

LPCVD 및 PECVD 시스템

李 中 煥

韓國電子技術研究所 研究員

I. 서 론

화학증착장치(CVD)란 특정의 반응기체들이 적절한 조건하에서 화학반응을 일으킬때 생성되는 고체상의 물질이 가공하고자 하는 물체의 표면에 증착되는 현상을 이용하는 장치이다. 이때의 반응은 일반적으로 서브스트레이트에 유지되는 온도 및 그에 따른 열적 에너지에 의하여 진행된다. 때로는 R.F. 방전에 의한 플라즈마 에너지(PECVD) 또는 자외선 에너지(PVD) 등의 상승작용에 의하여 촉진되기도 한다.

CVD 증착 기술은 최근 (1978~)반도체 산업에 적용되어 매우 빠른 속도로 진보되고 있는데 이것은 (1) epitaxial layer를 이용한 반도체 제조공정의 개발, (2) 양질의 poly silicon, silicon nitride 그리고 silicon dioxide 등을 적은 비용으로 대량 생산 공정에 적용하기 위한 노력, (3) passivation용 silicon dioxide 또는 silicon nitride를 낮은 온도에서 증착시켜야 할 필요성 등에 의한 것이라고 볼 수 있다.

CVD 장비는 온도범위, 증착압력, 리액터의 구조 및 wall의 온도, energy source 그리고 증착막의 종류 및 반응 기체의 종류등에 따라 여러가지로 분류할 수 있다.

본 논문에서는 LPCVD 시스템에 대하여 언급하고자 하며 LTO, PECVD 그리고 PVD 등은 모두 vacuum 장치를 이용한 저압에서 증착 공정이 이루어지므로 넓은 의미의 LPCVD에 포함하여 함께 소개하기로 한다. 또한 각각의 증착 장비는 몇 가지 점을 제외하면 모두 공통된 특징을 가지고 있으므로 먼저 LPCVD 시스템의 장점 및 리액터 구조 그리고 증착 메카니즘등과 이 시스템에서 생성되는 각 증착막들의 성질을 취급하고, PECVD등의 다른 시스템의 특징 및 용도를 간단히 비교하고자 한다.

II. LPCVD 시스템

LPCVD 리액터는 일반적으로 cold wall형과 hot wall형으로 크게 나눌 수 있다. Cold wall형은 그림 1에서 보는 바와 같이 RF induction heating 또는 radiant heating 방식으로 susceptor를 가열하며 리액터의 wall에는 deposition이 진행되지 않도록 냉각수를 순환시켜 준다.

이와같은 종류의 리액터들은 그 크기가 작고 여러가지 형태로의 리액터 변환이 가능하기 때문에 연구 개발용으로 많이 사용되나, 한꺼번에 많은 웨이퍼를 로딩할 수가 없고, 제작비가 비싸기 때문에 반도체의 대량생산용으로는 부적당하다.

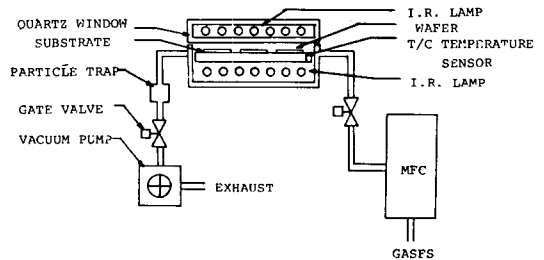


그림 1. Cold wall형 LPCVD 리액터

Hot well형은 그림 2와 같이 단순한 resistance heated furnace 방식을 사용하며 제작비가 싸기 때문에 반도체의 대량생산용으로 가장 널리 쓰이고 있다. 웨이퍼는 boat의 측과 수직이 되게 일정한 간격으로 여러 장을 겹쳐 놓을 수 있으므로 로딩 용량이 매우 증가되어 100~200장의 웨이퍼를 한번의 증착 공정으로 처리할 수가 있다.

반응 기체는 tube의 입구로부터 주입되며 그 주입량(20~200 SCCM)은 MFC(질량조절장치)에 의하여 정확히 조절된다. 진공펌프는 증착공정이 진행되는 동

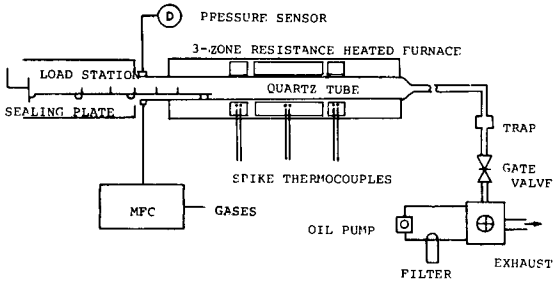


그림 2. Hot wall형 LPCVD 리액터

안 계속 열려 있으므로 주입된 반응기체는 tube 내에 주어진 온도와 진공 펌프의 용량 및 배기구조에 의하여 결정되는 일정한 압력 (200-700mT)을 유지하게 된다. (좀더 개량된 방법으로는 배기 구조에 rotary valve를 장치하여 tube내의 압력을 조절할 수도 있음.) 이때 주어진 각 반응기체의 부분압력 및 온도에 의하여 증착 반응은 진행되고 미반응 기체 및 부생성물은 진공 펌프에 의하여 배기되며, 이와 같은 상황은 증착 공정이 진행되는 동안 동적 평형 상태를 유지하게 된다. LPCVD의 증착 반응은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.¹¹⁾

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \quad (1)$$

단, r : 전반적인 반응속도

r₁ : 확산속도

r₂ : 화학 반응속도

전체압력이 높을때 기체분자의 확산능력은 각 기체 분자간의 충돌에 의하여 매우 저하되나 압력이 낮아질수록 점차 증가하여 LPCVD의 증착압력(200~700mT)에서는 1기압일때와 비교하여 약 1000배 정도에 달하는 확산능력을 가지게 된다.¹²⁾ 그러므로 식(1)은 확산속도(r₁)가 매우 크게 되므로 r ≈ r₂로 표현할 수 있으며 Arrhenius¹³⁾의 화학 반응속도식을 참고하여 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$r \approx r_2 = A \exp(-E_a/KT) \cdot P_A^a \cdot P_B^b \dots P_N^n \quad (2)$$

단, E_a : 증착반응의 활성화 에너지

P_A, P_B, ……., P_N : 각 반응 기체의 부분압력

a, b, ……n : 실험적 반응차수

식(2)는 다음과 같은 대부분의 LPCVD 공정 변수를 포함하고 있다.

- 1) 온도 (A 및 -E_a/KT)
- 2) 반응 기체의 부분압력 (P_A, P_B, ……., P_N)
- 3) 반응 기체의 특성 (a, b, ……., n)

4) 각 증착 반응의 특성 (A 및 E_a)

5) 리액터의 특성 (A)

1. 온도에 따른 효과

그림 3은 resistance heated furnace 방식 LPCVD 리액터에서 세가지 다른 온도로서 폴리 실리콘을 증착시킬때 tube의 축에 따른 증착속도를 나타낸 것이다.¹⁴⁾ 온도가 비교적 낮을때 (525°C)의 증착속도는 웨이퍼가 놓이는 위치에서 매우 균일하나 비교적 높은 온도 (725°C)의 증착속도는 반응기체의 주입구쪽이 지나치게 증가하며 배기구쪽은 반응기체의 부분압이 급격히 감소된 효과로 인하여 증착 속도가 크게 감소된다.

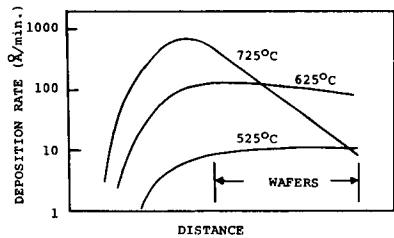


그림 3. 세 가지 다른 온도에서의 LPCVD 폴리 실리콘 증착속도의 분포

그러나 600°C 이하에서 증착되는 실리콘은 비결정질로서 폴리 실리콘 형성에 적합하지 않으므로¹⁴⁾ 이 두 가지 효과를 고려한 적절한 증착온도의 선택이 필요하게 된다. 그림 4는 tempress 280 furnace에서 얻어지는 두 가지 온도 분포곡선으로서 가로축에는 웨이퍼가 놓이는 장소인 boat의 위치가 표시되어 있다.

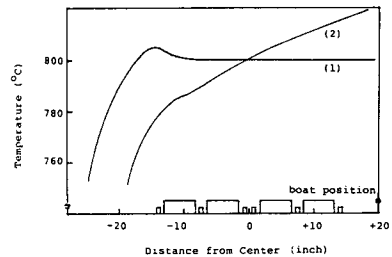


그림 4. Tempress 280 furnace에서의 두 가지 온도 분포

그림 4 (1)에서와 같은 균일한 온도분포로 몇 가지 온도범위에서 실리콘 nitride를 증착시키면 그림5에서

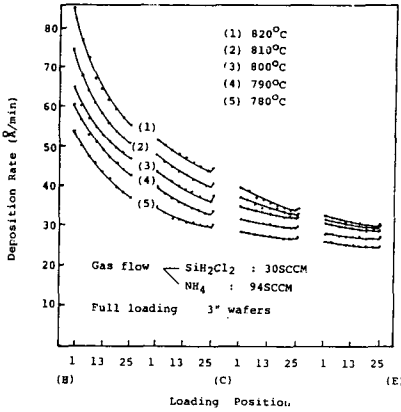


그림 5. 균일한 온도 분포에서 로딩 위치에 따른 LPCVD 실리콘 nitride 증착속도의 분포

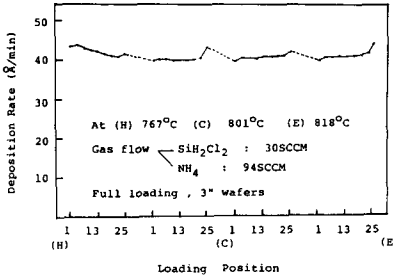


그림 6. 적절한 온도 기울기에서 로딩 위치에 따른 LPCVD 실리콘 nitride 증착속도의 분포

보는 바와 같은 결과가 얻어지는데 이 그림에서 증착 속도는 작은 온도변화에 대하여 매우 민감한 변화를 보이고 있으며 또 주입구쪽과 배기구쪽의 웨이퍼 사이의 증착속도 차이가 매우 큼을 알 수 있다. 실제의 생산공정에서는 증착속도의 균일도를 얻기 위하여 주입구와 배기구 사이에 그림 4 (2)와 같은 작은 온도 기울기를 주는 방법이 널리 쓰이고 있으며 그 결과가 그림 6에 제시되어 있다.

그림 5와 그림 6의 모든 실험치에서 각 boat의 25번 위치에 놓인 웨이퍼는 증착속도가 특히 증가하고 있음을 볼 수 있는데 이것은 웨이퍼의 앞면이 boat사이의 빈간격으로 인하여 노출되어 반응 기체의 부분압력이 다른 위치보다 높아진 영향을 받을 것이라 볼 수 있다.⁽⁵⁾

2. 반응 기체의 부분압력에 따른 효과

식 2를 살펴보면 반응기체의 부분압력은 각 반응기체의 특성인 반응차수와 결합되어 표현되고 있다. 그

림 7은 Kern⁽⁴⁾등의 실험 결과를 인용한 것으로 LPCVD 증착반응에서의 반응기체의 부분압력과 반응기체의 특성에 따른 효과를 잘 설명해 주고 있다. 이 그림에서는 온도의 증가 및 SiH₂Cl₂ 부분압력의 증가에 따른 실리콘 nitride 증착속도의 증가효과를 볼 수 있는데 증착반응 속도의 대수값은 SiH₂Cl₂ 부분압의 대수값과 직선관계를 가지며 그 기울기는 이 증착반응에서 SiH₂Cl₂의 반응차수이고 그 값은 서로 다른 온도에서도 변하지 않고 일정한 값을 가지는 것을 알 수 있다.

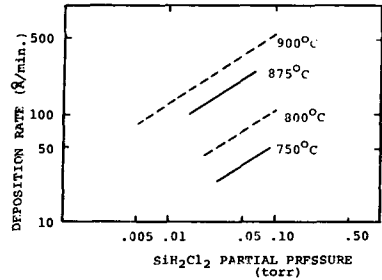


그림 7. 여러 가지 온도에서 SiH₂Cl₂ 부분압력의 변화에 따른 LPCVD 실리콘 nitride 증착속도의 변화

3. 증착반응의 특성에 따른 효과

LPCVD 시스템의 특징은 증착반응이 저압에서 이루어짐으로서 얻을 수 있는 여러가지 장점이 있다고 할 수 있다.

특히 반응기체의 확산 능력이 크게 증가함에 따라서 증착 반응속도는 표면 반응속도가 지배하게 되고 이로 인하여 증착 균일도가 매우 좋아지며, 증착막의 step coverage가 크게 향상되었다.

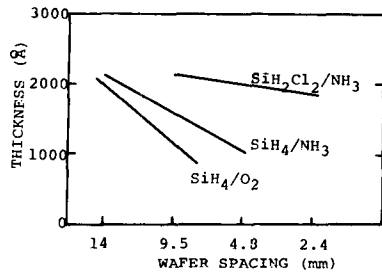


그림 8. 서로 다른 반응기체의 조합에서 웨이퍼 간격의 변화에 따른 웨이퍼 중심의 LPCVD 증착 두께 변화

그러나 식 (2)에서 증착반응의 활성화 에너지가 매우 낮은 증착반응이거나 또는 이 활성화 에너지에 대하여 비교적 높은 온도에서는 화학반응 속도가 매우 커지므로 확산속도에 의한 영향을 무시할 수가 없게 된다.

그림 8은 두 종류의 반응기체가 증착반응을 일으킬 때 웨이퍼 간격에 따른 웨이퍼 중심에서의 증착 두께 변화를 나타낸 것으로⁽⁶⁾, SiH₂Cl₂와 NH₃의 실리콘 nitride 증착 반응에서는 반응기체의 확산속도가 화학 반응속도에 비하여 매우 크므로 웨이퍼 중심에서의 두께 변화가 적으며, SiH₄와 O₂가 실리콘 dioxide 증착반응을 일으키는 경우에는 확산 속도가 화학반응속도에 비하여 충분히 크지 않으므로 웨이퍼 간격이 높을수록 반응기체가 웨이퍼의 중심까지 도달하기 어려움을 감안하여 증착 두께가 감소하는 것으로 생각할 수 있다.

SiH₂Cl₂와 N₂O의 실리콘 dioxide 증착반응의 경우에도 SiH₂Cl₂/NH₃ 시스템과 비슷한 결과를 보이고 있으며 이러한 결과로부터 좋은 균일도를 얻기 위해서 적절한 반응기체의 선택도 매우 중요함을 알 수 있다.

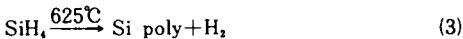
4. 리액터의 특성에 의한 효과⁽⁵⁾

LPCVD 증착공정에서 균일도를 결정하는 또다른 큰 요인으로서 증착로 속의 입체적인 로딩 모양과 진공배기 장치의 성능등을 들 수 있다. 실제의 증착 공정에서는 필요에 따라 증착로의 크기나 웨이퍼의 크기 및 boat 모양을 바꾸는 것은 불가피하며 시간에 따른 배기장치의 성능 저하로 반응기체의 흐름과 압력분포에 변화가 생긴다.

또한 이들 효과는 증착막의 균일도 유지에 결코 무시할 수 없는 영향을 미치므로 LPCVD 시스템의 반도체 생산 공정에서의 적용을 위해서는 이에 대한 충분한 고려가 있어야 하겠다.

III. LPCVD 증착막의 성질

1. 폴리 실리콘 (Poly Silicon)



폴리 실리콘의 단결정 실리콘과 서로 다른 성질은 그레인 구조로부터 기인하며 그레인의 크기에 따라 그 물리적, 화학적 성질에 조금씩 다른 차이를 주게 된다.^(4,7) 증착 직후의 그레인의 크기는 증착 온도에 따라 다르며 서브스트레이트의 표면구조 및 증착막의 두께에 따라서도 차이가 있다.

그림 9는 Brown⁽⁴⁾ 등의 실험결과를 인용한 것으로 625°C 저압 및 960°C 상압에서 증착한 폴리 실리콘과 단결정 실리콘 위에 인을 implantation-annealing 한후

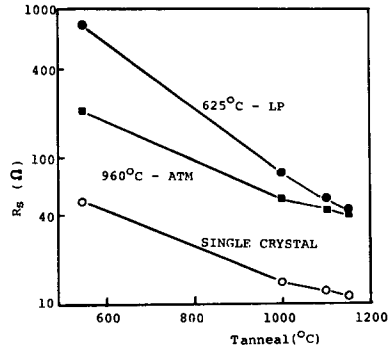
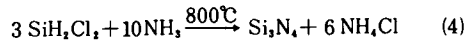


그림 9. 625°C 저압과 960°C 상압에서 증착된 폴리 실리콘과 단결정 실리콘에 5×10¹⁵cm⁻², 50KeV 로 인을 implantation 한 후 annealing 온도변화에 따른 Rs의 변화

측정한 Rs가 annealing 온도에 따라 감소하는 것을 보여 주고 있다. 일반적으로 증착 온도가 높을수록 폴리 실리콘의 그레인 크기는 증가하며, 이에 따라 불순물이 implantation된 증착막의 Rs는 감소한다. 그러나 그림 9에서 annealing 온도가 높아질수록 625°C와 960°C에서 증착된 폴리 실리콘의 Rs 값이 서로 접근하여 그 차이가 줄어들음을 볼 수 있다. 이것으로 불순물이 doping된 폴리 실리콘은 높은 온도에서 annealing 할수록 그레인 크기가 증가하며, 낮은 온도에서 증착된 폴리 실리콘이라도 후속되는 공정에서 불순물에 의한 doping과 고온에서의 annealing 효과를 받게 되면 그 그레인 구조가 변화됨을 알 수 있다.

2. Silicon Nitride



실리콘 nitride는 화학적으로 매우 안정하며 증착막의 내부에서는 O₂의 확산 이동이 거의 불가능하여, 산화공정시의 masking 물질로 많이 쓰이고 있으며 표 1⁽²⁾에서 보는 바와 같은 높은 굴절률을 이용한 광학기구의 coating 또는 ISFET의 제작등의 특수한 목적으로

표 1. LPCVD 증착막의 성질

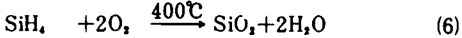
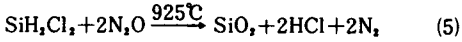
증착막	Si ₃ N ₄	LTO	HTO	단결정산화막
굴절률 (n)	1.98	1.46	1.46	1.46
유전률 (ε)	~7	4.25	~3.7	3.8
밀도 (g/cm ₃)	2.8	~2.1	2.25	2.25

사용되기도 한다. 실리콘 nitride의 식각은 HF용액에서 그 속도가 대단히 느리며 150°C의 인산 또는 플라즈마 식각을 이용한다. 증착 공정에서 충분한 NH₃ 주

입량이 요구되는데 NH₃가 부족하면 증착막내의 Si의 비율이 높아져서 실리콘 nitride 증착막의 성질에 나쁜 영향을 미치게 된다.^[2,4]

일반적으로 NH₃/SiH₄Cl₂ 주입량의 비율이 3/1 이상일때 증착막의 굴절률 및 조성이 안정된다고 알려져 있다.^[6]

3. 실리콘 Dioxide



실리콘 dioxide를 증착하는 방법은 고온과 저온의 두 가지 방법이 있는데 특히 저온에서 증착하는 시스템을 LTO(low temperature oxide deposition)라고 부른다. 고온에서 증착되는 산화규소막은 표 1에서 보는 바와 같이 단결정을 산화시켜서 얻는 산화규소와 거의 비슷한 성질을 가진 양질의 증착막이다.

특히 SiH₂Cl₂를 반응기체로 사용한 경우에는 부반응 물질로 생성되는 Cl⁻이 증착막 속에 다량 존재하게 되며^[6] 이로 인한 gettering 효과를 얻을 수 있다. 그러나 Cl⁻의 과량존재로 인하여 증착 공정이후 4000Å 이상의 산화막 성장공정이 진행되면 표면의 거칠어짐 현상이 일어나므로 주의해야 한다. LTO 시스템은 주로 두 전도층을 격리해 주는 중간 비전도층이나, passivation용으로 사용되며 gettering 효과를 얻기 위하여 인을 함유한 산화막(PSG)으로 증착시키는 수가 많다. 반응기체의 주입시 PH₃를 일정한 비율로 섞어주면 자동적으로 형성되는 PSG는 고온에서 유동성이 강하여 높은 스텝 간격차를 메꾸어 줄 수 있으므로 급속 증착공정의 나쁜 step coverage를 보상해 주는 tapering 효과도 동시에 얻을 수 있다.^[6] 그러나 LTO 시스템은 그림 8에서 예측할 수 있는 바와 같이 좋지 못한 균일도를 가지므로 이를 보상하기 위해 반응기체 주입장치의 배려등의 특별한 리액터 설계가 요구된다.

IV. PECVD 및 PVD 시스템

1. PECVD 시스템

실리콘 nitride는 표 1에서 참고할 수 있는 바와 같은 물리적 성질과 치밀한 구조로 인하여 알카리 이온의 확산 및 투과를 방지하는 특성이 뛰어나므로 고급 반도체 제품의 passivation용 물질로 많이 쓰이고 있다.

그러나 열적인 에너지만으로는 실리콘 nitride의 증착가능 온도가 매우 높아서 급속 증착공정후의 공정에 적용할 수가 없다.

따라서 이 증착막을 저온에서 얻기 위해서는 열적인

에너지 이외의 다른 종류의 에너지를 가해줄 필요가 있다.

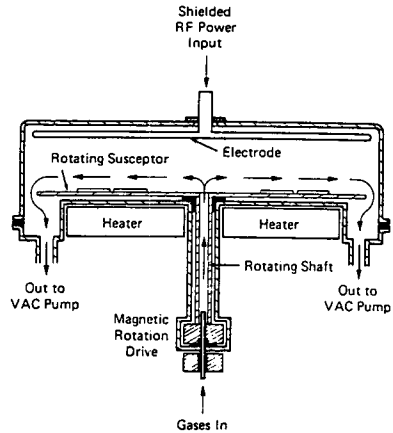
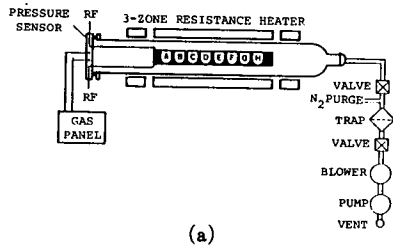
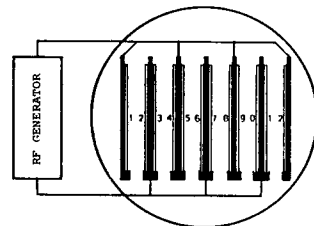


그림 10. Cold wall형의 PECVD 리액터



(a)



(b)

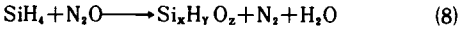
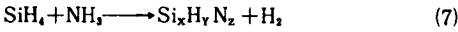
그림 11. Hot wall형의 PECVD 리액터

(a) 측면과 (b) 정면의 단면도

그림 10과 그림 11은 가장 일반적으로 쓰이고 있는 두 가지형의 PECVD(plasma enhanced CVD reactor)로서 평행한 두 전극사이를 저압으로 만들어 주고 RF를 걸어주면 기체 방전이 일어난다.

이때 두 전극 사이의 기체분자들은 여러종류의 ion으로 해리가 일어나는데, 이렇게 해리된 ion들은 서브스트레이트와의 충돌로 인하여 증착반응을 일으킨다. 그림 11의 PECVD 리액터는 생산성을 고려하여 설계된 것

으로 최대 12×8=96장의 3" 웨이퍼를 로딩할 수 있다.



위식은 PECVD 시스템에서 질화규소막과 산화규소막의 증착반응식으로 플라즈마 상태의 ion들이 과격한 에너지를 가지고 일으키는 반응인만큼 생성되는 증착막의 조성은 여러가지 증착 조건에 따라 변화될 것을 내포하고 있다.

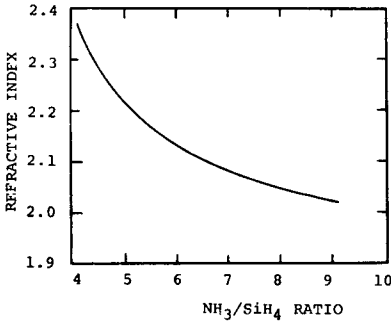


그림 12. NH₃와 SiH₄ 주입비율의 변화에 따른 PECVD 실리콘 nitride 굴절률의 변화

그림 12는 주입되는 NH₃와 SiH₄의 비율에 따른 증착막의 굴절률 변화를 보인 것으로 LPCVD의 경우보다 더 큰 NH₃/SiH₄ 주입비율인 8/1 이상에서 안정된 굴절률을 얻을 수 있음을 알 수 있다.⁽¹⁰⁾

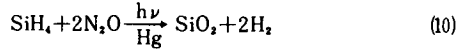
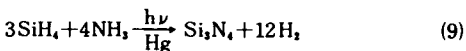
PECVD 시스템으로서는 식 (8)에서와 같은 반응으로 oxide 및 PSG 증착도 가능하며 폴리 실리콘의 증착도 시도되고 있다.

장점으로는 많은 종류의 물질막에 대하여 낮은 온도에서의 증착이 가능하며 증착속도가 빠르고 대부분의 LPCVD 장점을 그대로 가지고 있는 점이라 하겠다.

최근에는 유기금속 물질을 반응물질로 하여 금속을 증착시킬 수 있는 방법에 대한 연구도 활발한데 E-gun 및 S-gun으로 증착되는 금속층의 나쁜 step coverage를 개선할 수 있는 방안으로서 기대되고 있다.⁽¹¹⁾

2. PVD 시스템⁽¹²⁾

PECVD 시스템과 같은 목적으로 개발된 시스템으로 플라즈마 에너지 대신 자외선의 복사 에너지를 사용하여 반응 기체를 활성화시키며, PECVD 시스템에서 발생하는 증착막 조성의 불안정과 플라즈마에 의한 손상등을 제거할 수 있는 장점이 있다.



여기서는 Hg 증기를 광반응 촉진제로 사용하는데 그 이유는 SiH₄와 NH₃를 야기시킬 수 있는 복사선의 파장은 2200Å 이하이나 이 파장영역 부근에서는(2000Å 이하) 석영관에서의 흡수가 크게 일어나므로 비경제적이기 때문이다. 이 증착반응은 radical 반응으로서 광흡수를 하여 야기된 Hg*가 SiH₄ 또는 NH₃를 radical 상태로 만들어 반응을 개시한다.

PVD 시스템의 또다른 장점으로서 증착 가능한 온도가 매우 낮아 50°C 까지 이므로, 감광막이 입혀진 웨이퍼 위의 증착공정이 가능한 것등 매우 넓은 범위의 적용이 가능한 점을 들 수 있다.

V. 결 론

LPCVD 시스템의 반도체 제조공정에의 적용은 매우 광범위하여 새로운 시스템의 개발과 리액터의 개선을 위한 노력이 계속되고 있다. 예로써, silicide 증착공정의 개발을 들 수 있는데, 폴리 실리콘의 높은 비저항값과 금속과의 접촉저항은 VLSI 공정에의 적용에 제한을 가져왔다. 그러나 텅스텐, 몰리브덴 등의 금속과의 결합물인 silicide는 폴리 실리콘의 특성을 그대로 간직하면서 비저항값과 금속과의 접촉저항을 크게 낮출 수 있었다. Silicide를 증착하기 위한 E-gun 및, Co-sputter 방식에 의한 시도가 있었으나 장비의 제작이 어렵고 증착된 막의 step coverage가 좋지않은 단점이 있었다. 그러나 LPCVD 시스템에서 WF₆와 SH₄의 혼합 기체로부터 얻어지는 silicide⁽¹³⁾는 위의 두가지 문제점을 모두 해결하여 silicide 공정의 VLSI 기술에의 적용을 가능하게 하였다.

이상과 같은 고찰에 의하여 LPCVD 시스템은 다음과 같은 장점을 갖추고 있음을 알 수 있었다.

- 1) 증착막의 균일도가 좋다.
- 2) 양질의 증착막을 얻을 수 있다 (HT).
- 3) 생산성을 고려한 적은 비용의 증착공정이 가능하다.
- 4) 로딩 용량이 크다.
- 5) Step coverage가 좋다.

LPCVD 시스템의 이와같은 장점과 이를 더욱 개선하고 개발하고자 하는 노력은 이 시스템을 오늘날의 반도체 제조공정에서 필요 불가결한 부분으로 만들어 놓았으며, 앞으로 다가올 VLSI 기술에서 LPCVD 시스템이 맡게 될 비중과 기여도에 대한 기대가 크다고 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] J. Subrahmanyam, A. K. Lahiri and K. P. Abraham, "Kinetics of chemical vapor deposition", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 127, no. 6, pp. 1394-1399, June 1980.
- [2] O. D. Trapp, R. A. Blanchard, L. J. Lopp and T. I. Kamins, *Semiconductor Technology Handbook*. pp. 8-8, Bofor Inc., 1982.
- [3] W. J. Moore, *sPhysical Chemistry*. pp. 363, Prentice-Hall Inc., 1972.
- [4] W. A. Brown and T. K. Kamins, "An analysis of LPCVD system parameters for polysilicon, silicon nitride and silicon dioxide deposition", *Solid State Technology*, vol. 22, no. 7, pp. 51-57, July 1979.
- [5] Korea Institute of Electronics Technology, *Sustaining and Maintenance of the Semiconductor Facilities (I)*, pp. 113-131, 1982.
- [6] W. Kern and R. S. Rosler, "Advances in deposition processes for passivation films", *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 5, pp. 1082-1099, Sept. 1977.
- [7] P. Rai-Choudhury and P. L. Hower, "Growth and characterization of polycrystalline silicon", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 120, no. 12, pp. 1761-1766, Dec. 1973.
- [8] H. L. Hwang, C. C. Hwu, L. W. Chang, L. W. Chang, J. C. Liue, H. H. Lim and B. T. Wu, *Analysis of LPCVD Silicon Nitride and Its Application to the Study of Bird's Beak Problem*. International Symposium on VLSI Technology, Systems and Applications, pp. 282-285, March 1983.
- [9] K. Watanabe, T. Tanigaki and Wakayama, "The properties of LPCVD SiO₂ flim deposited by SiH₂Cl₂ and N₂O mixtures", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 128, no. 12, pp. 2630-2635, Dec. 1981.
- [10] R. S. Rosler and G. M. Engle, "LPCVD Type plasma-enhanced deposition system", *Solid State Technology*, vol. 22, no. 12, pp. 8892, Dec. 1979.
- [11] T. Ito, T. Sugii and T. Nakamura, *Aluminium Plasma-CVD for VLSI Circuit Interconnections*. International Symposium on VLSI Technology, Systems and Applications", pp. 20-21, March 1983.
- [12] J. W. Peters, F. L. Gebhart and T. C. Hall, "Low temperature photo-CVD silicon nitride: properties and applications", *Solid State Technology*, vol. 23, no. 10, pp. 121-126, Sep. 1980.
- [13] C. C. Tang, J. K. Chu and D. W. Hess, "Plasma enhanced deposition of tungsten, molybdenum, and tungsten silicide films", *Solid State Technology*, vol. 26, no. 3, pp. 125-128, March 1983. ***

♣ 用 語 解 說 ♣

CRT디스플레이(CRT display) Cathode ray tube display의 略語이다. 컴퓨터의 出力裝置의 일종으로 TV用的 것 이외에 렌즈와 빛에 의해 電流가 흐르는 光트랜지스터등으로 이루어지는 라이트 펜으로 구성되어 있다. TV의 선거속보등에서 쓰이고부터 잘 알려지게 되었다. 이 裝置는 단순히 컴퓨터로부터 결과를 出力할 뿐만 아니라 라이트 펜을 사용하여 컴퓨터에 지시를 부여할 수 있기 때문에 端末裝置로서도 쓰이고 있다.

서어보메카니즘(servomechanism) 自動制御의 組織으로서 피이드백된 情報로 制御되는 대상은 機械的인 것이다. 주로 追從制御로서 서어보 모우터가 操作端이 되게 하는 메커니즘을 指稱하는 말이다. 레이더에 의한 航空機의 自動追尾등은 이의 좋은 예이다. 그러나 서어보메카니즘을 설명하는 서어보理論은 在庫管理등의 經營問題에도 응용되며 自動化시스템을 다루는 重要한 理論이 되고 있다.