

## TDEAT TiN 증착률에 영향을 미치는 인자들에 대한 연구

최정환 · 이재갑 · 박상준\* · 김재호\* · 홍해남\*\* · 윤의중\*\*\* · 김좌연\*\*\*

국민대 금속재료공학과, \*APEX Co., Ltd., \*\*국방과학연구소, \*\*\*호서대학교 재료공학과  
(1998년 4월 21일 접수)

## A Study of the Growth Rate of TiN Film Produced by Using TDEAT

J. H. Choi, J. G. Lee, S. J. Park\*, J. H. Kim\*, H. N. Hong\*\*, E. J. Yun\*\*\* and J. Y. Kim\*\*\*

*School of Metallurgical Engineering, KOOKMIN University, Seoul 136-702, Korea*

*\*APEX Co., Ltd. 128, Chuckbuk-ri, Namyi-myun, Chongwon-Kun, Chungbuk 363-810, Korea*

*\*\*Agency for Defense Development, P.O. Box 35-1, Yuseong, Taejon, 305-600, Korea*

*\*\*\*Dept. of Materials Engineering, Hoeseo Univ., San 29-1, Sechl-ri, Baebang-myun,*

*Asan-Si, Chungnam 336-797, Korea*

*(Received April 21, 1998)*

**요 약** - 낮은 평형압력을 가진 TDEAT 증착원을 이용하여 TiN 증착을 실시한 실험에서 TiN 증착률에 영향을 주는 인자들에 대하여 연구를 실시하였다. TiN 성장률은 bubbler 온도, 증착온도, 운반기체관의 conductance, 운반기체 종류에 따라 큰 영향을 받고 있었다. 또한 bubbler로 유입되는 운반기체관의 가열에 의하여도 증착률 증가가 적은 범위에서 이루어지고 있음이 관찰되었다. 이와함께 chamber 내로 유입되는 운반관을 90°C로부터 120°C로 가열한 실험에의하면 운반관 가열이 TiN 성장 증가를 일으키고 있으며, 온도에 대한 TiN 성장은 약 0.2 eV의 활성화에너지를 가진 Arrhenius 형태로 증가되고 있었다.

**Abstract** - We have studied the factors influencing the growth rate of TiN deposited from TDEAT using a bubbler. The growth rate of TiN was primarily dependent on the bubbler temperature, deposition temperature, gas delivery line conductance and carrier gases. In addition, the heating of the gas line through which carrier gas was delivered to the bubbler increased the growth rate slightly. Also heating of the delivery gas line between the bubbler and the chamber caused the increase of the growth rate of TiN, showing the Arrhenius behaviour with the activation energy of 0.2 eV.

### 1. 서 론

재료적특성(높은 경도, 우수한 전도성, 높은 용점, 화학적인 안정성)이 우수한 TiN 박막은 현재 반도체 집적 회로에서 Al 배선에 대한 확산방지막으로, 화학기상증착 텅스텐(CVD W)에 대하여는 접착력 향상 또는 F에 대한 보호막으로 널리 이용되고 있다[1-5]. 더욱이, 최근에는 Cu에 대한 확산억제능력도 비교적 우수한 것으로 나타나, 배선 폭이 급격하게 감소되는 차세대 집적회로에서 새로운 금속배선 구조로 Cu/TiN 구조적용이 매우 실제적일 것으로 검토되고 있다[6-10]. 그러나, 현재 널리 사용되고있는 물리증착법(PVD)은 현재까지 크기가

감소되고 있는 contact 및 via에 적절한 두께의 확산억제막을 균일하게 도포시키는 데는 한계를 드러내고 있어, 도포성이 우수한 TiN 공정개발의 필요성이 크게 대두되고 있다. 그러므로 도포성의 향상을 위하여 요사이 화학증착법을 이용한 연구가 다양하게 이루어지고 있으며, 우수한 도포성의 TiN 박막 증착 결과들이 발표되고 있다[11-16].

CVD TiN 공정 개발을 위하여는 지금까지 여러 가지 증착원들이 이용되어 연구되고 있다. 금속유기증착원(metal-organic precursor)은 우수한 도포성과 함께 낮은 온도에서 충분한 증착률을 얻을 수 있어 multilevel metallization 적용에 적합한 특성을 나타내고 있다. 현재

금속 유기 증착원 중에 TDMAT와 TDEAT가 활발하게 이용되어 공정이 개발되고 있으며, 각각의 공정은 장점과 단점을 보유하고 있어, 이에대한 개선도 함께 추구하고 있다. 비교적 높은 평형 증기압을 보유한 TDMAT는 우수한 도포성을 보이고 있으나, 공기 중에 노출시 계속적으로 산소를 흡수하는 불안정한 막 특성을 보이고 있으며 비교적 낮은 확산억제능력을 나타내고 있다. 반면에 TDEAT를 이용하여 증착된 TiN 박막은 낮은 비저항을 나타내고 공기중에서 산소를 흡수하지 않는 안정된 막 특성을 보이면서 TDMAT TiN에 비하여 향상된 확산억제능력을 나타내고 있다[14, 16]. 그러나 TDEAT의 낮은 평형압력은 bubbler를 이용한 경우에 충분한 증착률을 확보하기 어려워 이에대한 검토가 요구되고 있다. 그러므로 본 실험에서는 TDEAT를 이용하여 TiN 증착률에 영향을 미치는 인자들의 효과에 대한 기본적인 연구를 실시하고 충분한 증착률을 확보하는 조건을 확보하고자 하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에서는 (100) 실리콘 웨이퍼(P형, 10~20 Ω-cm)를 열산화시켜 1000Å의 산화막을 성장시킨 기판을 이용하여 TiN 증착실험을 실시하였다. 산화막을 성장시킨 웨이퍼위에 TiN을 증착시킨 이유는 MOCVD TiN이 비교적 비저항이 높아 실리콘 위에 증착시킨 경우는 TiN만의 비저항 변화를 정확히 측정하기 어렵

기 때문이다. TiN 박막 증착은 TDEAT 증착원을 이용하여 load-lock이 설치된 MOCVD 장치에서 이루어졌으며[15], MOCVD 장치에 부착된 diffusion pump를 이용하여 chamber 내부의 초기 진공도는  $2 \times 10^{-6}$  torr까지 낮추어 주었다. TiN 증착을 시작하기 전에 He (또는 N<sub>2</sub>, Ar, H<sub>2</sub>; 모든 운반기체들의 순도는 >99.9999%를 유지함.) 운반기체를 chamber 내부로 흘려, 1 torr 정도 유지시킨 후에 운반기체를 Fig. 1과 같은 TDEAT bubbler로 흐르도록 하면서 증착시간을 계산하였다. 실험변수로 bubbler 前 또는 後 운반기체관의 온도, bubbler 온도, 운반기체관의 기체 conductance, 운반기체 유량 및 종류, 증착시간들이 조사되었다. 증착온도는 300~375°C 범위에서, 반응압력은 1 torr로 일정하게 유지하였다. 또한 chamber의 하단에는 Quadruple Mass Spectrometer(QMS)를 설치하여 증착중에 일어나는 반응기구와 leak 발생부위를 쉽게 밝혀내고자 하였다.

증착된 박막의 비저항은 four-point probe(창민사 제조)를 이용하여 측정하였고, 두께는 surface profilometer와 Scanning Electron Microscopy(SEM)을 사용하였다. 또한 X-ray Diffractometer(XRD)를 이용하여 TiN 상(相)을 조사하였다.

## 3. 실험결과

낮은 압력하에서는 열원(heater)과 기판(substrate) 사이에 기체전도(gas conduction)를 통한 열전달이 충분치

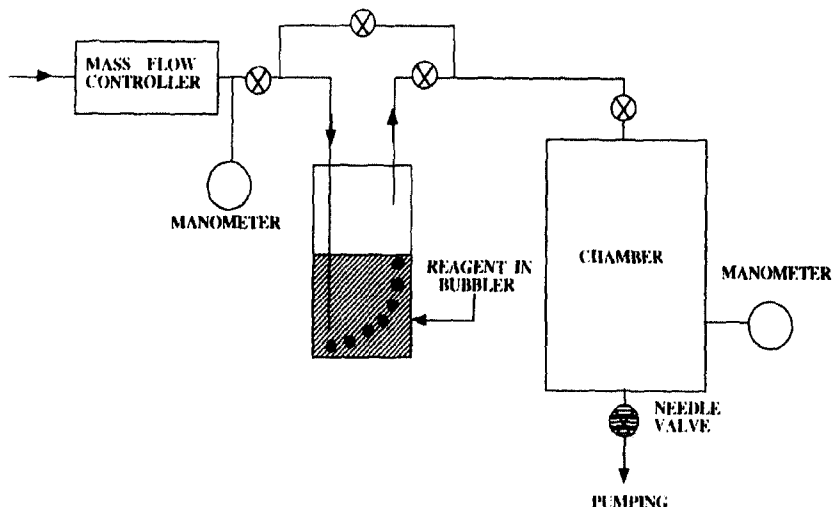


Fig. 1. Schematic of MOCVD TiN bubbler system.

않아 일정한 열원온도에 대하여 압력과 기체의 종류에 따라서 기관 표면 온도가 크게 차이가 나고 있다. Fig. 2는 550°C의 열원을 chamber 내부에서 10분간씩 유지시킨 후, 열전대(thermocouple)를 이용하여 기관 표면의 온도를 측정된 결과이다. 결과로부터 압력과 운반기체에 따라 기관의 표면 온도가 크게 차이가 나는 것을 알 수 있으며, 운반기체를 달리 사용한 실험에서는 N<sub>2</sub>가 가장 높은 온도를 나타내고 Ar, He의 순으로 낮아지고 있다. 또한 압력의 경우는 압력 증가에 따라 온도가 계속적으로 증가되다가 4 torr 이상에서 증가폭이 크게 감소되면서 비교적 일정한 값에 도달되고 있다. 이와 같이 압력이 약 4 torr 이상으로 증가되는 경우에 압력에 무관하게 기관표면 온도가 일정하게 측정되는 결과는 McInerney, et al.의 논문에서도 발표되어 두 실험 결과가 잘 일치함을 알 수 있다[17].

압력과 운반기체 종류에 따라 기관표면의 온도가 다르게 측정되는 결과들에 대한 설명은 열원으로부터 기관으로 전달되는 기구를 고려함으로써 이루어질 수 있다. 열원에서 기관으로 전달되는 열은 주로 복사열(radiation)기구와 기체전도에 의하여 이루어지는 것으로 이해되고 있다. 이 전달 기구중 복사열에 의한 열전도율은 운반기체와 압력에 큰 영향을 받고있지 않다. 또한 기체전도에 의한 열전도율은 다음의 (1)식에서 알 수 있는 것과 같이 열전도계수와 온도차에 비례적으로 증가되고 있다.

$$\Phi_c = h_c \Delta T \tag{1}$$

여기에서  $\Phi_c$ 는 기체전도에 의한 열전도율,  $h_c$ 는 기체열전도계수,  $\Delta T$ 은 열원과 기관온도차이다. (1)식 중에서

기체열전도계수는 낮은 압력하에서 ( $Kn=l/\lambda$ ,  $l$ 은 열원과 기관 접촉사이의 거리,  $\lambda$ 는 기체 자유행로,  $Kn > 1.0$ ) 압력과 운반기체의 원자량과 다음과 같은 관계를 유지하고 있다.

$$h_c \propto \gamma C_v P / \sqrt{MT} \tag{2}$$

$\gamma$ '는 thermal accomodation factor이고 He의 경우는 0.1~0.4, 그 외의 기체는 약 1.0의 값을 나타내는 것으로 알려져 있다. 또한  $C_v$ 는 열용량,  $P$ 는 압력,  $M$ 은 운반기체 원자량,  $T$ 는 열원의 온도이다. 열원의 표면거칠기가 약 10  $\mu m$ 로 가정하는 경우에는 약 1 torr 이하 압력범위에서 ( $Kn > 1.0$ ) 압력이 증가함에 따라 열전도율이 증가함을 알 수 있다[18]. 이와같은 사실로부터 운반기체와 압력들의 변화가 기관온도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 복사열(radiation) 기구와 기체전도(gas conduction) 기구들을 고려하여 종합적인 식을 다음과 같이 유도하였다[19]. (고체를 통한 열전도는 매우 빠르다고 가정하여 열원 쪽 기관온도와 표면온도는 동일한 것으로 고려하였음.)

$$\frac{1}{\Delta T} = A + B \frac{\gamma C_v P}{\sqrt{MT_h}} \tag{3}$$

여기에서  $\Delta T$ 는 열원과 기관 온도차이며  $T_h$ 는 열원의 온도이다. 압력, 원자량과  $\Delta T$ 와의 관계를 나타낸 Fig. 3을 살펴보면 직선적인 관계보다는 압력이 증가함에 따라 기울기가 줄어드는 경향을 볼 수 있다. 이는 압력이 증가함에 따라 기관과 열원사이에 있는 기체들이 열원면과 기관면에 대한 충분한 충돌 ( $Kn \ll 1.0$ )을 일으켜 기

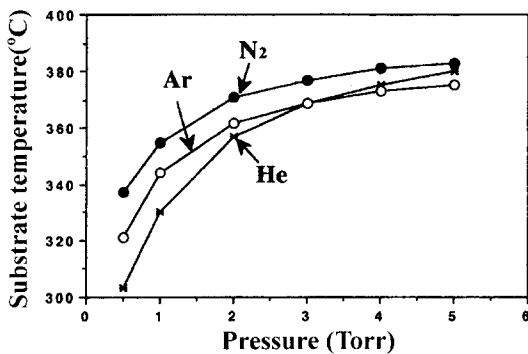


Fig. 2. Substrate temperature as a function of carrier gas and pressure.

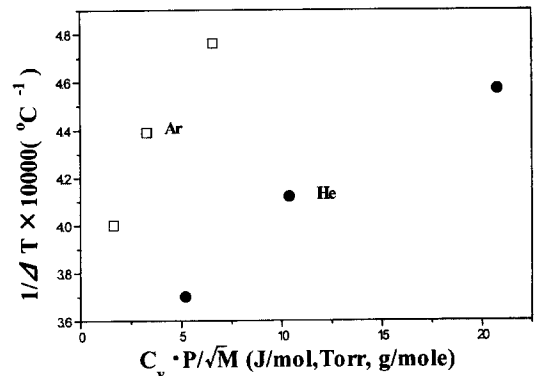


Fig. 3. The effects of pressure and carrier gases on substrate temperature for  $T_h=550^\circ C$ .

체전도율이 비교적 압력에 무관한 기체열전도상수( $K_T$ )에 비례적으로 영향을 받기 때문으로 이해된다.

### 3.1 기체운반관 직경 변화

TDEAT는 Fig. 4에 나타난 것과 같이 TDMAT에 비하여 현저하게 낮은 평형증기압을 가지고 있어, bubbler를 이용하여 충분한 증착물을 얻기가 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 증착물 향상을 위하여 기체 운반관의 직경을 1/4"에서 3/8"으로 증가시켜 운반관 conductance의 증가를 이룩하고자 하였다. Fig. 5는 증착물의 확보를 위하여 기체 운반관의 직경을 1/4"에서 3/8"로 확장하여 N<sub>2</sub> 유량에 따라 변하는 운반관 내의 압력의 변화를 조사한 결과이다. 이 결과로부터 직경 확장이 기체 운반관의 conductance를 약 1.3배 증가시킴을 알 수 있다. 또한 TiN 증착물은 운반관 직경의 증가로 약 1.2배 정도 증가되고 있었다. 이와같은 사실로부터 직경 크기의 증가로 증가된 운반관 conductance는 식 (4)에서 나타나는 기체관의 압력( $P_c$ )을 감소시켜 chamber 내부로 유입되는 Ti 증착원의 유량을 증가시키게 되고, 결과적으로 TiN 증착물의 증가를 이루게됨을 알 수 있다.

$$Q_{Ti} = Q_c P_{Ti} / P_c \quad (4)$$

여기에서  $Q_{Ti}$ ,  $Q_c$ 는 증착원 및 운반기체 유량,  $P_{Ti}$ ,  $P_c$ 는 각각 증착원의 평형압력과 운반기체 압력이다.

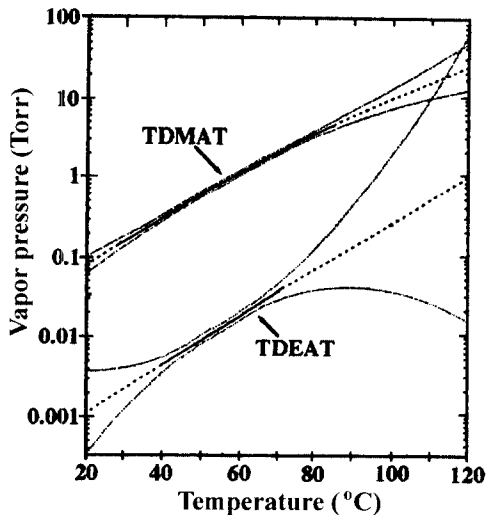


Fig. 4. Vapor pressure of TDMAT, TDEAT respectively. (ref)

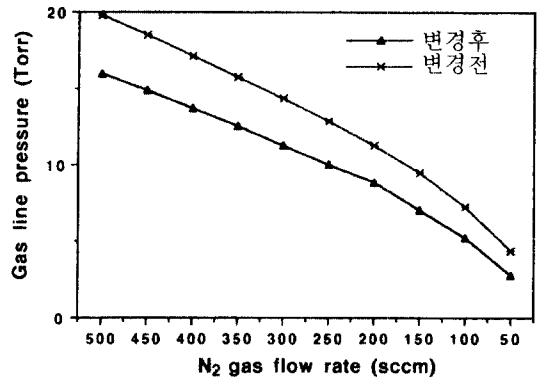


Fig. 5. The increased diameter of the tube increased the conductance of the tube.

### 3.2 운반기체 유량 효과

Fig. 6는 He 유량이 증착물에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 유량이 증가함에 따라 증착물이 완만하게 증가하는 것을 알 수 있다. 이와같은 유량의 증가에 따라 증착물이 증가되는 것은 운반관 내의 기체 conductance의 증가에 기인하는 것으로 판단된다(Fig. 7 참조). 또한 Fig. 5에서의 증착물을 운반기체 유량을 0으로 감소시킨 경우에 운반기체가 흐르지 않을 경우에도 상당한 증착물을 보이고 있는데 이와 같은 사실은 본 실험을 실시한 실험범위 내에서의 운반관내의 기체흐름이 저 유량에서의 흐름 형태와 다른 데 기인하는 것으로 판단된다. 일반적으로 운반기체의 유량은 100 sccm 이하를 사용하고 있으나, 본 실험에서는 충분한 증착물을 확보하기 위하여 비교적 많은 유량을 흘려 실험을 진행하였다.

### 3.3 Bubbler 前 운반관의 온도가 증착물에 미치는 영향

Fig. 8은 bubbler 전단을 여러 온도로 가열시켜

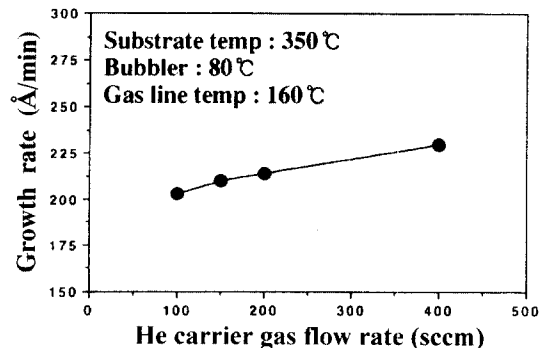


Fig. 6. Effect of He flow rate on TiN growth rate.

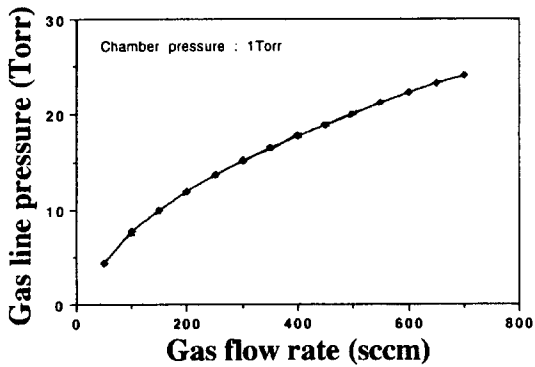


Fig. 7. Gas line pressure as a function of He gas flow rate.

bubbler로 유입되는 운반기체의 온도가 증착물에 미치는 영향을 조사한 결과이다. Bubbler 전단의 온도를 가열함에 따라 증착률이 증가되고 있으며, 70°C로 가열시킨 경우는 상온에 비하여 약 50% 증가된 증착률을 보여주고 있다. Bubbler 전단의 온도 가열은 증착률 증가 뿐만 아니라 보다 안정적인 막질을 얻는데도 기여를 하고 있었다. 이와 같이 운반기체의 가열이 안정된 막질과 함께 증착률 증가를 이룩하고 있는 것은 운반기체에 의한 냉각 효과에 기인하는 것으로 이해되고 있다. 즉 낮은 온도의 운반기체들이 bubbler 내부로 유입되면서 증착원의 온도를 낮추고, 이에 대응하여 낮은 평균 증기압이 유지되면서 증착률이 낮아지고 있다. 또한 bubbler를 이용하는 경우에 bubbler 내에 증착원이 소량 존재하는 경우에는 증착률이 감소하는 경향이 관찰되고 있었는데, 이는 bubbler 내부에 증착원이 소량 존재할 경우에 운반기체의 의한 냉각효과가 보다 큰 데 기인하는 것으로

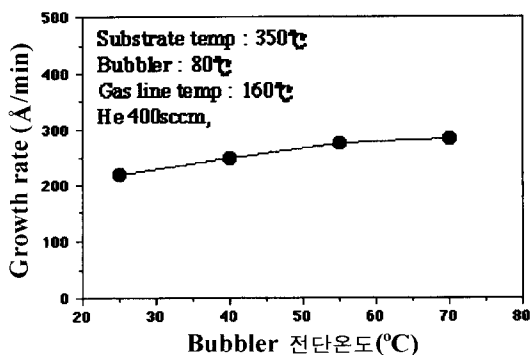


Fig. 8. Temperature of carrier gas line before the bubbler vs TiN growth rate.

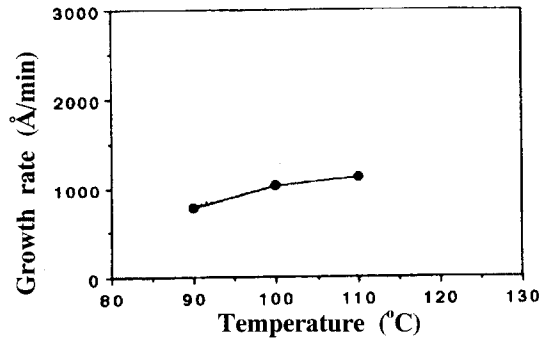


Fig. 9. Effect of bubbler temperature on TiN growth rate.

판단된다.

### 3.4 Bubbler 온도가 증착물에 미치는 영향

Fig. 9는 bubbler 온도가 증착물에 미치는 영향을 조사한 결과이다. TDEAT bubbler를 90°C~110°C까지 증가시키며 따라 증착률이 증가함을 알 수 있다. 온도 증가에 따라 증가되는 평균압력은 증착원 유량을 비례적으로 증가시키면서 증착률을 증가시키는 것으로 이해된다 (식 (4) 참조).

### 3.5 증착시간에 따른 증착률 변화

Fig. 10은 증착시간에 따라 증가되는 TiN 두께를 조사한 결과이다. 두가지 증착온도에서 비교적 직선적인 기울기로 시간에 따라 TiN 두께가 증가되고 있어, 각 온도에서 일정한 증착률을 나타냄을 알 수 있다. 그러나 증착 초기에 증착률이 온도에 따라 정도의 차이는 있지만 약간 급하게 증가되고 있다. 이와 같은 현상은 초기에

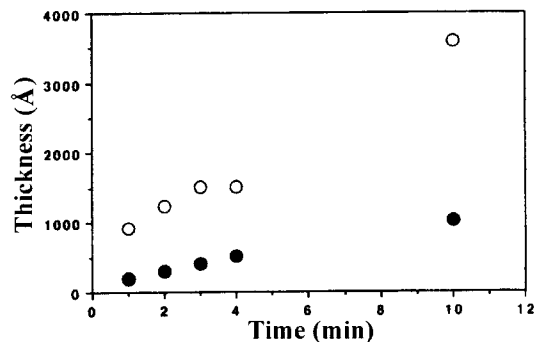


Fig. 10. The variation of the thickness of TiN film deposited at 300°C and 250°C, respectively, with deposition time.

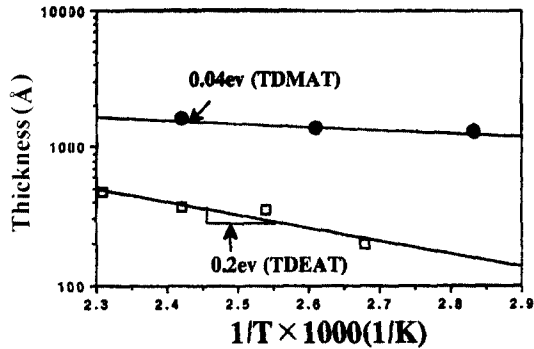


Fig. 11. Gas line temperature effects on TiN growth rate.

급격히 유입되는 Ti 증착원에 기인하는 것으로 판단된다. 현재 본 연구에서는 이와 같은 문제를 감소시키기 위하여 Ti 증착원을 chamber 내부로 주입하기 전에 bypass line을 통하여 약 3분 정도 흘려준 후에 chamber 내부로 흘려주어 안정되게 유량의 흐름을 유지하려고 하고 있다. 그러나 이와같은 조치에도 불구하고 초기 효과는 완전하게 제거되지는 않은 것으로 판단된다.

### 3.6 기체운반관의 온도가 증착물에 미치는 영향

기체 운반관을 가열하는 것은 운반관 내부에 Ti 증착원이 증착되는 것을 방지하기 위하여 TDEAT bubbler에 가해지는 온도 보다 약간 높은 온도로 가열을 하고 있으며, 본 실험에서는 bubbler 온도보다 약 20°C 정도의 높은 온도로 운반관을 가열하여 주었다.

TDEAT와 TDMAT를 이용하여 기체운반관의 온도 변화가 증착물에 미치는 영향을 조사하여 각 증착원의 온도에 대한 안정성을 조사하였다. Fig. 11은 각각의 증착원에 따라 온도 구간을 달리하면서 50°C~160°C까지 변화를 주면서 변하는 증착물을 Arrhenius plot한 결과이다. 이 결과에서 각각의 증착원들이 온도 변화에 따라 다른 활성화에너지를 보여주면서 온도에 대한 다른 안정성을 보여주고 있음을 알 수 있다. TDEAT의 경우 운반관의 온도 증가에 따라 비교적 큰 폭으로 증착물이 증가하면서 0.2 eV의 큰 활성화 에너지를 보이고 있어, TDEAT는 실험 온도 구간에서 분해가 일어나는 것으로 판단된다. 이와는 대조적으로 TDMAT는 낮은 활성화에너지를 보이면서, 증착물에 별다른 변화를 보이지 않아 열적으로 상당히 안정한 것으로 판단되며, 이와 같은 결과는 Ti-Ligand 결합력은 Ti에 결합된 알

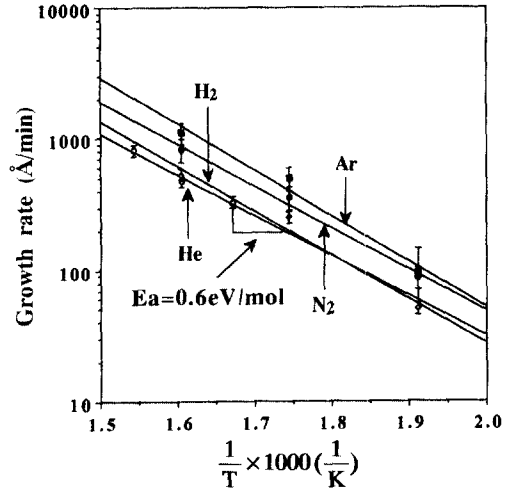


Fig. 12. Carrier gas effects on TiN growth rate.

킬기의 가지수가 증가됨에 따라 약화되는 것과 일치하고 있다.

### 3.7 운반기체가 증착물에 미치는 효과

Fig. 12는 운반기체(He, N<sub>2</sub>, Ar, H<sub>2</sub>)들이 증착물에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 증착률은 Ar, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, He의 순으로 감소되고 있다. 증착률에 대한 운반기체 효과는 일반적인 cold-wall reactor에서 관찰되는 thermal diffusion에 의한 영향으로 이해되고 있다. 이와같은 thermal diffusion에 의한 증착률 감소는 가벼운 운반기체(He, H<sub>2</sub>)에 소량의 MOCVD 증착원을 사용한 경우에 매우 크게 나타나고 있고, 무거운 기체(Ar, N<sub>2</sub>)인 경우에 이 효과는 현저하게 감소하는 것으로 보고되고 있다. 또한 특기할 만한 것은 H<sub>2</sub>을 사용한 경우에 He과 유사한 증착률을 얻었다는 것은 H<sub>2</sub>이 특별히 반응에 참가하고 있지 않다는 것을 의미한다고 하겠다. 이같은 사실은 MOCVD Cu의 경우와 다른 결과이다. 이와같은 운반기체가 막질에 미치는 영향을 조사한 바에 의하면 He을 사용한 경우가 가장 낮은 비저항(2500 μΩ-cm)을 얻으면서 공기 중에서 안정된 특성을 보여주었다. Ar과 H<sub>2</sub>을 사용한 경우도 공기 중에서는 안정된 막 특성을 보여주었으나, 비저항이 5000 μΩ-cm 정도의 비교적 높은 값을 보여주고 있었다. 이에 반하여 N<sub>2</sub> 운반기체를 이용한 경우는 증착 후에 3500 μΩ-cm의 비저항이 측정되었으나, 공기 중에 노출시 계속적으로 비저항이 증가하는 불안정한 막 특성을 보이고 있었다.

#### 4. 결 론

낮은 평형 압력을 보유하고 있는 TDEAT를 이용하여 TiN을 증착시키는 실험에서 TDEAT TiN의 낮은 증착률을 증가시키기 위하여 증착률에 미치는 여러 가지 인자들에 대하여 조사하였다. 증착률은 Ti 증착원 유량의 증가에 따라 증가되었으며, 유량은 bubbler 온도 증가 또는 운반관의 conductance를 증가시킴에 의하여 증가되고 있었다. 운반관의 conductance는 운반관 직경의 증가, 운반 기체의 유량의 증가에 의하여 증가되었다. 운반관의 온도를 가열하면서 TDEAT 증착원의 열적 안정성을 조사한 바에 의하면 90°C~150°C 온도 구간에서 열적분해가 일부 진행되어 증착률에 영향을 주고 있었으며, 대조적으로 TDMAT는 열적으로 안정된 특성을 보여주었다. 또한 bubbler 진단을 일정한 온도로 가열시키는 것은 증착률을 증가시킬 뿐만 아니라, 재현성 있는 증착률을 얻는데 도움이 되고 안정적인 막질을 형성시켜 주었다. 증착시간에 따라 증착률의 변화를 조사한 바에 의하면 초기에 급격하게 증착률이 증가하고 시간이 지나면서 일정한 증착률을 보이고 있어, 일정시간 후부터는 일정 속도의 증착원의 공급이 이루어짐을 알 수 있었다. 운반기체에 따라 변하는 증착률 조사에 의하면 무거운 운반기체 일수록 높은 증착률을 나타내고 있었으며, Ar을 사용한 경우에 1300Å/min 이상의 높은 증착률을 얻을 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 호서대학교 반도체 제조장비 국산화 연구센터의 지원에 의하여 이루어졌음.

#### 참고문헌

- U. Helmersson, J.-E. Sundgren and J. E. Greene, *J. Vac. Sci. Technol.* **A4**(3), 500-503 (1986).
- G. Gagnon, J. F. Curie, J. L. Brebner, S. C. Gujrathi and L. Ouellet, *J. Appl. Phys.* **74**(6), 4233-4235 (1993).
- M. Repeta, L. Dignard-Bailey, J. F. Currie, J. L. Brebner and K. Barla, *J. Appl. Phys.* **63**, 2796 (1988).
- K. Y. Ahn, M. Wittmer and C. Y. Ting, *Thin Solid Films*, **107**, 45-54 (1983).
- M. M. Farahani, S. Garg and B. T. Moore, *J. Electrochem. Soc.*, **141**(2), 479-495 (1994).
- J. O. Olowolafe, Jian Li and J. W. Mayer, *J. Appl. Phys.*, **68**(12), 6207-6212 (1990).
- S.-Q. Wang, I. Raaijmakers, B. J. Burrow, S. Suthar, S. Redkar and K.-B. Kim, *J. Appl. Phys.* **68**(10), 5176-5187 (1990).
- T. S. Chang, W. C. Wang, L. P. Wang, J. C. Hwaang and F. S. Huang, *J. Appl. Phys.* **75**(12), 7847-7851 (1994).
- K. C. Park and K. B. Kim, *J. Electrochem. Soc.*, **142**(9), 3109-3115 (1995).
- J. H. Kim, S. J. Park, N. J. B도, S. H. Kim, J. G. Lee, S. Y. Choi, J. Y. Kim and J. G. Lee, Conference Proceedings ULSI XII 1997 Matrics Research Society, 367-371 (1997).
- M. Eizenberg, K. Littau, S. Ghanayem, M. Liao, R. Mosely and A. K. Sinha, *J. Vac. Sci. Technol. A* **13**(3), 590-595 (1995).
- I. J. Raaijmakers, *Thin Solid Films*, **247**, 85-93 (1993).
- H. K. Shin, H. J. Shin, J. G. Lee, S. W. Kang and B. T. Ahn, *Chem. Mater.*, **9**, 76-80 (1997).
- J. H. Kim, S. J. Park, N. J. B도, S. H. Kim, J. G. Lee, S. Y. Choi, J. Y. Kim, and J. G. Lee, Conference Proceedings ULSI XII 1997 Matrics Research Society, 367-371 (1997).
- 김지용, 이재갑, 지충수, 박상준, 김창수, 이은구, 한국재료학회지, **6**(4), 388-394 (1996).
- J. G. Lee, J. H. Kim, H. K. Shin, S. J. Park, S. J. Yun, and G. H. Kim, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **427**, 1996 Materials Research Society, 371- 376 (1996).
- E. J. McInerney, B. L. Chin, and E. K. Broadbent, The Workshop on Tungsten and Other Advanced Metals for ULSI Applications VII, (1990).
- A. Roth, Vacuum Technology, North-Holland, 384-409 (1978).
- D. L. Smith, Thin-Film Deposition, McGraw Hill, 200-211 (1995).