

A Fabrication of IR CO<sub>2</sub> Sensor based on the MEMS and Characteristic Evaluation.

金 信 權\* · 韓 龍 熙\*\* · 文 盛 昱†

(Shin-Keun Kim · Yong-Hee Han · Sung-Wook Moon)

**Abstract** - In this paper, we fabricated CO<sub>2</sub> gas sensor based on the MEMS infrared sensor and characterized its electrical and CO<sub>2</sub>-sensing properties. The fabricated CO<sub>2</sub> gas sensor by MEMS technique has many advantages over NDIR(nondispersive) CO<sub>2</sub> sensor such as monolithic fabrication, very high selectivity on CO<sub>2</sub>, low power consumption and compact system. Microbolometer by surface micromachining was fabricated for gas detector and CO<sub>2</sub> filter chip by bulk micromachining was fabricated for signal referencing. By using the proposed and fabricated gas sensor, we are expected to measure CO<sub>2</sub> concentration more accurately with high reliability.

**Key Words** : CO<sub>2</sub> Gas Sensor, MEMS Infrared Sensor, Microbolometer, Surface Micromachining, CO<sub>2</sub> Filter Chip, Bulk Micromachining

## 1. 서 론

가스측정 기술은 광산에서 카나리아를 이용한 것에서 시작한다. 카나리아의 빠른 신진대사는 광산에서 일하는 광부들이 유해가스에 노출되었을 때 광부들보다 더 빠르게 유해가스의 존재여부를 알려주었다. 가스 감지는 전기화학적(electrochemical) 감지, 반도체(MOS), 적외선을 이용한 감지와 같은 기술로 서서히 발전하였다[1-2].

환경, 안전, 의료분야 등에서 한가지만의 특정 가스 농도를 측정하기 위해 사용하는 비분산식 적외선 가스 센서는 구성장치가 간단하여 작고 휴대가 간편하며 한 번에 한가지의 가스 농도만을 측정 할 수 있다는 장점이 있다[3].

본 논문에서는 이산화탄소 감지 소자로서 monolithic한 공정이 가능하고 감지도 및 응답도가 좋은 마이크로볼로미터와 이산화탄소 농도 측정에 필요한 기준 신호를 얻기 위해 이산화탄소 필터 칩을 제작해 보았다. MEMS기술에 의해 저가, 소형화가 가능하여 의료용, 가정용 등 다양한 분야에서의 응용 가능성을 제시하는 집적화된 이산화탄소 센서 시스템을 제안하였고 이산화탄소 농도 측정을 수행하였다.

## 2. MEMS 기반의 비분산식 이산화탄소 센서

그림 1은 본 논문에서 제안한 MEMS 기반의 이산화탄소 센서의 도식도이다. 광원, 이산화탄소 필터 칩, 이산화탄소가

포함된 측정대상 가스를 흘려보내는 튜브, 대역필터, 감지기의 순서로 집적화 되어 있고 이산화탄소 필터 칩을 이용해 기준신호를 만들기 위해서는 순수한 이산화탄소를 채운 공동(cavity)부분과 그렇지 않은 부분 모두 적외선 광원을 통과하게 된다. 이 때 공동을 통과한 적외선은 채워진 이산화탄소에 의해 이산화탄소 흡수 피크 파장인 4.26 $\mu$ m 근처에서 "pre-absorption"이 일어나므로 대역필터를 통과해 감지기에 감지되는 적외선의 세기는 오직 "pre-absorption"에 의해서만 영향을 받는다. 그러므로 광원의 드리프트에 상관없이 같은 비율로 측정 신호와 기준 신호를 얻을 수 있고 측정대상 가스에 포함된 수증기 및 기타 오염물질의 영향을 받지 않으며 측정대상 가스에 4.26 $\mu$ m에서 흡수 특성을 보이는 오염물질이 포함되어 있어도 측정 신호와 기준 신호는 같은 비율로 감소하므로 오직 이산화탄소에 의한 신호만을 감지할 수 있는 장점이 있다.

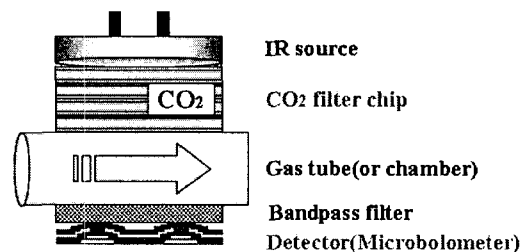


그림 1 MEMS 기반의 비분산식 이산화탄소 센서

Fig. 1 A proposed NDIR CO<sub>2</sub> sensor based on the MEMS

## 3. 마이크로 볼로미터의 제작 및 특성 평가

본 논문에서 제작한 저항형 볼로미터는 적외선이 감지 소자에 입사 시 발생하는 소자의 온도변화에 따른 저항변화를

† 교신저자, 正會員 : KIST 마이크로시스템 연구센터 센터장  
E-mail : smoon@kist.re.kr

\* 學生會員 : 연세대 보건과학대 의공學科 碩士課程

\*\* 學生會員 : 고려대 공대 재료공學科 博士課程

接受日字 : 2005年 1月 11日

最終完了 : 2005年 3月 26日

측정하는 원리로서 실리콘 미세가공 기술을 이용하여 열적 고립 구조를 제작하고 그 위에 온도 변화에 따라 저항이 변화하는 감지층을 형성하는 방법으로 제작한다. 볼로미터는 다른 적외선 감지기와 비교하여 초퍼(chopper)가 필요 없으며 적외선 감지도(detectivity) 및 응답도(responsivity)가 비교적 우수하고 monolithic한 제작 공정에 의해 구현 가능한 장점이 있어 비냉각형 적외선 감지 소자의 대표적 응용 예로 활발하게 연구되고 있다[4].

### 3.1 실리콘 표면 미세가공 기술에 의한 마이크로 볼로미터 제작

표면 미세가공(surface micromachining) 기술을 이용하여 제작된 뜬(floating) 구조에 기초한  $\lambda/4$  공진 흡수를 이용하는 볼로미터는 처음에 인체 감지용 열상 장비에 이용하기 위해 개발되었다[5]. 본 논문에서는 이 원리를 이용하여 이산화탄소 흡수 피크 파장인  $4.26\mu\text{m}$ 의  $\lambda/4$  공진 흡수 구조를 제작하였는데 뜬 구조위에 반사층, 구조층으로 사용되는 흡수층, 그리고 감지층을 형성하여 흡수층과 감지층의 총 광학적 두께가  $\lambda/4$ 인 공진 흡수 구조를 제안하였다. 이 방법은 공정상에서 발생할 수 있는 구조적인 결함에 덜 민감하고 측정하고자 하는 여러 가스의 흡수 피크 파장에 따라 흡수층과 감지층(특히 흡수층)의 광학적 두께를 쉽게 계산하여 제작할 수 있다. 따라서 각각의 가스 측정에 적합한 최대의 적외선 흡수 특성을 보이는 적외선 감지기를 제작할 수 있는 장점을 갖는다.

본 논문에서 제작한 마이크로볼로미터는 총 6개의 마스크를 사용하여 제작하였고 공정 순서는 그림 2과 같다.

(a) Au( $1000\text{\AA}$ )/Cr( $500\text{\AA}$ ) 전극층을 RF sputter장비를 이용하여 증착한 후 감광제 AZ7220을 이용하여 MA6 aligner 장비로 포토리소그래피 공정과 습식 식각을 이용하여 전극 패턴을 형성하였다.

(b) 열적 고립 구조 형성을 위해 사용될 희생층으로 비감광성(Non-photosensitive) 폴리이미드(polyimide)를 사용하였다. 과도한 응력 조절과 적절한 이미드화를 위해 프로그램이 가능한 대류식 오븐에서  $4\text{C}/\text{min}$ 의 속도로 curing 온도를 천천히 증가시켜  $300\text{C}$ 에서 30분간 유지한 후 이와 같은 속도로 상온으로 온도를 내리는 방법을 사용하였다. 미세 패턴 형성은 AZ9260 감광제로 포토리소그래피 공정 수행 후 RIE(Reactive Ion Etch) system을 이용하여 건식 식각을 수행하였다.

(c) Cr( $500\text{\AA}$ )/Au( $500\text{\AA}$ ) 반사층을 RF sputter장비로 증착한 후 패턴을 형성하였다.

(d) PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)를 이용하여 구조층으로 사용할 질화실리콘 박막( $\text{SiN}_x$ )을 약  $3000\text{\AA}$  정도 증착하였다.

(e),(f) 전극과 감지층을 연결할 금속선을 형성하기 위해 Cr( $300\text{\AA}$ )/Au( $500\text{\AA}$ )을 RF Sputter로 증착 후 패턴을 형성하였다. 이때 금속선은 지지다리 위에 형성되고 선포이  $3\mu\text{m}$ 로 매우 가늘어 ICP(Inductive Coupled Plasma) RIE 장비를 이용하여 건식 식각을 실시하였다.

(g) 감지층으로 사용한 바나듐 텅스텐 산화막(V-W-Ox)은 바나듐과 텅스텐이 각각 97:3의 비율로 혼합된 타겟을

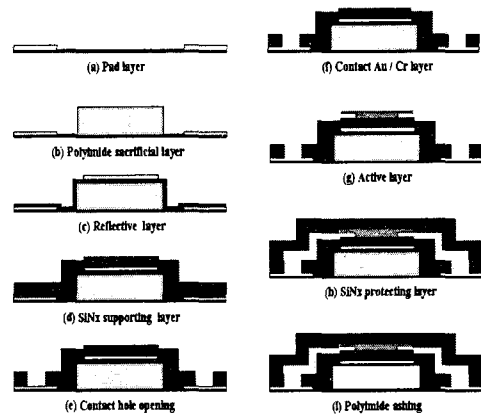


그림 2 마이크로볼로미터 공정도  
Fig. 2 Schematic of microbolometer fabrication process

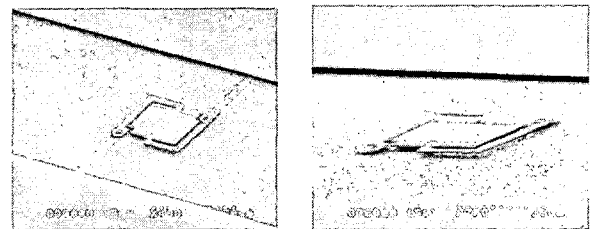


그림 3 제작된 마이크로볼로미터의 주사전자현미경 사진  
Fig. 3 SEM image of the fabricated microbolometer

이용하여 RF Sputter를 이용하여 약  $100\text{\AA}$  정도 증착한 후 대류식 오븐에서  $300\text{C}$ 의 온도로 열에 의한 산화 과정을 통해 V-W-Ox을 제작하였다.

(h) 과정 (d)에서 증착한  $3000\text{\AA}$ 의  $\text{SiN}_x$ 과 같은 방법으로  $3000\text{\AA}$ 의  $\text{SiN}_x$ 을 증착하여  $\lambda/4$  공진 흡수 구조를 형성한 후 RIE를 이용하여 패턴을 형성하였다.

(i) 뜬 구조의 안정화를 위해 산소 라디칼을 이용하는 마이크로 웨이브 asher를 이용하여 희생층을 제거하였다.

최종적으로 ashing된 마이크로 볼로미터의 주사전자현미경(SEM) 사진은 그림 3과 같다. 희생층으로 사용한 폴리이미드가 완전히 제거가 되었음을 알 수 있다. 또한 폴리이미드 패턴 형성시 적절한 기울기를 주어 과도한 응력 집중을 막아 뜬 구조가 뒤틀림 없이 형성되었고 금속선 역시 패턴 형성 시 잘 연결되었음을 확인 할 수 있다.

### 3.3 마이크로 볼로미터 특성 측정 및 평가

볼로미터의 적외선 검출특성 평가를 위해 볼로미터를 약  $3 \times 10^{-2}\text{Torr}$ 에서 진공 패키징(vacumn packaging)하였고 열전 냉각장치(TE cooler)를 이용하여  $25\text{C}$ 를 유지하였다. 볼로미터는 적외선 광량을 정확하게 규정하기 위해 흑체(blackbody source)로부터 초퍼(chopper) 주파수 10-150Hz에서 적외선을 조사하였다. 전치증폭기(pre-amplifier)와 lock-in amplifier를 이용하여 신호전압과 잡음전압을 측정하고 이를 이용하여 응답도 및 감지도를 측정하였다.

그림 4(a)와 같이 잡음 값은 주파수가 증가할수록 줄어드는데 이는 낮은 주파수에서는 주파수에 반비례하는 특성을

가지는 1/f 잡음이 큰 영향을 미치지만 높은 주파수에서는 볼로미터 소자 자체의 잡음인 존슨잡음이 주요한 잡음원이 됨을 알 수 있고 100Hz의 동작주파수에서 계산된 존슨잡음 전압값은 약 20nV로 그래프를 통해 이를 확인해 볼 수 있다. 계산된 광량과 측정된 신호전압을 이용하여 응답도를 계산한 결과 그림 4(b)와 같은 주파수에 따른 특성을 나타내었다. 전치증폭기의 이득(gain)은 500이며 낮은 주파수에서 응답도는 급격히 감소하다가 높은 주파수로 갈수록 점점 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 약 6.25μA의 바이어스 전류를 가해주었을 때 최대의 응답도를 나타냄을 알 수 있는데 추후 볼로미터의 적외선 감지 특성을 최적화하기 위해 가해지는 바이어스 전류의 범위를 결정한다. 감지도 측정 조건은 표 1과 같고 그림 4(c)에서 주파수에 따른 감지도 변화를 보여주고 있다. 감지도의 최대값이 낮은 주파수가 아닌 특정 주파수에서 나타나는 경향을 보이는데 이는 잡음 신호의 증가가 응답도의 증가보다 적외선 특성 평가의 척도인 감지도에 보다 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 따라서 잡음 성분들을 효과적으로 제거할 수 있다면 보다 나은 감지도 특성을 갖게 할 수 있다[6].

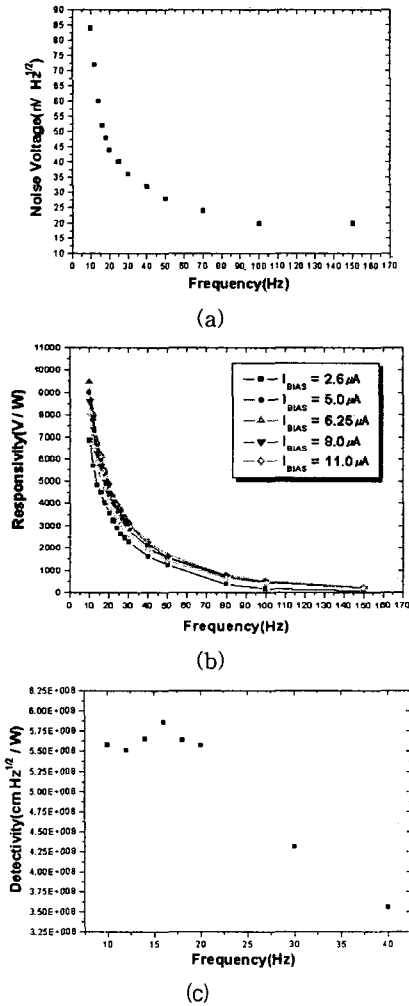


그림 4 측정 데이터 (a) 잡음전압 (b) 응답도 (c) 감지도  
 Fig. 4 Measurement data (a) Noise voltage vs modulation frequency (b) Responsivity vs modulation frequency and bias current (c) Detectivity vs frequency(bias current:6.25μA)

표 1 측정 파라미터

Table 1 Measurement parameters

Parameter	Value
BBS temperature	1273 K
BBS aperture	0.4 inch
Distance from BBS to lens	6 cm
Incident power to bolometer	$4.3 \times 10^{-8}$ W
Pixel size	$2450 \mu m^2$
Bolometer TCR	-3.01 %/K @ $R_0 = 20^\circ C$
Pixel resistance	42.7 K(at R.T)
Preamplifier gain	500
Chopper frequency	10 Hz
Responsivity	9465 V/W
Detectivity	$5.857 \times 10^8 cm \cdot \sqrt{Hz}/W$

#### 4. 기준신호를 제공하는 이산화탄소 필터 칩

##### 4.1 Antireflective coating

본 논문에서 제안한 이산화탄소 필터 칩은 가능한 한 광원에서 나온 적외선의 투과율이 높아야 한다. 그러나 적외선이 입사되는 표면에서 높은 반사 손실이 있다. 본 논문에서는 이런 손실을 최소화하기 위해 실리콘 기판에 antireflection 층으로 SiNx를 사용하였다.

하나의 antireflection 층이 양면에 코팅된 실리콘 기판의 경우, 방사된 적외선은 air( $n_{air}$ ), coating(d,n), silicon( $n_{si}$ ), coating(d,n) 그리고 air의 순서로 매개체를 통과한다. 이런 층에서 어떤 흡수도 없고 방사된 적외선이 표면에 수직으로 들어온다면 투과율은 식 1에 의해 계산할 수 있다[7].

$$T_{total} = \left[ 1 - \frac{(n_{si}n - n_{air}n)^2 \cos^2(2\pi nd/\lambda) + (n^2 - n_{air}n_{si})^2 \sin^2(2\pi nd/\lambda)}{(n_{si}n + n_{air}n)^2 \cos^2(2\pi nd/\lambda) + (n^2 + n_{si}n)^2 \sin^2(2\pi nd/\lambda)} \right]^2$$

d:antireflective coating 물질의 두께, n:antireflective coating 물질의 굴절율,  $n_{air}$ :공기 굴절율( $n_{air}=1$ ),  $n_{si}$ :실리콘 굴절율( $n_{si}=3.43$ ),  $\lambda$ :매개체를 통과한 적외선 파장

그림 5(a)는 식 1을 이용하여 SiNx의 굴절율 1.7과 입사하는 적외선 파장을 4.26μm로 하면 최대 투과율이 SiNx의 두께가 0.6μm-0.63μm에서 관찰되는 SiNx의 두께의 함수로써 투과율을 보여준다. 그림 5(b)는 투과율이 다른 두께를 갖는 SiNx에 대한 파장의 함수로서 그래프를 나타낸 것이다. 이 그래프는 원하는 파장대에서 antireflective coating 물질 두께를 최대의 투과율을 얻기 위해 조정할 수 있다는 것을 보여준다. 이것은 antireflective coating이 이산화탄소 외에 다른 가스의 필터로 사용될 수 있는데 이는 다른 파장대에서 흡수 피크를 가지기 때문에 본 연구에서 제안한 가스 필터 칩은 여러 가지 가스 분석기에 쉽게 적용할 수 있는 장점을 가진다.

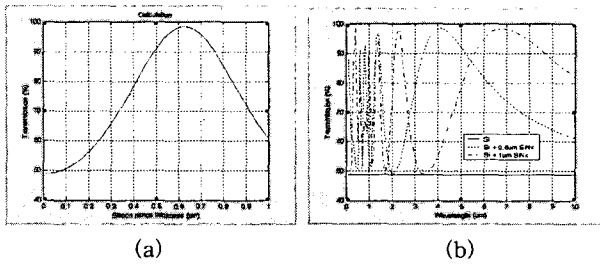


그림 5 (a) 500µm 두께의 실리콘 기판 양면에 코팅된 SiNx를 통과한 4.26µm 파장의 적외선 투과율 (b) 각각 다른 두께의 SiNx가 코팅된 실리콘 기판에서의 투과율  
 Fig. 5 (a) The calculated transmission rates through a 500µm thick silicon wafer coated with different thickness of SiNx, at the wavelength  $\lambda=4.26\mu\text{m}$  (b) The calculated transmission rates vs wavelength through a 500µm thick silicon wafer coated with different thickness of SiNx

4.2 실리콘 몸체 미세가공 기술에 의한 이산화탄소 필터 칩 제작 및 특성 평가

그림 6는 본 논문에서 몸체 미세가공기술(bulk micromachining)에 의해 제작한 이산화탄소 필터 칩의 공정도로 각 과정에 대한 설명은 다음과 같다.

(a) 양면 polishing된 500µm 두께의 실리콘 기판 4장에 SiNx를 PECVD장비를 이용하여 실리콘 기판 양면에 각각 6200Å를 증착하였다.

(b),(c) 공동 부분을 AZ9260 감광제를 이용한 포토리소그래피 공정과 RIE를 이용하여 패턴을 형성한 후 Deep-RIE를 이용하여 공동 부분의 실리콘을 건식 식각하였다.

(d) (c)과정에서 형성한 두 장의 실리콘 기판과 (a)과정에서 형성한 실리콘 기판을 실리콘 본딩(bonding)용 에폭시(epoxy)인 M-BOND 610 ADHESIVE를 이용하여 본딩한다. 이때 공동 부분이 정렬되어 본딩이 이루어지도록 하기 위해 공동 부분 패턴을 형성한 마스크(mask)에 정렬키(alignment key)를 넣어 각각의 소자로 절단(dicing)하기 전에 이 정렬키에 의해 정렬한 후 본딩하였다.

(e) 공동 부분에 채워질 이산화탄소의 압력 조절을 위해 Inlet부분과 Outlet부분을 공동 부분 패턴 형성에 포함하여 (c)과정에서 같이 형성되게 하고 그 부분에 바늘(needle)을 밀봉(sealing)용 에폭시로 고정한 후 공동 부분을 덮을 실리콘 기판을 본딩용 에폭시를 이용하여 본딩하였다. 마지막으로, 채워진 이산화탄소가 새어나가지 않게 하기 위해 접합면 주위를 sealing용 에폭시를 이용해 고정하였다.

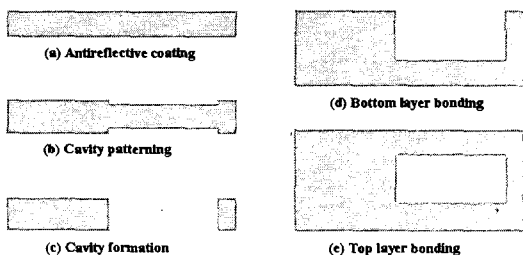


그림 6 이산화탄소 필터 칩 공정도  
 Fig. 6 CO<sub>2</sub> filter chip fabrication process

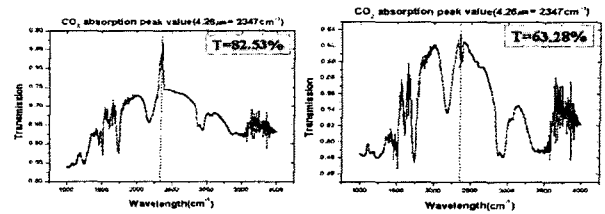


그림 7 공동이 아닌 부분의 투과율 (a) 1개 층일 때 (b) 4개 층일 때  
 Fig. 7 Transmission vs Wavelength using FTIR spectrometer (a) 1 layer (b) 4 layers

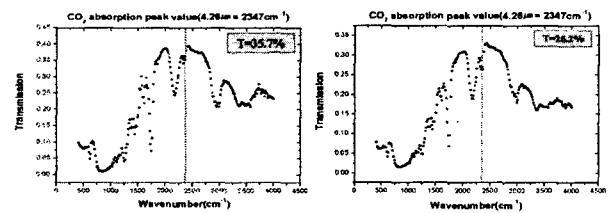


그림 8 이산화탄소가 채워진 공동 부분에서의 투과율 (a) 압력이 0.5 bar일 때 (b) 압력이 1 bar일 때  
 Fig. 8 Transmission vs Wavelength using FTIR spectrometer (a) 0.5 bar (b) 1 bar

그림 7는 각각 0.62µm SiNx가 코팅된 한 개의 실리콘 기판과 광학적 특성이 좋은 M-BOND 610 ADHESIVE로 본딩한 네 개의 층으로 된 실리콘 기판의 4.26µm에서의 투과율을 BRUKER사의 IFS28 FTIR spectrometer를 이용하여 측정한 그래프이다. 그림 7(b)의 그래프에서 약 63%의 투과율을 보이는 것으로 보아 2-5µm 파장대 적외선의 반사율, 투과율 특성이 우수한 물질인 실리콘과 antireflective layer로 사용한 SiNx는 본 논문에서 제안한 이산화탄소 필터 칩을 제작하는데 적합한 물질임을 알 수 있다. 그림 8은 공동 부분에 채워진 이산화탄소의 압력이 각각 0.5bar, 1bar일 때 4.26µm 파장에서의 투과율을 FTIR spectrometer로 측정된 그래프를 나타낸 것으로 투과율이 35.7%에서 26.2%로 감소하는데 이는 이산화탄소의 압력이 크면 클수록 많은 이산화탄소가 공동 안에 포함되므로 결국 4.26µm에서 흡수가 커짐을 알 수 있다.

4. 이산화탄소 측정 시스템 구성 및 농도 측정

제작된 이산화탄소 필터 칩과 마이크로볼로미터를 이용하여 본 논문에서 제안한 이산화탄소 센서 시스템이 이산화탄소 농도에 따른 신호를 검출함을 확인하기 위해 4.26µm 파장에서 대역폭 90nm를 갖는 대역필터를 window로 한 진공 패키징 장치에서 볼로미터를 이용하여 신호를 측정하였다. 이산화탄소 농도에 따라 볼로미터에서 감지한 신호의 변화를 읽기 위해 이산화탄소와 질소를 섞어 각각 2.04%, 2.43%, 3.03%, 4.76%, 7.69%, 11.11%의 이산화탄소 농도를 갖는 측정대상 가스를 제작하여 이에 따른 신호 변화를 측정하였다.

그림 9는 이산화탄소 농도에 따른 볼로미터에서의 신호 변화를 측정된 그래프이다. 이산화탄소 농도에 따른 볼로미

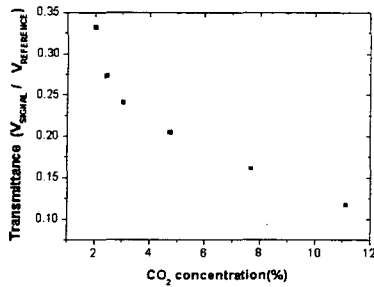


그림 9 적외선 투과 대 이산화탄소 농도  
Fig. 9 IR Transmittance vs CO<sub>2</sub> concentration

터에서의 출력 전압 값은 이산화탄소 필터 칩의 공동이 아닌 부분을 통과한 적외선이 측정대상 가스가 들어있는 챔버를 통과했을 때 얻은  $V_{SIGNAL}$  값과 이산화탄소 필터 칩의 공동부분을 통과한 적외선이 측정대상 가스가 들어있는 챔버를 통과했을 때의 출력 전압값의 차이에 비례한다. 즉, 측정대상 가스가 포함된 챔버를 통해 볼로미터에서 측정된 출력 전압 값  $V_{SIGNAL}$ 과 기준 신호를 얻기 위해 이산화탄소 필터 칩에서 이산화탄소가 채워져 있는 공동 부분을 통과하여 볼로미터에서 측정된 출력 전압 값을 이산화탄소가 없는 초기 상태에서 볼로미터에서 측정된 출력 전압 값에서 뺀  $V_{REFERENCE}$ 의 비는 입사된 적외선의 세기에 대한 투과율을 나타내는 전압 값이 된다. 그래프에서 보듯이 이산화탄소가 증가함에 따라 볼로미터에서 감지하는 출력 전압 값도 비어-람베르트 법칙에 따라 비선형적으로 감소함을 확인할 수 있다. 따라서 볼로미터를 통해 측정된 출력 전압값은 신호 처리를 통해 측정된 출력 전압값에 따른 이산화탄소 농도를 나타내는 시스템에 적용될 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 MEMS 기반의 적외선 감지소자인 마이크로볼로미터와 기준신호를 제공하기 위해 제작된 이산화탄소 필터 칩을 이용한 CO<sub>2</sub> 센서 시스템을 제안하였고 특성을 평가해 보는 연구를 수행하였다. 감지기로서 표면 미세가공 기술을 이용하여 제작된 마이크로볼로미터는 기존에 공정상에서 발생하는 스트레스 등으로 인한 뜬 구조의 뒤틀림에도 소자의 성능에 큰 영향을 받지 않는 뜬 구조위에 흡수층, 감지층을 1/4 구조로 하여 제작하였다. 측정 결과 최대  $5.857 \times 10^8 \text{ cm} \cdot \sqrt{\text{Hz}}/W$ 의 감지도를 가지는데 측정 시스템의 전기적인 잡음을 줄일 수 있는 것을 고려하면 기존에 개발된 볼로미터와 비교했을 때 본 논문에서 제작한 볼로미터의 성능이 대등한 수준임을 확인하였다[8]. 보다 정확한 기준신호를 제공하기 위해 순수한 이산화탄소로 채워진 이산화탄소 필터 칩을 몸체 미세가공 기술을 이용하여 제작하였다. 채워진 이산화탄소를 신뢰성 높게 밀봉시키는 방법이 확립되지 않은 문제가 있었지만 1bar 이상의 압력으로 이산화탄소를 채울 경우 좀더 신뢰성 높은 기준신호를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

위에서 제작된 마이크로볼로미터와 이산화탄소 필터 칩은 모두 MEMS 기술에 의해 제작되었는데 이는 향후 단일 칩으로 제작이 가능하고 다른 가스에 의한 간섭이 없으며 저

전력 소비, 소형화 등의 장점을 가진 우수한 성능을 가지는 이산화탄소 센서로의 활용 가능성을 제시한다.

### 참 고 문 헌

- [1] Jacquinet, P., Hauser, P., "Ni(II)cyclam Catalyzed Reduction of CO<sub>2</sub>-Towards a Voltammetric Sensor for the Gas Phase," *Electroanalysis*, v.15 no.18, pp.1437-1444, 2003.
- [2] Liu, W.C., Lin, K.W., Chen, H.I, Wang, C.K, Cheng, C.C., Cheng, S.Y., "new Pt/oxide/In<sub>0.49</sub>Ga<sub>0.51</sub> P MOS Schottky diode hydrogen sensor", *IEEE electron device letters*, v.23 no.11, pp.640-642, 2002.
- [3] Frank, J., Meixner, H., "Sensor system for indoor air monitoring using semiconducting metal oxides and IR-absorption", *Sensors and actuators. B, Chemical*, v.78 no.1/3, pp.298-302, 2001.
- [4] Breen, T., Butler, N., Kohin, M., Marshall, C.A., Murphy, R., Parker, T., Piscitelli, N. Sil, "A summary of applications of uncooled microbolometer sensors", *Aerospace Conference, 1999. Proceedings. 1999 IEEE*, v.3, pp.361-374, 1999.
- [5] Kim, K.T., Park, J.Y., Han, Y.H., Kang, H.K., Shin, H.J., Moon, S., Park, J.H., "3D-feed horn antenna-coupled microbolometer" *Sensors and actuators. A, Physical*, v.110 no.1/3, pp.196-205, 2004.
- [6] A. Rogalski, "Infrared Detectors", Gordon and Breach Science Publishers., 2000.
- [7] D.K. Cheng, "Field and Wave Electromagnetics", 2nd ed., p 401, 1989.
- [8] C. Chen, X. Yi, X. Zhao, B. Xiong, "Characterizations of VOx-based uncooled microbolometer lineat array", *Sensors and Actuator A, Vol. 90*, p212, 2001.

## 저 자 소 개



### 김 신 근 (金 信 權)

1976년 8월 5일생. 2003년 연세대학교 의공학과 졸업. 2003년~현재 동 대학원 의공학과 석사과정, 한국과학기술연구원 마이크로시스템 연구센터 optical MEMS lab. 학연과정  
Tel : 02-958-6758  
Fax : 02-958-6910  
E-mail : kshink96@kist.re.kr



**한 용 희 (韓 龍 熙)**

1973년 3월 26일생. 1996년 고려대학교 재료공학과 졸업. 2002년~현재 동대학원 재료공학과 박사과정, 한국과학기술연구원 마이크로시스템 연구센터 optical MEMS lab. 연수.

Tel : 02-958-6758

Fax : 02-958-6910

E-mail : 92han@kist.re.kr



**문 성 욱 (文 盛 昱)**

1962년 12월 05일생. 1986년 연세대학교 금속공학과 졸업. 1988년, 1994년 동대학원 석, 박사. 1989년~현재 한국과학기술연구원 근무, 2002년~현재 한국과학기술연구원 책임연구원, 2004년~현재 한국과학기술연구원 마이크로시스템 연구센터 센터장

Tel : 02-958-5776

Fax : 02-958-6910

E-mail : s.moon@kist.re.kr