

반도체 접합계면이 가스이온화에 따라 극성이 달라지는 원인

오데레사
청주대학교 반도체공학과

Dependance of Ionic Polarity in Semiconductor Junction Interface

Teresa Oh

Division of Semiconductor Engineering, Cheongju University

요약 반도체소자의 접합특성에 따라서 분극의 특성이 달라지는 원인을 조사하였다. 반도체소자의 접합특성은 최종적인 반도체소자의 효율과 관련되기 때문에 중요한 요소이며, 효율을 높이기 위해서는 반도체접합 특성을 이해하는 것은 매우 중요하다. 다양한 성질의 접합을 얻기위하여 n형의 실리콘 위에 절연물질인 carbon doped silicon oxide (SiOC) 박막을 증착하였으며, 아르곤 (Ar) 유량에 따라서 반도체기판의 특성이 달라지는 것을 확인하였다. 진도체인 tin doped zinc oxide (ZTO) 박막을 절연체인 SiOC 위에 증착하여 소자의 전도성을 살펴보았다. SiOC 박막의 특성은 플라즈마에 의하여 이온화현상이 일어날 때 Ar 유량에 따라서 이온화되는 경향이 달라지면서 반도체 계면에서의 공핍현상이 달라졌으며, 공핍층 형성이 많이 일어나는 곳에서 쇼키접합 특성이 잘 형성되는 것을 확인하였다. 아르곤 가스의 유량이 많은 경우 이온화 반응이 많이 일어나고 따라서 접합면에서 전자 홀쌍의 재결합반응에 의하여 전하들이 없어지게 되면 절연특성이 좋아지고 공핍층의 전위장벽이 증가되며, 쇼키접합의 형성이 유리해졌다. 쇼키접합이 잘 이루어지는 SiOC 박막에서 ZTO를 증착하였을 때 SiOC와 ZTO 사이의 계면에서 전하들이 재결합되면서 전기적으로 안정된 ZTO 박막을 형성하고, ZTO의 전도성이 증가되었다. 두께가 얇은 반도체소자에서 흐르는 낮은 전류를 감지하기 위해서는 쇼키접합이 이루어져야 하며, 낮은 전류만으로도 전기신호의 품질이 우수해지고 또한 채널층인 ZTO 박막에서의 전류의 발생도 많아지는 것을 확인하였다.

Abstract This study researched the reasons for changing polarity in accordance with junction properties in an interface of semiconductors. The contact properties of semiconductors are related to the effect of the semiconductor's device. Therefore, it is an important factor for understanding the junction characteristics in the semiconductor to increase the efficiency of devices. For generation of various junction properties, carbon-doped silicon oxide (SiOC) was deposited with various argon (Ar) gas flow rates, and the characteristics of the SiOC was varied based on the polarity in accordance with the Ar gas flows. Tin-doped zinc oxide (ZTO) as the conductor was deposited on the SiOC as an insulator to research the conductivity. The properties of the SiOC were determined from the formation of a depletion layer by the ionization reaction with various Ar gas flow rates due to the plasma energy. Schottky contact was good in the condition of the depletion layer, with a high potential barrier between the silicon (Si) wafer and the SiOC. The rate of ionization reactions increased when increasing the Ar gas flow rate, and then the potential barrier of the depletion layer was also increased owing to deficient ions from electron-hole recombination at the junction. The dielectric properties of the depletion layer changed to the properties of an insulator, which is favorable for Schottky contact. When the ZTO was deposited on the SiOC with Schottky contact, the stability of the ZTO was improved by the ionic recombination at the interface between the SiOC and the ZTO. The conductivity of ZTO/SiOC was also increased on SiOC film with ideal Schottky contact, in spite of the decreasing charge carriers. It increases the demand on the Schottky contact to improve the thin semiconductor device, and this study confirmed a high-performance device owing to Schottky contact in a low current system. Finally, the amount of current increased in the device owing to ideal Schottky contact.

Keywords : Schottky contact, Capacitance, Junction, Depletion layer, ZTO

본 논문은 2018학년도 청주대학교 산학협력연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음.

*Corresponding Author : Teresa Oh(Cheongju Univ.)

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

Received March 28, 2018

Revised (1st April 11, 2018, 2nd April 26, 2018, 3rd May 8, 2018)

Accepted June 1, 2018

Published June 30, 2018

1. 서론

과거 반도체기술은 산화공정과 확산공정에 의한 캐리어의 도핑으로 pn 접합이 형성되는 실리콘을 기반으로 하였다. 하지만 산화공정과 확산공정은 빛을 통과시켜 주어야 하는 디스플레이공정에는 부적합하다. 따라서 투명기판 위에 필름형태의 박막을 적층시키는 반도체 공정기술이 필요하게 되었고 또한 반도체 기술도 점점 디바이스가 소형화되면서 벌크형의 실리콘에서 박막형태로 진화하였으며, 전도성 ITO 박막처럼 매우 얇은 박막은 투명한 특성을 갖기도 한다[1-2]. 반도체소자의 전기적인 특성은 pn 접합계면의 이온화특성에 따라 달라진다. pn접합은 불순물도핑에 의한 접합의 특성에 따라서 오믹접합과 쇼키접합으로 구분되며, 소자가 얇고 투명해질수록 쇼키접합특성이 중요해진다[3-5]. 반도체소자의 p형과 n형의 구분은 커패시턴스의 변화로 알 수 있으며, 커패시턴스가 n형 반도체인 경우 전자가 +방향으로 움직이므로 + 값을 갖고, p형 반도체인 경우 양전하가 -방향으로 움직이기 때문에 - 값을 갖는다. 하지만 소자의 크기가 작아지고 얇아지면서 불순물을 도핑하기가 어려워지면서 반도체소자를 구현하기가 까다로워진다. 오믹접합과 쇼키접합에서 특히 실리콘 기반의 반도체소자에서는 일반적으로 오믹접합을 나타낼 때 전도성이 높은 것으로 알려져 있다[6-10].

본 연구에서는 반도체 pn접합 계면에서의 이온화 특성에 따라서 극성이 달라지는 원인에 대하여 연구하였다. 이온화 반응에 의한 SiOC 박막의 차별화를 위해서 아른곤 가스의 유량을 다르게 사용하여 증착하였다. 채널층으로 ZTO를 증착하였으며, SiOC/ZTO 박막의 전기적인 특성의 변화를 살펴보고 SiOC 박막의 이온화에 따라서 ZTO 박막의 전도성이 얼마나 향상되는지에 대하여 살펴보았다.

2. 실험방법

SiOC 박막과 ZTO 박막을 증착하기 위해서 n-Si 기판을 이용하고, 사용된 타겟은 SiOC 타겟과 ZTO 타겟이며, rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하였다. 절연막으로 SiOC의 증착은 Ar 가스를 사용하였으며, 유량은 각각 16 sccm과 20 sccm을 사용하여 플라즈마 상태에서 이온화량이 달라지는 효과를 주었다. 플라즈마 이

온화의량이 달라짐에 따라서 전기적인 특성에 어떤 영향을 주는지 살펴보기 위해서 알루미늄을 이용하여 전극을 만들었다. 전하의 움직임을 관찰할 수 있는 커패시턴스를 측정하기 위해서 LCR미터 (HP 4284A)를 이용하였다. 최종적인 전압-전류특성을 살펴보기 위해서 피코암미터 (HP4140B)를 이용하여 측정된 전기적인 특성분석으로부터 반도체계면특성을 조사하였다.

3. 결과 및 토론

이온화 특성이 다른 SiOC를 증착하기 위해서 실리콘 기판 위에 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 플라즈마를 만들었다. 플라즈마발생을 위해 사용한 가스는 Ar이며, 유량을 다르게 하여 이온화의량이 달라지도록 가스의 유량을 변화시켰다. 유량에 따라서 플라즈마의 이온화밀도가 달라지므로 SiOC의 품질에 차이가 나는 것을 확인하기 위해서 증착된 박막의 전기적인 특성을 살펴보았다. Fig. 1은 Ar 유량에 따른 커패시턴스의 변화를 보여준다.

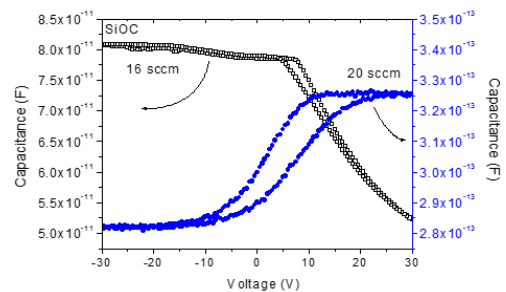


Fig. 1. Capacitance of SiOC with various Ar gas flow rates

Ar 유량이 20 sccm인 SiOC 박막은 n형반도체 특징을 갖는다. 하지만 Ar 유량이 16 sccm인 경우에서 Ar 유량이 20 sccm인 경우보다 커패시턴스의 값이 크며, p형반도체 특징으로 갖는다는 것을 알 수 있다. Ar가스의 유량이 많은 경우 산소의 이온화가 많이 발생하며, 실리콘 기판과의 계면에서 재결합에 의한 공핍층의 증가로 인하여 캐리어의 감소로 인하여 커패시턴스값은 낮아지고 재결합이 증가하여 커패시턴스의 파형은 0V를 중심으로 대칭적으로 나타났다. 하지만 Ar 유량이 16 sccm인 경우 이온화현상이 적고 재결합이 이루어지지 않은

산소공공의 캐리어들이 많이 발생하여서 커패시턴스 값이 증가하였다. 또한 산소양이온의 증가로 n형의 실리콘 기판이 p형의 반도체 특성으로 변형되어 나타난 것을 알 수 있다. 따라서 SiOC박막의 특성에 따라서 반도체의 분극특성이 달라지는 것을 알 수 있으며, 기판과 SiOC 박막의 계면특성에 따라서 반도체소자의 특성이 달라진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 ZTO를 증착 후 Ar 유량에 따라서 SiOC/ZTO 박막의 커패시턴스가 달라지는 현상에 대하여 관찰하였다. Fig. 2(a)는 Ar 유량이 20 sccm인 SiOC 박막 위에 ZTO를 증착한 뒤 I-V 특성을 보여준다. ZTO를 증착한 다음 SiOC/ZTO 박막의 전류 값이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 2(b)는 Ar 유량이 16 sccm인 SiOC 박막 위에 ZTO를 증착한 뒤 I-V 특성을 보여준다. ZTO를 증착한 다음 SiOC/ZTO 박막의 전류 값이 크게 감소하였다. SiOC의 전하들이 ZTO의 전하들과 재결합하면서 전하들의 양이 급격히 감소하였기 때문이며, 동시에 커패시턴스의 값이 감소하면서 SiOC (16 sccm) 증착 후와 마찬가지로 p형 반도체 특성을 나타내었다. 결과적으로 ZTO의 박막은 SiOC 박막특성에 의존한다는 것을 알 수 있다.

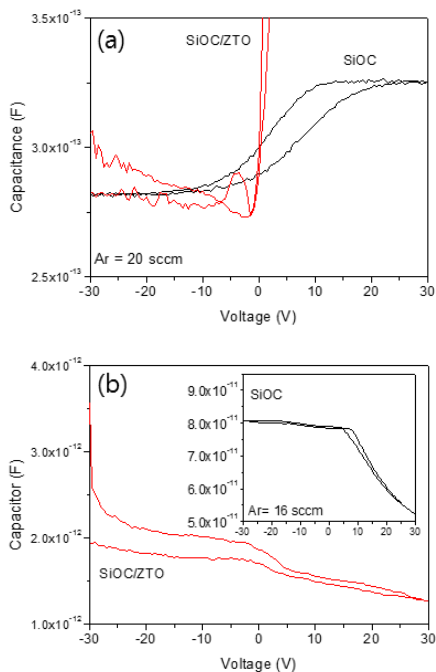


Fig. 2. Capacitance of SiOC and SiOC/ZTO for SiOC film with Ar gas flow of (a) 20 sccm, (b) 16 sccm

Fig. 3은 Ar 유량이 다른 SiOC 박막 위에 ZTO를 증착 후 커패시턴스의 변화를 보여준다. Ar 유량에 따라서 기판의 분극이 달라지고 있으며, 커패시턴스의 값도 크게 달라진다는 것을 알 수 있다.

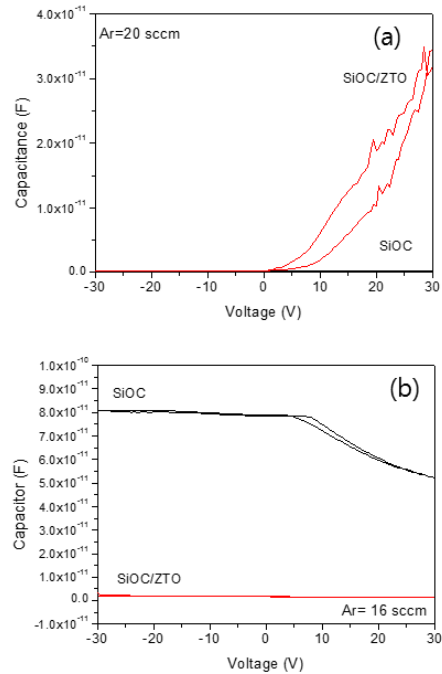


Fig. 3. Comparison between capacitances of SiOC and SiOC/ZTO for SiOC film with Ar gas flow of (a) 20 sccm, (b) 16 sccm

Fig. 4는 Ar 유량이 20 sccm인 SiOC을 이용하여 제작한 SiOC/ZTO 박막의 계면에서의 접합특성을 살펴보았다. Fig. 4(a)는 SiOC/ZTO 박막 위에서 전류가 급격히 증가하고 있다. Fig. 4(b)는 SiOC/ZTO 박막이 0V 근처에서 쇼키접합 특성을 갖는 것을 보여준다. Fig. 4(c)는 SiOC 박막이 0V 근처에서 0A의 전류값을 갖는 이상적인 쇼키접합 특성을 갖는 것을 보여준다.

Fig. 5는 Ar 유량이 16 sccm인 SiOC을 이용하여 제작한 SiOC/ZTO 박막의 계면에서의 접합특성을 살펴보았다. Fig. 5(a)는 SiOC/ZTO 박막 위에서 전류가 음의 방향으로 급격히 증가하고 있다. Fig. 5(b)는 SiOC/ZTO 박막이 0V 근처에서 쇼키접합 특성을 갖는 것을 보여주고 있다.

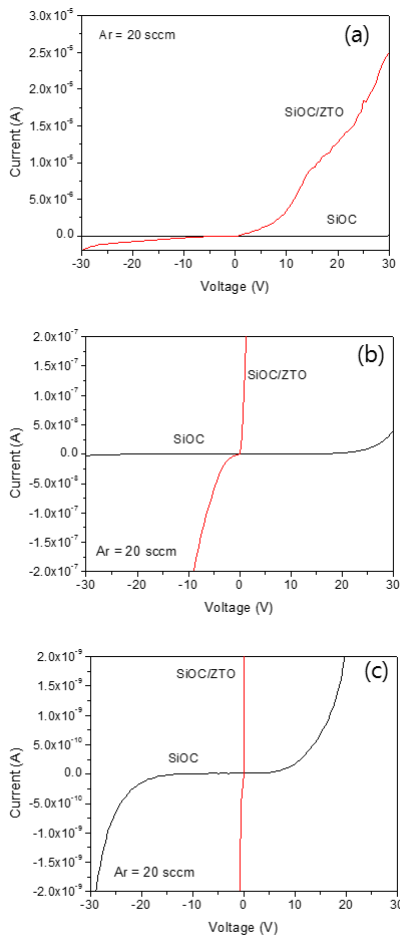


Fig. 4. I-V curves of SiOC with Ar=20 sccm, (a) SiOC/ZTO film with Schottky contact in the range of $\sim 10^{-6}$ A, (b) characteristics in the range of $\sim 10^{-8}$ A, (c) SiOC with Schottky contact in the range of $\sim 10^{-10}$ A

Fig. 4(c)는 SiOC 박막이 0V 근처에서 0A의 전류값을 갖는 쇼키접합 특성을 갖지는 않지만 2개의 접합특성이 나타나는 것을 보여준다. 2개의 접합에 의하여 전류가 비선형적인 특성을 갖게 되는 쇼키접합 특성을 보여준다. SiOC 박막이 캐리어를 많이 갖게 되면서 0V 근처에서 이상적인 쇼키접합특성이 나타나지 않았다. 캐리어가 많은 경우 접합특성이 양의 전압과 음의 전압 양쪽에서 각각 나타나면 결과적으로는 2곳에서 나타나게 된다는 것을 보여준다. 즉 비선형 I-V 특성곡선이 2곳에서 나타나는 것으로부터 접합이 2곳에서 일어나는 것을 알 수 있다.

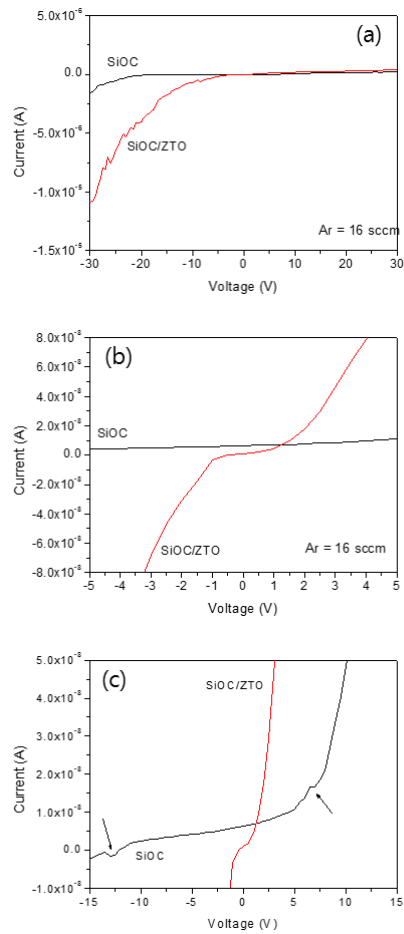


Fig. 5. I-V curves of SiOC with Ar=16 sccm, (a) SiOC/ZTO film with Schottky contact in the range of $\sim 10^{-6}$ A, (b) characteristics in the range of $\sim 10^{-8}$ A, (c) SiOC with Schottky contact in the range of $\sim 10^{-8}$ A

SiOC 박막내의 양의 캐리어들과 ZTO타겟의 음이온들과 만나서 재결합이 이루어지고 결과적으로 SiOC/ZTO 박막의 전하들은 감소하면서 쇼키접합이 형성된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 Ar의 유량에 따른 SiOC 박막의 전류에 의한 기판과 계면에서의 접합특성을 비교하였다. SiOC 박막은 쇼키접합특성이 나타나는 구간이 Ar의 유량에 따라서 다르며, Ar 유량이 증가할수록 SiOC 박막의 절연특성이 증가되면서 전류의 특성이 낮은 영역까지도 나타나며, 쇼키특성 또한 낮은 전류 값에서 동작하며, 전류를 감지한다 것을 확인하였다.

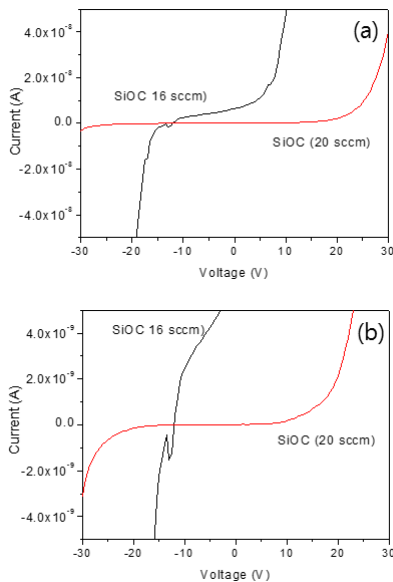


Fig. 6. Comparison between 16 sccm and 20 sccm of SiOCs with Schottky contact, (a) 16 sccm, (b) 20 sccm

SiOC (16 sccm)의 경우처럼 쇼키접합이 잘 이루어지지 않을 경우 SiOC 박막의 누설전류가 발생되므로 전류-전압 특성곡선에서 살펴보면 0V에서 0A가 되지 않는 것을 확인할 수 있다. 하지만 서로 다른 물질이 충돌하는 접합계면특성에 따라 전류곡선이 비선형적으로 급격히 변하는 변곡점이 양의 전압과 음의 전압, 2곳에서 나타나는 것을 확인하였다. 이러한 특성에 의해서 SiOC/ZTO 박막에서는 0V 근처에서 쇼키접합이 형성되었고, 그 이상의 영역에서는 쇼키접합효과에 의해서 전압이 증가함에 따라서 전류가 급격히 증가하였다. 결과적으로 소형화 반도체소자에서는 전류의 증가에 영향을 주는 것은 캐리어가 아니라 쇼키접합이라는 것을 이해할 수 있다.

4. 결론

쇼키접합은 포텐셜 전위가 0V인 경우 전류가 흐르지 않고, 전압이 증가할수록 전류가 잘 흐르게 되는 전기적인 특성이 유지되도록 하는 효과가 있다. 반도체소자의 전기적인 특성을 개선시키고 효율이 높아지게 되므로 반도체소자인 경우 반드시 쇼키접합이 요구된다. 반도체소

자의 쇼키접합특성에 대하여 알아보기 위해서 n-Si/SiOC 박막 위에 ZTO를 증착하였다. SiOC는 실리콘 기판 위에서 비선형적인 쇼키접합 특성을 나타냈으며, 쇼키접합 특성을 갖는 SiOC 박막 위에 증착되는 ZTO 박막 역시 누설전류를 차단하는 SiOC 박막의 쇼키접합 특성에 의해서 전류가 잘 흐르게 되는 것을 확인하였다. SiOC 증착할 때, Ar가스의 유량이 20 sccm으로 많은 경우 n형 반도체 특성이 나타났고, Ar 가스의 유량이 16 sccm으로 낮은 경우 p형반도체 특성이 나타났다. Ar가스의 유량이 20 sccm인 경우 산소들이 이온화되는 량이 많아서 기판과의 접합면에서 재결합되는 량이 많아서 결과적으로 캐리어들이 줄어들게 되므로 캐리어의 공핍 현상이 일어났다. 하지만 Ar가스의 유량이 16 sccm인 경우 이온화반응에 참여하는 반응가스들이 적어서 산소공공과 같이 캐리어상태로 남아있게 되어 캐피턴스는 증가하였으며, 양이온의 산소공공들이 많아지면서 p형 반도체 특성이 나타났다.

References

- [1] Young Joon Cho, Hyo Sik Chang, Ju Yeon Choi, "Comparison of Methods to Remove the Boron Rich Layer Formed at Boron Doping Process for c-Si Solar Cell Applications," *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, vol. 28, no. 10, pp. 665-669, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2015.28.10.665>
- [2] In Hwan Yeo, Hae Sung Cho, Ju Eok Park, Donggun Lim, Jun Hee Kim, "Optimizing of Diffusion Condition in Spin on Doping for c-Si Solar Cell," *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, vol. 26, no. 5, pp. 410-414, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2013.26.5.410>
- [3] Yuta Miura, Takashi Nishida, Masahiro Echizen, Yasuaki Ishikawa, Kiyoshi Uchiyama, and Yukiharu Uraoka, "Low-Operating-Voltage Solution-Processed InZnO Thin-Film Transistors Using High-k SrTa₂O₆Li₂ Lu₂O₃," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 51, pp. 03CB05, 2012. DOI: <https://doi.org/10.7567/JJAP.51.03CB05>
- [4] Teresa. Oh, "Tunneling Condition at High Schottky Barrier and Ambipolar Transfer Characteristics in Zinc Oxide Semiconductor Thin Film Transistor", *Materials Research Bulletin*, Vol 77, pp. 1-7, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2015.11.038>
- [5] Kyonghwan Oh and Oh-Kyong Kwon, "Threshold-Voltage-Shift Compensation and Suppression Method Using Hydrogenated Amorphous Silicon Thin-Film Transistors for Large Active Matrix Organic Light-Emitting Diode Displays", *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 51, pp. 03CD01, 2012. DOI: <https://doi.org/10.7567/JJAP.51.03CD01>

- [6] T. Oh and C. H. Kim “Study on Characteristic Properties of Annealed SiOC Film Prepared by Inductively Coupled Plasma Chemical Vapor Deposition”, *IEEE Trans. Plasma Science*, vol. 38, pp. 1598-1602, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TPS.2010.2049665>
- [7] John Robertson, Robert M. Wallace, “High-K materials and metal gates for CMOS applications”, *Materials Science and Engineering R*, vol. 88, pp. 1-41. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mser.2014.11.001>
- [8] Narendra Kumar, Satyendra Kumar, Jitendra Kumar and Siddhartha Pandaa, “Investigation of Mechanisms Involved in the Enhanced Label Free Detection of Prostate Cancer Biomarkers Using Field Effect Devices”, *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 164, no. 9, pp. B409-B416, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1149/2.0541709jes>
- [9] T. Oh and C. K. Choi “Comparison between SiOC thin film fabricated by using plasma enhance chemical vapor deposition and SiO₂ thin film by using fourier transform infrared spectroscopy”, *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 56, pp. 1150-1155, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.3938/jkps.56.1150>
- [10] Tae Eun Park, Dong Chan Kim, Bo Hyun Kong and Hyung Koun Cho, “Structural and optical properties of ZnO thin films grown by RF magnetron sputtering on Si substrates”, *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 45, pp. S697-S700, 2004.

오 데레사(Teresa Oh)

[중신회원]



- 2005년 9월 ~ 현재 : 청주대학교
이공대학 반도체공학과 교수
- 2005년 2월 ~ 9월 : 창원대학교
연구교수 신소재공학과

<관심분야>

트랜지스터, 반도체공정, 소자, 바이오센서, 태양전지, 유기물 반도체