

ICP Source를 이용한 저온 증착 a-SiNx:H 특성 평가

강성철¹, 이동혁², 소현욱², 장진녕², 홍문표², 권광호^{1,a}

¹ 고려대학교 제어계측공학과

² 고려대학교 디스플레이반도체물리학과

Low Temperature Deposition a-SiNx:H Using ICP Source

Sung-Chil Kang¹, Dong-Hyeok Lee², Hyun-wook So², Jin Nyoung Jang²,
 MunPyo Hong², and Kwang-Ho Kwon^{1,a}

¹ Department of Control and Instrumentation Engineering, Korea University, Sejong 339-700, Korea

² Department of Display and Semiconductor Physics Engineering, Korea University, Sejong 339-700, Korea

(Received March 2, 2011; Revised June 17, 2011; Accepted June 20, 2011)

Abstract: The silicon nitride films were prepared by chemical vapor deposition using inductively coupled plasma. During the deposition, the substrate was heated at 150°C and power 1,000 W. To evolution low temperature manufacture, we have studied the role of source gases, SiH₄, NH₃, N₂, and H₂, to produce Si-N and N-H bond in a-SiNx:H film growth. SiH₄, NH₃, and N₂ flow rate fixed at 100, 10, and 10 sccm, H₂ flow rate varied from 0 to 10 sccm by small scale. To get the electrical characteristics, we makes MIM structure, and analysis surface bonding state. Experimental data show that Si-N and N-H bond is increased and hence electrical characteristics is showed 3 MV/cm breakdown-voltage, and leakage-current 10⁻⁷ A/cm².

Keywords: Low-temperature, ICP source, I-V, OES, FT-IR

1. 서론

게이트 절연막으로 쓰이는 실리콘 질화막 (silicon nitride)은 MEMS 공정에 있어 중요한 물질이다. 박막 트랜지스터의 활성층 (a-Si)과 gate 절연층 (SiNx)의 증착에는 약 750°C로 가열되어 증착되는 LPCVD (low-pressure chemical vapor deposition) 기법과 상대적으로 저온에서 (200 - 350°C) 증착되는 PECVD (plasma-enhanced chemical vapor deposition) 증착법이 있다. 최근 대두되고 있는 flexible display 적용을 위한 플라스틱 기판위에 공정을 진행되기 위해서는 저온 공정이 필수적으로 대두 되고 있다. 하지만 이에 대한 공정 기술 개발은 크게 이루어지고

있지 않은 실정이다. 낮은 온도에서 ($\leq 200^\circ\text{C}$) 증착됨으로써, 플라즈마를 이용한 기상 증착법을 사용 시, 박막의 결정을 성장시키는데 열에너지가 부족하게 되고 이에 따른 박막의 균일도나 그 특성이 약해질 수가 있다. 특히 게이트 절연막으로 쓰이는 a-SiNx:H의 증착을 위해서는 공정기술 개발이 필요하다. a-SiNx:H는 게이트 절연막으로써 그 특성과 우수함이 판단되어 현재 널리 쓰이고 있다 [1].

Top 방식과 bottom 방식의 소자를 제작 시, 기본적으로 게이트 박막의 특성에 따라 소자의 특성이 크게 변화되기에 저온 공정에서 고품질의 게이트 박막 증착 기술은 중요하다. 기본적으로 증착되어지는 a-SiNx:H의 조건은 헬륨(He)으로 dilution된 사일렌 가스 (SiH₄), 암모니아 (NH₃), 그리고 질소(N₂)를 챔버 내에 유입하여

a. Corresponding author; kwonkh@korea.ac.kr

플라즈마를 방전시켜 증착시키는 방식이다 [2,3]. 플라즈마 내의 주된 활성종인 SiH^* 와 NH^* 가 반응하여 박막내의 수소함량에 따라 박막의 특성이 크게 좌지우지된다. 암모니아를 첨가하는 것은 박막의 dangling-bond의 passivation이 주된 목적이다. 암모니아에서 분리된 수소가 일정함량을 기준으로 너무 많이 들어간다면 defect creation의 원인이 되어 박막내의 weak-bond들을 수소들이 파괴함으로써, localized-band를 형성시킴으로써, 전기적 특성을 저하시키며, 또한 너무 적은 수소가 첨가되면, trap이 형성되어 leakage current를 발생시킴으로써 소자 열화의 주된 원인이 된다 [4-6].

본 연구에서는 저온에서의 gate 절연층인 a-SiNx:H의 증착을 위하여 낮은 열에너지를 대체하여 ICP (inductively coupled plasma) source를 사용하여 플라즈마를 활성화시켰으며, 추가적으로 보다 안정적인 결과를 얻기 위하여 H_2 를 첨가하여 이에 따른 고품질의 게이트 절연층 (a-SiNx:H)을 증착한다. 박막의 특성평가를 위하여 fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) 측정과, plasma 활성중 상태 분석을 위한 OES (optical emission spectroscopy) 분석, 그리고 전기적 특성 평가를 위하여 I-V와 conductivity를 측정하였다.

2. 실험 방법

본 연구는 저온에서 게이트 절연막을 증착하는데 목적을 두고 있다. 본 연구에 쓰인 장비는 ICP 장비로써, 내부에 장착된 alumina internal antenna를 통하여 고밀도 플라즈마를 발생시켜 실리콘 질연막을 저온에서 증착하도록 한다. sample-holder에 연결된 heater를 통하여 150°C 를 유지하도록 한다. 박막이 증착될 기판은 fourier transfer-infrared absorption (FT-IR) 분석을 위한 2인치 p형 실리콘 웨이퍼와 전기적 특성분석을 위한 MIM (metal-insulator-metal) 구조를 증착할 유리 기판 (boron-alumina silicate, corning 1,737)을 아세톤과 알콜 세정 후, DI-water로 린스 처리하였다.

증착된 a-SiNx:H 박막은 $\text{SiH}_4/\text{NH}_3/\text{N}_2$ (100/10/10 sccm) 가스를 혼합한 후, H_2 의 가스량을 변화시키면서 150°C 로 heating된 홀더위에서 30분 간 증착되었고, 이 때 ICP source power는 1,000 watts를 유지하였으며, 진공도는 9.5 mTorr를 유지하였다. 증착된 박막의 두께는 300 nm (alpha-step 500, KLA-tencor)로 실험의 신뢰성을 위하여 통일하였다. 증착된 박막의

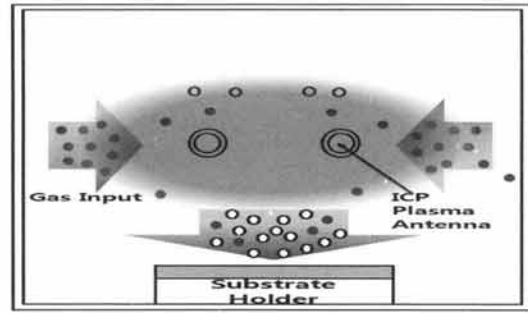


Fig. 1. Schematic diagram of ICP chamber.

상태는 앞에서 언급한 p형 실리콘위에 증착된 박막을 FT-IR을 통하여 박막 내 Si-H와 N-H, 그리고 Si-N 결합을 분석하였다. 게이트 절연막으로 쓰일 a-SiNx:H의 전기적 특성은 유리기판위에 증착된 MIM구조를 HP4156C (LCR meter)을 이용하여 I-V curve를 측정 후, leakage-current와 breakdown-voltage를 계산하였다. 또한 HP4,284A (semiconductor parameter analyzer)를 통하여 절연상수를 계산함으로써, 유전율을 계산하였다. 그리고 박막이 증착될 때의 플라즈마 상태를 관찰하기 위하여 OES (Avaspec-3,638, Avantes)를 통하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

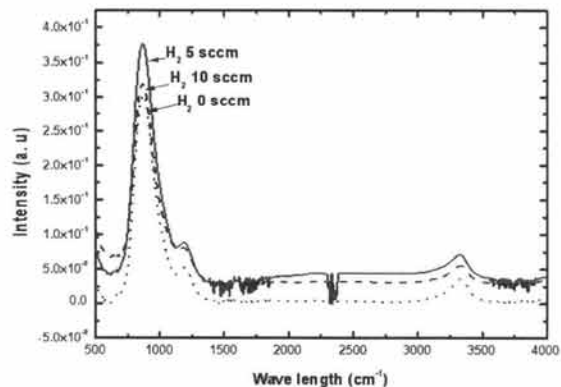


Fig. 2. Infrared spectra of the a-SiNx:H.

그림 2는 $\text{SiH}_4/\text{NH}_3/\text{N}_2$ 가스를 혼합 후 H_2 를 변화시키면서 증착된 a-SiNx:H에서 검출되는 박막 결합을 나타낸 FT-IR 분석이다. 그림 1에서 알 수 있는

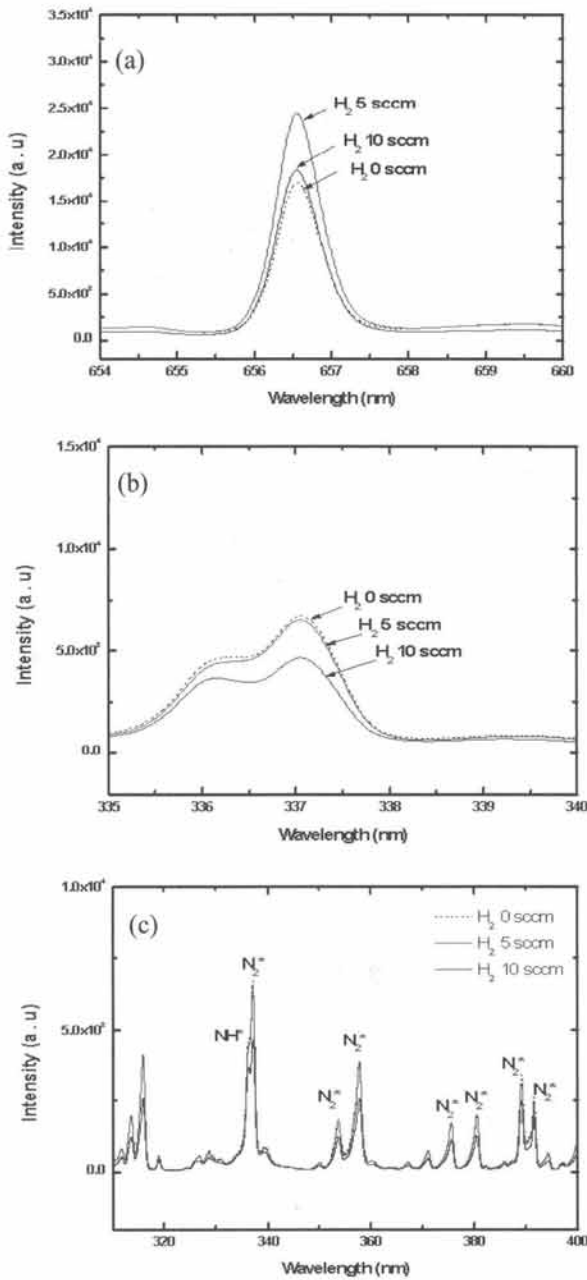


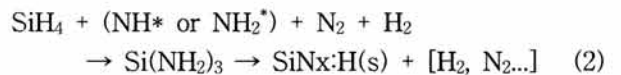
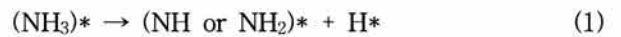
Fig. 3. Typical OES spectra of additive H₂ in SiH₄/NH₃/N₂ plasma. (a) H α and H β peak, (b) NH* and N₂⁺ peak, and (c) N₂* peak intensity.

바와 같이 SiH₄/NH₃/N₂ 혼합비에서 H₂를 흘려줄수록, Si-H peak (2,240 cm⁻¹) 과 N-H peak (1,200 cm⁻¹, 3,300 cm⁻¹). 그리고 Si-N peak (800-850 cm⁻¹)의 변화를 알 수 있다 [7]. 수소가 첨가되면서

Si-N 결합의 세기가 5 sccm 첨가되었을 때 가장 큰 peak intensity를 보여주며, 반면에 Si-H peak은 H₂ 0 sccm에서 나타나지만, 수소가 첨가될수록 Si-H peak은 없어진다. N-H peak의 변화는 0, 5, 10의 수소가 첨가되면서, 5 sccm이 첨가되었을 때, 가장 큰 peak intensity를 보여준다.

그림 3은 수소가 첨가된 플라즈마 조건에 따른 OES 측정 결과를 나타낸다. SiH₄/NH₃/N₂ 플라즈마에 H₂가 첨가되면서, 변화하는 OES spectrum의 특징에 대하여, H α 와 H β (655.3-658 nm, 485.3-487.4 nm), NH₃* (336 nm) 그리고 N₂* (300-450nm)를 관찰하였다 [8,9]. 그림 3을 통하여, 플라즈마 내에 H₂ 첨가량이 늘어날수록, H α 와 H β 의 intensity가 수소 5 sccm에서 가장 크게 나타나며, 주목하는 하전입자와 radical들은 증가함을 알 수 있다.

ICP source를 사용한 플라즈마내의 a-SiNx:H가 반응하는 경로를 수식화 한다면 [9],



여기서 우리는 a-SiNx:H가 생성되기 위해서는 필요한 반응 조건들을 유추할 수 있다. 수소가 첨가되면서, 플라즈마 내에 수소 여기로 인해, 생긴 electron들이 SiH₄와 NH₃, 그리고 N₂와 반응함으로써, a-SiNx:H를 만들 수 있는 많은 radical과 하전입자를 만들어 내는 것이다. 수소 5 sccm이 첨가된 플라즈마 조건에서 가장 큰 H α 와 H β peak intensity를 통하여 앞에서 언급된 사실을 확인할 수 있다 [10,11]. 저온공정에서 부족한 결정 성장에 필요한 에너지를 대체하기 위해 플라즈마 내에서 박막증착에 가장 주된 radical들과 하전입자들을 만들어 내어 저온공정상에서 우수한 박막을 얻을 수 있는 것이다. 그림 2(b)에서 H₂ 0 sccm 과 5 sccm에서 얻어진 NH₃*와 N₂⁺의 OES peak intensity는 동일해 보인다. 하지만 그림 2(c)를 통하여 보면, N₂*의 활성화가 5 sccm에서 증가함을 알 수 있다. 활성화된 N₂*는 플라즈마내에서 Si-N결합을 활성화시키며, 보다 dense한 박막 성장에 도움을 준다. 그래서 Si-Si bond 결합된 박막에 활성화된 N₂* 활성종은 N을 박막내에 침투시켜 저온에서 a-SiNx 성장을 가능하게 하는 것이다 [9].

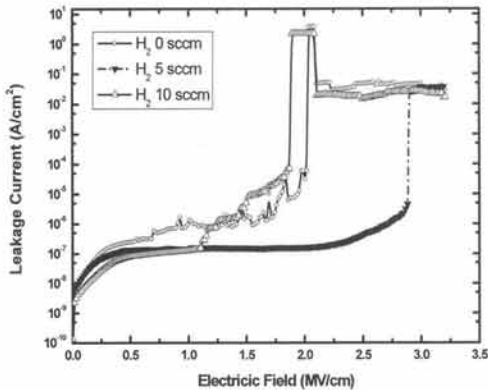


Fig. 4. I-V for additive H₂ in SiH₄/NH₃/N₂ plasma.

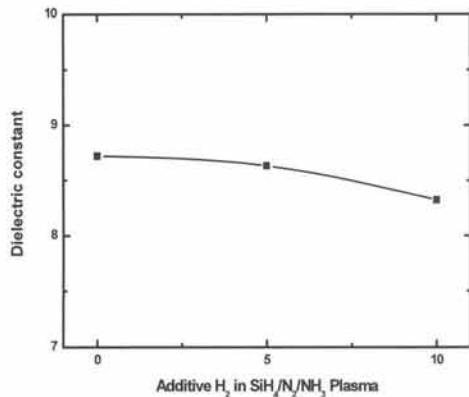


Fig. 5. Dielectric constant for additive H₂ in SiH₄/NH₃/N₂ plasma.



그림 4와 5는 MIM 구조를 통하여, 얻어진 박막의 게이트 절연막으로써의 전기적 특성을 실험한 것이다. 그림 4는 본 연구에서 최적화된 a-SiNx:H에 대한 조건에서 일반적인 전류-전압 곡선을 보여주고 있다.

전계에 대하여 3 MV/cm 이하에 대한 누설전류량은 단위면적 당 10⁻⁷ A/cm²의 값이 본 실험에서 얻은 가장 최적화된 전기적 특성을 보여준다. 150℃ 저온 공정에서 SiH₄/NH₃/N₂ 플라즈마 조건에 H₂의 가스를 첨가하면서, 수소가 5 sccm 일 때 가장 좋은 박막의 특성을 얻을 수 있었으며, 이때의 유전율은 8.63으로 나타났다. 기존의 normalized된 공정에서 얻을 수 있는 a-SiNx:H 박막의 특성과 비교해 보았을 때,

비교적 근접한 게이트 절연막의 특성을 얻었음을 확인하였다.

앞에서 언급된 그림 2와 그림 3의 내용을 그림 4를 통하여 검증하였다. 무한정 증가된 수소량이 아닌 일정량의 수소량이 첨가되었을 때 (본 실험 조건에서는 H₂, 5 sccm), 플라즈마 내의 a-SiNx:H의 증착을 위한 활성 radical과 하전입자들의 생성이 수소 여기로 인한 electron들의 운동으로 생성량이 증가함으로써, 고품질의 게이트 절연막을 얻을 수 있었으며, 그 전기적 특성을 평가하였다.

4. 결론

본 연구에서는 flexible display를 위하여 ICP source를 사용하여, 저온 공정 게이트 절연막인 a-SiNx:H의 증착과 특성평가가 진행되었다. 150℃에서 진행된 게이트 절연막 증착에서 플라즈마 내의 보다 많은 활성 radical과 하전입자들을 생성시키기 위하여, 수소가 첨가되었으며 일정량의 수소가 첨가되었을 때, 빠져나온 electron들의 영향으로 많은 입자가 활성화되었으며, 이로 인하여 고품질의 박막을 얻을 수 있었다.

본 연구에 있어 추가적으로 플라즈마내의 활성종 거동을 유출할 수 있는 방법이 필요하다. 이에 DLP (double langmuir probe)를 이용하여 그 거동을 추출한 뒤, 이에 대한 해석 메커니즘을 규명할 필요성이 있으나, 가스 조건에 따라서 많은 reaction이 생긴다. 수식의 복잡화와 거대화로 인하여, 본 논문에서는 OES를 이용하여 플라즈마 내의 radical과 하전입자에 따른 거동과 이에 따른 전기적 특성의 평가만을 다루었다. 이후 진행되는 연구에서는 DLP를 이용한 plasma 상태 분석과 이에 대한 해석 메커니즘을 구현하며, 150℃ 이하에서의 고품질의 박막을 얻을 수 있는 방법을 연구 진행하도록 한다.

감사의 글

본 논문(저서)은 지식경제부 IT 산업원천기술개발사업(KI002182, 차세대 디스플레이용 TFT 백플레인 기술개발)으로 지원된 연구임.

REFERENCES

- [1] J. Yota, J. Hander, and A. A. Saleh, *J. Vac. Sci. Technol.*, A18 (2000).
- [2] D. L. Smith, A. S. Alimonda, C. C. Chen, S. E. Ready, and B. Wacker, *J. Electro. Chem. Soc.*, 137, 614 (1990).
- [3] D. Murley, I. French, S. Deane, and R. Gibson. *J. Non-Cryst. Solids.*, 198, 1058 (1996).
- [4] W. B. Jackson, J. M. Marshall, and M. D. Moyer. *Phys. Rev.*, B39, 2 (1989).
- [5] C. V. Berkel and M. J. Powell. *J. Non-Cryst. Solids.*, 97, 903 (1987).
- [6] M. J. Powell, *IEEE Trans. Electron. Dev.*, 36, 2753 (1989).
- [7] D. V. Tsu, G. Lucovsky, and M. J. Mantini, *Phys. Rev.*, B33, 7069 (1986).
- [8] P. Li and W. W. Fan, *Chem. Phy. Lett.*, 367, 645 (2003).
- [9] Y. B. Park and S. W. Rhee. *J. Mater. Phys.*, 12, 515 (2001).
- [10] H. Ohta, A. Nagashima, M. Hori, and T. Goto, *J. Appl. Phys.*, 89 (2001).
- [11] R. Wolf, K. Wandel, and B. Gruska. *Surf. Coat. Technol.*, 142 (2001).