

게이트 절연특성에 의존하는 양방향성 박막 트랜지스터의 동작특성

오데레사*

Electrical Characteristics of Ambipolar Thin Film Transistor Depending on Gate Insulators

Teresa Oh*

Department of Semiconductor Engineering, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea

요 약

본 연구는 산화물반도체트랜지스터의 터널링 현상을 살펴보기 위해서 게이트 절연막으로서 SiOC 박막을 사용하고 채널층으로 IGZO를 이용하여 트랜지스터를 제작 하였다. SiOC 박막은 분극이 작아질수록 비정질특성이 우수해지면서 절연특성이 좋아진다. SiOC 게이트 절연막과 채널 층 사이의 계면에 존재하는 접합특성은 SiOC의 분극특성에 따라서 달라졌다. 드레인소스 전류(I_{DS})와 게이트소스 전압(V_{GS})의 전달특성은 분극이 낮은 SiOC를 사용할 경우 양방향성 전달특성이 나타나고 분극이 높은 SiOC 게이트 절연막을 사용할 경우 단방향성 전달 특성이 나타났다. 터널링에 의한 양방향성 트랜지스터의 경우 바이어스 인가 전압이 낮은 $\pm 1V$ 의 영역에서 쇼키접합을 나타냈었지만 트래핑효과에 의한 단방향성 트랜지스터의 경우 옴접합 특성을 나타내었다. 특히 양방향성 트랜지스터의 경우 터널링 현상에 의하여 on/off 스위칭 특성이 개선되었다.

ABSTRACT

To observe the tunneling phenomenon of oxide semiconductor transistor, The Indium-gallium-zinc-oxide thin film transistors deposited on SiOC as a gate insulator was prepared. The interface characteristics between a dielectric and channel were changed in according to the properties of SiOC dielectric materials. The transfer characteristics of a drain-source current (I_{DS}) and gate-source voltage (V_{GS}) showed the ambipolar or unipolar features according to the Schottky or Ohmic contacts. The ambipolar transfer characteristics was obtained at a transistor with Schottky contact in a range of $\pm 1V$ bias voltage. However, the unipolar transfer characteristics was shown in a transistor with Ohmic contact by the electron trapping conduction. Moreover, it was improved the on/off switching in a ambipolar transistor by the tunneling phenomenon.

키워드 : 트랜지스터, 양방향전달특성, 트래핑, 터널링,

Key word : Transistor, Ambipolar transfer characteristics, Trapping, Tunneling

접수일자 : 2014. 01. 28 심사완료일자 : 2014. 03. 14 게재확정일자 : 2014. 03. 25

* **Corresponding Author** Teresa Oh(E-mail:teresa@cju.ac.kr, Tel:+82-43-229-8445)

Department of Semiconductor Engineering, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.5.1149>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근에 투명전도성 박막은 LED소자, 태양전지는 물론 디스플레이, 투명 웨어러블 전자소자 등에 적용할 수 있는 가능성이 넓어지면서 많이 연구되고 있다[1-4]. 가장 널리 사용되는 투명전극으로 ITO (Indium Tin Oxide)는 인듐의 독성과 희토류원소의 가격상승 등으로 대면적 디스플레이에 적용하기 위한 대체물질의 개발이 필요하다. ITO 대체물질로 ZnO 박막을 이용하여 투명박막 트랜지스터 (transparent thin film transistors: TFTs)가 연구되고 있다. ZnO는 일반적으로 격자틈새 Zn 이온(Zn_i^{2+})이나 산소 빈자리이온 (Vo^{2+}) 등과 같은 자연적인 도너 이온이 존재하여 n-형 전도특성을 나타낸다. 투명 전도성 박막으로는 가시광 영역에서의 높은 광투과율과 낮은 저항을 갖도록 하기 위해서 일반적으로 도핑방법을 사용한다. ZnO 산화물 반도체의 이동도 향상과 안정성 확보를 위해서 3족 원소인 B, In, Al, Ga 등을 도핑한 ZnO 투명 전도성 박막의 연구가 진행되고 있다[5-8]. 도핑된 ZnO 산화물 반도체는 일반적으로 결정질구조를 갖는데 게이트 절연막과의 결합불일치의 문제는 이동도를 떨어뜨리거나 문턱전압이 이동하는 등의 문제로 이어지며, 이를 해결하기 위해 보호막을 사용하거나 비정질 구조의 IGZO를 사용하기도 한다. 비정질의 IGZO는 결정질의 ZnO 계열의 산화막에 비하여 이동도가 떨어질 수 있으나 플렉서블한 투명전자소자에 적합한 특징이 있어 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 실정이다[9,10]. ZnO 계열의 박막 트랜지스터는 기판물질에 따른 의존성이 있다. 채널층과 게이트 절연막사이의 접합특성이 트랜지스터의 전달특성에 영향을 주고 있는 연구들이 보고되고 있으며, 특히 쇼키접합과 오믹접합에 따른 전기적인 특성에 대하여 많은 연구들이 있어왔다. 기존의 트랜지스터에서는 오믹접합의 특성을 가질수록 이동도 혹은 전달 특성이 우수한 특징을 갖는다. 따라서 오믹접합을 만들기 위해서 절연막의 두께가 충분히 두꺼운 것을 요구하거나 High-k 절연막을 필요로 한다.

하지만 소자가 작아짐에 따라서 박막의 두께도 작아지고 오믹접합을 만들기가 쉽지 않았다[11-13]. 그리고 벌크형 소자에서 전하들의 전송 메커니즘이 소형화됨에 따라 더 이상 그 효과가 유지되지 않아서 반도체 소자를 제작하는데 많아지고 있고, 점점 더 새로운 전송

이론들에 대한 연구가 요구되고 있다. 산화물반도체 물질을 사용한 MOS 트랜지스터의 전송이론은 주로 채널층에 산소공공을 많이 만들어낼 수 있는 불순물의 도입에 의한 트래핑 원리로 전하들의 이동에 대하여 설명되어진다[5,6]. 또한 이러한 불순물의 이동에 도움을 주기 위하여 게이트 절연물질도 High-k 물질을 사용할 것을 요구한다. SiOC 박막은 차세대 반도체 소자의 절연막으로서 기존의 SiO_2 박막을 대신할 수 있는 대표적인 중간 절연막으로 알려져 있다[14]. low-k 절연막을 사용한 유기물트랜지스터의 이동도가 향상되는 연구보고서가 있으며, 이때 사용된 게이트 절연막으로 분극이 낮은 SiOC 박막을 사용하고 있다[15].

본 연구에서 SiOC 박막을 제작하기 위해서 RF 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 박막을 성장시켰으며, 박막의 광학적 특성을 조사하였다. 투명전도성 박막으로써 ZnO와 IGZO 박막을 SiOC 박막 위에 성장시켜서 트랜지스터를 제작하여 전기적인 특성을 조사하고 계면특성에 따른 전도 메커니즘을 살펴보았다.

II. 소자 제작

게이트 절연막의 특성에 의존하는 IGZO/SiOC 트랜지스터를 제작하여 전달특성을 살펴보았다. 게이트 절연막으로는 SiOC 박막을 이용하여, MOS(Metal-Oxide Insulator-Si wafer) 구조의 트랜지스터를 제작하였다. SiOC 박막은 p-type(100)Si 기판 위에 플라즈마를 이용한 rf 마그네트론 스퍼터링방법에 의해서 증착되었다. 타겟소스로는 SiC (Si:97 wt%, C:3wt%) 2 inch 을 이용하여 증착시 RF파워는 13.56Mhz에서 300W이고 산소 개스에 의한 플라즈마를 유도하고 이온화된 원자들의 재결합이 이루어지면서 박막이 증착되었다. 반응하는 산소의 유량은 18과 20sccm 이었으며, 20분 동안 증착하였다. SiOC 박막을 증착한 뒤 IGZO 채널층 역시 rf 마그네트론 스퍼터 방법에 의해서 기판을 회전하면서 박막이 균일하게 증착되도록 하였다. 전기적인 특성을 분석하기 위해서 소스, 드레인과 게이트 전극을 증착하기 위하여 마스크 패턴을 이용하여 Al 전극을 증착하였다. 제작된 트랜지스터의 전기적인 특성은 4155A semiconductor parameter analyzer를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 1은 IGZO/SiOC (18 sccm)의 $I_{DS}-V_{DS}$ 입력특성을 나타낸다.

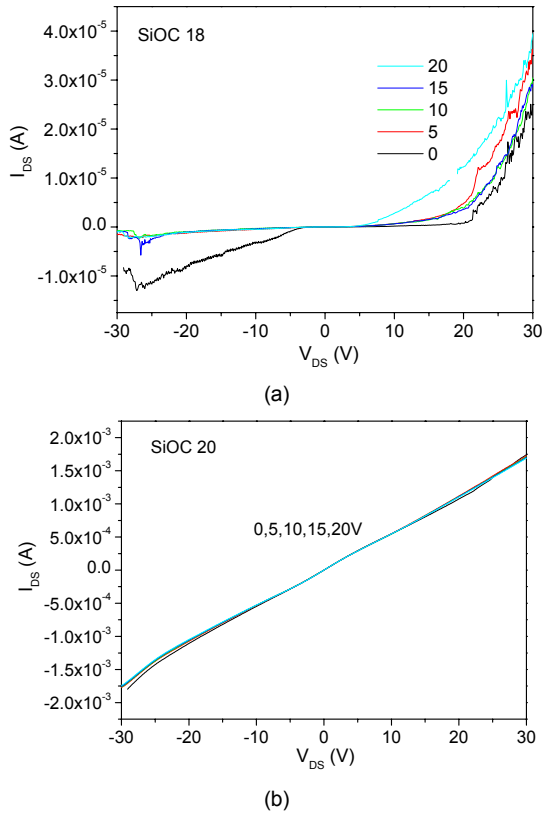


그림 1. IGZO/SiOC의 $I_{DS}-V_{DS}$ 입력특성 (a) 18 sccm (b) 20 sccm

Fig. 1 Characteristics of $I_{DS}-V_{DS}$ curve of IGZO/SiOC TFTs (a) 18 sccm (b) 20 sccm

산화물 반도체 트랜지스터의 전달 특성이 게이트 절연에 의존하는 특성을 관찰하기 위해서 분극의 특성이 다른 SiOC 게이트 절연막 위에 IGZO 채널층을 증착하여 박막 트랜지스터를 제작하였다. SiOC를 제작하기 위해서 플라즈마 게스는 산소 18 sccm과 20 sccm를 사용하였다. 산소의 유량에 따른 타겟과의 반응에서 이온화된 탄소의 함량이 다르기 때문에 SiOC 절연막의 분극이 다르게 나타난다. 채널층으로 n-형의 IGZO 산화물 반도체를 똑 같은 조건으로 증착하였다. 그림 1에서

보여주듯이 $I_{DS}-V_{DS}$ 입력특성은 다르게 나타났으며, 이러한 특성은 게이트 SiOC 절연막의 특성에 따른 것이라고 볼 수 있다. 특히 그림 1(b)에서 IGZO/SiOC (18 sccm) 소자의 특성은 음의 영역 특성에서 축퇴되고 양의 영역에서 전도가 잘 이루어지는 전형적인 쇼키접합 특성을 나타내지만 IGZO/SiOC (20 sccm) 소자의 양방향 음방향에서 전도가 잘 이루어지는 옴직접합 특성을 갖는다.

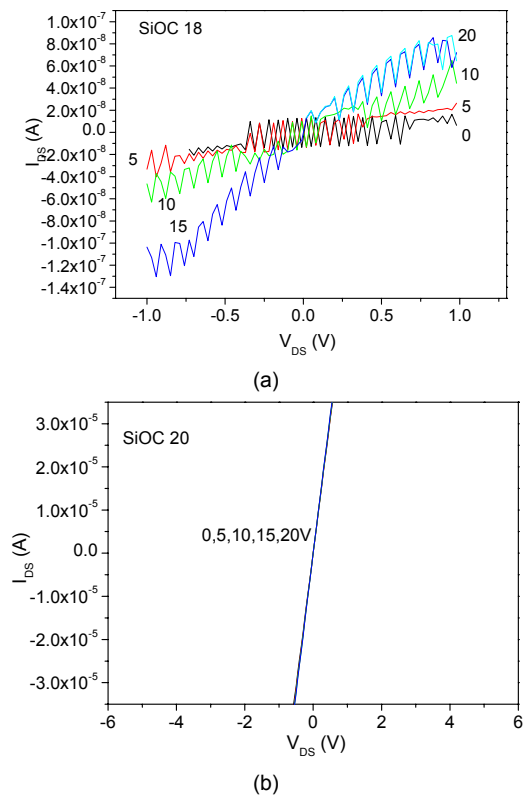


그림 2. IGZO/SiOC의 $I_{DS}-V_{DS}$ 에 대한 0V 근처에서의 입력특성 (a) 18 sccm (b) 20 sccm

Fig. 2 Characteristics about zero bias field of $I_{DS}-V_{DS}$ curve of IGZO/SiOC TFTs (a) 18 sccm (b) 20 sccm

게이트 전압을 0, 5, 10, 15, 20V을 인가할 경우 게이트 전압의 크기가 증할수록 전류의 양의 바이어스 방향에서 기울기가 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만 그림 1(a)의 IGZO/SiOC (20 sccm) 소자의 특성은 게이트 전압이 증가하여도 전류의 크기는 그다지 증가하지 않았으며, $I_{DS}-V_{DS}$ 의 기울기는 거의 일정하였다.

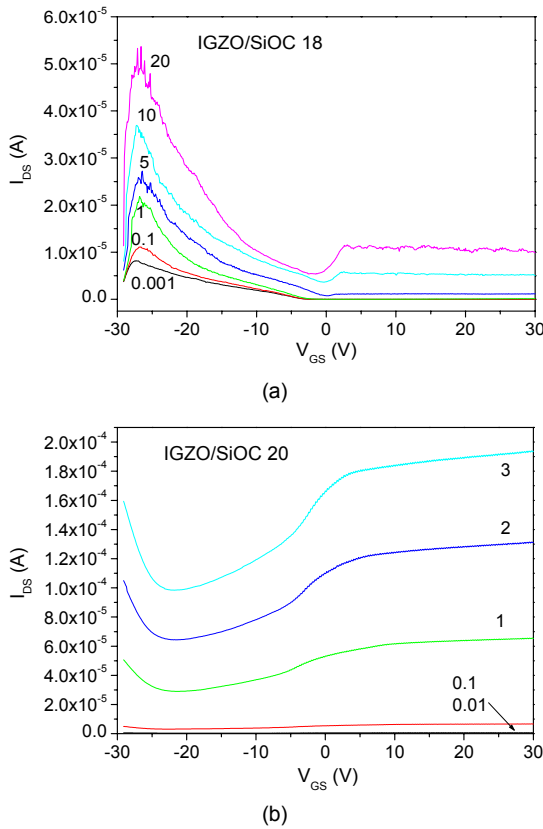


그림 3. IGZO/SiOC 의 $I_{DS}-V_{GS}$ 전달특성 (a) 18 sccm (b) 20 sccm
Fig. 3 Transfer characteristics of $I_{DS}-V_{GS}$ curve of IGZO/SiOC (18 sccm) TFTs (a) 18 sccm (b) 20 sccm

그림 2는 $V_{DS}=\pm 1V$ 의 영역에서의 전류특성을 나타내는 것으로 게이트 절연막과 채널 사이의 누설전류의 효과를 예측할 수 있다. 그림 2(a)는 게이트 전압이 0V 인 경우 쇼키접합을 이루지만 게이트 전압이 증가할수록 오믹접합을 이루는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 채널과 게이트 절연막 사이에서 일부 오믹현상이 나타나는 것을 확�히시켜준다. 하지만 게이트 전압이 증가할수록 오믹접합을 이루는 이유는 게이트 절연막내의 분극에 의하여 전계의 증가에 의한 나타나는 현상이나 다수캐리어에 영향을 줄수 있을 정도로 크지 않다는 것을 알 수 있다. 따라서 바이어스 전압 $V_{DS}=\pm 1V$ 의 영역의 좁은 영역에서 소수캐리어에 의한 효과라고 볼 수 있다. 그림 2(b)는 $V_{DS}=\pm 1V$ 의 영역의 좁은 영역에서도 마찬가지로 오믹접합을 나타내고 있으며, 이는 게이트 절연

막의 분극이 상당히 크다는 것을 알 수 있게 한다.

그림 3은 IGZO/SiOC 트랜지스터의 $I_{DS}-V_{GS}$ 전달특성을 보여준다. 드레인 전압이 증가할수록 $I_{DS}-V_{GS}$ 의 기울기는 증가하고 있으나 게이트 절연막의 특성에 따라서 $I_{DS}-V_{GS}$ 전달특성의 모양은 상당히 다른 것을 알 수 있다.

그림 3(a)의 IGZO/SiOC (18 sccm)의 $I_{DS}-V_{GS}$ 전달특성은 음의 바이어스 영역에서 전류전송이 일어나고 있으며, 상대적으로 음의 바이어스 영역에서 전류전달이 적게 일어나고 있는 양방향성 특성을 나타내고 있다. 상대적으로 그림 3(b)의 IGZO/SiOC (20 sccm)의 $I_{DS}-V_{GS}$ 전달특성은 양의 바이어스 영역에서만 전류전달이 일어나고 있는 현상을 관찰 할 수 있다. 그림 1(a)에서 확인되었듯이 게이트 절연막의 특성이 우수할수록 채널과 절연막사이의 쇼키접합이 형성으로 양방향성 트랜지스터의 특성을 얻을 수 있었다. 하지만 그림 1(b)과 2(b)에서 보여준 게이트 절연막의 분극이 커서 오믹접합을 이룰 경우 단방향성 트랜지스터가 형성된다는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 고이동도 전자이동에 의한 n형 반도체의 트랜지스터에서 볼 수 있는 일반적인 현상이며, 불순물 혹은 트랩 전하들에 의한 트래핑 전도메카니즘으로 이해되어지고 있다.

그림 4(a)는 IGZO/SiOC (18 sccm) 트랜지스터의 $I_{DS}-V_{GS}$ 전달특성으로부터 문턱전압이동에 대한 특성을 살펴보기 위하여 확대된 그림이다. 그림 2(a)에서 보여주었듯이 외부 인가 전계(드레인 전압)가 증가할수록 오믹접촉을 나타내는 것으로부터 작지만 게이트 절연막에 존재하는 일부 분극에 의하여 문턱전압이동이 일어나는 것을 알 수 있다. 문턱전압은 외부전계에 따라서 달라지는 것을 확인하였다.

그림 4(b)는 IGZO/SiOC (18 sccm) 트랜지스터의 $I_{DS}-V_{GS}$ 전달특성에 대하여 로그스케일로 나타내었다. 음의 바이어스 영역에서 on/off 전달특성이 우수하게 나타났다. 특히 드레인 전계가 감소할수록 $I_{DS}-V_{GS}$ 전달특성은 더욱 개선되는 것을 알 수 있다. 드레인 전계가 증가할수록 트랜지스터의 전달특성은 오히려 축퇴되는 것을 보여주지만, 양의 바이어스와 음의 바이어스에서 $I_{DS}-V_{GS}$ 전달특성을 나타내는 양방향성 특성이 관찰되는 것을 알 수 있다. IGZO/SiOC 산화물반도체의 트랜지스터 특성이 게이트 절연막의 특성에 따라서 양방향성 특성을 나타내는 것을 확인하였다.

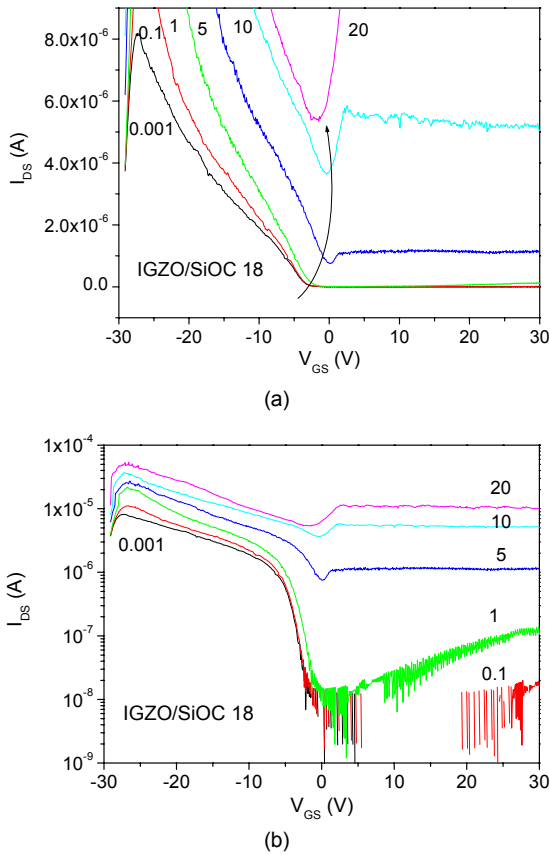


그림 4. SiOC=18 sccm인 기판 위에 만들어진 IGZO/SiOC 트랜지스터의 I_{DS} - V_{GS} 특성 (a) 문턱전압이동 (b) 로그스케일 로 변환된 전달특성

Fig. 4 Characteristics of I_{DS} - V_{GS} curve of IGZO/SiOC TFTs prepared on SiOC=18 sccm (a) threshold voltage shift from (b) Logarithm of I_{DS} - V_{GS} curve

IV. 결론

IGZO/SiOC 트랜지스터의 특성이 게이트 절연막의 분극에 따라서 양방향성 트랜지스터 전달 특성을 나타내는 것을 확인하기 위해서 게이트 절연막으로 SiOC 박막을 산소의 유량비를 다르게 하여 제작하였다. 산소의 유량비에 따라서 SiOC 절연막의 분극이 달라지고, 그에 따라 채널과 절연막 사이의 접합특성이 달라지는 것을 확인하였다. 분극이 낮은 박막에서 쇼키접합이 잘 이루어졌으며, 양방향성 I_{DS} - V_{GS} 전달특성을 얻을 수 있

었다. 양방향성 트랜지스터에서는 드레인 전계의 크기가 작을수록 on/off 전달특성이 우수하게 나타났다.

REFERENCES

- [1] S.W. Tsao, *et al.* "Hydrogen-induced improvements in electrical characteristics of a-IGZO thin-film transistors." *Solid-State Electronics*, 54, 2010, pp.1497 - 1499.
- [2] Chang, S. P. *et al.* "Efficient suppression of charge trapping in ZnO-based transparent thin film transistors with novel $Al_2O_3/HfO_2/Al_2O_3$ structure," *Appl. Phys. Lett.* 92, 2008, pp.192104.
- [3] T. Oh, K. S. Kim, K. M. Lee, C. K. Choi, "Generation of SiOC films by the Thermal Induction," *Jpn. J. Appl. Phys.* 44, 2005, pp.1409-1413.
- [4] S. Akasaka, K. Tamura, K. Nakahara, T. Tanabe, A. Kamisawa, and M. Kawasaki, "Transparent polymer Schottky contact for a high performance visible-blind ultraviolet photodiode based on ZnO," *Appl. Phys. Lett.* 93, 2008, pp.123309.
- [5] Nomura, K. *et al.* "Defect passivation and homogenization of amorphous oxide thin-film transistor by wet O_2 annealing," *Appl. Phys. Lett.* 93, 2008, pp.192107.
- [6] Toshio Kamiy, T., Nomura, K. Hosono, H. "Present status of amorphous In - Ga - Zn - O thin-film transistors," *Technol. Adv. Mater.* 11, 2010, pp.044305.
- [7] A. Suresh, J. F. Muth, "Bias stress stability of indium gallium zinc oxide channel based transparent thin film transistors," *Appl. Phys. Lett.* 92, 2008, pp.033502.
- [8] Q. Mao, Z. Ji and J. Xi, "Realization of forming-free ZnO-based resistive switching memory by controlling film thickness," *Appl. Phys.* 43(39), 2010, pp.395104.
- [9] Oleg Mitrofanov and Michael Mantra. "Poole-Frenkel electron emission from the traps in AlGaIn/GaN transistors," *J. Appl. Phys.* 95, 2004, pp.6414-6419.
- [10] J. Maserjian, N. Zamani, "Behavior of the Si/SiO₂ interface observed by Fowler Nordheim tunneling," *Appl. Phys. Lett.* 53, 1982, pp.559-567.
- [11] John G. Ssmmons, "Poole-Frenkel Effect and Schottky Effect in Metal-Insulator-Metal Systems," *Phys. Rev.* 155, 1967, pp.657-660.
- [12] J. Maserjian, "Tunneling in thin MOS structures," *J. Vac. Sci. Technol.* 11, 1974, pp.996-1003.
- [13] S. D. Ganichev, *et al.* "Distinction between the Poole-Frenkel and tunneling models of electric-field-stimulated

- carrier emission from deep levels in semiconductors,” *Phys. Rev B*, 61(15), 2000, pp.10361-10365.
- [14] T. Oh, C. H. Kim, “Study on Characteristic Properties of Annealed SiOC Film Prepared by Inductively Coupled Plasma Chemical Vapor Deposition,” *IEEE Trans. Plasma Science*, 38, 2010, pp.1598-1602.
- [15] T. Oh. *IEEE Trans. Nanotechnology*, 23, 2006, pp.5-10.



오데레사(Teresa Oh)

공학박사, 청주대학교 반도체공학과 교수

※관심분야 : 반도체, 투명디스플레이, 유기물반도체, 태양광집적회로