

single phase-vanadium dioxide 박막을 이용한 온도센서에 관한 연구

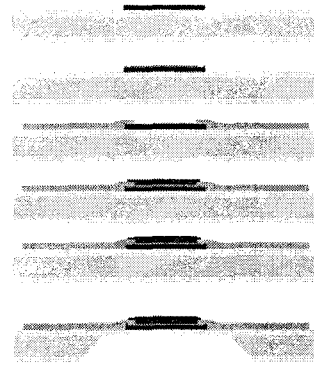
김지홍¹⁾, 홍성민²⁾, 곽연화²⁾, 박순섭²⁾, 황학인²⁾, 문병무¹⁾
 고려대학교 전기공학과¹⁾, 전자부품연구원 나노바이오 연구센터²⁾

A temperature sensor using single phase-vanadium dioxide thin films

Ji-hong Kim¹⁾, Sung-min Hong²⁾, Yeon-hwa Kwak²⁾, Soon-seob Park²⁾, Hak-in Hwang²⁾, Byung-moo Moon¹⁾
 Department of electric Engineering, Korea University, Seoul, Korea
 Nanobio Research center, Korea Electronics Technology Institute, Kyungkido, Korea

Abstract - In bio applications, high temperature coefficient of resistance (TCR) at 30°C~40°C is especially important for a temperature sensor. In this work, single phase-vanadium dioxide (VO₂) thin films for temperature sensor were fabricated by reactive DC magnetron sputtering and post-annealing method. VO_x thin films deposited by reactive sputtering in a controlled Ar/O₂ atmosphere can be transformed into single phase-VO₂ films by post-annealing in N₂ atmosphere. The grown VO₂ thin films have a moderate resistance at room temperature and very high TCR at room temperature and transition temperature, respectively 2.88%/K and 15.8%/K. A detailed structural characterization is performed by SEM, XRD and RBS. SEM morphology image indicates that grains of fabricated VO₂ films are homogeneous and ball-like in shape. A fact that the films contain only single phase-VO₂ is obtained by XRD and RBS analysis. After deposition, the sensors were fabricated by micromachining technology. Silicon nitride membrane and black nickel were used for a thermal isolation structure and absorption layer. In the vicinity of room temperature, the TCR of sensors was enough high to apply for bio sensors.

membrane만 남김으로써 열적 고립구조를 완성하였다. 그림 1은 센서 제작 공정 과정을 간략히 나타낸 것이다.



〈그림 1〉 온도센서 제작 공정 과정

1. 서 론

온도에 따른 감지층의 저항 변화를 검출하는 저항형 온도센서는 성능을 높이기 위해 다양한 방면에서 연구되고 있다. 센서의 성능을 좌우하는 가장 큰 요인으로는 감지층의 특성과 열적 고립구조의 형성을 들 수 있다. 온도에 따른 저항의 변화 정도를 의미하는 TCR (Temperature Coefficient of Resistance)값은 감지층의 특성을 대변하는데 이 TCR값의 향상과 우수한 열적 고립구조의 구현은 뛰어난 성능의 센서 제작으로 이어질 수 있다.

본 연구에서는 바이오 분야에서 응용될 수 있는 온도센서 제작을 위해 높은 TCR값을 얻을 수 있는 single phase-vanadium dioxide (VO₂) 박막을 감지층으로 증착하고 분석하였다. vanadium은 산소의 함량에 따라 다양한 조성의 산화물이 존재하는데 각각 특성이 다르고 조성을 조절하기가 쉽지 않다. 열감지층으로 이용되는 VO_x 박막 중 VO₂는 높은 TCR값과 알맞은 비저항값으로 인해 온도센서로 응용되기에 적합하다. 따라서 single phase-vanadium dioxide로 조성을 통일하는데 주안점을 두었다. 감지층 증착 후에는 다양한 방법으로 특성을 분석하였다. 특히 바이오 분야에 활용되기 위해서는 30°C~40°C 부근에서의 TCR 값이 매우 중요하기 때문에 위의 온도에서의 반복적인 분석을 통해 오차를 줄였다. 분석을 끝낸 기판에 micromachining 기술을 이용하여 효율적인 열적 고립구조를 구현하여 온도센서를 제작하였다.

2. 본 론

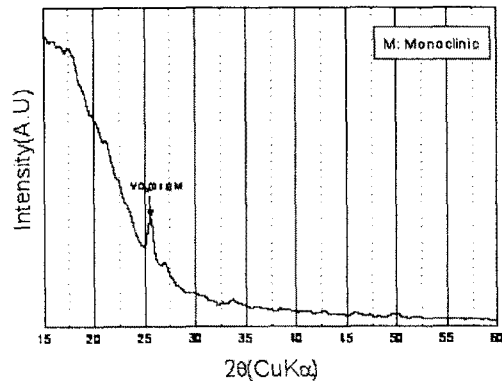
2.1 실험방법

배어 실리콘 기판 위에 LPCVD법을 이용해 열적 고립구조 형성 시 membrane으로 이용될 Si₃N₄ 박막 2μm를 증착하였다. 그 후 reactive DC magnetron sputtering법을 이용해 Ar/O₂ 분위기에서 VO_x를 2000Å 정도로 증착하였다. 증착된 VO_x의 조성을 single phase-VO₂로 만들기 위해 N₂ 분위기에서 열처리를 진행하였고 열처리를 마친 후 온도 별로 반복하여 저항을 측정하였다. SEM을 이용해 열처리 전과 열처리 후의 단면 관찰을 행하였고 XRD, RBS를 통해 조성을 분석하였다.

분석이 끝난 VO₂ 기판 위에 micromachining 기술을 이용한 총 7단계의 마스크 공정을 거쳐 온도센서를 제작하였다. 전극 물질로 aluminium을 사용하였고 흡수층으로 black nickel을 선택해 500Å을 증착하였다. 마지막 공정으로 KOH를 이용한 후면식각을 통해 실리콘 기판 위에 증착한 Si₃N₄

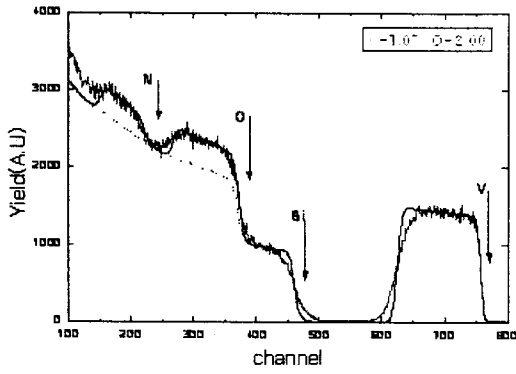
2.2 결과 및 검토

열처리 후 single phase-VO₂가 얻어졌다는 결과를 그림 2, 3이 보여준다. 열처리를 끝낸 VO_x 박막의 XRD 분석 결과가 그림 2에 나타나있다. JCPDS 카드와의 비교에 의해 VO_x 박막이 VO₂상으로만 조성되어 있다는 것을 알 수 있다.



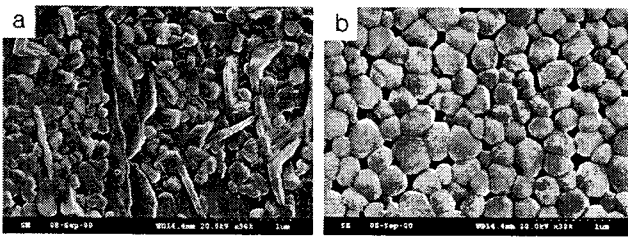
〈그림 2〉 제작한 VO_x 박막의 XRD 분석 결과

그림 3은 VO_x 박막의 RBS 분석 결과인데 조성이 V₁O_{2-x} (X=0.03)로 되어있다는 것을 나타낸다. XRD 분석 결과와 마찬가지로 제작한 VO_x 박막이 거의 VO₂ 상으로만 조성되어 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 순수한 VO₂와 비교해 보았을 때 제작한 VO₂의 전이온도가 다소 낮아지는 결과를 얻었는데 이것은 그림 5를 보면 알 수 있다. 순수한 VO₂는 69°C에서 전이가 일어나지만 제작한 VO₂의 경우는 58°C에서 일어났다. 이는 순수한 VO₂에 비해 과잉된 약간의 vanadium 성분이 전이온도의 하강에 영향을 미친 것으로 생각된다.



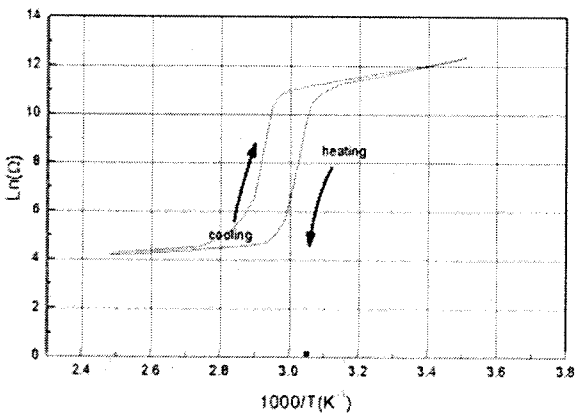
〈그림 3〉 제작한 VOx 박막의 RBS 분석 결과

그림 4는 열처리 전과 열처리 후의 VOx 기판의 SEM 단면 사진이다. N₂ 분위기에서 열처리를 끝낸 박막의 경우 처리 전의 박막에 비해 입자가 균일한 것을 확인할 수 있다.

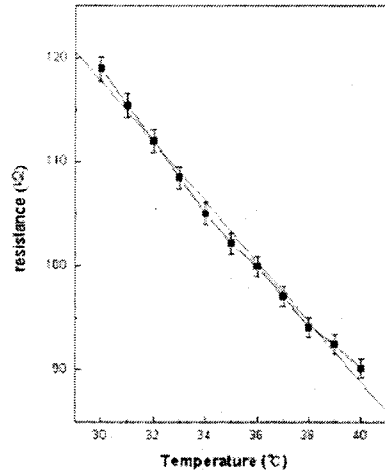


〈그림 4〉 제작한 VOx 박막의 SEM 단면 사진
(a) 열처리 전; (b) 열처리 후

그림 5와 6에서는 VO₂의 전기적인 특성을 알아볼 수 있다. 그림 5는 온도에 따른 저항의 변화를 그래프로 나타낸 것으로 온도 구간에 따른 TCR값의 변화를 볼 수 있다. 상온 구간에서의 TCR 값이 2.88%/K, 전이온도 구간에서의 TCR 값이 15.8%/K로 높은 값을 얻을 수 있었으며 이는 온도센서로 응용하기에 충분한 수치이다. 상온에서의 저항 역시 120kΩ~140kΩ 정도의 알맞은 값을 얻을 수 있었다. 그림 6은 바이오 분야에서 특히 중요한 30~40℃ 부근에서의 저항-온도 그래프이다.

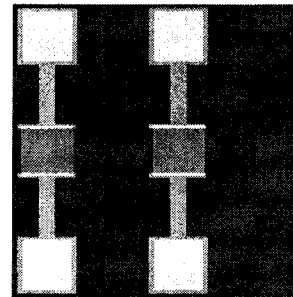


〈그림 5〉 제작한 VOx 박막의 저항과 온도와의 관계



〈그림 6〉 30℃~40℃에서의 저항-온도 그래프

충분히 큰 TCR값과 알맞은 저항값을 나타낸 VO₂ 기판을 기반으로 micromachining 기술을 이용하여 온도센서를 제작하였다. 제작된 온도센서의 크기는 2mm×2mm이고 고립구조를 이루고 있으면서 감지층이 자리하고 있는 membrane의 크기는 1mm×1mm로 설계되었다. 그림 7은 실제로 제작된 온도센서의 현미경 사진이다.



〈그림 7〉 제작된 온도센서의 현미경 사진

3. 결 론

본 연구에서는 바이오 분야에 응용될 수 있는 온도센서를 제작하기 위해 VOx를 reactive DC magnetron sputtering법을 이용해 증착하였다. 센서의 감지층으로서 높은 성능을 발휘하는 single phase-VO₂로 만들기 위해 증착한 VOx를 N₂ 분위기에서 열처리한 결과 120kΩ~140kΩ 정도의 저항과 2.88%/K의 TCR값을 얻을 수 있었다. 이는 온도센서로 응용하기에 충분한 수치이며 이를 바탕으로 micromachining 기술을 이용해 열적 고립구조를 구현한 온도센서를 설계, 제작하였다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] S.B.Wang et al., "Preparation of homogeneous VOx thin films by ion beam sputtering and annealing process", Vacuum, 75, p. 85-90, 2004
- [2] Jinhua Li et al., "Temperature sensitivity of resistance of VO2 polycrystalline films formed by modified ion beam enhanced deposition" Applied Surface Science, 233, p. 252-257, 2004
- [3] Sihai chen et al., "Smart VO2 thin film for protection of sensitive infrared detectors from strong laser radiation", Sensors and Actuators A, 115, p.28-31, 2004