

論文2000-37SD-3-5

# furnace 열처리와 질소 플라즈마 처리에 의한 유기화학증착법을 이용한 선택적 구리 증착

## (Selective Cu-MOCVD by Furnace Annealing and N<sub>2</sub> Plasma Pretreatment)

郭 聖 官 \* , 丁 寬 秀 \*

(Sung Kwan Kwak and Kwan Soo Chung)

### 요 약

선택성을 향상시키기 위해서 BPSG(Borophosphosilicate glass) 위에 형성한 TiN 패턴을 로(furnace) 열처리와 질소 플라즈마 처리를 한 후 유기 화학 기상 증착법(MOCVD ; Metal Organic Chemical Vapor Deposition)으로 구리 박막을 증착하였다. 먼저 650°C~750°C에서 열처리한 후 150°C에서 구리 박막을 증착시켰을 때 750°C에서 열처리한 경우 TiN 표면 위에만 선택적으로 구리 증착이 일어났다. 질소 플라즈마 처리를 한 경우도 마찬가지로 BPSG 위에 구리 핵 형성이 억제됨을 알 수 있었다. 플라즈마 처리 온도를 증가시킬수록 BPSG 위의 구리 핵 형성이 더 효과적으로 억제되었다. 열처리와 플라즈마 처리 후 증착된 기판 표면을 TOF-SIMS(Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry)로 분석하였을 때 플라즈마 처리가 BPSG 표면의 구리 증착 작용기인 O-H(hydroxyl)기를 제거하여 구리의 선택성이 향상되었다고 해석하였다.

### Abstract

The selective chemical vapor deposition techniques for Cu metallization were studied. For enhancing the selectivity, furnace annealing and N<sub>2</sub> plasma were treated on patterned TiN/BPSG prior to the copper deposition. As a result, Cu did not deposited lead to suppressing the nucleation on BPSG significantly. With the increasement the plasma treatment temperature, copper nucleation on BPSG was suppressed more effectively. From TOF-SIMS(Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry), it is considered that annealing and N<sub>2</sub> plasma treatment remove hydroxyl(O-H) group so that eliminating the nucleation site for copper precursor enhance the selectivity.

Keyword : Cu-MOCVD, selectivity, metallization, hydroxyl group

### I. 서 론

개별 소자간 혹은 소자와 외부간의 연결을 목적으로 하는 금속 배선으로 회로선폭이 넓은 경우에 알루미늄

(Al)이나 알루미늄 합금(Al alloy) 들이 반도체 배선 물질로 가장 많이 사용되어 왔으나 기가(Giga)급의 초고 집적 소자에 적용되는 회로선폭이 0.2 $\mu$ m 이하로 축소됨에 따른 RC 시간 지연과 소자의 신뢰성 문제 등으로 Al이나 Al 합금으로는 해결하기 어려운 문제가 야기되어 이에 대한 대체 물질이 필요하게 되었으며, 최근 차세대 반도체 배선 재료로서 가장 각광받고 있는 금속 중의 하나가 구리이다<sup>1,2,3</sup>. 구리는 비저항이 낮고 전자이주(electromigration)에 대한 강한 내성을 갖고 있는

\* 正會員, 慶熙大學校 電子工學科

(Department of Electronic Engineering and The Institute of Materials)

接受日字:1999年7月19日, 수정완료일:2000年2月12日

물질이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 실제 소자에 적용하기 위한 상온에서의 건식 식각이 어려워 그 적용은 미흡한 실정이다. 건식 식각에 대한 대체 방법으로 선택적 증착(selective deposition)이 연구되고 있으나 증착 메커니즘의 복잡성으로 인하여 실증적인 이론적 해석을 확립하지 못하고 있다. 선택적 증착이란 절연체 위에 구리 증착이 잘 되는 seed를 미리 패터닝한 후 seed 위에만 구리가 증착되고 절연체 위에는 증착이 일어나지 않도록 하는 방법이다. 지금까지 연구된 바에 의하면 산화막 표면의 O-H기가 구리 전구체에 대해 흡착 site로 작용하므로 이 O-H기를 제거하여 선택적 증착을 실험한 보고가 있다<sup>[45]</sup>. 또한, 질소 플라즈마를 산화막 표면에 인가하면 플라즈마에 의해 여기된 질소 라디칼 혹은 이온들이 O-H기와 반응하여 NH<sub>3</sub> 또는 NH<sub>x</sub>(x=1 또는 2)로 탈착된다고 보고된 논문이 있다<sup>[6]</sup>. 그러므로 본 실험에서는 증착 site인 O-H기를 열처리와 질소 플라즈마 처리에 의해 제거하여 절연체 위의 구리 증착을 억제하는 방법으로 양호한 선택적 증착 실험을 하였다.

## II. 실험 방법

선택적 구리 증착을 위해 P형 실리콘 기판 위에 TEOS(Tetraethoxysilance), TMP(Trimethylphospin)와 TMB(Trimethylboron)를 사용하여 390°C에서 상압 기상 증착법(APCVD ; Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition)으로 BPSG(3000Å)를 증착한 후 스퍼터링으로 TiN(2000Å)/Ti(250Å)을 증착하여 RIE(Reactive Ion Etching) 법으로 TiN/Ti를 패터닝 하였다. 우수한 선택적 증착을 하기 위해 구리 증착 전에 열처리는 질소 분위기에서 압력 0.5torr로 650~750°C 사이에서 30분간 실시하였고, 질소 플라즈마 처리는 전력 30W, 압력 0.5torr, 처리 온도는 상온~200°C로 30분간 하였다. 유기 화학 기상 증착법으로 구리 박막을 증착하기 위해서 구리 전구체로 Cu(I)계열의(hexafluoroacetylacetonate)-Cu-(vinyltrimethylsilane)를 사용하였고 운송 기체로는 헬륨(He)을 사용하였다. 증착 조건은 압력 0.5torr, 기판 온도 150°C, He 유량은 200sccm이었다. 선택성 및 기판의 표면 거칠기를 조사하기 위해 SEM(Scanning Electron Microscopy)과 AFM(Atomic Force Microscopy)으로 측정했고, 로 열

처리 및 질소 플라즈마 처리 전·후의 기판 표면 변화는 TOF-SIMS로 관찰하였다.

## III. 실험 결과 및 고찰

그림 1은 열처리 온도가 선택적 구리 박막 증착에 미치는 영향을 알아보기 위하여 BPSG 위에 패터닝된 TiN 기판에 대해 열처리 전·후에 기판 온도 150°C에서 5분간 구리 박막을 증착한 결과를 나타내는 SEM 사진이다. 열처리 온도가 증가할수록 BPSG 위에서는 구리의 핵 형성이 효과적으로 억제되었다. 350°C~650°C에서 열처리 된 경우는 BPSG 위에 구리 핵 형성이 된 것으로 나타났고, 750°C의 경우는 BPSG 위에 구리의 핵 형성이 발생하지 않았다. 온도를 더 높여 850°C에서 열처리한 경우도 BPSG 위에 구리 핵 형성이 이루어지지 않았다. 그러나 패터닝된 TiN 위에서는 열처리 온도와는 무관하게 구리가 증착되어 750°C에서 열처리 된 기판에서는 완벽하게 선택적 구리 증착이 이루어졌다.

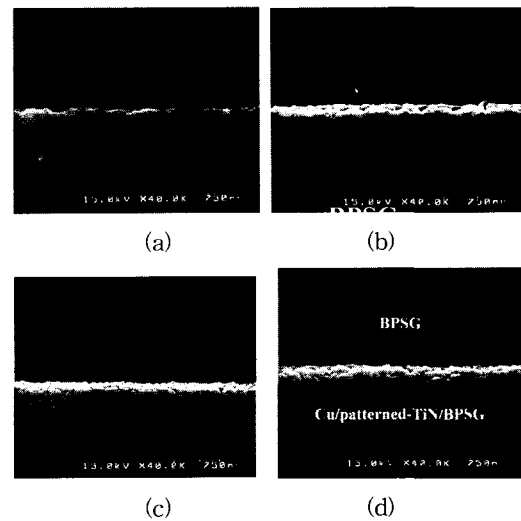


그림 1. BPSG 위에 패터닝된 TiN 기판을 (a) 열처리 하지 않았을 때와 (b) 650°C, (c) 700°C, (d) 750°C에서 열처리한 후 150°C에서 5분간 구리를 증착했을 때의 SEM 사진

Fig. 1. SEM micrographs of Cu deposited at 150°C for 5min on patterned-TiN/BPSG substrates (a) without annealing and annealed (b) at 650°C, (c) at 700°C, and (d) at 750°C.

그림 2는 BPSG 위에 여러 형태의 패터닝된 TiN 기

판을 N<sub>2</sub> 분위기, 0.5torr, 750°C에서 30분간 처리한 후 구리 박막을 150°C에서 20분간 증착했을 때와 증착 후 HF(Hydrofluoric acid):DI(Deionized water)=(1:100) 용액에 30초간 담겼을 때의 SEM 사진이다. 그림 2에 나타난 바와 같이 선택성 지속 시간을 알아보기 위해 증착 시간을 늘려 본 결과 15분까지는 BPSG 위에서의 구리 핵이 효과적으로 억제되었고 20분 후에는 그림 2. (a)에서 볼 수 있듯이 BPSG 위에 구리 핵이 약간 형성되었다. 그러나 20분 증착 시 BPSG 위에 형성된 구리 핵은 입자(island) 형성 단계에 머물고 있어 표면간의 흡착력이 좋지 않아 HF:DI(1:100) 용액에 30초간 담귀서 BPSG 위의 구리 핵을 깨끗하게 제거할 수 있었다.

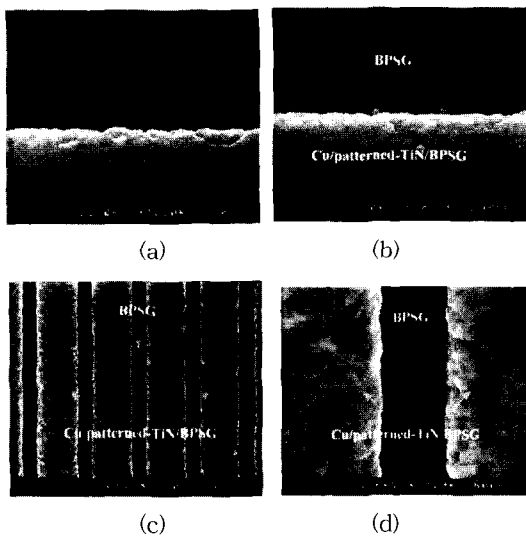


그림 2. BPSG 위에 패터닝된 TiN 기판을 N<sub>2</sub> 분위기, 0.5torr, 750°C에서 30분간 처리한 후 150°C에서 20분간 구리를 증착했을 때 (a) 증착 직후와 (b, c, d) 증착 후 HF:DI(1:100) 용액에 30초간 담근 후의 SEM 사진

Fig. 2. SEM micrographs of Cu deposited at 150°C for 20min on patterned-TiN/BPSG substrates annealed under N<sub>2</sub> gas with 0.5torr for 30min at 750°C. (a) is the as deposited sample, and (b, c, d) are the samples after HF:DI(1:100) dipping for 30sec.

열처리 분위기 가스에 대한 효과를 알아보기 위하여 질소 대신 아르곤(Ar)을 이용해 열처리한 후 구리를 증착해 본 결과 질소 가스일 경우와 동일하게 750°C로 열처리했을 경우 선택적으로 구리 증착이 되었고 그 이하의 온도일 경우는 BPSG 위에도 구리가 증착되었다. 그러므로 열처리 시의 분위기 가스는 구리의 선택

적 증착에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었고 열처리 온도가 선택적 증착의 주요 인자임을 관찰할 수 있었다. 그래서 선택적 구리 증착이 나타나는 최적의 열처리 온도를 찾기 위해 700~850°C에서 열처리 한 결과 700°C 열처리 한 경우 BPSG 위에 구리 증착이 일어났고 750°C의 경우 선택적으로 구리가 증착되어 열처리의 최적 온도는 750~850°C로 확인되었다.

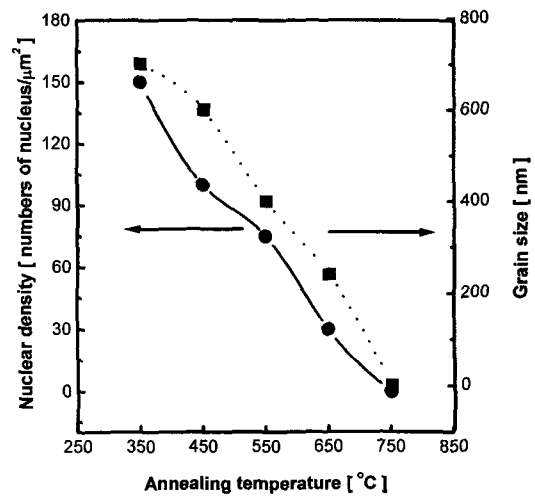


그림 3. 150°C에서 5분간 구리를 증착했을 때 BPSG 위에서 열처리 온도에 따른 구리 핵 밀도 및 그레인 크기와의 관계

Fig. 3. Dependence of the nucleation density and grain size of Cu deposited at 150°C for 5min on BPSG as a function of annealing temperature.

그림 3은 BPSG 기판에 대한 열처리 온도에 따른 구리 핵 형성 과정을 비교하기 위하여 기판 열처리 후 구리를 150°C에서 5분간 증착했을 때 핵 밀도와 입자 크기를 SEM 사진을 토대로 측정된 결과를 나타낸 그림이다. 열처리 온도가 높아질수록 구리 핵의 크기 및 개수가 줄어들고 있으며 750°C에서는 구리 핵이 전혀 관찰되지 않았다. 위의 결과에서 열처리에 의해 구리의 선택적 증착이 일어나는 원인을 좀 더 면밀히 분석하기 위하여 먼저 열처리 온도에 따른 BPSG 표면의 변화를 알아보았다. 그림 4는 열처리 온도에 따른 BPSG의 표면 거칠기의 변화를 AFM으로 측정된 결과를 나타낸 그림이다. AFM으로 측정된 BPSG의 표면은 거칠기에서 그림 4와 같이 열처리 온도에 따라 변화가 관찰되었다. 여기서 열처리가 주는 선택성 증진의 원인

중 하나가 표면 거칠기의 감소라 할 수 있다. 열처리 온도가 350°C의 경우 거칠기가 약 24Å이었고 온도의 증가에 따라 감소하여 750°C에서는 350°C의 1/3인 약 7 Å이었다. 이는 BPSG의 특성에 의한 것으로 고온에서는 어느 정도의 액체 성질을 지니며 조밀해지기 때문이다. 이러한 열처리로 인한 BPSG의 표면 거칠기의 변화는 표면적의 변화를 가져오고 이는 표면 에너지와 직접적으로 연관되어지므로 구리 핵 형성에 영향을 줄 수 있다. 즉 열처리 과정은 표면의 거칠기를 감소시키며 거칠기의 감소는 총 표면 에너지를 줄여 주는 역할을 한다<sup>8)</sup>. 또한 표면 거칠기의 감소는 표면에 흡착(adsorption)된 구리 전구체((hfac)Cu(VTMS))의 이동을 용이하게 하여 표면 체류 시간을 줄여 주는 역할을 하여 반응 기체의 기판 표면 흡착을 방해하게 되므로 구리의 핵 형성을 어렵게 만든다. 그림 1을 자세히 보면 열처리 온도가 높아짐에 따라 BPSG 위의 구리 핵의 크기는 현저히 작아지나 수는 점점 늘어나게 되며 750°C에서의 열처리 시에 완전히 없어지게 된다. 또한 패터닝된 TiN 위에 성장된 구리 박막의 형태를 비교해 보면 350°C에서 열처리된 경우 결정 형태의 구리 덩어리들이 쌓인 모양을 하고 있으나 열처리 온도가 높아질수록 구리 덩어리(cluster)들이 뒹잉킨 모양으로 바뀌어지고 있다. 이 현상은 열처리에 의해 기판의 표면 에너지가 낮아진 때문이라고 판단된다. 즉 표면 에너지의

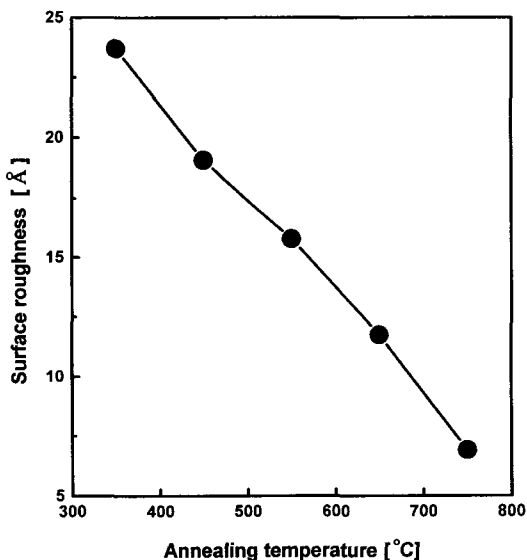


그림 4. 열처리 온도에 따른 BPSG의 표면 거칠기 변화  
Fig. 4. Dependence of the surface roughness of BPSG as a function of annealing temperature.

감소로 구리 핵의 습성(wetting)이 나타나게 됨에 따라 표면에서의 이동이 어려워지게 되어 열처리 전에는 구리 핵의 표면 이동이 많은 성숙(ripening) 성장 과정을 거쳤으나 열처리 후에는 점점 합병(coalescence) 성장으로 변하는 것으로 판단된다. 이 현상은 열처리에 의해 표면 에너지가 줄어들었음을 보여주는 증거가 될 수 있을 것이다. 그러므로 거칠기의 감소는 구리 핵 형성을 억제시키는 요인이 될 수 있다.

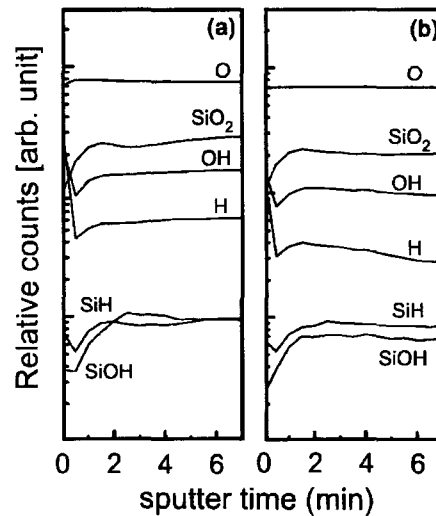


그림 5. (a) 열처리하지 않았을 때와 (b) N2 분위기, 0.5torr, 750°C에서 30분간 열처리했을 때 BPSG의 SIMS 깊이 분석도

Fig. 5. SIMS depth profiles of BPSG (a) without annealing and (b) annealed under N2 gas with 0.5torr at 750°C for 30min.

그림 5는 열처리 전·후 BPSG 표면의 성분 변화를 알아보기 위하여 SIMS로 깊이 분석을 한 결과를 열처리 전·후 변화가 거의 없는 SiO<sub>2</sub> 세기를 기준으로 정규화 시켜 나타내었다. 열처리에 의해 표면에서의 수소(H) 성분이 약 20%, hydroxyl group(OH) 성분이 약 30%, SiOH 성분이 약 40%로 감소되었으며, SiH는 변화가 미미했다. 이 결과는 열처리에 의해 BPSG 표면이 탈수화(dehydration)된다는 것을 보여 주고 있다. 많은 연구에 의해 산화막(oxide) 표면의 O-H기는 구리 증착에 관여하고 있는 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>. 즉 산화막 표면의 O-H기는 구리 핵 형성의 site로 작용하여 구리 증착을 가속화시킨다는 것이다. 그러므로 열처리가 주는 선택성 증진의 원인 중 또 다른 하나는 O-H기 같은 표면의 기능성 작용기의 감소이다. Cu(I) 계열을 전구체(precursor)로 사용할 경우 증착 현상은 산

화와 환원이 동일 금속인 구리에서 동시에 일어나는 불균형(disproportionation) 반응이다. 이 반응은 일반적으로 전자 전이(electron transfer)에 의한 증착이므로 기판의 전자가 관여하는 것으로 알려져 있다. 즉 금속 기판 위에서는 금속에 풍부한 전자에 의해 증착이 쉽게 이루어지나 산화막 기판에서는 증착 반응이 쉽지 않다. 그러나 O-H기가 표면에 있을 경우 이것이 구리 핵 형성의 자리로 작용하는 것으로 알려져 있다. 그러므로 TOF-SIMS로 750°C에서 열처리된 BPSG와 열처리하지 않은 BPSG를 분석한 결과 열처리된 BPSG에서 H와 O-H의 감소가 발생했고 이로 인해 BPSG 위로의 핵 형성이 억제되었다고 사료된다. 가장 고온(약 1000°C)을 사용하는 열적 규소 산화막(thermal SiO<sub>2</sub>)의 경우는 표면에 수소 성분이 거의 존재하지 않는 것으로 알려져 있으며 낮은 공정 온도로 증착이 가능한 TEOS(Tetraethoxysilane) 산화막 및 BPSG는 상당량 함유하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 규소 산화막 표면의 O-H 성분은 고온의 열처리(약 700°C 이상)에 의해 제거할 수 있다<sup>[5]</sup>. 그러므로 본 실험 결과는 BPSG 표면에서의 열처리에 의한 탈수화 효과가 구리 핵 형성의 억제에 기여한 것으로 판단할 수 있었다.

열처리 전후의 TiN 기판 위에 증착된 구리의 특성을 확인하기 위해 비저항 측정 결과 열처리를 하지 않은 TiN 기판에서 3.53 μΩ-cm의 막이, 열처리된 TiN 기판에서는 2.75 μΩ-cm의 막이 형성되어 열처리된 TiN 기판에서 열처리되지 않은 TiN 기판 위의 구리에 비해 비저항 값이 약 22% 양호한 구리 박막의 증착이 이루어졌다. AFM에 의해 측정된 구리의 표면 거칠기는 열처리되지 않은 TiN에서 208.8Å인데 반해 열처리된 TiN에 증착된 구리에서는 170.5Å로 약 18% 낮게 나타났다. 구리의 증착률 측정 결과 열처리 전의 기판에서 140Å/min, 열처리 후 83.3Å/min로 열처리 후에는 증착률이 약 40% 낮아지는 것으로 나타났다. 위의 결과들은 열처리에 의해 TiN의 표면이 alloy되어 더욱 조밀해져 구리 증착에 영향을 미쳤기 때문이라 판단된다. TiN 표면의 거칠기가 감소한다는 것은 구리 핵이 균일하게 형성되는 것을 의미하며 따라서 증착되는 구리 박막에서의 기공(void)이 적어진다. 그러므로 이러한 효과로 구리의 비저항은 감소하며 총 표면 에너지 및 dangling bond의 감소로 인해 증착률은 낮아지지만 더욱 양질의 구리 박막을 얻을 수 있는 장점도 내포하고 있다.

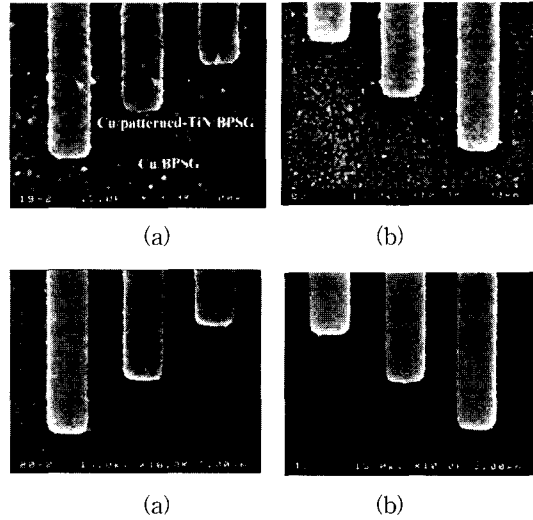


그림 6. BPSG 위에 TiN이 패터닝된 기판을 (a) 플라즈마 처리를 하지 않았을 때와 (b) 상온, (c) 150°C, (d) 200°C에서 질소 플라즈마(30W-0.5torr-30min) 처리를 한 후 170°C에서 5분간 구리 증착한 SEM 사진  
Fig. 6. SEM micrographs of Cu deposited at 170°C for 5min on patterned-TiN/BPSG substrates (a) without treatment and with N<sub>2</sub> plasma treatment(30W-0.5torr-30min) (b) at room temperature, (c) at 150°C, and (d) at 200°C.

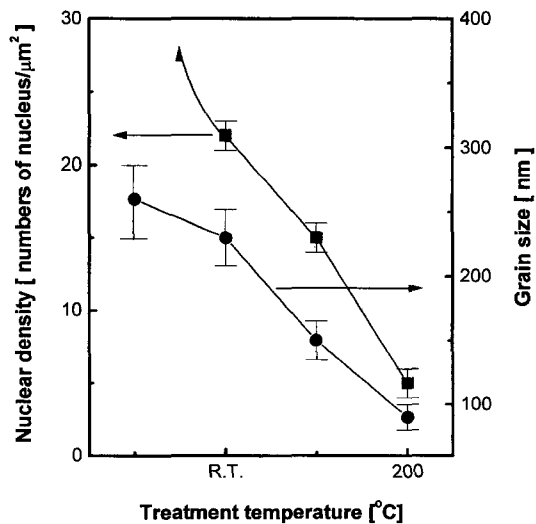


그림 7. 질소 플라즈마 처리 온도에 따른 BPSG 위에 증착된 구리 핵의 밀도 및 그레인 크기와의 관계  
Fig. 7. Dependence of the nucleation density and grain size of Cu deposited on BPSG as a function of N<sub>2</sub> plasma treatment temperature (30W-0.5torr-30min).

선택적 증착을 향상시키기 위한 다른 방법으로 질소 플라즈마를 사용하여 기판 표면의 성질을 변화시킨 결과를 그림 6에 나타내었다. 질소 플라즈마 처리는 상온~200°C, 압력 0.5torr, 처리 시간은 30분간으로 구리 증착 전에 인가하였고, 구리 증착 조건은 압력 0.5torr, 유량 200sccm, 기판 온도 170°C에서 이루어 졌다. 기판에 플라즈마 처리 없이 구리를 5분간 증착한 경우에는 BPSG, TiN 표면 모두에서 연속적인 박막을 형성했으나, 질소 플라즈마 처리 후에는 BPSG에서는 구리의 핵 형성이 억제되었다. 그림 6. (b)와 같이 상온에서 질소 플라즈마를 처리 후 구리를 증착한 경우 BPSG 위에서는 핵 형성 단계에만 머물러 있다. 플라즈마 처리 온도를 증가함에 따라 선택성, 즉 BPSG 위로의 구리의 핵 형성 억제 효과가 증가했다. 플라즈마 처리 온도가 증가함에 따라 핵 밀도 및 크기도 감소하여 200°C에서 처리한 경우 BPSG 위로 약 5 nucleus/ $\mu\text{m}^2$ 의 핵만 존재했으며 이 결과를 그림 7에 나타내었다.

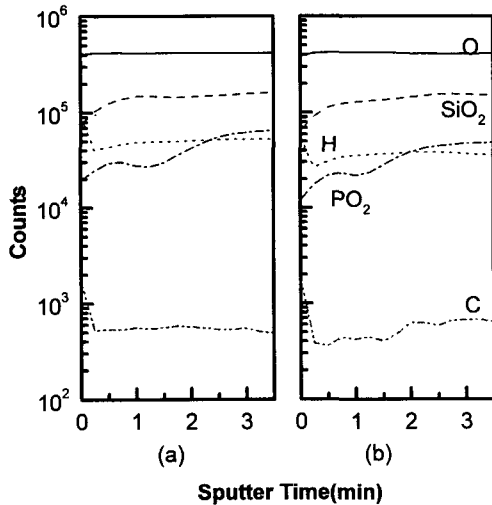


그림 8. (a) 플라즈마 처리를 하지 않았을 때와 (b) 질소 플라즈마 처리(30W-0.5torr-30min-200°C)를 했을 때 BPSG의 SIMS 깊이 분석도

Fig. 8. SIMS depth profiles of BPSG (a) without treatment and (b) with  $\text{N}_2$  plasma(30W-0.5torr-30min-200°C).

질소 플라즈마 처리에 따른 BPSG의 표면 변화를 알아보기 위해 TOF-SIMS로 분석한 결과를 그림 8에 나타내었다. 여기에서도 H와 O-H의 감소가 측정되었다. 질소 플라즈마는 질소 라디칼( $\text{N}_2^+$ ,  $\text{N}^+$ )과 이온( $\text{N}_2^+$ , etc.)으로 구성되어 있고 특히  $\text{N}_2^+$ 가 주종을 이룬다<sup>[6]</sup>.

$\text{N}_2^+$ 가 O-H와 반응해  $\text{NH}_3$  또는  $\text{NH}_x(x=1,2)$ 를 형성하고 표면에서 탈착되어 O-H를 감소시키는 것으로 사료된다. 처리 온도를 증가할수록 선택성이 증진되는 이유는 기판 온도가 높을수록  $\text{N}_2^+$ 와 O-H의 반응이 촉진되기 때문이라 사료된다.

#### IV. 결론

구리의 선택적 증착을 증진시키기 위해 로 열처리와 질소 플라즈마를 사용했다. 로 열처리의 경우 750°C에서 가장 좋은 선택성을 땀을 확인했고, 질소 플라즈마의 경우는 200°C에서 플라즈마 처리를 인가하였을 때 가장 우수한 선택성이 나타났다. 이것으로 로 열처리나 플라즈마 처리 시 처리 온도가 중요한 인자로 작용함을 알았다. 그리고 구리의 선택성 증진에 표면 O-H가 깊게 관련되어 있음을 TOF-SIMS를 통해 확인하였다. 이와 같은 결과는 아직 상온에서의 건식 식각 방법이 개발되지 않은 상태에서도 반도체의 생산 공정에서 구리를 배선 재료로서 이용할 수 있다는 가능성을 제시해 준다. 그러나 본 연구에서 사용된 TiN의 경우 약 550°C 이상의 온도에서는 실리콘에 대해서 확산 방지막 역할을 제대로 해주지 못한다. 그러므로 본 연구의 결과를 생산 공정에 활용함에 있어서는 먼저 고온에서도 충분히 확산 방지막 역할을 할 수 있는 새로운 금속의 사용이 선행되어야 한다. 본 연구에 사용된 TiN 대신에 텅스텐 계열의 확산 방지막을 구리 증착의 seed로 사용하면 TiN에 비해 열처리 온도와 구리 증착 특성이 좋기 때문에 선택적 증착이 가능할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- [1] N. Hosoi and Y. Ohshita, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 63, p. 2703, 1993.
- [2] D. Temple and A. Reiman, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 136, p. 3525, 1989.
- [3] D. B. Beach, F. K. LeGoues, and Chao-Kun Hu, *Chem. Mater.*, vol. 2, p. 216, 1990.
- [4] A. Jain, T. T. Kodas, R. Jairath, and M. J. Hampden-Smith, *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. B11, p. 2107, 1993.

- [5] L. H. Dubois and B. R. Zegarski, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 139, p. 3265, 1992.
- [6] K. Miyahara, *Chem. Lett.*, p. 849, 1984.
- [7] K. Ohkawa, A. Ueno, and T. Mitsuyu, *J. Crystal Growth*, vol. 117, p. 375, 1992.
- [8] K. Tu, J. W. Mayer, and L. C. Feldman, *Electronic Thin Film Science for Electrical Engineers and Material Scientists*, Macmillan, New York, p. 119, 1987.

---

저 자 소 개

---



郭 聖 官(正會員)

1967년 10월 25일생. 1991년 2월 경희대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1995년 2월 경희대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 1994년~1997년 한국과학기술연구원 학생연구원. 현재 경희대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 관심연구분야 : Cu metallization, TFT-LCD용 저저항 금속

丁 寬 秀(正會員) 第 33卷 A編 第 12號 參照

현재 경희대학교 전자정보학부 교수