

글루코오스 농도 측정을 위한 볼로미터 타입의 적외선 센서 제작

최주찬 · 정호 · 박건식* · 박종문* · 구진근* · 강진영* · 공성호†

The fabrication of bolometric IR detector for glucose concentration detection

Ju Chan Choi, Ho Jung, Kun Sik Park*, Jong Moon Park*,
Jin Gun Koo*, Jin Yeong Kang*, and Seong Ho Kong†

Abstract

A vanadium pentoxide (V_2O_5)-based bolometric infrared (IR) sensor has been designed and fabricated using micro electro mechanical systems (MEMS) technology for glucose detection and its resistive characteristics has been illustrated. The proposed bolometric infrared sensor is composed of the vanadium pentoxide array that shows superior temperature coefficient of resistance (TCR) and standard silicon micromachining compatibility. In order to achieve the best performance, deposited V_2O_5 thin film is optimized by adequate rapid thermal annealing (RTA) process. Annealed vanadium oxide thin film has demonstrated a linear characteristic and relatively high TCR value ($-4\%/^{\circ}C$). The resistance of vanadium oxide is changed by IR intensity based on glucose concentration.

Key Words : IR, glucose, bolometer, vanadium oxide

1. 서 론

적외선 센서는 특정한 물질의 존재 여부나 어떠한 농도를 측정하기 위해서 사용될 수 있다. 화학 물질들은 그 종류에 따라 특정한 파장의 적외선을 흡수하는 성질을 가지고 있다. 즉 각 물질들은 그 물질 고유의 적외선 흡수 파장대역이 존재하는 것이다. 따라서 이 성질을 이용하면 어떤 물질에 대한 정보를 얻을 수 있게 된다. 구체적으로 적외선을 이용해서 화학 물질을 검출하는 방법은 다음과 같다. 검출하고자 하는 화학물질에 적외선 광원이 통과하도록 설계하여 화학 물질을 통과한 적외선과 통과하기 전의 적외선을 비교하는 방법이다. 화학 물질의 종류에 따라 흡수되는 파장 대역이 다르고 그 물질의 농도에 따라 적외선이 흡수되는 양이 다르기 때문에 이러한 변화를 감지하여 특정 화학 물질의 존재 유무나 농도를 알 수 있는 것이다.^[1]

적외선을 이용한 화학물질의 측정은 의료용^[2], 식품 진단용, 오염 물질 측정용 등 여러 분야에서 활용될 수 있으며, 특히 이를 이용하여 과일을 비롯한 식품의 당도를 비파괴적인 방식으로 측정할 수 있다는 장점이 있다.^[3,4]

본 논문에서는 MEMS 기술을 이용하여 볼로미터 타입의 적외선 센서를 제작하는 방법에 대하여 기술했으며, 제작된 센서를 이용하여 글루코오스 농도 변화에 대한 볼로미터 타입의 적외선 센서의 저항을 측정하여 그 결과를 나타내었다.

2. 소자 구조

글루코오스의 농도를 측정하기 위해서 설계된 볼로미터 타입 적외선 센서의 구조는 그림 1과 같다. 광원으로부터 나온 적외선이 바나듐 옥사이드로 구성된 센서 부분에 입사되면 센서 부분의 온도가 상승하게 되고 상승한 온도에 의해 바나듐 옥사이드의 저항은 감소하게 된다. 어떤 화학 물질이 광원과 센서 사이에 존재한다면 그 화학 물질은 광원으로부터 나온 적외선을 일부 흡수하게 되고 상대적으로 바나듐 옥사이드 센서 부분에 입사하게 되는 적외선이 감소하여 화학 물질이

경북대학교 전자전기컴퓨터학부(Graduate School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

*한국전자통신연구원 공전기술팀(Process Technology Team, Electronics and Telecommunications Research Institute)

†Corresponding author: juchan@ee.knu.ac.kr, shkong@knu.ac.kr
(Received : December 31, 2007, Revised : January 31, March 24, 2008, Accepted : May 7, 2008)

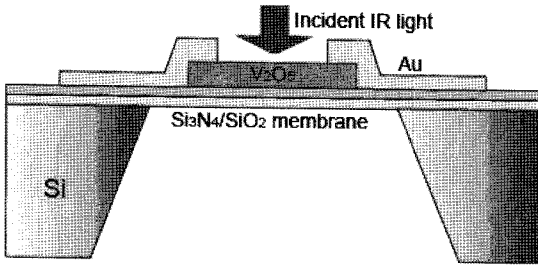


그림 1. 볼로미터 타입의 바나듐 옥사이드 적외선 센서
Fig. 1. IR sensor with bolometer type composed of vanadium oxide.

없을 때 보다 센서의 온도는 감소하게 되고 바나듐 옥사이드의 저항은 증가하게 되는 것이다. 이런 원리를 통해 적외선 센서는 동작하게 된다.

센서의 감도를 증가시키기 위해 실리콘 기판으로의 열손실을 줄일 목적으로 실리콘 질화막을 증착한 후 뒷면의 실리콘을 제거하여 멤브레인 형태로 제작하였다. 바나듐 옥사이드 센서는 실리콘 산화막과 실리콘 질화막으로 구성된 멤브레인 위에 형성되었으며 적외선 센서 부분과 실리콘 사이의 열전도에 의한 열손실을 막기 위해 뒷면의 실리콘을 TMAH(Tetra Methyl Ammonium Hydroxide)용액을 사용하여 습식 식각 하였다.

3. 소자 제작 방법

그림 2는 글루코오스 농도를 측정하기 위해 설계 된 볼로미터 타입 적외선 센서 공정도이다.

RF sputtering 장비를 이용하여 바나듐 옥사이드를 증착하고 패턴을 형성하여 센서부를 제작한다. Lift-off 공정으로 금속전극을 형성하고 웨이퍼 전면을 보호하기 위해 특별히 제작 된 지그를 사용하여 TMAH 용액 으로부터 전극을 보호하면서 뒷면의 실리콘만 식각 되도록 하여 소자를 완성하였다. 그림 3은 제작된 바나듐 옥사이드 적외선 센서의 현미경 사진이다.

4. 바나듐 옥사이드 최적화

볼로미터 타입의 바나듐 옥사이드 적외선 센서에서 가장 중요한 것은 센서로 동작하는 바나듐 옥사이드의 온도에 대한 성질이다. 즉 바나듐 옥사이드의 저항이 온도에 따라 민감하게 변화하여야 센서의 감도가 좋아지게 되는 것이다. 따라서 이 바나듐 옥사이드가 적외선 센서로써 동작하기위한 최적화 작업이 반드시 필요하다.

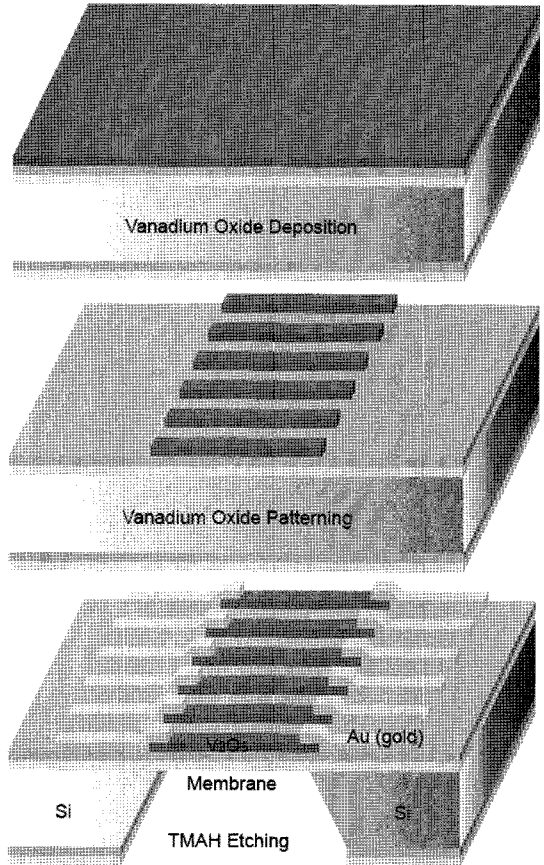


그림 2. 볼로미터 타입의 바나듐 옥사이드 적외선 센서의 제작 공정도
Fig. 2. Designed IR sensor with bolometer type composed of vanadium oxide.

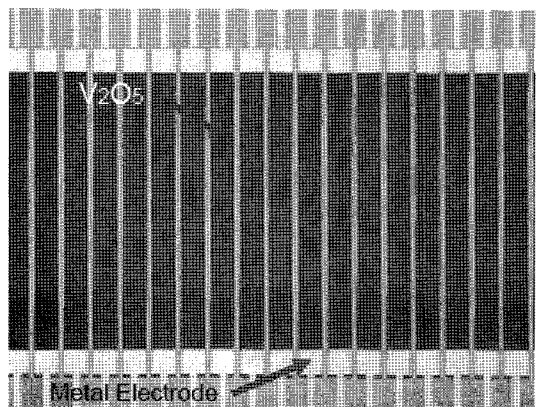


그림 3. 볼로미터 타입의 바나듐 옥사이드 적외선 센서의 현미경 사진
Fig. 3. The microscopic picture of IR sensor with bolometer type composed of vanadium oxide.

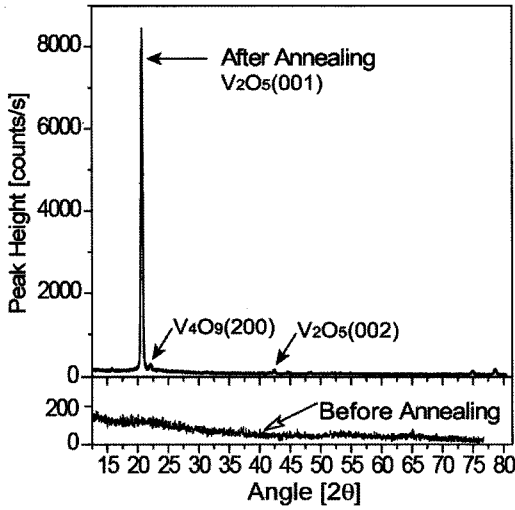
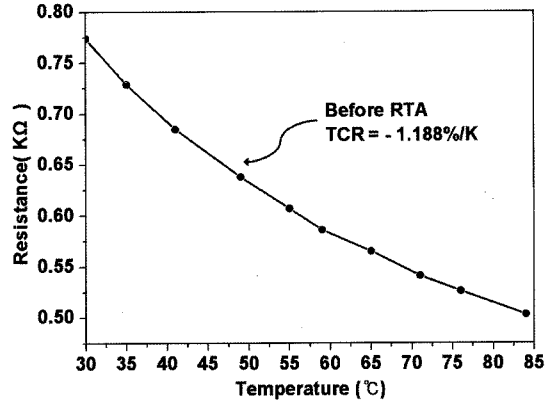


그림 4. RTA처리 전후의 바나듐 옥사이드 XRD 측정 결과
Fig. 4. XRD results of vanadium oxide before and after RTA.

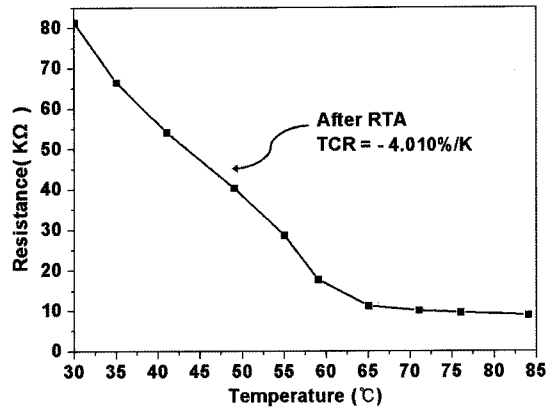
바나듐 옥사이드의 여러 가지 상(phase)들 중에서 V₂O₅ 상은 다른 상의 형태들 보다 Temperature Coefficient of Resistance(TCR) 값이 크다^[5]. 즉 V₂O₅ 상이 온도에 따른 저항 변화량이 가장 크기 때문에 이를 센서에 적용하게 되면 입사하는 적외선에 의한 V₂O₅ 온도의 변화로 큰 저항의 변화를 얻게 되어 센서의 감도를 높일 수 있다.

본 논문에서는 V₂O₅상을 얻기 위하여 단일 V₂O₅ 타겟을 이용하여 스퍼터링하여 바나듐 옥사이드를 증착 후 500 °C에서 2분 동안 산소 분위기에서 RTA(Rapid Thermal Annealing)을 수행하였다^[3]. 그림 4에서는 RTA처리를 한 바나듐 옥사이드와 RTA처리를 하지 않은 바나듐 옥사이드의 X-Ray Diffraction(XRD) 값을 비교하였다. 스퍼터링 후 RTA처리 하지 않은 바나듐 옥사이드의 XRD 분석에서는 어떤 상의 피크도 보이지 않는다. 하지만 RTA처리를 한 바나듐 옥사이드는 V₂O₅ 상의 특성에 해당되는 각 20°[2θ] 부근에서 선명한 피크를 보이고 있다. 스퍼터링 후 결정화 되지 못한 바나듐 옥사이드가 RTA처리를 통하여 바나듐 옥사이드의 V₂O₅ 상의 특성을 가지게 된 것을 알 수 있다. 일반적으로 산소 분위기의 400 °C 이상 온도에서 RTA가 스퍼터링으로 형성된 바나듐 옥사이드의 결정화를 가능하게 한다^[6].

그림 5는 RTA처리를 한 바나듐 옥사이드와 RTA처리를 하지 않은 바나듐 옥사이드의 온도에 따른 저항값의 변화를 나타낸 것이다. RTA처리를 한 바나듐 옥



(a)



(b)

그림 5. 바나듐 옥사이드의 온도와 저항값 관계 (a) RTA처리 전, (b) RTA처리 후
Fig. 5. The correlation between temperature and resistance of vanadium oxide (a) before RTA, (b) after RTA.

사이드의 TCR값이 상온에서 약 -4%/°C임에 반해, RTA처리를 하지 않은 바나듐 옥사이드의 경우 약 -1%/°C이다. 즉 RTA를 통하여 바나듐옥사이드의 온도에 따른 저항 변화를 크게 할 수 있다는 것을 확인 하였다. 따라서 RTA처리는 적외선 센서의 감도를 향상시킬 수 있는 최적화 작업으로 적합하다고 할 수 있다.

다음 그래프는 RTA처리와 TCR값의 관계를 알아보기 위하여 별도로 제작 된 바나듐 옥사이드 적외선 센서의 RTA처리 전후의 저항값 변화를 측정한 것이다.

5. 측 정

적외선 파장 중 글루코오스의 농도에 따른 흡광도의 변화가 가장 두드러지는 파장 성분은 2.1 μm이다.

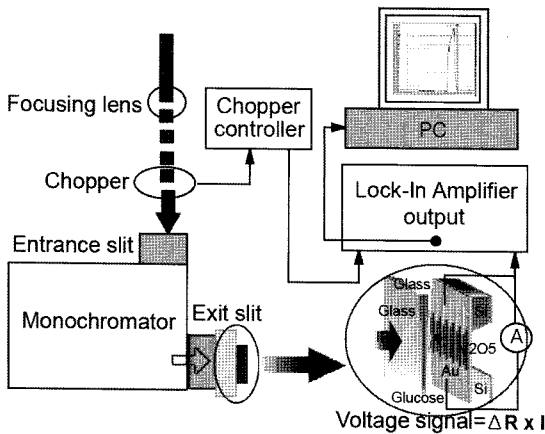


그림 6. 글루코오스 농도를 측정하기 위한 적외선 센서의 측정 방법
 Fig. 6. The Measurement set up for detecting glucose concentration with the proposed IR sensor.

그림 6에서 글루코오스 농도를 적외선 센서를 이용하여 측정하는 장치의 구조를 나타내었다.

모노크로미터는 2.1 μm의 특정 파장을 만들기 위해 사용되었다. 모노크로미터에서 나오는 2.1 μm 파장이 글루코오스를 지나 적외선 센서에 도달하도록 모노크로미터의 출력부와 적외선 센서 사이에 글루코오스를 위치시킨다.

적외선 센서의 동작은 바나듐 옥사이드의 온도 변화로 인한 저항 측정으로 이루어지기 때문에 적외선에 의한 온도 변화만이 결과에 반영되도록 실험실은 항온의 실험 환경을 유지하고 온도 변화를 일으키는 모든 환경을 제거 하여야 한다.

그림 7은 순수한 물에 용해시킨 글루코오스의 양과 측정 된 적외선 센서의 저항 관계를 나타낸다. 적외선 센서에 100 μA의 전류를 인가했을 때의 센서 자체의 초기 저항은 223.3 kΩ이다. 이 센서에 글루코오스를 용해시키지 않은 상태의 순수한 물을 두 장의 글라스 사이에 넣고 적외선을 투과시켜 센서에 입사 시켰을 때의 센서의 저항은 221.5 kΩ이다. 즉 순수한 물과 글라스 두 장을 통과한 적외선이 센서의 온도를 증가시키고 센서의 저항이 낮아진 것이다. 이 저항을 기준 저항으로 하여 저항의 변화량을 측정하였다.

글루코오스를 용해시킨 물의 양은 100 ml이다. 측정 된 결과에서 볼 수 있듯이 순수한 물에 녹은 글루코오스의 양이 많은 것을 통과 할수록 센서의 저항이 선형적으로 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이것은 글루코오스가 많이 녹아 있을수록 상대적으로 많은 글루코오스가 2.1 μm 파장을 흡수하여 센서에 도달하는 적외

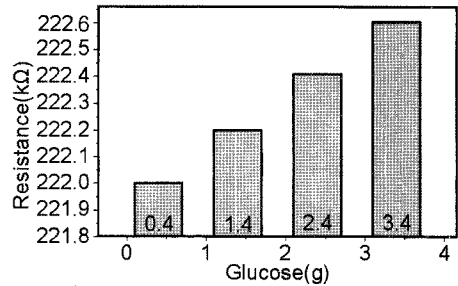


그림 7. 글루코오스 농도와 적외선 센서의 저항 관계
 Fig. 7. The relation between the resistance of IR sensor and the glucose concentration.

선의 양이 감소하고 센서의 온도가 낮아지게 되어 저항이 커지게 되는 현상을 보여준다.

6. 결 론

MEMS 공정을 이용하여 볼로미터 타입의 적외선 센서를 제작하고 500 °C에서 2분 동안 산소 분위기에서 열처리하여 센서부의 감도를 최적화하였다. 2.1 μm 파장을 이용하여 글루코오스 농도에 따른 센서의 저항 변화를 측정하였으며 글루코오스의 농도가 높을수록 센서의 저항이 높아짐을 확인 할 수 있었다. 향후 바이오 메디컬 분야의 응용을 위해 다양한 농도의 글루코오스에 대한 측정 및 다른 물질에 대한 측정을 계속할 예정이다.

또한 다양한 분야에 적용할 수 있도록 바나듐 옥사이드를 어레이 형태로 구성하였다. 광대의 광원을 사용하고 MEMS 기술을 적용한 단파장 필터나 분광 소자를 제작하여 이 적외선 센서와 결합한다면 어레이로 배열된 각각의 바나듐 옥사이드의 저항 변화를 측정하여 하나의 소자로 다양한 물질을 감지 할 수 있는 초소형 물질 및 농도 검출 소자를 제작 할 수 있을 것이다. 따라서 초소형 분광 소자의 연구 또한 진행하여 이것을 제작한 센서와 결합 할 계획을 가지고 있다.

참고 문헌

[1] Gabriele Reich, "Near-infrared spectroscopy and imaging: Basic principles and pharmaceutical applications", *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 57, no. 8, pp. 1109-1143, 2005.
 [2] Kevin H. Hazen, Mark A. Arnold, and Gary W. Small, "Measurement of glucose and other analytes in undiluted human serum with near-infrared trans-

mission spectroscopy”, *Analytica Chimica Acta*, vol. 371, no. 2-3, pp. 255-267, 1998.

[3] W. Schrader, P. Meuer, J. Popp, W. Kiefer, J-U Menzebach, and B. Schrader, “Non-invasive glucose determination in the human eye”, *J. Molecular Structure*, vol. 735-736, pp. 299-306, 2005.

[4] J. Tenhunen, H. Kopola, and R. Myllyla, “Non-invasive glucose measurement based on selective near infrared absorption ; requirements on instrumentation and spectral range”, *Measurement*, vol. 24, no. 3, pp. 173-177, 1998.

[5] Y-H Han, I-H Choi, H-K Kang, J-Y Park, K-T Kim, H-J Shin, and S. Moon, “Fabrication of vanadium oxide thin film with high-temperature coefficient of resistance using $V_2O_5/V/V_2O_5$ multi-layers for uncooled microbolometers”, *Thin Solid Films*, vol. 425, no. 1-2, pp. 260-264, 2003.

[6] M.H. Yoon and S.G. Im., “Electrical characteristics of V_2O_5 thin films formed on p-Si by sputter-deposition and rapid thermal annealing”, *Applied Surface Science*, vol. 244, no. 1-4, pp. 444-448, 2005.



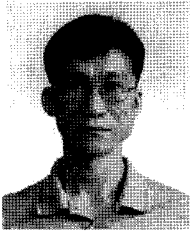
최 주 찬(Choi Ju Chan)

- 2007년 2월 경북대학교 전자전기컴퓨터 학부 졸업(공학사)
- 2007년 3월~현재 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 석사과정
- 주관심분야 : Bio sensor, Physical sensor, Power MEMS



정 호(Jung Ho)

- 2004년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2005년 3월~현재 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 박사과정
- 주관심분야 : CMOS-MEMS, Transducer



박 건 식(Park Kun Sik)

- 1991년 2월 KAIST 신소재공학과 졸업(공사)
- 1996년 2월 KAIST 신소재공학과 졸업(공학석사)
- 1996년 2월~2000년 9월 LG반도체 메모리연구소
- 2000년 9월~현재 한국전자통신연구원 융합부품소재연구 부문 공정기술팀(선임연구원)
- 주관심분야 : 반도체소자 및 Process Integration, 실리콘 CMOS, BJT, Power Transistor 등



박 종 문(Park Jong Moon)

- 1982년 2월 전북대학교 전자공학과 졸업(공사)
- 1991년 8월 전북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1985년 1월 한국전자기술연구소 입소
- 2008년 5월 한국전자통신연구원 융합부품소재연구 부문 공정기술팀(책임연구원)
- 주관심분야 : 리소그라피공정, 반도체센서 및 CMOS, MEMS 부품기술개발



구진근(Koo Jin Gun) ·

- 1980년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1992년 2월 경북대학교 산업대학원 반도체 전공 졸업(공학석사)
- 1980년 1월 한국전자기술연구소 Bipolar 소자실
- 1985년 4월~현재 한국전자통신연구원 융합부품소재연구 부문 공정기술팀 (책임연구원)
- 주관심분야 : Bipolar, CMOS 및 전력 소자 및 집적회로, 반도체 공정 및 시설, Sensor 및 MEMS 관련 공정기술



강진영(Kang Jin Yeong)

- 1979년 2월 KAIST 물리학과졸(이학석사)
- 1991년 2월 KAIST 물리학과졸(이학박사)
- 1979년 2월 한국전자기술연구소 MOS소자실
- 2008년 5월 한국전자통신연구원 융합부품소재연구 부문 공정기술팀장 (책임연구원)
- 주관심분야 : ETRI융합실�험실 관리운영, 반도체센서 및 전력소자 부품기술개발



공성호(Kong Seong Ho)

- 1993년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1996년 3월 (일본) 東北 대학 졸업 (공학석사)
- 2002년 10월 (네덜란드) Delft University of Technology(공학박사)
- 2002년~2004년 2월 ASM Europe (Senior Process Engineer)
- 2004년 3월~현재 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 교수
- 주관심분야 : MEMS-based sensors and actuators