

## Ta 확산 방지막 특성에 미치는 기판 바이어스에 관한 연구

임재원<sup>†</sup> · 배준우 · Minoru Isshiki

동북대학 다원물질과학연구소  
(2003년 7월 4일 접수)

### Study on diffusion barrier properties of Tantalum films deposited by substrate bias voltage

Jae-Won Lim<sup>†</sup>, Joon Woo Bae, and Minoru Isshiki

*Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan*  
(Received July 4, 2003)

#### 요 약

본 논문은 탄탈 확산 방지막의 증착시 음의 기판 바이어스에 의한 탄탈막의 특성변화와 열적 안정성에 대해서 고찰하였다. 기판 바이어스를 걸지 않은 경우, 탄탈막은 원주형 모양의 결정 성장을 보이는 주상구조와 250  $\mu\Omega$  cm의 높은 비저항값을 보였으나, 기판 바이어스를 걸어줌에 따라서 주상구조가 아닌 치밀한 미세구조와 표면이 평탄한 막이 형성되었고 비저항값도 현저히 감소되었으며, 특히 -125 V에서 증착된 탄탈막은 비저항값이 약 40  $\mu\Omega$  cm로 이는 탄탈 벌크의 저항값 (13  $\mu\Omega$  cm)에 근접한 값을 알 수 있었다. 또한, 탄탈 확산 방지막의 열적 안정성에 대해서도, 기판 바이어스를 걸지 않은 탄탈막의 경우 400°C에서 구리와 실리콘의 반응에 의해 비저항값이 크게 증가한 결과에 비해, 기판 바이어스에 의해 증착된 탄탈막의 경우 600°C까지 확산 방지막의 효과를 유지하고 있는 것으로 관찰되었다.

주제어 : 탄탈, 비저항, 이온빔 증착, 기판 바이어스

#### Abstract

Ta diffusion barriers have been deposited on Si (100) substrate by applying a negative substrate bias voltage. The effect of the substrate bias voltage on the properties of the Ta films was investigated. In the case of the Ta films deposited without the substrate bias voltage, a columnar structure and small grains were observed distinctly, and the electrical resistivity of the deposited Ta films was very high (250  $\mu\Omega$  cm). By applying the substrate bias voltage, no clear columnar structure and grain boundary were observed. The resistivity of the Ta films decreased remarkably and at a bias voltage of -125 V, reaching a minimum value of 40  $\mu\Omega$  cm, which is close to that of Ta bulk (13  $\mu\Omega$  cm). The thermal stability of Cu(100 nm)/Ta(50 nm)/Si structures was evaluated after annealing in H<sub>2</sub> atmosphere for 60 min at various temperatures. The Ta films deposited by applying the substrate bias voltage were found to be stable up to 600°C, while the Ta films deposited without the substrate bias voltage degraded at 400°C.

Key Words : tantalum, resistivity, ion beam deposition, substrate bias

---

<sup>†</sup> E-mail : flashlim@mail.tagen.tohoku.ac.jp

## 1. 서 론

ULSI (ultra large-scale integration)의 초고집적화와 초고속화의 실현으로 반도체소자의 성능향상을 위하여 기존의 알루미늄 합금의 배선재료를 대체하는 구리 배선재료가 활발히 연구되어 실용화되어지고 있는 실정이다 [1,2]. 구리는 비저항값( $1.67 \mu\Omega\text{cm}$ )이 알루미늄 ( $2.67 \mu\Omega\text{cm}$ )에 비하여 상당히 낮은 저항과 전기적 이동(electromigration)에 대한 내성이 우수하여 차세대 반도체 배선재료로서 연구가 진행되고 있지만 아직도 해결해야하는 몇 가지 문제점들을 갖고 있다. 그 중 하나는 구리가 실리콘이나 유전막을 통해 확산하여 소자의 전기적 특성을 손상시키는 문제로서 이를 방지하기 위하여 확산 방지막으로 주로 내화금속계(Ta, TiN, Ta, TaN, W, WN) 재료들이 활발히 연구되어 구리 배선재료 공정에 사용될 수 있는 효과적인 재료로 알려져 있다 [3-6]. 그 중 탄탈막은 고융점 내화 재료로서 다른 재료에 비해 낮은 저항값을 갖으며 구리와 탄탈의 반응이 없는 비교적 안정한 계면을 유지한다고 보고되고 있다 [7]. 또한, 확산 방지막이 고온에서 결정입계의 구리의 확산을 방지하기 위해서는 원주형의 주상구조를 갖지 않는 보다 치밀한 확산 방지막이 요구되어진다.

질량 분리형 이온빔 증착법(mass-separated ion beam deposition)은 완전히 이온화된 원자빔에 의해서 고순도와 낮은 결합밀도를 갖는 고품위의 박막을 제조하는데 유용한 기술이라고 알려져 있다 [8,9]. 그러나, 질량 분리형 이온빔 증착법은 우수한 특성의 박막제조와 기초연구에 커다란 성과를 얻고 있음에도 불구하고 증착되어지는 영역이 매우 좁고(직경 10 mm 미만) 질량 분리를 위한 고가의 장비로 인해 실용적으로 쓰이기에는 어려움이 있었다. 이러한 이유로 상업적인 응용을 위해 비질량 분리형 이온빔 증착법이 연구되어졌고 [10], 최근에는 보다 고순도의 박막을 얻기 위한 노력으로 고주파 스퍼터 타입 이온소스(RF sputter-type ion source)의 개발도 이루어졌다 [11]. 본 논문에서는 비질량 분리형 이온빔 증착법을 이용하여 탄탈 박막을 증착하였으며, 또한 박막 증착시 음의 기판 바이어스를 걸어줌으로써 이온화된 탄탈 입자들이 음의 기판 바이어

스에 의해 가속화되어 증착됨으로써 이로 인한 박막 특성의 향상에 주안점을 두었다.

## 2. 실험 방법

본 실험에서 이용된 비질량 분리형 이온빔 증착장비의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 보듯이 고진공 챔버내에 두 개의 이온 소스가 있으며 이들은 플라즈마 여기용 고주파 구리 코일(내경: 57.5 mm)과 그 중심부에 봉상형 구리 타겟과 탄탈 타겟으로 구성되어 있다. 구리 코일의 내부와 타겟의 하부에 냉각수를 흘려 타겟이 고온에서 녹는 것을 방지하고 있다. 챔버내 기본 진공도는 로타리와 터보분자펌프에 의해서  $3 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 을 유지하고 있으며 구리와 탄탈 타겟은 각각 99.9999%와 99.99% 순도를 가진 봉상형으로 8 mm의 직경과 150 mm 길이를 가진다. 구리 타겟은 전해 연마후 그리고 탄탈 타겟은 화학 연마 후 30분간 진공 챔버내에서 스퍼터링을 하여 박막 증착을 하기 이전에 타겟 표면의 오염을 제거하였다. 또한 탄탈 박막의 경우, 구리 타겟으로부터의 오염을 방지하기 위해 1시간 이상 pre-sputtering을 함으로써 구리 코일의 표면이 전부 탄탈막으로 코팅되게 하였다. 기판으로써는 실리콘(100)을 사용하였으며 아세톤으로 세척한 후, 5% 불산(HF)용액으로 표면 산화막을 제거하였다. 실리콘기판과 타겟의 거리는 35 mm부터 150 mm까지

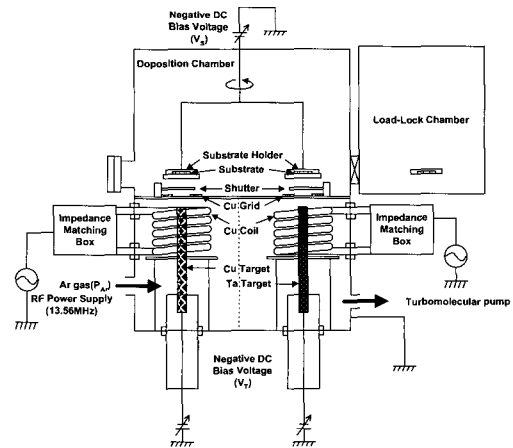


Fig. 1. Schematic diagram of non-mass separated ion beam deposition apparatus.

조절가능하나 증착 속도를 향상을 위해 가장 가까운 거리인 35 mm에서 10분간 박막을 증착하였다.

탄탈 박막을 증착시키는 방법으로는, 먼저 고순도 (99.9995 %)의 아르곤 가스를 9 Pa 주입시킨 후, 고주파 전원(240 W)에 의해 아르곤 플라즈마를 생성시킨다. 이때 탄탈 타겟에 직류 마이너스 전압 (-500 V)을 걸어줌으로써 이온화된 아르곤( $Ar^+$ )에 의해 탄탈 타겟이 스퍼터되고, 스퍼터 현상에 의해 탄탈 중성입자 ( $Ta^0$ )와 탄탈 이온 ( $Ta^+$ ), 또는 아르곤 입자 ( $Ar^+$ 와  $Ar^0$ )등이 방출되어진다. 이 때 아르곤 플라즈마 내에서 주로 일어나는 탄탈의 이온화현상으로 페닝 이온화 효과 (Penning ionization effect) [12]와 탄탈 이온에 의한 셀프 스퍼터 (self-sputtering)현상을 들 수 있다. 페닝 이온화효과는 전자에 의해 여기된 준안정 상태의  $Ar^*$ (11.53 eV와 11.72 eV) [13]에 의한  $Ta^0$ 의 이온화과정으로 다음과 같이 이루어진다.  $Ar^* + Ta^0 \rightarrow Ta^+ + Ar^0 + e$ , 여기서, 탄탈 중성입자의 이온화 포텐셜 (ionization potential)이 7.89 eV [14]이므로  $Ar^*$ 에 의해서 충분히 이온화되어지고, 또한 페닝 이온화에 의해 이온화된 탄탈 이온들에 의한 탄탈 타겟에서의 스퍼터현상에 의해서 이온화율이 더욱 증가될 것으로 사료된다.

탄탈 박막은 이와 같이 스퍼터 현상에 의해 방출된 탄탈 입자들에 의해 주로 증착되어지는데, 챔버와 함께 접지되어 있는 구리 그리드 (grid)와 아르곤 플라즈마 사이에 발생하는 바이어스차(약 8~10 V)에 의해 탄탈 이온들이 가속되어 증착되며, 또한 음의 기판 바이어스를 걸었을 경우, 그 바이어스에 의해 탄탈 이온들의 증착이 가속되어진다. 기판 위에 증착된 탄탈 박막의 크기는 기판 홀더에 의해 만들어진 직경 15 mm의 면적이었다. 탄탈 확산 방지막의 열적 안정성을 관찰하기 위하여, Cu(100 nm)/ Ta(50 nm)/Si 구조의 다층 박막을 제작하였으며 상압의 수소분위기에서 700°C까지 60분동안 어닐링을 실시하였다. 제작한 탄탈 박막은 구조분석을 위해 XRD 측정(RIGAKU-RINT 2000)을 하였으며 분석시 전압은 36 kV, 전류는 20 mA로 하였다. 박막의 미세구조를 FE-SEM(HITACHI-S-4100L)을 이용해 관찰하였고 비저항측정은 Van der Pauw 방법으로 인듐전극을 가지고 측정하였다. 그리고, 어닐링시 구리의 확산 상태를 알기 위해 Secondary Ion Mass Spectrometry

(ULVAC-PHI SIMS 6600) 깊이분석을 하였다. SIMS 분석시 세슘( $Cs^+$ ) 이온빔을 이용하였으며 전압은 5 KV, 전류는 10 nA였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 음의 기판 바이어스에 따른 탄탈 박막의 X-선 회절 실험결과를 나타낸 것이다. 기판 바이어스를 걸지 않은 경우에는 특별히 강한 피크가 관찰되지 않고 낮은 강도의 폭이 넓은 피크만이 보였지만, 기판 바이어스를 걸어줌에 따라 약간 왼쪽으로 이동하고 있는 (200)  $\beta$ -탄탈상의 막이 강하게 형성되어지는 것을 알 수 있었다. -75 V의 기판 바이어스에서는 (110)  $\alpha$ -탄탈상이 형성되기 시작하여 음의 기판 바이어스가 올라감에 따라 (110)  $\alpha$ -탄탈상의 비율이 증가하면서 (200)  $\beta$ -탄탈상의 비율이 떨어지는 것을 알 수 있다. -125 V의 기판 바이어스에서 (110)  $\alpha$ -탄탈 피크가 가장 강하게 관찰되었고 이후 더 높은 기판 바이어스에서는 다시 (200)  $\beta$ -탄탈상의 비율이 커지면서 (110)  $\alpha$ -탄탈상의 비율이 감소되어 -200 V의 기판 바이어스에서는 거의 없어진 것을 알 수 있었다. 이러한 탄탈의 상변화에 대한 원인은 아직 자세히 밝혀지진 않았지만, 탄탈 박막내의 불순물 함유량 [15], 기판의 전처리 [16], 증착시 기판온도 [17], 잔류응력 [18]과 본 실험에서와 같이 기판 바이어스에 의한 상변화 [19]가 보고되어지고 있다. 현재 기판 바이어스에 의한 상변화

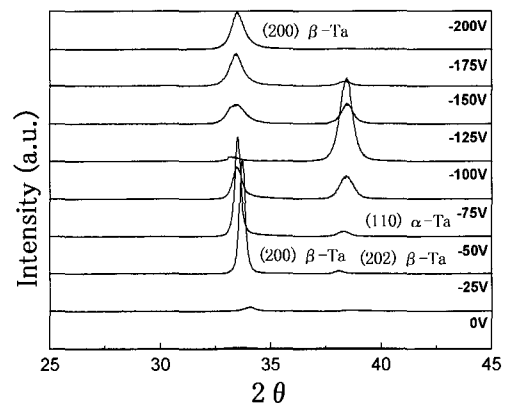


Fig. 2. XRD patterns as a function of the substrate bias voltage.

의 원인으로 생각되어지는 것은 음의 기판 바이어스에 의해 가속화되는 탄탈의 양이온들에 의한 표면에서의 이온충격(ion bombardment)의 효과로써 원래 준안정상의  $\beta$ -탄탈상이 충분한 에너지를 흡수하여 안정한 상인  $\alpha$ -탄탈상으로 상전환을 일으킨 것으로 보여진다. 높은 음의 기판 바이어스에서 관찰되었던  $\alpha$ -탄탈상이 다시  $\beta$ -탄탈상으로 변한 것은 너무 강한 이온 충격에 의한 박막의 손상으로 인해 다시 준안정상으로 상전환을 일으킨 것으로 보여지나 보다 정확한 원인을 규명하기 위해서는 보다 많은 분석이 필요할 것으로 생각된다.

음의 기판 바이어스에 의한 증착된 탄탈막의 비저항값의 변화를 그림 3에 나타내었다. 바이어스를 걸지 않은 경우, 증착된 탄탈막은 상당히 높은 비저항값(약  $250 \mu\Omega\text{cm}$ )을 나타냈는데 음의 기판 바이어스를 걸어줌에 따라서 비저항값이 감소하고 있는 것을 알 수 있다.  $-125 \text{ V}$ 의 기판바이어스에서 증착된 박막이 가장 낮은 비저항값(약  $40 \mu\Omega\text{cm}$ )을 보였으며 이후  $-200 \text{ V}$ 까지 약간 증가하는 경향을 보였다. 이러한 비저항값의 변화는 다음과 같은 원인에 의한 것으로 생각된다. 첫째, 우선 기판 바이어스에 의해 증착된 박막의 밀도증가와 박막내의 결합의 감소에 의한 비저항값의 감소를 들 수 있다. 최근, Choi 등은 구리 박막의 밀도와 비저항 또는 잔류 응력과의 관계를 보고하였는데 [20], 구리 박막증착시, 음의 기판 바이어스를 걸어줌으로써 증착된 박막의 밀도가 증가하였고 이는  $-100 \text{ V}$ 의 기판 바이어스에서 구리의 벌크값에 가까워졌다고 보고하였다. 이러한 점으로부터, 본 실험에서도 초기의 비교적 약한 기판 바이어스에서는(약  $-75 \text{ V}$ 까지) 탄탈 박막의 밀도증가가 비저항값의 감소로 이어진 것으로 사료된다. 둘째로는, 기판 바이어스에 의한 탄탈막의 상변화에서 원인을 찾을 수 있다. 일반적으로  $\beta$ -탄탈상은  $110\sim 300 \mu\Omega\text{cm}$ 의 저항값을 가진 것으로 보고되어졌고  $\alpha$ -탄탈상은  $25\sim 50 \mu\Omega\text{cm}$ 의 저항값을 가지고 있는 것으로 알려져 있다 [21]. 그림 3에서 보여지듯이 증착된 탄탈막중의  $\alpha$ -탄탈상의 비율을 고려해보면  $-125 \text{ V}$ 에서 가장  $\alpha$ -탄탈상에 근접함을 알 수 있다. 따라서, 상변화가 일어나는  $-75 \text{ V}$ 에서  $-200 \text{ V}$ 까지는 탄탈상 자체의 저항값에 의한 변화로서 생각되어지면  $-125 \text{ V}$ 에서 가장

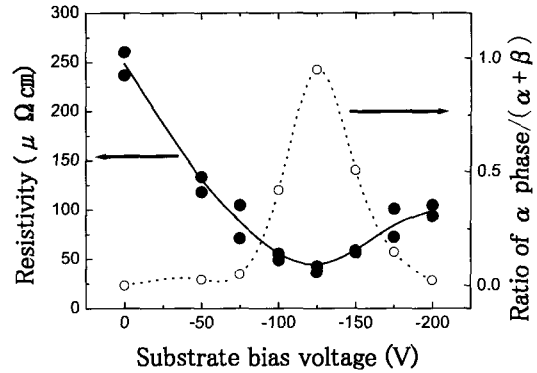


Fig. 3. Changes of the Resistivity and  $(\alpha/\alpha+\beta)$  ratio as a function of the substrate bias voltage.

저항값이 낮은 이유도 이것으로 설명되어질 수 있다. 또한 고려되어질 수 있는 원인으로서는, 기판 바이어스에 의한 탄탈막내의 불순물 감소가 있을 수 있다. 현재 이에 대한 분석과 검토가 행하여지고 있는데, 음의 기판 바이어스를 걸어줌으로써 상당한 양의 불순물들(특히, 산소, 탄소, 질소등)이 감소했다는 결과를 얻고 있으며 이후 이에 대한 자세한 결과를 보고할 것이다. 이와 같이 탄탈막의 비저항값의 변화는 여러 가지 원인의 복합적인 결과로서 나온 것으로 사료된다.

본 실험에서  $-125 \text{ V}$ 의 기판 바이어스에서 증착된 탄탈 박막의 비저항값이 탄탈의 벌크값( $13 \mu\Omega\text{cm}$  [21])에 근접했다는 것은 주목할 만한 가치가 있다고 본다. 음의 기판 바이어스를 걸지 않았을 경우, 탄탈 증착은 주로 탄탈 이온들이 아닌 탄탈 중성입자에 의한 증착으로 이루어질 것으로 생각되는데, 기판 표면에 도착한 원자들의 확산에너지가 불충분한 관계로 치밀하고 결합이 적은 박막을 형성하지 못하게 된다. 따라서, 증착된 박막은 잔류 응력이 생기고 결합을 갖은 박막으로 성장하게 된다. 이에 비해서, 음의 기판 바이어스를 걸어주었을 경우, 가속화된 탄탈 이온들의 운동 에너지가 증가하게 되며 이는 기판 표면에서의 이온충격에 의한 효과를 커지게 한다. 이러한 이온충격은 표면에 약하게 흡착되어 있는 불순물들을 제거하게 되고 잔류 응력과 결합을 감소시키게 되며 치밀한 구조의 박막을 형성하는데 공헌할 것으로 보인다. 따라서, 탄탈 박막의 비저항값이  $-125 \text{ V}$ 의 기판 바이어스에서 탄탈

의 벌크값에 근접했다는 것은 이러한 잔류 응력과 결함의 감소, 불순물의 감소, 그리고 치밀한 막의 증착에 의해 나타난 결과라고 볼 수 있다.

위에서 기술한 표면 조직과 미세 구조에 대한 기판 바이어스에 대한 영향을 관찰하기 위하여 0, -50, -125, 그리고 -200 V의 기판 바이어스에서 증착된 탄탈막에 대해 SEM 관찰을 하였다. 그림 4는 각각의 기판 바이어스에서 증착된 탄탈 박막의 표면과 단면의 미세구조를 나타낸다. 위에서 기술하였듯이, 기판 바이어스를 걸지 않은 경우(그림 4(a)와(b))는 탄탈 증성입자에 의한 증착이 대부분으로 표면에서의 확산이 충분히 일어나지 않아서 원주형 모양의 결정 성장을 보이는 주상조직(columnar structure)을 가진 탄탈 박막이 관찰되었는데 이는 일반적인 스퍼터링 증착을 할 때 생성되는 전형적인 구조를 나타낸다. 또한 표면사진으로부터 결정립 크기가 작고 결정립 사이의 계면이 확실하게 보이며 균열(cracks)도 관찰되고 있다. 이에 비해서 기판 바이어

스 -50 V를 걸어주었을 경우 (그림 4(c)와(d))는 박막의 표면사진에서는 SEM 관찰로는 결정립들을 확인할 수 없을 만큼 치밀한 미세구조를 보이며, 박막의 단면 사진에서는 주상조직을 가지지 않는 평탄한 구조를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 음의 기판 바이어스를 걸어줌으로써 높은 운동에너지를 가진 탄탈 이온들에 의한 이온 충격효과에 의해서, 또한 표면에서의 충분한 확산에너지에 의해서 주상구조가 없어지게 되며 보다 치밀한 박막으로 성장하게 되는 것으로 보인다. 이러한 이온충격에 의한 효과에 대해서, Hirsch 등은 게르마늄 박막 증착시 생겼던 균열(cracks)이나 갈라짐(flaking)등의 현상이 아르곤 이온을 조사시켰을 경우 없어졌다고 보고하였다 [22]. 이러한 점으로부터 본 연구에서도 기판 바이어스를 걸어주었을 경우, 탄탈 박막의 단면에서 주상구조가 관찰되지 않았던 점이 이러한 이온충격의 효과라고 볼 수 있다.

그러나, -125 V의 기판 바이어스를 걸어주었을 경우(그림 4(e)와(f)), 단면사진으로부터 표면이 약간 거칠어지고 박막의 두께가 얇아졌음을 알 수 있다. 이것은 증착시 기판 표면에서의 과도한 이온 충격에 의한 역스퍼터링 현상에 의해서 표면이 거칠어지고 박막이 얇아지게 되기 때문이다. 특히 -200 V의 기판 바이어스에서 제작된 박막의 경우 표면이 상당히 거칠어져 있음을 알 수 있다. 지금까지의 결과로써, -125 V의 기판 바이어스에서 증착된 주로  $\alpha$ -탄탈상의 탄탈 박막이 가장 낮은 비저항값을 가졌으나 약간의 거칠은 표면을 갖고 보였으며, 이에 비해 -50 V에서 증착된 탄탈 박막은  $\beta$ -탄탈상으로써 약  $130 \mu\Omega\text{cm}$ 의 비저항값에 평탄한 표면을 가지고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 탄탈 박막의 열적 안정성을 관찰하기 위해서 0, -50, 그리고 -125 V에서 증착된 탄탈막을 이용하였다.

탄탈 확산 방지막의 열적 안정성을 관찰하기 위하여 Cu(100 nm)/Ta(50 nm)/Si 구조의 다층막을 제작하였으며, 탄탈 박막의 증착 조건은 0, -50, 그리고 -125 V에서 증착된 막을 사용하였다. 또한 구리 박막은 이전의 실험결과로부터 가장 우수한 특성을 보였던 -50 V의 기판 바이어스에서 증착되었다 [23]. 그림 5는 Cu/Ta(0 V or -50 V or -125 V)/Si 다층막의 수소어닐링 전과 후의 비저항값의 변화를

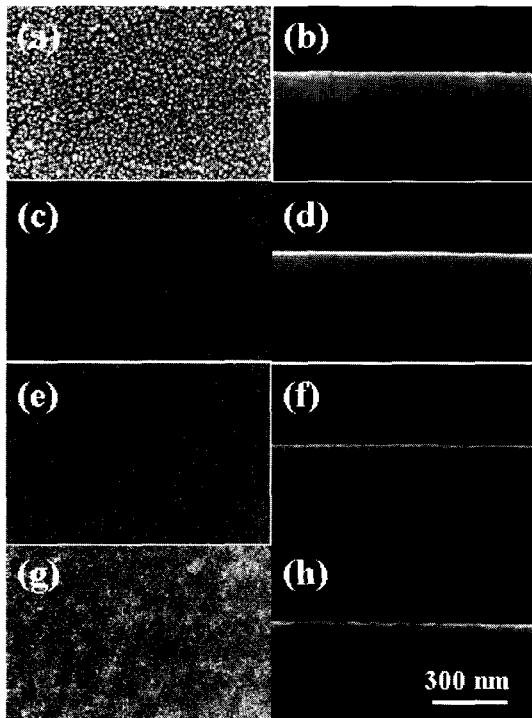


Fig. 4. SEM micrographs of the Ta films at various substrate bias voltages: (a) and (b) 0V, (c) and (d) -50 V, (e) and (f) -125 V, (g) and (h) -200 V.

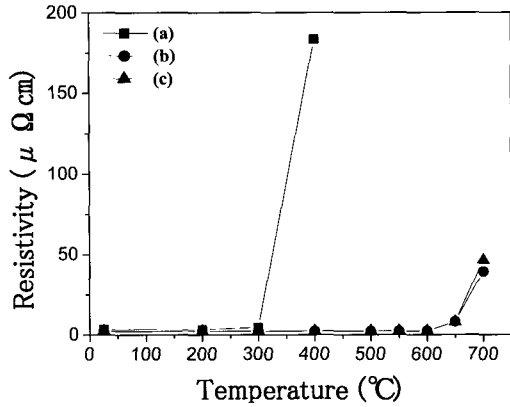


Fig. 5. Resistivity changes as a function of the annealing temperature in  $H_2$  for 60 min.: (a) the Cu/Ta(0 V)/Si, (b) the Cu/Ta(-50 V)/Si and (c) the Cu/Ta(-125 V)/Si structures.

나타낸 것이다. 그림에서 관찰되어지듯이 기판 바이어스를 걸지 않은 탄탈 확산 방지막의 경우, 400°C에서 급격한 온도상승이 관찰되었다. 이것은 구리가 탄탈의 결정입계를 따라서 확산한 후 실리콘과 반응하여 화합물을 형성했다는 것을 의미한다 [2]. 이처럼 낮은 온도에서 반응온도가 관찰된 것은 위의 SEM 관찰에서 보았듯이 뚜렷한 결정립사이의 계면과 균열에 의해 구리가 쉽게 확산되었다고 생각된다. 이에 비해서 기판 바이어스를 걸은 두 경우 모두 600°C까지는 안정한 상태로 유지되고 있음을 알 수 있고 이후 650°C와 700°C에서 비저항값의 증가가 관찰되었다. 이러한 결과로부터 탄탈막이  $\alpha$ -탄탈상이든  $\beta$ -탄탈상이든 열적 안정성에는 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있으며, 기판 바이어스에 의한 이온충격에 의해 형성된 치밀한 박막이 열적안정성을 향상시켜 구리의 확산을 방지했다는 것을 알 수 있다. 어닐링온도에 따른 다층막내의 확산에 따른 농도분포를 관찰하기 위해서 SIMS에 의한 깊이 분석으로 각 원소에 대한 농도변화를 관찰하였다. 그림 6과 7은 각각 Cu/Ta(0 V)/Si 구조와 Cu/Ta(-125 V)/Si 구조의 경우로써 온도에 따른 각 원소의 농도분포를 나타낸 것이다. Cu/Ta(0 V)/Si 다층막의 경우, 300°C까지는 약간의 구리의 확산과 실리콘의 표면으로의 확산이 보여지고 있지만 뚜렷한 반응이 관찰되지는 않았다. 400°C에서의 결과를 보면 표면으로부터 탄탈 성분이 관찰되어지는 것과

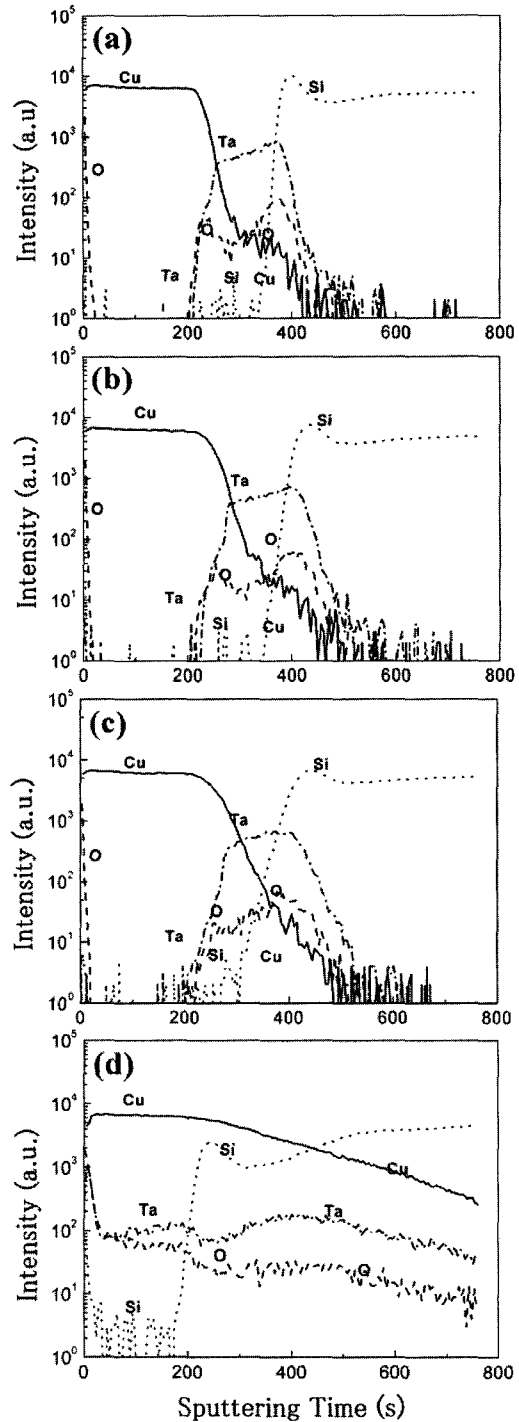


Fig. 6. SIMS depth profiles of the Ta films deposited at  $V_s=0$  V: (a) 0°C, (b) 200°C, (c) 300°C and (d) 400°C.

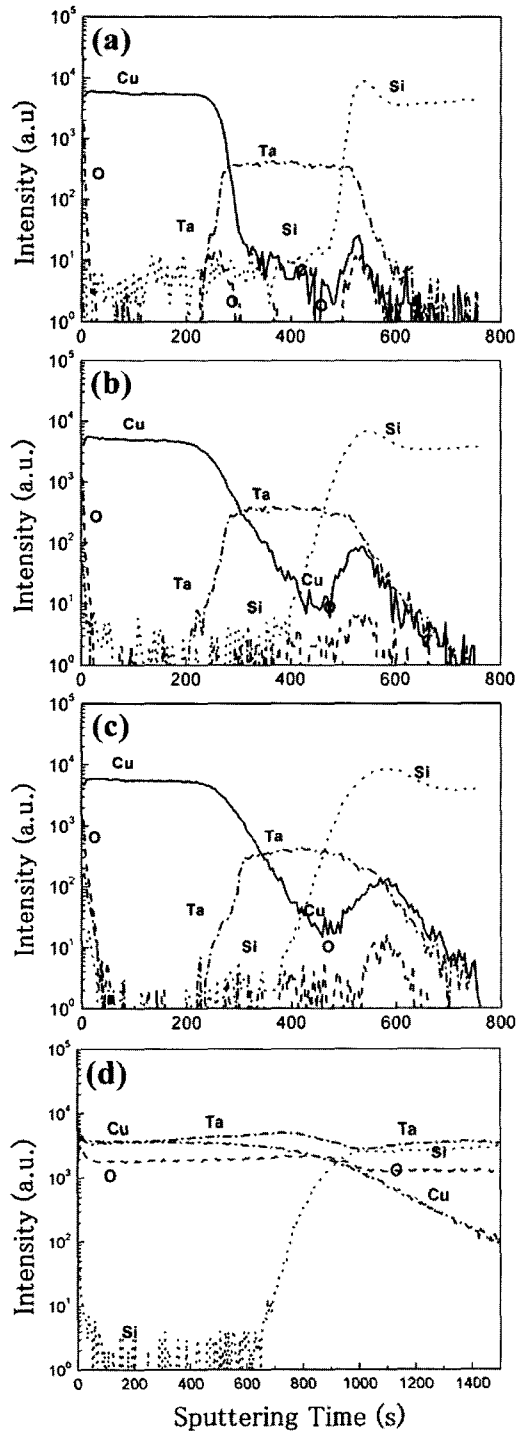


Fig. 7. SIMS depth profiles of the Ta films deposited at  $V_s = -125$  V: (a) 0°C, (b) 550°C, (c) 600°C and (d) 650°C.

구리의 농도 분포로 실리콘 영역까지 높게 유지되는 것로부터 탄탈막 위의 구리 원자들이 결정립계를 따라서 실리콘으로 거의 확산되었다는 것을 알 수 있다. 이에 비해서 그림 7의 Cu/Ta(-125 V)/Si 다층막의 경우는 600°C까지 비록 어느 정도 구리원자들이 탄탈 확산 방지막을 통해 실리콘과 탄탈의 계면까지 확산한 결과를 나타내고 있지만 다층막의 구조는 안정한 상태를 유지하고 있는 것이 관찰되었다. 보다 높은 650°C에서는 탄탈의 농도가 이전 온도에서보다 상당히 높게 나오는데 이것은 산소의 농도가 높게 나타난 결과로부터 고온에서의 산소와의 반응에 의한 탄탈 산화물이 형성된 것으로 생각되며 구리도 실리콘 영역까지 확산되어 있는 것을 알 수 있다. 기판 바이어스를 걸지 않은 탄탈막의 400°C에서의 SIMS 결과와 기판 바이어스에 의해서 증착된 탄탈막의 650°C에서의 반응결과를 보면 확연히 다른 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 두 탄탈막의 미세구조의 차이에 의한 결과로 생각되어지지만, 이러한 다층막의 열적 안정성에 대한 연구로써 각 원소들의 반응메카니즘을 규명하기 위해서는 보다 많은 분석이 필요할 것으로 생각된다. 본 실험에서 탄탈막의 열적 안정성이 기판 바이어스를 걸어줌으로써 향상되었다는 것은 SEM에서 결정립계가 관찰되지 않을 정도의 치밀한 미세구조와 결합의 감소에 따른 효과로 사료된다.

#### 4. 결 론

탄탈 확산 방지막의 증착시의 음의 기판 바이어스에 의한 탄탈막의 특성변화와 열적안정성에 대해서 고찰하였다. 음의 기판 바이어스를 걸지 않은 경우, 탄탈막은 작은 결정입들로 구성된 주상정 구조와  $250 \mu\Omega\text{cm}$ 의 높은 비저항값을 보였으나, 기판 바이어스를 걸어줌에 따라서 주상구조는 관찰되지 않았고 치밀한 미세구조와 표면이 평탄한 박막으로 비저항값도 현저히 감소하였다. 특히 -125 V에서 증착된 탄탈막은 비저항값이 약  $40 \mu\Omega\text{cm}$ 로 이는 탄탈 벌크의 저항값 ( $13 \mu\Omega\text{cm}$ )에 근접한 값을 알 수 있었다. 또한, 탄탈 확산 방지막의 열적 안정성에 대해서도, 기판 바이어스를 걸지 않은 탄탈막의 경우 400°C에서 비저항값이 크게 증가해 구리가

탈탈막의 결정입계를 통한 확산으로 반응온도가 낮았음에 비해, 기판 바이어스에 의해 증착된 치밀한 미세구조를 가진 탄탈막의 경우 600℃까지 구리의 확산 방지하는 열적 안정성의 향상을 보였음을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] C. Rye, K. W. Kwon, A. L. S. Loke, H. B. Lee, T. Nogami, V. M. Dubin, R. A. Kavari, G. W. Ray, and S. S. Wong, *IEEE Trans. Electron Devices* **46**, 1113 (1999).
- [2] C. A. Chang and C. K. Hu, *Appl. Phys. Lett.* **57**, 617 (1990).
- [3] G. S. Chen, P. Y. Lee, and S. T. Chen, *Thin Solid Films* **353**, 264 (1999).
- [4] A. Z. Moshfegh and O. Akhavan, *Thin Solid Films* **370**, 10 (2000).
- [5] K. Hinode, Y. Homma, M. Horiuchi, and T. Takahashi, *J. Vac. Sci. Technol. A* **15**, 2017 (1997).
- [6] F. -H. Lu, S. -P. Feng, H. -Y. Chen, and J. -K. Li, *Thin Solid Films* **375**, 123 (2000).
- [7] K. Holloway, P. M. Fryer, C. Cabral, Jr., J. M. E. Harper, P. J. Bailey, and K. H. Kelleher, *J. Appl. Phys.* **71**, 5433 (1992).
- [8] J. Amano, P. Bryce and R. P. W. Lawson, *J. Vac. Sci. Technol.* **12**, 591 (1976).
- [9] T. Tsukizoe, T. Nakai, and N. Ohmae, *J. Appl. Phys.* **48**, 4770 (1977).
- [10] K. Miyake, and K. Ohashi *Nucl. Instr. Meth. B* **121**, 102 (1997).
- [11] K. Miyake, Y. Ishikawa, M. Yamashita, and M. Isshiki, in *Proceedings of 2000 International Conferences on Ion Implantation Technology* (Alpbach, Austria, 2000) pp.550~553.
- [12] J. W. Coburn and E. Kay, *Appl. Phys. Lett.* **18**, 435 (1971).
- [13] E. E. Muschlits, Jr., *Science* **159**, 599 (1968).
- [14] D. R. Lide, *Handbook of Chemistry and Physics* (New York CRC press) pp. 10-207.
- [15] W. D. Westwood, D. J. Willmott, and P. S. Wilcox, *J. Vac. Sci. Technol.* **9**, 444 (1972).
- [16] P. Catania, J. P. Doyle, and J. J. Cuomo, *J. Vac. Sci. Technol. A* **10**, 3318 (1992).
- [17] R. B. Marcus and S. Quigley, *Thin Solid Films*, **2**, 467 (1968).
- [18] L. A. Clevenger, A. Mutscheller, J. M. E. Harper, C. Cabral Jr., and K. Barmak, *J. Appl. Phys.* **72**, 4918 (1992).
- [19] P. Catania, R. A. Roy, and J. J. Cuomo, *J. Appl. Phys.* **74**, 1008 (1993).
- [20] H. M. Choi, S. K. Choi, O. Anderson, and K. Bange, *Thin Solid Films* **358**, 202 (2000).
- [21] P. N. Baker, *Thin Solid Films* **14**, 3 (1972).
- [22] E. H. Hirsch and I. K. Varga, *Thin Solid Films* **52**, 445 (1978).
- [23] 임재원, Minoru Isshiki, *한국진공학회지*, **12**, 136 (2003).