of the noise equivalent power on the load resistance and frequency. (Area : $3 \times 10^{-10} \text{m}^2$, thickness : $2 \times 10^{-5} \text{m}$)

초전특성들 중 가장 중요한 특성인 잡음에 관한 특성을 조사하기 위해, 식 (6)을 식 (5)에 대입하여 잡음등가전력을 구하였다. 열적잡음과 유전손실 ($\tan \delta$)에 의한 손실잡음이 초전형 적외선 센서에서 고려해야 할 주요한 잡음이므로, 식 (6)은 이 두 잡음을 고려한 전압이다. 그림 4는 단면적 $3 \times 10^{-10} \text{m}^2$ 과 두께 $2 \times 10^{-5} \text{m}$ 일 때, 주파수와 부하저항의 변수에 따른 잡음등가전력을 나타낸 것인데, 부하저항에 따른 변화가 특히 심하게 나타났다. 1 MHz를 넘는 주파수에서는 부하저항에 관계없이 주파수에 따라 잡음등가전력이 증가하는 반면, 1MHz 이하의 주파수에서는 부하저항이 클수록 낮은 잡음등가전력을 갖는다. 또, 1GΩ 이하의 부하저항 범위에서는 두 가지 형태의 포물선이 상대적으로 큰 잡음등가전력과 함께 나타남에 비해 1GΩ 이상에서는 단일 포물선 형태를 갖는다. 그림 4로부터, 부하저항의 변화에 따라 낮은 잡음등가전력을 갖는 최적의 주파수 대역이 변화된다는 사실을 알 수 있다. 또한, 이는 초전형 적외선 센서를 실제로 응용할 때, 주파수와 부하저항을 동시에 고려하여 최적의 잡음특성을 갖는 부분을 찾을 수 있음을 보여준다.

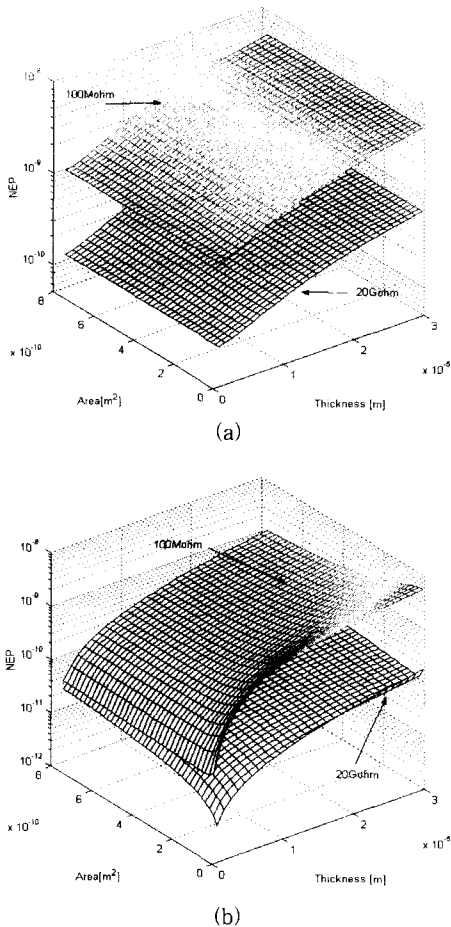


그림 5. 단면적과 두께에 따른 잡음등가전력 특성 : (a) 저주파수 영역, (b) 고주파수 영역
 Fig. 5. Dependence of the noise equivalent power on the area and thickness : (a) low frequency, (b) high frequency

잡음등가전력은 센서잡음과 동일한 출력신호를 주기 위해 필요한 열선속을 의미하며, 그림 5에 저주파수와 고주파수에서 잡음등가전력의 변화를 나타내었다. 저주파수 영역은 그림 3의 전압응답 특성과 동일하게 단면적에 의존하지 않고 단지 두께에 따라 잡음등가전력이 증가함을 보여주고 있다. 반면에, 고주파수 영역에서는 부하저항 100MΩ과 $2 \times 10^{-10} \text{m}^2$ 이하의 단면적에서 상대적으로 큰 잡음등가전력을 보였고, 20GΩ의 부하저항에서도 $1 \times 10^{-10} \text{m}^2$ 이하의 단면적에서 상대적으로 큰 잡음등가전력을 나타내었다. 특히, $2 \times 10^{-10} \text{m}^2$ 이하의 단면적에서 부하저항 100MΩ과 20GΩ에 따른 잡음등가전력의 차이가 아주 심하게 나타났다. 또한, 고주파수 영역에서 잡음등가전력의 두께 의존성이 저주

파수에 비해 훨씬 심해, 두께 감소에 따라 잡음등가전력이 현저하게 감소함을 볼 수 있었다.

그림 6은 비검출능을 나타낸 것인데, 그림 4의 잡음등가전력과 역수관계에 있기 때문에, 비검출능은 잡음등가전력과 반대되는 특성을 보인다. 따라서, 비검출능은 잡음등가전력이 최소를 나타내는 주파수 10 Hz에서 최대값을 나타내고 있다.

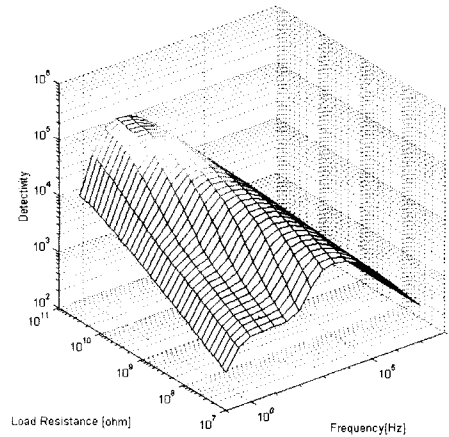


그림 6. 부하저항과 주파수에 따른 비검출능 특성 (단면적 : $3 \times 10^{-10} \text{m}^2$, 두께 : $2 \times 10^{-5} \text{m}$)
 Fig. 6. Dependence of the detectivity on the load resistance and frequency (Area = $3 \times 10^{-10} \text{m}^2$, thickness = $2 \times 10^{-5} \text{m}$)

비검출능의 두께와 단면적 의존성을 그림 7에 나타내었다. 잡음등가전력이 저주파수 영역에서 면적에 의존하지 않는 현상과는 달리, 저주파수 영역을 나타내는 그림 7 (a)의 비검출능은 식 (9)에서와 동일하게, 면적에 1/2승 ($A^{0.5}$)에 비례하는 성질을 나타내었다. 두께의 감소에 따라 높은 비검출능을 갖는데, 특히, 20GΩ의 부하저항, $4 \times 10^{-10} \text{m}^2$ 이상의 단면적, 그리고 $1 \times 10^{-5} \text{m}$ 이하의 두께에서 아주 우수한 비검출능을 나타내었다. 잡음등가전력에서 유추할 수 있듯이, 그림 7 (b)의 고주파수 영역에서는 100MΩ의 부하저항, $1 \times 10^{-5} \text{m}$ 이상의 두께, 그리고 $2 \times 10^{-10} \text{m}^2$ 이하의 면적에서 매우 낮은 비검출능을 나타내고 있다. 또, $1 \times 10^{-5} \text{m}$ 이하의 두께와 $2 \times 10^{-10} \text{m}^2$ 이상의 단면적에서 저항에 관계없이 높은 비검출능을 보여, 고주파수 영역에서 우수한 비검출능을 나타내기 위해서는 부하저항 의존성 보다 두께와 단면적이 주요변수임을 확인할 수 있었다.

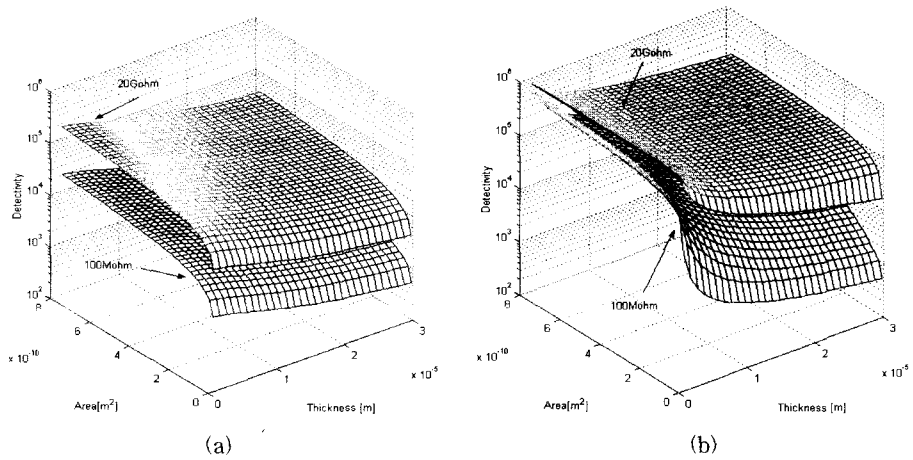


그림 7. 단면적과 두께에 따른 비검출능 특성 : (a) 저주파수 영역, (b) 고주파수 영역

Fig. 7. Dependence of the detectivity on area and thickness : (a) low frequency, (b) high frequency.

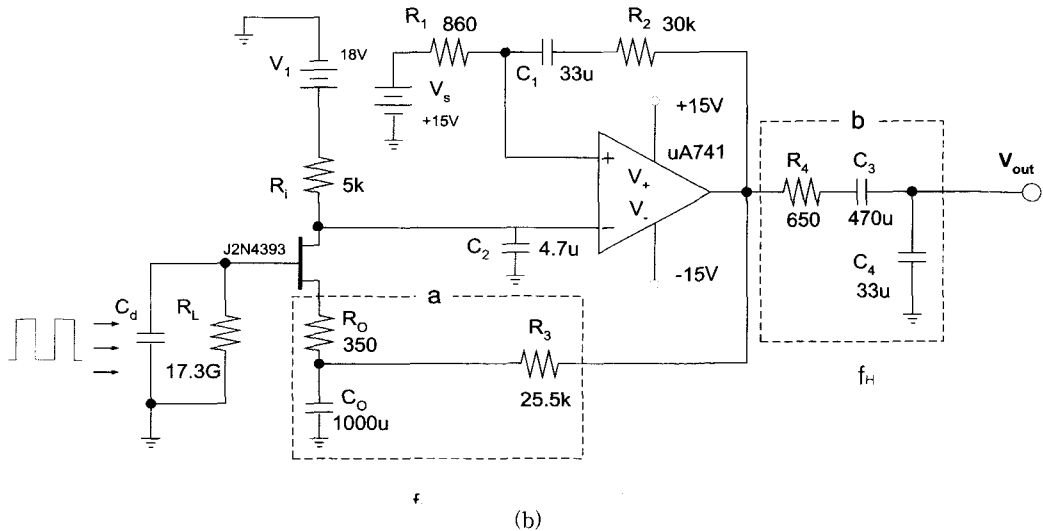
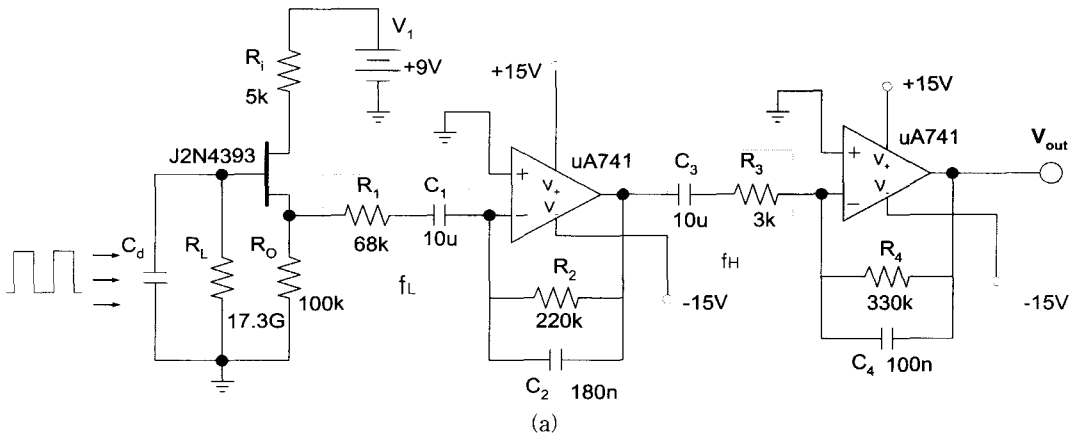


그림 8. (a) Double op-amp 와 (b) quasi-boot-strap을 사용한 초전형 적외선 센서의 주변회로

Fig. 8. Amplifier circuits for pyroelectric IR sensor using (a) double op-amp and (b) quasi-boot-strap.

비검출능의 두께와 단면적 의존성을 그림 7에 나타내었다. 잡음등가전력이 저주파수 영역에서 면적에 의존하지 않는 현상과는 달리, 저주파수 영역을 나타내는 그림 7(a)의 비검출능은 식 (9)에서와 동일하게, 면적에 1/2 승($A^{0.5}$)에 비례하는 성질을 나타내었다. 두께의 감소에 따라 높은 비검출능을 갖는데, 특히, $20G\Omega$ 의 부하저항, $4 \times 10^{-10} m^2$ 이상의 단면적, 그리고 $1 \times 10^{-5} m$ 이하의 두께에서 아주 우수한 비검출능을 나타내었다. 잡음등가전력에서 유추할 수 있듯이, 그림 7(b)의 고주파수 영역에서는 $100M\Omega$ 의 부하저항, $1 \times 10^{-5} m$ 이상의 두께, 그리고, $2 \times 10^{-10} m^2$ 이하의 면적에서 매우 낮은 비검출능을 나타내고 있다. 또, $1 \times 10^{-5} m$ 이하의 두께와 $2 \times 10^{-10} m^2$ 이상의 단면적에서 저항에 관계없이 높은 비검출능을 보여, 고주파수 영역에서 우수한 비검출능을 나타내기 위해서는 부하저항 의존성 보다 두께와 단면적이 주요변수임을 확인할 수 있었다.

다음으로 원하는 주파수대역과 증폭도를 구현하기 위해 초전형 적외선 센서의 주변회로를 설계하였다. 그림 8(a)는 상업적으로 사용되는 2개의 op-amp를 연결한 주변회로이고, 그림 8(b)는 우수한 잡음특성을 나타내기 위해 고안된 quasi-boot-strap 회로이다. 그림 8(a)에서 op-amp의 입, 출력 저항과 캐패시턴스를 조절하고, 그림 8(b)에서는 a와 b영역의 캐패시턴스와 저항을 조절해서 두 회로 모두 인체감지에 적당한 cut-off 주파수인 $f_L = 1Hz$, $f_H = 8Hz$ 와 증폭도 125 배를 얻었다. 이 때의 저항과 캐패시턴스 값은 그림 8의 회로 안에 표시되어 있다. 본 논문에서 제안한 그림 8(b)의 회로에서는 op-amp를 JFET의 드레인 영역과 소스 영역에 연결하여, JFET의 소스-드레인 사이의 고저항으로 인해 얻어지는 고증폭 회로를 실현하였다. 또, JFET의 게이트부분에 감지물질과 고저항을 병렬연결하여 인체를 감지할 때 얻어지는 교류 소신호가 소스영역을 걸쳐 op-amp의 출력부분으로 유입되어 증폭이 되도록 설계하였다. 그림 8(a)와 (b)의 회로에서 주파수 특성에 따른 잡음특성을 그림 9에 나타내었다.

그림 9는 상업적으로 사용되는 2개의 op-amp를 연결한 주변회로와 본 연구에서 설계한 quasi-boot-strap 회로의 잡음전압을 비교해서 나타낸 것이다. 그림 9에서 상대적인 잡음전압(relative noise voltage)은 입력전압 당의 잡음전압을 의미하는 것이다. 두 경

우의 회로 모두에서 교류 출력전압을 cut-off 주파수 $f_L = 1Hz$, $f_H = 8Hz$ 와 증폭도 125배로 설정해서 인체 감지용으로 적합한 주파수 대역과 증폭도를 구현하였다. 그림 9에서 보듯이, 이러한 동일조건 하에서 2개의 op-amp가 연결된 주변회로의 경우, 3Hz에서 입력전압 1V당 최대 $7.18 \mu V$ 의 잡음전압이 나타난 반면, quasi-boot-strap 회로의 경우, 3Hz에서 입력전압 1V당 최대 $4.03 \mu V$ 의 잡음전압을 나타내었다. 따라서, 본 연구에서 설계한 quasi-boot-strap 회로가 2개의 op-amp를 연결한 주변회로에 비해 40% 이상의 잡음을 감소시켜 주변회로로서 매우 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

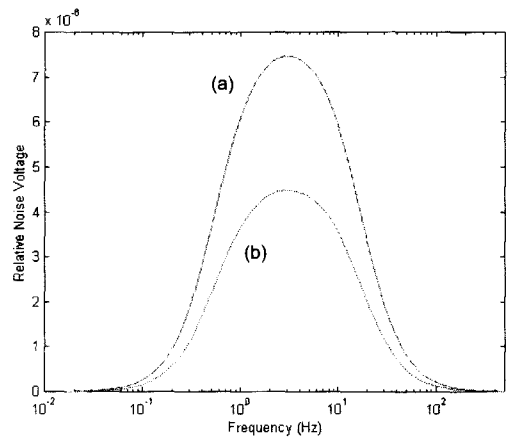


그림 9. (a) Double op-amp와 (b) quasi-boot-strap 회로에 의한 잡음전압 비교
Fig. 9. Plots of the relative noise voltage using (a) double op-amp and (b) quasi-boot-strap circuit.

IV. 결 론

전압감도(voltage responsivity), 잡음등가전력(noise equivalent power), 비검출능(specific detectivity) 등의 초전특성들을 각 파라미터의 상호작용을 고려하여 3차원으로 모델링하였다. 전압응답특성에서는 부하저항의 증가에 따라 높은 전압응답을 나타내는 반면, 주파수 대역폭이 감소하는 것을 알 수 있었다. 또, 저주파수(1Hz)의 경우는 단면적에 대한 의존성 없이 두께가 작을수록 큰 전압응답을 보였고, 고주파수(1MHz)의 전압응답은 $20G\Omega$ 의 부하저항에서 단면적이 작을수록 우수한 전압응답을 보이지만 두께에는 전혀 의존하지 않았다. 잡음등가전력에서는 1MHz를 넘는 고주

파수에서는 부하저항에 관계없이 주파수에 따라 잡음 등가전력이 증가하는 반면, 1MHz 이하의 주파수는 부하저항이 클수록 낮은 잡음등가전력을 나타내었다. 잡음등가전력의 두께와 단면적 의존성은 저주파수 영역에서는 단면적에 의존하지 않고 단지 두께에만 의존하였고, 고주파수 영역에서는 $2 \times 10^{10} \text{m}^2$ 이하의 단면적에서 부하저항에 따른 잡음등가전력의 차이가 아주 심하게 나타났다. 비검출능은 두께의 감소에 따라 높게 나타났는데, 특히 $20 \text{G}\Omega$ 의 부하저항, $4 \times 10^{-10} \text{m}^2$ 이상의 단면적, 그리고 $1 \times 10^{-5} \text{m}$ 이하의 두께에서 아주 우수한 비검출능을 보였다. 고주파수 영역에서 $1 \times 10^{-5} \text{m}$ 이하의 두께와 $2 \times 10^{10} \text{m}^2$ 이상의 단면적에서는 저항에 관계없이 높은 비검출능을 나타내어 부하저항 의존성 보다 두께와 단면적이 주요변수임을 확인할 수 있었다. 이로부터, 주파수, 부하저항, 두께, 그리고 단면적의 파라미터들이 초전특성들에 개별적으로 작용하지 않고, 서로 상호작용에 의해 영향을 미친다는 사실을 알 수 있었다. 특히, 초전형 적외선 센서를 응용하려는 목적과 주파수 대역에 따라 부하저항, 두께 그리고 단면적을 상호작용의 관점에서 고려하는 것이 필요하다라는 사실을 알 수 있었다.

다음으로 초전형 적외선 센서의 증폭회로를 설계하였다. 상업적으로 사용되는 2개의 op-amp가 연결된 주변회로와 우수한 잡음특성을 나타내기 위해 본 연구에서 설계한 quasi-boot-strap 회로를 비교하였는데, 두 경우 모두 동일하게 출력전압을 cut-off 주파수 $f_L = 1 \text{Hz}$, $f_H = 8 \text{Hz}$ 와 증폭도 125배로 설정해서 인체 감지용으로 적합한 주파수 대역과 증폭도를 구현하였고, 이때의 잡음전압을 비교하였다. 그 결과, 2개의 op-amp를 연결한 주변회로의 경우, 2Hz에서 입력전압 1V당 최대 $7.4 \mu\text{V}$ 의 잡음전압이 나타난 반면, quasi-boot-strap 회로의 경우 2Hz에서 입력전압 1V 당 최대 $4.4 \mu\text{V}$ 의 잡음전압을 나타내어 40% 이상 잡음을 저감시켰다. 따라서, 본 연구에서 제안한 quasi-boot-strap 회로가 정밀한 동작을 요구하는 센서의 증폭회로로서 매우 유망하게 사용될 수 있음을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] S. Saito, *Fine Ceramics*, Ohmsha, Tokyo, pp. 34, 1987.

- [2] S. Hiboux, P. Muralt, and T. Maeder, "Domain and Lattice Contributions to Dielectric and Piezoelectric Properties of $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ Thin Film as a Function of Composition", *J. Mater. Res.*, vol. 14, no. 11, pp. 4307~4318, 1999.
- [3] A. G. Chynoweth, "Dynamic Method for Measuring the Pyroelectric Effect with Special Reference to Barium Titanate", *J. Appl. Phys.*, vol. 27, pp. 78~84, 1956.
- [4] K. J. Button, *Infrared and Millimeter Waves*, Academic Press, New York, vol. 3, pp. 111~180, 1980.
- [5] G. H. Haertling, "Ferroelectric Ceramic : History and Technology", *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 84, pp. 797-818, 1999.
- [6] T. Kamada, R. Takayama, S. Fujii, T. Deguchi and T. Hirao, "Pyroelectric Infrared Sensors made of La-modified PbTiO_3 Thin Films and Their Applications", *Integrated Ferroelectrics*, vol. 11. pp. 15~24, 1995.
- [7] 김 재승, *센서 인터페이스, 기전연구사*, pp. 13 1~142, 1993
- [8] M. E. Lines and A. M. Glass, *Principles and Applications of Ferroelectrics and Related Materials*, Clarendon Press, Oxford, pp. 559~566, 1979.
- [9] R. K. Willardson and A. C. Beer, *Semiconductors and Semimetals*, Academic Press, New York, vol. 5, pp. 259~285, 1975.
- [10] M. Simhony and A. Shaulov, "Pyroelectric Voltage Response of Step Signals of Infrared Radiation in Triglycine Sulphate and Strontium-Barium Niobate", *J. Appl. Phys.*, vol. 42, pp. 3741~3744, 1971.
- [11] C. M. Wang, "Pyroelectric Properties of La-modified Lead Titanate Thin Film Detectors", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 38, pp. 2831-2834, 1999.
- [12] R. W. Whatmore, "Pyroelectric Ceramics and Devices for Thermal Infra-Red

- Detection and Imaging”, *Ferroelectrics*, vol. 118, pp. 241~259, 1991.
- [13] J.G. Graeme, G.E. Tobey and L.P. Huelsman, *Operational Amplifiers Design and Applications*, McGraw-Hill, Tokyo, pp. 201~281, 1981.
- [14] Wen-Yaw Chung, Tai-Ping Sun, Yung-Lung Chin and Yuan-Liang Kao, “Design of Pyroelectric IR Readout Circuit Based on LiTaO₃ Detectors”, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, vol. 4, pp. 225~228, 1996.

— 저 자 소 개 —

閔 庚 填(正會員) 第37卷 SD編 4號 pp. 252 參照
 1972년 11월 19일생. 1998년 2월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업(B.S.). 1998년 2월~인하대학교 전자재료공학과 석사과정. 주관심분야는 초전형 적외선 센서 응용을 위한 강유전체 박막

姜 聲 俊(正會員) 第37卷 SD編 4號 pp. 252 參照
 1965년 7월 10일생. 1989년 2월, 인하대학교 응용물리학과 졸업(B.S.). 1994년 8월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업(M.S.). 1999년 2월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업(Ph.D.). 2000년 2월~현재, 여수대학교 반도체 응용물리학과 전임강사. 주관심분야는 ULSI DRAM 응용을 위한 강유전체 박막, 차세대 비휘발성 메모리(NVFRAM 및 MFSFET) 응용을 위한 강유전체 박막, Pyroelectric 센서

尹 英 夔(正會員) 第37卷 SD編 4號 pp. 252 參照
 1952년 9월 7일생. 1975년 2월, 서울대학교 금속공학과 졸업(B.S.). 1975년 2월, 한국과학기술원 재료공학과 졸업(M.S.). 1988년 U.S.C. 전자공학과 졸업(Ph.D.). 1987년 3월~1988년 5월, Oklahoma State University 대우교수. 1988년 12월~1989년 6월, UCLA Device Research Lab. 연구원. 1989년 8월~1992년 2월 삼성전자 기흥반도체연구소 수석연구원. 1996년 4월~현재 인하대학교 전자재료공학과 부교수. 주관심분야는 ULSI DRAM을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectric 센서, SAW Device