

SiO₂ 절연박막에 의해서 바나듐옥사이드 박막이 전도성이 높아지는 원인분석

오데레사
청주대학교 반도체공학과

Analysis of Increasing the Conduction of V₂O₅ Thin Film on SiO₂ Thin Film

Teresa Oh

Division of Semiconductor Engineering, Cheongju University

요약 일반적으로 반도체소자의 이동도를 높이기 위하여 반도체소자에서 음접촉이 중요하게 다루어진다. 반도체 구조의 PN접합은 공핍층을 포함하고 있으며, 공핍층은 전기적인 비선형을 유도하고 쇼키접합을 만들어내는 반도체 고유의 물리적인 특징이다. 본 연구에서는 절연막이 전도성에 미치는 효과를 조사하기 위해서 SiO₂ 박막과 V₂O₅/SiO₂ 박막의 전기적인 특성을 비교하여 조사하였다. 미소전계영역에서 SiO₂ 절연막의 전기적인 특성으로부터 비선형 쇼키접합을 이루고 있는 것을 확인하였으며, 그 위에 증착된 V₂O₅ 박막은 옴특성을 갖는 것을 확인하였다. 절연막의 PN 접합에 의한 쇼키접합 특성이 누설전류를 차단하여 V₂O₅ 박막의 전도성을 우수하게 만들었다. 양의 전압에서 SiO₂ 박막의 커패시턴스 값은 매우 낮았으나 V₂O₅ 박막의 커패시턴스 값은 전압이 증가할수록 증가하였다. 일반적인 전계영역에서 SiO₂ 박막의 절연 효과에 의해 V₂O₅ 박막의 전도성이 증가하는 것을 확인하였다. 절연박막은 공핍층의 효과를 이용하는 쇼키접합을 갖게 되며, 반도체에서의 쇼키접합은 전도성을 높이는 효과가 있는 것을 확인하였다.

Abstract Generally, the Ohmic's law is an important factor to increase the conductivity in a micro device. So it is also known that the Ohmic contact in a semiconductor device is import. The PN junction as a structure of semiconductor involves the depletion layer, and this depletion layer induces the non linear electrical properties and also makes the Schottky contact as an intrinsic characteristics of semiconductor. To research the conduction effect of insulators in the semiconductor device, SiO₂ thin film and V₂O₅/SiO₂ thin film were researched by using the current-voltage system. In the nano electro-magnetic system, the SiO₂ thin film as a insulator had the non linear Schottky contact, and the as deposited V₂O₅ thin film had the linear Ohmic contact owing to the SiO₂ thin film with superior insulator's properties, which decreases the leakage current. In the positive voltage, the capacitance of SiO₂ thin film was very low, but that of V₂O₅ thin film increased with increasing the voltage. In the normal electric field system, it was confirmed that the conductivity of V₂O₅ thin film was increased by the effect of SiO₂ thin film. It was confirmed that the Schottky contact of semiconductors enhanced the performance of electrical properties to increased the conductivity.

Keywords : V₂O₅, SiO₂, Schottky contact, Ohmic contact, PN junction

*Corresponding Author : Teresa Oh (Cheongju Univ.)

Tel: +82-43-229-8445 email: teresa@cju.ac.kr

Received May 29, 2018

Revised (1st July 7, 2018, 2nd July 18, 2018)

Accepted August 3, 2018

Published August 31, 2018

1. 서론

반도체소자의 크기가 작아지면서 배선 간 신호전송에서 간섭현상으로 인한 잡음이 많아지고, 누설전류의 문제가 심각한 문제로 대두되고 있다[1-3]. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 절연물질의 개선이 필요하다. 소자 크기의 감소는 기존의 회로설계에서 사용되는 주파수의 변화와 송수신 전달파의 파장의 변화에 영향을 주게 된다. 따라서 높은 주파수에서 동작가능하기 위해서는 파장이 짧아지기 때문에 설계되는 반도체 소자에서도 낮은 전류를 감지할 수 있어야 하고 미시전류를 제어할 수 있어야 한다. 일반적으로 반도체소자에서 사용되는 절연막은 SiO₂가 사용되어져 왔다. 반도체 분야에서 SiO₂ 박막의 용도는 다양하다. 층간절연막, 마스크 에칭용 절연막, 트랜지스터의 게이트 절연막 혹은 패시베이션으로도 사용되어져 왔다. 하지만 미세선폭에 대한 문제가 SiO₂ 박막의 전기적인 한계와 그 이상의 범위에 대한 연구가 필요해짐에 따라서 더 낮은 전류에 대한 조사와 누설전류에 대한 연구가 요구되고 있는 실정이다. 반도체의 전도성에 대한 연구에서 일반적으로 연구되어지는 영역으로 접합특성이 있다[4-7]. 반도체에는 전압과 전류의 선형적인 관계에 따라서 옴직접합과 쇼키접합을 갖는다. 전류와 전압이 선형적인 특성을 갖게 되면 옴직접합이 되고 비선형 특성을 가지면 쇼키접합이라고 한다. 실리콘 기반의 반도체 소자에서는 전류가 잘 통하는 시스템으로 옴직접합을 성형하도록 요구한다. 하지만 소형화 반도체 시스템에서는 쇼키접합특성이 더 중요한 효과를 갖는 경우가 많다. 박막의 특성이 얇아질수록 쇼키접합에서 쇼키전류가 중요하게 다루어지고 있다[8-9].

본 논문에서는 실리콘 기판위에 절연막으로 SiO₂을 증착한 뒤 전도성 박막으로 V₂O₅ 박막을 증착하여 전기적인 특성을 비교하였다. SiO₂ 박막과 V₂O₅/SiO₂ 박막의 접합특성을 조사하고 각각의 접합특성이 전도성에 미치는 영향을 관찰하였다.

2. 실험방법

V₂O₅ 박막의 전도성이 SiO₂ 박막에 의존성을 갖는 것을 조사하기 위해서 SiO₂ 박막을 스퍼터링 방법으로 증착하였다. V₂O₅ 박막은 실리콘 기판 위에 V₂O₅ 타겟을

사용하고 산소가스 O₂=20sccm 주입하여 70 W 파워의 플라즈마를 만들고, RF magnetron sputtering 장비를 이용하여 10분 동안 증착하였다. 증착이 된 V₂O₅ 박막은 진공에서 각각 RT, 100℃~250℃에서 열처리를 10분동안 실시하였으며, 각각의 박막들의 전기적인 특성을 조사하기 위해서 Al 전극을 이용하여 Al/SiO₂/Si와 Al/V₂O₅-SiO₂/Si의 구조를 이용하여, I-V 특성을 측정하여 반도체 계면특성에 대하여 조사하고 열처리 온도에 따른 특성을 조사하였다.

3. 본론

절연막인 SiO₂ 박막 위에 증착되는 V₂O₅박막의 전도성은 절연막의 특성에 영향을 받는다. 어느 정도의 효과와 서로에게 미치는 영향을 알아보기위해서 SiO₂ 박막과 V₂O₅/SiO₂ 박막의 전기적인 특성을 비교하였다.

Fig. 1.은 매우 낮은 미소 전류영역 $\sim 10^{-8}$ A<전류< $\sim 10^{-8}$ A에서 전기적인 특성을 비교하였다. 절연막 SiO₂의 전류는 양전압에서는 증가하지만 음전압에서 급격히 줄어들고 있다. V₂O₅/SiO₂ 박막의 전류는 비선형적이기는 하지만 양방향에서 전압에 비례하여 증가하고 있다.

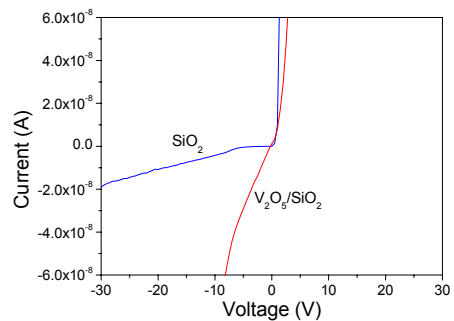


Fig. 1. I-V curves of SiO₂ thin film and V₂O₅/SiO₂ thin film in a range of $\sim 10^{-8}$ A<current< $\sim 10^{-8}$ A

Fig. 2.는 낮은 전류영역 $\sim 10^{-6}$ A<전류< $\sim 10^{-6}$ A에서 전기적인 특성을 보여준다. V₂O₅/SiO₂ 박막의 전류는 음의 전압에서 전도성이 급격히 떨어지며, 양전압에서는 급격히 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 특히 10V 근처에서 전류의 증가는 수직으로 상승하고 있다.

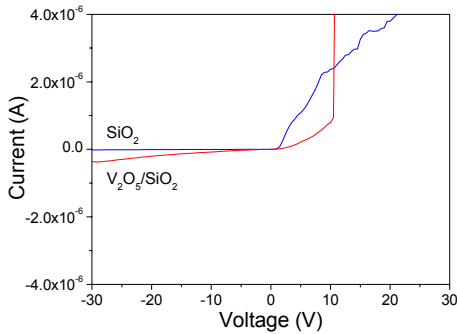


Fig. 2. I-V curves of SiO₂ thin film and V₂O₅/SiO₂ thin film in a range of $\sim 10^{-6} \text{ A} < \text{current} < \sim 10^{-6} \text{ A}$

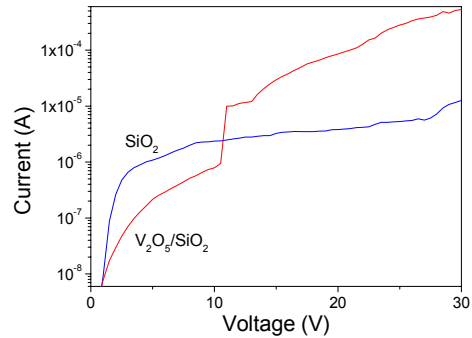


Fig. 4. Log scale of I-V curves of SiO₂ thin film and V₂O₅/SiO₂ thin film in a range

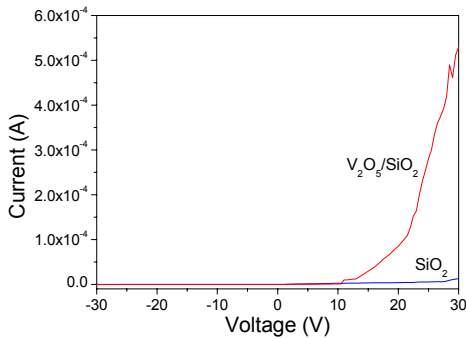


Fig. 3. I-V curves of SiO₂ thin film and V₂O₅/SiO₂ thin film in a range under $\sim 10^{-4} \text{ A}$

Fig. 3은 전류영역으로 전류 $\sim 10^{-4} \text{ A}$ 영역에서 전기적인 특성을 비교하여 보여준다. 절연막인 SiO₂ 박막은 거의 전류가 흐르지 않는 절연특성을 나타내며, V₂O₅/SiO₂ 박막의 전류는 양전압영역에서 전압이 증가할수록 전류도 증가하는 정류특성을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 반도체소자로서 pn접합특성을 갖는 박막으로 V₂O₅ 박막과 SiO₂ 박막이 적합하다는 것을 입증하는 결과로 볼 수 있다. pn 접합특성은 1차적으로 SiO₂ 박막에 의해서 완성되며, 그 위에 증착되는 V₂O₅ 박막은 $\sim 10^{-8} \text{ A} < \text{전류} < \sim 10^{-8} \text{ A}$ 영역에서는 옴접합특성을 나타내며, $\sim 10^{-6} \text{ A} < \text{전류} < \sim 10^{-6} \text{ A}$ 영역에서는 쇼키접합특성을 갖게 되는 것이다.

일반적으로 I-V 특성은 Fig. 3과 같은 결과를 이용하여 절연막과 전도성 박막의 전기적인 분석으로 이루어진다. 그리고 로그 값으로 변화하면 10V 근처영역에서 V₂O₅ 박막의 전류 값이 증가하는 원인을 알 수 있다.

Fig. 4는 양전압영역에서 전기적인 값의 변화를 살펴보기 위해서 로그변환하였다. SiO₂ 박막이 10V 근처에서 증만되고 있는 것을 알 수 있다. 절연막인 SiO₂ 박막에서 전류가 흐를 수 있는 한계점을 보여주고 있는 것이다. 따라서 그 이상의 영역에서 절연성이 우수해지고 SiO₂ 박막위에 증착되는 V₂O₅ 박막의 전도성은 증가하게 되는 것이다.

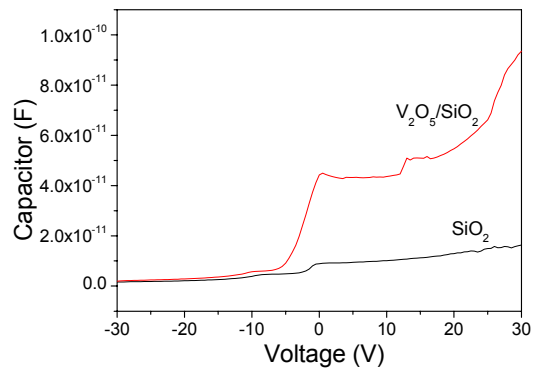


Fig. 5. Capacitance of SiO₂ thin film and V₂O₅/SiO₂ thin film

Fig. 5는 SiO₂ 박막과 V₂O₅/SiO₂ 박막의 커패시턴스를 나타낸다. SiO₂ 박막의 커패시턴스는 매우 낮았다. 전하의 양이 작으며 절연막으로서의 좋은 특성을 갖는 것

을 알 수 있다. 반면, V₂O₅/SiO₂ 박막의 커패시턴스는 0V와 10V 근처에서 상승하는 것을 보여준다. 0V에서는 음전하가 증가하고 있는 것을 알 수 있고 10V에서 증가하는 원인은 Fig. 4에서 보았듯이 SiO₂ 박막의 전류가 10V에서 포화되는 것으로 SiO₂ 박막의 영향에 의한 효과라고 볼 수 있다.

Fig. 6은 V₂O₅/SiO₂ 박막의 특성이 음전압에서 양전압으로 이동할 때와 양전압에서 음전압으로 이동할 때 커패시턴스의 값이 달라지고 있는 것을 보여준다. 이것은 전하의 반응속도를 의미하며, 양전압에서 음전압으로 변할 때 전하들이 감소가 급격히 일어나고 있는 것으로 보여준다. 이는 V₂O₅ 박막이 분극의 특성을 갖고 있으며, 메모리로서 사용가능성을 보여준다. 따라서 V₂O₅ 박막의 전도성이 절연막의 특성에 의존하는 것을 확인하였다.

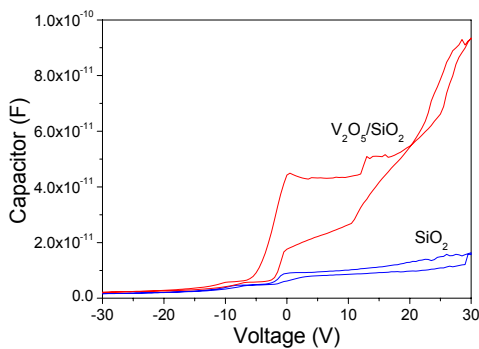


Fig. 6. Return characteristics of capacitance of SiO₂ thin film and V₂O₅/SiO₂ thin film

3. 결론

SiO₂ 박막과 V₂O₅/SiO₂ 박막의 전도성을 비교하여 전기적으로 서로에게 미치는 영향을 조사하였다. 절연막이 V₂O₅ 박막의 전도성을 좋게 하기 위해서 pn접합특성을 갖는 것이 중요하고 pn접합의 특성은 V₂O₅ 박막이 낮은 전류영역에서 옴접합을 갖고 높은 전류영역에서는 쇼키접합특성을 갖게 함으로써 전체적으로 V₂O₅ 박막의 전도성을 우수하게 만들고 있었다. 절연막인 SiO₂ 박막의 전기적인 특성이 V₂O₅ 박막의 전기적인 특성에 절대적으로 영향을 주는 것을 확인하였으며, 절연특성이 우수할수록 V₂O₅ 박막의 전도성이 우수해지는 것을 확인하였다.

References

- [1] T. Oh, "Tunneling Phenomenon of amorphous Indium-Gallium-Zinc-Oxide Thin Film Transistors for Flexible Display", *Electronic Materials Letters*, Vol.11, No.5, pp.853-861, 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s13391-015-4505-3>
- [2] H. M. Kim, J. J. kim, "Heat treatment effects on the electrical properties of In₂O₃-ZnO films prepared by rf-magnetron sputtering method", *J. Korean Vacuum Society*, Vol.14, No.4, pp.238-244, 2005.
- [3] T. Oh, "Analysis of Electrical Characteristics of Oxide Semiconductor of ZnO, SnO₂ and ZTO", *Korean Journal of Materials Research*, Vol.25, No.7, pp.347-351, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.3740/MRSK.2015.25.7.347>
- [4] S. D. Ganichev, E. Ziemann, W. Prettl, I. N. Yassievich, A. A. Istratov, E. R. Weber, "Distinction between the Poole-Frenkel and tunneling models of electric-field-stimulated carrier emission from deep levels in semiconductors", *Phys. Rev B*, Vol.61, No.15, pp.10361-10365, 2000.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.61.10361>
- [5] Y. H. So, J. H. Song, D. M. Seo, T. Oh, "A Study on the Chemical Properties of AZO with Crystal Structure and IGZO of Amorphous Structure Due to the Annealing Temperature", *Industry Promotion Research*, Vol.1, No.1, pp.1-6, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.21186/IPR.2016.1.1.001>
- [6] O. Mitrofanov, M. Manfra, "Poole-Frenkel Electron Emission from the Traps in AlGaIn/GaN Transistors", *Journal of Applied Physics*, Vol.95, No.11, pp.6414-6419, 2004.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1063/1.1719264>
- [7] D. Yoo, H. Kim, J. Kim, J. Jo, "Current Variation in ZnO Thin-Film Transistor under Different Annealing Conditions", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol.13, No.1, pp.63-66, 2014.
- [8] M. C. Chu, J. S. Meena, P. T. Liu, H. P. D. Shieh, H. C. You, Y. W. Tu, F. C. Chang, F. H. Ko, "Oxygen Plasma Functioning of Charge Carrier Density in Zinc Oxide Thin-Film Transistors", *Applied Physics Express*, Vol.6, No.7, Article ID 076501, 2013.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7567/APEX.6.076501>
- [9] J. C. K. Lam, M. Y. M. Huang, T. H. Ng, M. K. B. Dawood, F. Zhang, A. Du, H. Sun, Z. Shen, Z. Mai, "Evidence of ultra-low-k dielectric material degradation and nanostructure alteration of the Cu/ultra-low-k interconnects in time-dependent dielectric breakdown failure", *Applied Physics Letters*, Vol.102, No.2, Article ID 022908, 2013.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1063/1.4776735>

오데레사(Teresa Oh)

[정회원]



- 2000년 2월 : 제주대학교 통신공학과 (공학박사)
- 2005년 2월 ~ 2005년 8월 : 창원대학교 세라믹공학과 연구교수
- 2005년 9월 ~ 현재 : 청주대학교 반도체공학과 교수

<관심분야>

반도체재료, 반도체공정, TFT, 투명디스플레이, 화학센서