

TCP-CVD 장비를 활용한 광도파로용 Core-SiO₂ 증착

김창조^{a,b} · 신백균^{a*}

^a인하대학교 전기공학부, 인천 402-751

^b아텍시스템 연구소, 인천 403-030

(2010년 3월 3일 받음, 2010년 4월 16일 수정, 2010년 4월 16일 확정)

본 논문에서는 TCP-CVD를 이용하여 실리콘 산화막 형성에서 산화막의 특성에 영향을 미치는 전력, 가스 유량, 기관 바이어스 등의 공정조건에 따른 증착률과 굴절률을 제어하고자 한다. 그 결과 기관온도 300 [°C], SiH₄ : O₂=50 : 100 [sccm], TCP power 1 [kW], 기관 바이어스 200 [W]를 인가한 조건에서 매우 우수한 균일도(<1 [%]) 및 증착률(0.28 [$\mu\text{m}/\text{min}$])과 굴절률(1.4610-1.4621)을 나타내는 안정된 SiO₂ 산화박막을 제조할 수 있었다.

주제어 : TCP-CVD, SiO₂, 증착률, 굴절률

I. 서 론

광도파로는 이중의 굴절률을 갖는 물질을 접합하여 광의 이동을 유도하는 방식으로 광통신 등에 유용하게 사용되는데, 본 논문에서는 2.02의 굴절률을 갖는 Si₃N₄를 base로 core에 SiO₂를 증착시킴으로써 이중물질의 접합을 형성하는 실험이 시도되었다. 광도파로의 특성을 나타내기 위한 SiO₂의 조건은 두께 10 [μm] 이상, 막의 균일도 3 [%] 이내 (4" 웨이퍼 기준), 굴절률 1.46xx로, 굴절률의 경우 최소 소수점 이하 4자리까지의 제어가 필요하다.

SiO₂를 증착시키는 방식에는 대표적으로 FHD (Flame Hydrolysis Deposition)와 일반적인 PECVD (Plasma Enhanced CVD)방식, 그리고 플라즈마의 밀도를 높여 사용하는 HDP (High Density Plasma)-PECVD 방식이 주로 사용되고 있다.

앞서 기술한 FHD 방식은 약 1 [$\mu\text{m}/\text{min}$]의 높은 증착률과 희귀 물질의 증착이 쉽고, 진공 시스템의 장착이 불필요하여 저가화 및 대량생산에 유리한 면이 있으나, 고온의 용융과정을 겪게 되므로, 재료의 응축공정이 필요하고, 1300 [°C]의 고온을 사용하게 되므로, 웨이퍼의 변형을 수반하고 비평형 반응으로 공정제어의 어려움을 겪고 있는 실정이다. 일반적인 PECVD 방식은 300 [°C] 이하의 저온에서 준평형 반응으로 공정제어가 쉬운 장점이 있는 반면, 증착속

도가 낮고, 소스 재질의 선택에 제한이 있으며, gap filling이 취약하고, 약 1,100 [°C] 정도의 온도에서 별도의 annealing 공정이 요구되는 단점이 있다. 이에 반해 HDP-CVD의 경우는 높은 이온밀도(약 10¹² [ions/cm³])와 낮은 공정압력(약 30 [mTorr]) 상태에서 우수한 막 균일도, 높은 증착속도, 고품질의 필름 증착, 양호한 gap filling 특성과 낮은 공정온도(약 300 [°C])의 장점을 보인다. 물론 초기 설비단가가 높은 단점이 있으나, 증착된 막의 특성 측면에서 가장 좋은 조건을 보인다.

본 연구에서는 광도파로의 core 재질 증착에 대해 HDP-CVD법을 활용하여 공정변수(Power, Gas, 기관거리, Bias)에 따른 제조된 박막의 특성을 파악하고, SiO₂ core의 기능을 만족시킬 공정조건을 제시하고자 한다.

II. 실험방법

1. TCP-CVD

본 실험에서는 HDP-CVD(A-Tech system Co., PECVD Lab-1000)을 활용하여 SiO₂ 산화막을 제조하였다. 사용된 장비는 고밀도 플라즈마 형성을 위하여 2 [kW]급 TCP (Transformer Coupled Plasma) source를 이용하

* [전자우편] shinsensor@inha.ac.kr

였다. 또한 공정조건에 따라 증착된 SiO₂ 박막의 특성을 파악하기 위해 SiH₄(≤80 [sccm]), O₂(≤160 [sccm]) 가스의 변화, power변화(source, bias)를 조절하였다. 이때, SiH₄ 기체는 작은 홀이 있는 원형의 gas line을 통하여 기판 근처에서 증착영역으로 유입되며, 높은 에너지를 지닌 산소 플라즈마에 의해 분해되어 증착이 이루어진다. 사용되어진 가스반응에 대한 화학식은 식(1)에 나타내었다.

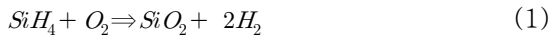


Fig. 1과 Table 1은 사용된 장비의 사진과 공정조건의 범위를 나타내었다.

2. SiO₂ 박막의 특성

본 실험에서 얻고자 하는 박막의 세부사양은 Table 2에



Figure 1. HDP-CVP equipment.

Table 1. Variable process conditions using in this study.

Process		Condition
Power	Source	≤1.0 [kW]/13.56 [MHz]
	Bias	≤500 [W]/13.56 [MHz]
Gas	SiH ₄	<70 [sccm]
	O ₂	<140 [sccm]
Heater		Si-C
Distance of source and substrate		70 mm

나타내었다. 특히, 광도파로 core 재질로서의 SiO₂ 박막의 적용을 위한 것이다. 본 실험을 통해 고밀도박막의 형성을 목적으로 하며 특히, 안정적인 플라즈마 형성, 박막의 증착률 및 박막의 굴절률 특성을 중점적으로 검토하였다.

증착된 박막의 굴절률 및 증착률 특성을 파악하기 위하여 기본적으로 알파스텝(Tencor, a300)과 prism coupler (SAP-3DR)를 사용하였다.

III. 실험결과

1. SiH₄ 유량에 따른 특성

Fig. 2는 SiH₄의 유량에 따라 증착된 박막의 증착률을 조사한 결과이다. SiH₄와 O₂의 비를 1 : 2로 유지하고, SiH₄의 유량을 증가시킬 때, 막의 두께는 유량에 비례하여 증가하였다.

70 sccm 이상의 SiH₄ 유량은 과도한 가스량 사용과 pumping 한계에 의해 50 mTorr 이하의 공정압력을 유지할 수 없어 조건에서 제외되었다.

Table 3에 공정조건을 나타내었으며, SiH₄의 유량이 증가함에 따라 증착률이 함께 증가함을 알 수 있다.

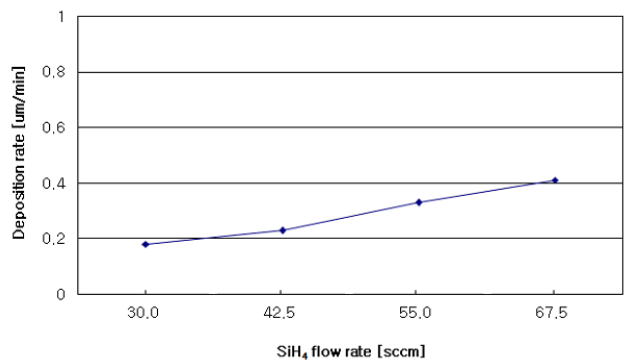


Figure 2. Deposition rate of SiO₂ thin film with SiH₄ gas flow rate.

Table 2. Demanded specification as SiO₂ passivation film.

항목	보호막 적용을 위한 박막 Spec.
Uniformity	≤±5%
Process temperature	≤300°C
reflective index	고정밀 SiO ₂ 굴절률(n=1.4610-1.4621)

Table 3. Process condition of SiO₂ film with gas flow.

SiH ₄ : O ₂ = 1 : 2, TCP 1,000[W], bias 100[W]					
SiH ₄	30	42.5	55	67.5	sccm
O ₂	60	85	110	135	sccm
Pressure	15	22	33	53	mTorr
Depo. rate	0.18	0.23	0.33	0.41	μm/min

Table 4. Process condition of SiO₂ film with working pressure.

SiH ₄ 30 sccm, O ₂ 60 sccm, TCP 1,000 [W], bias 100 [W]				
Pressure	15	20	30	mTorr
Depo. rate	0.18	0.18	0.18	μm/min

Table 5. Process condition of SiO₂ film with working pressure.

SiH ₄ 55[sccm], O ₂ 110[sccm], TCP 1,000[W]					
Bias	0	100	200	400	w
Depo. rate	0.24	0.33	0.31	0.29	μm/min

2. 공정압력에 따른 증착물의 변화

Fig. 3은 SiH₄=30 [sccm], O₂=60 [sccm]으로 고정하고, 공정압력의 변화에 따라 증착된 박막의 증착률을 조사한 결과이다. TCP 전력은 1,000 [W]를 사용하였고, 기관 바이어스는 100 [W]를 사용하였다. 예상했던 결과와는 달리, 공정압력의 변화는 막의 증착률에 영향을 보이고 있지 않았다. 따라서 SiO₂ 박막의 증착률에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 SiH₄의 유량임을 알 수 있다.

Table 4에 공정조건을 나타내었으며, 공정압력의 변화는 증착률에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

3. 바이어스 전력에 따른 증착물의 변화

Fig. 4는 SiH₄=55 [sccm], O₂=110 [sccm]으로 유입하고, 공정압력은 30 [mTorr]로 고정한 상태에서 바이어스 전력을 변화시켜 증착된 박막의 증착률을 조사한 결과이다.

바이어스 전력을 인가하지 않은 상태에서 400W 인가상태까지의 증착두께를 측정된 결과, 바이어스 전력이 100 [W] 인가된 조건에서 증착률이 가장 높았으며, 바이어스 전력이 100 [W] 이상으로 증가되면, 증착률이 감소하는 경향을 보였다. 기관에 바이어스를 인가하게 되면, 기관쪽에서

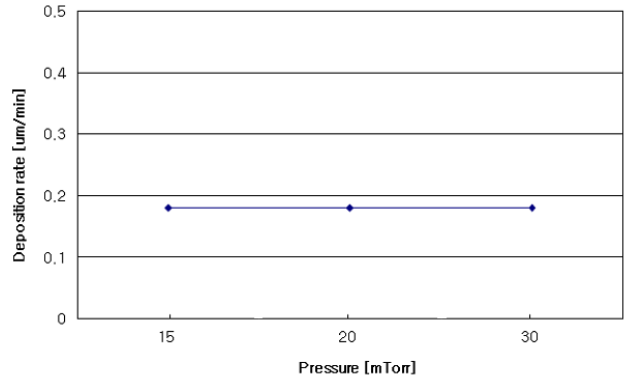


Figure 3. Deposition rate of SiO₂ thin film with working pressure.

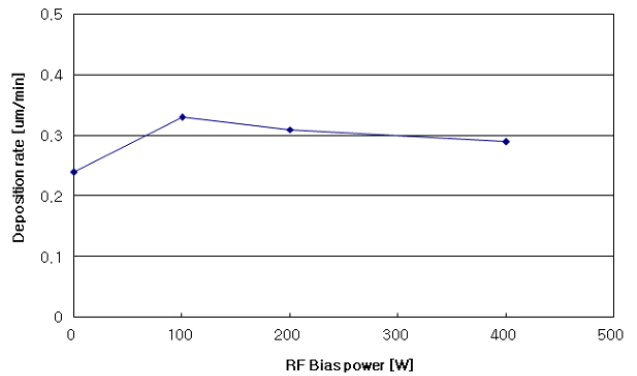


Figure 4. Deposition rate of SiO₂ thin film with bias power.

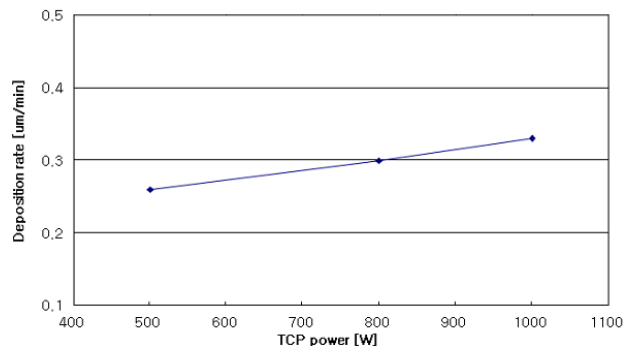


Figure 5. Deposition rate of SiO₂ thin film with TCP power.

발생하는 플라즈마에 의해 더 치밀한 박막이 형성되는 반면, 기관에서 발생하는 플라즈마에 의한 sheath 영역의 확대에 기인하여 증착률은 다소 감소하는 것으로 생각된다.

Table 5에 공정조건을 나타내었으며, 바이어스 전력이 100 [W] 이상으로 증가하는 경우 증착률이 감소됨을 알 수 있다.

4. TCP 전력에 따른 증착물의 변화

Fig. 5는 플라즈마 소스인 TCP 안테나에 점차적으로 높은 전력을 인가함으로써 전력에 대한 증착물의 변화를 조사한 결과를 나타내었다. 전력이 증가할수록 증착물은 증가하는 경향을 보이는데, 이는 반응에 참여하는 이온의 형성이 전력 의존적으로 증가하기 때문임을 예측할 수 있다. Table 6에 공정조건을 나타내었으며, 전력의 증가에 따라 점차적인 증착물의 증가를 보이고 있다.

5. RF bias에 따른 균일도의 변화

가스의 유량을 SiH₄ : O₂ = 50 : 100 [sccm]으로 고정하고 소스의 전력을 1 [kW]로 고정된 후, 기판에 인가한 RF bias에 따른 증착률과 4" 웨이퍼 내부에서의 균일도를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보면 바이어스를 인가하지 않은 경우 4" 웨이퍼의 중심부와 외곽 부분에 대한 증착률을 측정했을 때, 외곽부위로 갈수록 증착속도가 감소하고 있다. 이는 바이어스를 인가하기 위한 기판 구조에서 기판이 놓이는 부분은 절연 상태로 유지되는데, 이는 TCP 전력이 인가되면서 기판의 외곽 부분에서의 전계 왜곡에 기인한 것으로 생각된다. 바이어스의 전력을 100 [W] 인가한 경우도, 바이어스를 인가하지 않은 경우와 유사하게 웨이퍼의 외곽 부분으로 갈수록 증착속도가 감소하는 경향을 보이는데, 이는 기판에 인가된 바이어스 전력이 증착속도 증가 측면에서는 효과를 주었으나, 전체 균일도에 큰 효과를 주지 못했음을 알 수 있다. 바이어스를 200 [W] 인가한 경우, 매

Table 6. Process condition of SiO₂ film with working pressure.

SiH ₄ 55 [sccm], O ₂ 110 [sccm], bias 100 [W]				
TCP power	500	800	1,000	w
Depo. rate	0.26	0.3	0.33	μm/min

Table 7. Process condition of SiO₂ thin film with RF bias.

SiH ₄ 50[sccm], O ₂ 100[sccm], TCP 1,000[W]					
RF bias	0	100	200	250	w
center	0.28	0.34	0.28	0.31	μm/min
middle	0.25	0.32	0.28	0.33	μm/min
edge	0.24	0.29	0.28	0.34	μm/min

우 좋은 균일도를 보이고 있는데, 바이어스를 인가하지 않은 경우의 웨이퍼 중심부에서의 증착속도와 바이어스를 100 [W] 인가한 상태에서 웨이퍼의 외곽부위 증착속도에 매우 유사한 증착속도를 보이고 있다. 이는 기판 전체의 전계를 균일하게 유지할 수 있는 적절한 바이어스의 전력이 인가되었음을 알 수 있는 결과이다. 이와 같은 결과로부터 200 [W] 전력의 바이어스 인가에서 매우 우수한 막 균일도를 확보할 수 있었다. 바이어스를 250 [W]로 인가한 경우 오히려 웨이퍼의 외곽쪽으로 갈수록 증착속도가 증가함을 알 수 있는데, 이는 바이어스의 증가가 가스유량 및 TCP 전력에 관계된 적절한 바이어스 값을 넘어가면서, 잉여의 바이어스 값이 외곽에서 소모가 되었기 때문으로 판단된다. Table 7에 공정조건을 나타내었으며, 바이어스 전력 200 [W]에서 가장 우수한 균일도를 보이고 있다.

6. 가스 혼합비에 따른 굴절률의 변화

Fig. 7은 SiH₄의 유량을 60 [sccm]으로 고정하고 산소

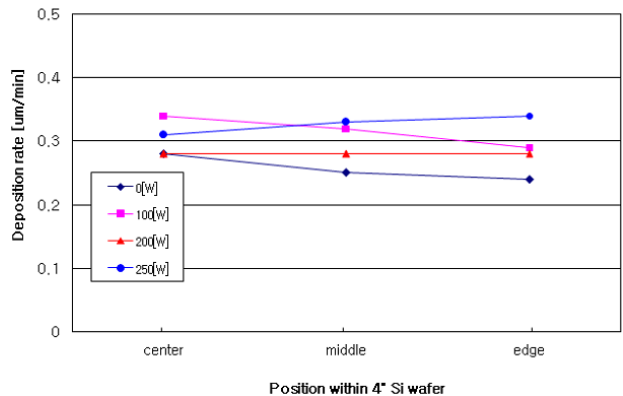


Figure 6. Uniformity of SiO₂ thin film with RF bias.

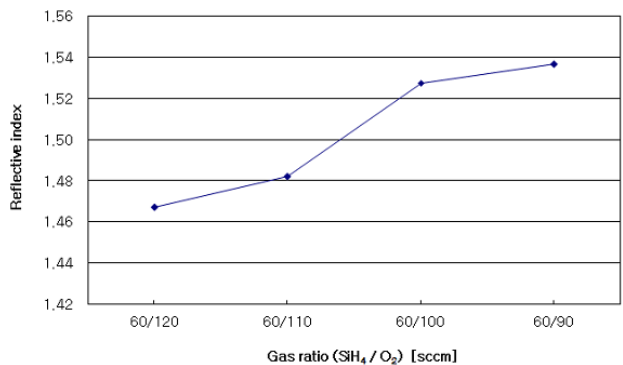


Figure 7. Reflective index of SiO₂ thin film with gas ratio.

Table 8. Process condition of SiO₂ thin film with gas ratio.

SiH ₄ 60 [sccm], TCP 1,000 [W], bias 200 [W], 20 [min]					
Gas ratio	60/120	60/110	60/100	60/90	
O ₂	120	110	100	90	sccm
Working pressure	53	49	44	37	mTorr
Thickness	7.3	5.98	5.65	5.15	μm
Reflective index	1.4671	1.482	1.5275	1.5367	

의 유량을 변화시켜 증착된 막의 굴절률을 측정한 결과이다. 실제 사용 조건에서의 굴절률을 측정하기 위해 증착시간은 20분으로 설정하였다. 상기의 결과로부터 SiH₄ : O₂=60 : 120 [sccm]의 1 : 2 비율에서 가장 양호한 굴절률을 확보할 수 있었다. O₂의 유량이 감소하여 상대적으로 SiH₄의 유량이 증가하게 되면 형성되는 막 내부에 실리콘이 다량 함유된 (Si rich) 영역이 형성되므로, 굴절률이 점차 증가하는 것으로 판단된다. Table 8에 공정조건을 나타내었으며, SiH₄ : O₂=60 : 120 [sccm]의 1:2 비율에서 가장 양호한 굴절률을 보이고 있다.

IV. 결 론

광도파로(wave guide)의 core 재질로서의 적용을 위해 TCP-CVD 장비를 활용하여 각 공정조건 변화에 따른 증착되어진 SiO₂ 박막의 특성을 검토하였고 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 박막의 두께(증착률) 및 굴절률 특성은 O₂나 SiH₄ 어느 한 종류의 거동에 지배되지 않고, 두 가스 모두에 영향을 받음을 알 수 있었다.
- (2) 소스 전력 증가에 따른 증착률은 반응가스의 이온 증가

와 활성화 증가로 SiH₄ 가스의 반응 효율이 증대되어 증착률은 증가하는 경향을 보인다. 그러나 기판 바이어스 전력을 100 [W] 이상 인가함에 따라 증착률은 감소하였다.

- (3) TCP-CVD를 사용해서, 공정온도 300 [°C] 이하에서 기판바이어스 200 [W], TCP 전력 1 [kW], SiH₄ : O₂의 유량비 50 [sccm] : 100 [sccm] (1 : 2)에서 1 [%] 이하의 균일도 및 0.28 [μm/min]의 증착률을 보이는 SiO₂ 박막을 증착하였다.

감사의 글

이 논문은 인하대학교의 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

- [1] Dongwook Shin, Journal of Ceramic Processing Research 7, 4, 379-383 (2006).
- [2] A. Amassian, M. Gaidi, M. Chaker, and L. Martinu, Journal of Vacuum Science & Technology A 24, 55-64 (2006)
- [3] K. R. Bera, R. Shahid, and C. K. Kartik, Journal of Vacuum Science & Technology A 27, 706-711 (2009).
- [4] 박상무, 이봉주, 한국진공학회, 17, 455 (2008).
- [5] J. Y. Kim, Journal of Korean Vacuum Science & Technology 7, 39-44 (2003).

Deposition of SiO₂ Thin Film for the Core of Planar Light-Wave-Guide by Transformer Coupled Plasma Chemical-Vapor-Deposition

Changjo Kim^{a,b} and Paik-Kyun Shin^{a*}

^a*School of Electrical Engineering, INHA University, Incheon 402-751*

^b*Research Center, A-Tech System, Incheon 403-030*

(Received March 3, 2010, Revised April 16, 2010, Accepted April 16, 2010)

In this paper, we controlled the deposition rate and reflective index with process conditions that are TCP power, gas flow ratio and bias for optical properties of SiO₂ thin film using TCP-CVD equipment. We obtained a excellent SiO₂ thin film which has a excellent uniformity (< 1 [%]), deposition rate (0.28 [$\mu\text{m}/\text{min}$]) and reflective index (1.4610-1.4621) within 4" wafer with process conditions (SiH₄ : O₂=50 : 100 [sccm], TCP power 1 [kW], bias 200 [W]) at 300 [$^{\circ}\text{C}$].

Keywords : TCP-CVD (Transformer Coupled Plasma Chemical Vapor Deposition), SiO₂,
Depositon rate, Reflective index

* [E-mail] shinsensor@inha.ac.kr