
SiOC 박막에서 박막의 두께와 유전율의 변화

오테레사*

Correlation between the Thickness and Variation of Dielectric Constant on SiOC thin film

Teresa Oh*

요 약

SiOC 박막은 화학적 증착 방법에 의해 여러 가지 유량비를 다르게 하여 증착되었다. SiOC 박막에서 유전상수의 감소원인에 대하여 조사하고 샘플들은 박막의 두께와 유전상수 사이의 상관성에 대하여 분석하였다. 증착한 샘플에서 박막의 두께는 굴절률에 비례하는 경향성이 있으며, 유전상수가 가장 낮은 샘플에서 두께는 감소되었다. 굴절률은 열처리 후 감소하였는데, 열처리하면서 박막의 두께가 감소되었기 때문이다.

ABSTRACT

The SiOC films were deposited with the variation of flow rate ratios by chemical vapor deposition. It was researched the reason of decreasing the dielectric constant in SiOC film and the relationship between the dielectric constant and the thickness. The thickness of the deposited films tends to in proportion to the refractive index and the sample with the lowest dielectric constant decreased the thickness. The refractive index was decreased after annealing because of the decreasing of the film's thickness by annealing process.

키워드

SiOC 박막, 분극성, 두께, 굴절률, 유전상수

Key word

SiOC thin film, polarization, thickness, refractive index, dielectric constant

* 청주대학교 반도체설계공학과 조교수

접수일자 : 2009. 06. 01

심사완료일자 : 2009. 08. 02

I. 서 론

차세대 반도체 산업에서는 VLSI (very large scale integrated circuits)에서 요구되는 성능을 만족하기 위해서 미세공정을 위한 기술과제로 2가지 전 공정과 후 공정기술에 있어서 새로운 기술을 요구하고 있다. 전 공정에서는 소형의 고 신뢰성의 트랜지스터를 설계할 수 있는 기술을, 후 공정에서는 다층배선이 가능하기 위한 낮은 정전용량의 ILD (inter layer dielectric)물질개발이 요구된다.

전후 공정에 두루 사용될 수 있는 Low-k 박막재료와 Cu 배선 모듈의 개발은 전력손실의 감소 및 낮은 전기저항을 갖는 신물질 개발로 RC지연 같은 문제의 해소 등 미래의 소형화 기술의 한계성을 극복할 수 있는 기술로 제시되고 있다[1]-[6]. Low-k 물질은 기존의 산화막 (SiO₂, $\epsilon_r = 3.9$)에 소량의 탄소를 주입하여 유전상수가 낮아지도록 하거나 다량의 탄소를 주입하여 기공을 형성하게 하여 유전상수가 낮은 나노기공의 형성에 의한 유전상수의 감소를 유도하는 기술로 대표될 수 있다. 기공의 형성은 후 공정에 있어서 평탄화 공정을 필요로 하거나 박막 표면에서의 기공의 노출로 인한 문제점이 발생할 수 있다[7]-[8]. 반면에 CVD 방법에 의한 SiOC 박막은 미소량의 탄소가 핵반응의 중심점이 되어 분극성을 감소하면서 비정질도를 높이고 동시에 유전상수를 떨어뜨리는 기능을 갖게 하는 것으로 기공의 형성에 의한 후 공정의 문제점 등에 대한 문제를 고려하지 않아도 되는 장점이 있다[9]-[11]. SiOC 박막에서 유전상수가 낮아지는 근본적인 문제에 대한 원인은 아직까지도 많은 연구결과들이 보고되고 있으며, 특히 CVD 공정 및 프리커서에 대한 다양한 연구들이 진행 중에 있다[12]. 또한 SiOC 박막을 증착하는 공정기술과 프리커서에 의하여 유전상수가 낮아지는 원인에 대한 연구와 반도체 소자에 적용하려는 시도가 계속되고 있다[13]-[14].

본 연구에서는 화학적 기상 증착법에 의해 얻은 SiOC 박막의 유전상수가 낮아지는 원인을 조사하기 위해서 증착하는 과정에서 유량에 따른 박막두께의 변화와 유전상수의 상관성에 대하여 알아보았다. 그리고 열처리 후의 박막두께와 유전상수의 변화에 대하여도 살펴보았다. 유전상수가 낮아지기 위하여 기공이 형성된 박막

의 문제점을 보완한 분극의 감소에 의한 유전상수의 상관성에 대하여 연구하였다.

II. 실험

SiOC 박막은 p-type(100)Si 기판 위에 플라즈마를 이용한 화학적 기상증착 방법에 의해서 증착되었다. 증착시 RF파워는 13.56Mhz에서 450W이고 bistrimethylsilylmethane (BTMSM)과 산소의 혼합 개스에 의한 플라즈마를 유도하고 이온화된 원자들의 재결합이 이루어지면서 박막이 증착된다. 산소의 유량은 60 sccm으로 고정하였으며, BTMSM의 유량은 23 sccm~30 sccm까지 변화시키면서 증착하였다. 샘플의 번호는 BTMSM의 유량에 따라 B23~B30으로 나타내었다. 개스 라인은 증착이 이루어지는 동안 35도를 유지하면서, 10초 동안 증착하였다. 증착된 박막은 500 °C 온도에서 30분간 진공 중에서 열처리를 하였다. SiOC 박막의 특성을 확인하기 위해서 두께 측정과 굴절률은 엘립소미터를 이용하였으며, 유전상수의 측정은 MIS (metal/SiOC film/Si wafer)구조를 이용하여 Semiconductor parameter analyzer (HP4284A, 1Mhz)를 이용하였다.

III. 본 론

저 유전상수 SiOC 박막의 유전상수가 낮아지는 원인을 찾기 위해서 박막의 두께를 조사하였다. 그림 1은 유량비에 따른 SiOC 박막의 유전상수와 박막의 두께를 보여주고 있다. 유전상수가 박막의 두께 변화에 대하여 비례하는 경향성이 나타나 보인다. 그림 1는 박막의 두께와 굴절률을 보여주고 있다.

두께와 굴절률 사이의 관계가 비례하는 경향성이 나타난다. 증착한 박막에 대하여 유전상수는 두께의 감소와 굴절률의 감소에 의하여 유전상수도 낮아지는 것을 보여준다. 다음은 열처리 효과에 대하여 알아보기 위하여 500 °C 온도에서 열처리를 하고나서 유전상수를 측정하여 두께와 굴절률의 변화를 살펴보았다.



그림 1. 증착한 샘플의 여러 가지 유량비에 따른 유전상수와 박막의 두께.

Fig. 1. Dielectric constant and thickness of the deposited films with various flow rate ratios.



그림 3. 여러 가지 유량비에 따른 박막의 두께.
Fig. 3. Thickness of samples with various flow rate ratios.

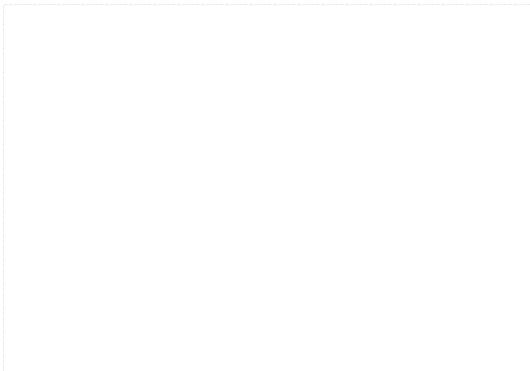


그림 2. 증착한 샘플의 여러 가지 유량비에 따른 굴절률과 박막의 두께.

Fig. 2. Refractive index and thickness of the deposited films with various flow rate ratios.

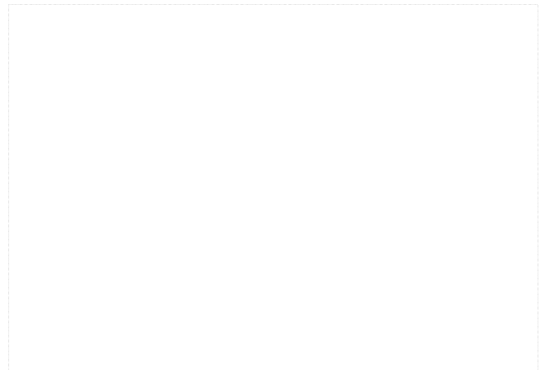


그림 4. 여러 가지 유량비에 따른 박막의 굴절률.
Fig. 4. Refractive index of samples with various flow rate ratios.

그림 3, 4, 5는 증착한 박막과 열처리 후 박막의 두께와 굴절률의 변화를 보여주고 있다. 그림 3에서 박막의 두께가 열처리 후 커지는 효과는 증착한 샘플과 열처리한 박막의 샘플이 동일한 샘플이 아닌 것에서 나타나는 오차라고 볼 수 있다. 그림 4에서 굴절률이 열처리 후 급속히 작아지는 것을 확인할 수 있다. 굴절률의 감소와 박막의 두께의 증가는 서로 밀접한 관계가 있으며, 이러한 상화 연관성은 그림 5에서 나타내고 있는 박막의 유전상수에 대하여 유전상수가 유량비가 0.35인 열처리한 샘플에서 급격히 감소하는 원인을 찾아볼 수 있다.

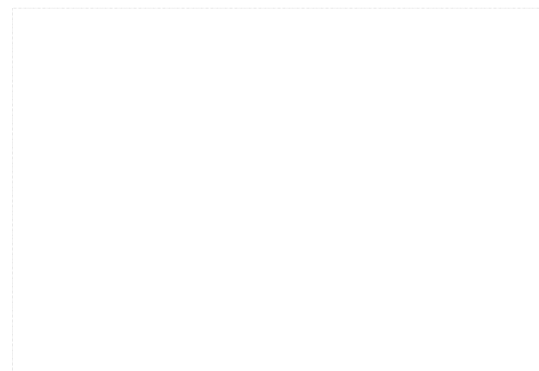


그림 5. 여러 가지 유량비에 따른 박막의 유전상수.
Fig. 5. Dielectric constant samples with various flow rate ratios.

그림 5는 SiOC 박막의 유전상수가 열처리 후 대체적으로 낮아지고 있는 것을 보여준다. 열처리 한 박막 중에서 유전상수가 1.6 정도로 낮게 나타나 샘플은 유량비가 0.35인 샘플인데 유전상수가 급격한 변화를 보여주는 샘플의 양쪽 근처에서는 그림 3와 4에서도 박막의 두께와 굴절률에 있어서도 매우 심한 변화가 일어나고 있는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 이러한 곳에서는 화학적인 변화가 FTIR 스펙트럼 분석기에 의해서 확인이 된다 [9-11].

SiOC 박막의 형성은 증착시에 유량비에 따라서 즉 서로 다른 화학적 특성을 갖는 알킬기와 하이드록실기가 조합되는 양에 따라서 분극성의 박막이 만들어진다. 알킬기가 많아도 분극성이 커지고 하이드록실기가 많아도 분극성이 커진다. 분극성이 커지면 유전상수는 증가하게 된다. 그러므로 분극성이 없도록 유량비를 적절히 조절하게 되면 무분극성의 박막이 만들어진다. 무분극성은 이상적인 비정질 구조로 유전상수가 낮은 박막을 쉽게 만들 수 있게 된다. 그림 5에서 유전상수가 낮은 샘플이 변화가 심하게 일어나는 곳에서 얻게 되는 어는 한 쪽은 알킬기에 의해서 분극이 커지는 것이고 다른 한 쪽은 하이드록실기에 의해서 분극이 커지고 있다는 것을 의미한다. 결과적으로 분극성이 가장 적은 유량비가 0.35인 샘플에서 유전상수가 낮게 나타났으며, 이러한 화학적 변화는 박막의 두께에도 영향을 주면서 유전상수가 낮은 샘플은 박막의 두께도 감소한다는 것을 입증하고 있다.

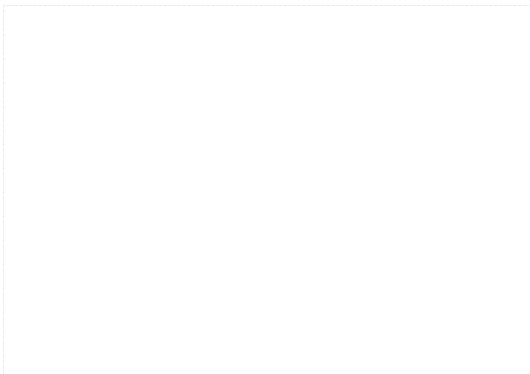


그림 6. 열처리 후 여러 가지 유량비에 따른 박막의 굴절률과 두께.
Fig. 6. Refractive index and thickness of annealed samples with various flow rate ratios.

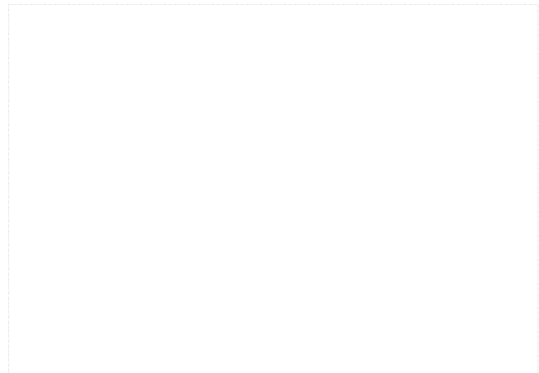


그림 7. 열처리 후 여러 가지 유량비에 따른 박막의 두께와 유전상수.
Fig. 7. Dielectric constant and thickness of annealed samples with various flow rate ratios.

그림 6은 열처리 후 박막의 특성에 대하여 보여주고 있다. 열처리 후 SiOC 박막의 두께와 굴절률은 서로 비례하는 경향이 보인다. 유량비가 0.35 근처에서 두께와 굴절률의 변화가 심하게 일어나고 있는 경향이 보인다. 그림 7에서 열처리 후 유전상수와 두께와의 상관성은 서로 반비례하는 것처럼 보인다. 박막의 두께와 굴절률의 특성은 이온결합을 하고 있는 박막의 특성을 반영한다고 볼 수 있다. 그 보다 미세한 전자에 의한 영향에 대하여는 반영될 수 없다. 유전체의 분극의 특성이 쌍극자에 의한 효과, 이온에 의한 효과 그리고 전자에 의한 효과 3가지로 구성되어 있는데 박막의 경우 쌍극자에 의한 효과는 무시되며, 이온에 의한 효과가 대부분을 차지한다고 볼 수 있다. 그리고 마지막으로 전자에 의한 효과를 확인하기 위해서는 또 다른 전문적인 분석을 통하여 이루어질 수 있다. 유량비가 0.34~0.36 근처에서 일어나는 미세한 변화는 무시할 수 없는 중요한 변화이며, SiOC 박막이 유전상수가 낮아지는 원인을 확인할 수 있는 중요한 영역이라고 할 수 있다. 전자효과에 의한 SiOC 박막의 변화의 원인을 입증하는 중요한 자료가 될 수 있다.

결론적으로 SiOC 박막은 낮은 샘플은 박막의 두께가 급격히 감소하는 특징이 있으며, 굴절률도 감소하였다. 대체적으로 굴절률은 박막의 두께의 변화에 비례하였으며, 유전상수가 급격히 낮아지는 지점에서 변화가 심하게 일어났다.

IV. 결론

화학적 기상증착 방법에 의한 SiOC 박막은 유량비에 따라서 박막의 두께와 굴절률이 변하는 것을 확인하였다. 박막의 두께는 굴절률의 변화와 비례하는 것으로 나타났다으며, 유전상수가 낮아지는 곳에서 두께의 변화와 굴절률의 변화가 심하게 변하는 것을 확인하였다. 이러한 변화는 이온에 의한 결합으로 주로 이루어진 SiOC 박막내의 전자의 효과가 미세하게 작용하는 것으로 판단되며, 이러한 전자의 효과에 의하여 전자 공핍효과는 유전상수를 더욱 감소시키며, 박막의 두께도 역시 상대적으로 감소되는 효과가 무분극의 박막특성을 갖도록 환경을 유도할 수 있다. SiOC 박막의 유전상수는 1.6 정도로 열처리한 박막에서 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] M. A. Tamor, C. H. Wu, 1990, "Graphitic network models of diamondlike carbon," J. Appl. Phys. Vol.67(2), pp.1007-1012, 1990.
- [2] GeonJoon Lee, YoungPak Lee, SungSoo Kim, Hyeonsik Cheong, Chong Seung Yoon, Yong-Duck Son and Jin Jang "Effect of Post Thermal Annealing on Femtosecond Laser Crystallization of 500-nm-thick Amorphous Silicon Films," J. Korean Phys. Soc. Vol 55, pp.50-54, 2009.
- [3] R. Navamathavan, ChangYoung Kim, HeangSeuk Lee, Jong-Kwan Woo, Younghun Yu, ChiKyu Choi and HeonJu Lee "Investigation of Electrical Conduction in Low-dielectric-constant SiOC(-H) Thin Films Deposited by Using PECVD," J. Korean Phys. Soc. Vol.55, pp.227-231, 2009.
- [4] Jung, Hak-Kee, "Subthreshold Current Model of FinFET Using Three Dimensional Poisson's Equation," International Journal of Maritime Information and Communication Sciences, Vol.7(1), pp.57-61, 2009.
- [5] Doosik Kim, and Demetre J. Economou, "Energy and angular distributions of ions and neutrals extracted from a slot in contact with a high-density plasma," IEEE TRANSACTION ON PLASMA SCIENCE, Vol.30, pp.126-127, 2002.
- [6] Lee, Kyu-Chung; Hur and Chang-Wu "Pd-doped -based oxide semiconductor thick-film gas sensors prepared by three different catalyst-addition processes," International Journal of Maritime Information and Communication Sciences, Vol.7(a), pp.72-77, 2009.
- [7] A. Grill and D. A. Neumayer, "Structure of low dielectric constant to extreme low dielectric constant SiOCH films: Fourier transform infrared spectroscopy characterization," J. Appl. Phys. Vol.94, pp.6697-6707, 2003.
- [8] G. Galli and R. M. Martin, "Structural and electronic properties of amorphous carbon," Phys. Rev. Lett. Vol.62, No.5, pp.555-558, 1999.
- [9] 오데레사 "탄소밀도의 변화가 SiOC 박막의 결합 구조에 미치는 영향," 대한전자공학회, Vol. 43, pp.322-327, May. 2006.
- [10] Teresa Oh, Kwang-Man Lee, Sung-Teak Ko, Kyung Sik Kim, Khi-Jung Ahn and Chi Kyu Choi, "Bonding Structure of the Cross-link in Organosilicate Films Using O₂/BTMSM Precursors," Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42, pp.1517-1520, 2003.
- [11] T. Oh, "Organic Thin Film Transistors Using Pentacene and SiOC film," IEEE transactions on Nanotechnology, Vol. 5, pp.23-29, 2006.
- [12] J. K. Choi, D. H. Kim, J. Lee and J. B. Yoo, "Effects of process parameters on the growth of thick SiO₂ using plasmaenhanced chemical vapor deposition with hexamethyldisilazane," Surface and Coatings Technology, Vol.131, pp.136-140, 2000.
- [13] Saravanapriyan Sriraman, Eray S. Aydil, and Dimitrios Maroudas, "Visualizing the evolution of surface bond straining during radical-surface interactions in plasma deposition processes," IEEE TRANSACTION ON PLASMA SCIENCE, Vol.30, pp.112-113, 2002.

- [14] Jin Yong Kim, Moo Sung Hwang, Yoon-Hae Kim, Hyeong Joon Kim and Young Lee, "Origin of low dielectric constant of carbon-incorporated silicon oxide film deposited by plasma enhanced chemical vapor deposition," J. Appl. Phys. Vol.90, pp.2469-2473, 2001.

저자소개



오테레사 (Teresa Oh)

2002 제주대학교 물리학과
Post-Doc.
2005 창원대학교 산업기술연구소
전임연구원

2006~현재 청주대학교 반도체설계공학과 조교수
※ 관심분야: 반도체소자, 태양전지셀, 화합물반도체