工學碩士 學位論文

$(Pb,La)TiO_3$ 강유전 박막을 이용한 초전형 적외선 센서의 특성

2002年 2月

釜慶大學校 大學院

電 子 工 學 科

李 科 炫

工學碩士 學位論文

$(Pb,La)TiO_3$ 강유전 박막을 이용한 초전형 적외선 센서의 특성

指導敎授 權 泰 夏

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2002年 2月

釜慶大學校 大學院

電 子 工 學 科

李 科 炫

이두현의 공학석사 학위논문을 인준함

2001年 12月 26日

주　심　공학박사　이명교 (인)

위　원　공학박사　권태하 (인)

위　원　공학박사　최혁환 (인)

목 차

Characteristics of the Pyroelectric IR Sensor with (Pb,La)TiO_3 ferroelectric thin film

Du-Hyun Lee

Department of Electronic Engineering, Graduate School.
Pukyong National University

Abstract

The crystallinity of (Pb, La)TiO_3 thin film deposited using RF magnetron sputtering method for pyroelectric infrared sensor was investigated. The Pt/MgO/Si_3N_4/SiO_2/Si_3N_4/Si was used as substrate for c-axis preferred orientation (Pb, La)TiO_3. MgO, Pt and Ni-Cr thin films which were used buffer layers, bottom electrode and top electrode were deposited by RF magnetron sputtering method on Si_3N_4/SiO_2/Si_3N_4/Si substrate. The (Pb, La)TiO_3 thin film deposited at RF power of 50W, substrate temperature of 600 ℃, in pressure of 10mTorr, gas atmosphere of Ar:O_2 = 9:1, film thickness of 1 ㎛ and annealed at temperature of 630 ℃ for 20 seconds exhibited a good c-axis preferred orientation.

As a result, the characteristics of $(Pb, La)TiO_3$ thin films are as follows.

1)Dielectric constant was 220, dielectric loss was 0.024, pyroelectric coefficient was 3.21×10^{-8} C/cm^2·K at 55℃ of measurement temperature.

2)F_V : 0.46×10^{-10}C·cm/J, F_D : 3.48×10^{-8}C·cm/J

1. 서 론

적외선 센서는 오래전부터 군사용 추적 및 감시 시스템 등에 사용되어 왔으나, 최근에는 항공・우주공학, 천체의 연구, 의학적 진단 그리고 민수용 비냉각 열영상기 등의 산업분야에 이르기까지 광범위하게 활용되고 있다. 또한 각종 응용 목적에 적합한 여러 종류의 적외선 센서를 개발하기 위한 연구가 추진 중에 있다[1-2].

적외선 센서는 입사광의 에너지 흡수에 의해 여기된 전자에 의한 도전율의 변화를 검출하는 양자형과 적외선 방사 에너지의 흡수에 의해 발생하는 온도 변화를 이용하는 열전형으로 구별된다. 그리고, 열전형은 열기전력과 초전형으로 나누어진다. 여기서 초전형 적외선 센서는 실온에서 동작이 가능하며 감도의 파장 의존성이 없을 뿐만 아니라 소형 및 경량의 센서제작이 가능한 장점이 있으나, 양자형 적외선 센서에 비해 감도가 현저하게 낮고, 응답속도도 늦은 단점이 있다[3-12].

초전형 적외선 센서의 재료에는 $PbTiO_3$(PT), Pb(Zr, Ti)O_3(PZT), (Pb, La)(Zr, Ti)O_3(PLZT), (Pb, Ca)TiO_3(PCT), (Pb, La)TiO_3(PLT), $BaTiO_3$, $LaTiO_3$ 등이 있으나, 특히 초전계수가 크고 큐리온도가 높은 PLT 박막에 대한 연구가 활발히 진행중이다[11-14,22-33].

현재까지는 우수한 c축 배향성을 갖는 강유전 박막을 성장시키기 위해서 열팽창계수가 크고, 강유전 박막과의 정합이 용이한 MgO 단결정이 초전형 적외선 센서의 기판으로 널리 사용되어 왔다. 그러나, MgO 단결정 기판은 강유전 박막의 c축 배향에 적합하나, 고가일 뿐만 아니라 열손실을 줄이기 위한 후면 식각공정이 까다롭다. 이러한 문제점으로 최근에는 Si이나 SiO_2/Si 기판 위에 단결정과 유사한 MgO 박막을 성장시키려는 연구가 진행 중에 있으며, 일본의 HP사[40]에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 Si 위에 MgO 박막을 (100)면

으로 증착했다고 보고한 바 있다. 그러나, 이런 기판은 Si의 열전도도가 높아 열손실이 크며 유전체와 Si 사이에 작용하는 스트레스 불균형으로 박막 표면이 평탄하지 못하거나 쉽게 부서지는 문제점이 있다.

본 논문에서는 현재 많이 사용되고 있는 초전형 적외선 센서의 단점을 보완하기 위해 분극 처리 과정이 필요 없고, N/O/N/Si 기판 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 방식으로 MgO 박막을 먼저 증착한 후, 정합이 용이하고 높은 c축 배향성을 갖는 강유전 박막을 증착하였다. 수광전극으로는 적외선흡수가 좋은 Ni-Cr을, 전도성전극으로는 Pt를 증착하여 전극을 형성하였다. 그리고 PLT와 LTO 강유전 박막을 이용한 초전형 적외선 센서를 제작하여 각각의 유전특성, 초전특성 및 성능지수를 비교·분석하였다.

2. 초전형 적외선 센서의 동작 원리 및 특성

1. 초전형 적외선 센서

초전형 적외선 센서는 강유전체가 갖는 결정구조의 이방성으로 이온들의 전하중심이 어긋나서 발생하는 자발분극과 도메인 구조 때문에 발행하는 이력현상을 이용한 센서로서 초전효과란 강유전체의 자발분극이 예민한 온도 변화가 생기면 강유전체의 표면에 전하가 변화하는 현상을 말하며 이 표면에 발생된 전하를 전기적 신호로 나타낼 수 있는 초전특성을 이용한 센서를 말한다.

2. 센서의 동작 원리 및 특성

2.1 기본 동작

센서에 온도 변화를 부여했을 때의 동작을 Fig. 1에 나타내었다. 센서의 재료로는 강유전체 세라믹이나 고분자 필름을 사용하며, 이것에 고전계를 가하여 미리 분극해 둔다. 이 처리에 의해 센서 표면의 + 와 - 의 전하는 공기중의 부유 이온과 결합하여 1의 상태로 된다. 이 상태에서는 전기적으로 중화되어 있기 때문에 센서에는 아무런 신호가 나오지 않는다.

적외선이 입사하여 온도가 ΔT만큼 상승하면 2와 같이 온도 변화의 크기에 맞추어 센서 표면의 분극 크기가 변화한다. 이 때문에 센서에는 신호 ΔT가 나타난다. 그런데 시간이 지나면 공기중의 이온은 결합하여 상대가 없어지고, 또 3과 같이 전기적으로 중화상태가 된다. 그 결과 센서로부터의 신호가 0으로 돌아간다. 반대로 온도가 ΔT만큼 낮아졌을 때는 자발분극은 4와 같이 앞

의 현상과는 반대로 나타난다. 그 때문에 센서로부터의 신호가 - ΔT로 된다. 물론 시간이 지나면 공기중의 이온과 결합하여 신호가 0으로 돌아간다.

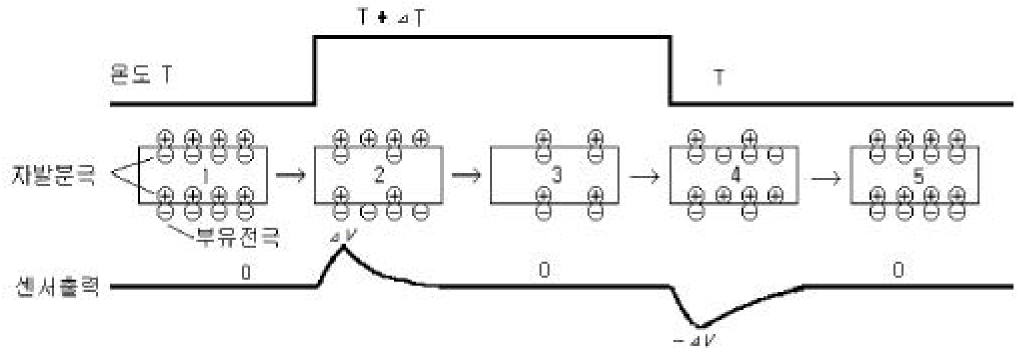

Fig. 1. The basic operation of the pyroelectric sensor.

2.2 응답도

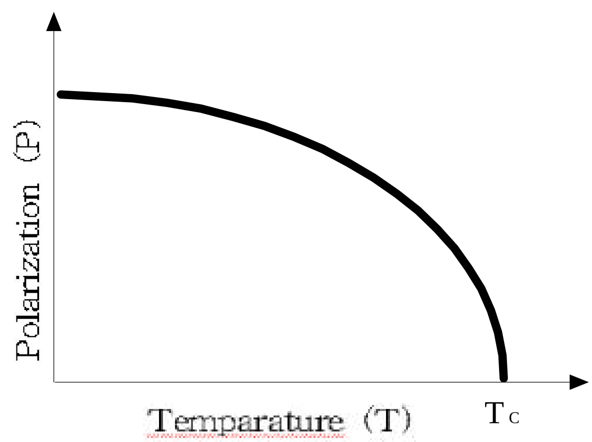

Fig. 2. Temperature dependent of polarization of ferroelectric.

Fig. 2에 분극의 온도의존도를 나타내었다. 초전효과는

$$P_i = p_i \cdot \Delta T \qquad (1)$$

로 나타내어진다. 여기서 P_i는 ΔT라는 온도변화에 의한 분극의 변화를 나타내고, p_i는 초전계수이다. 초전재료에서 온도의 변화는 외부 회로에 전류를 유발시킨다. 그 전류는

$$i_p = A \cdot p \cdot dT/dt \qquad (2)$$

로 표시된다. 여기서, A는 초전재료의 전극면적이고, p는 초전계수의 전극에 수직한 성분이고, dT/dt는 시간에 따른 온도변화이다. 초전소자는 초전재료의 온도변화를 감지하는 것으로 식에서 알 수 있듯이 초전효과는 시간에 의존하여 초전소자가 작동하기 위해서는 에너지원을 변조해야한다.

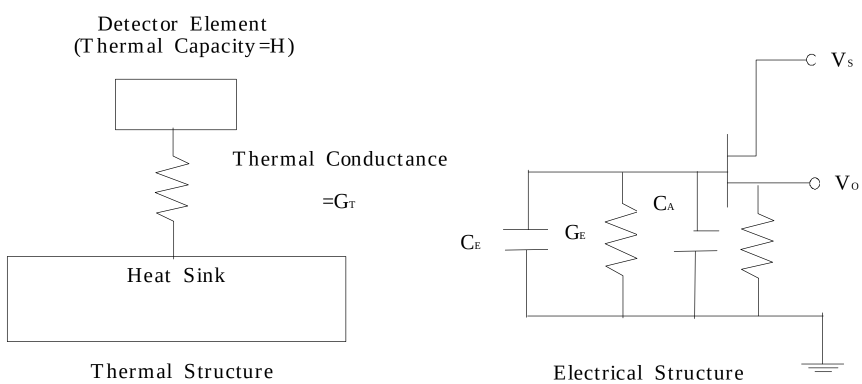

Fig. 3. Thermal and electrical structure of a pyroelectric detector.

Fig. 3은 초전소자의 열적, 전기적 구조의 개략도이다. 초전재료는 면적이 A 이고, 열용량은 $H(=C_V A d$: C_V은 체적비열)이며, 초전재료는 G_T라는 열전도를 통해 방열체로 연결되어 있다. 그러므로 열시상수가 $\tau_T = H/G_T$로 정의된다. 또, 검출기는 C_E라는 커패시턴스(정전 용량)와 C_A를 가지고 있는 컨덕턴스를 가지고 있고, 이는 입력 임피던스 FET와 연결되어 있다. τ_T와 τ_E는 소자의 주파수 응답도를 결정하는데 중요한 파라미터이다. 주파수 ω로 변조된 $W(t) = W_0 e^{i\omega t}$는 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$\eta W(t) = \frac{H d\theta}{dt} + G_T \theta \tag{3}$$

이식의 해는

$$\theta = \frac{\eta W_0}{(G_T + i\omega\theta)} \text{ 이다} \tag{4}$$

입력전력 당 발생하는 초전전류(전류 응답도 R_i)는

$$\frac{i_p}{W_0} = R_i = \frac{\eta p A\,\omega}{G_T(1+\omega^2\tau^2{}_T)^{1/2}} \tag{5}$$

로 정의된다.

낮은 주파수 범위에서($\omega \ll 1/\tau_T$) 응답도는 ω에 비례하게 되고, 이 값보다 큰

경우 응답도는 $R_i = \dfrac{\eta p}{C_V d}$ 가 된다.

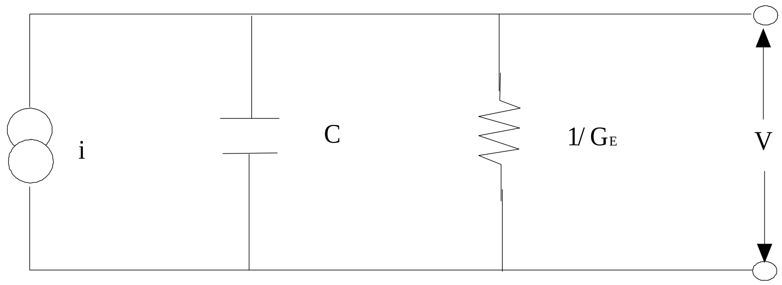

Fig. 4. Equivalent circuit of simple detector.

또, Fig. 4로부터 초전소자에 걸리는 전압은 $v = \dfrac{i}{G_E + j\omega C}$ 가 되고, 이로부터 전압 응답도는

$$R_v = \frac{v}{W} = \frac{\eta p A\,\omega}{G_T G_E (1 + \omega^2 \tau^2{}_T)^{1/2} (1 + \omega^2 \tau^2{}_E)^{1/2}} \tag{6}$$

가 되고, 여기서 $\tau_E = C/G_E$ 는 전기적 시상수이다. 변조 주파수가 $1/\tau_T$ 와 $1/\tau_E$ 보다 큰 경우는 $R_v = \dfrac{\eta p}{s\varepsilon_0 \varepsilon_r A\,\omega}$ 이 된다.

2.3 성능지수

초전재료로 사용할 재료를 선정할 때에 초전재료의 성능지수를 근거로 한다. 예를 들면 전류 응답도의 식으로부터 전류 응답성에 대한 성능지수는

$$F_i = p/C_V \tag{7}$$

에 비례하고, 전압 응답도의 식으로부터 전압 응답도에 대한 성능지수는

$$F_V = p/C_V \varepsilon\varepsilon_0 \tag{8}$$

에 비례하게 된다. 또, AC Johnson noise가 주된 잡음의 원인인 경우 검출기는

$$F_D = p/\ C_{V(}\varepsilon\varepsilon_0 \cdot \tan\delta)^{1/2} \tag{9}$$

인 노이즈 성능지수에 비례하게 된다. 만약 열영상용으로 초전재료를 이용하여 파이로 비디콘을 사용할 경우 초전재료의 열확산 효과가 상당히 중요하게 된다. 이 경우 성능지수는

$$F_{vid} = F_V/K \tag{10}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 K는 초전재료의 열전도도이다.

2.4 잡음

소자구동시 발생하는 잡음은 크게 회로내부에서 발생하는 잡음과 외부 환경에 의해 발생하는 잡음으로 나눌 수 있다. 내부 잡음으로는 열잡음(V_t), 유전체 잡음(V_d), 저항 잡음(V_r), 증폭 잡음(V_i, V_e)등이 있다. 증폭 잡음 외의

잡음은 주로 온도변화에 따른 각 부품의 특성변화에 기인한 것이다. 외부 잡음으로는 microphony noise, 전자기파에 의한 잡음, 외부 온도변화에 의한 잡음 등이 있다. microphony noise는 초전재료가 압전 특성을 지니고 있기 때문에 외부의 기계적인 진동이나 음향 잡음에 의해 신호가 영향을 받는 경우를 일컫는다. 이는 검출기를 기계적인 움직임에 영향을 덜 받도록 mounting하여 감소시킬 수 있다. 전자기파에 의한 간섭은 에너지 차폐기에 의해 예방할 수 있고, 외부 온도변화에 의한 잡음은 보상용 검출기를 만들어 줌으로써 방지할 수 있다.

2.5 잡음등가전력 및 감도

잡음등가전력은 실효 잡음전압과 같은 크기의 신호를 만들어 내는데 필요한 입력전력으로 정의한다. 수식으로 표현하면,

$$NEP = V_n / R_V \quad [\text{단위} : WHz^{1/2}] \tag{11}$$

이다. 소자의 성능지수는 클수록 우수한 특성을 나타내도록 정의했다. 그래서, 위 식의 역수를 감도로 정의하여 사용한다. 즉

$$D^* = A^{1/2} / NEP \quad [\text{단위} : mHz^{1/2} W^{1}] \tag{12}$$

이다. 여기서, 면적을 고려한 것은 D^*를 면적에 의존하지 않게 하기 위해서이다.

3. 실험 및 측정

센서의 전압감도를 향상시키기 위해 Si_3N_4(150 nm)/SiO_2(300 nm)/Si_3N_4(150 nm)(N/O/N) 기판을 사용하였고, MgO 단결정 기판이 아니라 N/O/N/Si 기판위에 MgO 박막을 증착시켜 PLT와 LTO 강유전 박막의 큰 c축 배향성을 갖도록 하는데 중점을 두었다. MgO, Pt, PLT 및 LTO 박막을 다양한 성장조건에서 RF 마그네트론 스퍼터링 방식으로 제작하였고, 박막의 결정성 향상을 위해서 온도, 시간 및 분위기를 바꾸어가며 RTA 방식으로 열처리 하였다. MgO 박막을 증착한 층 위에 전도성전극으로서 Pt를 증착하였고 Pt 층 위에 PLT 및 LTO 층을 각각 RF 마그네트론 스퍼터링 방식으로 증착하였다.

(1) 센서의 각 층을 형성하기 위해 센서의 전체 크기에 알맞도록 마스크의 설계 및 제작

(2) MgO 타겟 제작

MgO 분말을 300 ℃에서 1시간 건조시킨 후, 전체무게가 40g 정도가 되도록 일정한 비율로 칭량하여 마노유발에서 2시간 정도 혼합 분쇄하였다. 이것을 공기 중에서 950 ℃로 10시간 가소시킨 다음, 2시간 정도 혼합 분쇄한 후, 1000 kg/cm^{2}으로 압축시켜 원판형태로 성형하였다. 이것을 1000 ℃, 공기 중에서 10시간 소결시켜 직경이 2 인치이고 두께가 6 mm 정도인 박막 성장용 타겟을 제작하였다. Fig. 5는 MgO 타겟의 제작 공정을 나타낸 것이다.

(3) PLT target 제작

위의 MgO 타겟 제작방법과 거의 같으며, $Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O_3$(x=0.1) : PbO

= 4 : 1로 제작된 PLT 박막이 구조적 및 전기적으로 가장 좋은 특성을 가지는 것으로 보고되어 있기 때문에[12-13] 스퍼터링시에 생기는 Pb 결핍을 보충하기 위해서 과잉 PbO 분말을 PLT 타겟에 첨가하여 $Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O_3$ (x=0.1) 조성을 갖는 PLT 타겟을 제작하였다.

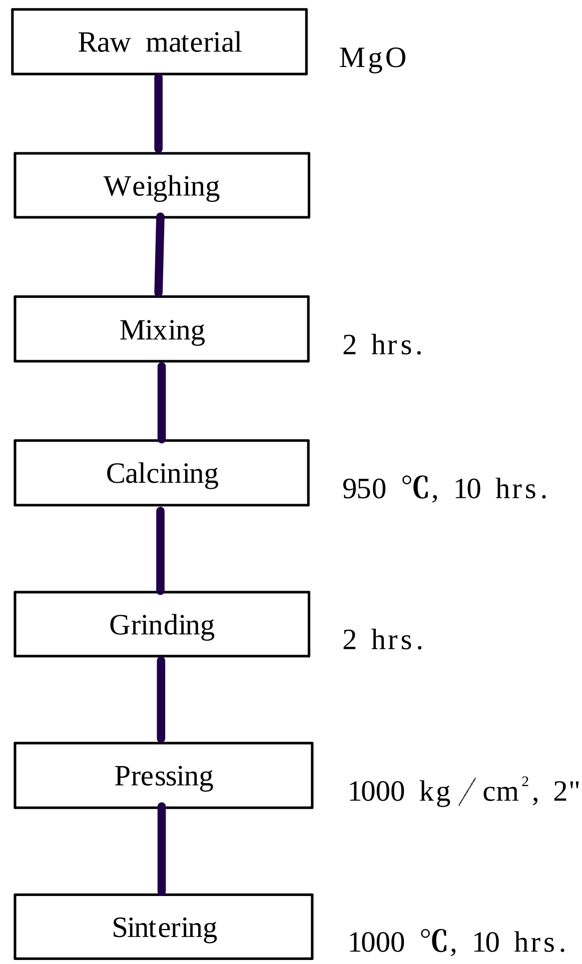

Fig. 5. Target preparation procedure.

(4) MgO 박막 성장 및 에칭

$Si_3N_4/SiO_2/Si_3N_4/Si$ 기판위에 제작한 MgO 타겟과 RF 마그네트론 스퍼터링 방식을 이용하여 다양한 성장조건으로 MgO 박막을 증착하였고, 원하는 형태가 되도록 에칭하였다. MgO 박막성장조건은 Table. 1과 같다.

Table 1. Sputtering conditions for MgO thin film.

RF power	140 180 W (20 W 간격)
Substrate	$Si_3N_4/SiO_2/Si_3N_4/Si$
Substrate temp.	400 600 ℃ (50 ℃ 간격)
Base vacuum	1×10^{-6} Torr
Gas pressure	10 40 mTorr (10 mTorr 간격) (Ar : O_2 = 1 : 0, 9 : 1)
Film thickness	0.2, 0.5, 0.8, 1.1, 1.4㎛
Cooling	natural

(5) MgO 박막 열처리

증착된 MgO 박막을 아래의 조건과 같이 온도, 시간, 분위기를 변화시켜 열처리하였다.

⊙ 열처리 조건

RTA (rapid thermal annealing)의 할로겐 램프를 이용

열처리 온도 : 750℃, 850℃, 950℃, 1050℃

열처리 시간 : 5초, 10초, 20초, 30초

열처리 분위기 : 공기

(6) 성장조건 및 열처리조건에 따른 MgO 박막의 (100)면의 결정성을 연구하였다.

① 스퍼터링 조건에 따른 MgO 박막의 결정성을 연구하였다.

ⓐ RF Power에 따른 특성

ⓑ 기판온도에 따른 특성

ⓒ 성장압력에 따른 특성

ⓓ 성장분위기에 따른 특성

② 열처리 조건에 따른 MgO 박막의 결정성을 연구하였다.

ⓐ 열처리 온도에 따른 특성

ⓑ 열처리 시간에 따른 특성

ⓒ 열처리 분위기에 따른 특성

③ MgO 박막의 두께에 따른 결정성을 연구하였다.

(7) Pt 전극 증착 및 에칭

강유전체 박막이 높은 c축 배향성을 갖기 위해서는 잘 성장된 전도성 하부전극이 필요하다. Pt 전극의 두께가 얇을수록 강유전체박막의 c축 배향성은 증가되나 전기적저항이 증가하여 하부전극으로서의 그 기능을 발휘할 수 없고, Pt 전극의 두께가 400 Å이상이 되면 강유전체박막의 c축 배향성이 감소하고, 다결정이 증가하여 센서의 감도가 저하된다고 알려져있다[14]. 따라서, $MgO/Si_3N_4/SiO_2/Si_3N_4/Si$ 기판위에 (100) 배향된 Pt 박막을 증착시키기 위해 Pt 타겟과 RF 마그네트론 스퍼터링 방식을 이용하여 Pt 전극을 100 Å간격으로 200 500 Å범위의 두께로 증착하였고, 원하는 형태가 되도록 에칭하였다. Pt 전극 성장조건은 Table. 2와 같다.

Table 2. Sputtering conditions for Pt bottom electrode.

RF power	20 60 W (10 W 간격)
Substrate	$MgO/Si_3N_4/SiO_2/Si_3N_4/Si$
Substrate temp.	400 600 ℃ (50 ℃ 간격)
Base vacuum	1×10^{-6} Torr
Gas pressure	10 mTorr (Ar)
Film thickness	200Å 500Å(100Å 간격)
Cooling	natural

(8) PLT 박막 증착 및 에칭[14)]

$Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O_3$(x=0.1) 타겟과 RF 마그네트론 스퍼터링 방식을 이용해 박막의 성장조건을 변화시키면서 Pt 하부전극 위에 $Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O_3$ (x=0.1) 박막을 c축으로 성장하기에 알맞은 두께가 되도록 증착하였고, 원하는 형태가 되도록 에칭하였다. PLT 박막의 성장조건은 Table. 3과 같다.

Table 3. Sputtering conditions for PLT thin film

RF power	40 80 W (10 W 간격)
Substrate	$Pt/MgO/Si_3N_4/SiO_2/Si_3N_4/Si$
Substrate temp.	550 650 ℃ (25 ℃ 간격)
Substrate와 Target의 간격	4 6 cm
Base vacuum	1×10^{-6} Torr
Gas pressure	7, 10, 20 mTorr ($Ar : O_2$ = 10 : 0, 9 : 1, 8 : 2, 7 : 3, 6 : 4)
Film thickness	0.5 2 ㎛ (0.5 ㎛ 간격)
Cooling	natural

(9) PLT 박막 열처리

증착된 PLT 박막을 아래의 조건과 같이 온도, 시간, 분위기를 변화시켜 열처리하였다.

⊙ 열처리 조건

RTA 를 이용

열처리 온도 : 610℃, 630℃, 650℃, 670℃

열처리 시간 : 5초, 10초, 15초, 20초

열처리 분위기 : 산소

(10) 성장조건 및 열처리조건에 따른 PLT 박막의 c축 결정성 연구

(a) 스퍼터링 조건에 따른 PLT 박막의 결정성을 연구하였다.

ⓐ RF Power에 따른 특성

ⓑ 기판온도에 따른 특성

ⓒ 성장압력에 따른 특성

ⓓ 성장분위기에 따른 특성

(b) 열처리 조건에 따른 PLT 박막의 결정성을 연구하였다.

ⓐ 열처리 온도에 따른 특성

ⓑ 열처리 시간에 따른 특성

(c) PLT 박막의 두께에 따른 결정성을 연구하였다.

(11) LTO 박막 증착

$LiTaO_3$ 단결정 타겟과 RF 마그네트론 스퍼터링 방식을 이용해 박막의 성장조건을 변화시키면서 LTO 박막을 c축으로 성장하기에 알맞은 두께가 되도록 증착하였다. 스퍼터링은 진공 챔버 내에서 타겟과 기판이 서로 마주보도록 위치시키며, 타겟과 기판과의 간격은 막의 균일성을 관찰

하면서 조절하였다. 기판온도는 PBN 히터와 CA 열전대를 이용해서 590 670 ℃ 범위에서 20 ℃ 간격으로 변화시키고, 박막성장시간은 3 6 시간으로 하여 LTO 박막을 제작하였다. LTO 박막의 성장조건은 Table. 4와 같다.

Table 4. Sputtering conditions for LTO thin film.

RF power	60 100 W (10 W 간격)
Substrate	$Pt/MgO/Si_3N_4/SiO_2/Si_3N_4/Si$
Substrate temp.	590 670 ℃ (20 ℃ 간격)
Substrate와 Target의 간격	4 6 cm
Base vacuum	1×10^{-6} Torr
Gas pressure	4 12 mTorr (2 mTorr 간격) (Ar : O_2 = 10 : 0, 9 : 1, 8 : 2, 7 : 3)
Film thickness	0.8 1.6 ㎛ (0.2 ㎛ 간격)
Cooling	natural

(12) LTO 박막 열처리

증착된 LTO 박막을 아래의 조건과 같이 온도, 시간, 분위기를 변화시켜 열처리하였다.

⊙ 열처리 조건

RTA 를 이용

열처리 온도 : 630℃, 650℃, 670℃, 690℃, 710℃

열처리 시간 : 5초, 10초, 15초, 20초

열처리 분위기 : 산소, 공기

(13) 성장조건 및 열처리조건에 따른 LTO 박막의 c축 결정성 연구

(a) 스퍼터링 조건에 따른 LTO 박막의 결정성을 연구하였다.

ⓐ RF Power에 따른 특성

ⓑ 기판온도에 따른 특성

ⓒ 성장압력에 따른 특성

ⓓ 성장분위기에 따른 특성

(b) 열처리 조건에 따른 LTO 박막의 결정성을 연구하였다.

ⓐ 열처리 온도에 따른 특성

ⓑ 열처리 시간에 따른 특성

(c) LTO 박막의 두께에 따른 결정성을 연구하였다.

(14) Ni-Cr 상부 전극 증착

PLT(LTO)/Pt/MgO/N/O/N/Si 위에 수광전극으로 적외선흡수가 좋은 Ni-Cr을 흡수 적외선의 표면 침투 깊이보다 얇게 RF 마그네트론 스퍼터링 방식을 이용해 어레이형태로 증착하였다. Table. 5는 Ni-Cr 수광전극의 성장조건을 나타낸 것이다.

Table 5. Sputtering conditions for Ni-Cr top electrode.

RF power	60 80 W
Substrate	PLT(LTO)/Pt/MgO/Si_3N_4/SiO_2 /Si_3N_4/Si
Substrate temp.	450 ℃
Substrate와 Target의 간격	4 6 cm
Base vacuum	1×10^{-6} Torr
Gas pressure	10 mTorr(Ar)
Film thickness	300, 350, 400, 450, 500Å
Cooling	natural

(15) Wire 본딩 및 센서 어레이 제작

Al 본딩 패드를 연결하여 센서 어레이를 제작하고 센서의 검지 및 초전특성을 측정·연구하였다.

(16) XRD 분석

XRD를 이용하여 성장 조건과 열처리 조건에 따른 MgO 박막, Pt 박막, PLT 및 LTO 박막의 결정구조와 배향성을 각각 조사하였다.

(17) Ni-Cr/PLT(LTO)/Pt/MgO/Si_3N_4/SiO_2/Si_3N_4/Si 적외선 센서 어레이의 특성조사

ⓐ 비유전율 ε_r 과 유전손실 $\tan\delta$는 HP4192를 이용하여 측정하였다.

ⓑ 초전계수 p는 일정한 등온속도로 열을 가한 뒤 초전전류 측정회로를 구성하여 측정하였다.

ⓒ 측정된 비유전율 ε_r, 유전손실 $\tan\delta$, 초전계수 p를 이용하여 센서의 특성기준인 전압과 감도에 대한 성능지수를 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

1. MgO 완충층의 X-선 회절곡선

(1) RF power에 따른 MgO 박막의 X-선 회절곡선

Fig. 6은 타겟에 가해지는 RF power에 따른 N/O/N/Si 기판 위에 증착한 MgO 박막의 X-선 회절곡선을 나타낸 것이다. RF power가 증가함에 따라 MgO(200) 면에 대한 회절강도는 160W에서 최대치를 보였고, 그 이상의 power에서는 다시 감소하는 경향을 보였다. 그리고 $2\theta \approx 43°$ 에서 강한 (200) 면을 보였다. power가 증가하면 스퍼터링되어 기판에 도달한 입자의 에너지가 증가되어 기판위에서 입자의 이동도가 커지며, 이러한 입자가 안정한 격자위치를 찾아갈 확률이 증가하므로 박막의 결정화가 촉진되는 것으로 생각된다. 그러나, RF power가 더욱 커지면 빠른 증착속도로 인하여 기판에 흡착된 입자가 안정한 격자위치를 찾아갈 수 있는 시간이 줄어들어 박막의 결정화는 감소하는 것으로 생각된다. RF power가 증가하면 박막의 결정화 정도는 대체로 증가하는 경향을 보이는데, 이는 박막의 치밀화 현상으로 이해될 수 있다[15-16].

(2) 기판(증착)온도에 따른 MgO 박막의 X-선 회절곡선

Fig. 7은 N/O/N/Si 기판에 가해지는 증착 온도에 따른 MgO 박막의 X-선 회절곡선을 나타낸 것이다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 증착된 박막은 기판의 종류 및 기판의 온도 변화에 상관없이 (100) 면으로 성장하며, (100) 이외의 다른 피크는 발견되지 않았다. 박막의 증착은 기판에 흡착된 Mg 분자 혹은 Mg와 O 원자가 탈착되기 전에 기판위에서 이동하여 에너지적으로 안정한 격자위치를 찾아가는 과정이라고 볼 수 있다. 기판에 흡착된 입자가 탈착되기 전까지

기판위에서 존재할 수 있는 시간은 온도가 증가할수록 지수함수적으로 감소하게 된다. 기판의 온도가 증가하면 입자의 이동도는 증가하지만 안정한 격자위치로 이동하기 전에 탈착이 일어날 확률이 증가하기 때문에 박막의 증착속도는 감소한다고 생각된다[42-45]. 증착온도가 증가하여 기판위에 증착된 입자의 이동도가 커지면 안정한 위치로 찾아갈 수 있는 확률이 증가하여 박막의 결정화가 촉진되는 것이다. 입자의 이동도는 기판의 온도 증가에 따라 증가하므로 증착된 박막의 결정화는 기판온도가 증가함에 따라 증가하는데, 이러한 사실은 MgO(200) 회절강도가 온도에 따라 증가하는 결과와 일치한다. 500℃에서 MgO(200) 면에 대한 회절강도는 최대치를 보였고, 그 이상의 온도에서는 다시 감소하는 경향을 보였다[17-20].

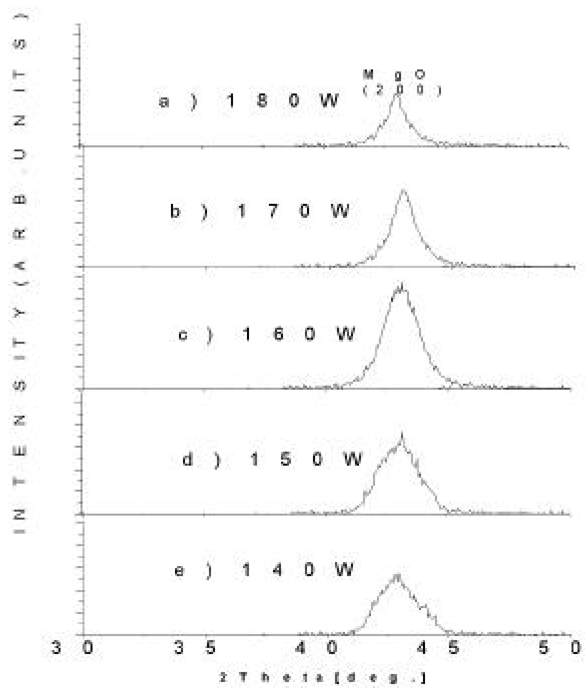

Fig. 6. Comparison on XRD patterns of the MgO thin films deposited on N/O/N/Si substrates at 500℃ as a function of RF power, respectively.

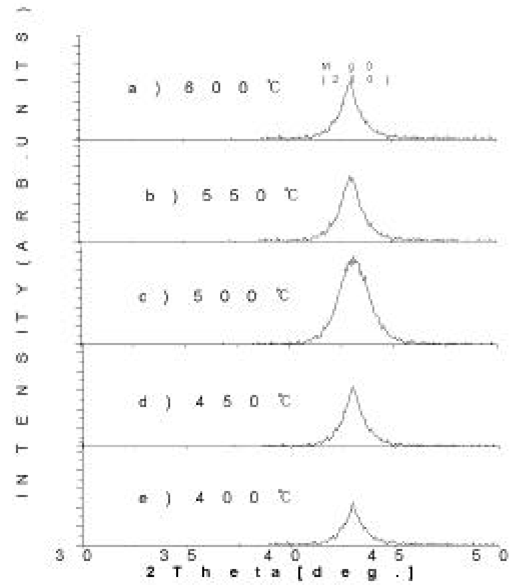

Fig. 7. Comparison on XRD patterns of the MgO thin films deposited on N/O/N/Si substrates as a function of deposition temperature, respectively.

(3) 증착분위기 압력에 따른 MgO 박막의 X-선 회절곡선

Fig. 8은 증착분위기 압력에 따른 MgO 박막의 X-선 회절곡선을 나타낸 것이다. Ar은 불활성 기체이며, 방사능을 방출하지 않고 스퍼터링 수율이 높은 기체로 일반적으로 스퍼터링법에 많이 사용한다. MgO 박막의 (200) 배향성 및 회절강도는 증착압력에 따라 증가하며 30 mTorr에서 가장 우수하였다. 그 이상의 압력에서는 회절강도는 감소하게 되는데 산란효과로 인하여 낮은 에너지를 가진 입자가 증착에 참여하기 때문에 결정화가 떨어지게 된다고 판단된다.[21)] 증착압력이 낮을 경우 직선적으로 증착이 이루어진다고 알려져 있는데, 증착압력이 증가하게 되면 스퍼터링에 참여하는 Ar 이온의 양이 증가하여 스퍼터링 되는 원자의 양도 증가하는데, 이때 산란이 거의 일어나지 않으며 증착되기 때문에 압력증가에 따라 제한적으로 증착속도가 증가하게 될 것이라고 생각되는데,

증착속도의 증가는 박막 배향성의 질을 저하시킨다. 증착압력이 30 mTorr 이상으로 큰 경우에는 압력이 증가하면 스퍼터링된 입자가 기체와 산란되는 양이 증가하게 된다. 산란된 원자는 다른 방향으로 반사되어 기판까지 도달하지 못하거나 초기 에너지를 잃게되어 기판까지 확산에 의해 도달하게 되므로 기판까지 도달하는 스퍼터링된 원자의 양은 감소하게 된다.

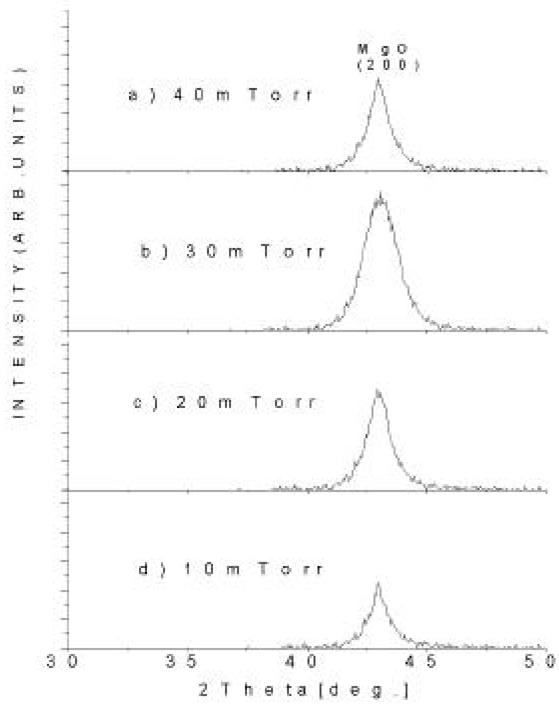

Fig. 8. Comparison on XRD patterns of the MgO thin films deposited on N/O/N/Si substrates as a function of sputtering atmosphere, respectively.

(4) 증착분위기에 따른 MgO 박막의 X-선 회절곡선

산소와 분압비율에 따른 MgO 박막의 X-선 회절곡선을 나타내었다. 아르곤분위기 또는 아르곤과 산소의 비를 9:1로 하였는데 전체적으로는 비슷한 경향을 보였으나 아르곤 분위기에서 성장된 MgO 박막의 결정성이 우수하였다. 산

소를 흘릴 경우 MgO(200) 결정성이 아주 작았는데, 상태도에 의하면 MgO 상은 산소보다 Mg의 조성이 크면 MgO 상을 유지하지만, 산소가 과잉되면 MgO_2가 안정한 상이되기 때문이라고 여겨진다[22-23].

(5) 박막 두께에 따른 MgO 박막의 X-선 회절곡선

그림 9는 박막 두께에 따른 MgO 박막의 X-선 회절곡선을 나타낸 것으로 RF power를 160W, 500℃의 기판온도, Ar 분위기의 30 mTorr 압력으로 고정하고 박막의 두께를 변화시켰을 때의 X-선 회절곡선을 나타내었다. 박막의 두께가 0.2 0.5㎛까지는 점점 MgO의 결정성이 증가하여 0.8㎛에서 가장 큰 결정성을 나타내고 있으며 박막이 더 증착 될 수록 점점 피크가 낮아지는 경향을 보였다.

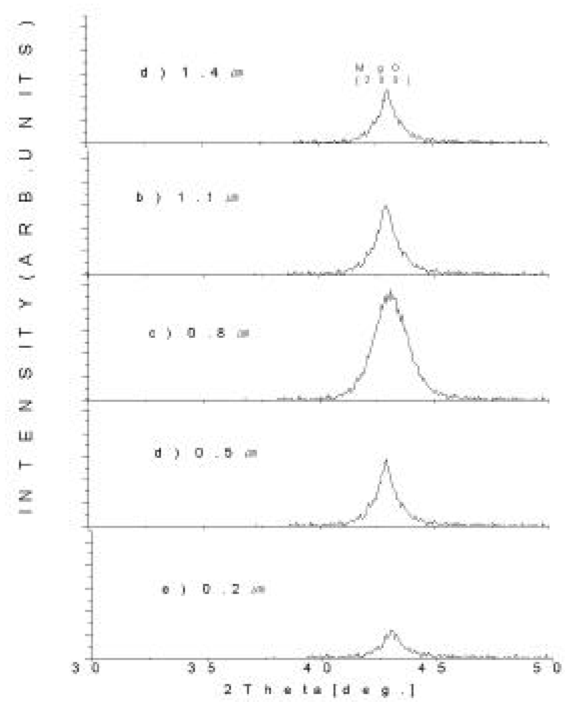

Fig. 9. XRD patterns of the MgO thin films deposited as a function of film thickness.

(6) 열처리 시간에 따른 MgO 박막의 X-선 회절곡선

a축 배향도가 가장 큰 스퍼터링 조건으로 RF power를 160W, 500℃의 기판 온도, Ar 분위기의 30 mTorr 압력 및 0.8㎛로 증착된 MgO 박막을 1050℃의 열처리 온도로 다양한 시간 변화에 따른 X-선 회절곡선 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 열처리 시간이 20초 이상일 때에는 MgO 박막의 결정성은 좋아지지만 표면에 크랙이 발생하는 문제가 생기게 되므로, 20초일 때에 가장 좋은 결정성을 가진다.

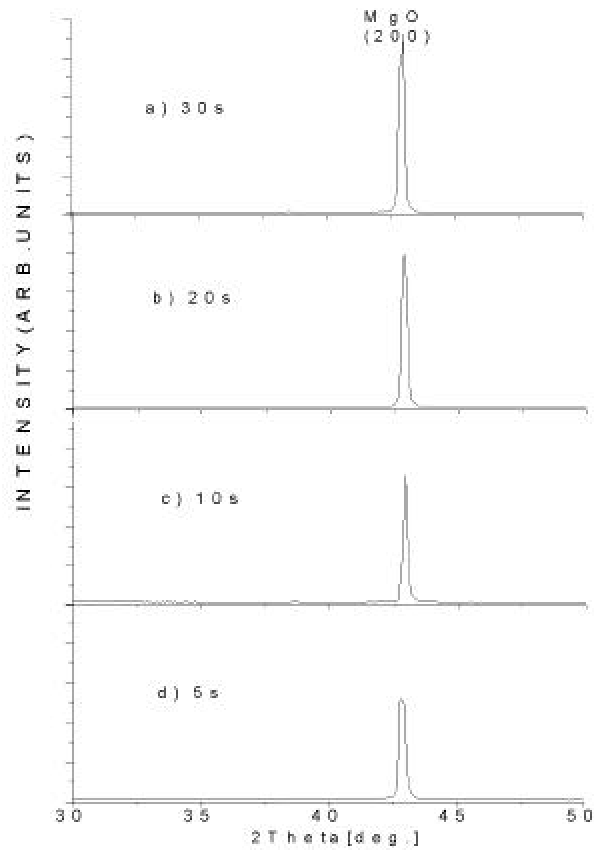

Fig. 10. XRD patterns of the MgO thin films annealed as a function of annealing time.

(7)열처리 온도에 따른 MgO 박막의 X-선 회절곡선

증착된 MgO 박막을 20초 동안 다양한 온도 변화시키며 열처리한 박막에 대한 X-선 회절곡선 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 1050℃에서 MgO 박막의 피크가 최고치를 보이고 있지만, 열처리 온도가 1000℃에 가까울수록 MgO 박막의 표면에 크랙이 발생하는 문제가 생기게 된다. 그러나, 950℃에는 결정성이 뛰어나고 크랙이 발생하지 않는 우수한 MgO 박막을 구하였다.

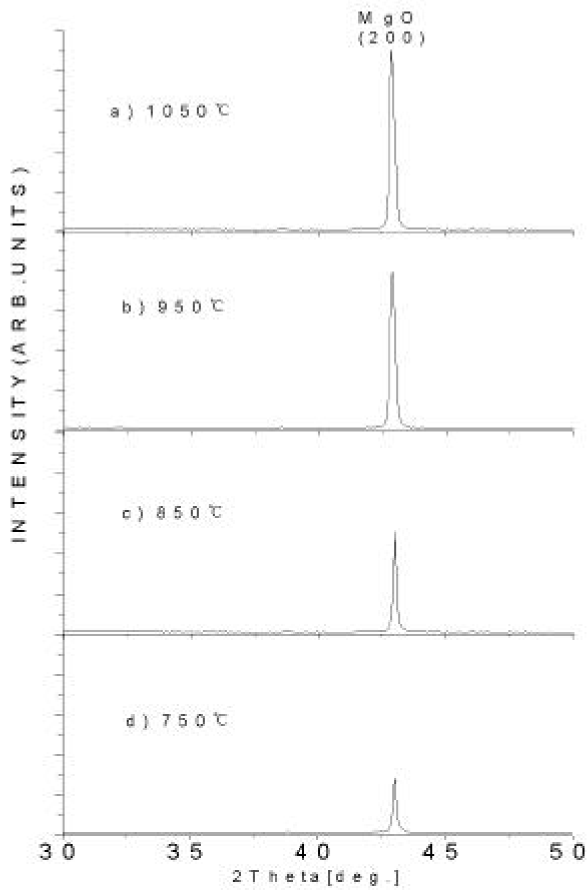

Fig. 11. XRD patterns of the PLT thin films annealed as a function of annealing temperature.

2. Pt 하부전극의 증착특성

(1) RF power에 따른 Pt 박막의 X-선 회절곡선

RF power를 변화시키면서 MgO 박막위에 증착된 Pt 박막의 X-선 회절곡선을 나타내었다. MgO/N/O/N/Si 기판위에 500℃ 기판온도 및 Ar 분위기 10 mTorr에서 40W의 RF power로 성장된 RF power에 따른 Pt 박막의 X-선 회절곡선을 Fig. 12에 나타낸 것이다. 40W에서 가장 우수한 Pt의 결정성을 나타내었다.

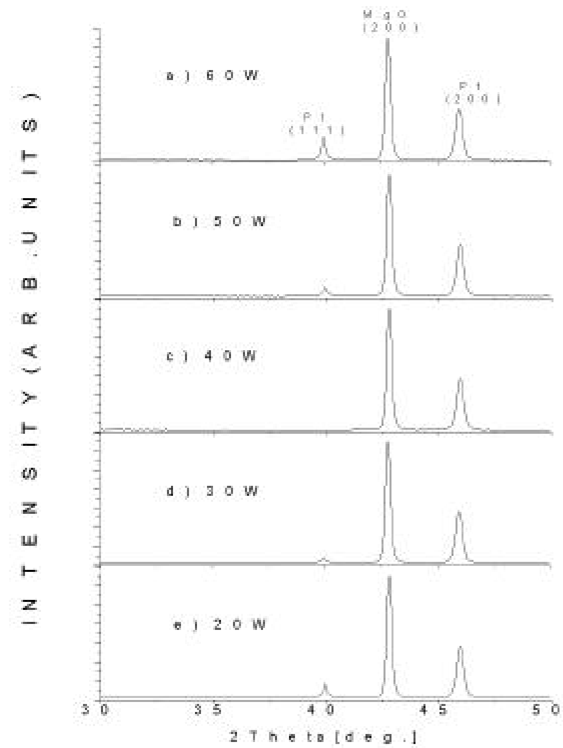

Fig. 12. XRD patterns of the Pt thin films deposited at 500℃ on the MgO/N/O/N/Si substrate as a function of RF power.

(2) 증착온도에 따른 Pt 박막의 X-선 회절곡선

Fig. 13은 증착온도에 따른 Pt 박막의 X-선 회절곡선을 나타내었다. RF power는 40W에서 가장 우수한 Pt의 결정성을 나타내었고, 증착온도는 그림에서 알 수 있듯이 500℃의 증착온도에서 Pt 박막이 가장 우수한 결정성 및 회절강도를 보였다.

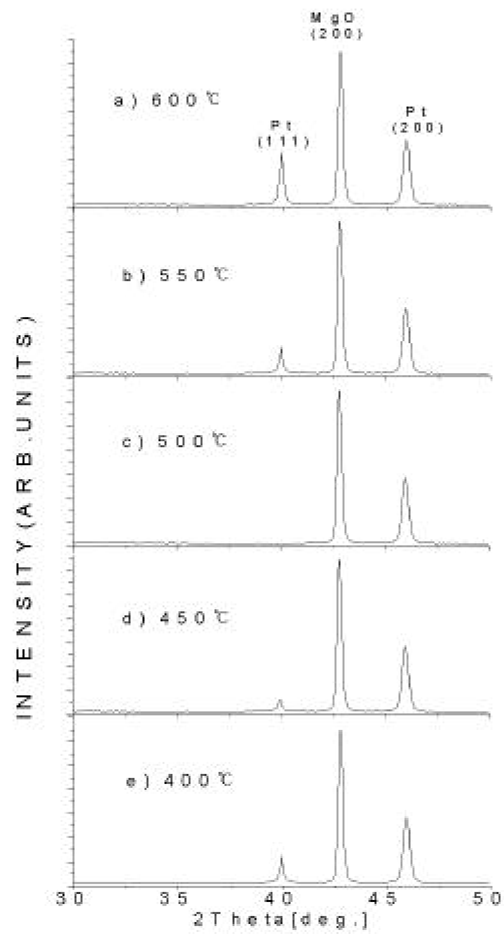

Fig. 13. XRD patterns of the Pt thin films deposited at 40W on the MgO/N/O/N/Si substrate as a function of deposition temperature.

(3)분위기 압력에 따른 Pt 박막의 X-선 회절곡선

RF power를 40W, 500℃의 기판 온도, Ar 분위기에서 가장 우수한 분위기 압력은 10 mTorr로 나타났다.

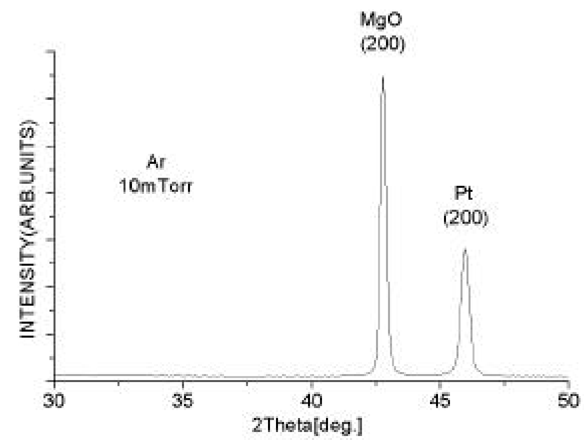

Fig. 14. XRD patterns of the Pt thin films deposited as a function of atmospheric pressure.

(4)박막 두께에 따른 Pt 박막의 X-선 회절곡선

강유전체 박막이 높은 c축 배향성을 갖기 위해서는 잘 성장된 전도성 하부전극이 필요하다. Pt 전극의 두께가 얇을수록 강유전체박막의 c축 배향성은 증가되나 전기적저항이 증가하여 하부전극으로서의 그 기능을 발휘할 수 없고, Pt 전극의 두께가 400 Å이상이 되면 강유전체박막의 c축 배향성이 감소하고, 다결정이 증가하여 센서의 감도가 저하된다고 알려져있다.[14]. 따라서, MgO/N/O/N/Si 기판위에 (100) 배향된 Pt 박막을 증착시키기 위해 Pt 타겟과 RF 마그네트론 스퍼터링 방식을 이용하여 Pt 전극을 100 Å간격으로 200 500 Å범위의 두께로 증착하였고, 박막 두께가 300 Å인 경우에 가장 우수한 결정성이 나타났다.

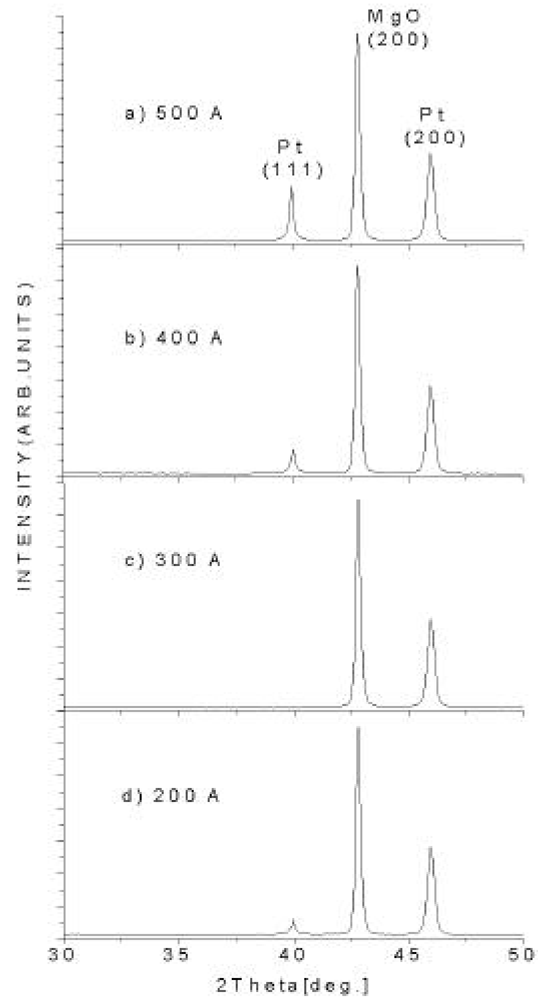

Fig. 15. XRD patterns of the PLT thin films deposited as a function of film thickness.

(5) **열처리 온도와 시간에 따른** Pt **박막의** X-**선 회절곡선**

RTA**로 열처리한** Pt **박막의 결정성은 열처리 온도가** 800℃**이고 열처리 시간은** 10**초일 때에 가장 우수한** Pt **하부전극을 얻을 수 있었다**.

3. PLT 강유전 박막의 X-선 회절곡선

적외선 센서의 강유전층으로 a축 배향된 Pt 박막위에 rf 마그네트론 스퍼터링으로 증착된 PLT 박막에 대해 증착변수인 타겟에 인가된 rf power, 기판온도, 분위기 압력, Ar과 O_2의 가스조성비 및 PLT 박막 두께 등을 변화시켜가면서 XRD 결과를 토대로 결정성을 나타내었다. 또한 결정성을 향상시키기위하여 PLT 박막을 RTA로 열처리하였는데 열처리 온도 및 시간을 변화시켜가면서 결정성을 나타내었다. PLT 박막을 a축 배향된 Pt 박막 상에 증착 시킴으로써 c축 배향된 PLT 박막을 형성할 수 있는데 이는 a축 배향된 Pt 박막과 c축 배향된 PLT 박막의 격자상수가 거의 일치하기 때문이다[12,14,22].

(1) RF power에 따른 PLT 박막의 X-선 회절곡선

기판온도를 600℃, 분위기 압력을 10mTorr, Ar과 O_2의 가스 조성비를 9:1, PLT 박막의 두께를 1㎛로 고정하고 타겟에 인가된 power를 변화시켰을 때의 X-선 회절곡선을 Fig. 16에 나타내었다. 40 W의 낮은 power에서는 (001)과 (100) 피크가 동시에 검출되었고, 그보다 높은 50 W에서는 단지 (001) 피크만이 검출되어 가장 우수한 c축 페로브스카이트 상을 나타내었다. 60 W이상의 power에서는 주 피크인 (101) 피크와 FWHM(Full Width at Half Maximum)이 증가하여 c축 배향도가 감소하고 결정성이 나빠지는 경향을 나타내었는데, 이는 power가 더욱 커지면 빠른 증착속도로 인하여 기판에 흡착된 입자가 안정한 격자위치를 찾아갈 수 있는 시간이 줄어들어 박막의 결정화는 감소하는 것으로 생각된다[24-25].

2) 기판 온도에 따른 PLT 박막의 X-선 회절곡선

rf power를 50W, 분위기 압력을 10mTorr, Ar과 O_2의 가스 조성비를 9:1, PLT 박막의 두께를 1㎛로 고정하고 기판 온도를 변화시켰을 때의 X-선 회절

곡선을 Fig. 17에 나타내었다. PLT 강유전체의 큐리온도는 La이 10mol%일 때 대략 600℃인데[12,30,53], 기판온도를 600℃로 하였을때 페로브스카이트 구조의 c축 배향된 PLT 박막이 형성되었고, 이보다 낮거나 높은 온도에서는 pyrochlore상이 나타났다. 이러한 결과는 적당한 기판온도에서의 스퍼터링은 단일 방향으로 페로브스카이트 상의 결정화를 촉진시킬 수 있음을 보여준다.

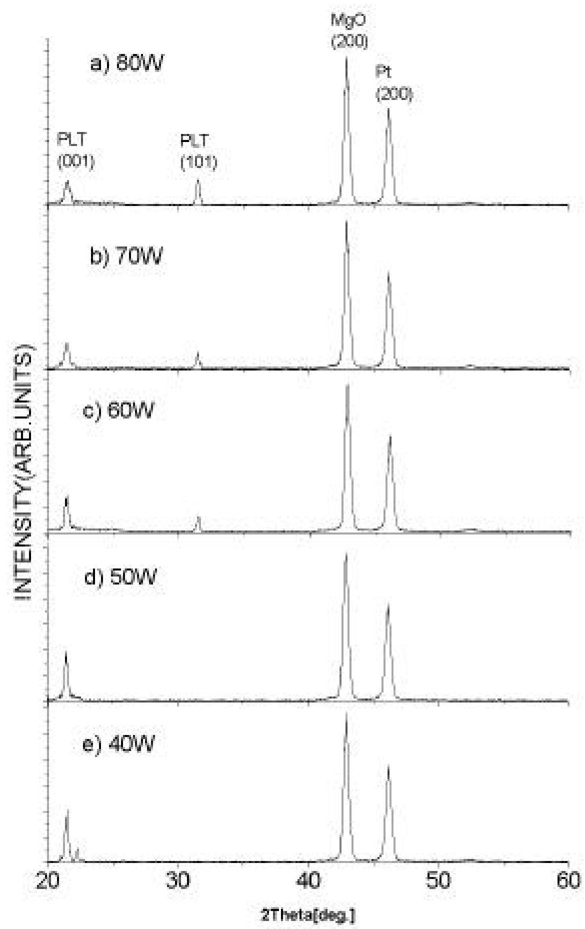

Fig. 16. XRD patterns of the PLT thin films deposited as a function of RF power.

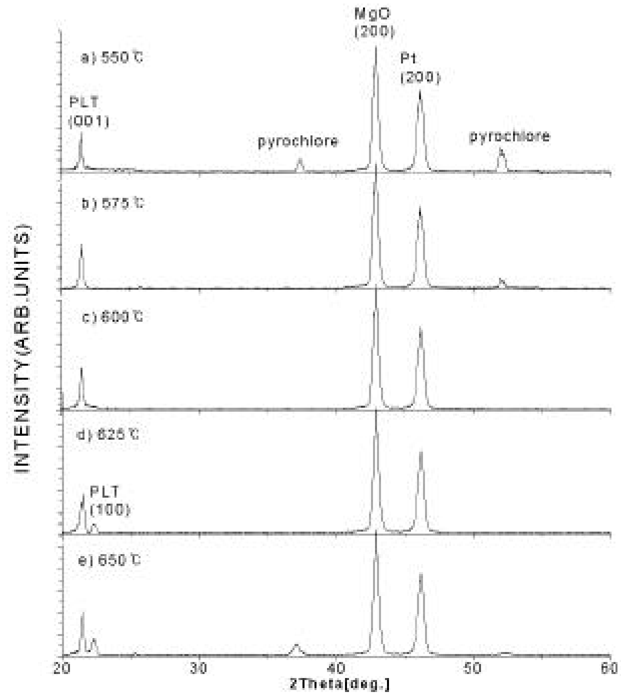

Fig. 17. XRD patterns of the PLT thin films deposited as a function of substrate temperature.

(3) 분위기 압력에 따른 PLT 박막의 X-선 회절곡선

rf power를 50W, 기판 온도를 600℃, Ar과 O_2의 가스 조성비를 9:1, PLT 박막의 두께를 1㎛로 고정하고 분위기 압력을 변화시켰을 때의 X-선 회절곡선을 Fig. 18에 나타내었다. 가스압력이 증가함에 따라 PLT 박막의 c축 배향도는 증가하고 FWHM은 줄어들었다. 하지만 10mTorr를 넘어선 압력에서는 c축 배향도가 감소하고 FWHM은 증가하였는데, 이는 분위기 가스와 스퍼터링되어 증착되는 원자들간의 산란 효과로 인해 박막에 도달하는 원자의 양과 에너지가 줄어들어 결정성이 나빠진 것으로 생각된다[26-30].

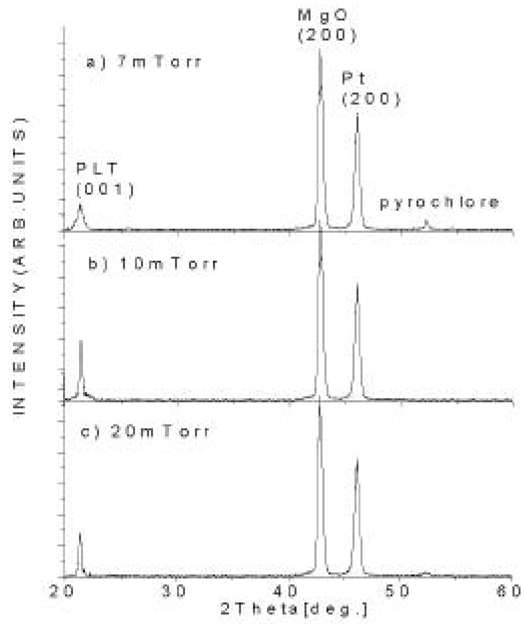

Fig. 18. XRD patterns of the PLT thin films deposited as a function of atmospheric pressure.

(4) 가스 조성비에 따른 PLT 박막의 X-선 회절곡선

rf power를 50W, 기판 온도를 600℃, 분위기 압력을 10mTorr, PLT 박막의 두께를 1㎛로 고정하고 가스 조성비를 변화시켰을 때의 X-선 회절곡선을 Fig. 19에 나타내었다. Ar 가스만을 주입한 경우보다 Ar과 O_2의 비율을 9:1로 주입한 경우 c축 배향도가 약간 감소하는 경향을 나타내는데 이는 Ar 가스만을 주입했을 때 타겟에서 스퍼터링 되는 원자가 산소보다 Pb의 양이 많아져 박막에서의 화학적 양론비가 타겟의 화학적 양론비와 일치하지 않기 때문인 것으로 생각된다. 또한 O_2의 분압이 증가함에 따라 α는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 타겟에서 스퍼터링되어 박막의 형성에 참여하게 되는 Pb의 양에 비해 산소의 양이 많아졌기 때문이라고 생각된다[31,32].

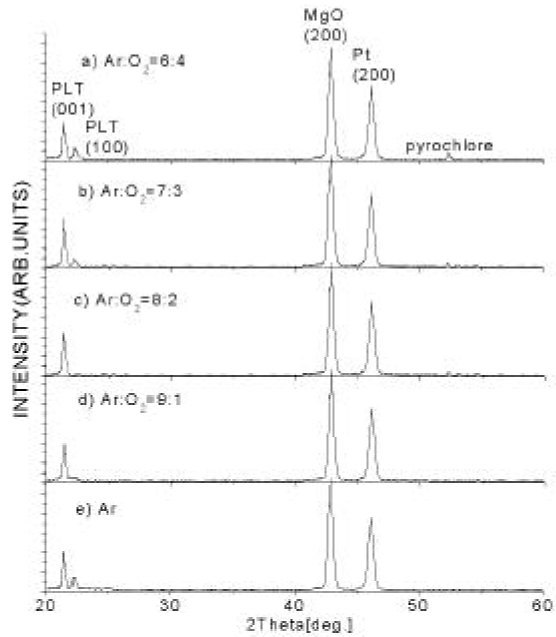

Fig. 19. XRD patterns of the PLT thin films deposited as a function of gas composition rate.

(5) 박막 두께에 따른 PLT 박막의 X-선 회절곡선

rf power를 50W, 기판 온도를 600℃, 분위기 압력을 10mTorr, Ar과 O_2의 가스 조성비를 9:1로 고정하고 박막의 두께를 변화시켰을 때의 X-선 회절곡선을 Fig. 20에 나타내었다. 0.5㎛의 두께로 증착한 경우 (001) 피크와 (100) 피크가 동시에 나타났고 1㎛의 두께로 증착한 경우 (001) 피크만이 관찰되어 매우 높은 c축 배향도를 나타내었다. 하지만 1㎛의 두께를 넘어선 경우 (101) 또는 (100) 피크가 관찰되었는데 이는 박막의 두께가 높고 낮음에 따라 박막에 미치는 기판의 응력이 차이가 나 스퍼터링 후 냉각될 때의 배향성에 영향을 미치는 것으로 생각된다[11,33].

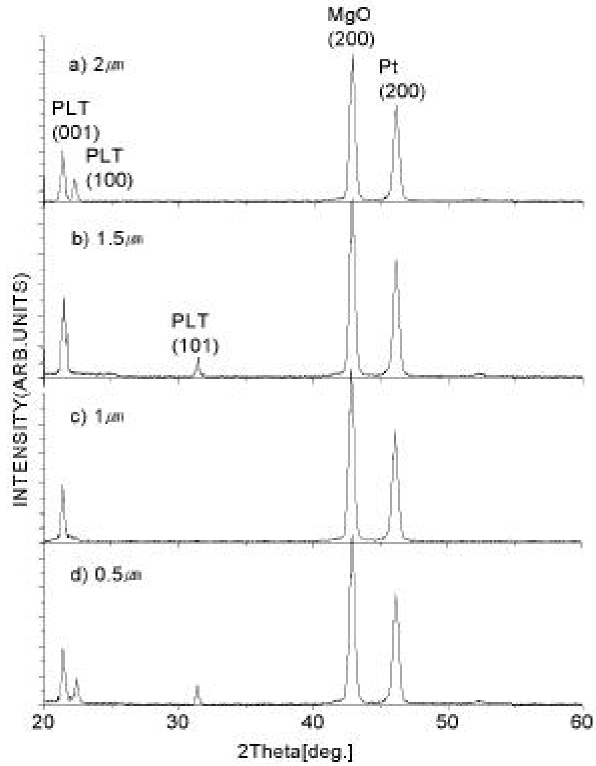

Fig. 20. XRD patterns of the PLT thin films deposited as a function of film thickness.

(6) 열처리 시간에 따른 PLT 박막의 X-선 회절곡선

c축 배향도가 가장 큰 스퍼터링 조건으로 50W의 rf power, 600℃의 기판 온도, 10mTorr의 분위기 압력, 9:1의 Ar과 O_2의 가스 조성비 및 1㎛의 두께로 증착된 PLT 박막을 630℃의 열처리 온도로 다양한 시간 변화에 따른 X-선 회절곡선 결과를 Fig. 21에 나타내었다. 열처리 시간을 15초로 하였을 때, PLT의 (001) 피크가 상대적으로 높기 때문에 결정성이 우수하다고 볼 수 있다. 열처리 시간이 짧으면, 타겟 제작시 과잉으로 첨가된 Pb가 박막에 그대로

잔류하여 Pb가 풍부한 박막이 되어 결정성이 우수하지 못하다. 반면에, 열처리 시간이 너무 길면, 과잉으로 첨가된 Pb의 양보다 휘발된 Pb의 양이 더 많아져 박막내의 화학론적 양론비가 일치하지 않아서 결정성이 우수하지 못하다고 생각된다.

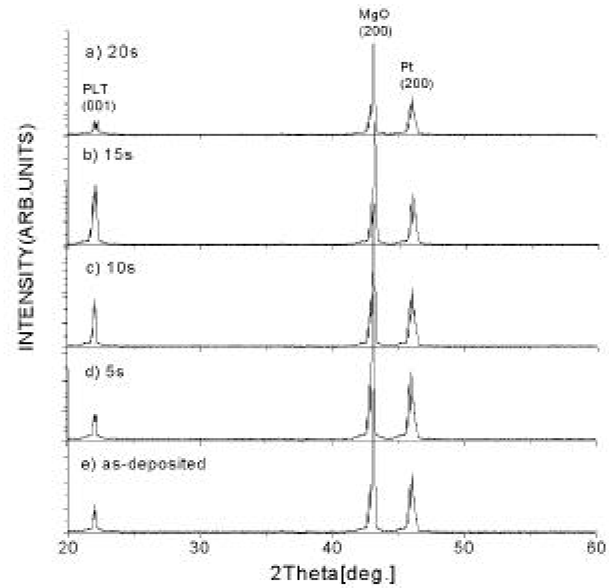

Fig. 21. XRD patterns of the PLT thin films annealed as a function of annealing time.

(7) 열처리 온도에 따른 PLT 박막의 X-선 회절곡선

증착된 PLT 박막을 15초 동안 다양한 온도 변화를 주면서 열처리한 박막에 대한 X-선 회절곡선 결과를 Fig. 22에 나타내었다. 610 650 ℃에서 열처리한 경우, (001) PLT 페로브스카이트 상이 나타남을 알 수 있다. 이 결과는 열처리 과정이 pyrochlore 상의 결정화는 억제하고 (001) 방향의 페로브스카이트 상의 결정화를 촉진시킨다는 것을 보여준다. 그림에서와 같이 610 650 ℃에

서의 열처리 온도에서 (001) 면의 강도는 증가하였고, 630 ℃에서 그 강도가 가장 높았다. 그림 a)를 살펴보면 670 ℃에서 열처리한 PLT 박막의 경우 pyrochlore 상과 함께 (101) 방향의 피크가 혼재되어 나타나 c축 배향도가 감소함을 알 수 있다.

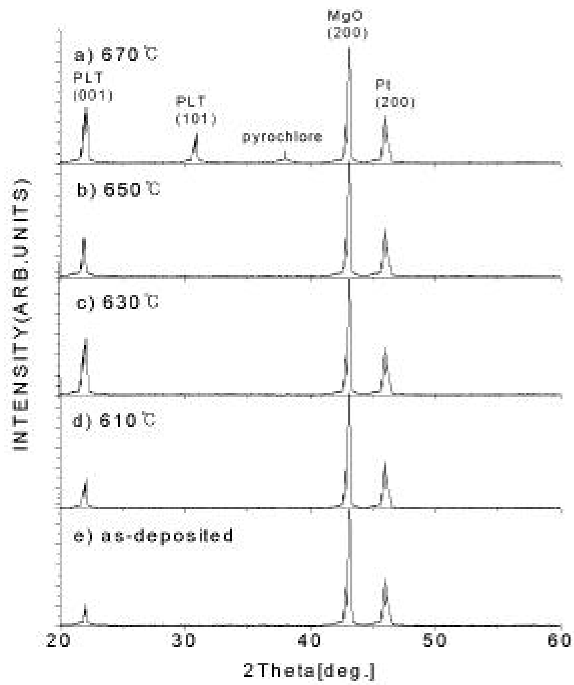

Fig. 22. XRD patterns of the PLT thin films annealed as a function of annealing temperature.

4. LTO 강유전 박막의 X-선 회절곡선

적외선 센서의 강유전층으로 a축 배향된 Pt 박막위에 rf 마그네트론 스퍼터링으로 증착된 PLT 박막에 대해 증착변수인 타겟에 인가된 rf power, 기판

온도, 분위기 압력, Ar과 O_2의 가스조성비 및 LTO 박막 두께 등을 변화시켜 가면서 XRD 결과를 토대로 결정성을 나타내었다. 또한 결정성을 향상시키기 위하여 LTO 박막을 RTA로 열처리하였는데 열처리 온도 및 시간을 변화시켜 가면서 결정성을 나타내었다.

(1) RF power에 따른 LTO 박막의 X-선 회절곡선

기판(증착) 온도를 630℃, 분위기 압력을 8mTorr, Ar과 O_2의 가스 조성비를 9:1로 고정하고 1㎛의 두께로 rf power를 변화시켜 가면서 증착한 LTO 박막의 XRD 결과를 Fig. 23에 나타내었다. LTO 박막을 MgO 완충층 없이 Si 기판상에 증착할 경우 (012), (110), (006), (024), (116), (016)면을 포함하는 다결정 LTO 박막이 형성되고, MgO 완충층이 포함된 기판의 경우 (016) 피크와 주 피크인 (012) 피크만이 검출된다고 알려져 있는데[41,42], rf power가 60W에서 80W로 증가함에 따라 (116) 피크에 대한 (012) 피크가 감소하고 그 이상의 power에서는 (116)에 대해 주 피크가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 a축 배향된 MgO 및 Pt 박막의 격자 상수가 (116) 면의 LTO 박막의 격자 상수가 거의 일치하기 때문이라고 생각된다.

(2) 기판 온도에 따른 LTO 박막의 X-선 회절곡선

rf power를 80W, 분위기 압력을 8mTorr, Ar과 O_2의 가스 조성비를 9:1로 고정하고 1㎛의 두께로 기판 온도를 변화시켜 가면서 증착한 LTO 박막의 XRD 결과를 Fig. 24에 나타내었다. LTO 강유전체의 큐리 온도는 대략 630℃로 610℃에서 650℃사이의 온도에서 증착된 LTO 박막에 대해서 pyrochlore 상이 나타나지 않았으며 610℃와 650℃에서 증착한 경우 미소한 (012) 피크가 검출되었다. 하지만 590℃ 및 670℃에서 증착한 박막에서는 pyrochlore 상이 검출되어 상대적인 (116)면의 성장이 제한되었다.

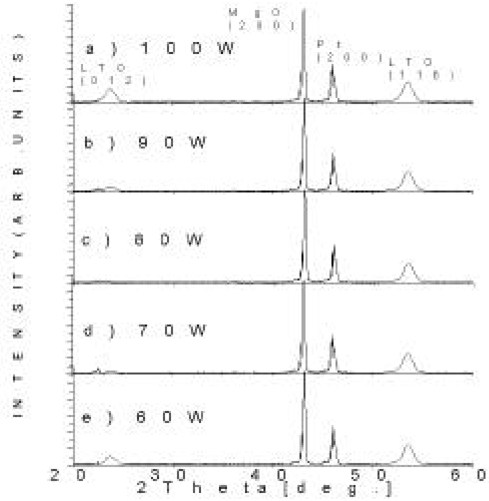

Fig. 23. XRD patterns of the LTO thin films deposited as a function of RF power.

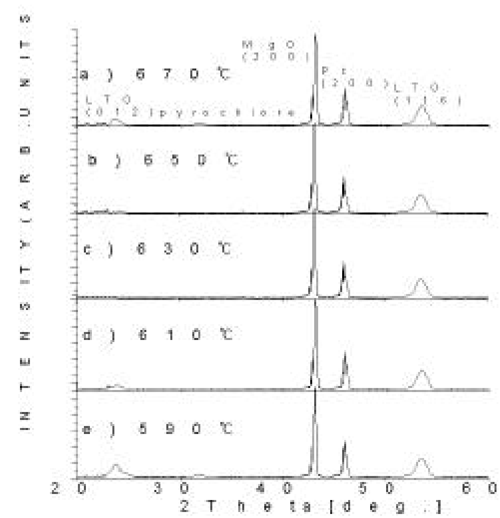

Fig. 24. XRD patterns of the LTO thin films deposited as a function of substrate temperature.

(3) 분위기 압력에 따른 LTO 박막의 X-선 회절곡선

rf power를 80W, 기판 온도를 630℃, Ar과 O_2의 가스 조성비를 9:1로 고정하고 1㎛의 두께로 분위기 압력을 변화시켜 가면서 증착한 LTO 박막의 XRD 결과를 그림 25에 나타내었다. 4mTorr에서 8mTorr까지 압력이 증가할 경우 스퍼터링되는 원자의 에너지가 증가하여 c축 배향된 PLT 박막과의 epitaxial 관계에 의해 안정된 결정면인 (116)면의 형성이 활성화되고 그 이상의 압력에서는 스퍼터링되는 원자와 분위기 가스와의 산란 효과로 인하여 스퍼터링된 원자의 에너지가 줄어들어 (116)면에 대해 (012)면의 형성이 활성화된 것으로 생각된다.[43,44]

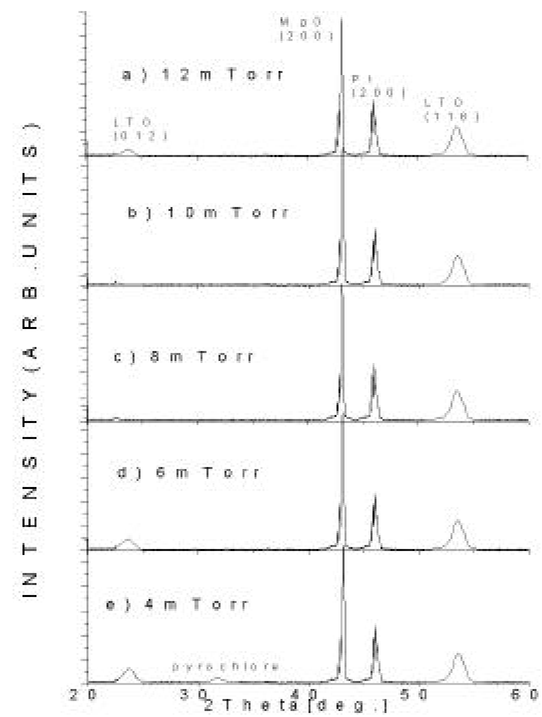

Fig. 25. XRD patterns of the LTO thin films deposited as a function of atmospheric pressure.

(4) **가스 조성비에 따른** LTO **박막의** X-**선 회절곡선**

rf power**를** 80W, **기판 온도를** 630℃, **분위기 압력을** 8mTorr**로 고정하고** 1㎛ **의 두께로** Ar**과** O_2**의 가스 조성비를 변화시켜 가면서 증착한** LTO **박막의** X-**선 회절곡선을** Fig. 26**에 나타내었다**. Ar**만을 주입하였을 경우 산소의 분압을** 10%**로 하였을 때 보다 스퍼터링 시 부족한 산소의 영향으로** pyrochlore **상이 나타났고**, 30%**의 산소의 분압에서는 박막내 산소의 과잉으로 인한** pyrochlore **상이 나타났다**.

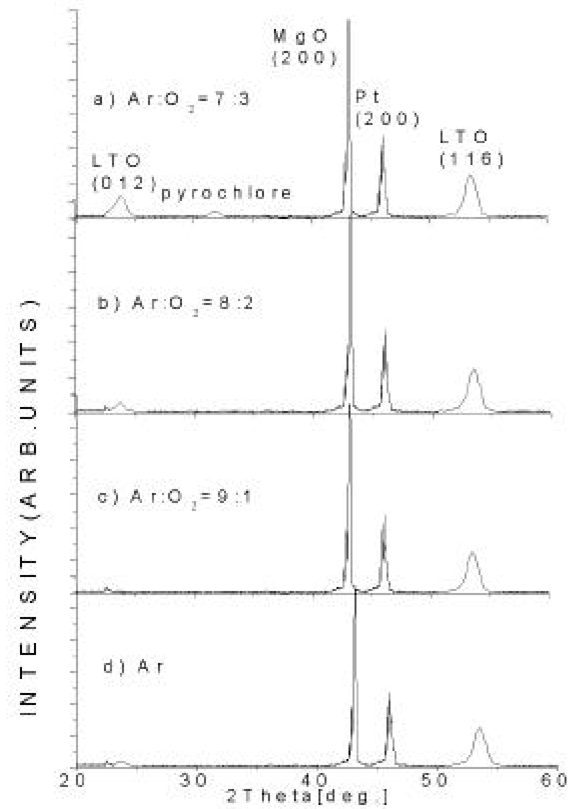

Fig. 26. XRD patterns of the LTO thin films deposited as a function of gas composition rate.

(5) 열처리 시간에 따른 LTO 박막의 X-선 회절곡선

(116)면에 대한 배향도가 가장 큰 스퍼터링 조건으로 80W의 rf power, 630℃의 기판 온도, 8mTorr의 분위기 압력, 9:1의 Ar과 O_2의 가스 조성비 및 1 ㎛의 두께로 증착된 LTO 박막을 670℃의 열처리 온도로 다양한 열처리 시간 변화에 따른 X-선 히절곡선을 Fig. 27에 나타내었다. 열처리 시간이 길어질수록 박막의 결정화가 촉진되어 10초동안 열처리한 박막에 대해 가장 샤프한 (116) 피크가 검출되었고 15초 이상 열처리하였을 때에는 결정화가 둔화되어 (116) 피크의 FWHM이 증가하는 경향을 나타내었다.

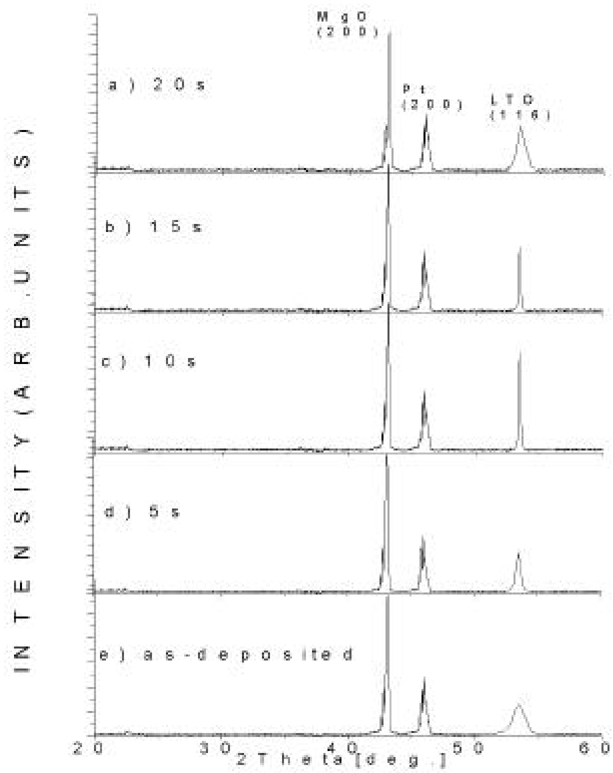

Fig. 27. XRD patterns of the LTO thin films annealed as a function of annealing time.

(6) 열처리 온도에 따른 LTO 박막의 X-선 회절곡선

(116)면에 대한 배향도가 가장 큰 스퍼터링 조건으로 80W의 rf power, 630 ℃의 기판 온도, 8mTorr의 분위기 압력, 9:1의 Ar과 O_2의 가스 조성비 및 1㎛의 두께로 증착된 LTO 박막을 10초동안 열처리 온도의 변화에 따른 X-선 회절곡선을 Fig. 28에 나타내었다. 630℃에서 690℃까지의 결과를 보면 pyrochlore 상은 검출되지 않고 710℃의 높은 온도에서 열처리하였을 때 pyrochlore 상이 검출되었으며 열처리 온도가 높아질수록 (012)면에 대한 (116)면의 XRD 피크가 커지는데 690℃ 이상의 온도에서 열처리한 경우 상대적인 (116)면의 배향도가 감소함을 알 수 있다. 이는 열처리 온도가 증가할수록 박막 내의 LTO 격자가 안정된 (116)면으로의 활성화가 촉진되지만 온도가 더욱 증가하면 오히려 안정된 격자로 찾아갈 시간이 짧아지게 된다고 생각한다[45,46].

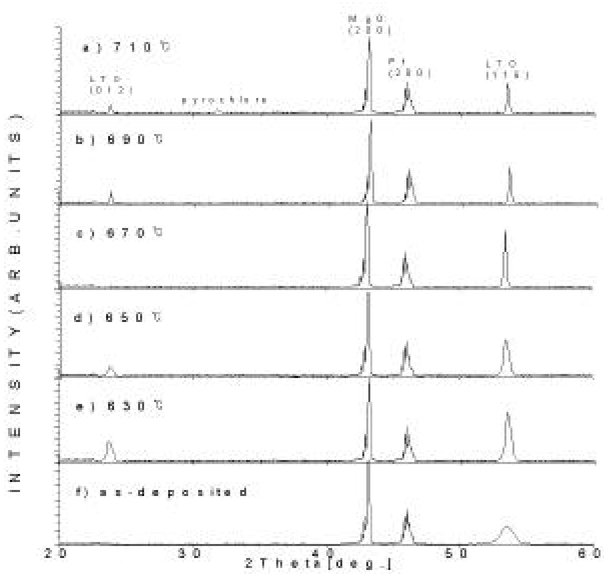

Fig. 28. XRD patterns of the LTO thin films annealed as a function of annealing temperature.

5. Ni-Cr/PLT(LTO)/Pt/MgO/N/O/N/Si 센서의 특성

5.1 Ni-Cr/PLT(LTO)/Pt/MgO/N/O/N/Si 센서의 유전특성

Fig. 29는 증착된 PLT 박막의 c-축 배향도(α)의 변화에 따라서 주파수에 대한 비유전율(ε_r)과 유전손실(tanδ)을 나타내었다. 여기서 PLT 박막의 두께는 2 μm였고, 커패시터의 면적은 0.35×0.6 mm^2였으며, 측정에 이용된 램프 전압의 크기는 10 mV였다. c-축 배향도(α)가 1일 때, 1 kHz의 주파수에서 비유전율은 약 220이었고, 유전손실은 0.024였다. c-축 배향도(α)가 작으면 작을수록, PLT 박막의 주피크가 증가하게 되므로, PLT 박막의 비유전율은 커지게 된다. 또한, c-축 배향도(α)가 커짐에 따라 비유전율과 유전손실은 크게 감소하였다. 이는 스퍼터링 방법으로 증착되었기 때문에 박막이 치밀하여 유전손실은 적은 값을 나타내었고, 주파수에 따른 비유전율의 감소는 거의 나타나지 않았으며, 이러한 값들은 PLT 벌크 세라믹과 유사한 특성을 나타내었다[33,34]. 주파수가 증가할수록 비유전율이 조금씩 감소하는 이유는 열처리시 PLT 박막과 하부박막간의 반응으로 인하여 생기는 계면분극의 영향이라고 생각된다[35,36].

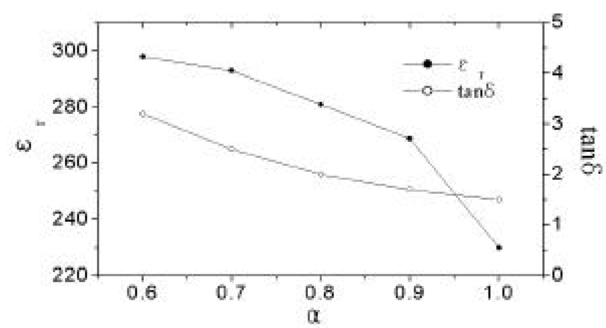

Fig. 29. dielectric constant and dissipation factor of the PLT/Pt/MgO/N/O/N/Si thin films versus α

LTO 박막은 80 W의 RF 전력, 500 ℃의 기판온도, 10 mTorr의 가스압력, Ar:O_2 = 9:1의 분위기에서 스퍼터링 방법으로 증착하였다. 그런 다음, RTA 방법으로 670 ℃에서 10초동안 열처리하였다. Fig. 30은 이렇게 증착된 LTO 박막의 주파수에 대한 비유전율(ε_r)과 유전손실(tanδ)을 나타낸 것이다. 여기서 LTO, PLT 박막의 두께는 각각 1 μm, 1 μm였고, 커패서터의 면적은 0.35×0.6 mm^2였으며, 측정에 이용된 램프 전압의 크기는 10 mV였다. c-축 배향도(α)가 1일 때, 1 kHz의 주파수에서 비유전율은 약 54 정도였고, 유전손실은 0.02였다.

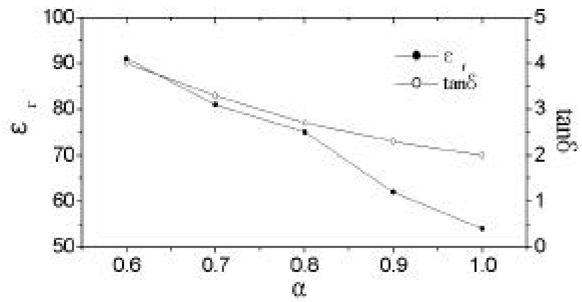

Fig. 30. dielectric constant and dissipation factor of the LTO/Pt/MgO/N/O/N/Si thin films versus α

5.2 NiCr/PLT(LTO)/Pt/MgO/N/O/N/Si 박막의 초전특성

(1) NiCr/PLT/Pt/MgO/N/O/N/Si 박막의 초전특성

c축 배향도(α)에 따른 초전계수(p)를 구하기 위해 PLT 박막을 강유전층으로 하는 적외선 센서에 대해 시간에 따라 일정하게 온도를 상승시키면서 센서로부터 나오는 초전전류(I_P)를 측정하였다. 여기서 커패시터의 면적은 유전율 및 유전손실 측정시와 마찬가지로 0.35×0.6 mm^2였다.

α_{PLT}가 0.6에서 1까지의 값을 가질 때 온도 변화에 따른 초전계수를 Fig. 31에 나타내었다. 온도가 -20℃에서 60℃까지 증가할수록 초전계수가 증가하다가 60℃이상의 온도에서는 감소하는 경향을 나타내었다. α가 증가할수록 온도에 대한 초전계수의 최대값이 증가하여 α가 1일 때 가장 큰 초전계수를 나타내었는데 그 값은 $3.21\times10^{-8}C/cm^2 \cdot K$였다. 이는 c축이 강유전층의 분극축으로써 c축 배향도가 높을수록 온도변화에 따른 강유전체 표면의 전하가 많이 발생하여 초전전류가 증가하기 때문이라고 생각된다[37-39].

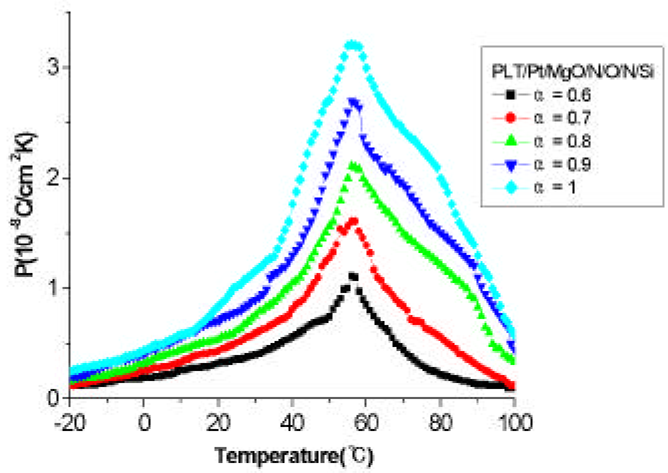

Fig. 31. Effective pyroelectric coefficient for the PLT thin films at the various temperatures. The maximum value is approximately $3.21\times10^{-8}C/cm^2 \cdot K$ at 60℃(α_{PLT} = 0.6 1)

(2) NiCr/LTO/Pt/MgO/N/O/N/Si 박막의 초전특성

α_{LTO}가 0.6에서 1까지의 값을 가질 때 온도 변화에 따른 초전계수를 Fig. 32에 나타내었다. PLT 박막을 강유전층으로 하는 경우와 유사한 경향성을 나타내었는데 α_{LTO}가 1일 때 40℃에서 초전계수가 최대값을 가지는데 그 값은

$1.8\times10^{-8}C/cm^2\cdot K$로써 PLT 박막만을 강유전층으로 하는 경우보다 낮은 값을 나타내었다.

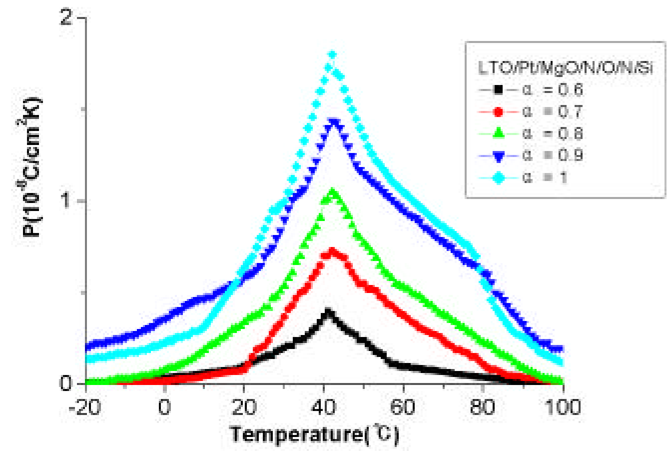

Fig. 32. Effective pyroelectric coefficient for the LTO thin films at the various temperatures. The maximum value is approximately $1.8\times10^{-8}C/cm^2\cdot K$ at 40℃(α_{LTO} = 0.6 1)

5.3 센서의 성능지수(F.M.)

(1) Ni-Cr/PLT/Pt/MgO/N/O/N/Si 박막의 전압응답에 대한 성능지수(F.M.V)

PLT 박막을 강유전층으로 하는 센서에 대해 초전계수, 유전율 및 비열의 값을 이용하여 계산한 F.M.V를 α값에 따라 Fig. 33에 나타내었다. 여기서 측정된 비열의 값은 $3.2J/cm^3\cdot K$ 였다.

Fig. 33에서와 같이 α_{PLT}가 증가함에 따라 F.M.V도 증가하는 경향을 나타내어 α_{PLT}가 1일 때 $0.46\times10^{-10}C\cdot cm/J$의 최대값을 가짐을 알 수 있다.

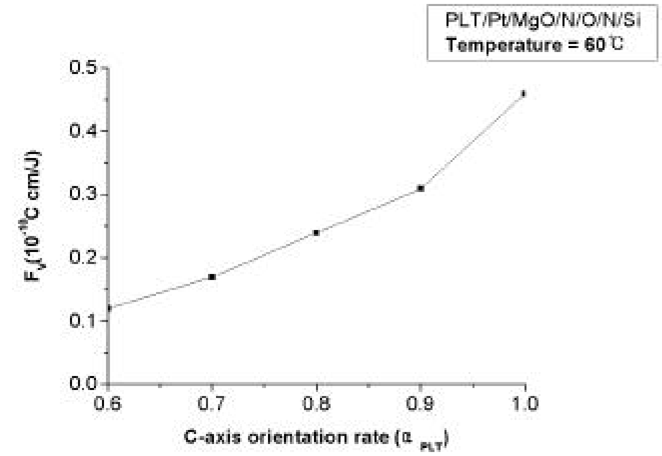

Fig. 33. F.M.V for the PLT thin films at the various α_{PLT}. The maximum value is approximately 0.46×10^{-10}C·cm/J when α_{PLT} = 1

(2) Ni-Cr/LTO/Pt/MgO/N/O/N/Si 박막의 전압응답에 대한 성능지수(F.M.V)

LTO 박막을 강유전층으로 하는 센서에 대해 초전계수, 유전율 및 비열의 값을 이용하여 계산한 F.M.V를 α값에 따라 Fig. 34에 나타내었다. 여기서 측정된 비열의 값은 3.0J/cm^3·K 였다.

Fig. 34에서와 같이 α_{LTO}가 증가함에 따라 F.M.V도 증가하는 경향을 나타내어 α_{LTO}가 1일 때 0.17×10^{-10}C·cm/J의 최대값을 가짐을 알 수 있다. 이는 PLT 박막을 센서로 사용하는 경우보다 낮은 초전계수를 가진다.

(3) NiCr/PLT/Pt/MgO/N/O/N/Si 박막의 감도에 대한 성능지수(F.M.D.)

PLT 박막을 강유전층으로 하는 적외선 센서에 대해 초전계수, 유전율, 유전손실 및 비열의 값을 이용하여 계산한 F.M.D를 α값에 따라 Fig. 35에 나타내

었다. 여기서 측정된 비열의 값은 3.2J/cm^3 · K 였다.

Fig. 35에서 α_{PLT}가 증가함에 따라 F.M.D.도 증가하는 경향을 나타내어 α_{PLT}가 1일 때 3.48×10^{-8}C · cm/J의 최대값을 가짐을 알 수 있다. 이는 α_{PLT}가 1일 때 가장 큰 초전계수와 낮은 유전율 및 유전손실을 가지기 때문이다.

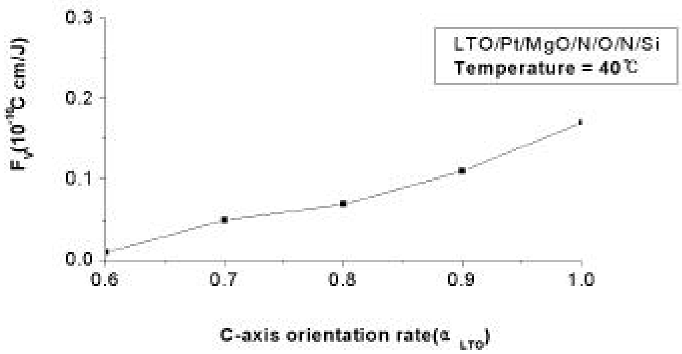

Fig. 34. F.M.V for the LTO thin films at the various α_{LTO}. The maximum value is approximately 0.17×10^{-10}C · cm/J when α_{LTO} = 1

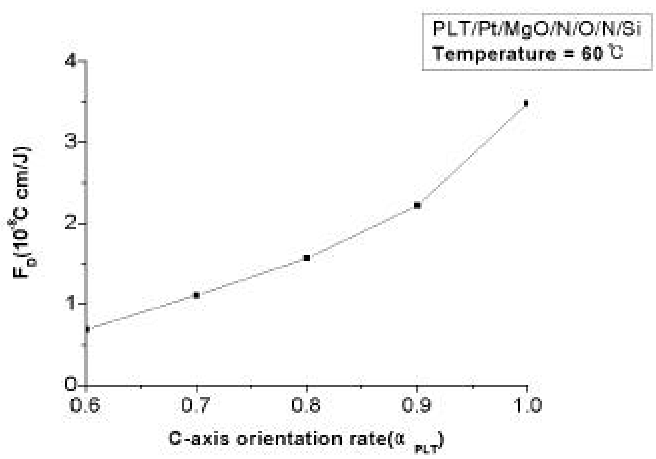

Fig. 35. F.M.D for the PLT thin films at the various α_{PLT}. The maximum value is approximately 3.48×10^{-8}C · cm/J when α_{PLT} = 1

(4) NiCr/LTO/Pt/MgO/N/O/N/Si박막의 감도에 대한 성능지수(F.M.D.)

LTO 박막을 강유전층으로 하는 적외선 센서에 대해 초전계수, 유전율, 유전손실 및 비열의 값을 이용하여 계산한 F.M.D를 α값에 따라 Fig. 36에 나타내었다. 여기서 측정된 비열의 값은 3.0J/cm^3·K 였다.

α_{LTO}가 증가함에 따라 F.M.D.도 증가하는 경향을 나타내어 α_{LTO}가 1일 때 12.5×10^{-8}C·cm/J의 최대값을 가짐을 알 수 있다. 이는 α_{LTO}가 1일 때 가장 큰 초전계수와 낮은 유전율 및 유전손실을 가지기 때문이다. 또한 PLT 박막만을 강유전층으로 한 경우보다 F.M.D.가 더 큰 값을 가지는 이유는 초전계수는 PLT 박막을 사용한 센서보다 작지만 유전율이 훨씬 작아졌기 때문이다.

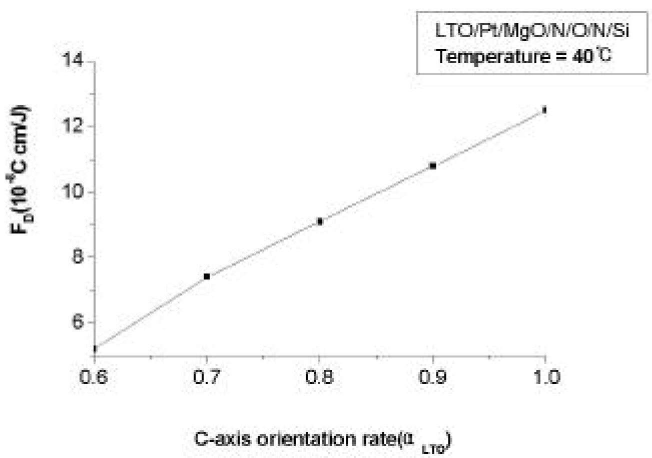

Fig. 36. F.M.D for the LTO thin films at the various α_{LTO}. The maximum value is approximately 12.5×10^{-8}C·cm/J when α_{LTO} = 1

5. 결　론

본 논문에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 증착한 후, 급속열처리 공정으로 Ni-Cr/PLT(LTO)/Pt/MgO/N/O/N/Si 형태의 적층된 초전형 적외선 센서를 제작하였다. RF 마그네트론 스퍼터링법으로 증착하고 급속열처리된 MgO, Pt, PLT 및 LTO 박막의 XRD 결과를 토대로 결정성을 고찰하였고, 고찰된 결정성을 바탕으로 강유전 박막인 PLT와 LTO의 초전계수, 유전율 및 유전손실을 측정하여 센서의 성능지수를 구하였다. 결론은 다음과 같다.

(1)MgO 박막은 160 W의 RF power, 500 ℃의 기판온도, Ar 분위기의 30 mTorr 압력에서 증착되고, 950 ℃, 공기중에서 20초동안 RTA(급속-열처리)된 경우, 가장 우수한 결정성을 보였고, a축(200)으로 우선 배향되었으며, FWHM은 0.2 °를 나타내었다.

(2)Pt 박막은 40 W의 RF power, 500 ℃의 기판온도, Ar 분위기의 10 mTorr 압력에서 증착되고, 800 ℃, 공기중에서 10초동안 RTA된 경우, 가장 우수한 결정성을 보였고, a축(200)으로 우선 배향되었으며, FWHM은 0.2 °를 나타내었다.

(3)PLT 박막은 50 W의 RF power, 600 ℃의 기판온도, Ar:O_2 = 9:1 분위기의 30 mTorr 압력에서 증착되고, 630 ℃, 공기중에서 15초동안 RTA된 경우, 가장 우수한 결정성을 보였고, c축(001)으로 우선 배향되었으며, FWHM은 0.3 °를 나타내었다.

(4)LTO 박막은 80 W의 RF power, 630 ℃의 기판온도, Ar:O_2 = 9:1 분위기

의 8 mTorr 압력에서 증착되고, 670 ℃, 공기중에서 10초동안 RTA된 경우, 가장 우수한 결정성을 보였고, (116) 방향으로 우선 배향되었으며, FWHM은 0.2 °를 나타내었다.

(5)Ni-Cr/PLT/Pt/MgO/N/O/N/Si 형태와 Ni-Cr/LTO/Pt/MgO/N/O/N/Si 형태로 제작된 센서의 특성은 각각 다음과 같다. 초전계수($nC/cm^2 \cdot K$)는 32.1과 18.0, 비유전율은 220과 54, 유전손실은 0.024와 0.020, 전압응답도($C \cdot cm/J$)는 0.46×10^{-10}과 0.17×10^{-10} 그리고, 감도응답도는 3.48×10^{-8}와 1.25×10^{-7}으로 PLT 강유전 박막을 이용한 초전형 적외선 센서의 특성이 우수하였다.

참고 문헌

1) Ch. Lucas, "Infrared Detection, Some Recent Developments and Future Trends", Sensors and Actuators A, No. 25-27, pp. 147-154 (1991).

2) **백수현**, "**적외선 센서**", Sensor Handbook, pp. 299 (1990).

3) E. Wagner et al., "Optical sensors", VCH, (1991).

4) **박기철**, "**초전형 적외선 센서**" **센서기술**, **제4권**, **제1호**, pp. 32-47 (1997).

5) **김종회**, "**적외선 감지용 초전센서 및 어레이 제조**", **한국과학기술처** 2, 3 **년차 보고서**, **과학기술원** (1997).

6) V. G. Gavrilyachenko, R. I. Spinko, M. A. Martynenko, and E. G. Fesenko, Sov. Phys.-Solid State 12, pp. 1203, (1970).

7) K. Iijima, S. Kawashima and I. Ueda, "Dielectric and Pyroelectric Properties of $PbTiO_3$ Thin film", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 24, pp. 482-484, (1985).

8) R. Takayama, Y. Tomita, K. Iijima, and I. Ueda, "Preparation and characteristics of pyroelectric infrared sensors made of c-axis oriented La-modified $PbTiO_3$ thin films", J. Appl. Phys., Vol. 61 No. 1, pp. 411-415, (1987).

9) N. Nagao, T. Takeuchi and K. Iijima, "Preparation and Properties of (Pb, La)TiO_3 Pyroelectric Thin Films by RF-Magnetron Sputtering", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 32, No. 9B, pp. 4065-4068, (1993).

10) T. Kotani, T. Nakanishi and K. Nomura, "Fabrication of a new pyroelectric infrared s ensor using MgO surface micromachining", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 32, No. 12B, pp. 6297-6300, (1993).

11) R. Takayama, Y. Tomita, K. Iijima, and I. Ueda, "Pyroelectric linear array infrared sensors made of c-axis oriented La-modified $PbTiO_3$ thin films", J. Appl. Phys., Vol. 63, No.12, pp. 5868-5872, (1988).

12) **조성현**, **이재곤**, **최시영**, "MgO**기판위에 올린** PLT**박막의 특성과 적외선 센서의 제작**", The 7th Conference on Sensor Technology, **제**7**권 제**1**호**, pp. 123-128, (1996).

13) Eiso Yamaka, Hirohito Kimura, Hiroruki Kanaya, Haruo Ohkuma, "Structural, ferroelectric, and pyroelectric propertics of highly c-axis oriented $(Pb_{1-x}\ Ca_x)TiO_3$ thin film grown by radio-frequency magnetron spottering", J.Vac.Sci.Technol, T. J. Bukowski, D. R

14) K. Komaki, T. Kamada, S. Hayashi, M. Kitagawa, R. Takayama and T. Hirao, "Preparation of pyroelectric $Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O_3$ thin films from Ceramic Target by RF Magnetron Sputtering", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, No. 3B, pp. L443-L446, (1994).

15) Masafumi Kobune, Atsushi Mineshige, Satoshi Fujll, Yasumori Maeda and Junko Furumoto, "Preparation and Pyroelectric of (Pb, La)(Zr, $Ti)O_3$ Ceramics", Jounal of Ceramic Society of Japan, Vol. 105, No. 4 pp.312-316, (1997).

16) Sangsub Kim and Sunggi Baik, "Rutherford Backscattering and Channeling Studies of Cleaved, Polished and Annealed MgO(100) Single Crystals", J. Am. Ceram. Soc, Vol. 77, No. 1, pp.230-234, (1994).

17) Peter Haschberger, Michael Bundschuh and Volker Tank, "Infrared sensor for the detection and protection of wildlife", Opt. Eng, Vol. 35 No. 3 pp.883-889, (1996).

18) Masayuki Lijima, Guo Hua Shen, Yoshikazu Takahashi, Eiichi Fukada, Akimasa Tanaka and Seiji Sakata, " Characteristics of pyroelectric sensors of polyurea films prepared by vapor deposition polymerization" The Solid Films, Vol. 272, pp.157-160, (1996).

19) Sangsub Kim, Young-min Kang, and Sunggi Baik, "Microstructural Model on the Evolution of Domain Structure during Processing $PbTiO_3$ Thin ilms on MgO(100) Substrates", J. Am. Ceram. Soc, Vol. 79, No. 4 pp.1105-1108, (1996).

20) Sidney B. Lang and Marin Alexe, "Optimization and Experimental Verification of a Pyroelectric Bimorph Radiation Detector", IEEE, pp.195-198, (1998).

21) Kwangsoo No, Chaun-Gi Choi, Tae-hyun Sung, Yong-chun Kim, In-seop jeong and Won Jong Lee, "Pyroelectric properties of Sol-Gel Derived Lanthanum Modified Lead Titanate Thin Films", Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 35, No. 5A, pp.2731-2733, (1996).

22) T. Ogawa, A. Senda and T. Kasanmi, “Controlling the Crystal Orientations of Lead Titanate Thin Films", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 30, No. 9B, pp. 2145-2148, (1991).

23) **최준림**, “**마이크로 가공기술을 이용한 강유전체 박막 초전형 적외선 센서**”, **대한전자공학회지**, **제35권** D**편 제4호**, pp. 403-410, (1998).

24) H. H. Kim, K. S. Sohn, L. M. Casas, R. L. Pfeffer and R. T. Lareau, "Preparation of Paraelectric PLT Thin Films Using Reactive Magnetron Sputtering of Multicomponent Metal Target", J. Eletrochem. Soc, Vol. 142, No. 5, pp.1640-1643, (1995).

25) T. Tamura, K. Matsuura, H. Ashida, K. Konda and S. Otani, "Hysteresis variations of $(Pb,La)(Zr,Ti)O_3$ capacitors baked in a hydrogen atmosphere", Appled Physics Letters, Vol. 74, No. 22 pp.3395-3397, (1999).

26) S. Kim and S. Baik, “Effects of surface structures of MgO(100) single crystal substrates on ferroelectric $PbTiO_3$ thin films grown by radio frequency sputtering”, J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 13, No. 1, pp. 95-100, (1995).

27) M. Kobune, S. Fujii, R. Takayama and A. Tomozawa, “Preparation and Pyroelectric Properties of $(Pb, La)(Zr, Ti)O_3$ (PLZT) Thin Films”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35, No. 9B, pp. 4980-4983, (1996).

28) K. Hashimoto, T. Tsuruta, K. Nishimura, K. Morinaka, M. Kawaguri and N. Yoshiike, “Characteristics of Pyroelectric Infrared Array Detector Made of $PbTiO_3$ Ceramics”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, No. 6A, pp. 3553-3557, (1997).

29) Y. Kaneko, N. Mikoshiba and T. Yamashita, “Preparation of MgO Thin Films by RF Magnetron Sputtering”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 30, No. 5, pp. 1091-1092, (1991).

30) 이영준, 백성기, “Reactive RF 마그네트론 스퍼터링법으로 Si(100) 기판에 MgO 박막 제조시 증착변수의 영향”, 한국 세라믹 학회지, 제31권 제6호, pp. 643-650, (1994).

31) V. R. Palkar, S. C. Purandare and R. Pinto, "Ferroelectric thin films of $PbTiO_3$ on silicon", Jan. J. Appl. Phys, Vol 32, pp.R1-R18, (1999).

32) Sangsub Kim and Shunichi Hishita, "preparation and characterzation of $BaTiO_3$ thin films on MgO-buffered Si(100) substrates by RF sputtering", J. Mater. Res, Vol. 12, No. 4 Apr, (1997).

33) S. Kim, Y. Park, Y. Kang, W. Park, S. Baik and A. Gruverman, "Ferroelectric domains in epitaxial $PbTiO_3$ and $BaTiO_3$ thin films on MgO(100)", Thin Solid Films, Vol. 312, pp. 249-253, (1998).

34) Nasir Abdul Basit, Hong Koo Kim and Jean Blachere, "Growth of highly oriented Pb(Zr, Ti)O_3 films on MgO-buffered oxidized Si substrates and application to ferroelectric nonvolatile memory filed-effect transistors", Appled Physics Letters, Vol. 73, No. 26, pp.3941-3943, (1998).

35) Young min Kang and Sunggi Baik, "in situ high-temperature x-ray diffraction study on domain evolution in ferrelectric (Pb, La)TiO_3 epitaxial thin films", J. Appl. phys, Vol. 82, No. 5, pp.2532-2536, (1997).

36) Jyh-Jier Ho, Y. K. Fang, K. H. Wu, W. T. Hsieh, C. W. Chu, C. R. Huang, M. S. Ju and C. P. Chang, "A High Sensitivity Lead-Titanate ($PbTiO_3$) Pyroelectric Thin-Film Infrared Sensor with Temperature Isolation Improvemene Structure", IEEE Electron Device Letters, Vol. 19, No. 6, pp.189-191, (1998).

37) F. Y. Chen, Y. K. Fang, C. Y. Shu and J. R. Chen, "Numerical Analysis of a $PbTiO_3$ Ferroelectric Thin-Film Infrared Optical Diode", IEEE trandactions on Devices, Vol. 44, No. 6, pp.937-942, (1997).

38) Junji Senzaki, Koji Kurihara, Naoki Nomura, Osamu Mitsunaga, Yoshitaka Iwasaki and Tomo Ueno, "Characterization of $Pb(Zr, Ti)O_3$ Thin Films on Si Substrates Using MgO Intermediate Layer for Metal/Ferroelectric/Insulator/Semiconductor Field Effect Transister Devices", Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 37, No. 9B pp.5150-5153, (1998).

39) Takao Asakura, Koji Ishikawa, Atushi Sato and Masaru Okada, "Preparation and Pyroelectric Charateristics of $Pb(Zr,Ti)O_3$ Thin Films Grown by Metalorganic Chemical Vapor Deposition", Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 35, No. 9B, pp.4886-4889, (1996).

40) K. Iijima, S. Kawashima and I. Ueda, "Dielectric and Pyroelectric Properties of $PbTiO_3$ Thin film", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 24, pp. 482-484, (1985).

41) Zhi-tang Song, Wei Ren, Liang-ying Zhang, Xi Yao, and Chenglu Lin, "A study on abnormal electric properties of lead lanthanum titanate thin films caused by excess PbO", Thin Solid Films 353, pp.25-28, (1999).

42) Tomoyuki Sakoda, Katsuhiro Aoki and YUkio Fukuda, "Characterization of Sputtered Lead- Zirconate-Titanate Thin Films with Various Compositions", Jan. J. Appl. Phys, Vol. 38, No. 6A, pp.3600-3603, (1999).

43) MasaFumi Kobune, Atsushi Mineshige, Satoshi Fujii and Yasumori Maeda, "Preparation and Pyroelectric of Mn-Modified (Pb, La)(Zr, Ti)O_3 (PLZT) Ceramics", Jan. J. Appl. phys, Vol. 36, No. 9B, pp.5976-5980, (1997).

44) Takeshi Kamada, Kazuki Komaki, Shigenori Hayashi and Masatoshi Kitagawa, "Preparation of La-Modified Lead Titanate thin films by RF-magnetron sputtering method and their Pyroelectric properties", Jan. J. Appl. Phys, Vol. 34, No. 2B, pp.L233-L235, (1995).

45) H. N. Al-Shareef, B. A. Tuttle, W. L. Warren, D. Dimos, M. V. Raymond and M. A. Rodringuez, "Low temperature processing of Nb-doped Pb(Zr, Ti)O_3capacitors with $La_{0.5}Sr_{0.5}CoO_3$ electrodes", Appl. Phys. Lett, Vol. 68, No.2, pp.272-274, (1996).

46) W. L. Warren, D. Dimos, B. A. tuttle, R. D. Nasby and G. E. Pike, "Electronic domain pinning in Pb(Zr, Ti)O_3 thin films and its role in fatigue", Appl. Phys. Lett, Vol. 65, No. 8, pp.1018-1020, (1994).

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 부족한 저에게 아낌없는 지도와 가르침을 주신 권태하 교수님께 머리숙여 깊이 감사드립니다. 그리고, 대학원 생활에 적절한 지도와 충고를 아끼지 않으신 최혁환 교수님과 항상 따뜻한 미소와 배려로 돌봐주신 이명교 교수님을 비롯한 여러 스승님들께 또한 깊이 감사드립니다.

돌이켜보면 길지도 짧지도 않은 석사과정 2년 동안은 저에게 너무나 소중한 시간이었다고 생각합니다. 실험에서 졸업논문 작성까지 저의 대학원 생활을 지켜보며 세심한 배려를 아끼지 않은 성현이 형과 지금은 미국에서 유학 생활을 하시는 지열이 형, 언제나 웃는 모습을 보이는 3번 성우, 많은 도움과 재미있는 유머로 웃겨주는 우창이, 다른 길로 빠지지 않게 나를 바로 잡아주던 4번 성우, 실험을 2년 동안 같이 해온 나의 친구 세경이와 유진이, 사귄지 얼마 되지 않지만 오랜 친구 같은 정원이, 여러 가지 많은 가르침을 주시던 영호형, 언제나 실험실 막둥이 같은 영원한 막둥이 채성이, 착한 학부 막내 주홍이, 삼성전관에 계시며 저희들을 생각해 주시는 재권이 형과 VLSI 실험실에 있는 소중한 동생들(현숙이, 승환이, 상경이, 일미, 정민이)에게도 감사하다는 말을 꼭 전하고 싶습니다.

나의 오랜 친구인 죽마고우 기태, 항상 걱정과 격려를 아끼지 않았던 나의 고등학교 동창들, 웃으면서 졸업을 축하한다던 디지털 실험시간의 학부동생들, 학부를 졸업하고 힘들고 외로울 때 힘이 되어준 윤식이 형과 박현숙양, 어려울 때 마다 술을 권하던 동생인 무철이, 마지막으로 변함없는 마음으로 저를 아껴주시고 사랑해 주신 아버지, 어머니의 은혜에 감사의 눈물을 드리고 항상 나의 자리를 지켜주는 여동생과 졸업을 고대하고 축하해 주시는 나의 친지 분들께 감사의 말을 드립니다.