

## 볼로메터용 바나듐-텅스텐 산화물로 표면 미세가공한 비냉각 적외선 감지기의 특성

한용희<sup>1</sup> , 김근태<sup>2</sup> , 이승훈<sup>2</sup> , 신현준<sup>2</sup> , 문성욱<sup>2</sup> , 최인훈<sup>2</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 신소재공학과, <sup>2</sup>한국과학기술연구원 마이크로시스템연구센터

### Abstract

To produce a highly sensitive uncooled microbolometer, the development of a high-performance thermometric material is essential. In this work, amorphous vanadium-tungsten oxide was developed as a thermometric material at a low temperature of 300°C, and the microbolometer, coupled with the material, was designed and fabricated using surface micromachining technology. The vanadium-tungsten oxide showed good properties for application to the microbolometer, such as a high temperature coefficient of resistance of over -4.0 %/K and good compatibility with the surface micromachining and integrated circuit fabrication process due to its low fabrication temperature. As a result, the uncooled microbolometer could be fabricated with high detectivity over  $1.0 \times 10^9 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$  at a bias current of 7.5  $\mu\text{A}$  and a chopper frequency of 10-20 Hz

### 1. 서론

최근엔 1/4 파장 정도 떠 있는 구조체를 통해 좋은 열부도성과 높은 적외선 흡수를 할 수 있을 정도의 미세가공 기술 발달로 볼로메터 타입의 비냉각형 적외선 센서의 제작이 가능하여졌다 [1-2]. 이 센서를 사용하여 보안, 감시, 의료용 열 영사기, 나이트비전 등의 군사용, 상업용 비냉각형 적외선 카메라 상용화 되고 있다. 이 논문에선 열측정 재료로 사용되어지는 비정질 바나듐-텅스텐 산화막을 130 도의 낮은 온도에서 제작하였으며, 표면 미세가공 기술을 사용하여 디자인 하고 제작한 적외선 볼로메터에 적용하였다

### 2. 실험 방법

비정질 바나듐-텅스텐 산화막은 각각 메탈 타겟을 사용한 스퍼터링에 의해 증착된 박막을 저온 열산화 시키는 방법으로 제작되어 열측정 물질로 개발되었다. 제작 과정으로 바나듐 메탈 타겟과 텅스텐 메탈 타겟을 사용하여 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 동시 스퍼터하여 여러 조성의 박막을 얻었다. 그 후, 산소 분위기에서 300 도의 열처리로 열산화 시켜서 열측정 물질인 비정질 바나듐-텅스텐 산화막을 얻을 수 있었다. 이 방법은 간단하며, 가격이 싸고 바나듐에 텅스텐을 더욱 첨가시키는 방법으로 보다 낮은 온도에서의 열처리에서도 쉽게 산화될 수 있다는 장점이

있다. 낮은 산화열처리 온도로 인해 제작된 박막은 X 선 회절 분석에 의해 비정질임을 알 수 있었다. 온도에 따른 저항을 측정하기 위해 금/크롬 메탈을  $\text{SiN}_x$  / Si 기판 위에 패턴을 떠서 증착하였고 그 위에 바나듐-텅스텐 산화막을  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$  크기로 패턴 공정을 하였다. 패턴 공정 중에는 바나듐-텅스텐 산화막이 바나듐 산화막의 경우와 마찬가지로 습식 공정에서의 영향을 받기 때문에 PECVD 로 매우 얇은  $\text{SiN}_x$  박막을 바나듐-텅스텐 산화 공정 후에 보호막으로 증착한다. 텅스텐의 조성에 따른 온도에 대한 저항 변화는 그림 1(a) 에서 보여지고 있다. 텅스텐의 양의 증가함에 따라 TCR 은 감소했다. 따라서 10% 이하의 텅스텐 조성에서 좋은 열측정 물질로서의 특성을 볼 수 있었다. 그림 1(b)에서는 열산화 시간을 변화시켜 제작한  $\text{V}_{0.95}\text{W}_{0.05}\text{O}_x$  박막의 온도에 대한 저항 변화를 살펴 볼 수 있다. 열산화 시간이 증가함에 따라 저항과 TCR 이 증가했음을 알 수 있었으며, 특히 TCR 은 4.10 %/K 까지 증가했다. 그러나 열산화 시간이 증가함에 따라 무한히 증가하지는 않았다. 따라서, 좋은 품질의 열측정 물질을 제작하는데 있어서 텅스텐의 함량과 열산화 시간을 조절하는 것이 매우 중요하다는 것을 알 수 있었다.

비냉각형 볼로메타에 바나듐-텅스텐 산화막의 쓰임을 더욱 유용하게 하기 위해 볼로메타의 픽셀 사이즈를  $70 \times 70 \mu\text{m}^2$  로 하고 fil factor 를 49%가 되도록 디자인 하였으며, 제작에는 six photo-mask set 를 사용한 표면 미세가공 기술을 이용하였다. 제작시 희생층으로는 polyimide 를 사용하고 지지층으로는 낮은 stress 를 갖도록 PECVD 로  $\text{SiN}_x$  를 증착하여 사용하였다. 바나듐-텅스텐 산화막의 두께는 소자의 열적 질량을 고려하여 50nm 의 두께로 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

그림 2 는 제작된 마이크로 볼로메타 이다. 바나듐-텅스텐 산화막은 표면 미세가공 기술에 잘 부합하였으며 낮은 온도의 공정 덕분에 ROIC 공정에서도 잘 부합하리라 기대된다. 마이크로 볼로메타는 진공포장 되어 열측정 특성을 측정하기 위하여 열전자 냉각기가 설치되었다.

열전도도는  $1/R = 1/R_0 - (\alpha/G) * I^2$  [3] 관계식을 이용하여 측정되어진 결과  $6.1 \times 10^{-7}$  W/K 가 나왔고 TCR 은 실온에서 저항이 71 k $\Omega$  일 때 -3.49 %/K 가 나왔다. 이후 주파수가 10-50 Hz 인 직류교류변환기를 통해 방사된 블랙 바디 소스에 볼로메타가 놓여졌다. Low-noise pre-amplifier 와 lock-in amplifier 에서 출력 신호는 바이어스 전류가 7.4  $\mu\text{A}$  일때 측정되었다. 적외선 방사가 없을 때 볼로메타의 노이즈 역시 같은 주파수와 바이어스 전류 일 때 측정되었다. 그림 2 와 3 에서 측정된 응답성과 노이즈 그리고 감지능을 볼 수 있다. 그림 3 에서 보듯이, 15 Hz 내에서는 직류교류변환기의 주파수가 증가함에 따라 감지능 역시 증가하였다. 이는 낮은 주파수에서는 1/4 주파수의 노이즈 때문인 것으로 보여진다. 그러한 까닭에 직류교류변환기의 주파수가 10-20 Hz 인 경우에는 기존에 알려진 볼로미터인 YBCO 볼로미터[4], 마그네틱 볼로미터( $1.30 \times 10^8 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$  at 50 nA) ,  $\text{VO}_x$  볼로미터( $2.30 \times 10^8 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$  at 20  $\mu\text{A}$ ) [5-6]  $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}\text{O}_y$  볼로미터( $6.7 \times 10^8 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$  at 0.55  $\mu\text{A}$ ) [7] 보다도  $1.0 \times 10^9 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$  더 높은 감지능을 보여준다. 이 결과에 따라 바나듐-텅스텐 산화물을 열측정 물질로 사용한 비냉각 적외선 감지기를 제작 할 수 있다.

#### 4. 결론

결론적으로 비정질 바나듐-텅스텐 산화막은 비냉각 마이크로 블러미터의 열측정 물질로 개발되었다. 이 물질은 상온에서 100 kΩ의 저항을 가질 때 TCR 이 4.0 %/K 로 매우 높다. 이 물질을 사용한 마이크로 블러미터는 높은 반응성과 낮은 노이즈 그리고 높은 감지능을 가졌다. 개발된 이 물질은 표면 미세 가공 기술과 ROIC 를 바탕으로 한 공정 그리고 높은 감지능을 가진 비냉각 센서에 사용되기에 매우 적합한 특성을 보인다고 결론 내릴 수 있다.

#### 후기

이 연구는 산업자원부의 지원을 받아 21 세기 프론티어 사업과 개발 과제를 수행하고 있는 지능형 마이크로시스템 연구센터의 재정적인 지원을 받아 이루어졌다.

#### 참고문헌

- [1] R. A. Wood, Proc. SPIE 2020, 322, 1993
- [2] P. L. Richards, J. Appl. Phys. 76, 1, 1994
- [3] H. Jerominek, F. Picard, and D. Vincent, Opt. Eng. 32, 2092, 1993
- [4] Mahmoud Almarsi, Donald P. Butter, and Zeynep Celik-Butler, J. Microelectromech. Syst. 10, 469, 2001
- [5] Pontus Eriksson, Jan Y. Andersson, and Gö ran Stemme, J. Microelectromech. Syst. 6, 55, 1997
- [6] Sherif Sedky, Paolo Fiorini, Kris Baert, Lou Hermans, and Robert Mertens, IEEE Trans. Electron Devices 46, 675, 1999
- [7] A.H.Z. Ahmed, R.N. Tait, T. Oogarah, H.C. Liu, M.W. Denhoff, G.I. Sproule, and M.J. Graham, SPIE 5578, 298, 2004
- [8] Changhong Chen, Xinjian Yi, Xingrong Zhao, and Bifeng Xiong, Sen, Sensors and Actuators A 90, 212, 2001

#### 그림 목록

- 그림 1. (a) 텅스텐 조성 변화에 따른 온도와 저항 특성. (b)  $V_{0.95}W_{0.05}$  박막에 대해 열산화 온도에 따른 온도와 저항 특성.
- 그림 2. 주사전자현미경 사진과 7.4  $\mu A$  바이어스 전류에서, 제작된  $V_{0.95}W_{0.05}O_x$  마이크로 블러미터에 대한 직류교류변환기의 변화에 따른 반응성과 노이즈의 변화.
- 그림 3. 제작된  $V_{0.95}W_{0.05}O_x$  마이크로 블러미터에 대한 주파수 변화에 따른 7.4  $\mu A$  의 바이어스 전류에서의 감지능

그림 1

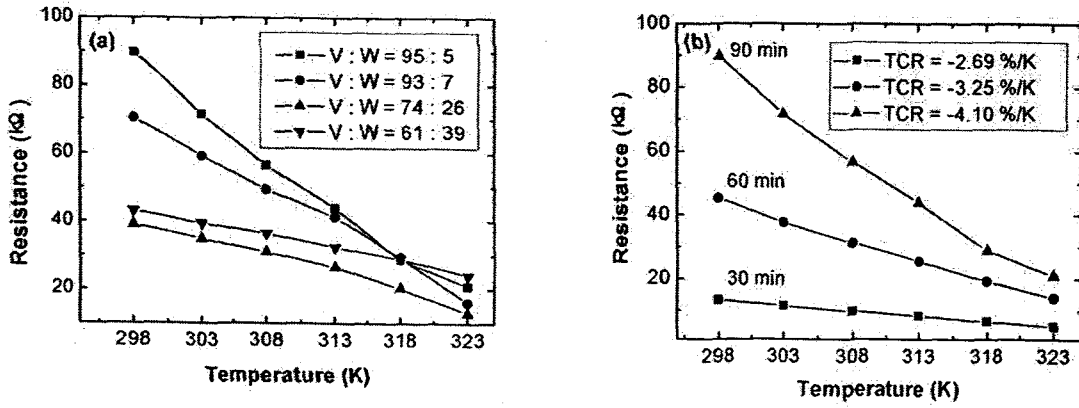


그림 2

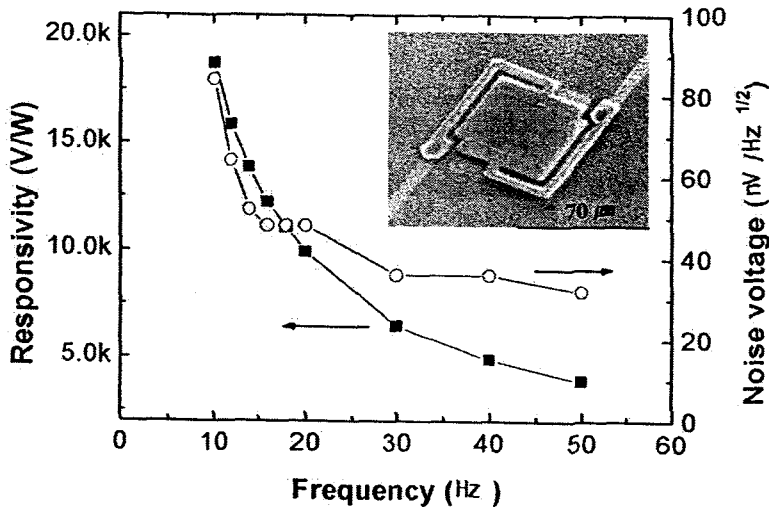


그림 3

