반도체소자 박막 분석

오데레사
청주대학교 전자정보공학부 반도체설계공학과

Analysis of Thin Films for Semiconductor

Teresa Oh
[1]Division of Semiconductor, School of Electornic Information, Cheongju University

요 약

층간 절연막으로 사용 가능한 SiOC 박막에 대하여 유전상수가 낮아지는 원인을 이온에 의한 분극과 전자에 의한 분극에 대하여 측정하였다. MIS 구조를 이용하여 전형적인 C-V 측적법에 의하여 유전상수를 구하였으며, 굴절률을 측정하여 전자에 의한 분극의 효과에 의한 유전상수를 측정하고 서로 비교하였다. SiOC 박막의 화학적인 특성은 FTIR 분석을 이용하였으며, FTIR 분석에서 디컨벌류션한 데이터는 탄소의 함량에 대한 변화를 구하였다. 탄소의 함량변화는 굴절률의 변화와 비슷한 경향성을 나타내었으나, 유전상수와는 반비례하였다. 전자에 의한 분극의 효과는 유전상수가 떨어지는 것에 큰 영향을 주지는 않았으며, 이온에 의한 분극의 효과가 SiOC 박막의유전상수를 낮게 하는 효과가 더욱 크게 나타났다.

1. 서론

저유전상수 물질은 구리 배선의 다층간의 절연 물질로 기존 산화규소(SiO_2)보다 저항을 줄여 유전율(k값)을 크게 낮출 수 있어 90㎚ 이하 공정에 본격적으로 적용될 신소재로 각광받고 있다. 층간 절연막으로 잘 알려진 low-k 물질은 제조 방법에 따라 SOD(spin on deposition)방법과 CVD(chemical vapor deposition, 화학기상증착법)방법 2가지 종류가 있다. SOD 및 CVD를 이용하여 현재 상업화 되고 있는데, 평탄도나 균일성면에 있어서 CVD 방법에 의한 SiOC 박막이 차세대 절연물질이 될 것으로 주목받고 있다[1-5]. CVD방법으로 SiOC 박막을 만들기 위해서는 개스 프리커서로는 미국 어플라이드머트리얼스의 '블랙다이아몬드', 노벨러스의 '코랄', ASMI의 '오로라' 등이 있으며, 이런 가스들이 진공 챔버 내에서 플라즈마 에너지에 의해 해리가 되고 재결합되는 과정에서 유전상수가 낮아지는 비정질 결합구조의 SiOC 절연 박막이 만들어진다[6-10]. 반도체 소자에서 SiO_2 산화막의 절연특성을 개선하고자 진공과 같은 수준의 절연특성이 좋은 새로운 물질을 개발하기 위해서 초기에 SiOC 박막은 내부에 나노기공을 포함하여 유전상수가 낮아지는 메카니즘에 의해 많은 사람들이 알킬기를 많이 포함하도록 프리커서를 제시하고 기공을 포함한 SiOC 박막을 만들기 시작하였다. 하지만 기공을 많이 포함하여 유전상수가 낮아지더라도 기계적인 강도가 낮아지는 치명적인 단점들이 드러나면서 기공에 의한 SiOC 박막의 형성은 매력을 잃게 되었다[11-16]. 하지만 유기화학 반응 중에서 C-H 수소반응과 같은 특이한 반응이 입증되면서 C-H 결합의 elongation 반응이 결합길이를 길게 만들면서 SiOC 박막을 이상적인 비정질 결합구조를 만들어내는 사실이 알려지면서 SiOC 박막은 다시 많은 연구자들의 관심의 대상이 되었다. 유전상수가 낮아지는 데는 비정질 결정구조가 필수적으로 요구되며 박막의 표면 특성 또한 단단하고 차세대 디스플레이나 전자 종이 등에도 쓰여질 수 있는 가능성이 대두되고 있는 신소재 물질이다[17-22]. 본 연구에서는 분극의 특성으로부터 SiOC 박막의 유전상수가 낮아지는 효과의 원인에 대하여 조사하였다.

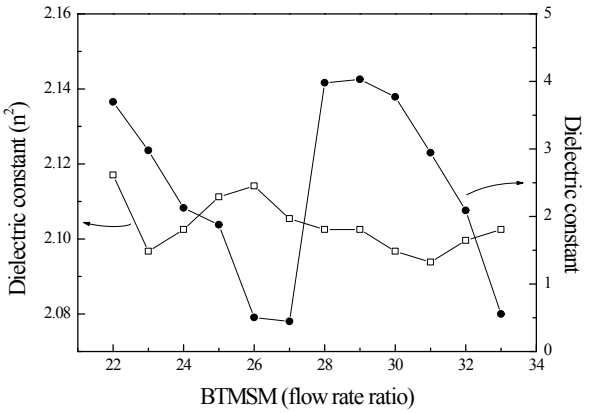
2. 이론 및 실험방법

SiOC박막은 p-type(100)Si 기판 위에 플라즈마를 이용한 화학적 기상증착 방법에 의해서 증착되었다. 증착시 RF파워는 13.56Mhz에서 450W이고 bistrimethylsilymethane (BTMSM)과 산소의 혼합 개스에 의한 플라즈마를 유도하고 이온화된 원자들의 재결합이 이루어지면서 박막을 증착하였다. 산소의 유량은 60sccm으로 고정하였으며, BTMSM의 유량은 22sccm~33sccm까지 변화시키면서 증착하였다. 기체를 흘려보내는 라인은 증착이 이루어지는 동안 35도를 유지하면서, 10초동안 증착하였다. BTMSM 프리커서는 어플라이 머티리얼사의 P5000을 이용하였다. SiOC 박막의 표면의 특성 변화는 유량비를 변화시키면서

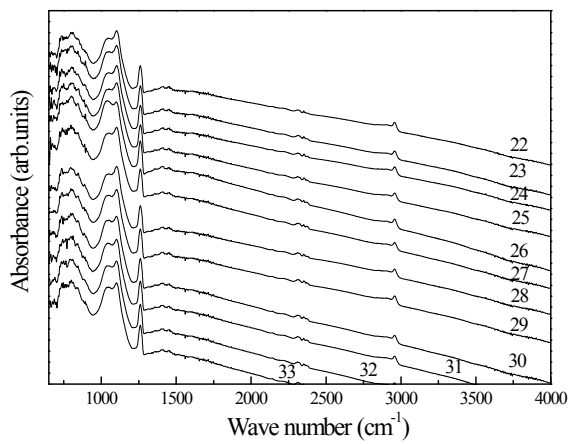
증착한 박막표면의 화학적 변화를 관측하기 위해서 FTIR (Fourier transform infrared, Galaxy 7020A) 분석기를 이용하였다. 박막의 굴절률은 632.8 nm 의 소스를 갖는 엘립소미터를 사용하여 측정하였다. C-V 측적은 전극공정을 거쳐서 MIS구조 (metal/SiOC박막/기판)를 만들고 1MHz에서 HP4284A분석기를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 굴절률을 나타내고 있다. 산소의 유량은 60 sccm으로 고정되어있으며, 샘플 넘버에 해당하는 부분은 BTMSM의 유량을 나타낸다. 굴절계수는 전자의 분극효과를 측정할 수 있는 파라미터로서 BTMSM의 유량이 증가할수록 굴절계수가 커지다가 작아지고 있다. 굴절계수의 제곱은 전자분극에 의한 유전상수로서 쓸 수 있으므로 유전상수에 비례한다. 그림 2는 굴절률에서 구한 유전상수 (n^2)와 MIS 구조를 이용하여 구한 전형적인 유전상수 값을 서로 비교하고 있다.



[Fig. 1] Dielectric constants due to the ionic or electronic polarization.



[Fig. 2] 890 cm^{-1}에서 1290 cm^{-1}까지의 협대역에서의 FTIR 스펙트.

B27과 B25 샘플 사이에서 화학적 이동은 가장 크게 일어나는 것을 확인할 수 있다. B27은 blue shift를 인데 반하여 B25는 red shift를 나타낸다. BTMSM의 유량이 적을수록 전기음성도가 큰 산소의 영향이 커지면서 C-H 수소결합의 전자밀도가 약해지기 때문에 red shift가 일어나는 것을 알 수 있다. red shift는 C-H 수소결합의 결합길이가 길어짐에 따라 FTIR 분석에 의하면 주파수가 낮은 쪽으로 이동하는 현상을 나타낸다. 그림 2는 B27 샘플에 대한 누설전류를 기판의 온도를 변화시키면서 측정하였다. 1190 cm^{-1}에서 1290 cm^{-1}까지의 영역은 $Si-CH_3$ 결합이며, 역시 강한 결합을 나타낸다. 890 cm^{-1}에서 1190 cm^{-1}까지의 영역은 Si-O-C 결합을 나타내며, 1.5V까지는 누설전류가 $1\times10^{-8}A$까지 낮은 특성을 나타내지만 전압이 올아갈수록 누설전류가 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 기판온도가 증가할수록 누설전류의 크기는 감소하였다. 온도가 증가할수록 누설전류가 감소하는 이유는 증착시에 존재하였던 OH그룹들이 사라지면서 절연특성이 더 좋아지기때문이며, 전기적인 특성으로 살펴보면 누설전류가 감소하는 효과를 얻을 수 있게 되었기 때문이다.

4. 결론

CVD방법에 의해 SiOC 박막을 만들고 전자와 이온에 의하여 유전상수가 낮아지는 효과에 대하여 살펴보았다. 굴절률로부터 얻은 전자의 분극효과에 의한 유전상수의 변화에 크게 작용하지 못하였으며, C-V 측정으로부터 얻은 이온분극에 의한 유전상수가 변화의 폭이 컸으며, BTMSM과 산소의 유량비에 따라서 유전상수의 변화폭이 컸다. 층간 절연먹으로서의 SiOC 박막이 유전상수가 낮아지는 원인으로는 C-H 결합의 늘어짐 현상에 의한 이온분극의 상쇄가 이상적인 비정질 결정구조에 가깝게 결정구조를 변화시키기 때문인 것으로 확인되었다.

참고 문헌

[1] J. K. Choi, D. H. Kim, J. Lee and J. B. Yoo, Surface and Coatings Technology, **131**, 136 (2000).

[2] J. Kim, Q. Shao and Y. H. Kim, Surface and Coatings Technology, **171**, 39 (2003).

[3] A. Grill, J. of Applied Physics, **93**, 1785 (2003).

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

[5] J. Kim, Q. Shao and Y. H. Kim, Surface and Coatings Technology, **171**, 39 (2003).
[6] J. Frenkel, Phys. Rev. **54**, 647 (1938).
[7] M. J. Kellicutt, I. S. Suzuki, C. R. Burr, M. Suzuki, M. Ohashi and M. S. Whittingham, Physical Review B. **47**(20), 13664 (1993).
[8] T. Oh, Jpn. J. Appl. Phys.. **44**, 4103 (2005).
[9] J. C. Lee, Y. J. Kim : Journal of the Korean Vacuum Society **17**, 189 (2008).
[10] T. Oh, IEEE Trans. Nanotechnology. 5, 23 (2006).
[11] C. S. Yang, Y. H. Yu, K. M. Lee, H. J. Lee, and C. K. Choi, Thin Solid Films, 50, 506 (2006).
[12] Y. L. Cheng, Y. L. Wang, J. K. Lan, H. C. Chen, J. H. Lin, Y. L. Wu, P. T. Liu, Y. C. Wu and M. S. Feng, Thin Solid Films, 469-470, 1787 (2004).
[13] P. de Rouffignac, Z. Li, and R. G. Gordon, Electrochemical and Solid State Letters, **7**, G360 (2004).