

XPS를 이용한 Cu/TiN의 계면에 관한 연구

이연승 · 임관용 · 정용덕 · 최범식* · 황정남

연세대학교 물리학과*, 전주대학교 전자물리학과
(1997년 4월 9일 접수)

Interface characteristics of Cu/TiN system by XPS

Youn-Seoung Lee, Kwanyong Lim, Young-Duck Chung, Bum-Sik Choi* and Chung-Nam Whang

Department of Physics, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

**Department of Physics, Jeonju University, Jeonju 560-759, Korea*

(Received April 9, 1997)

요 약 - XPS를 이용하여 공기 중에 노출된 TiN 박막과 상온 증착된 Cu사이의 계면에서의 화학적 반응과 전자 구조적인 변화를 조사하였다. Ti(2p), O(1s), N(1s), Cu(2p) core-level과 Cu LMM Auger line의 spectrum을 보면, Cu의 증착두께가 증가하여도 peak의 위치 뿐만 아니라 line shape이 전혀 변화하지 않는다. 그리고 XPS에 의한 valence bands를 보아도 전혀 변화가 없다. 이것은 공기 중에 노출된 TiN 박막과 Cu 사이의 계면에서 Cu 화합물의 어떠한 형태도 존재하지 않을 뿐만 아니라 전자 구조적인 면에서도 전혀 변화가 없음을 의미한다. 계면에서 Cu가 화학적 반응을 일으키지 않는 것은 계면접합력을 나쁘게 하는 요인이 된다. 우리는 계면에서의 화학 반응 또는 전자구조의 변화에 대한 연구를 통하여 Cu와 TiN 박막의 계면접합력을 이해할 수 있었다.

Abstract - A chemical reaction and electronic structure change at the interface between copper and titanium nitride were investigated by XPS. A thin Cu layer was deposited on a TiN substrate oxidized by exposure to air at room temperature. We observed the Ti(2p), O(1s), N(1s), Cu(2p) core-level, and Cu LMM Auger line spectra. With increasing of the thickness of Cu layer, these spectra do not show any changes in the line shape as well as in peak position. In addition, the valence band spectra in XPS do not show any changes, which indicates that Cu does not react with Ti, N, and O. This inactivity of Cu might cause a poor adhesion between Cu and TiN.

1. 서 론

반도체 소자의 초고집적화를 위해 소자의 설계 및 구성 못지 않게 재료적인 특성이나 그 형성 방법 등에 대한 많은 연구들이 있어왔다[1-5]. 1980년대에는 주로 Al 박막에 대한 물리적 특성 및 확산에 대한 활발한 연구로 인하여 그 재료적인 면이나 그 형성방법 및 구성에 커다란 변화를 가져왔다. 그 결과 1980년대 말에는, DRAM 소자의 배선재료로 Al을 이용하여 contact size를 $2.0\ \mu\text{m} \times 2.0\ \mu\text{m}$ 로 축소시켜 최소선폭 $1.2\ \mu\text{m}$ 인 1 M DRAM 소자를 생산하게 되었다. 그러나 최소선폭 $0.8\ \mu\text{m}$ 인 4 M DRAM(contact size : $1.6\ \mu\text{m} \times 1.6\ \mu\text{m}$)을

개발·생산하면서 Al과 Si 간의 확산으로 인해 소자의 동작에 필요한 contact 저항을 얻지 못하므로써, Al과 Si에 대한 barrier 물질이 중요한 연구과제로 등장하게 되었다. 그 후 많은 연구 개발을 통해 Al에 대해서는 TiN이 비교적 효과적인 barrier 물질로서 인정받게 되었고[6-10], 이를 이용하여 최소선폭 $0.6\ \mu\text{m}$ 에 contact size $0.8\ \mu\text{m} \times 0.8\ \mu\text{m}$ 인 16 M DRAM 소자까지 개발되었다. 1993년에 이르러 64 M DRAM(최소선폭 : $0.32\ \mu\text{m}$, contact size : $0.5\ \mu\text{m} \times 0.5\ \mu\text{m}$)이 개발되면서부터 계속해서 작아진 contact size에 따른 contact 저항 문제, 급속배선의 폭의 감소와 배선길이의 증가에 따른 비저항 문제와 electromigration(EM) 특성 저하 등이 크게 부

각되기 시작했다. 재료적인 특성 개발로 Al 합금을 이용하여 Al 자체 물성으로부터 오는 문제점을 보완하고, TiN을 barrier로 하는 공정 방법의 전환을 통해 64 M DRAM의 개발이 성공을 거둠에 따라 뒤이어, 1994년대에는 최소선폭 0.25 μm 에 contact size가 0.25 $\mu\text{m} \times 0.25 \mu\text{m}$ 인 256 M DRAM용 module chip 개발 성공이 발표되었다.

그러나 계속적인 DRAM 소자의 고집적화 요구로 contact size의 감소로부터 오는 여러 가지 문제점들로 인하여 Al 배선의 사용이 한계에 이르게 되면서 Al 자체의 특성으로부터 오는 문제들이 1 G DRAM 소자(최소선폭 0.15 μm)의 개발을 위한 당면한 문제로 남게 되었다[11-13]. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 Al을 대신해서 금속공정에 사용될 수 있는 재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재 Al의 대체금속으로서 Cu가 각광을 받고 있다[13-15].

Cu는 Al에 비해서 비저항이 낮고, 녹는점이 높아서 electromigration 및 stress migration에 대한 저항성이 우수한 물질이다[16,17]. 최근에는 이러한 Cu를 금속공정의 배선재료로 사용하기 위하여 여러 가지 diffusion barrier 물질(TiN[18-22], TiNSi[23], W[24], Ta[25, 26] 등)의 개발과 함께 저항 및 diffusion에 관한 많은 연구 결과들이 보고되고 있다[18-26].

일반적으로 reactive sputtering 방법으로 증착된 TiN 박막은 columnar structure를 가지는데, 이 때 column과 column 사이의 경계가 확산 경로로서 작용하게 된다. TiN 박막이 공기 중에 노출되면 표면과 grain들 사이에 TiO_2 층이 형성되어 Al의 경우에는 Al이 산소와 반응하여 가장 안정된 phase인 Al_2O_3 를 표면층에 형성하고, 계면에서 Al-Ti-O 화합물이 형성되므로서 계면접합력(adhesion)을 좋게 할 수 있을 뿐만 아니라 Al이 더 이상 grain 경계를 따라 확산하지 못하도록 확산방지막(diffusion barrier) 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 Cu의 경우에도 역시 TiN 확산방지막이 Al의 경우와 마찬가지로 적용될 수 있는지를 알기위해 공기 중에 노출된 TiN의 경우에 대해서 조사해 보았다.

이미 보고된 바 있는 이러한 system에 대한 확산연구에 의하면, Cu가 TiN의 grain 경계를 따라 빠른 속도로 확산할 뿐만 아니라 Cu와 TiN 사이의 계면접합력이 좋지 못한 것으로 보고되고 있다[17, 20-22, 27]. 하지만 아직까지 Cu와 TiN 또는 TiO_2 사이의 계면접합력 및 정확한 화학반응에 대해서 실험적으로 보고된 바가 없었

다. 따라서 본 연구에서는 x-ray photoelectron spectroscopy(XPS)를 이용하여 계면에서의 화학반응 및 전자구조의 변화를 통하여 간접적으로 계면접합력과 확산경로에 대하여 이해하려고 한다.

2. 실험방법

Boron이 doping된 p-type Si<100> wafer 위에 Applied Materials Inc. 사의 ENDURA 5500 sputtering system을 이용하여 TiN을 증착시켰다. TiN의 증착은 N_2 -Ar(Ar:N₂=25:60) 혼합기체를 chamber의 진공도가 3.3×10^{-1} Torr가 되도록 주입하여 reactive sputtering 방법으로 하였으며, 이때의 Si 기판의 온도는 400°C였다. 증착된 TiN의 조성비는 1.0:1.1이고 그 두께는 약 5000 Å정도였다. 이는 Rutherford backscattering spectrometry (RBS)를 이용하여 얻어진 값이다. 이렇게 형성된 TiN을 공기 중에 노출시켰다가 초고진공 system에 장착하였으며 chamber의 base pressure는 3×10^{-10} Torr였다. 상온에서 공기 중에 노출된 TiN 박막 위에 3 keV의 Ar^+ 이온 sputtering system을 이용하여 고순도의 Cu(99.99%)를 조금씩 증착하면서 *in situ*로 XPS를 이용하여 계면에서의 화학반응을 관찰하였다. 이때의 Cu의 증착률은 약 1 Å/min이다.

Cu가 증착되기 전후의 표면화학 성분의 변화를 분석하기 위하여 사용된 XPS 장비는 PHI 5700 ESCA이다. X-선원은 단일과장 Al K α 를 사용하였고 광전자의 에너지를 분석하기 위한 반구형 에너지 분석기의 pass energy는 23.5 eV로 Ag의 3d_{5/2} line에 대한 energy resolution이 0.7 eV이었다. 그리고 core-level의 에너지는 Au의 4f_{7/2} 준위(83.8 eV)와 valence band의 Fermi edge를 기준 삼아 보정하였다. Cu 증착 전·후의 TiN 표면의 C, N, O, Ti, Cu의 원자조성비는 PHI 사의 PC-ACCESS Multitechnique V6.0E를 이용하여 C, N, O, Ti, Cu core level 스펙트럼의 면적을 계산함으로써 구하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 순수한 Ti, 오염 제거된 TiN, 대기 중에 노출된 TiN 시료에 대한 Ti(2p) core-level XPS spectrum을 보여주고 있다. 순수한 Ti나 순수한 TiN의 경우에는 비대칭적인 Ti(2p_{1/2,3/2}) doublet peak가 분명하게 나타나고, 순수한 Ti의 Ti(2p_{1/2})(454.1 eV)와 TiN의 Ti(2p_{3/2})(455.8

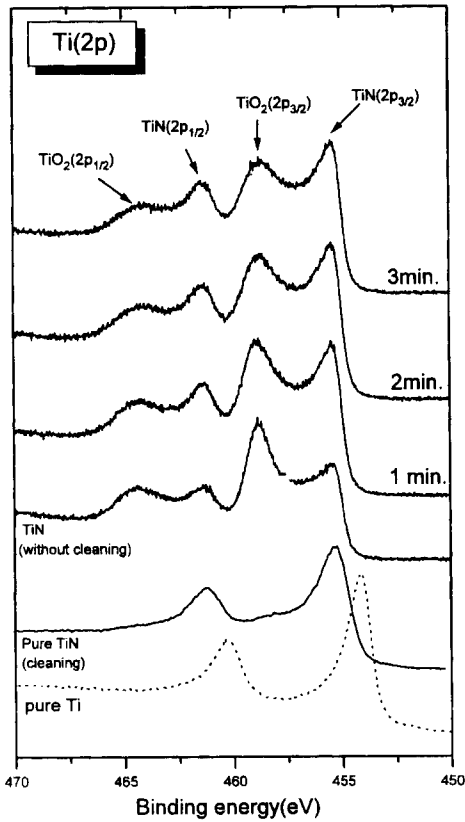


그림 1. Pure Ti, pure TiN, 공기 중에 노출된 TiN 박막, 그리고 Cu 증착시간에 따라 TiN 박막으로부터 얻어진 XPS Ti(2p) core-level spectra.

eV) peak는 그 위치가 매우 달라 구별하기가 쉽다. 공기 중에 노출된 TiN 시료에 대해서는 4개의 peak가 나타나는데 이것은 오염 제거된 TiN에 대한 doublet과 표면층이 산화됨으로서 형성된 Ti 산화물의 peak 위치(458.8 eV)에 대한 doublet이다. 표면에 산화층이 형성된 TiN 시료 위에 Cu를 조금씩 증착시키면서 계면에서의 변화를 보았다. 오른쪽에 나타내어진 시간은 Cu의 증착시간이다. 계면에서 Ti, Ti-N, 또는 Ti-O가 Cu와 화학적 반응을 하였다면, peak의 위치변화 내지는 새로운 peak의 형성이 있을 것이다. 그림 1을 보면, Cu가 증착되지 않은 spectrum과 비교해 볼 때, 우선 Cu가 증착됨에 따라 TiO₂ peak의 세기가 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 Cu를 sputtering 증착법으로 올림에 따라서 나타나는 표면 cleaning 효과로서 기판의 표면이 조금 sputtering되어 불순물인 oxide 층이 깎여나갔기 때문이다. 이러한

표 1. 공기 중에 노출된 TiN 박막에 대한, Cu의 증착시간 변화에 따른 상대적인 원자 조성비 변화

| Time of deposition | Relative atomic concentration | | | | |
|--------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|---------------------|
| | C1s | N1s | O1s | Ti2p | Cu2p _{3/2} |
| 0 min | (0.314)* | (0.499)* | (0.733)* | (2.077)* | (2.626)* |
| 1 min | 45.50(%) | 18.09(%) | 17.60(%) | 18.81(%) | 0.00(%) |
| 2 min | 19.99 | 24.95 | 20.10 | 26.70 | 8.26 |
| 3 min | 11.74 | 25.03 | 19.26 | 27.85 | 16.13 |
| 3 min | 8.16 | 24.63 | 17.04 | 27.17 | 23.00 |

*PHI사의 PC-ACCESS Multitechnique V6.0E program 상의 sensitivity factor들

sputtering 증착법에 의한 표면 cleaning 효과는 표 1로부터 알 수 있다. 표 1을 보면, 공기중에 노출됨으로써 TiN 표면에 형성된 오염물질은 탄소와 산소로서, Cu가 증착됨에 따라 탄소의 상대적인 원자조성비가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 이 탄소의 조성비 변화만으로도 Cu 증착시 표면 cleaning 효과가 동반되었음을 알 수 있다. 그러나 산소의 경우는, 그 조성비가 감소하기는 하지만 탄소에 비해 조성비 변화의 정도가 작다. 이는 일부의 산소가 Ti와 반응하여 Ti 산화물 형태로 존재하기 때문에 비교적 탄소보다 적게 떨어져 나가기 때문이다. 그림 1을 다시 보면, TiN+TiO₂ 표면에 Cu의 증착 두께가 증가하여도 여전히 4개의 peak가 존재하는데, 그 peak의 위치 역시 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 이것은 증착된 Cu가 Ti와 어떠한 형태로도 반응하지 않은 것을 의미한다.

그림 2는 공기 중에 노출된 TiN 시료와 그 위에 Cu를 증착하면서 본 N(1s)와 O(1s) core-level XPS spectrum을 보여주고 있다. N(1s)와 O(1s) core-level spectrum에 있어서, Cu가 증착되지 않은 경우에 공기 중에 노출시 전형적으로 나타나는 peak들이 보인다. N(1s) core-level spectrum에서는 396.9 eV에 나타나는 주 peak는 TiN에 의한 peak이고, 보다 낮은 결합에너지 부분에 보여지는 shoulder는 공기중의 산소와 반응하여 형성된 oxynitride(396.1 eV)[28,29]에 의한 것이다. 그리고, 주 peak 보다 높은 결합에너지 쪽의 작은 peak는 공기중의 hydrogen과 반응하여 형성된 NH₃(398.7~399.6 eV)에 의한 것이다[28,29]. 그리고 O(1s) core-level spectrum을 보면, 주 peak(529.9 eV)는 TiO₂에 의해 형성된 것이고, 보다 높은 결합에너지 쪽에 나타나는 peak(532.1 eV)는 공기 중의 산소에 의한 oxynitride에 대한 peak이다[28,29]. 이러한 표면상태에 대해 Cu의 증착 두께를 증가시키면

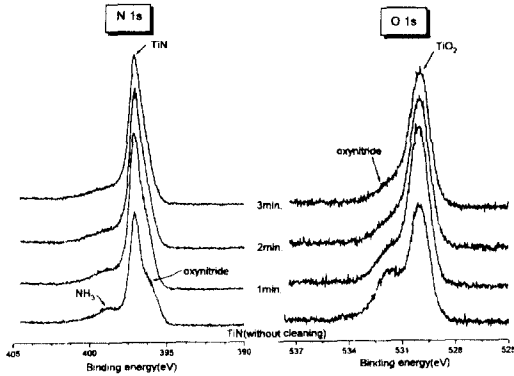


그림 2. 공기 중에 노출된 TiN 박막과 Cu 증착시간에 따라 TiN 박막으로부터 얻어진 XPS N(1s) 와 O(1s) core-level spectra.

따라 변화되는 N(1s) 와 O(1s) peak를 보면, 그림 1에서와 마찬가지로 Cu의 증착법에 의한 표면 cleaning 효과가 있어 N(1s) core-level spectrum에서는 oxynitride와 NH₃ peak가 그리고 O(1s) core-level spectrum에서는 oxynitride peak가 사라지는 것을 볼 수 있지만, O(1s)와 N(1s) core level spectrum 모두 다 주 peak의 변화는 역시 보여주지 않고 있다. 이상의 Ti(2p), O(1s), 그리고 N(1s) core-level spectrum 결과로 볼 때, 기판의 Ti, N, O 성분이 Cu와 화학적 반응을 하지 않는다는 것을 볼 수 있다.

기판의 성분인 Ti, N, 그리고 O에 대한 core-level spectrum으로부터 Cu 증착에 따르는 어떠한 변화도 볼 수가 없었기 때문에 이번에는 Cu에 대한 core-level과 Auger signal을 비교해 보았다(그림 3). 그러나 그림에서

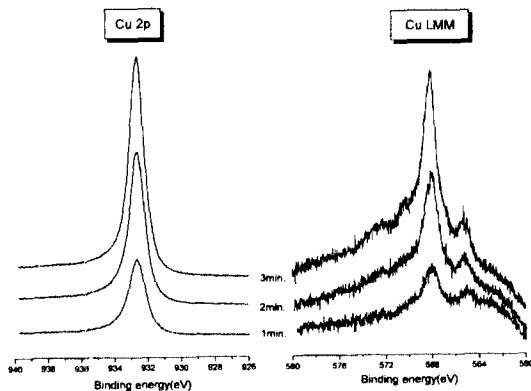


그림 3. Cu 증착시간에 따라 TiN 박막으로부터 얻어진 XPS Cu(2p) core-level과 Cu LMM Auger spectra.

도 볼 수 있듯이 Cu(2p) core-level spectrum과 Cu LMM Auger spectrum에 있어 주 peak들이 모두 다 순수한 Cu가 갖는 peak 위치(Cu 2p:932.6 eV, Cu LMM:568 eV)에서 나타나며 증착 두께가 증가함에 따라 Cu의 함량 증가로 인한 peak의 세기만 증가하였다. 결국 Ti, N, O, Cu core-level 그리고 Cu LMM Auger spectrum으로부터, TiN과 TiO₂로 이루어진 박막과 증착된 Cu 사이의 계면에서 어떠한 Cu와의 화학적 결합형태도 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 계면에서 Cu가 화학적 반응을 일으키지 않는 것은 계면접합력을 나쁘게 하는 요인이 된다. 하지만 어떤 면에서는 Cu의 전기·역학적 특성을 감소시켜주는 Cu 산화물이 계면에서 형성되지 않기 때문에 TiN 또는 TiO₂ 층을 기판으로 하여 확산방지막으로서의 역할과 함께 Cu와의 계면접합력을 증가시켜 줄 promoter가 되는 물질 및 공정과정의 개발이 뒷받침이 된다면 TiN 층이 Al을 사용할 때와 마찬가지로 이용될 수 있다고 여겨진다.

일반적으로, valence band spectrum은 채워진 DOS (density of states) 구조와 밀접한 관계가 있기 때문에, 물질의 전자구조에 대한 연구에 상당히 유용하다. 이러한 전자 구조의 변화를 보기 위하여 XPS의 valence band를 관찰하였다(그림 4). 공기 중에 노출된 TiN에 대한 valence band spectrum을 보면 Fermi edge 부근에 나타나야하는 순수한 Ti의 d band는 보이지 않고 약 4 eV에서 8 eV정도에 넓게 분포하는 peak이 보이는데 이는 N과 O의 2p band로서 Ti의 3d state와 강하게 결합되어 나타나는 peak이다[29,30]. 이렇게 강하게 결합된 TiN 구조를 지닌 기판위에 Cu를 증착함에 따라 전자구조가 어떻게 변해가는지 그리고 얼마만큼의 변화를 가지고 있는지 다음과 같은 방법을 사용하여 알아보았다. 그림 4에서 굵은 실선은 Cu가 증착되었을 때의 실제 spectrum이고 가는 실선은 공기 중에 노출된 TiN에 대한 실제 spectrum이다. 그리고 Cu를 증착함에 따라 얻어진 실제 spectrum으로부터 공기 중에 노출된 TiN spectrum을 뺀 결과를 점선으로 나타내어졌다. Cu의 증착시간이 증가함에 따라 Cu의 3d state가 주가 되는 약 2 eV에서 4 eV 사이의 peak은 증가하고 p-band 인 7 eV정도의 peak는 상대적으로 감소하는 것처럼 보인다. 증착된 Cu의 양이 매우 작으므로 기판으로부터 나오는 signal의 세기는 별로 변하지 않을 것으로 가정하여 Cu를 증착함에 따라 보여지는 실제 spectrum에서 본래의 기판(TiN 시료)이 갖는 실제 spectrum을 빼 보았다. 그 결과,

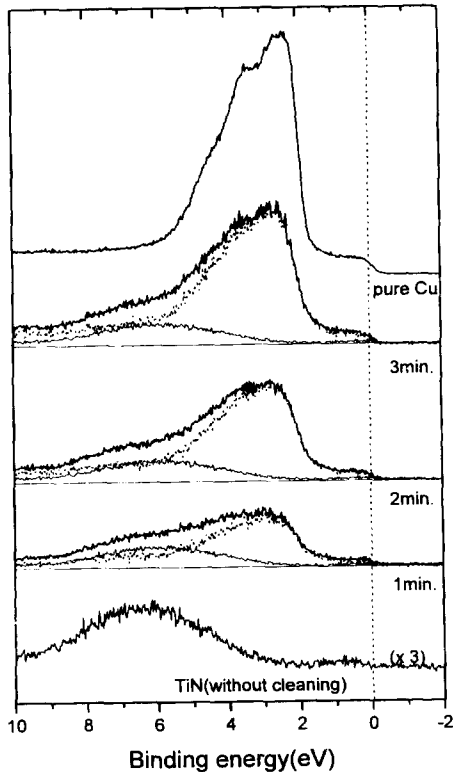


그림 4. Pure Cu, 공기 중에 노출된 TiN 박막, 그리고 Cu 증착시간 변화에 따른 TiN 박막으로부터 얻어진 XPS valence band spectra: 굵은 실선은 Cu가 증착된 TiN 박막으로부터 얻어진 실제 spectrum, 가는 실선은 공기 중에 노출된 TiN 박막에 대한 실제 spectrum, 그리고 점선은 굵은 실선과 가는 실선의 차이.

증착된 Cu의 양이 작아서 signal의 세기가 작기는 해도 거의 순수한 Cu가 갖는 valence band spectrum과 매우 유사한 모양을 갖는다는 것을 알 수 있었다. 즉, 이것은 전자 구조적인 면에서조차도 전혀 변화가 없는 것으로 Ti, N, O는 Cu와 어떠한 형태의 반응도 하지 않는다는 것을 말해준다.

이상의 결과로부터, TiN 또는 TiO_2 는 Cu와 상온에서 화학적 구조 및 전자 구조면에서 전혀 반응을 하지 않는다는 것을 알았다. 증착된 Cu가 이렇게 Ti, N, O와 반응을 하지 않는 이유는 heat of formation(ΔH_m) 값으로부터 설명될 수 있다. TiO_2 와 TiN의 ΔH_m 는 각각 -945 kJ/mole 와 -338 kJ/mole 로 비교적 음으로 큰 값을 가지는데 반하여 Cu_2O 의 ΔH_m 는 -169 kJ/mole 로 TiO_2 나 TiN에 비하여 불안정하다[31]. 그러므로 계면에서 TiN과 TiO_2 가 안정된 상태에 있고 또한 증착된 Cu가 그 안정된 상태

를 깰 만한 요소를 지니고 있지 않기 때문에 기관과 반응을 하지 않고 순수한 Cu 그 자체로서 증착된다는 것을 알 수 있다. Heat of formation 값이 -1676 kJ/mole 인 Al_2O_3 와 비교해 보면[31], TiN 또는 TiO_2 층에 증착된 Al은 계면에서 TiO_2 와 Al으로 각각 존재하는 것보다는 Al_2O_3 가 훨씬 더 안정하므로 Ti-O-Al 화합물 내지는 Al_2O_3 를 형성하게 되고, 이러한 확실한 계면에서의 화학적 반응은 계면접착력을 좋게 해주는 요소가 된다. 또한 Al의 경우에는 계면에 형성된 Al_2O_3 층이 columnar structure를 가진 TiN 박막의 grain 경계를 통한 Al의 확산을 막아주는 역할까지도 하게 된다. 이상에서와 같이 계면에서 화학적 반응이 일어나는 Al의 경우와 비교해 볼 때, Cu는 계면에서 어떠한 화학적 반응도 일어나지 않기 때문에 이로 인하여 계면접합력이 나쁠 수밖에 없다는 결론을 얻을 수 있으며, 또한 Cu가 계면에서 산화물 내지는 화합물을 형성하지 못하기 때문에 TiN 박막의 columnar structure 및 그 밀도를 바꿔주지 않는 한 TiN 박막의 grain 경계를 타고 Cu가 확산한다는 것을 미루어 짐작해 볼 수도 있다. 이처럼 계면에서의 두 물질간의 화학적 결합상태의 변화를 관측한다는 것은 계면접합력 뿐만 아니라 확산방지막 연구에 있어서 중요한 자료가 될 것으로 여겨진다.

4. 결 론

XPS를 이용하여 공기 중에 노출된 TiN 박막과 상온 증착된 Cu 사이의 계면에서의 화학적 반응과 전자 구조적인 변화를 조사하므로써 계면접합력 및 확산방지막에 대하여 이해하고자 하였다.

먼저, 계면에서의 화학반응에 대하여 조사하기 위하여 Cu를 증착하기 전·후의 spectrum을 얻어 비교하였다. Cu를 증착하지 않은 공기 중에 노출된 TiN 박막에 대한 Ti(2p) spectrum으로부터 표면층이 TiO_2 와 TiN 층으로 이루어져 있음을 볼 수 있었다. 이러한 기관위에 Cu를 증착하면서 Ti(2p), O(1s), N(1s)의 XPS core-level spectrum의 변화를 관측하였는데 이들 spectrum에서 전혀 화학적 반응이 일어났을 만한 변화를 볼 수가 없었다. 또한 Cu(2p) core-level과 Cu LMM Auger spectrum에서도 기관(TiN+ TiO_2)과의 화학적 반응에 대한 현상을 전혀 관측할 수 없었다. 이상의 결과로부터, TiN과 TiO_2 로 이루어진 계면과 증착된 Cu 사이의 계면에서 어떠한 Cu와의 화학적 결합형태도 나타나지 않는 것을 알 수

있었다.

XPS의 valence band를 관찰하였지만 전자 구조적인 면에서도 전혀 Cu 증착에 따르는 계면에서의 변화를 볼 수 없었다. 즉, TiN+TiO₂ 기판과 증착된 Cu와의 계면에서는 어떠한 형태의 화학적 결합도 이루어지지 않았으며, 또한 이것은 전자 구조적인 면에서도 전혀 변화 없이 기판은 기판대로, Cu는 Cu 대로 존재한다는 것을 의미한다.

계면에서 Cu가 화학적 반응을 일으키지 않는 것은 계면접합력을 나쁘게 하는 요인이 된다. Al의 경우를 고려하여, 계면에 존재하는 산소가 Cu와 반응 할 것으로 생각되었으나, Cu의 전기·역학적 특성을 감소시켜주는 Cu 산화물이 계면에서 형성되지는 않았다. 기판과 Cu사이에 화학적 결합이 없어 계면접합력이 나쁘고, 이로 인하여 TiN 박막이 확산방지막으로서의 역할도 다하지는 못하지만, 계면에 Cu 산화물 층을 형성하지 않는 것은 오히려 하나의 장점이 되고 또한 확산방지막으로서의 가능성이 있음을 보여준다. 그러므로 TiN 또는 TiO₂ 층을 기판으로 하여 Cu와의 계면접합력을 증가시켜 줄 promoter가 되는 물질 및 공정과정의 개발을 하는 것이 중요하며, 이에 대한 실험적 뒷받침으로 XPS와 같은 표면분석장비를 이용한 Cu와 기판간의 계면에 대한 연구 역시 매우 중요하다.

감사의 글

본 연구는 교육부 지원(과제번호 : BSRI-97-2426)과 연세대학교 초미세 표면과학 연구센터의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- H. Hwang, W. Ting, B. Maiti, D. -L. Kwong, and J. Lee, Appl. Phys. Lett. **57**, 1010 (1990).
- M. Mandl, H. Hoffman, and P. Kucher, J. Appl. Phys. **68**(5), 2127 (1990).
- H. Shinriki and M. Nakata, IEEE Trans. **ED-38**, 455 (1991).
- K. Ueno, K. Ohta, and K. Tsunenari, in *Advanced Metallization for ULSI Applications in 1994* (Materials Research Society, Pittsburgh, 1995), p. 95.
- P. -Y. Lesaichere, H. Yamaguchi, Y. Miyasaka, H. Watanabe, H. Ono, and M. Yoshida, Integrated Ferroelectrics **8**, 201 (1995).
- W. J. Garceau, P. R. Fournier, and G. K. Herb, Thin Solid Films **60**, 237 (1979).
- M. Wittmer, Appl. Phys. Lett. **37**, 540 (1980).
- H. von Seefeld, N. W. Cheung, M. Maenpaa, and M. A. Nicolet, IEEE Trans. **ED-27**, 873 (1980).
- N. W. Cheung, H. von Seefeld, M. A. Nicolet, F. Ho, and P. Iles, J. Appl. Phys. **52**, 4297 (1981).
- M. Maenpaa, M. A. Nicolet, I. Suni, and E. G. Colgan, Sol. Energy **27**, 283 (1981).
- J. Li, T. E. Seidel, and J. W. Mayer, MRS Bulletin **XIX**(8), 15 (1994).
- J. Li and A. E. Kalogerous, in *Advanced Metallization for ULSI Applications in 1993*, edited by D. P. Favreau, Y. Shacham-Diamond, and Y. Horiike (Materials Research Society, Pittsburgh, 1994), p. 599.
- S. P. Murarka, in *Tungsten and other Advanced Metals for VLSI Applications 1990*, edited by G. C. Smith and R. Blumenthal (Materials Research Society, Pittsburgh, 1991), p. 179.
- J. Li, R. Blewer, and J. W. Mayer, MRS Bulletin **XVIII**(6), 18 (1993).
- K. Suguro and H. Shibata, in *Advanced Metallization for ULSI Applications in 1993*, edited by D. P. Favreau, Y. Shacham-Diamond, and Y. Horiike (Materials Research Society, Pittsburgh, 1994), p. 23.
- J. O. Olowolafe, Jian Li, and J. W. Mayer, J. Appl. Phys. **68**(12), 6207 (1990).
- W. Sinke, G. P. A. Frijlink, and F. W. Saris, Appl. Phys. Lett. **47**(5), 471 (1985).
- M. Wittmer, J. Vac. Sci. Technol. **A2**, 273 (1984).
- Shi-Qing Wang, Ivo Raaijmakers, Brad J. Burrow, Sailesh Suthar, Shailesh Redkar, and Ki-Bum Kim, J. Appl. Phys. **68**(10), 5176 (1990).
- K. V. Guinn, V. M. Donnelly, M. E. Gross, F. A. Baiocchi, I. Petrov, and J. E. Greene, Surface Science **295**, 219 (1993).
- Ki-Chul Park and Ki-Bum Kim, J. Electrochem. Soc. **142**(9), 3109 (1995).
- J. O. Olowolafe, Jian Li, and J. W. Mayer, Appl. Phys. Lett. **58**, 469 (1991).
- E. Kolawa, J. S. Chen, J. S. Reid, P. J. Pokela, and M. A. Nicolet, J. Appl. Phys. **70**(3), 1369 (1991).
- O. Auceiello, J. Vac. Sci. Technol. **A9**, 625 (1991).
- P. Catania, J. P. Doyle, and J. J. Cuomo, J. Vac. Sci. Technol. **A10**, 3318 (1992).
- K. Holloway and P. M. Fryer, Appl. Phys. Lett. **57**, 1736 (1990).
- B. Arcot, S. P. Murarck, L. A. Clevenger, Q. Z. Hong, W. Ziegler, and J. M. E. Harper, J. Appl.

- Phys. **76**(9), 5161 (1994).
28. J. F. Moulder, W. F. Stickle, P. E. Sobol, and K. D. Bomben *Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy* (Physical Electronics, Inc., USA, 1995).
29. P. Prieto and R. E. Kirby, *J. Vac. Sci. Technol. A* **13**(6), 2819 (1995).
30. H. Hochst, R. D. Bringans, P. Steiner, and Th. Wolf, *Phys. Rev.* **B25**, 7183 (1982).
31. G. H. Aylward and T. J. V. Findlay, *SI Chemical Data, 2nd ed.* (John Wiley & Sons Australasia PTY, Ltd. Sydney, 1971), Table 6.