

높은 열저항 계수를 가지는 비냉각형 적외선 열영상 이미지 센서용 MDTF(Metal-dielectric Thin Film)에 관한 연구

정은식¹, 정세진², 강이구³, 성만영^{1,a}

¹ 고려대학교 전기공학과

² (주)실리콘핸즈

³ 극동대학교 태양광공학과

A Study on the MDTF for Uncooled Infrared Ray Thermal Image Sensors with High Thermal Coefficient of Resistance

Eun-Sik Jung¹, Se Jin Jeong², Ey-Goo Kang³, and Man-Young Sung^{1,a}

¹ Department of Electrical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

² Siliconhands Co., Ltd., Seoul 163-713, Korea

³ Department of Photovoltaic Engineering, Far East University, Eumseong 369-700, Korea

(Received March 15, 2012; Revised March 26, 2012; Accepted March 26, 2012)

Abstract: In this paper, fabricated by MEMS uncooled micro-bolometer detector for the study in the infrared sensitivity enhancement. Absorption layer SiOx-Metal series MDTF (metal-dielectric thin film) by high absorption rate and has a high thermal coefficient of resistance, low noise characteristics were implemented. Then MDTF were made in a vacuum deposition method. And MDTF for the analysis of the physical properties of silicon wafers were fabricated, TCR (temperature coefficient of resistance) value was made in order to measure the glass wafer and FT-IR (Fourier Transform Infrared spectroscopy) values were made in order to measure the germanium window. The analyzed results of MDTF -3 [%/K] has more characteristics of the TCR. And $8\sim 12$ μm wavelength region close to 70% in the absorption characteristic.

Keywords: Thermal coefficient of resistance, Uncooled, Micro-bolometer, Metal-dielectric thin film

1. 서론

적외선은 전자 (electron)와 같이 파동이면서 입자적인 성격을 가지고 있으며, 물체에서 나온 어떤 영역의 적외선은 공기 중의 입자와 충돌하거나 흡수된다. 그 중에서도 장파장 (long-wave infrared, LWIR) 영역인 $8\sim 14$ μm , 중파장 (middle-wave infrared,

MWIR) 영역인 $3\sim 5$ μm 에서는 흡수 및 충돌을 일으키지 않고 대기를 무사히 통과하는 대기 투과창 성질을 이용하여 적외선 혹은 열영상 검출기를 제작한다. 특히, 25°C 정도의 상온의 물체는 장파장 ($8\sim 14$ μm) 영역에서 중파장 ($3\sim 5$ μm) 영역보다 50배나 많은 복사 에너지를 방출하기 때문에 야간 관측 및 열영상 이미지 촬영 등과 같은 분야에 널리 응용된다. 이러한 적외선 검출기는 동작원리에 따라 양자 (photon) 형과 열 (thermal)형으로 나눌 수 있다. 양자형은 주

a. Corresponding author: semicad@korea.ac.kr

로 반도체 성질을 갖는 재료 (HgCdTe, InSb)를 이용하고 있으며, 열형은 반도체 이외의 재료로 만들어진다. 반도체 재료들은 검출기 특성은 좋으나 액체 질소 펌프 (작동온도: -196°C)를 사용하는 냉각형인 반면에, 열형 재료들은 대부분 상온에서 작동되는 비냉각형이다 [1].

비냉각 방식 적외선 열 영상 검출기의 성능을 평가하기 위한 척도로는, 소자에 입사되는 적외선에 대한 출력 신호의 변화정도를 나타내는 응답도, 적외선 감지층 막의 불균일한 특성에 의해 발생하는 노이즈, 응답도와 노이즈에 의한 볼로미터 소자의 감지도 등이 있다 [2]. 이와 같은 검출기의 성능을 위해서는 기본적으로 마이크로 볼로미터의 감지층 특성이 우수해야 하는데 마이크로 볼로미터에 사용되는 감지층은 TCR (temperature coefficient of resistance)이 크고 노이즈가 작을 뿐만 아니라 물질 자체가 안정적이고 기존의 실리콘 공정과 호환이 잘 되어야 한다. 적외선을 감지하는 감지층은 지금까지 금속, 반도체, 초전도체 등 세계적으로 여러 가지 물질이 활발하게 연구되고 있다. 이에 본 논문에서는 비냉각형 마이크로 볼로미터 검출기의 적외선 감지층으로 SiOx-Metal 계열의 MDTF (metal-dielectric thin film)를 사용하여 높은 열저항 계수와 높은 열흡수율 가지며, 낮은 노이즈 특성 구현을 위한 연구를 진행하였다.

2. 실험 방법

본 논문에서는 비냉각형 마이크로 볼로미터 검출기의 적외선 감지층으로 사용하기 위해 다음과 같은 실험 진행 순서로 MDTF를 제작하고 제작한 MDTF를 분석하기 위해 조성 분석용 기관인 실리콘 웨이퍼, TCR 분석용 기관인 glass 및 FT-IR 분석용 기관인 Ge window를 분석 특성에 맞게 준비하였으며 진공 증착에 필요한 보트 (boat)인 텅스텐 보트 (tungsten boat)를 증착 조건 실험에 준비하였다. 실험 방법은 그림 1의 순서처럼 다음과 같이 진행한다.

1) 기관 준비 및 세척

MDTF를 증착할 기관은 3가지 종류이며 각각 물질 분석을 위한 실리콘 웨이퍼, TCR (temperature coefficient of resistance) 측정을 위한 glass wafer, FT-IR (fourier transform infrared spectroscopy) 측정을 위한 germanium window이다. MDTF를 증착하기 전 기관을 NH_4OH (25%), H_2O_2 (30%), H_2O

(distillated)으로 구성된 수소 암모늄 혼합물이나 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, H_2SO_4 (concentrated)으로 구성된 크로뮴 혼합물 등의 방법으로 세척을 한다.

2) 진공증착 장비 및 조건

진공 증착 장비의 챔버 진공도는 최소한 2×10^{-5} torr 이하에서 진행하며, 기관과의 거리는 약 15.5 cm이다. 진공 증착에 사용되는 boats는 두께가 약 0.15~0.3 mm 정도의 tungsten foil을 사용한다.

3) MDTF 혼합물 제조

IR 영역에서 흡수 특성이 있고 열 감지 특성이 있는 $\text{SiO}_2\text{-Ti}$ 혹은 SiO-ZrO_2 를 조성비에 맞추어 섞어 유발에서 뿜은 후 boat에 담는다. 표 1은 각각의 혼합물별 뿜아야 될 입자 크기 및 순도이다.

Table 1. Specific particle size and purity.

Material	Formula	Particle size	Purity [%]
Silicon dioxide	SiO_2	~100 mesh	99.99
Titanium metal	Ti	~100 mesh	99.5
Silicon oxide	SiO	2~4 mm pieces	99.9
Zirconium oxide	ZrO_2	~325 mesh	99.7

4) 진공 증착 과정

진공 증착은 두 가지 상태의 과정으로 진행된다. 첫 번째 상태는 진공도에 따라 약 30~60초 동안 $\text{SiO}_2\text{-Ti}$ 혹은 SiO-ZrO_2 를 혼합물에 온도가 서서히 올라가는 단계로 혼합물의 물질들이 서서히 섞이며 녹는 과정이다. 이 과정에서는 기관에는 증착은 이루어지지 않는다. 두 번째 단계로 크리스털 센서가 표시하는 증착두께가 2~5 nm/sec 정도로 기관에 증착되는 상태로 진행되며 혼합물의 조성 및 총량에 따라 50~150 sec 정도의 시간 동안 $\text{SiO}_2\text{-Ti}$ 의 경우 0.1~0.5 μm SiO-ZrO_2 는 0.5~0.7 μm 정도 증착된다.

5) 제작된 MDTF 결과물

그림 1은 진공 증착 과정을 통해 증착된 MDTF에 대한 결과로 앞서 논의한 특성 측정을 위한 3가지 방법에 맞춰 실리콘 웨이퍼와 Ge window 그리고 TCR 측정을 위한 glass wafer에 각각 증착을 하였다.

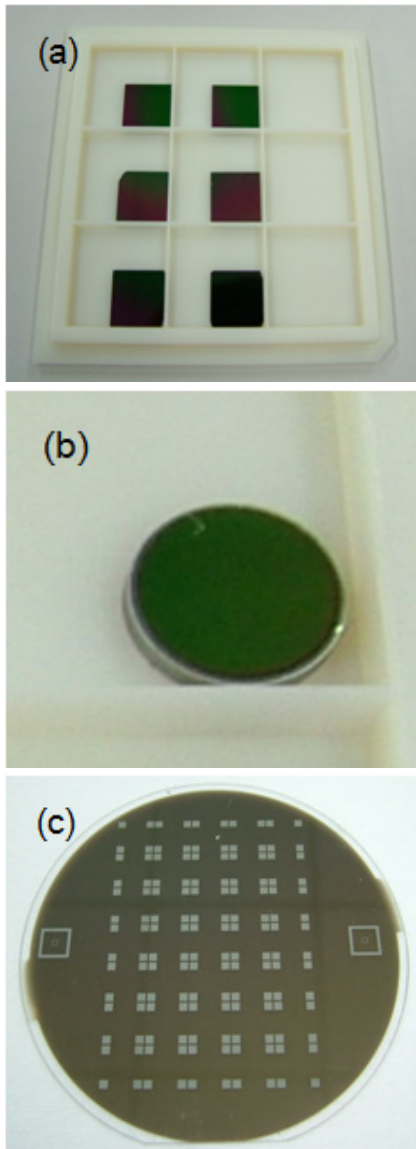


Fig. 1. Fabricated MDTF (a) deposition of MDTF on silicon wafer, (b) deposition of MDTF on germanium window, (c) deposition of MDTF on glass wafer for TCR measurement.

3. 결과 및 고찰

1) 4-point probe를 이용한 면저항 측정 및 FE-SEM을 이용한 표면 분석

실리콘 웨이퍼 기판에 증착된 MDTF의 면저항은 200 kohm 정도로 측정되었으며, MDTF 증착 표면의 균일도를 측정할 수 있다.

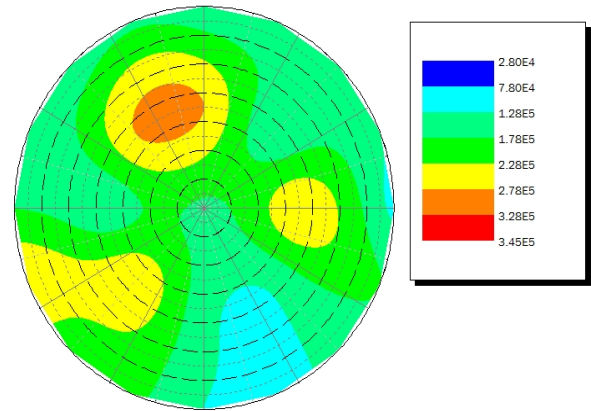


Fig. 2. Results of $(\text{SiO}_2)_7-(\text{Ti})_3$ MDTF sheet resistance.

그림 2에서 보듯이 측정된 MDTF는 $(\text{SiO}_2)_7-(\text{Ti})_3$ 의 결과이며, 49%의 균일도를 갖고 있다. 이는 박막 증착 시 진공도에 의해 좌우되며 증착 방법 상 최소한의 결과이며 차후 진공 증발법이 아닌 E-beam 증착법으로 공정을 진행할 경우 균일도는 개선될 가능성이 있다.

그림 3은 실리콘 기판 위에 증착한 MDTF의 FE-SEM (field emission scanning electron microscope) 사진이다. 그림에서와 같이 $(\text{SiO}_2)_x-(\text{Ti})_y$ MDTF의 경우 Ti의 비율이 증가할수록 표면의 거칠기는 향상되는 것을 알 수 있다. 이것은 MEMS 공정 중에 MDTF layer 아래 위에 어떤 다른 물질을 증착할 때 adhesion에 영향을 준다. 조성 비율 중 $(\text{SiO}_2)_x-(\text{Ti})_y$ 의 x:y의 비율이 6:4의 경우가 가장 뛰어나지만 Ti의 비율이 8:2 혹은 7:3의 비율이 알맞을 것으로 판단된다.

2) EDAX를 이용한 MDTF 조성 분석

다음으로 MDTF의 표면에 대한 EDAX (energy dispersive x-ray spectroscopy) 분석 방법으로 조성별 MDTF를 분석하여 그림 4에 나타내었다.

또한 $(\text{SiO}_2)_x-(\text{Ti})_y$ 의 혼합비율에 따라 EDAX 방법으로 분석한 기판의 element 비율을 표 2에 나타내었다. x:y 중 y의 비율이 증가할수록 전체 비율에서 Ti가 차지하는 비율이 증가하는 것을 알 수 있으며, 특히하게 텅스텐이 검출되었는데, 이는 반대로 y의 비율이 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있다. 텅스텐은 혼합물을 담은 보트의 성분이다. 이런 현상을 국외 위탁기관에서도 정확하게 분석하지 못하고 있으며 진공증착을 위해 boat에 열을 가하며 증착이 이루어

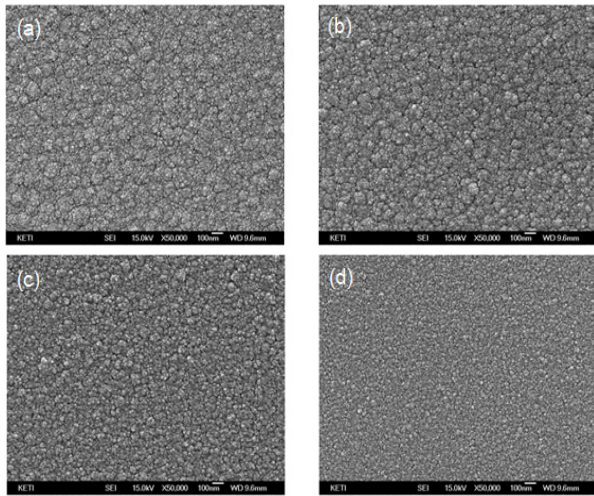


Fig. 3. SEM analysis of $(\text{SiO}_2)_x\text{-(Ti)}_y$ MDTF surface, (a) $(\text{SiO}_2)_{90}\text{-(Ti)}_{10}$, (b) $(\text{SiO}_2)_{80}\text{-(Ti)}_{20}$, (c) $(\text{SiO}_2)_{70}\text{-(Ti)}_{30}$, (d) $(\text{SiO}_2)_{60}\text{-(Ti)}_{40}$.

Table 2. Ratio of the element by mixing ratio of $\text{SiO}_2\text{-Ti}$.

Composite	$(\text{SiO}_2)_{90}\text{-(Ti)}_{10}$		$(\text{SiO}_2)_{80}\text{-(Ti)}_{20}$	
	Weight %	Atomic %	Weight %	Atomic %
O	29.29	49.81	28.65	49.60
Si	46.95	45.48	43.11	42.51
Ti	2.86	1.63	8.52	4.93
W	20.90	2.09	19.72	2.97
Total	100	100	100	100

Composite	$(\text{SiO}_2)_{70}\text{-(Ti)}_{30}$		$(\text{SiO}_2)_{60}\text{-(Ti)}_{40}$	
	Weight %	Atomic %	Weight %	Atomic %
O	30.44	48.56	26.78	45.07
Si	45.83	41.64	40.57	38.89
Ti	16.53	8.81	27.11	15.24
W	7.19	1.00	5.54	0.81
Total	100	100	100	100

어지므로 SiO_2 나 Ti의 혼합물의 용점이 상대적으로 높아 boat의 용점과 비슷한 상태이기 때문에 나타나는 현상으로 분석할 수 있다. 하지만 x:y의 비율이 8:2나 7:3일 경우 상대적으로 텅스텐의 비율이 낮아 기판에 증착한 MDTF에 전기적 광학적 특성에는 큰 영향이 없었다. 먼저항 측정 시 나타났던 불균일성 특성이나 보트 성분의 불순물의 증착은 향후 E-beam 증착방법을 고찰하여 해결해 나아가야 하겠다.

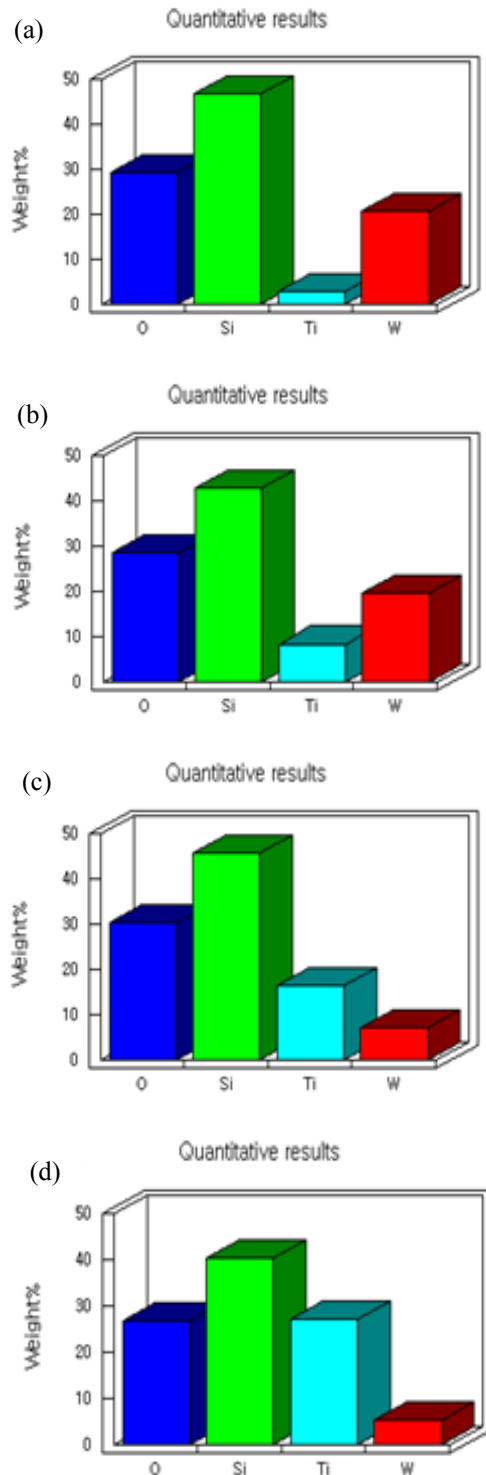


Fig. 4. EDAX analysis of element by mixing ratio of $\text{SiO}_2\text{-Ti}$, (a) $(\text{SiO}_2)_{90}\text{-(Ti)}_{10}$, (b) $(\text{SiO}_2)_{80}\text{-(Ti)}_{20}$, (c) $(\text{SiO}_2)_{70}\text{-(Ti)}_{30}$, (d) $(\text{SiO}_2)_{60}\text{-(Ti)}_{40}$.

3) MDTF 박막의 TCR 특성 평가

TCR이란 온도 변화에 의한 저항의 변화율을 수치화한 값으로 온도와 저항의 관계식인 식 1과 같이 표현된다 [4]. 식 1을 이용하여 TCR을 계산하기 위하여 MDTF의 온도에 따른 저항의 변화를 측정하였다.

$$TCR = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = - \frac{E_a}{kT^2} \quad (1)$$

- T = Temperature
- E_a = Activation Energy
- k = Boltzmann's Constant
- R = Nominal Resistance
- R₀ = Nominal Resistance

MDTF만의 저항을 측정하기 위해서 glass wafer를 사용하게 된다. 일반 실리콘 웨이퍼는 MDTF를 증착하기 전에 passivation layer를 증착해야 하는 불편함을 덜기 위해 전기적으로 이미 절연특성을 갖고 있는 glass wafer를 사용하였다. 그리고 프로브 스테이션의 프로브를 MDTF에 직접 접촉할 경우 막의 손상이나 측정 오차를 야기할 수 있기 때문에 증착된 MDTF 위에 특정한 금속층을 패터닝하여 금속층에 프로브를 접촉하여 설계한 대로 MDTF의 저항을 측정할 수 있도록 하여 측정 오차를 최소화하였다. 또한 웨이퍼 chuck에 온도를 가변할 수 있는 프로브 스테이션과 I-V 측정 장비인 SCS-4200을 이용하여 MDTF의 25℃로 부터 60℃까지 5℃ 간격으로 온도를 변화하여 각각의 온도 구간에서의 전류-전압 특성을 측정하고 특정한 바이어스에서의 저항값을 온도마다 추출하여 온도에 따른 저항 변화를 기록하여 TCR을 측정하였다. 그림 5(a)는 MDTF의 온도 별 저항 특성이다. 상온에서 4 kohm 정도로 시작하여 온도가 높아질수록 저항이 1.5 kohm까지 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이것을 아레니우스 방정식을 사용하기 위해 X축과 Y축을 변환한다. E_a (activation energy) 값은 그림 5(b)의 기울기를 통해 구할 수 있다. 기울기 값은 2823.144[K]이며 슈테판 볼츠만 상수는 1.38×10⁻²³ [J/K] 이므로 E_a는 3.9×10⁻²⁰[J]이다. 결국 TCR은 수식에서 정의된 것과 같이 온도와 E_a의 관계식으로 정의되며 그림 6에서 보는 바와 같이 상온 근처에서 -3 [%/K] 이상의 TCR 특성을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

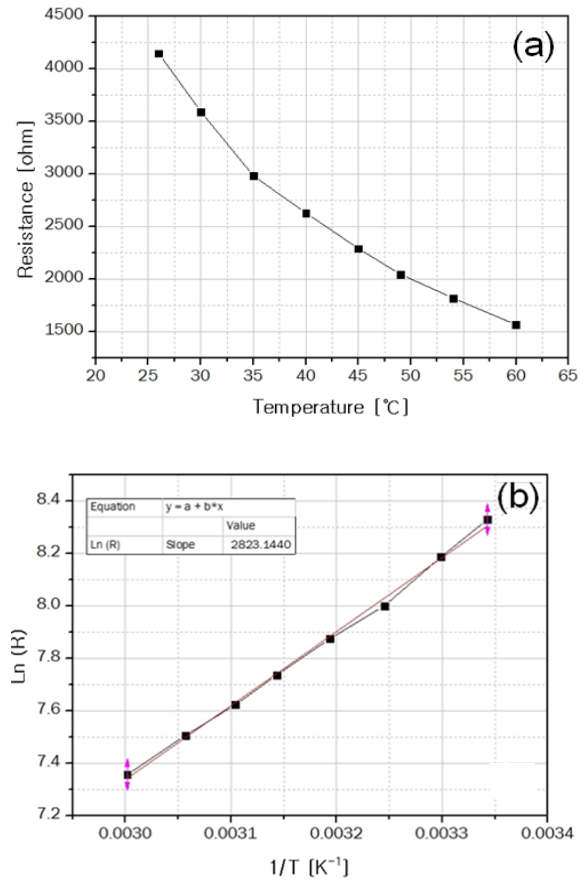


Fig. 5. (SiO₂)₇₀-(Ti)₃₀ MDTF graph of the relationship between temperature and resistance (thickness 0.7 microns), (a) characteristics of resistance by MDTF temperature, (b) characteristics of resistance by MDTF temperature(1/T).

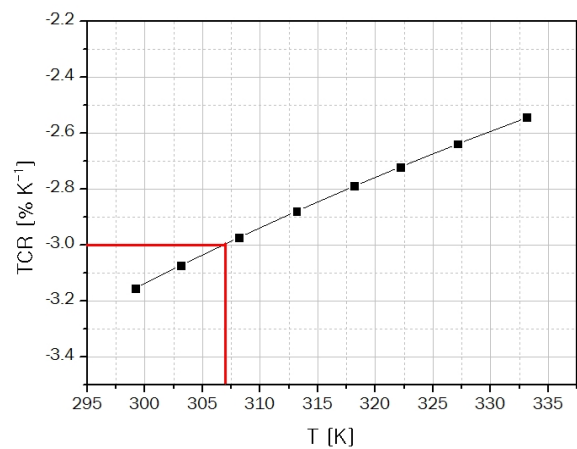


Fig. 6. TCR characteristics of (SiO₂)₇₀-(Ti)₃₀ MDTF.

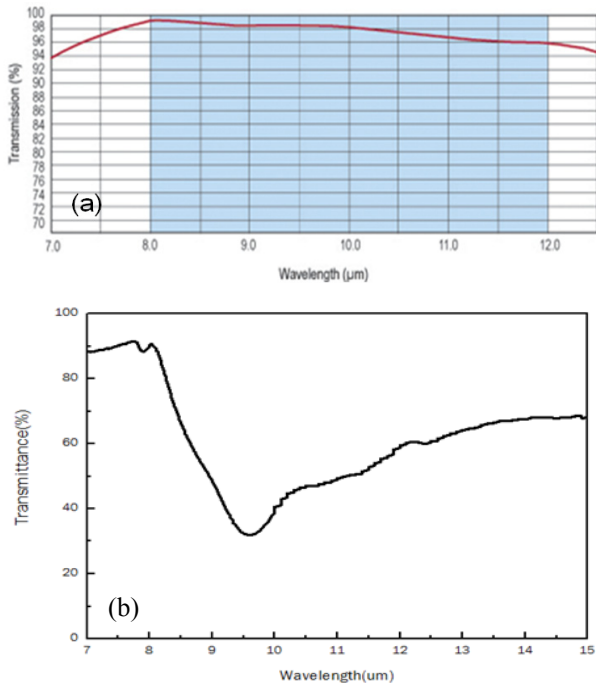


Fig. 7. Result of FT-IR measurement, (a) IR transmission characteristics of germanium window, (b) IR transmission characteristics of MDTF.

4) FT-IR을 이용한 Ge window에 증착한 MDTF IR 흡수 특성 평가

FT-IR은 측정할 시료의 구성된 분자에 의해 적외선에너지가 흡수되는 등의 특성을 이용하여 빛의 간섭현상으로 주파수로 분광하여 적외선 영역에서 시료가 구성된 물질이 어떤 특성을 보이는 지를 측정하는 것으로, 적외선 영역의 투과율, 반사율 또는 흡수율 등의 특성을 측정하는데 많이 이용되는 장비이다 [5]. 측정할 시료의 정확한 분석을 위해 측정할 적외선 영역에서 투과도가 높으며 일정한 물질인 germanium window를 사용하여 분석의 신뢰성을 높였다. 그림 7에서 보듯이 흡수특성의 목표인 8~12 um에서의 흡수 특성을 볼 수 있었으며 목표 파장대역인 10 um 부근에서의 투과율이 약 30~40% 정도의 투과특성을 보인다.

또한 두께가 0.7[um]로 1/4임에도 8~12 um 파장 영역에서의 흡수율이 70% 가까운 특성을 보였으며, 두께가 얇은 이유는 차후 MEMS 공정에 이용할 볼로미터의 흡수층에 사용할 두께가 두꺼울 경우 시상수의 보상을 할 수 없는 이유로 얇게 증착하였다.

4. 결론

본 논문에서는 MEMS 공정으로 제작되는 비냉각형 마이크로 볼로미터 검출기의 적외선 감지도 향상을 위해 적외선 감지층으로 SiOx-metal 계열의 MDTF (metal-dielectric thin film)를 사용하여 높은 열저항 계수와 높은 열흡수율 가지며, 낮은 노이즈 특성 구현하기 위해 MDTF를 진공 증착 방법을 통해 물질 분석을 위한 실리콘 웨이퍼, TCR (temperature coefficient of resistance) 측정을 위한 glass wafer, FT-IR (fourier transform infrared spectroscopy) 측정을 위한 germanium window에 각각 제작하여 그 특성을 분석하였다. 분석 결과 (SiO₂)₇-(Ti)₃로 조성된 MDTF에서 -3 [%/K] 이상의 TCR 특성과 8~12 um 파장영역에서의 흡수율이 70% 가까운 특성을 도출하였다.

감사의 글

본 논문은 ‘서울시 산학연 협력사업(JP10064)’에 의한 것임.

REFERENCES

[1] S. J. Hwang, A. Shin, H. H. Shin, and M. Y. Sung, *Proc. IEEE ISIE*, 2788 (2006).
 [2] J. L. Tissot, J. P. Chatard, and E. Mottin, *Proc. SPIE Infrared Technology and Applications*, **4820**, 220 (2002).
 [3] R. A. Wood, *Proc. SPIE*, **2020**, 322 (1993).
 [4] W. Radford, D. Murphy, A. Finch, A. Kennedy, J. Kojiro, M. Ray, and R. Wyles, *Proc. SPIE*, **3379**, 22 (1998).
 [5] K. Hashimoto, H. Xu, T. Mukaigawa, R. Kubo, H. Zhu, M. Noda, and M. Okuyama, *Sensor. Actuat., A88*, 10 (2001).