

반도체 절연박막의 두께변화와 결정성에 대한 누설전류의 의존성

오데레사*

¹청주대학교 반도체공학과

Effects of the Bonding Structure and Thickness on the Leakage Current of Semiconductors as Insulators

Teresa Oh^{1*}

¹Department of Semiconductor Engineering, Cheongju University

요약 디스플레이를 위한 반도체 절연막으로 적합한 SiOC 박막의 특성을 살펴보기 위해서 스퍼터를 이용한 SiOC 박막을 증착하고 전기적인 특성을 조사하였다. SiOC 박막의 절연성은 열처리 온도에 따라서도 달라졌으며, 100도에서 열처리 한 박막의 두께는 증가하고 굴절률은 감소하였으며, XRD의 비정질 특성이 높아지고, 커패시턴스의 감소와 누설전류가 감소하는 특성이 관찰되었다. SiOC 박막의 누설전류 감소의 특성은 절연막으로서의 특성이 개선되고 있다는 것을 의미하며, 두께의 증가현상 또한 누설전류가 감소할 수 있는 조건을 잘 만들고 있었다. 분극의 감소에 의한 비정질의 특성은 SiOC박막을 구성하고 있는 원자 간의 배열이 불규칙적으로 변하고 원자 사이의 결합길이가 최대한 길어지면서 이루어졌기 때문이며, 따라서 두께가 증가하였다. 100도에서 열처리 한 박막에서 두께가 증가하였으며, 누설전류가 감소하였다. 스퍼터에 의한 SiOC 박막의 100도 온도에 의한 극적인 누설전류의 감소는 저온공정이 필수적인 디스플레이용 반도체소자에서 적합한 절연막임을 확인할 수 있었다.

Abstract SiOC films were prepared as insulators for displays by sputtering at low temperatures, and the relationship with the electrical properties was examined. The electrical properties of SiOC films were affected by the annealing process, and SiOC films annealed at 100 °C showed a significant increase in thickness and a decrease in the refractive index. XRD revealed an increase in the degree of the amorphous structure. Moreover, the capacitance and leakage current of the SiOC films annealed at 100 °C decreased. These characteristics of SiOC films highlight their potential as ideal insulators. Amorphous SiOC films by the reduction of polarization are dependent on the elongation effect of the bonding lengths in the structure and the thickness. The properties of these SiOC films are suitable for low temperature displays.

Key Words : SiOC thin film, thickness, XRD pattern, amorphous, refractive index, leakage current

1. 서론

반도체소자가 소형화되면서 산화물반도체의 특성에 대한 의존도는 높아지고 있다. 기존의 절연막으로 사용되어온 반도체 절연막으로 실리콘 다이 옥사이드 (SiO₂) 박막의 기능의 한계는 새로운 절연막으로 low-k SiOC 박막에 대한 더 많은 연구가 요구되고 있다. 산화물반도

체는 투명하고 유연한 디스플레이를 구현하기 위해서도 필요한 연구이기도 하다 [1-4]. SiOC 박막은 기공의 형성 혹은 분극의 감소에 의하여 유전상수가 낮아지는데, 기공의 형성은 박막의 경도가 낮아지고 기공에 의한 산란과 기공사이즈 제어의 어려움 등으로 많이 사용되지 않으며, 분극의 감소에 의한 효과로부터 얻어지는 SiOC 박막공정이 더 신뢰성을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있

본 논문은 (2014)학년도에 청주대학교가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음

*Corresponding Author : teresa Oh(Cheongju Univ.)

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

Received April 17, 2014

Revised September 4, 2014

Accepted December 11, 2014

다 [5-8].

CVD 방법에 의해서 만들어진 SiOC 박막은 유량의 비를 조절하여 분극의 감소를 유도하고 유전상수가 낮아지면서 누설전류가 줄어들고 절연막으로서의 전기적인 특성이 우수해진다[9-11]. SiOC 박막은 스퍼터에 의해서도 제작이 가능하며, 스퍼터의 타겟을 이용하면 안전하고 낮은 온도에서 공정이 가능하다는 장점이 있다.

본 연구에서 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 SiOC 박막을 증착하고 열처리를 수행하였다. 분극의 감소와 박막의 두께 등이 누설전류에 미치는 영향을 조사하였다. SiOC 박막의 형성과 누설전류의 상관관계로부터 저온공정 가능한 SiOC 박막의 공정파라미터를 찾아내고 박막의 형성과정에 대하여 조사하였다.

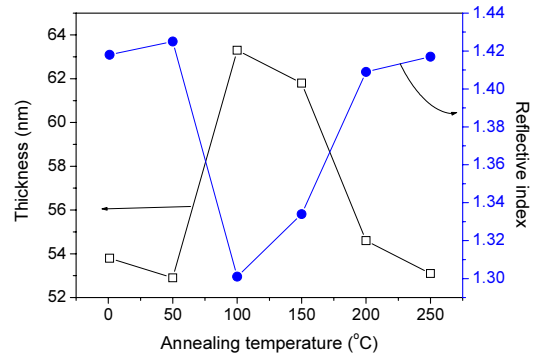
2. 실험방법과 시료제작

SiOC박막은 rf 마크네트론 스퍼터 방법에 의해서 증착하였다. 타겟소스로는 SiO₂와 탄소의 성분비 (Si:99 wt%, C:1wt%)를 2 inch 을 이용하여 O₂의 유량은 40 sccm,을 흘려주면서 20분 동안 상온에서 SiOC 박막을 증착하였다. 그리고 열처리를 하면서 온도를 50~250도까지 변화시키면서 열처리온도에 따른 변화를 관찰하였다. ~10⁻⁵ Torr 저진공을 뽑고, 공정압력은 1.2 *10⁻² Torr를 유지하였다. 증착시 RF파워는 13.56Mhz에서 300W이며, 기판을 회전하면서 박막이 균일하게 증착되도록 하였다. SiOC 박막을 증착하고 열처리가 이루어진 박막의 특성은 XRD와 반도체파라미터 분석기를 이용하여 전기적인 특성을 조사하였다. 박막의 두께와 굴절율은 엘립소미터를 이용하였으며, 박막의 두께, 굴절률, 결합상태와 전기적인 특성과의 상관성을 조사하였다.

3. 본론

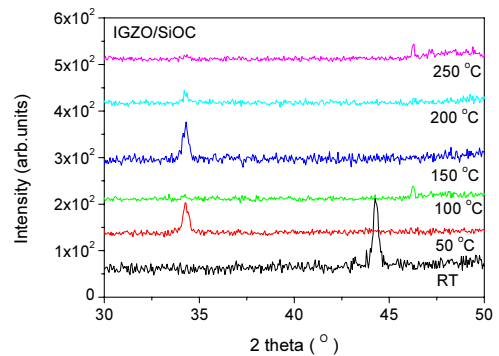
Fig. 1은 SiOC 박막을 증착하고 열처리를 수행한 뒤 박막의 두께와 굴절률을 측정한 결과이다. SiOC 박막은 열처리온도에 따라서 두께가 변화하였으며, 굴절률도 따라서 변화였다. SiOC 박막의 형성은 서로 다른 분극을 갖는 알킬기와 수산기의 조합에 의해서 증착과정에서 분극이 낮은 박막으로 형성되는데 OH 기의 형성 또한 자연

스럽게 생겨나지만 열처리하는 과정에서 사라지게 되므로 열처리 후 분극은 더욱 감소하게 된다. 열처리 후 분극의 감소는 열처리 온도에도 의존하는 것을 확인할 수 있다. 100도의 온도에서 두께가 두꺼워지고 굴절률은 감소하였으며, 50도와 150도 사이에서 급격한 변화가 일어나는 것을 확인할 수 있다.



[Fig. 1] Thickness and reflective index of SiOC thin films with various annealing temperatures.

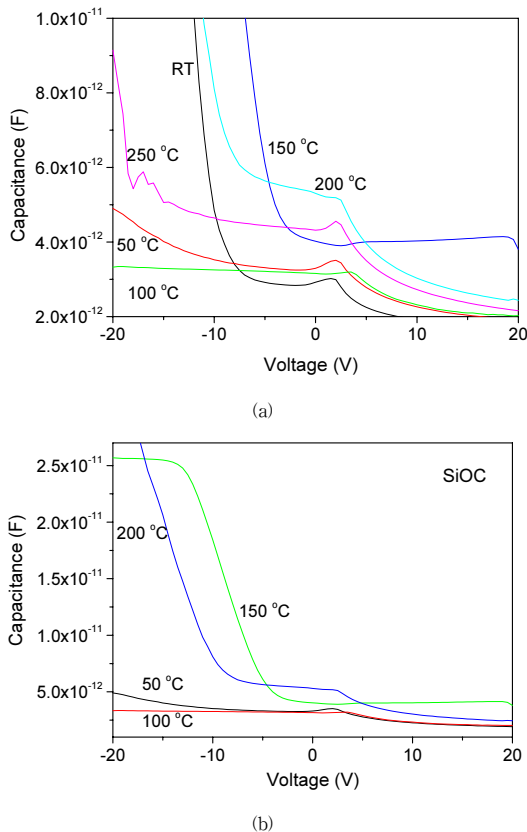
이러한 원인은 서로 다른 극성의 결합에 의하여 분극이 감소되는 현상으로 분극이 증가하는 원인이 각각의 극성요소에 의한 것임을 입증한다. 두께가 두꺼워지는 원인은 박막을 구성하는 원자의 개수는 일정한데 원자들 사이의 결합길이가 최대한 길어지기 때문에 결과적으로 박막의 두께는 두꺼워지고 굴절률은 감소하게 된다. 이러한 특성은 SiOC 박막이 비정질 결합구조로 변하고 있다는 것을 입증한다.



[Fig. 2] X-ray diffraction patterns of SiOC with annealing temperatures.

Fig. 2는 SiOC 박막의 열처리 후 박막을 구성하는 분자들의 결합 상태를 살펴보기 위해서 XRD 분석기를 이용하여 XRD 패턴을 살펴보았다. 34도와 43도 근처에서 열처리된 XRD 피크 나타나고 있으며, 이러한 피크가 관찰되는 SiOC 박막은 상대적으로 결정성이 증가하고 있다는 의미를 갖는다. 따라서 100도 열처리 공정 후 SiOC 박막에서 비정질특성이 강하게 나타나고 있다는 것을 확인할 수 있다. 250도에서도 XRD 패턴은 100도의 XRD 패턴과 유사한 것을 알 수 있다.

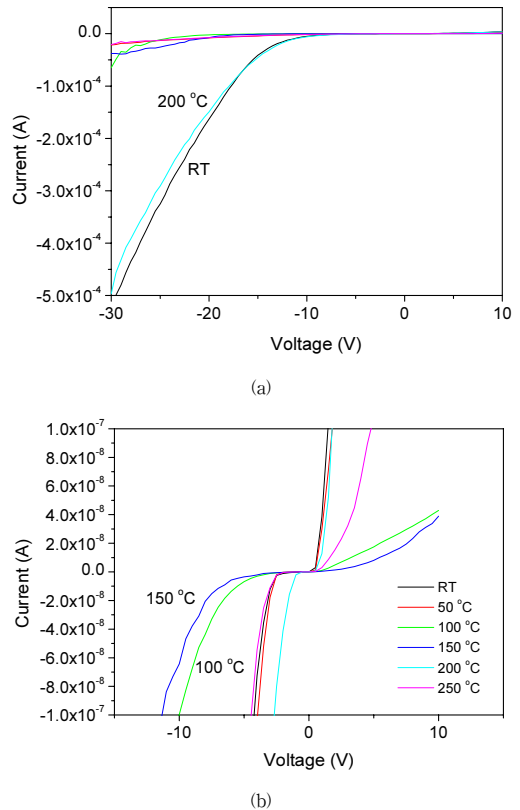
Fig. 3은 SiOC 박막의 열처리 후 박막의 커패시턴스를 측정하였다. 열처리 온도에 따라서 SiOC의 커패시턴스 값은 달라지고 있으며, 100도 열처리 한 박막에서 커패시턴스 값이 가장 낮은 것을 알 수 있다. 분극이 가장 낮은 박막에서 커패시턴스 값이 가장 낮으며, 커패시턴스의 값은 유전상수가 낮은 것을 의미하기도 한다. 분극이 낮은 박막이 전기적으로 절연특성이 낮은 것을 의미하기도 한다.



[Fig. 3] Capacitance of SiOC with annealing temperatures.

Fig. 3b에서 XRD 패턴이 유사한 100도 열처리한 박막과 200도 열처리한 박막이 커패시턴스가 감소하는 것을 알 수 있다. 150도와 200도에서 커패시턴스는 점차적으로 증가하였으나 200도에서 다시 감소하였다.

Fig. 4는 SiOC 박막의 누설전류를 측정하였다. 증착한 SiOC 박막은 누설전류가 증가하였으나 열처리를 진행하면서 누설전류가 감소하였다. Fig. 4a는 상온에서 증착된 박막과 200도 열처리한 박막에서 누설전류가 특히 크다는 것을 보여준다. Fig. 4b는 누설전류의 특성을 살펴보기 위해서 좁은 영역에서 상대적인 전류 값을 비교하였다. 100도와 150도 열처리한 박막에서 누설전류의 특성이 감소하는 것을 알 수 있다.



[Fig. 4] Leakage currents in the long range of SiOC with annealing temperatures.

SiOC 박막의 특성에 의해서 분극이 낮아지는 박막에서 누설전류도 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 반도체 박막의 두께 역시 누설전류에 영향을 주었으며, 박막의 두께가 두꺼울수록 누설전류는 감소하였다. 두께가 감소

함에 따라서 굴절률은 감소하였다.

4. 결론

반도체소자에서 가장 많이 사용되는 절연막으로써 전기적인 특성을 개선하기 위한 방안으로 SiOC 박막을 증착하고 열처리하였다. 증착하는 과정에서 형성되는 OH기를 제거하여 절연특성을 개선하였으며, 100도 온도에서 열처리를 한 샘플에서 누설전류가 가장 작게 나타났다. SiOC 박막은 분극의 감소에 의해서 전기적인 특성이 개선되었으며, 분극의 감소는 열처리가 이루어지는 온도에 따라서도 확인되었으며, XRD 패턴에 의하면 비정질 성이 높아지는 것으로 나타났다. 원자사이의 결합력이 약해지면서 비정질성은 높아졌으며, 박막의 두께는 커지고 굴절률은 따라서 감소하였다. 굴절률의 감소와 커패시턴스의 감소는 유전상수의 감소를 의미하며, 유전상수가 감소하는 박막에서 박막의 두께는 증가하는 것을 알 수 있었다.

References

[1] S. Fernandez, A. Martinez-Steele, J.J. Gandia, F.B. Naranjo, "Radio frequency sputter deposition of high quality conductive and transparent ZnO:Al films on polymer substrates for thin film solar cells application," *Thin Solid Films*, 517, 3152-3156, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2008.11.097>

[2] Min Su Kim, Kwang Gug Yim, Gae Young Leem, Soaram Kim, Giwoong Nam, Dong Yul Lee, Jin Soo Kim and Jong Su Kim, "Thickness dependence of properties of ZnO thin films on porous silicon grown by plasma assisted molecular beam epitaxy," *Journal of the Korean Physical Society*, 59, 2354-2361, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3938/jkps.59.2354>

[3] Kyoungchul Shin, K. Prabakar, Wean-Pil Tai, Jae Hee Oh, Chongmu Lee, Dong Wha Park and Wha Swung Ahn, "The structural and photoluminescence properties of Al:ZnO/porous silicon," *Journal of the Korean Physical Society*, 45, 1288-1291, 2004.

[4] 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*, 45, S697-S700, 2004.

[5] T. Oh, "Organic thin film transistors using pentacene and SiOC film," *IEEE transactions on Nanotechnology*, Vol. 5, 23-28, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TNANO.2005.858591>

[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*, 38, 1598-1602, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TPS.2010.2049665>

[7] T. Oh and H. B. Kim, "Pentacene thin film transistors on PMMA treated SiO₂", *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, 7(7), 639-642, 2006.

[8] Teresa Oh, "Comparison between organic thin films deposited by using CCP-CVD and ICP-CVD," *J. Korean Phys. Soc.* 55, 1950-1954, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3938/jkps.55.1950>

[9] P. Masri, "Silicon carbide and silicon carbide-based structures: The physics of epitaxy", *Surface science reports*, 48, 1-20, 2002.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-5729\(02\)00099-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-5729(02)00099-7)

[10] Jeong, J. K. *et al.* Impact of device configuration on the temperature instability of Al-Zn-Sn-O thin film transistors. *Appl. Phys. Lett.* 95, 123505 (2009).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3236694>

[11] E. Chong, Y. W. Jeon, Y. S. Chun, D. H. Kim and S. Y. Lee, Localization effect of a current-path in amorphous In-Ga-Zn-O thin film transistors with a highly doped buried-layer. *Thin Solid Films*, 519, 4347-4350 (2011).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2011.02.033>

오데레사(Teresa Oh)

[정회원]



- 2000년 2월 : 제주대학교 (박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 반도체공학과 교수

<관심분야>

투명산화물반도체, 트랜지스터, 반도체 재료, 반도체소자