

Bi₂Mg_{2/3}Nb_{4/3}O₇을 사용한 온도센서의 저주파 잡음 특성

Analysis of Low Frequency Noise Variation in Temperature Sensor With Bi₂Mg_{2/3}Nb_{4/3}O₇

조 일 환*, 서 동 선**

Il Hwan Cho*, Dongsun Seo**

Abstract

Sensitivity characteristics of temperature sensor with Bi₂Mg_{2/3}Nb_{4/3}O₇ (BMNO) layer were investigated with low frequency noise measurement. Temperature sensor with BMNO layer had high reliability and high sensitivity comparing with conventional MOS type temperature sensor. Annealing temperature variation effects with 600°C, 700°C and 800°C were measured and analyzed. Annealing temperature determines trap distribution and 700°C annealing sample has different pattern comparing with other samples. Results of low frequency noise can offer the design guide of temperature sensor performance.

요 약

기존의 MOS 구조를 갖는 온도 센서가 가지는 누설 전류 문제를 해결하기 위하여 제안된 Bi₂Mg_{2/3}Nb_{4/3}O₇ (BMNO) 를 이용한 온도센서의 민감도 평가를 저주파 누설 전류 측정을 통하여 수행하였다. 측정결과에서 서로 다른 어닐링 온도 (600°C, 700°C, 800°C) 에 따른 서로 다른 패턴의 저주파 노이즈 특성을 얻을 수 있었으며, 그 결과에서 온도 센서 동작을 저해할 수 있는 공정 조건(700°C) 을 선별하는 결과를 얻을 수 있었다. 이와 같은 측정법은 향후 BMNO를 이용한 온도센서의 공정 최적화를 측정하는 방법으로 응용 될 수 있다.

Key words : temperature sensor, annealing process, low frequency noise, interface state, sensitivity

* Dept. of Electronic Engineering, Myongji University

★ +81-31-330-6369, sdsphoto@mju.ac.kr

※ Acknowledgement

This work was supported by 2015 Research Fund of Myongji University

Manuscript received Nov 4, 2015; revised Nov 17, 2015 ; accepted Nov 17, 2015

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

전자시스템에서 시스템을 구성하는 반도체 소자는 고온에서 동작특성 열화로 인하여 시스템 성능저하의 원인이 된다. 온도 상승에 따른 시스템의 오동작을 방지하기 위하여 다양한 종류의 시스템에서 칩 형태로 제작된 온도 센서가 사용되었다. 하지만 이와 같이 독립된 칩 형태로 제작된 온도 센서의 경우 실제 시스템에서 발생하

는 온도를 직접적으로 측정하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 시스템의 온도를 직접적으로 측정하기 위하여 metal oxide semiconductor (MOS) 구조의 터널링 다이오드를 사용한 온도 측정 센서가 발표된 바 있다^[1-3]. MOS 구조의 터널링 다이오드의 경우 소수 캐리어의 형성과 직접 터널링 전류에 의하여 온도를 측정하게 되는데, 산화막 두께가 얇아짐에 따라 다양한 누설 전류에 의한 센서의 열화를 피할 수 없는 문제점을 갖는다^[4]. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 $\text{Bi}_2\text{Mg}_{2/3}\text{Nb}_{4/3}\text{O}_7$ (BMNO) 물질을 사용, 온도를 측정할 수 있는 새로운 형태의 온도 센서가 소개되었다^[5]. 기존의 MOS 구조의 센서에 비해서 높은 센서 민감도를 갖는 BMNO 온도센서의 경우 공정 과정 중에 포함된 어닐링 공정 조건에 따라 센서의 특성이 결정된다. 어닐링 공정에서 발생한 계면 특성의 경우 저주파 노이즈 특성을 통하여 측정할 수 있는데, 이를 통하여 온도센서의 민감도를 예측할 수 있을 경우에 공정 개발 시간을 줄일 수 있는 장점을 가질 수 있다.

실제 온도 변화 본 논문에서는 서로 다른 어닐링 조건을 갖는 BMNO 온도센서에 대하여 저주파 노이즈 측정을 수행하고 이에 따른 센서의 특징 변화에 대하여 소개한다.

II. 본론

1. 소자 제작 공정

온도 센서는 p 형 (100) 반도체 기판위에 제작된다. Radio frequency (RF) 스퍼터링 공정 방법을 통하여 BMNO 물질을 증착하며, 본 논문에서 센서에 사용되는 소자의 경우 10 nm 두께로 증착되어 있다. 스퍼터링 공정은 Ar (10 sccm)과 O_2 (10 sccm)을 챔버 내부에 흘리면서 공정 압력은 5 mTorr를 유지하며 50 watt 의 파워를 인가하여 진행하게 된다. 이후 rapid thermal annealing (RTA) 공정을 진행하게 되는데 질소 분위기에서 1분간 서로 다른 온도로 진행하게 된다. 마지막으로 100 nm 두께의 Ti 금속으로 100 x 100 μm^2 의 전극을 형성하여 MIS 구조의 온도 센서를 제작하게 된다.

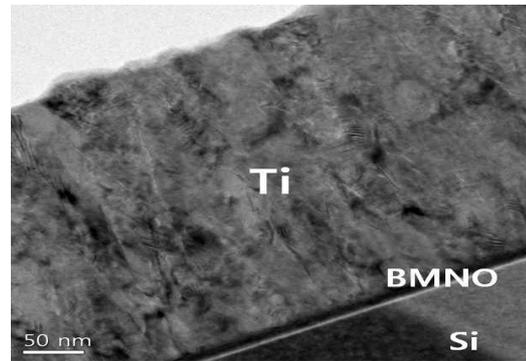


Fig. 1. TEM image of temperature sensor with BMNO

그림 1. BMNO를 사용한 온도센서의 투사전자현미경 사진

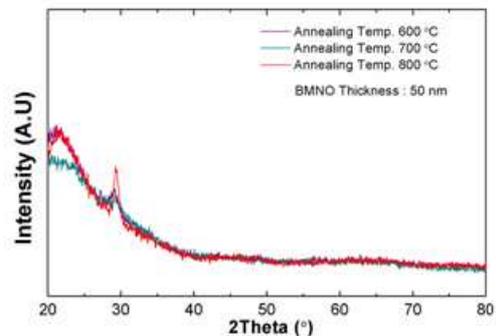


Fig. 2. XRD data of BMNO films with 50 nm thickness

그림 2. 50 nm 두께를 갖는 BMNO 막의 XRD 분석 결과

제작된 온도센서의 투사전자현미경 이미지가 그림 1에 소개되어 있다. 제작된 BMNO의 특성을 확인하기 위하여 x ray diffraction (XRD) 분석을 수행하였으며 그림 2와 같이 28.7°에서 peak이 발생함을 확인하였다. 이는 기존의 연구 결과와도 일치한다^[5-7].

저주파 노이즈 측정은 그림 3과 같은 방법으로 진행된다. 제작된 샘플을 probe station에서 전기적 연결을 한 뒤, HP4156A를 이용하여 DC 측정을 진행하게 된다. 이 때 온도를 측정하는데 사용되는 전압 값을 결정하게 되고, SR570을 통하여 고정된 전압과 증폭된 노이즈 신호를 HP35670A에 제공하여 분석하게 된다. 기본적인 DC 측정 값 및 온도에 따른 변화량은 이전 연구 결과를 통하여 발표된 바 있다^[5]. 본 연구에서 사용될 BMNO 온도 센서의 온도에 따른 전기적 특성 변화가 그림 4에 나타나 있다.

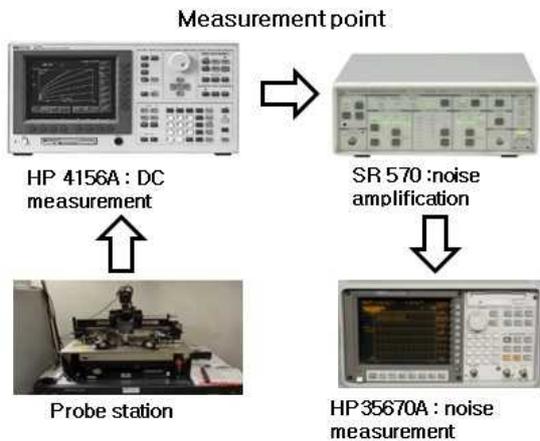


Fig. 3. Low frequency noise measurement system
그림 3. 저주파 노이즈 측정 시스템

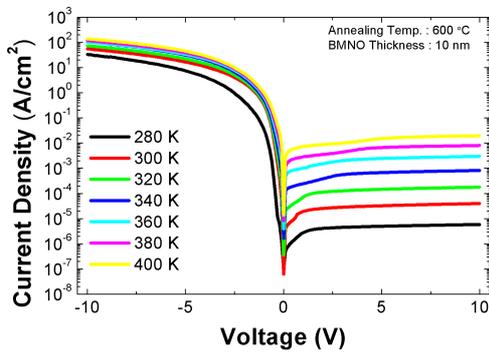
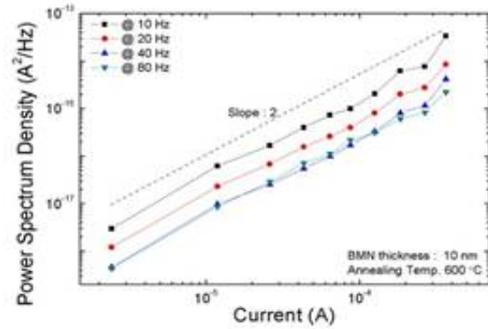


Fig. 4. Temperature sensing characteristics of BMNO temperature sensor
그림 4. BMNO 온도 센서의 온도 측정 특성

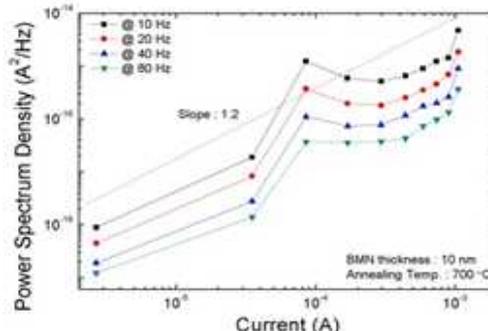
그림 4의 측정에 사용된 센서는 10 nm 의 BMNO 두께를 갖으며, RTA 600°C 에서 제작되었다. 상온부터 400 K 로 증가하면서 비교적 일정한 전류 상승폭을 보여주고 있으며, 측정 전압에 따른 변화량도 크지 않기 때문에 안정적인 온도 측정이 가능하다.

그림 5는 어닐링 온도 조건에 따른 온도 센서의 저주파 노이즈 특성에 대한 측정 결과이다. 각각의 샘플은 10 nm 의 BMNO 두께를 갖고 있으며, 어닐링 공정은 질소 분위기에서 600, 700 800°C 의 온도로 각각 1분간 진행하였다.

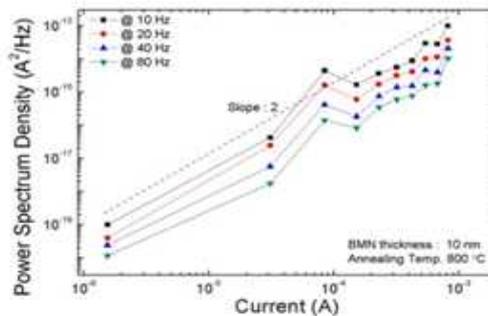
600°C 와 800 °C에서 어닐링을 진행한 소자의 경우 전류와 power spectral density (PSD) 의 기울기가 2를 갖는 것으로 측정 되었으나, 700°C 에서는 1.2 정도의 값을 갖는 것으로 측정되었다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. PSD characteristics of BMNO temperature sensor with RTA temperature variation (a) 600 °C (b) 700 °C (c) 800 °C

그림 5. BMNO 온도센서의 RTA 온도 조건에 따른 PSD 변화 특성 (a) 600°C (b) 700°C (c) 800°C

그림 5의 결과에서 600°C 와 800°C 의 소자는 저주파 노이즈 특성이 random walk model을 따른다는 것을 알 수 있다^[8]. 이는 노이즈를 형성하는 전자의 random 한 움직임이 에너지 배리어와 전류량에 의해서 결정될 때 얻을 수 있는 특징이다. 반면 1.2 정도를 갖는 700°C 샘플의 경우 저주파 노이즈가 mobility and diffusivity fluctuation model 과 random walk model 의 특성을 동시에 포함하는 결과를 얻었다^[9]. 저주파

노이즈 특성이 벌크 특성 뿐 만 아니라 계면 특성에 의해서 결정되는 mobility diffusivity fluctuation 특성이 나타나는 결과에서 700°C 로 어닐링한 샘플의 경우 600, 800°C에 비해서 계면 특성이 열화 되었음을 알 수 있다. 온도 센서의 전류 이득 값을 측정 할 경우에 600°C 와 800°C 에서 3.04×10^3 , 1.77×10^3 (A/A)를 각각 얻었지만 700°C 에서는 1.16×10^3 (A/A)로 열화된 특성을 보임을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과에서 BMNO 온도센서의 동작 특성을 저주파 노이즈 측정을 통하여 예측할 수 있음을 알 수 있다.

III 결론

본 논문에서는 기존의 MOS 구조의 온도센서의 한계점을 극복하기 위하여 제안된 BMNO를 이용한 온도센서에 대한 저주파 노이즈 특성을 분석하였다. BMNO 막에 대한 저주파 노이즈 측정을 수행할 경우 RTA 온도 조건에 따른 막질의 변화를 확인할 수 있었으며, 이는 온도센서의 동작 특성에도 연관성을 갖는다. 측정 결과에서 700 °C 에서 RTA를 수행한 경우 계면 진하 밀도가 다른 RTA 온도에 비해서 높게 형성된 것을 알 수 있었고, 이 경우 온도 센서의 특성도 열화 됨을 이전의 연구 결과와의 비교로 확인할 수 있다. 결과적으로 BMNO 온도 센서에서 저주파 노이즈 측정을 통하여 RTA 온도에 따른 센서 특성을 예측하는 것이 가능하며 이는 공정 개발 시 적용 가능한 측정 방법이라 할 수 있다.

References

[1] Chih-Yao Wang and Jenn-Gwo Hwu, "Characterization of Stacked Hafnium Oxide (HfO₂)/ Silicon Dioxide (SiO₂) Metal-Oxide-Semiconductor Tunneling Temperature Sensors," Journal of The Electrochemical Society, 157(10), pp.J324-J328, 2010

[2] Yen-Hao Shih and Jenn-Gwo Hwu, "An On-Chip Temperature Sensor by Utilizing a

MOS Tunneling Diode," IEEE Electron Device Letters, 22(6), pp.299-301, 2001

[3] Yen-Hao Shih, Shian-Ru Lin, Tsung-Miau Wang and Jenn-Gwo Hwu, "High Sensitive and wide Detecting Range MOS Tunneling Temperature Sensors for On-Chip Temperature Detection," IEEE Transactions on Electron Devices, 51(9), pp. 1514-1521, 2004

[4] B. Ricco, G. Gozzi and M. Lanzoni, "Modeling and Simulation of Stress-Induced leakage Current in Ultrathin SiO₂ Films," IEEE Transactions on Electron Devices, 45(7), pp. 1554-1560, 1998

[5] Jae-Min Lee, In-Tak Cho, Jong-Ho Lee, Soon-Gil Yoon and Il Hwan Cho, "Enhancement of Temperature Sensitivity for Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) Tunneling Temperature Sensors by Using Bi₂Mg_{2/3}Nb_{4/3}O₇ (BMNO) film," Japanese Journal of Applied Physics, 51, pp.080206-080208, 2012

[6] David P. Cann, Clive A. Randall and Thomas R. Shroud, "Investigation of the dielectric properties of bismuth pyrochlores," Solid state communications, 100, pp.529-534, 1996

[7] Nak-Jin Seong, Jong-Hyun Park, and Soon-Gil Yoon, "Effect of excess bismuth concentration on dielectric and electrical properties of fully crystallized Bi₂Mg_{2/3}Nb_{4/3}O₇ thin films," Applied Physics Letters, 91, pp.072904, 2007

[8] J. I. Lee, J. Brini, A. Chovet and C. A. Dimitriadis, "Flicker noise by random walk of electrons at the interface in nonideal Schottky diodes," Solid State Electronics, 43, pp.2185-2189, 1999

[9] J. I. Lee, I. K. Han, D. C. Heo, J. Brini, A. Chovet, C. A. Dimitriadis and J. C. Jeong, "Low frequency noise spectroscopy for schottky contacts," Journal of the Korean Physical Society, 37(6), pp.966-970, 1999

BIOGRAPHY

Il Hwan Cho (Member)

2000 : B.S. degree in Electrical Engineering, KAIST

2002 : M.S. degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

2007 : Ph.D. degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

2012 ~ Present: Associate Professor, Dept. of Electronics, MyongJi University

Dongsun Seo (Life Member)

1980: B.S. degree in Electronics, Yonsei University

1985: M.S. degree in Electronics, Yonsei University

1989: Ph.D. degree in Electrical Engineering, Univ. of New Mexico, USA

1990 ~ Present: Professor, Dept. of Electronics, MyongJi University