

# RF 스퍼터링 증착에 의한 질화 텅스텐 박막의 비저항 특성

논문  
8-2-11

## The Resistivity Properties of Tungsten Nitride Films Deposited by RF Sputtering

이우선\*, 정용호\*, 이상일\*

(Woo-Sun Lee, Yong-Ho Chung, Sang-Il Lee)

### Abstract

We presented Tungsten and Tungsten Nitride thin films deposited by RF and DC sputtering. It deposited at various conditions that determining the resistivity and sheet resistivity by stabilizing the basic theory. We investigated properties of the resistivity and sheet resistivity of these films under various conditions, temperature of substrate, flow rate of the argon gas and content of nitrogen from nitrogen-argon mixtures. As the temperature of substrate increased and the flow rate of the argon gas decreased, the resistivities of these films reduced by structural transformation. We found that these resistivities were depend on the temperature of substrate, flow rate and electric power. Very highly resistive tungsten films obtained at 10W RF power. On the contrary, we found that films deposited by DC sputtering, from which very lowly resistive tungsten films were obtained. Tungsten nitride thin films deposited by reactive DC sputtering and the resistivities of these films increased as the content of nitrogen gas increased from nitrogen-argon mixture. And also we found the results show very good agreement, compared with experimental data.

**Key Words(중요용어)** : Tungsten(텅스텐), RF Sputtering(고주파 스퍼터링), Resistivity(저항율), Sheet Resistance(면저항).

### 1. 서 론

집적회로의 소자를 크게 나누면 도체, 반도체, 유전체 등으로 대별할 수 있는데 집적회로에 응용되는 재료로서 알루미늄이 많이 사용되고 있다. 그러나 VLSI 급에서는 실리콘과의 전기적인 접촉저항이 크고 전기적 이동(Electromigration) 현상, Alloy 공정이 쉽지 않은 단점이 있어서 이것을 보완하기 위한 연구가 진행되고 있다. 1993년 Wal-wave는 용력과 아르곤 가스압력과 비저항의 관계 그리고 절단면 사진을 통해서 텅스텐의 구조를 분석하였다.<sup>2)</sup> 플라즈마 화학증착된 텅스텐 질화막의 질소농도 제어에 따른 특성변화의 연구 결과에서는 질소의 농도의 비에 따라서 비저항이 증가한다

고 보고되었고 이것은 곧 아르곤 가스의 양이 커질수록 박막의 잔류가스가 많아져서 고저항을 생성한다는 보고와 같이 질소 역시 불활성 기체이므로 같은 효과를 나타낸다는 것이 입증되었다. 그밖의 텅스텐계 박막에 관한 연구로서 WC, WTi, WO<sub>3</sub>, WN등이 보고된 바 있으나<sup>3-6)</sup> 대부분 CVD에 의하여 증착된 박막이었다. 이미 초기에 텅스텐, 백금, 티타늄등의 내열금속이 높은 전도도를 갖고 있어 반도체의 금속재료로서 적합함이 밝혀졌으나 증착의 어려움 때문에 사용되지 않고 있었다. 텅스텐은 내열 내식성이 있어서 실리콘 등 다른 재료와의 적합성, 표면접착성이 좋고 넓은 면적에서의 균일성, 패턴형성이 용이하며 Reactive ion etching등의 방법으로 식각이 용이하게 이루어질 수 있어서 고집적화 및 미세 선폭의 처리 등에 적합한 금속이다. 또한 벌크 전도도가 알루미늄보다 2배이상 높으며 Step coverage도 비교적 좋은 특성을 가지고 있다. 그러므로 게이트 전극 재료가

\* : 조선대학교 공대 전기공학과  
접수일자 :1994년 11월 3일  
심사완료 :1995년 1월 9일

갖추어야 하는 조건들로서 이온 주입시 마스크 역할을 할 수 있을 것, 비저항이 낮을 것, 기판 반도체와 접착력이 좋을 것 등의 특성이 있어서 ME-SFET의 게이트 전극으로서 연구가 많이 보고되고 있다.<sup>6)</sup>

텅스텐 박막은 증착시 조건에 따라 비저항의 크기가 달라지는데 이 때 낮은 비저항값을 갖는 경우에는 도전박막으로서 사용될 수 있다. 또한 확산방벽으로서로는 대표적으로 TiN 박막이 많이 연구되고 있는데 최근에는 WN 박막의 연구가 진행되고 있다. 텅스텐 및 텅스텐계 박막은 내열성이 있으므로 비교적 고온의 열처리에서도 기판과 안정된 Schottky contact 특성을 유지하고 있다. 특히 내열금속 질화막은 열적안정성이 뛰어나고 Schottky 장벽높이를 향상시킨다는 특성이 있다. 화합물 반도체 GaAs와 같은 기판과도 접착력이 좋은 것으로 보고되었다.<sup>6)</sup> 그러나 텅스텐 및 텅스텐 질화막은 CVD에 의한 방법으로 제조된 것이 많은데 비교적 고온에서 증착하므로 집적회로의 제작에 적용하기에 어려운 단점이 많다. VLSI의 연구가 급속도로 진행됨에 따라서 정확한 부분에칭과 증착을 위해서 DC 스퍼터링이 이루어 졌으나 균일하고 질 좋은 박막을 얻으려면 RF 스퍼터링이 요구된다. 그리고 텅스텐은 증착조건에 따라 전극 배선용도체가 요구하는 낮은 비저항치에서 박막 저항기가 요구하는 높은 비저항치 까지 변화할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 첫째로 DC 마그네트론 스퍼터링과 RF 스퍼터링에 의하여 텅스텐 박막을 질소와 아르곤 분위기에서 증착하여 텅스텐과 질화 텅스텐 시편을 제작하고 증착된 박막의 기판온도와 아르곤, 질소의 가스량의 Flow rate에 따른 저항율의 변화 특성을 실험적으로 연구하고자 한다.

## 2. 실험 방법

본 논문에서는 진공증착기(Vacuum Science VSSE-2TS)를 이용하여 텅스텐박막을 슬라이드 글라스 표면에 증착하고 전기적인 특성을 실험하고 분석하였다. VSSE-2TS는 다목적으로 제작되어 스퍼터링외에 진공증착도 가능하지만 고융점 물질은 진공증착으로 거의 불가능하므로 스퍼터링으로 실험을 하였다. 스퍼터 전원으로서는 DC power supply와 최대전력 300W, 13.56MHz의 RF 전원(YS-100S)이 있어서 교체 사용할 수 있고 진공펌프로써 Rotary pump로  $10^{-4}$  Torr 까지 배기한 후 Diffusion pump를 가동하여  $10^{-7}$  Torr 까지

배기한 후 작용가스를 주입하여 약  $10^{-4}$ Torr 대역에서 스퍼터 전력을 공급하여 플라즈마를 발생시켜 박막을 증착하였다. 이 때 Diffusion pump와 스퍼터 건 및 기판에 냉각수를 공급하여 과열되지 않도록 하였으며 전력, 전압, 전류는 한계치를 넘지 않도록 DC 전압과 RF 전력을 조절하였다. 가스 배관은 초고진공용으로 설계된 BA 그리드 파이프를 사용하였고 연결 부위에는 O링을 설치하여 완전 밀봉하였다. 박막의 비저항과 면저항은 4 Point probe(Veeco Co.)로 측정하였고 XRD로 성분조성 및 결정 배향을 각도 20-100° 에서 관찰하였다. SEM으로 절단면 사진을 통하여 구조 분석하고 박막의 두께를 측정하였다. 실험에서 사용된 Target은 Cerac의 직경 5.08 Cm, 두께 0.96Cm, 순도 99.95%의 텅스텐이었고 Slide glass는 Corning 2948(75×25[mm<sup>2</sup>] 두께 0.5mm)인데 초음파 세척기(Branson 1200)를 이용하여 간접방식으로 약 2시간 정도 아세톤에서 세척한 후 증류수에서 약 10분간 세척하고 전열기로 건조시킨 다음 시편통에 보관한 것을 사용하였다. 플라즈마 방전시에 약 1분간 Pre-sputtering을 실시하여 Target 표면의 불순물을 Shutter로 차단하였다.

## 3. 실험결과 및 검토

그림 1은 RF 전력의 증가에 따른 저항율의 변화를 나타내는데 아르곤 가스의 Flow rate가 1( $\ell$ /min)이고 기판온도가 50°C일 경우 RF 전력의

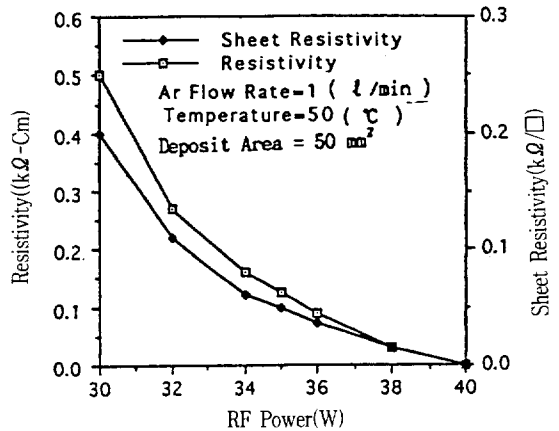


그림 1. RF 전력의 증가에 따른 텅스텐 박막의 저항율 변화특성(Ar=1 $\ell$ /min).

Fig. 1. The resistivity and sheet resistivity of tungsten thin films deposited at increasing RF power(Ar=1 $\ell$ /min).

30W에서 40W로 증가함에 따라 저항율은 30W에서 0.5(k $\Omega$ -cm)에서 40W일때 0.000424(k $\Omega$ -cm)로 크게 감소하였다. 그림 2 역시 RF전력의 증가에 따른 저항율의 변화인데 아르곤 가스의 Flow rate가 2( $\ell$ /min)이고 증착 두께는 3000 $\text{\AA}$ , 기판온도가 50 $^{\circ}\text{C}$ 였을때 RF전력의 증가에 따라 저항율은 30W에서 829(k $\Omega$ -cm)를 나타내었는데 40W에서는 0.000704(k $\Omega$ -cm)까지 감소하였다. 스퍼터 증착시 플라즈마가 발생하는 RF전력은 30W였고 한계전력(Reflected power)이 3W를 넘지 않도록 하여 40W까지 증가시켰다. 그리고 Ar Flow rate가 2

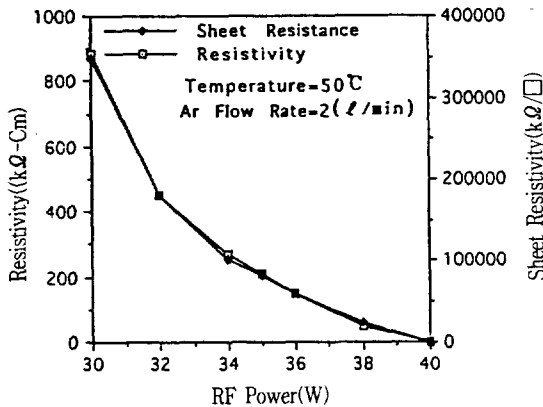


그림 2. RF 전력의 증가에 따른 텅스텐 박막의 저항율 변화특성(Ar=2  $\ell$ /min).

Fig. 2. The resistivity and sheet resistivity of tungsten thin films deposited at increasing RF power(Ar=2  $\ell$ /min).

( $\ell$ /min)이었을때가 1( $\ell$ /min)일때 보다도 더 높은 비저항을 나타내었다. 이것은 Ar가스량이 많아 질수록 박막의 잔류가스량이 많아지는 결과가 되어 비저항이 높아진다고 생각되며 RF전력에 따라 플라즈마 색깔이 달라 졌는데 30W에서 보라색이었던 반면에 40W였을때 DC스퍼터링과 비슷한 흰색에 가까웠고 박막은 30W였을때와 다른 금속성으로 되었다. RF전력이 상승하면 증착율이 증가하는데 이것은 곧 입자수가 많아지는 결과가 되어 그에 따라서 박막의 비저항은 낮아지는 것을 알 수 있다. 이것은 또한 입자반경(grain size)이 커질수록 입자와 입자사이의 접촉면적이 많아지기 때문인 것으로 해석된다. 그림 3은 아르곤 가스 Flow rate가 1( $\ell$ /min)이고 증착두께 3000 $\text{\AA}$ , RF전력이 30W일때 기판온도가 50 $^{\circ}\text{C}$ 에서 100 $^{\circ}\text{C}$ 까지 증가할 경우 텅스텐 박막의 저항율과 면저항율의 변화를 나타낸다. 기판온도가 증가할수록 비저항은 50 $^{\circ}\text{C}$ 에

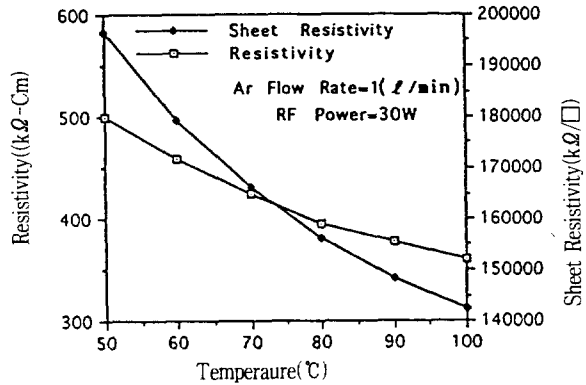


그림 3. 기판온도의 증가에 따른 텅스텐 박막의 저항율 변화특성(Ar=1  $\ell$ /min)

Fig. 3. The resistivity and sheet resistivity of tungsten thin films deposited at increasing substrate temperature(Ar=1  $\ell$ /min).

서 500(k $\Omega$ -cm), 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 361(k $\Omega$ -cm)로 감소하고 면저항율은 0.197(M $\Omega$ / $\square$ )에서 0.142(M $\Omega$ / $\square$ )로 감소하였다. 그림 4는 아르곤 가스 Flow rate가 2( $\ell$ /min)이고 RF전력이 30W였을때의 기판온도의 증가에 의한 비저항과 면저항율의 변화를 나타낸 것이다. 기판온도가 50 $^{\circ}\text{C}$ 에서 100 $^{\circ}\text{C}$ 로 증가 할수록 비저항은 0.885(k $\Omega$ -cm)에서 0.639(k $\Omega$ -cm)으로 감소하였고 면저항율은 0.348(M $\Omega$ / $\square$ )에서 0.252(M $\Omega$ / $\square$ )으로 감소하였다.

기판온도가 증가함에 따라 비저항이 감소하는

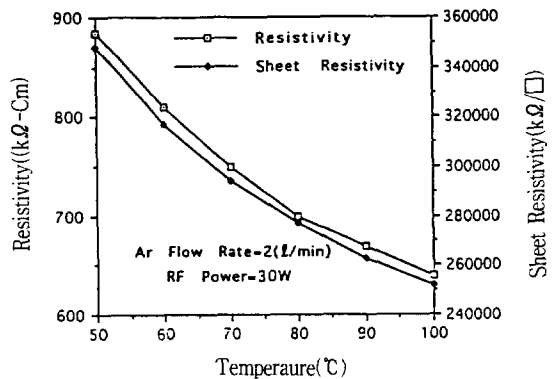


그림 4. 기판온도의 증가에 따른 텅스텐 박막의 저항율 변화특성(Ar=2  $\ell$ /min)

Fig. 4. The resistivity and sheet resistivity of tungsten thin films deposited at increasing substrate temperature(Ar=2  $\ell$ /min).

현상은 그림 5의 후막구조도에 의해 설명될 수 있다. 증착된 막의 퇴적구조는 일반적으로 기판의 바탕온도에 따라 세가지 구조를 가진다.  $T_1$  이하에서는 박막이 비정질이고 저밀도이다. 따라서 이때는 고저항이 된다. 이것은 박막저항기로서의 응용이 가능하다. 그러나  $T_1$ 을 넘으면 증착막은 치밀한 구조가 되어 원주상조직이 되며 온도가 높아짐에 따라 이 원주는 굽어진다. 막 구조는 다결정이며 동방향성이다. 이 때 박막은 압자 접촉 면적이 커져서 저저항이 되어 도체로서의 사용에 유리하다. 다시  $T_2$ 를 넘으면 증착막은 거칠고 큰 압자로 구성되며 구조는 수지상조직이 된다. 이때는 다시 저항율은 어느정도 상승하게 된다. 같은 관계가 Gas 압력, 유량에도 존재하고 있음을 William의 실험에서 입증하고 있다.<sup>1)</sup> 따라서 Gas와 기판온도에 따라서 박막의 비저항을 조절할 수 있으며 특히 RF 스퍼터링의 경우에 전력에 따라서도 조절할 수 있음이 나타났다. DC 스퍼터링에서도 DC전압으로 조절할 수 있으나 안정한 방전과 빠른 증착을 위해서 허용전압 한계 내에서 일정한 전압으로 증착하였다. 일반적으로 금속류를 박막화하면 체적 고유저항율은 높아지고 저항온도계수는 낮아져 저항체로서의 가능성이 매우 높아지며 실제로 텅스텐과 유사한 탄탈륨의 경우 반응성 스퍼터링에 의한 TaN이 실용화 되고 있다. 그 외에 보편적으로 TiN이 가장 많이 사용되고 있는데 이것은 주로 CVD에 의해 제작되며 이와같은 고용점 질화물 금속들은 확산방벽 및 도체의 용도로 사용되고 있다. 질소 가스를 주입한 반응성 스퍼터링에 의하여 질화 텅스텐 박막을 제작하였는데 텅스텐 박막

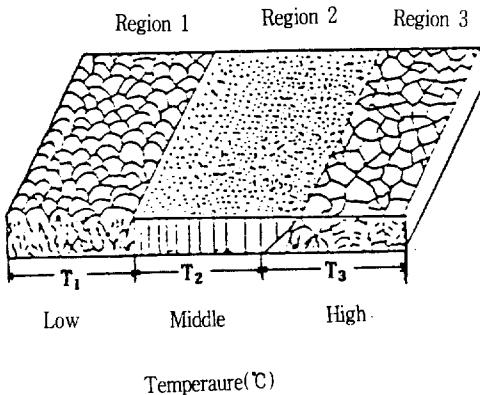


그림 5. 스퍼터 증착 박막의 구조도  
Fig. 5. Morphology zone model for sputtered films.

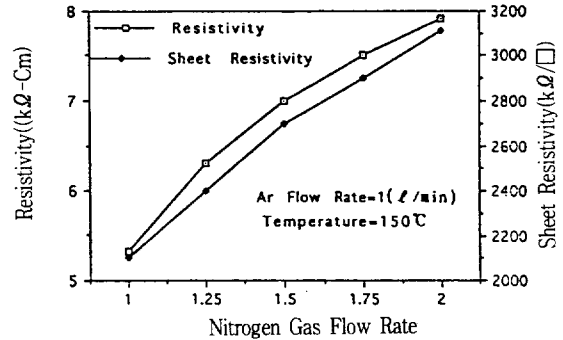


그림 6. 질소가스의 증가에 따른 텅스텐 박막의 저항율 변화특성(T=150°C)

Fig. 6. The resistivity and sheet resistivity of tungsten thin films deposited at increasing nitrogen gas content from nitrogen-argon mixtures(T=150°C).

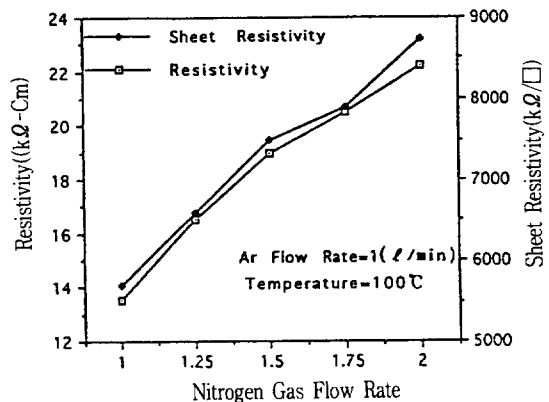


그림 7. 질소가스의 증가에 따른 텅스텐 박막의 저항율 변화특성(T=100°C)

Fig. 7. The resistivity and sheet resistivity of tungsten thin films deposited at increasing nitrogen gas content from nitrogen-argon mixtures(T=100°C).

의 질소의 영향에 의한 비저항의 변화를 그림 6, 그림 7, 그림 8에 나타내었는데 그림 6은 아르곤 가스의 Flow rate가 1(l/min)이고 기판온도가 150°C였을 때 아르곤 가스와 같이 주입한 질소가스의 Flow rate를 변화시켰을 때의 비저항과 면저항을 나타낸 것이다. 질소가스의 Flow rate가 1(l/min)이었을 때 비저항은 5.33(Ω-cm)이었고 Flow rate가 2(l/min)였을 때는 7.9(Ω-cm)으로 증가하였으며 면저항율은 2.1(kΩ/□)에서 3.1(kΩ/□)으

로 증가하였다. 그림 7은 아르곤 가스의 Flow rate가 1( $\ell$ /min)이고 기판온도가 100 $^{\circ}$ C였을 때 주입한 질소가스의 Flow rate를 변화시켰을 때의 비저항과 면저항을 나타낸 것이다. 질소 가스의 Flow rate가 1( $\ell$ /min)이었을 때 비저항은 13.54( $\Omega$ -cm)이었고 Flow rate가 2( $\ell$ /min)였을 때는 22.2( $\Omega$ -cm)으로 증가하였으며 면저항율은 5.7( $k\Omega$ / $\square$ )에서 8.73( $k\Omega$ / $\square$ )으로 증가하였다. 그림 8은 아르곤 가스의 Flow rate가 1( $\ell$ /min)이고 기판온도가 50 $^{\circ}$ C였을 때 주입한 질소가스의 Flow rate를 변화시켰을 때의 비저항과 면저항을 나타낸 것이다. 질소가스의 Flow rate가 1( $\ell$ /min)이었을 때 비저항은 22( $k\Omega$ -Cm)이었고 Flow rate가 2( $\ell$ /min)이었을 때 195 ( $k\Omega$ -Cm)으로 증가하였으며 면저항율은 8.65( $k\Omega$ / $\square$ )에서 76.9( $k\Omega$ / $\square$ )으로 증가하였다. 질소를 주입하여 반응성 스퍼터링으로 증착한 질화 텅스텐 박막의 증착두께는 1000 $\text{\AA}$ 이며 DC 스퍼터 전압은 약 670V의 전압을 인가하였고 DC 스퍼터 전류는 약 0.4A였다. 전체적으로 비교해 보면 기판온도 50 $^{\circ}$ C에서 질소가스의 양에 비례하여 비저항은 22( $k\Omega$ -Cm)에서 195( $k\Omega$ -Cm)까지 크게 증가한 반면에 100 $^{\circ}$ C와 150 $^{\circ}$ C에서는 비교적 완만하게 증가하였다. 이것은 후막구조에서 보면 기판온도가 100 $^{\circ}$ C 부근에서 임계온도  $T_1$ 을 형성함을 뜻한다. 그전의 상태에서는 박막은 다공질의 상태이므로 가스는 박막의 사이에 잔류기체로서 작용하게 되어 격자결함이 되어 고저항을 생성하지만 100 $^{\circ}$ C와 150 $^{\circ}$ C를 넘어선 상태에서는 박막구조는 치밀해져서 영향을 줄 수 있는 작용을 할 수 없게 된다고 생각된다. 따라서 질소농도에 의해서도 비저항은 변화할 수 있으나 기판온도가 비교적 저온에서 변화가 있었고 어느 정도 고온에서는 큰 변화가 없었다. DC마그네트론 스퍼터링에 의한 텅스텐의 비저항과 면저항율의 변화를 나타내었다. 그림 9는 기판온도와 비저항의 관계를 나타낸 것인데 아르곤 가스 Flow rate가 1( $\ell$ /min)이고 기판온도가 50 $^{\circ}$ C였을 때 0.016( $\Omega$ -Cm)이었고 같은 기판온도에서 Flow rate가 2( $\ell$ /min)이었을 때 0.026( $\Omega$ -Cm)으로 상승하였고 기판온도가 증가하여 150 $^{\circ}$ C일 때 Flow rate가 1( $\ell$ /min)일 때 0.00315( $\Omega$ -Cm)였고 Flow rate가 2( $\ell$ /min)일 때 0.00987( $\Omega$ -Cm)으로 되었다. 그림 10은 아르곤 가스의 Flow rate가 1( $\ell$ /min)일 때 기판온도와 비저항, 면저항율의 관계를 나타낸 것이다.

기판온도가 50 $^{\circ}$ C에서 비저항은 0.016( $\Omega$ -cm)이었고 150 $^{\circ}$ C일 때 0.00315( $\Omega$ -cm)으로 낮아졌고 면저항율은 50 $^{\circ}$ C에서 5( $\Omega$ / $\square$ )이었고 150 $^{\circ}$ C에서 1.24

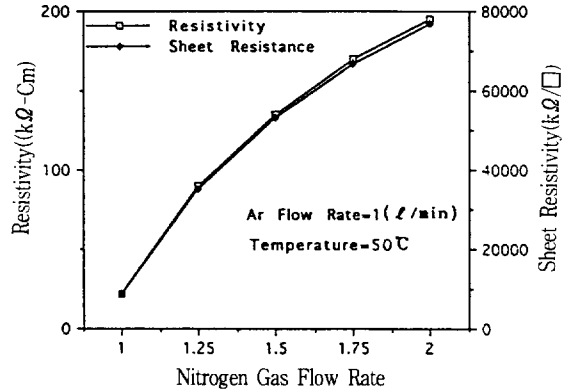


그림 8. 질소가스의 증가에 따른 텅스텐 박막의 저항을 변화특성(T=50 $^{\circ}$ C)

Fig. 8. The resistivity and sheet resistivity of tungsten thin films deposited at increasing nitrogen gas content from nitrogen-argon mixtures(T=50 $^{\circ}$ C).

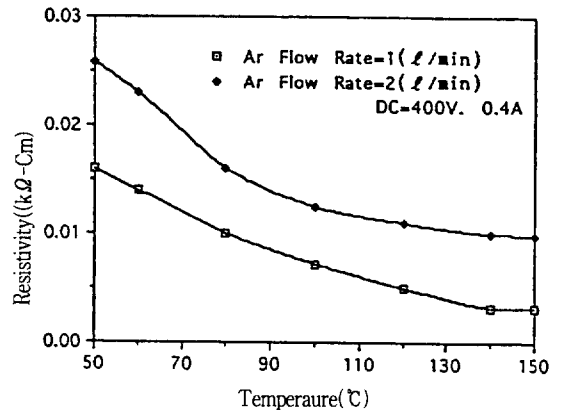


그림 9. 기판온도의 증가에 따른 텅스텐 박막의 저항을 변화특성(Ar=1, 2 $\ell$ /min)

Fig. 9. The resistivity of tungsten thin films deposited at increasing substrate temperature (Ar=1, 2 $\ell$ /min).

( $\Omega$ / $\square$ )으로 낮아졌다. 그림 11은 아르곤 가스의 Flow rate가 2( $\ell$ /min)일 때 기판온도와 비저항, 면저항율의 관계를 나타내었다. 기판온도가 50 $^{\circ}$ C일 때 비저항은 0.026( $\Omega$ -cm)이었고 150 $^{\circ}$ C일 때 0.00987( $\Omega$ -cm)으로 낮아졌다. 기판온도가 50 $^{\circ}$ C일 때 면저항율은 10.2( $\Omega$ / $\square$ )이었고 150 $^{\circ}$ C에서 2.88( $\Omega$ / $\square$ )로 낮아졌다. DC마그네트론 스퍼터링으로 증착된 텅스텐 박막의 DC 스퍼터 인가전압은 약 400V였고 전류는 0.4A였다. 위에서 나타난 결과와 같이 증착

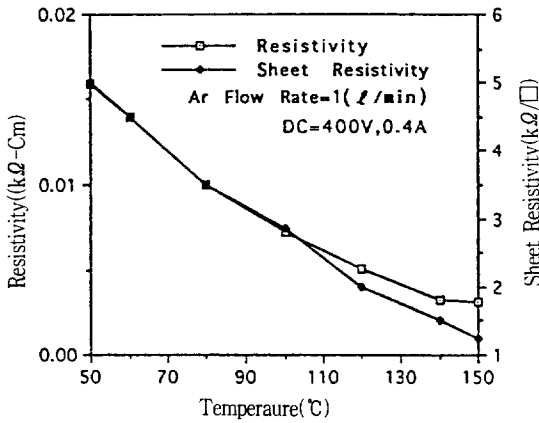


그림 10. 기판온도의 증가에 따른 텅스텐 박막의 저항을 변화특성(Ar=1 l/min)

Fig. 10. The resistivity and sheet resistivity of tungsten thin films deposited at increasing substrate temperature(Ar=1 l/min).

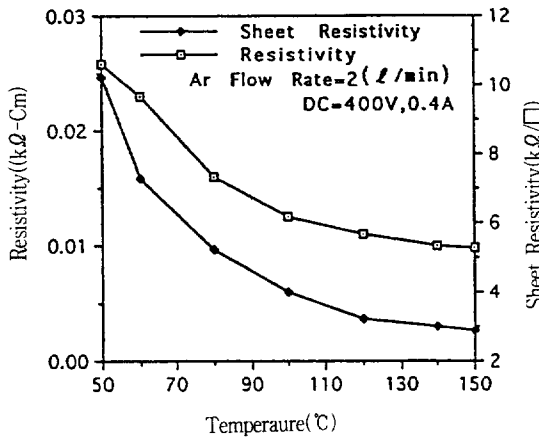


그림 11. 기판온도의 증가에 따른 텅스텐 박막의 저항을 변화특성(Ar=2 l/min)

Fig. 11. The resistivity and sheet resistivity of tungsten thin films deposited at increasing substrate temperature(Ar=2 l/min).

시에 아르곤 가스량이 많아 지면 저항율이 상승하였으며 기판온도가 증가함에 따라 저항율은 낮아졌다. 그러나 전체적으로 비교하여 보면 저항율값은 0.00723(Ω-cm)에서 0.315(Ω-cm)까지의 범위로서 비교적 낮은 값을 갖고 있어 도체 즉 전극이나 배선으로서의 이용가능성이 나타난다. DC 스퍼터

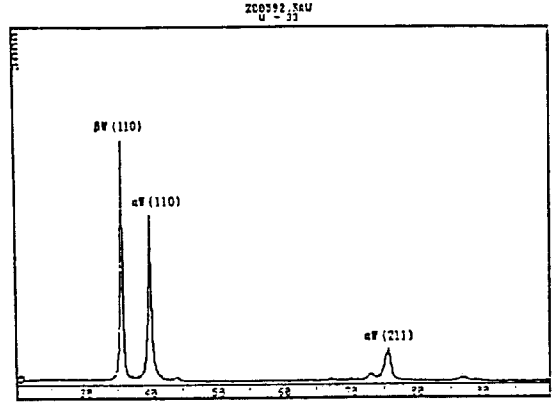


그림 12. DC스퍼터 증착 박막의 X-ray 회절

Fig. 12. XRD patterns of DC sputtered tungsten film.

터 증착에 의한 텅스텐박막의 경우에 이 실험에서 나타난 결과에 의하면 비교적 비저항이 낮으므로 저항체보다는 도체 또는 게이트 전극, 배선재료로서의 사용이 적합할 것으로 생각된다. X-ray 회절 분석은 X-ray 회절분석기(Rigaku, M/Max-38)가 사용되었고 밀폐형 Cu 타겟을 사용하여 Be Window를 통하여 X선을 조사하였고 시료는 20°에서 100°의 각도범위에서 2°/min의 속도로 회전하였다. 측정결과 박막은 대부분 비정질이었으며 DC 스퍼터 증착된 박막에서 결정이 성장한 것을 알 수 있었다. 그림 12는 아르곤 가스의 Flow rate가 2 (l/min)이고 기판온도는 50°C일때 DC전압 400V, 1000Å 텅스텐박막의 X선 회절 측정 결과인데 피크가 나타난 각도는 35.65°와 40.1°, 75.65°였는데 35.65°에서 βW(110)이 나타났고 40.1°에서 αW(110)가 나타났으며 76°에서 αW(211)가 나타났다. β상은 박막의 구조에서 중요한 의미를 갖는다. 이것은 위 실험결과와도 잘 일치하고 있으며 X-ray 회절패턴에서 보면 고저항이 생성되는 과정에서 β상의 피크강도가 증가함을 나타내고 있다. 질화 텅스텐박막은 결정성장과 배향이 관찰되었으나 피크강도가 분명히 나타난 형태로 나타나지 않았다. 증착시에 기판온도를 더욱 증가시키거나 (200°C 이상) 어닐링함으로써 피크강도가 뚜렷이 나타나게 될 것으로 생각한다. 특히 어닐링은 유효한 효과를 나타내지만 고온공정을 거치지 않도록 하기 위해서는 증착시의 제작조건에 달려 있다. 박막의 기계적 강도와 응력을 높이고 비저항을 낮게 하며 결정을 성장시키려면 기판온도를 더 높게 할 필요성이 있으나 스퍼터 건에서의 복사열의 영향을 고려하여 스퍼터 전력을 증가시키고 증착시간

을 더 단축시켜야 한다. SEM사진촬영 및 분석은 JEOL의 JSM-840A를 사용하였으며 시편의 수직 절단면 사진을 Bio-RAD를 사용하여 먼저 박막에 Au를 증착하고 관찰하였다. 그림 13은 3000배율로 확대한 질화텅스텐의 절단면 사진인데 왼쪽부분은 박막의 표면이고 오른쪽 부분은 Slide glass 부분이다. 이 질화 텅스텐 박막은 작용가스로서 사용된 아르곤과 질소의 비가 1:1, 두께 3 $\mu$ m인데 증착된 박막은 원주상의 구조가 관찰되었다. 원주상구조가 나타난 것은 그림 5의 후막구조도에서 영역 2에 해당하는 부분이라 볼 수 있다. 시편은 질화텅스텐이 증착된 박막중에서 비저항이 가장 낮은 값을 나타내었는데 원주상 조직이 나타났고 후막구조도의 영역 2에서는 박막의 구조가 치밀하기 때문에 비저항은 낮은 값을 갖는다는 것을 입증하고 있다. 스퍼터링으로 증착된 박막의 Step coverage가 비교적 좋지 않다는 보고가 있었으나 영역 2에 해당하는 강도를 갖는 박막이 증착되었을때는 좋은 특성을 나타낼 것으로 본다. 또한 박막의 구조가 치밀하므로 기계적인 강도도 좋으며 그밖의 여러가지 집적회로에 요구되는 조건들에 적합하다. 본 논문에서는 질화텅스텐 박막을 스퍼터링으로 제작하였기 때문에 CVD로 제작된 박막의 응력이나 기계적강도가 더 높은 값을 갖는다고 생각된다. 그것은 증착과정에서 CVD는 화학적 결합으로 박막이 증착되는 반면 스퍼터링은 기판에 타겟을 구성하는 원자가 충돌하며 그 에너지의 힘으로 기판에 압착

되기 때문이다. SEM사진에서 박막 중에 원주방향과 수직으로 생긴 홈은 잔류가스로 인하여 발생한 격자결함이라고 생각한다. 이러한 격자결함이 많을수록 박막의 비저항은 상승한다. 따라서 잔류가스가 더 많은 경우에 더 많은 격자결함이 발견되고 원주상 구조에서 수직상 구조로 바뀌게 된다. 이 원주상 구조에 수직방향으로 형성된 결함때문에 박막은 또한 비정질이 되어 격자구조가 불규칙적으로 된다고 생각한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 RF와 DC 스퍼터링에 의해서 텅스텐과 질화 텅스텐 박막을 제작하고 비저항 특성을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) RF 스퍼터링에서 Flow rate가 적은 경우에 박막은 저저항성을 보였고 아르곤 가스의 Flow rate가 높을수록 고저항성을 보였으며 박막두께 3000 $\text{\AA}$ , 증착면적 50mm<sup>2</sup>의 경우 텅스텐 박막은 가장 높은 비저항값을 나타내었다. 또 RF 스퍼터링에서 기판온도가 높을수록 박막의 비저항은 감소하였으며 박막은 기판온도가 상승함에 따라 고밀도가 되고 구조는 치밀하게 되었다.
- (2) DC 마그네트론 스퍼터 증착에서 질소를 주입하여 질화텅스텐 박막을 증착하였는데 DC 반응성 스퍼터링에 의하여 증착된 질화 텅스텐 박막은 아르곤 가스와 질소 가스의 비에서 질소가스의 비율이 커질수록 비저항이 커졌다. 또 DC 스퍼터링에 의하여 증착된 텅스텐 박막은 아르곤 가스의 Flow rate가 클수록 비저항이 커졌고 기판온도가 상승함에 따라 비저항은 감소하였다.
- (3) X-ray 회절분석의 결과에서 DC 스퍼터 증착한 텅스텐박막에서 뚜렷한 피크강도가 나타났고 고저항 조건에서는  $\beta$ 상의 피크강도가 증가함을 입증하였다. 또 SEM으로 절단면 사진을 촬영한 결과 원주상조직을 관찰할 수 있었고 잔류가스로 인한 격자의 결함이 나타났으며 절단면 사진에서 박막의 원주상 조직에 수직으로 형성된 격자결함이 고저항과 비정질화의 원인이 된다는 것을 입증하였다.

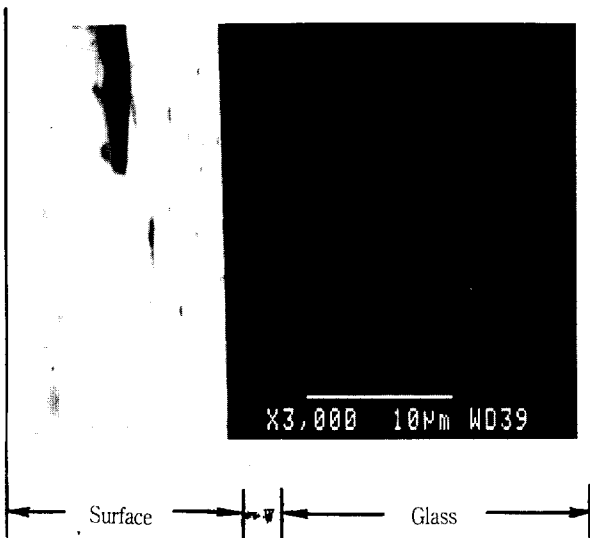


그림 13. 질화텅스텐 박막의 절단면 확대 사진  
Fig. 13. Cross-sectional SEM image of DC magnetron sputtered tungsten nitride film.

※ 이 논문은 1994년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

1. William W.Y.Lee, "High resistivity of DC sputtered metal films", Journal of applied physics, Volume 42, pp.4366-4377, Nov. 1971.
2. T.J.Wink, W.Walware, L.C.Adams, A.G.Dirks, Mat Somers and Van der Aker, "Stress, strain and microstructure in thin tungsten films deposited by DC magnetron sputtering", Journal of applied physics, Volume 74(2), pp.988-995,1993.
3. A.Cavaleiro, M.T.Vieira and G.Lemperiers, "Influence of deposition conditions on the morphology of sputtered WC(Co) films", Thin Solid Films, Volume 213, pp.6-12, July, 1992.
4. A.G.Dirks, R.A.M.Walter and A.E.M.De Veirman, "Columnar microstructures in magnetron-sputtered refractory metal thin films of tungsten molybdenum and W-Ti-(N)", Thin Solid Films, Volume 208, pp. 181-188, July, 1992.
5. Jianping zhang, Silvia A. Wessel and Conrad Colbow, "Spray pyrolysis electrochromic WO<sub>3</sub> films:Electrical and X-ray Diffraction measurement", Thin Solid Films, Volume 185, pp.265-277, Aug. 1990.
6. B.A.Movchan, A.V.Demchishin, "Metaloved", Metal, Volume 28, pp. 653 July, 1969.

### 저자소개



정용호

1967년 6월 30일생. 1991년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업. 1994년-현재 조선대학 대학원 전기공학과 전기재료 전공 석사과정.



이우선

1952년 1월 23일생. 1994년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업. 1984년 중앙대학교 대학원 전기공학과(공박) 1982년-83년 Univ. of Massachusetts 분교부 파견 교수. 1989년-90년 Purdue Univ. 학재단 파견 포스트 닥터. 1992년 7월-8월 일본 동경공업대학 객원교수. 현재 조선대학교 공대 전기공학과 교수. 당 학회 평의원. 재무이사.



이상일

1942년 12월 20일생. 1967년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업. 1973년-80년 고려시멘트(주) 전기과장. 1978년-80년 조선대학교 생산기술 연구소 연구원. 1985년 건국대학교 대학원 전기공학과(석사). 1993년 7월-94년 2월 Univ. of Missouri-Columbia 파견교수. 현재 조선대학교 공대 전기공학과 교수.