

Pyroelectric Sensor

박 용 수

포항공과대학교 신소재공학과

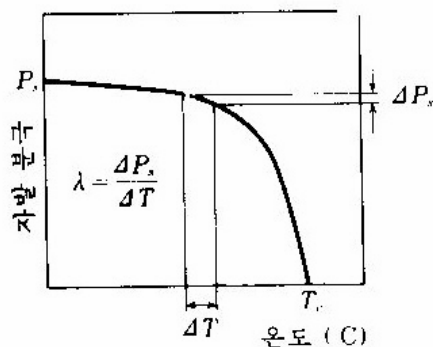
1. 서론

초전 센서는 기본적으로 열 트랜스듀서이다. 초전 센서의 검지부는 열을 전자나 전압, 전류와 같은 측정 용이한 물리량으로 변환시키는 기능을 한다. 특히 빛을 파장에 관계없이 열로써 흡수하여 그 양을 측정할 수 있다는 점 때문에, 물체의 온도를 비접촉적으로 측정하거나 적외선을 감지하는 여러 가지 분야에 유용하게 사용되고 있다.

본고에서는 초전 현상이 무엇 인지와 그것이 실제로 나타나는 물질들에 대해서 고찰하고, 그 후에 이를 이용하여 만드는 초전 센서에서 고려해야 할 점이 무엇인지를 알아본 후, 마지막으로 이 센서를 통해서 응용할 수 있는 분야들에 대하여 살펴보도록 하겠다.

1.1 초전 현상(pyroelectric effect)

결정질 물질의 경우, 32개의 point group 중에서 대칭중심을 갖지 않는 20종의 결정에 포함되는 결정의



<그림1. 자발분극의 온도특성 [7]>

초전성 결정은 강유전체(ferroelectric)와 비강유전체(non-ferroelectric)로 나눌 수 있는데, 전자는 BaTiO₃,

경우 압전성을 띄게 된다. 이 중에서 대칭성이 특히 낮은 10종의 결정족(1, m, 2, mm2, 3, 3m, 4, 4mm, 6, 6mm)은 전계나 응력이 가해지지 않는 상태에서 자발적으로 분극을 하며 이를 자발분극(spontaneous polarization, Ps)이라고 부른다. 이것이 세라믹, 폴리머, 복합재료로 되어있을 경우에는 textural or basic Curie point group(∞,∞m)를 이룬 경우에 이러한 현상이 발생할 수 있다[2].

결정의 온도를 바꾸었을 때, 원자의 열 운동 상태의 변화나 열팽창에 의한 형상변화 때문에 Ps는 온도의 함수가 된다. 따라서 이 결정을 바깥에서 보면, 온도 변화에 따라서 Ps의 변화가 결정 표면에 나타나기 때문에 전위 변화를 일으키게 된다. 이 성질을 초전성이라 부른다[5]. 이때 생기는 전하량은 처음에서 마지막 온도에만 의존하고, 가열의 속도에 의지하지 않는다. 또한 전기축에 수직인 단면적에 비례하고, 결정의 길이와는 상관이 없다[6].

KDP, LiNbO₃등이 있으며, 외부 전계를 가했을 때 Ps의 방향이 쉽게 바뀌는 물질이다. 강유전체의 초전 현상은 보통 Curie point(Tc)이하에서 존재하며, 비강유전체에 비하여 온도 의존성이 더 심하다[2].

1.2 Primary and Secondary Pyroelectric Effect

초전 상수(p)는 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$p = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{E, \sigma}$$

P: polarization, T: 온도, E: 전기장, σ: 탄성응력
이것을 그 기원에 따라서 분리하면 다음과 같은 식으로 나뉘지게 된다.

$$p_i^\sigma = p_i^\epsilon + d_{ijk}^T c_{jklm}^{T,E} \alpha_{lm}^\sigma$$

Materials	Point group symmetry	Observed total effect $\mu\text{C}/(\text{m}^2 - \text{K})$	Calculated secondary effect $\mu\text{C}/(\text{m}^2 - \text{K})$	Primary effect $\mu\text{C}/(\text{m}^2 - \text{K})$
A) Ferroelectrics				
a) ceramics				
Pb(Zr _{0.52} Ti _{0.48})O ₃ :1 wt%Nb ₂ O ₅ (PZT)	∞m	- 50	+ 60	- 110.0
BaTiO ₃	∞m	- 190.0	+ 80.0	- 270.0
Pb(Zr _{0.95} Ti _{0.05})O ₃ :1 wt%Nb ₂ O ₅ (PZT)	∞m	- 268.0	+ 37.7	- 305.7
b) single crystal				
Sr _{0.5} Ba _{0.5} Nb ₂ O ₆ (SBN)	4 mm	- 550	- 21.0	- 529.0
(NH ₂ CH ₂ COOH) ₃ · H ₂ SO ₄ (TGS)*	2	- 270	+ 60.0	- 330.0
LiTaO ₃	3 m	- 176	+ 2.00	- 178
LiNbO ₃	3 m	- 83.0	+ 12.9	- 95.9
Pb ₅ Ge ₃ O ₁₁	$\bar{3}$	- 95.0	+ 15.5	- 110.5
Ba ₂ NaNb ₅ O ₁₅ **	2 mm	- 100.0	+ 41.8	- 141.8
NaNO ₂	2 mm	- 140.0	- 5.0	- 135.0
B) Non-ferroelectrics				
Li ₂ SO ₄ (H ₂ O)	2	+ 86.3	+ 26.1	+ 60.2
tourmaline	3 m	+ 4.0	+ 3.2	+ 0.8
bone	∞	+ 25 × 10 ⁻⁴	+ 117 × 10 ⁻⁴	- 92.0 × 10 ⁻⁴
Ba ₂ Si ₂ TiO ₈ (Fresnoite)	4 mm	+ 10	+ 22, + 16	- 12.0, - 6.0
Li ₂ GeO ₃	2 mm	- 27	- 12.8	- 14.2
Ba(NO ₂) ₂ (H ₂ O)		- 25.3	- 3.3	- 22.0
C) Semiconductors (Wurtzite structure)				
CdS	6 mm	- 4.0	- 1.0	- 3.0
CdSe	6 mm	- 3.5	- 0.56	- 2.94
ZnO	6 mm	- 9.4	- 2.5	- 6.9
ZnS***	6 mm	0.43	+ 0.34	
BeO	6 mm	- 3.40	- 0.008	- 3.39

*) Average value of the wide range of reported values between 200 to 350 $\mu\text{C}/(\text{m}^2 - \text{K})$.

**) Maximum value of p measured on the sample.

***) No reported sign for p^p ; no information about polytypic nature of the sample.

<표1. Primary, secondary and other observed pyroelectric effects at room temperature[2]. >

p_i^σ : total pyroelectric effect at constant stress,

p_i^ϵ : pyroelectric effect at constant strain

ϵ , d: piezoelectric coefficient, c: elastic stiffness,

α : thermal expansion coefficient.

우변의 첫번째 항을 primary effect 라고 하고, 두 번째 항을 secondary effect라고 한다[1]. 두 번째 항은 재료의 열팽창에 의한 효과를 설명하는 항이 된다. (재료의 불균일한 온도분포에 의한 효과를 tertiary effect라고 부르는데, 여기에 대해서는 아직 연구가 제대로 완결되어 있지 않다[2].)

강유전체에서는 일반적으로 primary effect가 우세하며, 온도 증가에 따라서 분극이 감소하는 성질 때문에 그 값은 음수가 되는 것이 보통이다. 비강유전체에서는 특별히 이에 대한 설명이 없으며, 현실적으로는 총 초전효과를 측정으로써 구하고 d, c, α 값을 이용해서 secondary effect의 크기를 계산하여 각각을 구하게 된다[2].

위 표에서, 강유전체의 경우 대체로 primary effect와 총 초전효과가 큰 값을 보이고 있음을 알 수 있다. Secondary effect는 대체로 작은 값을 가지면서 양수여서, 총 효과에서 primary effect를 상쇄하는 역할을 하고 있다. TGS, Ba₂NaNb₅O₁₅, ceramics PZT, BaTiO₃의 경우에는 secondary effect의 크기가 총 효과에 상당히 큰 영향을 줄 것임을 알 수 있다[2].

비강유전체의 경우에는 강유전체에 비하여 상대적으로 작은 초전효과 값을 보이고 있다. 여기서는 secondary effect의 비중이 상대적으로 크음을 볼 수 있다. 예를 들어 tourmaline의 경우 총 효과의 80%가 secondary effect에서 나오고 있다[2].

1.3 Induced Pyroelectric effect

전계 E가 극성 축을 따라 극성물질의 양단에 걸렸을 경우, 유전 전위 D는 다음과 같이 주어진다.

$$D = \epsilon_0 E + P_s$$

만약 E를 고정시킨다면,

$$\frac{\partial D}{\partial T} = \frac{\partial P_s}{\partial T} + \epsilon_0 E \frac{\partial \epsilon_r}{\partial T}$$

$$p_g = p + \epsilon_0 E \frac{\partial \epsilon_r}{\partial T}$$

여기서 p_g 를 generalized pyroelectric coefficient, p 를 pyroelectric coefficient라고 부른다[4]. 우변의 두 번째 항은 induced pyroelectric effect(p_{ind})라고 불리며, 극성이든 아니든지 간에 유전체라면 모두 나타내는 성질이다. 그런데, 강유전체는 Curie점 근처에서 유전상수의 온도변화율이 대단히 크기 때문에, 그로 인해서 나타나는 p_g 의 크기는 상당히 클 수 있다[2]. p 를 주로 이용하는 경우를 초전 모드(pyroelectric mode)라고 하고 p_g 를 이용하는 경우를 유전성 볼로미터 모드(dielectric bolometer mode)라고 한다[3]. 그러나 이를 이용하기 위해서 매우 안정적인 DC 전압을 걸어주는 것이 그리 쉽지 않다는 문제점이 있다 [2][3][4].

유전성 볼로미터 모드에 대해서 흥미로운 점이 있다면, DC bias가 매우 큰 상태에서는 유전 손실($\tan\delta$) 값이 매우 작아진다는 것이다. 즉, DC bias가 매우 큰 상태에서는 domain wall의 움직임이 저지되기 때문이라는 것이다. 이에 따라서 유전 손실과 관련된 잡음이 감소되어 검출능을 통상의 초전 센서보다 우수한 수준으로 끌어올릴 수 있다[2]. 이 모드에서 사용되는 재료로는 BST((Ba,Sr)TiO₃), PScT, PZMN(Pb(Zn,Mg)_{1/3}Nb_{2/3}O₃) 등이 있다[3]

1.4 재료평가지수(Figure of merits)

초전 물질은 여러 가지 용도로 사용되고 있는데, 그 용도에 따라서 물질의 선택 기준은 다르게 된다. 다음 4가지는 이 중에서 가장 빈번하게 사용되는 기준들이다.

$$i) F_D = \frac{p}{C_p \rho \sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \tan \delta}} \quad \text{pyroelectric point}$$

detector

$$ii) F_i = \frac{p}{C_p \rho} \quad \text{fast pulse detector}$$

$$iii) F_v = \frac{p}{C_p \rho \epsilon_0 \epsilon_r} \quad \text{large area detector}$$

$$iv) F_{vid} = \frac{p\gamma}{C_p \rho \epsilon_0 \epsilon_r} \quad \text{vidicon}$$

where C_p : 비열, ρ : 밀도, ϵ_0 : 진공 유전율,

ϵ_r : 유전상수,

$\tan \delta$: 유전 손실(dielectric loss tangent),

γ : 역열방산계수

(reciprocal thermal diffusivity),

p : 초전 상수

위의 식들을 살펴보면, 대체로 $\frac{p}{\epsilon_r}$ 값이 클 수록 좋

은 초전 재료가 된다는 사실을 눈치챌 수 있다[2].

1.5 실제 초전 물질들의 분류와 특성.

실제 쓰이는 초전 재료로는 주로 강유전체가 쓰이고 있다.

세라믹 초전 재료는 내구성이 좋고 다양한 성분이 첨가된 재료를 재현성 있게 제조할 수 있는 이점이 있다. 일반적으로 적외선 감지소자에 사용되는 저 유전율 초전 재료는 PZT를 기본으로 하고, 여기에 La₂O₅, SrTiO₃, NbO₅, FeO₃등을 다양하게 첨가하여 큐리 온도 및 초전 계수를 변화시킨 것이다[3]. PbTiO₃계는 단결정의 형성이 곤란하기 때문에 세라믹스가 사용되고 있다[8].

Material	E [kV/m]	T_c [°C]	c' [J/cm ³ K]	p' [μC/cm ² K]	ϵ_r	$\tan \delta$	F_v [cm ² /C]	F_D [cm ³ /J] ^{1/2}
BST(67/33)	1	21	3.2	23.0	31,000	0.028	2,700	0.84
BST(67/33)	2	22	3.2	6.3	33,000	0.021	670	0.25
BST(67/33)	6	24	3.2	0.7	8,800	0.004	280	0.12
BST(65/35)	40	29	2.5	0.1	1,200	0.0013	380	0.11
PSCT(박막)	53	40	2.7	0.38	29,000	0.0027	550	0.17
PZN/BT/PT(80/10/10)	0	12	2.7	5.93	4,670	0.01	5,310	1.08

< 표2. 볼로미터 모드 재료 [3]>

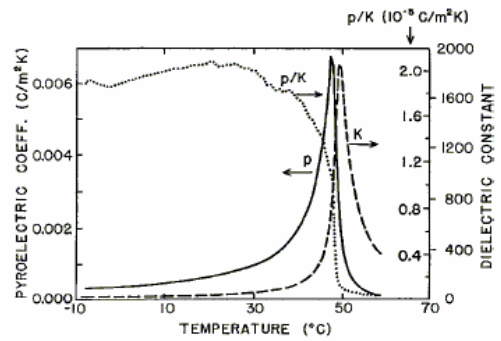
재료	ϵ	T_c (°C)	λ' (C/cm ² ·K)	C (g/cm ³ ·K)	d (g/cm ³)	$\lambda'/\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot C$ (C·cm/J)
PbTiO ₃	200	470	6×10^8	3.2	7.78	0.93×10^{-10}
LiNbO ₃	31	1210	0.5 "	2.8	4.64	0.58 "
LiTaO ₃	54	618	2.3 "	3.2	7.45	1.35 "
SBN	380	115	6.5 "	2.1	5.2	0.81 "
PZT	1800	270	2.0 "	3.0	7.6	0.04 "
TGS	35	49	4.0 "	2.5	1.66	4.6 "
PVF ₂	11	~120	0.4 "	0.33	1.7~1.8	1.45 "

<표3. 주요 초전 재료의 물성치, λ : 초전 상수[8]>

단결정 초전 재료들은 유전율이 100이하로 낮고 유전손실도 작기 때문에 초전계 수가 낮아도 높은 성능지수를 나타내어 단소자 초전 센서로 응용이 가능하다[3]. 그 중 TGS (Triglycine sulfate, (NH₂CH₂COOH)₃H₂SO₄)는 단결정 초전 재료의 대표적인 재료로서 figure of merit(표의 가장 오른쪽 열)이 높다. 그럼에도 불구하고 습도에 약한 단점이 있다. 그러나 몇몇 물질을 첨가하여 변형시킨 DTGS, ATGSAs 등으로 이 문제가 해결되었다[3]. 그럼에도 불구하고 단결정 초전 재료는 다양한 성분이 첨가된 단결정을 재현성 있게 제조하기 어려울 뿐만 아니라 제조단가, 가공비 등이 높은 문제가 있다고 한다[3]. 다음은 변형된 TGS계 물질들의 물성치들이다.

위 표에서 D=deuterium, B=beryllium, F=fluorite, M=manganese, P=phosphorous, As=arsenic, L=lithium, A=alanine 을 의미한다.

그림 2.는 ATGSAs의 p , ϵ_r , p/ϵ_r 값의 온도의존성을 보여주는 것으로서, ATGSAs의 큐리점 51°C근방에서 급격한 물성변화가 있음을 확인할 수 있다.



<그림2. p , $\epsilon_r(=\kappa)$, p/ϵ_r 의 온도의존성[2]>

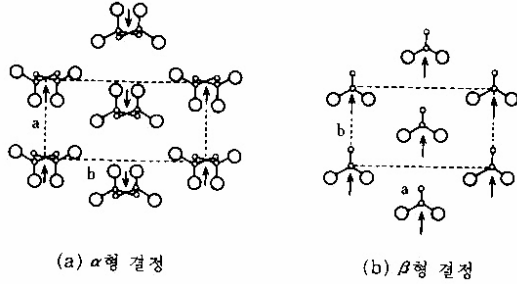
단결정 중에서는 LiTaO₃가 가장 많이 사용되는데, 높은 큐리 온도로 인하여 특성의 온도안정성이 뛰어나기 때문에 단소자형 검출기에 적합하다. 반면에 열전도도가 높기 때문에 비디콘에는 부적합하다[3].

PVDF(폴리불화비닐리덴, PVF₂)는 TGS와 같은 고분자 물질로서 필름으로 만들어 사용한다. (CH₂-CF₂)_n의 분자식을 가지는 매우 극성이 강한 고분자이며, 성형조건에 따라서 α 와 β 의 2종류의 결정형으로 존재하게 된다. α 형에서는 분자고리 안에 쌍극자를 갖고는 있으나, 단위 격자 중에서는 분자고리 2개가 서로 역 방향으로 향해서 들어가 있어서 쌍극자 모멘트가 서로 상쇄된다. β 형에서 큰 압전성, 초전성을 나타내게 된다[9]. PVDF를 용융하여 시트상으로 밀어내면 α 형 결정이 생기며, 이를 60~100°C에서 4배 이상으로 롤링하면(저온축연신법) β 형 결정이 만들어진다. 여기에 양면에 알루미늄을 증착시켜 100°C정도의 온도에서 높은 전계를 걸면 poling된다[10].

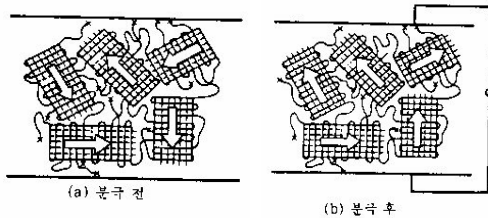
Material	κ	p ($\mu\text{C}/\text{m}^2 - \text{K}$)	P_s ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)	T_c (°C)	p/κ ($10 \mu\text{C}/\text{m}^2 - \text{K}$)
TGS	30	330	3.0	49	1.1
DTGS	19	270		62	1.4
TGFB	14-16	210-140		73	1.5
DTGFB	11-14	190-240	4.3	75	1.7
LTGS	40	400	3.7	49	1.0
MTGS	40	560	4.6	49	1.2
ATGSP (25°C)	30-32	650	5.0	51	2.0
ATGSAs (25°C)	32	700	6.0	51	2.1-2.3
ADTGSP	22	460	5.3	60	2.1
ADTGSAAs	23	500	6.2	62	2.2

<표4. TGS계열 초전 물질들의 물성치. (각각의 최적온도에서의 값)[2]>

이 물질은 기계적으로 튼튼하며, TGS에 비하여 열과 진공, 습기에 강한 장점이 있다. 그러나 $\tan\delta$ 값이 비교적 큰 것이 단점이다[1].



<그림3. PVDF의 결정구조[9]>



<그림4. PVDF의 분극 전후의 모습[9]>

2. 초전 센서

초전 센서는 빛의 파장에 관계 없이 빛의 방사 에너지를 전기적 신호로 바꿔주는 특징을 갖고 있으며, 특히 공기 중에서 원적외선 영역의 투과도가 높기 때문에 이 영역에서의 탐지에 유용하게 쓰일 수 있다[2].

2.1 온도센서 및 적외선(IR) 센서의 구분

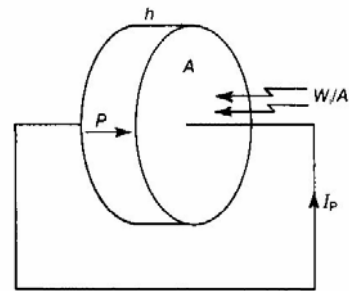
초전 센서는 기본적으로 온도 센서 및 적외선(IR) 센서로서 역할 한다. 일반적으로 온도센서는 직접 물체에 접촉하여 감지 하는 경우와(접촉식), 물체로부터 그 온도에 대응해서 방사하고 있는 적외선을 측정하여, 역으로 물체의 온도를 감지 하는 경우(비접촉식)로 나누어진다[11].

적외선 방사에너지의 측정에는 열형 온도 센서와 양자형 온도센서를 사용한다. 열형에는 볼로미터(bolometer), 서모파일(thermopile), 초전형 센서(pyroelectric sensor), 골레이 셀(golay cell, pneumatic cell) 등으로 나뉘어지며, 양자형에는 광도전형(photoconductive, PC)과 광기전력 형(photovoltaic,

PV)으로 나뉘어진다. 일반적으로 양자형의 재료가 열형에 비하여 훨씬 뛰어난 성능을 갖는 경향이 있으나, 양자물 구조를 가진 GaAs/GaAlAs 반도체를 제외하면 양자형의 재료들은 모두 4K 내지 77K의 극저온에서만 비로소 좋은 성능을 나타내는 단점이 있다[14].

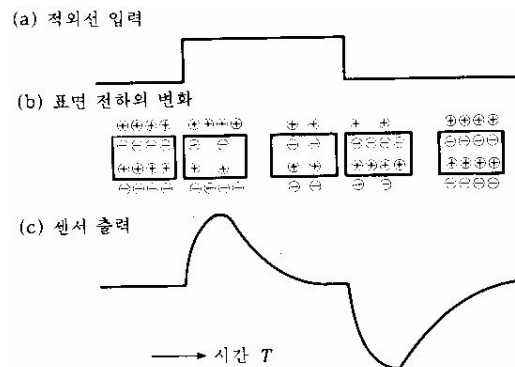
2.2 초전 센서의 원리

빛의 입사에너지에 의하여 빛이 닿은 물체의 온도가 올라가는 점을 이용하면 온도 변화에 따라서 분극의 크기가 변하는 초전성을 이용하여 입사한 빛의 세기를 측정하는 것이 가능하다.



<그림5. 초전 센서의 개념적 형태[4]>

이때 물체로부터의 적외선 방사에 변화가 없을 경우에는 초전 출력을 얻는 것이 불가능하기 때문에, 이동물체 혹은 온도가 변화하는 물체 이외의 온도를 감지하는 경우에는 초퍼(chopper)에 의해 입사 적외선을 변조한다.



<그림6. 초전체의 신호 발생 원리[8]>

초전체에 초퍼에 의하여 각주파수 w 로 초퍼 된 적외선이 입사 되었을 때 입사 된 빛의 에너지 크기는 $W(t) = W_0 e^{iwt}$ 로 표시될 수 있다. 이는 다시 다음과 같은 평형식을 도출하는데 사용할 수 있는데, 즉,

$$\eta W(t) = H_T (dT/dt) + G_T T$$

where η : 수광 효율(light absorbance),

H_T : 열용량, G_T : 열전도율, t : 시간

이 미분방정식의 해는,

$$T = [\eta W_0 e^{i\omega t}] / [G_T + i\omega H_T]$$

가 된다. 전류 감도(R_I)는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} R_I &= I / W_0 = (dq/dt) / W_0 \\ &= [d(pAT)/dt] / W_0 \\ &= (\eta p A \omega) / [G_T (1 + \omega^2 \tau_T^2)^{1/2}] \end{aligned}$$

where I : 전류, q : 초전 전하, A : 센서의 전극면적,

p : 초전 상수, τ_T : 열 시상수($= H_T/G_T$)

전압 감도(R_V)는 다음과 같이 정의된다.

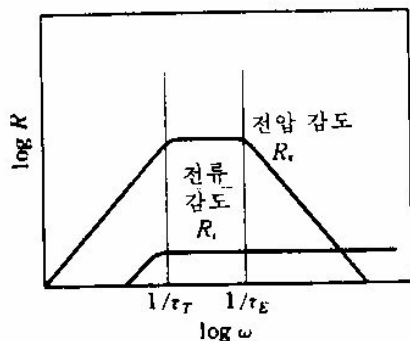
$$\begin{aligned} R_V &= V / W_0 = [I / (G_E + i\omega C_E)] / W_0 \\ &= (\eta p A \omega) / [G_T G_E (1 + \omega^2 \tau_T^2)^{1/2} (1 + \omega^2 \tau_E^2)^{1/2}] \end{aligned}$$

where G_E : 전기 전도도, C_E : 정전 용량,

τ_E : 전기 시상수($= C_E/G_E$)

위 식들을 살펴보면, 열전도율(G_T)은 작을 수록 좋고, η, p, A 는 클수록 유리하다는 것을 확인할 수 있다[2]. 따라서 열의 발산을 감소시키기 위해서 검지부를 열적으로 고립시키는 것은 필수적이다. 검지부와 다른 부분과의 사이에 빈 공간(air gap)을 만들거나, 열전도도가 낮은 운모 따위로 차단하는 방법 등이 사용된다[2]. 검지부 전극의 η 를 증가시키기 위해서는 금속 박막에 금속 흑(metallic-black) paste를 바르거나 금속을 증착 혹은 전기 도금하는 방법을 사용하곤 한다[2].

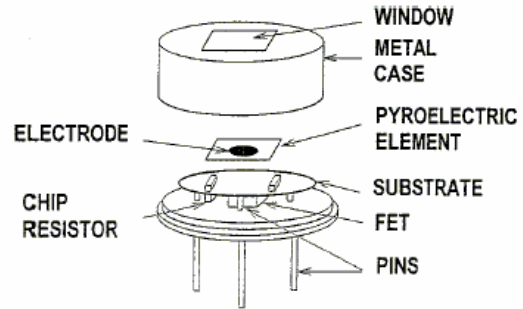
한편, 전압 감도와 전류 감도의 초평 주파수에 대한 의존도는 다음 그림과 같다.



<그림7. 초전 센서의 주파수 응답[8]>

2.3 센서의 구성

단소자 초전 센서는 크게 창(window), 검지부(pyroelectric element), 신호 처리부(integral electronics)로 구성된다.



<그림8. 일반적인 단소자 초전 센서의 디자인[2]>

2.3.1 창(Window)

창은 외부로부터의 물리적인 손상이나 습기 혹은 화학적인 환경으로부터 센서 내부에 있는 검지부와 내부 전자회로 등을 보호하며, 원하는 파장대의 적외선만을 통과시키는 광학 필터로서의 기능도 가지고 있다[2][3].

창 재료를 선택하기 위해서는 검지 대상이 무엇인지, 무엇이 방해할 하는가를 먼저 알아야 한다. 만약 예를 들어 검지대상이 사람이나 동물이라면, 흑체 복사론에 따라 10μm 부근에서 복사광의 강도가 가장 높으며, 방해하는 요소로는 태양, 자동차 헤드라이트, 전등의 불빛 등을 예상할 수가 있다. 이들 방해원의 파장은 인체에 의해서 복사된 적외선에 비해서 훨씬 짧기 때문에 방해원의 파장보다 훨씬 긴 파장들만 통과시키는 장파장 투과필터를 택하면 된다[2][3]. 기체 분자의 탐지를 위해서는 매우 좁은 범위의 파장만을 통과시키는 필터를 선택하면 된다[2].

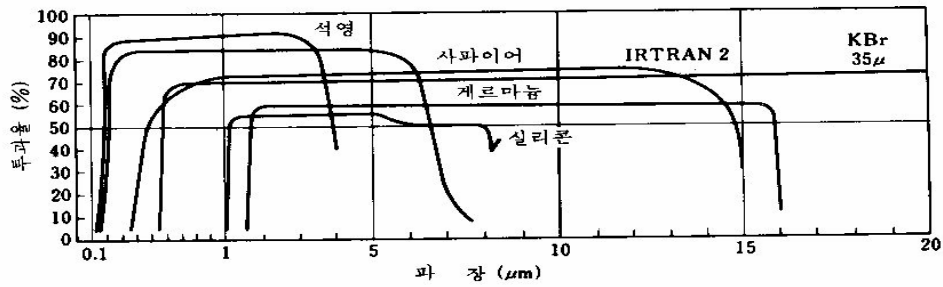
Ge, Si, Al₂O₃, ZnS 등에 MgF₂, BaF₂, PbF₂, CaF₂, ZnSe의 층들을 피복한 것들이 창 재료로써 많이 사용되고 있다[2].

2.3.2 검지부

초전 센서의 검지부에는 단결정이나 세라믹을 얇은 웨이퍼로 만든 초전 재료를 사용한다. 사용온도에 비해 T_c 가 높아야 하고, 해당 용도에 대한 figure of merit가 높아야 한다. 일반적으로 검지부가 얇을 수록 잡음의

크기는 줄어든다[2].

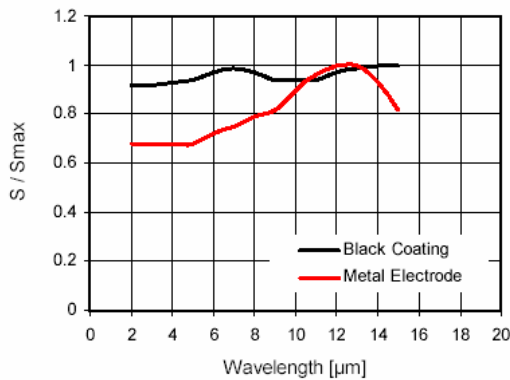
초전 센서는 스스로 신호를 발생시키기는 하지만, 그



<그림9. 초전 센서 창 재의 파장 특성[8]>

웨이퍼의 양면에는 전극을 부착하는데, 이중 앞면의 전극은 적외선을 받아들이는 수광 전극으로 적외선을 잘 흡수할 수 있도록 적절히 처리되어 있다. 수광 전극으로는 금흑(Gold-black), 백금 흑(Pt black), 니크롬 흑(NiCr black)과 같은 금속 흑이나, 금속 박막, SCA(single cavity absorber)나 DCBA와 같은 다층 박막이 사용되고 있다[17].

전착이나 증착으로 제조한 금속 흑은 열용량이 작고, 수광 효율이 1.0에 거의 필적하여 수광체로 적합하며, 그의 두께는 수μm이다. black-coating 물질이 큰 thermal mass를 가진다면 빛의 에너지 대부분이 black-coating에서 소모되고 초전 물질에는 영향을 끼치지 못하므로, 적외선 흡수 재료는 열용량(heat capacity)이 작고 열전도도가 높아야 한다[20]. 수광 전극을 다층박막으로 만들었을 경우에는 특정 파장대의 수광 효율만을 높게 만들 수 있으므로, 창을 광학적 필터로 하였을 때의 특정 파장대의 빛만 흡수시키거나 반사 시키고자 할 때 그 효과가 배가된다[17].

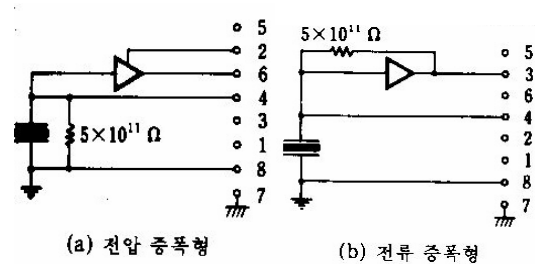


<그림 10. 금흑 사용유무에 따른 파장별 감도(S)[19]>

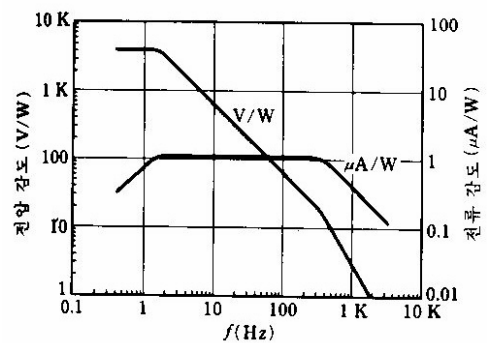
2.3.3 신호 처리부

강도가 충분히 크지 않기 때문에, 출력 신호를 읽기 위해서는 별도의 부가적인 증폭회로가 필요하다. 전압을 출력으로 얻는 경우(voltage follower)와 전류를 출력으로 얻는 경우(current amplifier) 두 가지로 나뉜다 [2][3].

전압 출력형의 경우에는 소자와 부하 저항 및 FET 등을 사용하여 impedance converter 회로를 구성할 수 있다. 이 형태는 신호/잡음 비(S/N 비)가 좋고 최대 전압 응답성이 크고 저주파에서 감도가 좋다. 그러나 초평 주파수에 대한 의존도가 심하여 저주파수에서만 사용해야 하는 제약이 있다. 전류 출력형의 경우에는 FET input OP-AMP 등을 사용하여 전류모드 증폭회로를 구성한다. 이 형태는 응답성의 주파수 의존성이 적어 시스템을 쉽게 고성능화 시킬 수 있다[18].



<그림11. 초전 센서의 증폭회로[8]>



<그림12. 초전 센서의 주파수 응답 특성 예

(LiTaO₃)[8] >

2.4 잡음(noise factors)

센서의 감도와 잡음 정도를 측정하기 위한 기준 중 하나로 잡음등가전력(noise-equivalent power, NEP)이 있고 다음과 같이 표현된다.

$$NEP = V_N / R_V$$

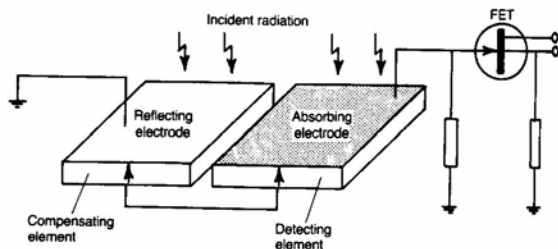
V_N : rms noise voltage

또는 잡음이 적을 수록 증가하는 값을 갖도록 표현하기 위해서 검출능(detectivity, D)라는 기준을 사용하기도 한다. $D = 1/NEP$ 이다.

단순한 초전 센서에서의 잡음원은 크게 세가지로 구분되는데, 첫째는 열 잡음(V_t)이고, 둘째는 유전체 잡음(V_d : Johnson noise), 셋째는 증폭기 잡음(V_e , V_i , V_r)이다. 통상 이 중에서 유전체 잡음이 가장 심하며, 이는 $\tan\delta$ 값에 비례하는 성질이 있다[2].

2.5 잡음 보상 구조

주변 온도의 변화나 기계적인 진동, 전자기적인 간섭이나 포장 용기의 갑작스러운 열팽창 따위로 인한 stress 조건 변화 따위의 주변 환경 변화는 초전 센서로 하여금 원하지 않는 출력을 내놓도록 하게 한다. 이에 대해서는 전기 전도성을 가진 창재 사용이나, 전체 접합기 설계를 잘 하거나, 지지대를 1개 점에만 설치하거나 하는 등의 방법으로 대응할 수 있다[2][3]. 이 외에도 이러한 종류의 잡음에 대항하는 방법으로 잡음 보상 구조 센서를 설계하는 것이 있다. 즉, 두 개의 반대 방향으로 분극된 같은 센서 소자를 직렬 혹은 병렬로 연결하고, 이 중에서 한 쪽의 소자만이 적외선을 받을 수 있도록 해 두는 것이다. 이럴 경우, 적외선이 아닌 것에 의한 외부 자극은 양 쪽의 센서 소자가 서로 상쇄시키기 때문에 잡음이 사라지게 되는 것이다[2][4].



<그림 13. 압전 효과로 인한 전류를 보상하기 위한

dummy 소자[4]>

2.6 빈 공간(Air gap)

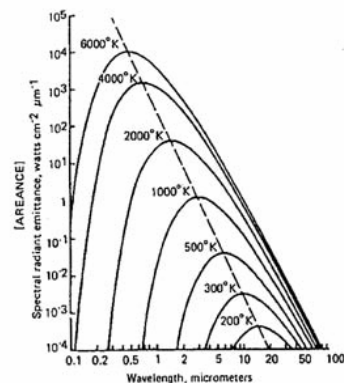
검지부의 열전도도가 낮을 수록 감도가 좋아진다. 따라서 열의 발산을 감소시키기 위해서 검지부를 열적으로 고립시키는 것은 필수적이다. 검지부와 기판과의 사이에 빈 공간(air gap)을 만드는 것이 한가지 방법이다. 빈 공간이 클 수록 감도는 좋아진다. 그러나 이것은 비교적 높은 주파수에서만 해당하며, 낮은 주파수와 중간 범위의 주파수 영역에서는 그렇지 못해, 공기 층이 좋은 열적 부도체 역할을 하지 못한다고 한다[21].

3. 응용

초전 센서는 비냉각형으로서 실온에서 작동하며, 이에 따라 저렴한 운용 비용으로 적외선 센서로서의 응용이 가능하다. 자동문 시스템, 전자레인지, 인체 센서, 침입 경보기, 화재감지기, 비접촉 온도측정, 제품 검사, 적외선 사진촬영 등으로 널리 사용된다[1]. 열상 획득을 위해서는 비디콘으로 만들어 사용할 수도 있고, 단소자/리니어소자/2차원 배열 소자로 만들어 각 화소 별로 작은 별도의 독립된 회로를 만들어 사용하는 것도 가능하다.

3.1 적외선

흑체 복사 이론에 따르면 500K 흑체에서의 방사 스펙트럼의 피크는 5.8 μ m, 300K 흑체로부터는 9.7 μ m가 된다.



<그림 14. 흑체 복사의 온도와 파장의존성[14]>

이런 식으로, 적외선을 관찰하면 해당 물체의 온도를 알 수 있다. 아울러 적외선은 물체 자체에서 발생하는 빛이기 때문에 야간에도 관측이 가능하다. 적외선은 먼

지나 일반적인 연막차장에 대해서도 투과력이 있고, 전파와 비교할 경우, 파장이 훨씬 짧기 때문에 상대 물체를 가시광과 마찬가지로 상으로써 포착하는 것이 가능하다[14]. 또한 전파와 같은 방해물 받지 않는다. 실제로 주간 기상조건별 탐지능력 시험을 해 보았을 때, 열상 야시장비의 성능은 강우, 안개, 먼지, 일반연막에 대하여 전혀 영향을 받지 않는 것으로 나타난다[13]. 단, 적외선 차단을 목적으로 하는 흑연 가루 종류의 특수 연막에는 통과가 불가능하다[12].

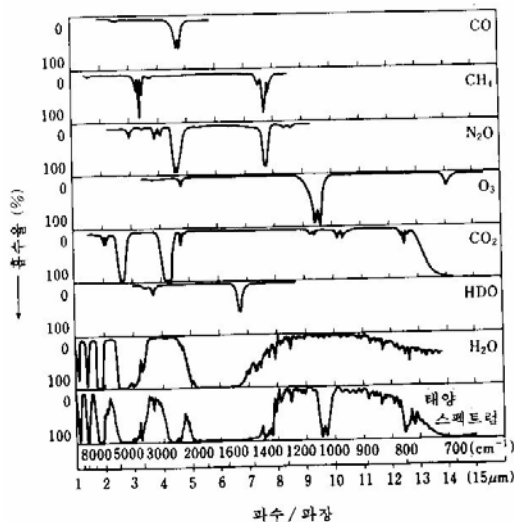
다만, 대기중의 물질들이 특정 파장에 대해 선택적인 흡수를 하기 때문에, 관측용으로 사용할 경우에는 이 파장대역들은 사용하는 것이 불가능하다. 거꾸로 이를 이용하여 특정한 대기물질을 확인하는 것은 가능하다.



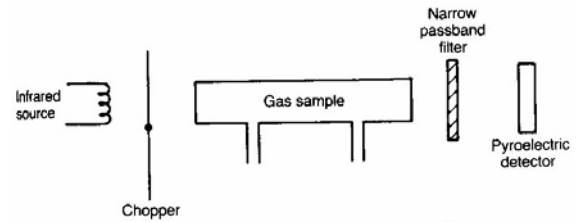
<그림 15. 컷속형 전자체온계[22]>

3.2 가스 검출기 (CO₂)

CO₂의 경우에는 4.3μm 부근의 빛을 강하게 흡수하는 성질이 있다. 이 경우 이 파장대역을 통과시키는 필터(narrow passband filter)를 채용한 초전 센서를 이용하면, 적외선을 원하는 샘플에 통과시키고 다시 초전 센서로 닿게 하였을 때 검지가 되는지 안 되는지 여부를 통해서 원하는 공기 샘플 내에 CO₂가 있는지 여부를 확인하는 것이 가능해진다[4].



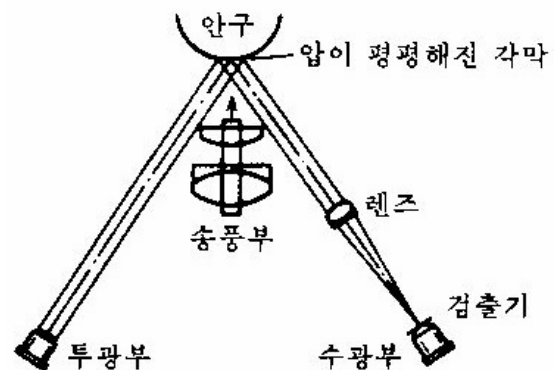
<그림16. 대기 중 빛의 투과율과 흡수 분자[15]>



<그림17. 가스 검출기의 개념도[4]>

3.3 비접촉식 안압계

의학에의 응용 예도 있는데, 종래의 안압 측정은 국소 마취를 한 뒤에 동공 위에서 압력계를 맞춰 누르는 접촉적인 수법이 사용되었다. 오늘날에는 이것을 개량한, 안구 정면의 동공 부분에 공기를 내뿜는 것 만으로도 비접촉적으로 안압을 측정할 수 있는 것이 개발되어 사용되고 있다. 이것의 원리는, 일단 투광부에서 안구에 평행한 적외빔을 쏘면 안구는 볼록 면이므로 빛은 당연히 발산하게 된다. 여기에 바람을 불게 되면, 풍압과 안압이 일치할 때에 한하여 동공 부분은 평면이 되어 반사광은 입사광과 같은 평행 빔이 된다. 바로 이때 빛이 검출되도록 수광부의 광학계를 설계해 주면 안압과 풍압을 비교하여 안압 측정이 가능해 지는 것이다[16].



<그림 18. 비접촉식 안압계의 원리[16]>

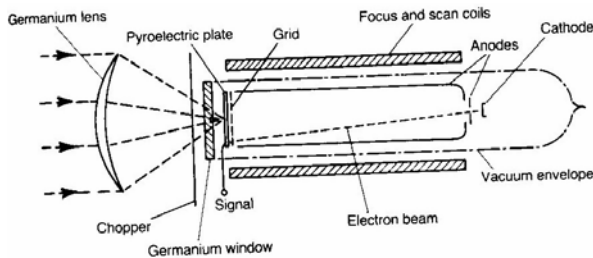
3.4 비디콘(vidicon)

적외선을 통하여 야간에 상대 물체를 상으로써 포착하기 위해서는 초전 재료를 응용하여 열상 장비로 만들지 않으면 안 된다. 이 중 한가지 방법이 비디콘(vidicon)으로 만드는 것이다.

비디콘에서의 열상 획득은 크게 보면 가시광 영역에서 사용하는 일반 사진기의 원리와 같이, 렌즈를 통하여 물체에서 오는 빛을 상으로써 맺는데 있다. 렌즈는 Ge

나 기타 적당한 파장 대를 통과시키는 물질을 사용하고, 일반 사진기의 필름이 오는 자리에는 약 1cm×1cm 정도의 넓이를 갖는 초전 물질 판재가 자리잡게 된다. 상이 맺히는 세기에 따라서 초전 물질 판재 위에는 그에 해당하는 전하의 분포가 나타나게 된다. 이 전하의 분포를 그 바로 뒤에 있는 금속 그리드를 통하여 전압을 걸어 빨아당기면, 그 과정에서 전하는 그리드를 통과하여 더 뒤쪽에 있는 전극으로 전달되어 TV 영상으로 변환되게 되는 것이다[4].

이때, 초전 물질 판재의 길이-폭 방향으로의 열 전달 현상은 각 지점간의 온도 차이를 감소시키기 때문에 결과적으로 나타나는 영상을 흐리게 만드는 원인이 된다. 즉 열 방산계수가 작을 수록(역 열 방산계수가 클 수록) 좋은 상이 나타나게 된다. 따라서 비디콘에서의 재료평가지수의 분포 부분에는 열 확산계수가 들어가게 된다[4].



<그림 19. Pyroelectric vidicon[4]>

4. 초전 센서 개발의 동향과 전망.

제 2차 세계대전 당시 일본과 독일에서 적외선 탐지 기술을 연구하기 시작한 이래, 전승국들 역시 전후 군사용/민용의 적외선 센서 개발에 박차를 가하였다. 초전형 적외선 센서와 비냉각형 적외선 열화상 시스템에 대한 연구와 개발은 영국의 GEC-Marconi 연구소와 Malvern Institute를 중심으로 1960년대부터 본격적으로 시작되었으며, 미국에서는 DOD의 DARPA를 중심으로 1970년대부터 군사적인 목적으로 연구개발이 본격화되었다. 1995년도까지 미국의 Texas Instrument와 영국의 GEC-Marconi에서 군사적인 용도와 상업적인 용도의 시제품을 경쟁적으로 발표한 바 있다[23].

1999년 4월 6~9일에 플로리다의 Orlando에서 개최된 SPIE의 Aerosense Meeting에서 발표된 감열 센서를 이용한 열상 장비의 특징은 비냉각형의 경우에 초전

형 소자가 완전히 퇴조하고 microbolometer가 거의 대부분을 차지한 것이다[23].

국내에서는 선발 기업이던 (주)정풍이 경영난으로 단소자 생산에서 손을 떼었으며, 몇몇 유관 세라믹업체들이 경영악화로 폐쇄되었다. 최근 (주)메타텍이 이 분야에 뛰어들어 국내 유일의 초전 센서 생산업체로 남아있을 따름이다. 국내의 감열형 센서 시장은 IMF의 영향으로 급격히 퇴조하여, 가격은 500원대, 수요량은 월 20만개 수준이라고 한다[23].

초전 센서의 경우, 잡음의 원인이 많고, 그 원인에 대해서도 제대로 연구되지 않는 부분이 많으며, 초퍼의 기계적인 안정성과 이를 신호 증폭회로와 연동시키는데 있어서 많은 어려움이 존재하는 등 성능 개선에 문제점이 많다. 이에 비하여 응용 회로가 단순하고 반응 속도가 빠르며 신뢰성이 뛰어난 박막형 볼로미터(NTC 볼로미터) 센서가 장차 초전 센서를 밀어내고 시장을 지배할 것으로 전망된다[23][24].

5. 참고문헌

- [1] 이학철 & 임완수, "Pyroelectric Sensor", unknown source, 105-114 (2001)
- [2] M.H. Lee et al., "Pyroelectric Sensors", *Journal of Electroceramics*, 229-242 (1998)
- [3] 조기술 et al., "초전센서와 응용", *세라미스트* 3권 2호, 49-55 (2000)
- [4] A.J. Moulton & J.M. Herbert, *Electroceramics*, 318-337, (Chapman & Hall, 1990)
- [5] 백수현 편역, *센서 핸드북*, 43-44, (도서출판 세화, 1990)
- [6] ibid. 91
- [7] ibid. 1121
- [8] ibid. 433-437
- [9] ibid. 60-62
- [10] ibid. 97
- [11] ibid. 146
- [12] "전자기파의 대기 투과율", *국방과 기술* 3월호, 69, (2001)
- [13] 송성석, "개인화기 조준경 개발방향(2)", *국방과*

기술 6월호, 52, (2001)

[14] 정용택, “적외선 센서의 응용과 원리”, *계장기술* 1월호, (2000)

[15] 백수현 편역, *센서 핸드북*, 1282, (도서출판 세화, 1990)

[16] *ibid.* 1207

[17] (주)이엠오, “환경 계측, 감시용 초전용 감열 및 가스 센서 개발”, 42-53, (과학기술부 연구보고서, 2001)

[18] *ibid.* 107-108

[19] Volkmar Norkus et al., “Process Technologies for High-Resolution Infrared Detectors based on LiTaO_3 ”, *DIAS Angewandte Sensorik GmbH* Publication No.11, (<http://www.dias-gmbh.de/ger/info/pub/p011/p011.pdf>), (연도 미상)

[20] 인하대학교, “초전형 적외선 센서의 개발”, *과학기술부*, 45, (2000)

[21] *ibid.* 52-56

[22] (주)메타텍. (<http://www.metatech.co.kr/>)

[23] (주)이엠오, “환경 계측, 감시용 초전용 감열 및 가스 센서 개발”, 21-26, (과학기술부 연구보고서, 2001)

[24] *ibid.* 68