

누설전류차단 쇼키접합 트랜지스터 전달특성

오 테레사^{**†}

^{**†} 청주대학교 반도체공학과

Transistor Characteristics by the Effect of Leakage Current Cutoff of Schottky Contact

Teresa Oh ^{**†}

^{**†} Division of Semiconductor, Choengju University

ABSTRACT

The current voltage characteristics of ZTO/SiOC were researched, and the conductivities of the ZTO films as a channel material were analyzed. The current of SiOC was abruptly decreased near 0V, and then the depletion layer was formed by the disappearance of charges in the region from -12V to +12V. SiOC with Schottky contacts near $\sim 10^{-9}$ A had the cutoff effect of leakage currents. The conductivity of ZTOs prepared on SiOC was improved in the cutoff region of the leakage current of $-12V < \text{voltage} < +12V$. The transfer characteristics of ZTO/SiOC transistor showed the ambipolar phenomenon without the threshold voltage, and the stability under 1V was especially improved.

Key Words : Schottky Contact, Junction, ZTO, SiOC, Capacitance

1. 서 론

반도체소자는 PN 접합 특성을 갖고 있으며, 접합계면에서의 전기적인 특성의 변화에 따라서 최종적인 전자소자의 효율이 결정된다.[1-2] 전자 시스템에서 반도체소자를 적용했을 때 발생하는 저항효과는 접합이론으로 해석이 되면 이러한 반도체 계면접합으로 오믹접합과 쇼키접합이 있다.[3-5] 전압이 증가하면서 전류도 선형적으로 증가하는 특성이 오믹접합이며, 비선형적으로 변할 때 쇼키접합이라고 말한다. 일반적인 R, L, C 수동소자는 모두 오믹 법칙을 따르며, 반도체는 능동소자로 쇼키접합에 의해서 전압에 대한 전류의 특성이 비선형적으로 변하는 경우가 더 많다. 쇼키접합을 이루는 주된 원인이 바로 반도체가 PN 접합을 이루고 있기 때문이다. PN접합이 이루어지지 않는 반도체는 없다. 과거 반도체기술의 기반이 되어왔던 실리

콘 반도체인 경우, 고농도 도핑기술에 의해서 오믹접합을 만드는 실리콘소자 제조기술이 중요하게 다루어져 왔다. [6-10] 하지만 실리콘이 아닌 경우 도핑공정이 어려워져 박막 증착공정을 이용한 반도체 제조공정에서는 쇼키접합을 중요하게 다룬다. 대부분의 전기적인 해석이 비선형으로 이루어진 전압 전류 특성을 이해해야 하기 때문에 어려워진다. 대부분 증착으로 얻어지는 모든 박막에서 비선형적인 특성이 나타난다. 또한 이러한 박막을 다층으로 쌓아서 이루어지는 공정이라면 반도체 소자의 해석은 더욱 복잡해지고 힘들어지게 된다[11-12].

본 연구는 게이트 절연박막의 쇼키접합효과를 이용하여 ZTO 박막 트랜지스터를 제작하여 전압-전류의 변화를 조사하고 분석하였다. 게이트 절연박막의 절연특성이 전도성 ZTO박막에 주는 효과와 최종 전달특성과의 상관성에 대하여 연구하였다. SiOC와 ZTO 박막에서 쇼키접합 특성이 어떻게 관찰될 수 있는지 확인하고 쇼키접합의 구성요소에 대하여 연구하였다.

[†]E-mail: teresa@cju.ac.kr

2. 이론적 배경

물질의 전기적인 특성을 평가할 때, 가장 일반적으로 관찰하는 것이 전압(V)에 따른 전류(I)를 측정하는 방법이다. 이를 I-V특성(I-V characteristic)이라고 한다. 금속과 반도체를 접촉시킨 경우의 I-V특성은 크게 ohmic contact과 Schottky contact으로 나누어 살펴볼 수 있다. Ohmic contact은 비정류(non-rectifying) 또는 저항(resistive) 접촉과 같은 것으로, I-V 곡선이 일반적인 옴의 법칙($V=IR$)을 따르는 경우를 말하며 Ohmic contact의 경우에는 전류 I는 전기장의 방향에는 무관하고, 크기에만 의존하게 된다. Rectifying contact (또는 Schottky contact)은 I-V곡선이 옴의 법칙에서 벗어나, 특정한 방향으로만 전류가 잘 흐르는 경우를 말한다. 즉, 전류 I는 전기장의 방향과 크기에 모두 의존하게 되는데 전류의 방향을 조절할 수 있다는 의미에서 정류접촉(Rectifying contact, Schottky barrier)이라고 한다. 금속 반도체 접합은 물성이 다른 재료의 접합이므로 저항성분이 나타난다. 저항에 의해서 옴접합을 나타낸다. 쇼키접합은 반도체소자에서 나타나는 고유한 특성으로 공핍층과 문턱전압의 존재가 쇼키접합을 의미한다.

3. 실험 방법

채널층으로 ZTO은 아르곤 가스 20 sccm을 사용하고, 게이트 절연막으로 SiOC는 아르곤 16sccm을 사용하여, n-type Si 기판 위에 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하고 계면에서 공핍층의 안정성을 유지하기 위해서 열처리하였다. 전기적인 특성을 관찰하기 위해서 MIM (Metal-SnO₂-Si wafer)구조의 전극을 만들어 커패시터를 제작하였다. 전기적인 특성은 I-V곡선으로 얻었으며, 미시영역에서의 접합특성을 조사하고 접합특성에 대하여 분석하였다. SiOC 박막의 쇼키접합이 누설전류발생과의 연관성에 대하여 조사하고, 트랜지스터의 특성에 어떤 영향을 미치는지를 살펴보았다.

4. 결과 및 고찰

반도체 접합계면에서의 전기적인 특성을 이해하기 위해서 SiOC 박막위에 ZTO 박막을 증착하여 전압-전류 특성을 조사하였다.

Fig 1은 SiOC 박막과 SiOC/ZTO 박막의 I-V 측정결과를 나타내준다. SiOC 박막에서 전류는 거의 흐르지 않는 것처럼 보여지며 SiOC 박막의 절연특성이 우수한 것을 알 수 있다. SiOC/ZTO 박막의 경우 음전압영역에서 전류가

급격하게 증가하고 있는 것으로부터 양의 전하들이 많다는 것을 알 수 있다. 반도체 접합특성을 조사하기 위해서 더 낮은 전류범위에서 I-V 특성을 조사하였다.

Fig 2는 반도체 계면에서의 접합특성을 나타낸다. SiOC 박막은 0V 근처에서 비선형 쇼키접합특성이 강하게 나타나며 음전압과 양전압쪽에서 접합이 각각 형성되고 있는 모습을 볼 수 있다.

SiOC 박막 위에 증착한 ZTO 박막에서의 전류는 급격히 증가하는 것으로부터 SiOC의 우수한 절연성과 계면특성에 의한 쇼키접합이 ZTO 박막에서의 전도성을 높여주는 것을 알 수 있다.

0V 근처에서 전도성이 있는 SiOC 박막의 특성상 전도성이 큰 ZTO 박막에서의 전류는 저항이 없는 상태로 높은 전류값을 갖게 되는 것이다.

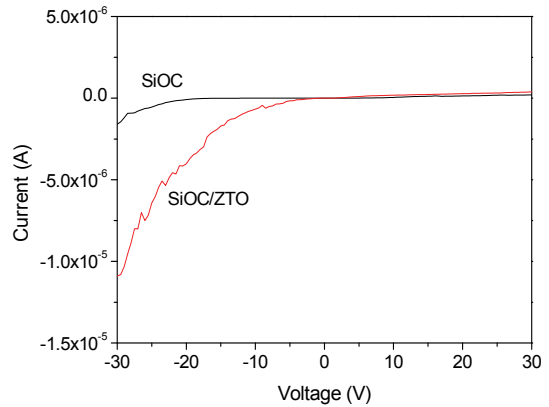


Fig. 1. Current-voltage characteristics of SiOC and SiOC/ZTO thin films.

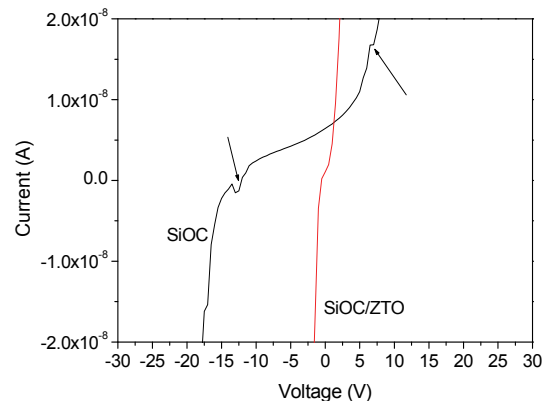


Fig. 2. Contact properties at an interface between SiOC and ZTO thin films.

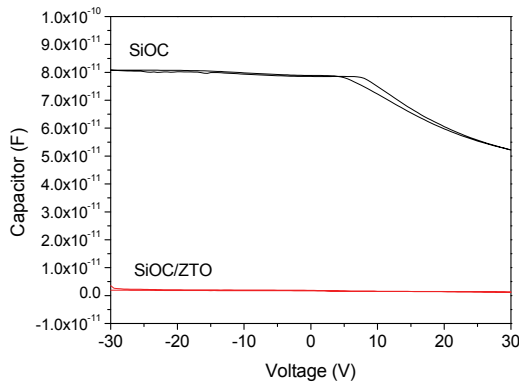


Fig. 3. Capacitance of SiOC and SiOC/ZTO thin films.

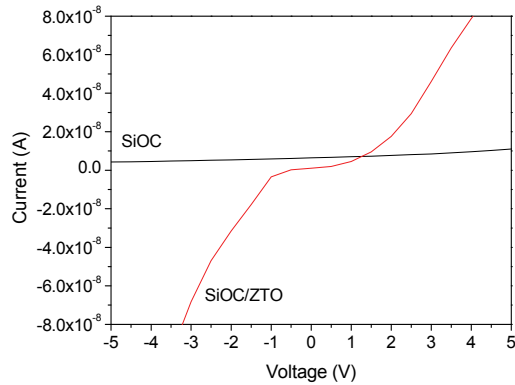


Fig. 4. Comparison of SiOC as an insulator and conductivity of ZTO.

Fig 3은 SiOC 박막과 SiOC/ZTO 박막의 커패시턴스로부터 증가하는 전하의 양을 알 수 있으며, SiOC 박막에서 전하의 양이 SiOC/ZTO 박막에서 보다 더 많기 때문에 커패시턴스의 값이 크다는 것을 보여준다. SiOC와 ZTO 박막 사이에서 재결합이 일어나 이온화 상태의 전하들이 급격히 줄어든 것을 보여준다.

Fig 4는 SiOC 박막의 절연성과 SiOC/ZTO의 전도성을 나타낸다. 거의 전류가 흐르지 않는 SiOC 박막과 비교하여 SiOC/ZTO 박막의 전도성은 쇼키접합을 포함하고 있으며, 음의 전압과 양의 전압에서 각각 전류가 증가하는 전기적으로 매우 우수한 특징을 갖는다.

Fig 5는 트랜지스터의 V_D 가 1V 이상의 전압에서 전달특성을 나타내었다. 드레인 전압이 1V 이상으로 증가할수록 반도체 소자로서의 전달특성이 나타나지 않고 있다. 쇼키장벽에 의해서 전자의 이동이 힘들다는 것을 보여준다.

Fig 6은 로그로 변환한 결과이다. V_D 가 1V인 경우만 안정된 전압전류특성을 갖는다는 것을 알 수 있다.

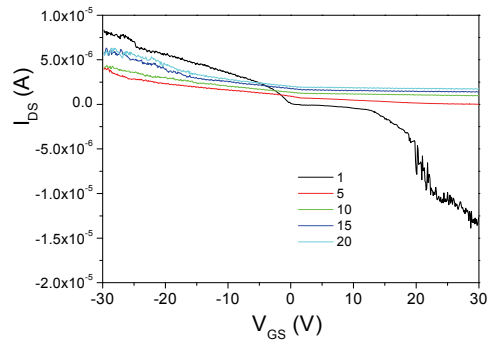


Fig. 5. Transfer characteristics of ZTO transistor prepared on SiOC thin film with increasing the drain voltage over 1 V.

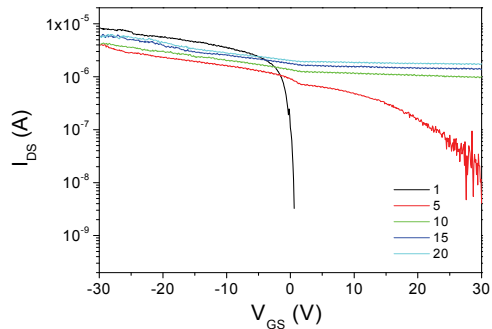


Fig. 6. Log scale of transfer characteristics of ZTO transistor on SiOC with increasing the drain voltage over 1 V.

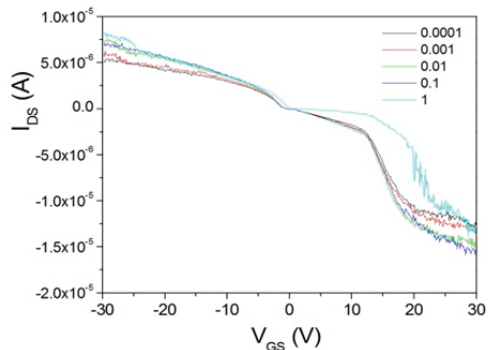


Fig. 7. Transfer characteristics of ZTO transistor with increasing the drain voltage under 1 V.

Fig 7은 V_D 가 1V보다 낮은 전압을 걸어주었을 때 ZTO/SiOC 트랜지스터의 전달특성이다. 양방향으로 전류신호가 잘 형성되고 있다. 로그 값으로 변환한 Fig 8의 데이터들은 $V_D < 1V$ 에서 모두 신호들이 안정성을 갖고 있으면서도 전달특성이 우수하게 나타난다는 것을 확인할 수 있다.

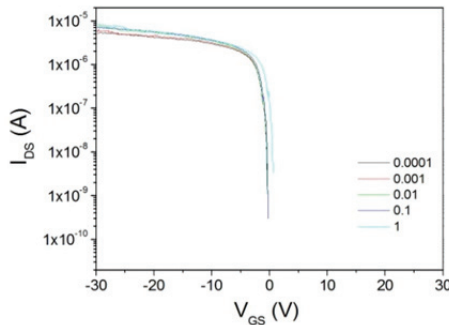


Fig. 8. Log scale of transfer characteristics of ZTO transistor with increasing the drain voltage under 1 V.

쇼키장벽은 V_D 가 1V이하로 낮아질수록 전달특성을 더욱 우수하게 만들면서, 안정도는 높아지고 있다. 양방향성 전달특성은 Fig 2에서처럼 SiOC 박막의 2개의 접합(junction) 효과에 의해서 나타나며, Fig 2에서와 같이 쇼키접합의 대칭성이 높을수록 전달특성을 좋아진다. 쇼키장벽 외부에서는 전류의 흐름에 방해가 주는 요소가 되지만 쇼키장벽 내부에서의 안정성을 확보할 수 있으면서 낮은 전압의 V_D 에서도 확산전류에 의해서 신호가 전달되는 특징을 갖게 된다. 낮은 전압에서도 안정된 전기신호가 발생한다는 것은 소비전력면에서도 유리한 점이 많다. 저전력에서 동작하는 전자소자를 만들 수 있게 된다. 양방향성 트랜지스터는 절연막인 SiOC 박막 특성에 의존하며, 쇼키접합특성은 공핍층을 안정되게 형성할 수 있도록 공핍층을 통하여 전하가 이동하는 방향에 대하여 전하의 입력방향과 출력방향으로 접합이 두 곳에서 형성된다. 접합의 형성결과는 Fig 2에서와 같이 전압이 최소가 되는 0V 근처에서 전류가 급격히 줄어드는 비선형적인 I-V이 나타나는 것으로부터 알 수 있다. 전압이 문턱전압이상으로 증가하게 되면 전류는 다시 증가하게 되므로 양전압 방향과 마찬가지로 음전압에서도 똑 같이 문턱전압이상의 음전압으로 증가하게 되면 전류는 음의 방향으로 증가하게 된다. 이러한 쇼키접합은 양전양전압이 걸릴 때 양전하가 흐르는 것을 방지하고 음전압이 걸릴 때 음전하가 흐르는 것을 방지하여 누설전류를 차단하는 효과가 있어서 전기적인 I-V 측정에 유리하게 작용하여 소자의 효율을 증가시킨다.

5. 결 론

ZTO를 이용하여 박막트랜지스터를 제작하였으며, 전류-전압 특성을 이용하여 쇼키접합의 형성과 원인에 대하여 조사하고 쇼키접합이 I-V 특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 쇼키접합은 공핍층과 밀접한 관련이 있고 공핍

층에 의하여 0V 전압에서 전류가 흐르지 않도록 하는 효과가 극대화 된다. 따라서 누설전류가 차단되어 전기적인 신호의 신뢰도를 높이고 미세전류까지도 감지할 수 있는 효과를 얻을 수 있다. 누설전류의 차단은 소자의 크기가 작아질수록 어려워지고, 낮은 전류일수록 신호감지가 어려워지게 되므로 누설전류의 차단은 소자설계에 있어서 필수적인 요소이다. 반도체에서 누설전류의 차단은 쇼키접합에 의하며, 따라서 반도체 계면에서 접합특성을 이해하여 쇼키접합이 이루어지도록 제작하는 것이 필요하다. ZTO 박막의 전류가 증가하는 원인은 게이트 절연박막으로 사용된 SiOC 박막의 쇼키접합에 의하여 누설전류 차단효과는 채널층인 ZTO 박막에서 전류가 증가하는 2차효과를 얻을 수 있었다. SiOC 박막의 쇼키접합에서 접합은 양의 전압과 음의 전압에서 2곳에서 만들어지는 것을 확인하였다.

참고문헌

1. Teresa Oh, Korean J. Mater. Res. 25, 1149 (2015).
2. Z. M. Jarzebski and J. P. Marton, Journal of the electrochemical Society, 123, 199 (1976).
3. Teresa Oh, Materials Research Bulletin, Vol. 77, 1 (2016).
4. Sayah Lee, Yoon Seog Song, Hyun Kim, and Sang Ouk Ryu, Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 16, pp. 1-5, 2017.
5. Paranjape MA, Mane AU, Raychaudhuri AK, Shalini K, Shivashankar SA, Chakravarty BR, Thin Solid Films, 413(1-2), 8 (2002).
6. V. Vasu and A. Subrahmanyam, Thin Solid Film, 193/194, 973 (1990).
7. Randhawa. H.S, Matthews. M.D, Bunshah, R.F, Thin Solid Films, 83, 267 (1967).
8. Lee, Y. S. Song, H. Kim, and S. O. Ryu, Journal of the of Semiconductor & Display Technology, 16, 1 (2017).
9. Mingyu Lee and Kyu Mann Lee, Journal of the Semiconductor & Display Technology, 15, 1 (2016).
10. Jung wan Ko, Bo Young Jung, Teresa Oh, J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, 14, 20 (2015).
11. Jin-Young Lee, Su-Yeon Kim, Da-Hye Jeong, Dong-Kyun Shin, Su-Ho Yoo, Hwa-Il Seo and Jong-Woon Park, Journal of the Semiconductor & Display Technology, 14, 51 (2015).
12. J. Maserjian, J. Vac. Sci. Technol. 11, 996 (1974).

접수일: 2018년 6월 8일, 심사일: 2018년 6월 18일,
 게재확정일: 2018년 6월 20일