≪연구논문≫ 한국진공학회지 제18권 6호, 2009년 11월, pp.435~439

절연박막에서 유전상수의 보상에 관한 연구

오데레사*

청주대학교 반도체설계공학과, 청주 360-764

(2009년 6월 1일 받음, 2009년 7월 1일 수정, 2009년 7월 7일 확정)

SiOC 박막의 유전상수가 낮아지는 원인에 대하여 굴절계수와 C-V 측정법을 이용하여 얻은 파라미터를 사용하여 연구되었다. SiOC 박막은 해리된 가스의 재결합을 통하여 이온결합에 의해서 형성된다. 전통적으로 유전상수는 굴절률의 제곱으로 얻을 수 있거나 혹은 금속/절연체/실리콘 구조에서 C-V 측정법을 이용하여 얻어진다. 유전상수는 이온과 전자 성분으로 이루어졌다. 그래서 이온과 전자성분을 포함한 SiOC 박막의 평균적인 유전상수에 대하여 조사되었다. 유전상수는 열처리 후 감소되었다. 증착한 박막은 대부분이 이온효과에 의하여 유전상수가 구성되는 경향성이 있으며, 반대로 열처리한 박막에서는 전자에 의한 효과가 컸다. 왜냐하면, 이온의 효과가 열처리에 의해 감소되기 때문이다. 결과적으로 열처리 공정을 통하여 SiOC 박막의 이온효과는 감소하고 전자의 효과는 증가된다는 것을 확인하였다.

주제어 : 굴절계수, 유전상수, SiOC 박막, 전자 공핍 그룹

Ⅰ. 서 론

반도체 소자의 크기는 점점 작아지고 있으며, 성능의 한계는 전송속도의 감소, 신호선 간의 간섭, 소비전력 증가 등의 문제가 심각해지고 있다. 근본적인 문제의 해결은 기존의 절연막으로 사용되어 오던 산화규소(SiO_2)보다 저항을 작게 하여 기생커패시턴스의 값을 줄일 수 있는 방법으로 유전율(k값)을 크게 낮추는 방법이 있다 [1-5]. 차세대 절연박막으로써 제시되고 있는 박막으로 SiOC 박막은 스핀 코팅 방법 혹은 화학적 기상증착방법(CVD, chemical vapor deposition)을 이용하여 만들어 낸다. 절연막의 유전상수값을 낮추는 원인으로는 기공의 형성과 분극의 감소에 의해서 유전률이 감소되는 것으로 알려져 있다. 반도체 소자에 적용하기 위해서는 평탄화공정이 필요하며, 기공을 많이 포함하고 있는 스핀 코팅방법은 소자로서의 응용에 부적합할 것으로 내다보고 있다. 반면에 CVD 방법에 의한 SiOC 방법은 분극의 감소로 인하여 분자간의 결합이 약해지고 표면이 안정되며, 전체적인 박막의 강도는 강해지는 효과가 유도되어 결과적으로 반도체 소자 응용에 적합한 특성을 갖는 것으로 보고되고 있다 [6-9]. CVD 방법에 의한 SiOC 박막의 유전상수는 쌍극자, 이온 그리고 전자에 의한 효과에 의하여 유전상수가 낮아지는데, 쌍극자에 의한 효과는 무시되므로 결국 이온과 전자에 의한 효과에 의해서 유전상수가 낮아지는 원인에 대한 분석이 필요하다. 분극의 감소와 기공형성의 원인이 되는 알킬기의 반응은 화학적 이동을 일으키는데 전기적으로나 기계적으로 어떤 영향을 주는지에 대한 연구도 필요하다. 여러 가지 원인을 제공하는 화학적 반응과정이 2가지 이상의 복잡한 화학적 반응이 동시에 일어나기 때문에 플라즈마 상태에서 이온의 해리되고 재결합되는 과정을 면밀히 관찰할 필요가 있다. 이러한 조사과정이 단순하지가 않으므로 아직까지도 저 유전상수의 감소원인에 대한 규명이 명확하지 않은 원인이기도 하다 [10-13].

본 논문에서는 유전상수에 대하여 이온과 전자에 의한 효과를 감안한 유전상수의 변화를 관찰하고 SiOC 박막의 유전상수의 변화요인에 대하여 여러 가지 방면에서 고찰함으로써 박막의 유전상수가 낮아지는 원인에 대하여 조사하였다.

Ⅱ. 실 험

SiOC박막은 p-type(100)Si 기판 위에 플라즈마를 이용한 화학적 기상증착 방법에 의해서 증착되었다. 증착시 RF

* [전자우편] teresa@cju.ac.kr

파워는 13.56MHz에서 450W이고 bistrimethylsilymethane (BTMSM)과 산소의 혼합 가스에 의한 플라즈마를 유도하고 이온화된 원자들의 재결합이 이루어지면서 박막을 증착하였다. 산소의 유량은 60sccm으로 고정하였으며, BTMSM의 유량은 16sccm~25sccm까지 변화시키면서 증착하였다. 그러므로 가스 유량비(BTMSM/O_2)는 0.28~0.53에 해당된다. 기체를 흘려보내는 라인은 증착이 이루어지는 동안 35℃를 유지하면서, 10초 동안 증착하였다. BTMSM 프리커서는 어플라이머티리얼사의 P5000을 이용하였다. 증착 후 박막은 진공 챔버 내의 500℃ 분위기에서 30분간 열처리를 하였다. SiOC 박막 표면의 특성 변화는 유량비를 변화시키면서 증착한 박막표면의 변화를 관측하기 위해서 박막의 굴절률을 632.8 nm의 소스를 갖는 엘립소미터를 사용하여 측정하였다. C-V 측정은 전극공정을 거쳐서 MIS 구조 (metal/SiOC박막/기판)를 만들고 1MHz에서 HP4284A 분석기를 이용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

Fig. 1(a)은 여러 가지 유량에 따른 SiOC 박막의 굴절계수(n)을 나타내고 있다. 굴절계수는 열처리 후 감소하였으나, 유량비가 증가할수록 증가하고 있다. 굴절계수의 변화량은 열처리 후 증착한 샘플의 변화량에 비하여 변화 폭이 큰 것을 알 수 있다. 굴절계수는 절연박막의 전자의 효과를 알아볼 수 있는 부분으로 열처리 과정에서 전자의 밀도 분포에 많은 변화가 일어나고 있는 것을 알 수 있다.

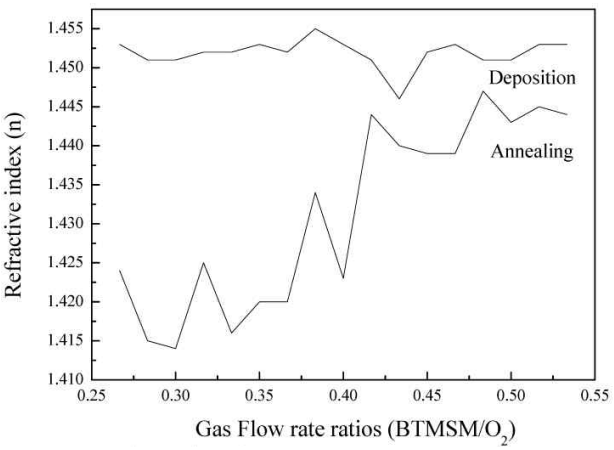

Figure 1(a). Refractive index of SiOC thin films with various flow rate ratios.

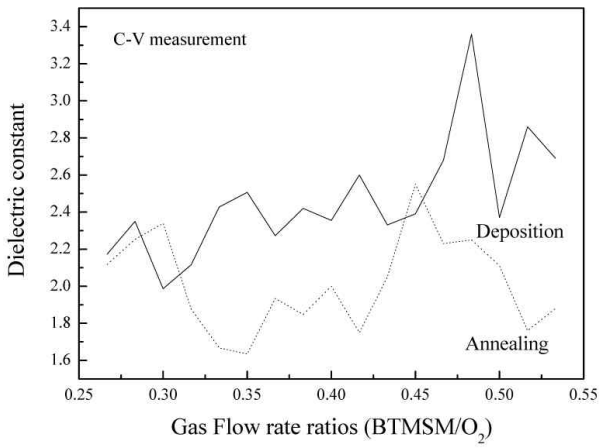

Figure 1(b). Dielectric constant of SiOC thin films with various flow rate ratios by C-V measurement system using MIS structure.

Fig. 1(b)는 MIS 구조를 이용하여 커패시턴스를 측정하고 얻는 전형적인 방법의 유전상수 측정방법을 이용하여 얻은 데이터들이다. 열처리 후 유전상수가 감소하였으며, 특히 유량비가 0.42~0.52 사이에서 변화가 심하게 일어난 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 1(a)에서 굴절률의 변화가 열처리 후 크게 낮아졌으며, 유량비가 0.42 이후에서 크게 증가한 결과의 경향성과 유사하다. 그러므로 SiOC 박막의 유전상수가 열처리 후 전자의 효과에 의하여 감소가 되는 것이라고 예측할 수 있다.

Fig. 2는 여러 가지 유량 비로 증착한 박막에 대하여

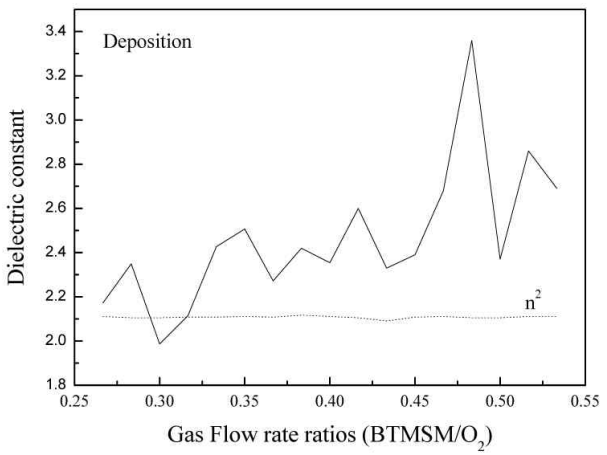

Figure 2(a). Dielectric constant and refractive index of as deposited SiOC thin films with various flow rate ratios.

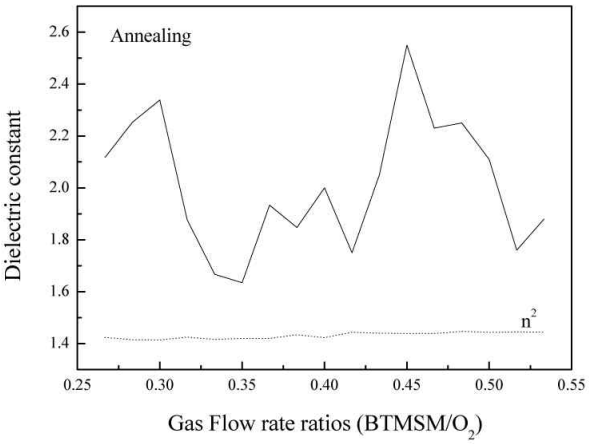

Figure 2(b). Dielectric constant and refractive index of annealed SiOC thin film with various flow rate ratios.

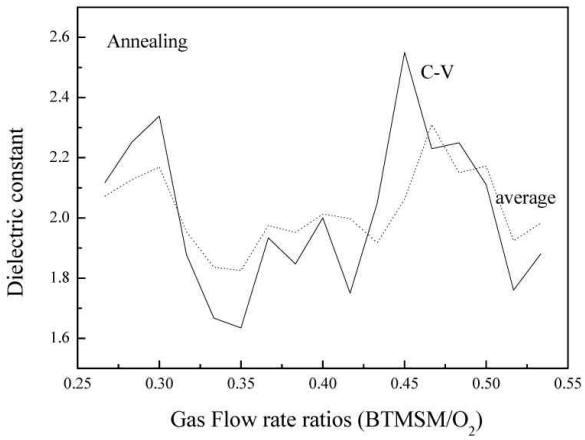

Figure 3(b). Average dielectric constant of annealed SiOC thin films with various flow rate ratios.

C-V 측정에 의한 유전상수와 굴절률로부터 얻은 유전상수를 나타내고 있다.

전통적으로 굴절률의 제곱은 유전상수로 나타내며, 실험값에 의한 굴절상수는 이온과 전자에 의한 효과를 모두 포함하고 있다. C-V 측정에 의한 유전상수 역시 이온과 전자에 의한 효과를 모두 포함한다고 할 수 있다. 그러므로 이러한 2가지 요소의 측정방법에 의한 유전상수의 평균값을 구하여 그 변화량 및 경향성에 대하여 추적하였다. 유전상수 n^2의 값은 작고 C-V 측정에 의한 유전상수의 값과 비교하여 변화량도 작다. Fig. 2(b)는 열처리 후 박막의 C-V 측정에 의한 유전상수와 유전상수 n^2의 값을 나타내고 있다. 열처리 후 유전상수 n^2의 값은 더욱 낮아졌으며, 변화량도 상대적으로 매우 작다.

Fig. 3은 여러 가지 유량비에 따라서 SiOC 박막의 유전상수를 구하는데 있어서 C-V 측정에 의한 유전상수와 유전상수 n^2의 값을 평균하여 얻은 데이터이다. Fig. 3(a)는 증착한 박막의 결과이고, Fig. 3(b)는 열처리한 박막의 결과이다. 증착한 박막의 평균적인 유전상수에 대한 데이터는 C-V 측정에 의한 유전상수보다 약간 작은 값을 나타낸다. 이것은 굴절계수가 상대적으로 열처리한 경우에서 보다 작지 않기 때문이다. Fig. 3(b)의 열처리한 경우, 평균적인 유전상수의 값은 C-V 측정에 의한 데이터와 비교하여, C-V 측정치가 큰 값에 대하여는 작고, C-V 측정치가 작은 값에 대하여는 증가하는 효과가 있는 것을 보여준다.

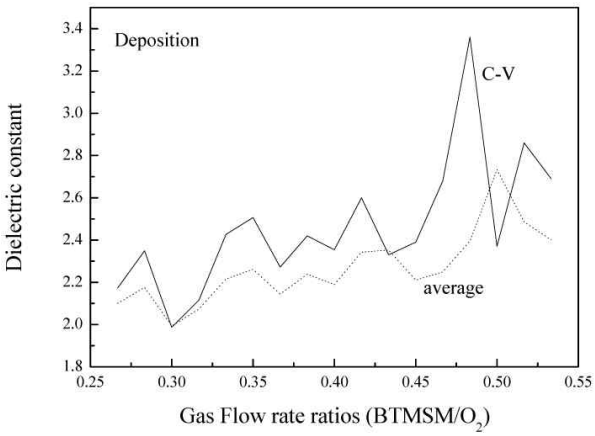

Figure 3(a). Average dielectric constant of as deposited SiOC thin films with various flow rate ratios.

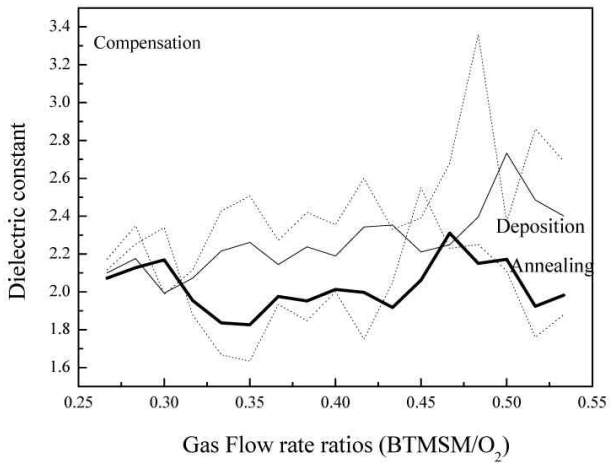

Figure 4. Compensated dielectric constant of SiOC thin films with various flow rate ratios.

Fig. 4는 굴절률로부터 얻은 유전상수와 C-V 측정으로부터 얻은 유전상수의 평균을 통하여 보상된 유전상수의 값을 나타내었다. 가장 낮은 유전상수는 열처리 한 SiOC 박막에서 유전상수가 1.8 정도였다.

증착한 SiOC 박막의 이온에 의한 효과가 증가하였으며, 열처리 후 SiOC 박막은 전자에 의한 효과가 증가하였다. 이러한 변화는 유전상수의 변화로부터 확인되었으며, 일반적으로 무시되어왔던 굴절률에 의한 유전상수가 중요한 의미가 있다는 것을 확인하였다.

Ⅳ. 결 론

SiOC 박막의 유전상수가 낮아지는 원인에 대하여 고찰하였다.결합구조에 따라서 SiOC 박막의 유전상수는 이온과 전자에 의하여 낮아지는데 유전상수를 측정하는 방법에 따라서 그 측정값도 달랐다. 그러므로 측정방법에 따른 유전상수의 평균값을 취하여 유전상수의 변화를 살펴보았으며, 증착한 샘플에 대하여는 이온의 효과가 증가하였으며, 열처리한 박막의 경우, 유전상수를 떨어뜨리는 효과에 있어서 전자의 효과가 크게 작용하고 있다는 것을 확인하였다.

참고문헌

[1] R. Navamathavan and C. K. Choi, Journal of the Korean Physical Soc. **48**, 1675 (2006).

[2] T. Oh, Journal of the Korean Vaccum Society, **18(1)**, 49 (2009)

[3] H. Ohsaki, Y. Shibayama, A. Nakajim, A. Kinbara, and T. Watanabe, Thin Solid Films **502**, 63 (2006)

[4] K. Lee and J. Yu, Surface Science **589**, 8 (2005).

[5] K. Meera, C. S. Yang, and C. K. Choi, Journal of the Korean Physical Society, **48**, 1713 (2006).

[6] J. C. Lee and Y. J. Kim, Journal of the Korean Vacuum Society, **17**, 189 (2008).

[7] T. Oh, IEEE transactions on Nanotechnology, **5**, 23 (2006).

[8] J. Widodo, W. Lu, S. G. Mhaisalkar, L. C. Hsia, P. Y. Tan, L. Shen, and K. Y. Zeng, Thin Solid Films, **462-463**, 213 (2004).

[9] T. Oh, Journal of the Korean Physical Society, **51**, 528 (2006).

[10] Li Ding Yu, Sun Lei, Zhang Sheng Dong, Wang Yi, Liu Xiao Yan, and Han Ru Qi, Chin. Phys. Soc. **16**, 240 (2007).

[11] J. Frenkel, Phys. Rev. **54**, 647 (1938).

[12] M. J. Kellicutt, I. S. Suzuki, C. R. Burr, M. Suzuki, M. Ohashi, and M. S. Whittingham, Physical Review B. **47(20)**, 13664 (1993).

[13] Soo In Kim and Chang Woo Lee, Journal of the Korean Vacuum Society **16(5)**, 348 (2007).

≪Research Paper≫ Journal of the Korean Vacuum Society Vol.18 No.6, November 2009, pp.435~439

Study on the Compensation of Dielectric Constant in Dielectric Materials

Teresa Oh*

School of Electronic and Information Engineering, Cheongj University, Cheongju 360-764

(Received June 1, 2009, Revised July 1, 2009, Accepted July 7, 2009)

The reason of lowering the dielectric constant of SiOC film was studied using parameters obtained from C-V measurement and refractive index. SiOC film was formed by the force of ionic bonding during the recombination of dissociated gases. Generally, the dielectric constant was obtained from the square of the refractive index or C-V measurement using the metal/insulator/Si structure. The dielectric constant consists of the ionic and electronic elements. It was researched about the dielectric constant of SiOC film using the average of the ionic and electronic elements. The dielectric constant decreased after annealing process. As deposited films trended toward the dielectric constant consisted of most ionic elements, on the other hand, annealed films mostly consisted of electronic elements. Because the effect of ionic elements reduced after annealing. Consequently, it was found that the electronic effect of SiOC film increased and the ionic effect of SiOC film decreased by the after-annealing.

Keywords : Refractive index, Dielectric constant, SiOC film, Electron deficient group

* [E-mail] teresa@cju.ac.kr