

DC 반응성 스퍼터링된 TiN 박막의 구조적 및 전기적 특성

(Structural and Electrical Properties of Reactively Sputtered Titanium Nitride Films)

柳星龍*, 吳源雄**, 崔珍奭**, 白壽鉉**, 申斗湜***, 吳在鷹****

金泳南****, 沈泰彦****, 李鍾吉*****

(Seong Ryong Yoo, Won Ung Oh, Jin Seog Choi, Su Hyon Paek, Doo Sik Shin
Jae Eung Oh, Young Nam Kim, Tae Eoun Shim, and Jong Gil Lee)

要 約

고집적회로에서 Al 금속공정의 확산 방벽으로 널리 사용되는 TiN의 성질을 조사하였다. TiN 박막을 아르곤과 질소 분위기에서 N₂ 압력, 기판온도, 출력, 전체압력 등을 조절하면서 반응성 스퍼터링 방법으로 형성시켰다. 열처리에 대한 영향을 관찰하기 위해서 모든 시편을 450℃로 N₂ 분위기에서 30분간 열처리 실시하였으며, 각 시편들은 α -step, XRD(x-ray diffraction), SEM (Scanning electron microscopy), four point probe method로 분석하였다. TiN 박막은 스퍼터링 증착조건에 크게 의존하는데 특히 N₂ 압력은 조성과 박막증착속도에, 기판온도 및 출력은 비저항 값에 영향을 준다.

Abstract

We have investigated the properties of the titanium nitrite films widely used in VLSI devices as diffusion barrier in Al-based metallization. TiN films were formed by reactive sputtering from Ti target in Ar-N₂ mixtures, varying deposition parameters such as N₂ partial pressure, substrate temperature, power, and total pressure. All the samples received the heat treatment at 450 °C for 30 min. The resulting films are characterized by mechanical stylus(α -step), x-ray diffraction(XRD), scanning electron microscopy(SEM), and four point probe method. The Tin film properties strongly depend on the deposition condition. The stoichiometry and Ti deposition rate are critically affected by nitrogen partial pressure, and the resistivity, in particular, is dependent on both the substrate temperature and sputtering power.

*學生會員, **正會員, 漢陽大學校 材料工學科

(Dept. of Materials Eng., Hanyang Univ.)

學生會員, *正會員, 漢陽大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Hanyang Univ.)

*****正會員, 三星반도체

(Dept. of Samsung Semi. R&D Center)

接受日字: 1991年 11月 5日

I. 서 론

TiN은 부동태 박막, 도전성 확산 장벽, 또는 기계적 강도가 우수하고, 화학적으로 안정한 박막으로의 응용에 대한 연구가 진행되어 왔다.^[1,3] TiN은 상대적으로 낮은 비저항, 열역학적 안정성, 낮은 확산 계수와 같은 이점^[4,5]으로 인하여, 최근 고집적 회로(ULSIs)에서 Al 저항 접촉(ohmic contact)의 확산 장벽 층으로 사용되고 있다.

TiN을 형성시키는 방법들에는 질소와 아르곤 분위기 하에서 Ti target으로부터 얻는 반응성 스퍼터링과, 반응성 진공 증발법,^[6] 급속 질화 처리(RTN),^[7,8] composite target sputtering^[9] 등이 있으며, 최근에는 화학 기상 증착법(CVD)^[10,11]에 의한 방법이 연구되고 있다. 이들 중에서 반응성 스퍼터링 방법은 낮은 비저항, 두께 조절의 용이함 등의 장점^[12] 때문에 가장 널리 이용되고 있으나, 스퍼터링 장비의 조건에 따라 TiN 박막의 성질이 크게 변화하는 문제^[13]를 갖고 있다. 따라서 스퍼터링에 의한 박막 형성 조건에 따른 TiN 박막의 특성의 변화를 이해하여 확산 장벽으로서의 박막제조 조건을 최적화하는 것은 중요한 문제이다. 또한 TiN 박막 특성을 개선하기 위한 열처리 방법이 연구되고 있으며,^[3,14] 이에 따른 박막특성 변화에 대한 고찰 및 연구가 필요하다.

II. 실험방법

봉소를 이온 주입한 (100) 방향의 Si 기판을 끓는 황산 용액과 희석된 HF 용액(HF:H₂O=1:100)으로 세척하여 준비하였다. 스퍼터링에 사용된 장비는 Varian M-2000 sputter이었다. 반응실(sputtering chamber)의 내부압력을 10⁻⁶ Torr 이하로 낮춘 후, 아르곤 기체로 내부 압력을 조정된 뒤, N₂ 분압, 기판온도, 출력, 전체압력 등을 변수로 하여 TiN 박막을 형성하였다. 박막을 증착하는 동안 기판에 음전압은 걸지않았다. 그 이유는 음전압이 가해졌을때 TiN은 일반적으로 치밀한 박막구조와 낮은 비저항을 갖지만 높은 내부 응력으로 인한 미세 파열을 일으키는 경향이 있기 때문이다.^[15,22] 모든 시편의 두께를 일정하게 측정하여 동일한 조건을 형성하기 위하여 2차에 걸쳐 실험을 수행하였다. 1차 실험에서 각 조건에 따른 모든 시편의 박막증착속도를 조절하여 2차 실험에서는 각 증착조건하에서 모든 TiN 시편의 박막두께를 90±7nm으로 일정하게 형성시켰다. 열처리는 450℃, N₂ 분위기에서 30분간 열처리를 하였으며, 이때 열처리공정은 vacuum furnace가 사용되었다. Vacuum system은 열처리시 불순물, 특히 산소의 영향을 조절하기 위하여 사용되었고 다음과 같은 방법을 이용하였다. 박막이 증착된 시편을 반응실 안에 넣고 진공을 10⁻³ Torr 이하로 낮춘 후 분위기로 사용된 N₂ 기체를 채웠으며, 이러한 방법으로 초기 반응실내에 존재하는 불순물 및 잔여기체를 최대한으로 제거하였다.

박막의 두께 측정은 α -step을 이용하였고 박막 조직과 일부 시편의 두께 측정을 SEM(scanning electron microscopy)으로, 전기적 특성인 면저항값은 4 탐침법으로 측정되었다. X-선 회절법(XRD)을 사용하여 결정 구조와 면간 거리를 확인하였다.

III. 결 과

1. TiN 박막형성

1) N₂ 압력변화

표 1은 기판온도가 200℃, 출력이 3kW일때, N₂ 압력의 변화에 따른 박막의 증착속도 및 비저항의 변화 모습을 각각 나타내고 있다. 표 1에서 박막증착속도는 N₂ 압력이 증가함에 따라 계속 감소하는 경향을 가지며, N₂ 압력이 1.4 mTorr 일때 박막증착속도가 급격하게 감소하고 있다. N₂ 분압의 증가에 따라 Ti-target 표면의 질화는 박막 형성속도의 급격한 감소를 일으킨다는 사실^[16]을 고려할때 1.4 mTorr에서의 감소는 이러한 영향으로 해석된다. 이때 target 표면에 완전한 질화가 일어나 증착속도가 일정할 것으로 예측되에도 불구하고 N₂ 압력의 계속된 증가에 대해서 여전히 박막의 증착속도가 약간씩 감소하는 모습을 보여준다. 본 실험의 조건에서 전체압력(Ar 압력 + N₂ 압력)이 7 mTorr로 일정하게 유지되므로 N₂ 압력이 커질수록 Ar 압력은 상대적으로 작아지게 된다. 즉 N₂ 압력이 증가할수록, 무거운 아르곤 원자에 비해 가벼운 질소 원자가 많이 첨가되어 상대적으로 스퍼터링 효과가 줄어들기 때문에 1.4 mTorr 이상에서의 N₂ 압력 증가에 따라서 증착속도가 감소하는 것으로 생각된다.

표 1. N₂ 압력에 따른 비저항 값과 박막 증착 속도
Table 1. Resistivity and deposition rate with N₂ partial pressure.

N ₂ partial pressure (m Torr)	Resistivity ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	Deposition rate (Å/sec)
0.8	357	50
1.4	623	17.9
2.1	533	15
2.8	421	13.5
3.5	396	13

표 1 비저항값은 박막증착속도가 급격히 떨어지는 N₂ 압력인 1.4 mTorr 근처에서 최대값을 가지며 압력증가에 따라 일정하게 감소하고 있다. 박막의 전기적 비저항은 박막의 조성비(Ti_xNy) 및 결정구조에 의존하므로^[17] 이 경우에 비저항값의 감소는 N₂ 압력의 변화에 따른 박막의 조성변화로 해석된다. N₂ 압력이 0.8 mTorr 일때는 그림 1과 2의 XRD 결과에서 보는 것처럼 아직 TiN이 형성되지 못하고 Ti와 N₂가 고용체로 존재하는 α -Ti 상의 형성때문에 낮은 비저항 값을 가지고^[23] 그 이상에서의 N₂ 압력 증가에 대한 비저항의 감소는 박막의 조성변화에 의해서 설명될 수 있다.

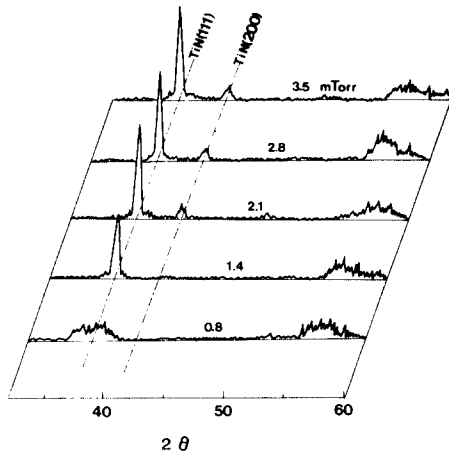


그림 1. N₂ 압력에 따른 XRD peak의 변화
Fig. 1. The XRD pattern with N₂ partial pressure.

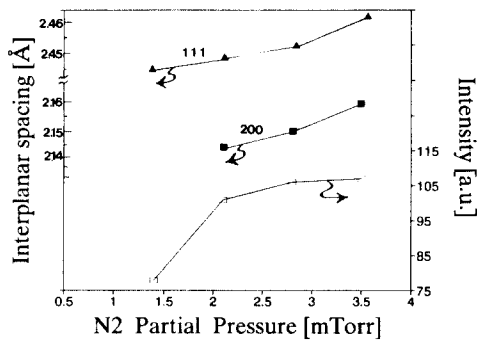


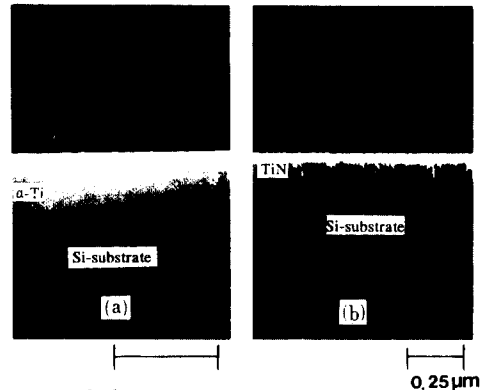
그림 2. N₂ 압력에 따른 XRD의 peak intensity와 면간 거리
Fig. 2. Interplanar spacing and peak intensity of XRD as a function of N₂ partial pressure.

그림 1은 N₂ 압력에 따른 XRD 피이크의 변화 모습을 보여준다. N₂ 압력이 0.8 mTorr에서는 α-Ti(hcp)와 상 평형도에서 보여지는 여러가지 다른상들(Ti₃N₂, Ti₄N₃, TiN, Ti₂N)이 혼재된 상태로 인한 XRD peak broadening을 볼 수 있다. N₂ 압력이 1.4 mTorr에서 부터 TiN(111) 피이크가 발견되는 것으로 보아 TiN(fcc)이 비로소 형성된 것으로 보여진다. 이는 TiN 면의 색깔로도 확인할 수 있었는데, 0.8mTorr 시편은 α-Ti(hcp)의 은빛이었고 TiN 구조를 형성한 시편의 경우에 TiN 박막의 고유의 색인 금빛을 띠었으며, 이러한 결과는 기존의 문헌들과 일치하였다.^[18] N₂ 압력이 2.1 mTorr에서부터는 TiN(111) 피이크의 급격한 강도 변화와 함께(200) 피이크의 흔적을 보여준다. (200) 피이크는 기판과 같은

방향으로 epitaxial 성장을 하는 구형 결정립을 가지며, 이 (200) 피이크의 강도가 큰 TiN이 우수한 박막성질을 나타내는 것으로 보고되고 있다.^[19]

그림 2는 XRD의 (111), (200)의 면간거리와 정량적인 강도 값을 나타낸 것으로 N₂ 압력증가에 따라 그 값들이 증가하고 있다. N₂ 압력이 증가하게 되면 TiN(NaCl 구조) 격자내에 더 많은 질소가 interstitial로 채워지므로 면간거리는 증가하게 되지만,^[20] 그림 2와 같이 면간거리가 크게 증가하지 않는 이유는 상대적으로 격자내 자리가 큰 octahedral에 침입되기 때문인 것으로 보인다. TiN 박막의 조성비가 만약 평균 조성 이상이 된다면 다시 비저항이 증가될 것^[21]이라고 예상되나, (111), (200) 피이크의 강도가 N₂ 압력에 따라 증가하고 비저항값이 계속 떨어지고 있으므로 본 실험의 N₂ 압력조건에서 가장 높은 N₂ 압력인 3.5 mTorr에서도 평균 조성 이상의 TiN을 형성하지 않는 것으로 보인다.

그림 3(a), (b)에 α-Ti 상과 N₂ 압력이 2.8mTorr 일 때 형성된 TiN 박막의 SEM 단면사진을 나타내었다. 그림 3(b)의 사진은 TiN 고유의 주상 구조로 치밀한 박막 구조를 보여주고 있다.



N₂ partial pressure :

0.8 mTorr

2.8 mTorr

그림 3. N₂ 압력이 (a) 0.8 mTorr (b) 2.8 mTorr 일때의 SEM 단면사진

Fig. 3. SEM micrographs on N₂ partial pressure of (a) 0.8 mTorr, (b) 2.8 mTorr.

2) 기판온도의 변화

스퍼터링중에 원자의 표면확산을 증가시켜 박막의 증착 반응 및 결정성장을 향상시키기 위해 기판을 가열한다. 상온에서 400℃까지 기판온도를 증가시켰을 경우, 박막증착속도와

비저항값의 변화를 각각 그림 4(a), (b)에 나타내었다. 여기서 N₂ 압력과 출력은 각각 2.8 mTorr, 3kW로 고정시켰다. 그림 4(a)에서 보는 것처럼 박막증착속도는 기판온도 변화에 영향을 받지않으며, 따라서 박막증착속도는 앞 절에서 설명한 N₂ 압력변화에 크게 의존한다는 것을 알 수 있다. 또한 그림 4(b)에서 보는 것처럼 기판온도가 증가함에 따라 비저항이 일정하게 감소하고 있는데, 이는 증착온도가 증가할 수록 박막에 포획된 불순물이 열적으로 활성화되어 밖으로 빠져나가는 현상의 영향^[22]으로 볼 수 있으며, 보다 큰 영향은 입도 증가로 생각되어진다. 입도는 주로 시편표면에서의 각 구성원자 및 형성된 화합물의 표면 운동학과 열역학에 의하여 결정되며, 온도가 증가함에 따라서 큰 열에너지가 제공되고 따라서 더 큰 결정립을 형성한다. Tittmer^[23] 등은 기판온도 증가에 따라 TiN의 입도가 1-2 μ m까지 커진다는 것을 보고한다. 그리고 박막의 색깔은 상온에서 암갈색, 기판온도가 200 $^{\circ}$ C 이상에서 금빛을 갖는 TiN 박막을 얻을 수 있었다.

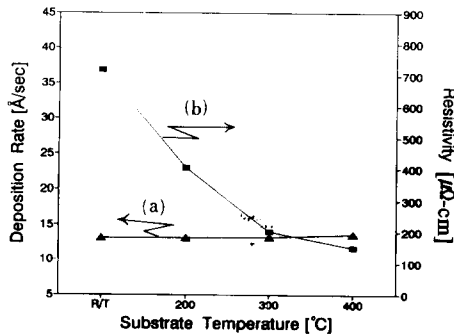


그림 4. 기판온도에 따른 (a) 박막 증착속도 (b) 비저항 값의 변화

Fig. 4. (a) Deposition rate, (b) Resistivity vs. substrate temperature.

표 2는 기판온도가 증가함에 따라 (111)의 면간거리값이 TiN bulk 값($d=2.44$)과 비슷하게 감소하고 있음을 보여준다. 이러한 이유는 앞에서 설명한 것처럼 왜곡된 격자가 온도증가의 영향으로 결정화를 진행시켜 치밀한 박막을 형성하기 때문이며, 따라서 현 조건에서 기판온도의 증가는 박막의 성질을 향상시키는 것으로 보인다.

3) 압력과 출력의 변화

아르곤과 질소의 압력을 합한 전체압력이 7 mTorr(A 시편)에서 12 mTorr(B시편)로 증가함에 따른 박막성질을 표 3에 비교하였다. B시편의 비저항값은 A시편의 것보다 2배이상 크다. 전체압력이 12 mTorr로 증가하게 되면, 두시편의 N₂/Ar+N₂비가 같더라도 N₂의 압력이 2.

표 2. 기판온도 변화에 따른 XRD의 면간거리
Table 2. Interplanar spacings with substrate temperature.

Substrate temperature [$^{\circ}$ C]	Interplanar spacing [\AA]
R/T	2.47
200	2.456
300	2.45
400	2.44

표 3. 전체압력(Ar+N₂ 압력) 변화에 따른 TiN 박막 특성

Table 3. TiN film properties on total pressure of 7 and 12 mTorr.

Total pressure (mTorr)	N ₂ /N ₂ +Ar (%)	Resistivity ($\mu\Omega\text{-cm}$)	Depo. Rate ($\text{\AA}/\text{sec}$)	Color
7	40	338	23.74	gold
12	40	884	14.5	red-brown

8에서 4.8 mTorr로 증가하였기 때문에 TiN의 조성비는 그 영향으로 변화되게 된다. 전체압력이 12 mTorr인 B 시편의 경우에 큰 N₂ 압력증가로 인하여 많은 질소가 TiN 내에 함유되고 따라서 N-rich TiN으로 박막이 증착되게 된다. 그러므로 B시편의 비저항은 이와 같은 N-rich TiN의 형성때문에 증가하였다고 해석될 수 있다. 여기서 N-rich TiN (B) 시편의 빛깔은 붉은색을 띠었으며, 이것은 다른 논문^[24]들과도 일치하고 있다.

앞에서 시험한 출력은 3.0 kW였고 이 보다 낮은 1.96 kW로 출력을 낮출 경우, 그에 따른 박막의 영향을 조사하였다. 표 4는 출력이 1.96 kW 일때 N₂ 압력에 따른 박막증착속도와 비저항의 변화를 보여주고 있다. 출력이 96 kW일 경우 3 kW와 비교하여 200-300 $\mu\Omega\text{-cm}$ 정도의 더 높은 비저항 값을 가지며, 형성속도 또한 2배 정도 감소 했음을 알 수 있다. 이러한 박막증착속도의 감소로 인해서 채 분리되지 않은 질소 분자가 박막의 다공성을 증가시키거나 불순물이 포획될 가능성을 높이기 때문에 비저항이 증가하는 것으로 보인다.^[22] 본 실험조건에서는 출력을 1.96 kW로 낮출 경우, 낮은 형성속도로 인한 공정의 불리함과 높은 비저항으로 출력이 3.0 kW일때 보다 불리한 것으로 판명되었다. 그러나 출력이 1.96 kW일때 비저항값이 N₂ 압력증가에 따라 큰차이로 감소하고 있는 것에 주목할 필요가 있다. 이것은 N₂ 압력이 높을때 낮은 출력이 유리할 수도 있음을 보여준다. 출력이 각 조건에 민감하다^[22]는 것을 고려한다면, 출력 대 압력비의

표 4. Power가 1.96kW일때 비저항 값과 박막 증착 속도
Table 4. Resistivity and deposition rate when power is 1.96kW.

N ₂ partial pressure (m Torr)	Resistivity ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	Deposition rate (Å/sec)
0.8	223	26.7
1.4	982	11.4
2.1	803	9.0
2.8	632	8.6

적절한 최적화 작업은 또한 필요할 것이라고 생각한다.

4) 열처리에 따른 박막 특성변화

열처리 과정으로 TiN/Si 구조에서는 다음 세가지의 현상을 기대할 수 있다. 첫째, 결정립들이 성장된다.^[23] 둘째, 산소와 같은 불순물이 박막의 표면을 산화시키거나 입도 경계에 침투하여 "stuffed arrier"를 형성한다.^[25] 셋째는, 주로 Ti-rich의 경우에 일어나는 현상으로 질화 되지 못한 Ti가 반응실 분위기의 N₂와 TiN을 형성하거나 TiN 박막 내에서 채 분리되지 못한 질소와 결정화를 이루는 현상이 일어날수 있다.^[31] 여기서 첫째와 셋째 현상은 비저항의 감소가 둘째는 비저항의 증가가 예상된다.

각 조건에 따른 모든 시편을 450°C, 30분동안 질소 분위기에서 열처리 하였고, 표 5에는 N₂ 압력에 따른 시편의 비저항과 XRD의 강도 값을 나타내었다. 열처리를 한 시편이 2~3배 큰 비저항을 보여주는데, 이는 앞에서 가정한 첫째, 셋째 요인 보다 두번째 영향이 지배적으로 작용하여 TiN층의 표면이나 입도 경계에 산화물이 형성되어 박막의 비저항이 증가하는 것으로 설명할 수 있다. 또한 열처리 함에 따라 모든 시편의 XRD 피크 강도가 증가하는 모습을 보여준다. 이것은 Ti-rich 상태의 상들이 질소와 결합하여 stoichiometric-TiN을 형성하였기 때문으로 보이며, 이는 앞에서 언급한 세번째의 가정과 일치하는 것이다. 부과적으로, XRD의 강도가 N₂ 분압증가에 따라서 계속 증가하지만 N₂ 분압이 2.1 mTorr 이상에서 거의 증가하지 않음을 보여준다. 이는 N₂ 분압이 2.1 mTorr 이상에서는 Ti-rich가 거의 남아있지 않다는 것을 말해주는 것이다.

앞에서 기판온도가 클수록 입도가 증가하거나 조직이 치밀할 것이라고 언급했었다. 그림 5는 기판온도에 따라 열처리하기 전과 후(450°C, 30분)의 비저항비(R_{450}/R_0)를 나타낸 것이며, 기판온도가 증가함에 따라 비저항비는 감소하고있다. 이러한 이유는 앞에서도 설명한 것처럼 기판온도가 높을 수록 박막의 입도 증가나 치밀한 구조를 갖고 있어서 열처리 공정에서 박막구조에 불순물 (특히 산소)이 많이 침투되지 못하기 때문에 일어나는 것으로 해석할 수 있다.

표 5. 405°C 열처리시 N₂ 압력에 따른 비저항과 XRD의 peak 강도변화
Table 5. Resistivity and XRD peak-intensity on N₂ partial pressure with the post-annealing (450°C, 30 min).

N ₂ partial pressure (m Torr)	Resistivity ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	XRD Peak-intensity
0.8	452	
1.4	1950	115
2.1	1910	117
2.8	1570	131
3.5	1090	133

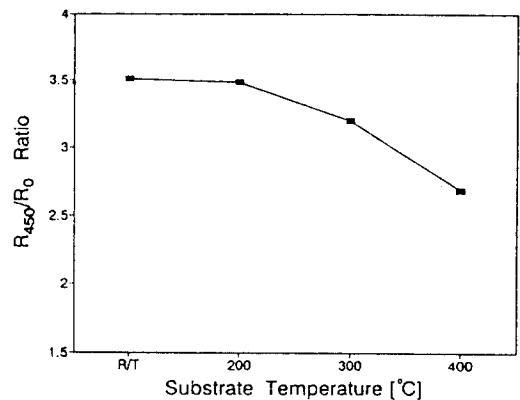


그림 5. 기판온도에 따른 열처리하기전과 후(450°C, 30분) 비저항비 [R_{450}/R_0]
Fig. 5. Ratio of resistivity on post-annealed samples to as-grown as a function of substrate temperature.

IV. 결 론

초고집적 반도체 집적회로의 word line contact에 확산 장벽으로 사용되는 TiN 박막의 신뢰성 및 재현성을 증대시키기 위한 연구를 수행하였다. 이 논문에서는 TiN 박막의 반응성 스퍼터링 조건의 N₂ 압력, 기판온도, 출력, 전제압력과 열처리 변화에 따른 TiN 박막의 특성을 분석하였다. 스퍼터링시 N₂ 압력이 1.4 mTorr 이상에서 TiN이 형성되고 2.8 mTorr 이상에서는 좋은 전기적 특성 및 금빛을 갖는 TiN 박막이 형성된다. 기판온도 변화는 TiN의 증착속도에 거의 영향을 주지 못하며, 온도를 증가 시킬수록 좋은 전기적 특성과 치밀한 구조의 TiN 박막을 얻을 수 있었다. 전제압력 (Ar+N₂ 압력) 증가는

면저항이 큰 N-rich TiN 박막을 형성하며, 낮은 출력일 적용될 때 N₂ 분압이 적은 경우에는 불순물의 포획되거나 다공성을 증가시키는 느린 박막형성속도로 인하여 비저항 값이 증가된다. 열처리에 따라서는 TiN의 결정화가 증가되는 반면에 산화의 영향으로 비저항 값이 증가된다.

參 考 文 獻

- [1] J.P. Coda, and D.S. Rickerby, "The Use of titanium nitride as a diffusion barrier for M-Cr-Al-Y coatings", *Material Sci. Eng.* 74, 93 (1985)
- [2] M. Wittmer, "High-temperature contact structures for silicon semiconductor devices", *Appl. Phys. Lett.* 37(6), 540(1980).
- [3] A. Erdemir, and C.C. Cheng, "Effect of post-deposition annealing on structure and chemistry of the TiN film/steel substrate interfaces", *J. Vac. Sci. Technol.* A9(3), 439 (1991).
- [4] M. Wittmer, "Interfacial reactions between Al and transition-metal nitride and carbide films", *J. Appl. Phys.* 53(2), 1007(1982).
- [5] M. Wittmer, "Barrier layers: principles and applications in microelectronics", *J. Vac. Sci. Technol.* A2, 273(1984).
- [6] M. Repeta, and J.L. Brebner, "The fabrication of TiN films by reactive evaporation and rapid thermal annealing", *J. Appl. Phys.* 63(8), 2796 (1988).
- [7] T. Okamoto, and K. Tsukamoto, "Simultaneous formation of TiN and TiSi₂ by lamp annealing in NH₃ ambient and its application to diffusion barriers", *J. Appl. Phys.* vol. 62, 4465(1987).
- [8] A.E. Morgan, and E.K. Broadbent, "Reaction of titanium with silicon nitride under rapid thermal annealing", *Appl. Phys. Lett.* 49(19), 1236(1986).
- [9] T. Hara, and K. Inoue, "Properties of Titanium Nitride Films for Barrier Metal in Aluminum Ohmic Contact Systems," *Japan. J. Appl. Phys.* vol. 30, 1447(1991).
- [10] A. Sherman, "Growth and Properties of LPCVD Titanium Nitride as a Diffusion Barrier for silicon Device Technology", *J. Electrochem. Soc.* vol. 137, 1893(1990).
- [11] N. Yokoyama, and K. Hinode, "LPCVD TiN as barrier layer in VLSI", *J. Electrochem. Soc.* vol. 136, 882(1989).
- [12] T. Brat, N. Parikh, N.S. Tsai and J. Poole, "Characterization of titanium nitride films sputter deposited from a high-purity titanium nitride target", *J. Vac. Sci. Technol.* B5(6), 1741(1987).
- [13] N. Circelli, and G. Quelrolo, "A STABLE TiN REACTIVE SPUTTERING DEPOSITION PROCESS", *Appl. Surface Sci.* 38, 304(1989).
- [14] D.S. Williams and S.P. Murarka, "Nitrogen, oxygen, and argon incorporation during reactive sputter deposition of titanium nitride", *J. Vac. Sci. Technol.* B5(6), 1723(1987).
- [15] A. Kohlhase, and M. Mandl, "Performance and failure mechanisms of TiN diffusion barrier layers in submicron devices", *J. Appl. Phys.* 65, 2464(1989).
- [16] J.-E. Sudgren, and B.-O. Johansson, "Kinetics of nitride formation on titanium targets during reactive sputtering", *Surface Sci.* 28, 265 (1983).
- [17] N. Kumar, and K. Pourrezaei, "Growth and properties of radio frequency reactively sputtered titanium nitride thin films", *J. Vac. Sci. Technol.* A5(4), 1778(1987).
- [18] N. Kumar, and M.G. Fissel, "Growth and properties of TiN and TiO_xN_y diffusion barriers in silicon on sapphire intergrated circuits", *Thin Solid Films* 153, 287(1987).
- [19] K. Hashimoto, and H. Onoda, "Bias-induced structure transition in reactively sputtered TiN films," *Appl. Phys. Lett.* 54(2), 120(1989).
- [20] B.O. Johansson, and J.-E. Sundgren, "Reactively magnetron sputtered Hf-N films. I. Composition and structure", *J. Appl. Phys.* 58 (8), 3112(1985).
- [21] M. Osting and s. Nygren, "A comparative study of the diffusion barrier properties of TiN and ZrN", *Thin Solid Films* 145, 81(1986).
- [22] J. Simmell, "Properties of dc magnetron reactively sputtered TiN", *J. Vac. Sci. Technol.* B4 (6), 1377(1986).
- [23] M. Wittmer, "Properties and microelectronic applications of thin films of refractory metal nitrides", *J. Vac. Sci. Technol.* A3(4), 1797 (1985).
- [24] M. Dapor, and M. Elena, "Stoichiometry in Ti-N barrier layers studied by x-ray emission spectroscopy", *Thin Solid Films* 153, 303 (1987).
- [25] W. Sinke and G.P.A. Frijlink, "Oxygen in titanium nitride diffusion barriers", *Appl. Phys. Lett* 47(5), 471(1985).

 著 者 紹 介

柳 星 龍 (學生會員) 第29卷 A編 第7號 參照
현재 우진계측 기술연구소
연구원.

●

吳 源 雄 (正會員) 第29卷 A編 第7號 參照
현재 한국전자기술연구소
연구원

●

崔 珍 爽 (正會員) 第29卷 A編 第7號 參照
현재 한양대학교 재료공학과
박사과정

●

白 壽 鉉 (正會員) 第29卷 A編 第7號 參照
현재 한양대학교 재료공학과
교수

●

申 斗 湜 (學生會員) 第29卷 A編 第7號 參照
현재 한양대학교 전자공학과
재학중.

吳 在 鷹 (正會員) 第29卷 A編 第7號 參照
현재 한양대학교 전자공학과
조교수

●

金 泳 南 (正會員) 第29卷 A編 第7號 參照
현재 삼성반도체 연구소
연구원

●

沈 泰 彦 (正會員) 第29卷 A編 第7號 參照
현재 삼성반도체 연구소
수석 연구원

●

李 鍾 吉 (正會員) 第29卷 A編 第7號 參照
현재 삼성반도체 연구소
상무이사