

## 산화규소 표면위에서 $WF_6$ - $SiH_4$ 화학증착에 의한 텅스텐 핵의 생성

최경근\*, 이 청\*\*, 이시우, 이진홍

포항공과대학 화학공학과 재료공정 연구실

\*현대전자 반도체 연구소

\*\*삼성전자 반도체 연구소

### Chemical Vapor Nucleation of Tungsten from $WF_6$ - $SiH_4$ on Silicon Dioxide Surface

Kyeong-Keun Choi, Chung Yi, Shi-Woo Rhee and Kun-Hong Lee

Laboratory for Advanced Materials Processing

Department of Chemical Engineering

Pohang Institute of Science and Technology

초 록  $WF_6$ 와  $SiH_4$ 의 화학반응으로부터 산화규소막 위에 텅스텐 핵이 형성되는 현상을 실험을 통해 관찰하였다. 핵이 생성되는 속도는 반응온도가 높고 운반기체의 유량이 적으며 반응기내의 압력이 높을수록 큰 것으로 나타났다. 또한 반응기체가 흘러가는 방향에서 아랫쪽으로 위치하는 표면에 핵이 생성되는 속도가 큰 것으로 나타났다. 산화막위에 생성된 텅스텐 핵의 형상과 파단면을 주사현미경으로 관찰하였으며 산화막위에 형성된 텅스텐 박막의 화학적 조성을 밝혀내었다.

**Abstract** The rate of tungsten nuclei formation from  $WF_6$ - $SiH_4$  on silicon dioxide surface was measured. The nucleation rate became faster at high deposition temperature, low carrier gas flow rate and high deposition pressure. Also the rate became faster at the downstream of the oxide surface compared to the oxide surface near the inlet. Shape and cross-sectional view of the tungsten nuclei were observed with SEM and their chemical compositions were also determined.

### 1. 서 론

집적회로의 밀도가 높아져 회로의 선폭이 1마이크론 이하로 작아지면서 금속배선(metal interconnection)의 중요성이 점점 커지고 있다. 이에 따라 새로운 배선 재료 및 공정이 관심을 끌고 있으며 특히 화학증착을 이용한 텅스텐 박막의 제조공정에 대해 많은 연구가 진행되고 있다<sup>1)</sup>. 텅스텐은 이제까지 많이 쓰여오고 있는 알루미늄에 비해 용점이 높고 안정하며 높은 전류밀도에도 잘 견디는 장점이 있다. 화학증착법은 스퍼터링과 같은 물리적인 증착법에 비해 층덮힘(step coverage)이 우수하여 복잡한 표면구조에 평탄화를 유지하며 금속박막을 증착시키는데 유리하다. 또한 화학반응을 적절히 이용하면 기판표면의 종류에 따라 우리가 원하는 부분에만 선택적인 증

착을 할 수 있다는 장점이 있다. 화학증착법에 의한 텅스텐 공정은 선택적 증착(selective deposition)에 의해 혹은 선택성이 없는 전면성(blanket deposition) 증착과 etch back공정에 의해 금속배선공정에 활용될 수 있다<sup>2-10)</sup>. 이러한 공정은 규소와 접촉을 이루는 contact hole이나 다층배선에서 금속과 금속을 연결하는 via hole을 채우는데 적합하다. 화학증착공정에서는 화학반응메카니즘을 이해하고 이를 조절하여 활용하는 것이 중요하다. 특히 증착을 하고자 하는 기판표면과 반응기체와의 화학반응은 계면의 화학적 조성 및 형상에 영향을 주게 되며 이는 접촉부분의 전기적인 특성 및 접합도, 경계면의 두께등에 영향을 미쳐 디바이스의 성능 및 신뢰도를 좌우하게 된다. 선택적 증착은 화학반응을 이용해 원하는 부분에만 증착을 할 수 있는 기술로서 절연체인

산화규소나 질화규소에는 증착을 억제하고 노출된 규소나 금속표면 위에만 증착을 할 수 있어 공정을 단순화할 수 있다.

이 경우 기판표면과 반응기체와의 화학반응을 이해하고 이를 조절하는 것이 선택도를 향상시키는데 중요한 역할을 하게 된다. 이제까지 텅스텐의 화학증착에는 주로  $WF_6-H_2$ 와  $WF_6-SiH_4$ 를 반응기체로 쓰고 있다. 본 연구에서는  $WF_6$ 와  $SiH_4$ 를 반응기체로 활용해 산화막위에 텅스텐 핵이 형성되는 과정을 관찰하여 선택도에 영향을 미치는 변수들을 밝혀내고자 하였다.

## 2. 화학반응 메카니즘

Fig.1에는 텅스텐의 화학증착과 관련된 여러 기판 물질의 화학적 결합력이 나타나 있다. 산화규소나 기타 금속산화물의 경우는 그 결합에너지가 상당히 크고 규소나 알루미늄 등과 같은 금속의 경우는 그 결합에너지가 비교적 작은 것을 알 수 있다.  $WF_6-H_2$ 나  $WF_6-SiH_4$ 를 이용한 텅스텐의 화학증착에서 각각의 반응기체는 결합에너지가 작은 화합물들과는 비교적 쉽게 반응하며 반면에 결합에너지가 큰 화합물들과는 잘 반응하지 않는다. 이러한 표면물질의 반응성은 선택도를 좌우하는 가장 큰 인자라 볼 수 있다. 규소표면에 노출된 상태에서 텅스텐을 증착시키는 경우 아래와 같은 화학반응이 일어나게 된다.

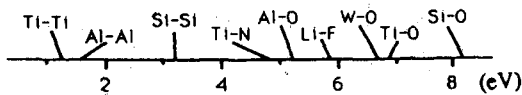
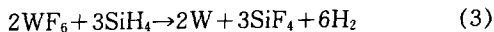
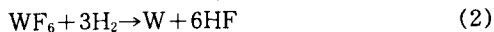
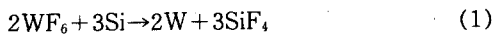
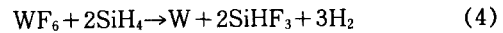


Fig.1 Dissociation energy in the ground state

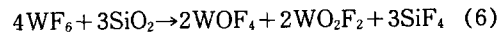
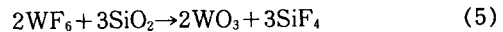


반응(1)은 규소표면에 흡착된  $WF_6$ 와 표면 규소 원자와의 반응에 의해 텅스텐이 증착되는 경우이다. 이 반응에 의한 화학증착은 규소표면에 어느정도 두께의 텅스텐 막이 형성되면  $WF_6$ 가 표면규소와 만나지 못하므로 반응이 멈추게 된다. 분자상태의 수소는 텅스텐 금속표면에 원자상태로 분해 흡착이 되므로

반응(2)에 의해 텅스텐 표면에서 반응이 일어나게 된다.  $WF_6-H_2$ 에 의한 화학증착에서는 반응(1)의 반응성이 높아 (2)반응보다 우선적으로 진행되며 이에 따라 표면규소가 식각이 되어 문제를 일으키기도 한다<sup>11,12</sup>. 반응(3)은 반응(2)보다 반응속도가 빠르고 또한 기체상에서 규소성분이 공급되기 때문에 기판표면 규소의 식각을 방지할 수 있다. 반응(3)의 경우 사일린에 포함된 규소만이 주로 환원제로 작용하여 HF는 형성되지 않는 것으로 알려져 있다<sup>13</sup>. 위의 반응들은 주로 표면에 흡착된 상태에서 반응이 되며 산화막 위에서는 잘 반응이 일어나지 않는다. 최근에 와서는 기상의 화학성분 분석을 통해 아래와 같은 반응도 일어나는 것으로 발표되고 있다<sup>14</sup>.



또한  $WF_6-SiH_4$ 반응에서는  $SiH_4$ 와  $WF_6$ 의 몰비가 약 1.5이상이 되면 기상에서도 반응이 일어나는 것으로 관측이 되기도 한다<sup>14</sup>. 이 경우 기상에서 생성되는 입자가 산화막 표면에도 부착이 되며 선택성이 떨어질 것으로 예상된다. 텅스텐의 화학증착은 반응기체와 기판표면의 원소들과의 반응에 의한 초기단계와 일단 기판표면이 텅스텐으로 덮힌 후 텅스텐 표면에 계속적으로 증착이 되는 2단계 과정으로 생각해 볼 수 있다. 금속화합물같이 결합에너지가 작은 표면의 경우 표면과 반응기체와의 반응속도가 빨라 초기단계가 짧게 되며 산화물의 경우는 초기단계가 아주 길어질 것으로 예상할 수 있다. 이러한 특성을 이해하고 잘 조절하면 기판표면에 따라 높은 선택도를 얻을 수 있다. 이산화규소 산화막은  $WF_6$ 와 다음과 같은 화학반응을 일으킬 수도 있다.



이러한 반응은 비교적 느린 속도로 진행된다. 이외에도 표면반응에 의해 생성되는 반응성이 높은  $WF_x(x \leq 5)$  또는  $SiF_x(x \leq 3)$  라디칼 등이 산화막 표면으로 이동하여 핵이 생기고 이 핵을 시발점으로 텅스텐이 증착될 수도 있다<sup>15</sup>. 산화막위에 불순물이 있거나 결정결합이 있을 경우 이러한 여러가지 반응이 촉진되어 텅스

텐이 증착되는 속도가 빨라질 수도 있어 산화막 표면의 상태에 영향을 미치는 세척과정이 변수가 되기도 한다. 이외에도 산화막에 포함된 도판트의 종류나 어떠한 공정으로 산화막이 만들어졌느냐에 따라라도 텅스텐 핵이 생성되는 정도가 달라지는 것으로 알려져 있다<sup>6)</sup>.  $WF_6$ - $H_2$  반응시스템을 이용해 산화막위에 핵이 생성되는 과정을 관찰하여 선택도 및 반

응특성을 규명하려는 연구도 시도되었다<sup>17,18)</sup>.

### 3. 실험

산화규소막 위에서의 텅스텐 핵의 생성에 관한 실험은 Fig.2에 나타나 있는 LPCVD (low pressure chemical vapor deposition) 반응 시스템을 사용하여 수행하였다.

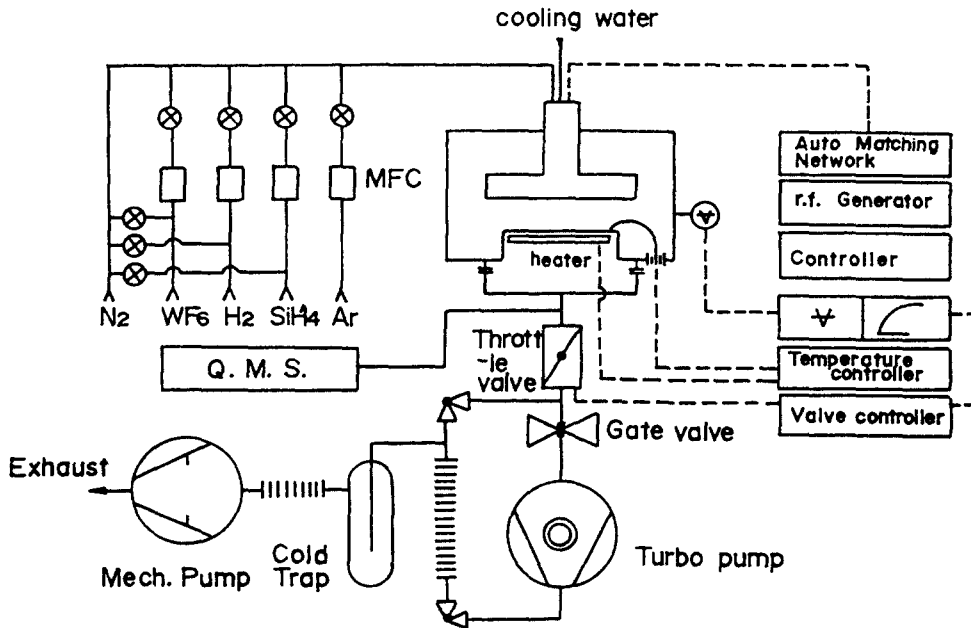


Fig.2 Low pressure CVD system for tungsten deposition

반응기는 cold wall, single wafer 형태로 class 1000의 청정실에 설치하였다. 반응기 내부는 원형의 두개의 평판이 놓여져 있는 형태이고 몸체와 함께 모두 스테인레스 스틸로 제작되었다. 반응기의 높이는 25cm, 직경은 32cm이며 아래 원판은 5인치웨이퍼까지 처리할 수 있게 홈이 파져 있다. 윗부분의 원판은 기체가 나올 수 있게 작은 구멍이 고르게 뚫려있는 샤프워 형태이며 반응기체는 기판에 수직으로 흘러내려 기판표면에서 방향을 바꾸어 양 옆으로 빠져나가게 되어 있다. 웨이퍼가 놓여있는 아랫판만 저항가열 방식으로 선택적으로 가열이 되고 반응기벽은 냉각이 되어 약 15°C로 유지된다. 이 경우 벽면에 증착이 잘 일어나지 않고 증착이 된 부분도 보통보다 다공질이어서 쉽게 제거될 수 있다. 웨

이퍼 표면에는 접점의 크기가 작은 K형 열전대가 놓여지며 접촉을 하고 있고 이것이 온도 제어기와 연결되어 일정한 온도로 조절된다. 진공시스템은 Leybold-Heraeus사의 turbovac 450 C turbomolecular 펌프와 Trivac-D40BCS rotary vane 펌프로 구성되어 있다. 반응기내의 압력은 저진공용 피라니 압력계와 페닝 압력계로 측정이 된다. 반응기와 진공펌프사이에는 MKS사의 throttle밸브가 연결되어 있어 콘덕턴스를 자동으로 조절해 반응기체의 유량과 독립적으로 반응기내의 압력을 일정하게 유지시켰다.

$WF_6$ 의 순도는 99.8%, 수소는 5-nine, 사일린은 3-nine, 아르곤은 6-nine의 기체를 사용하였다. 각 반응기체의 유량은 MKS사의 MFC(mass flow controller)를 사용해 조절하

였다. Rotary vane pump전에 활성 알루미늄 트랩과 액체질소 트랩을 달아 펌프오일이 역류되는 것을 방지하고 유독기체를 흡착 제거하였다.

본 실험에서는 텅스텐소재에서 만든 <111>, n형 4인치 실리콘 웨이퍼를 1100°C에서 약 1시간 동안 산화시켜 1500Å 두께의 산화막을 만든 후 기판으로 사용하였다. 증착직전 산화막은 먼저 90°C의  $H_2SO_4 : H_2O_2 (=3 : 1)$  용액에 10분간 담근 후 탈이온수로 4분간 씻었으며 다음  $HF : H_2O (1 : 10)$  용액에 10초간 담근 후 탈이온수로 다시 4분간 씻었다. 이후 질소를 불어 말린후 반응기에 넣었다. 반응을 시작하기 전에 반응기체 주입부분을 모두 잠그고 반응기 벽의 온도를 60°C로 가열하면서 진공으로 뽑아 벽에 흡착되어 있는 수분 및 잔류기체를 제거하였다. 반응기의 최고진공상태는  $2 \times 10^{-6}$  mbar정도에 도달했으며 진공으로 뽑기 시작하여 적어도 1시간 정도 뽑아내었다. 이후 아르곤으로 반응기를 채워넣고 기판을 반응기 안에 넣었으며 다시 고진공을 만든 다음 원하는 온도까지 완만한 속도로 가열하였다. 안정된 온도에 이르게 되면 다시 아르곤을 흘려 반응기 압력을 원하는 값으로 고정하였다. 다음 반응물을 MFC를 통해 흘려보내 증착을 시작하고 초시계로 반응시간을 측정하였다. 증착 후 반응물의 도입을 중지시키고 아르곤을 흘려 반응기안의 압력이 상압이 되게하고 기판을 반응기로부터 꺼내었다. 기판의 온도, 반응기내의 압력, 아르곤의 유량, 증착시간등을 변화시키며 실험을 하였으며 증착이 끝난 후 광학 현미경이나 주사전자현미경으로 표면을 관찰하여 텅스텐 핵이 생성된 정도를 측정하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

Fig.3에는 산화규소막 위에 형성된 텅스텐 핵을 주사전자현미경으로 관찰한 것의 한 예가 나타나있다. 주사전자 현미경 사진은 반응기체를 각각  $WF_6/SiH_4/Ar=10/10/400$  sccm로 주입하고 반응기압력은 0.3 torr, 기판온도는 350°C에서 10분간 증착한 것이다. 시편을 잘라 확대사진을 찍은 후 갯수를 세어 단위 제곱센티미터당 갯수로 환산하였다. 1500Å의 산화막이 덮여 있는 4인치 크기의 웨이퍼에

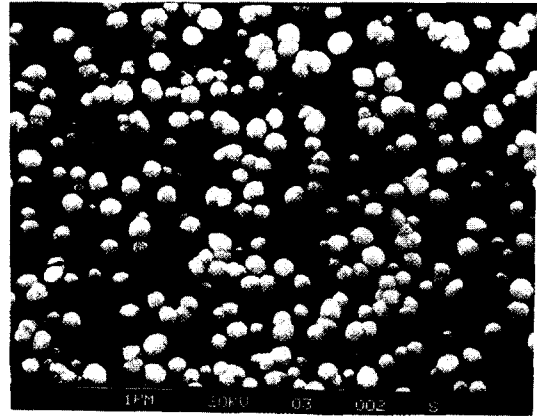


Fig.3 SEM micrograph of tungsten nuclei formed on the silicon dioxide surface at  $WF_6/SiH_4/Ar=10/10/400$  sccm, pressure=0.3 torr, deposition temperature=350°C, deposition time=10min

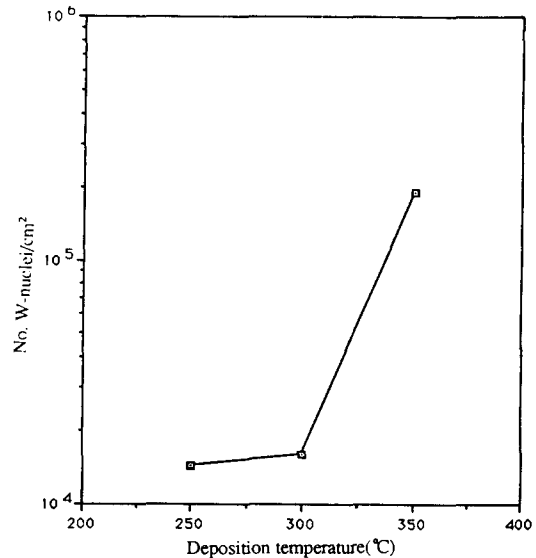


Fig.4 Number of tungsten nuclei formed on the oxide surface vs. deposition temperature at  $p=0.3$  torr,  $SiH_4/WF_6/Ar=10/10/400$  sccm, deposition time=10min

실험을 하여 위치에 따라 다섯개의 시편을 잘라 측정한 후 평균값을 취하였다.

Fig.4에는 증착온도의 변화에 따라 단위 제곱센티미터 당 텅스텐 핵의 갯수를 보여주고 있다. 이 경우 반응기체는 각각  $WF_6/SiH_4/Ar=10/10/400$  sccm이고 반응기 압력은 0.3 torr,

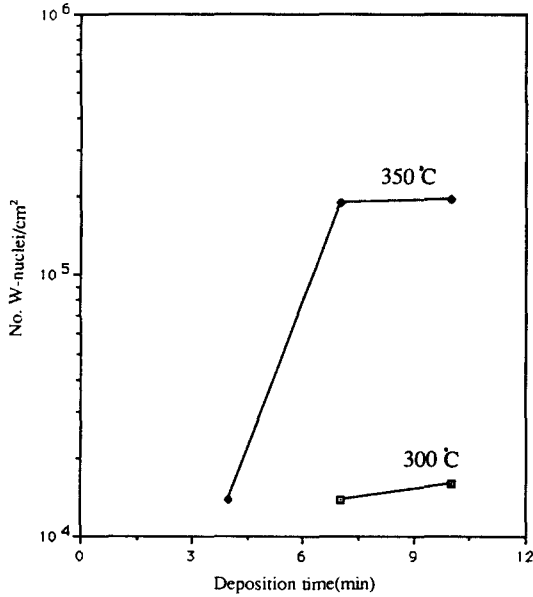


Fig.5 Nuber of tungsten nuclei formed on the oxide surface vs. deposition time at  $p=0.3$ torr,  $SiH_4/WF_6/Ar=10/10/400$ scm

증착시간은 10분이었다. 텅스텐 핵이 생성되는 속도는 온도가 증가함에 따라 급속히 증가함을 알 수 있었다. 증착온도가 375°C 이상일 때는 텅스텐핵이 생성되고 성장하는 속도가 빨라서 거의 박막형태로 자라게 되고 핵의 갯수를 측정하기가 어려웠다. 선택적 화학증착에서 증착온도가 낮을 수록 산화막위에 증착을 억제하여 선택도를 높일 수 있음을 알 수 있다. Fig.5는 주어진 압력 및 반응기체의 조성에서 증착시간에 따른 핵의 갯수를 나타낸다. 증착온도가 300°C 이하 일때는 핵의 갯수가 증가하는 속도가 느린것을 알 수 있다. 증착온도가 350°C에서는 시간에 따라 생성된 핵의 갯수가 증가하다가 어느정도 시간이 지나면 핵의 갯수가 거의 변화하지 않아 이때부터는 핵이 새로 생성되기보다는 생성된 핵이 커져 박막이 형성되는 과정이 주로 진행되는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 반응시간이 길어질수록 선택적 화학증착에는 불리해짐을 알 수 있다. Fig.6은 표면에 형성된 텅스텐 핵의 크기분포를 영상분석을 통해 측정된 결과를 나타낸다.

크기분포는 대략적으로 가우스분포를 나타

냄을 알 수 있다. 이 분포로부터 평균크기를 구할 수 있으며 이러한 평균크기는 반응시간이 길어질수록 커지게 된다. Fig.7은 반응기의 압력을 0.3torr에  $WF_6$ 와  $SiH_4$ 의 주입량을 각각 10sccm에 그리고 기판의 온도를 350°C로 고정시킨 상태에서 10분간 증착한 후의 핵의 숫자를 아르곤의 주입량에 대해 도시한 것이다. 이리곤 주입량이 증가할수록 핵의 숫자가

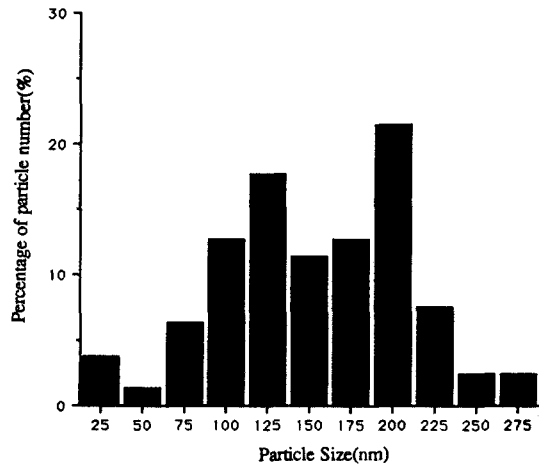


Fig.6 Size distribution of tungsten nuclei formed on the oxide surface at  $T=350^\circ C$ ,  $p=0.3$ torr,  $SiH_4/WF_6/Ar=10/10/400$ scm

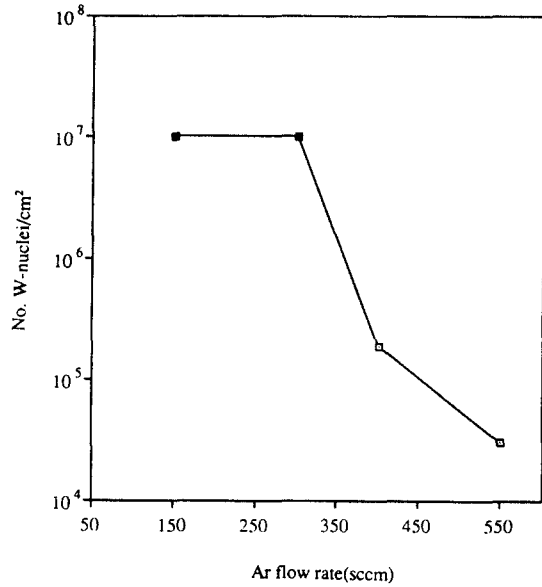


Fig.7 Number of tungsten nuclei formed on the oxide surface vs. carrier gas flow rate at  $T=350^\circ C$ ,  $p=0.3$ torr,  $SiH_4/WF_6=10/10$ sccm

줄어드는 것을 알 수 있다. 먼저 아르곤의 주입량이 커지면 각 반응기체의 분압이 줄어들어 표면에서 텅스텐핵의 생성 및 성장속도가 떨어지게 된다. 또한 운반기체의 유량이 증가하면서 반응부산물들이 좀 더 쉽게 반응기 바깥으로 배출되어 핵의 생성속도가 떨어질 것으로 생각된다. 이러한 면에서 볼때 반응기체의 분압을 낮게 유지하고 운반기체의 유량을 크게 할수록 선택적 증착에는 유리한 것을 알 수 있다. 특히 아르곤의 유량이 150sccm일때는 주어진 조건에서 이미 핵들이 많이 형성되어 박막형태로 자라 핵의 숫자를 측정하기 힘들었다. Fig.8은 아르곤의 주입량이 각각 150, 300sccm일때 표면에 증착된 텅스텐 핵의 모양을 보여주고 있다. 아르곤의 주입량이 작을

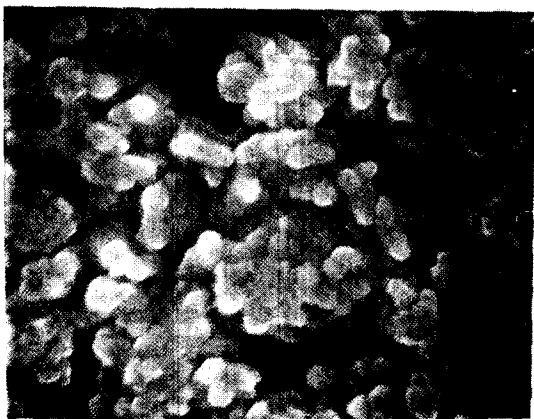
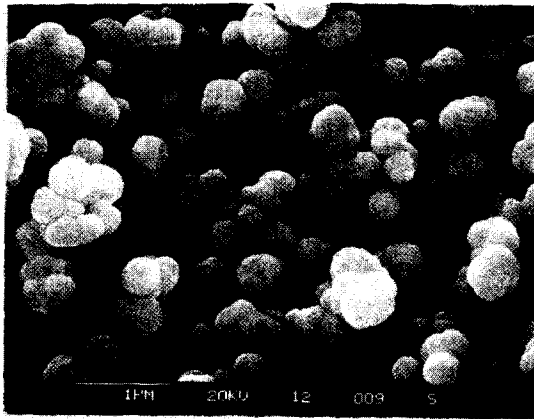


Fig.8 SEM micrograph of tungsten nuclei formed on the oxide surface at  $p=0.3\text{torr}$ ,  $T=350^\circ\text{C}$ ,  $\text{SiH}_4/\text{WF}_6=10/10\text{ sccm}$ , above  $\text{Ar}=150\text{sccm}$ , below  $\text{Ar}=300\text{sccm}$  (x 20,000)

때는 반응기체의 분압이 높고 유체의 흐름이 적기 때문에 비교적 원형의 핵이 생성되는 반면 유량이 클 때에는 길쭉한 형태의 핵이 형성된 것을 알 수 있다. 운반기체의 유량이 클 때에는 반응기체의 이동에 의해 특정방향으로 핵이 자라는 경향이 커진다고 볼 수 있다. Fig.9는 증착온도 및 반응기체의 주입량이 고정된 상태에서 반응기내의 압력을 변화시켜가며 텅스텐핵의 갯수를 측정 한 것이다. 반응기내의 압력이 높을수록 반응기체의 분압이 커지고 전체유량이 적어지므로 핵의 수도 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig.10은 웨이퍼의 위치에 따라 텅스텐핵이 생성된 모양을 광학현미경으로 관찰한 결과를 보여주고 있다. (A)는 웨이퍼의 중앙, (C)는 웨이퍼의 가장자리, (B)는 그 중간위치를 나타낸다. 웨이퍼 중앙에서 가장자리쪽으로 갈수록 핵의 숫자가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 반응기체가 웨이퍼의 수직한 방향으로 흘러내려와 웨이퍼 중심부에서 가장자리쪽으로 흘러가며 반응기 바깥으로 나가게 되므로 웨이퍼 중앙에서 가장자리 쪽으로 갈수록 반응기체의 농도는 줄어들 것으로 예상된다. 그러나 반응에 의해 생성되는 반응부산물들은 중앙부에서 아래쪽으로 갈수록 그 농도가 늘어나게 된다. 이러한 점에서 볼때 반응성이 높은  $\text{WF}_x(x \leq 5)$  및  $\text{SF}_x(x \leq 3)$ 와 같은 반응부산물들은 텅스텐핵의 생성을 크게 촉진시키

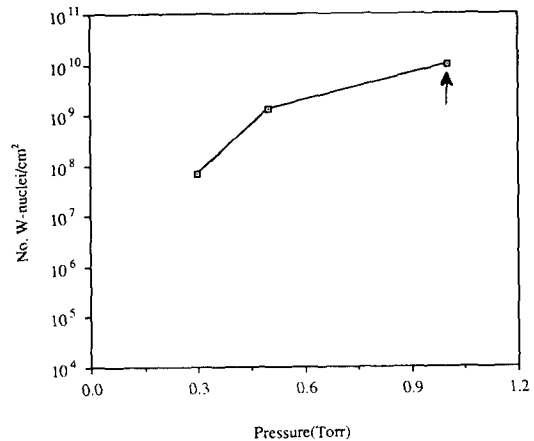
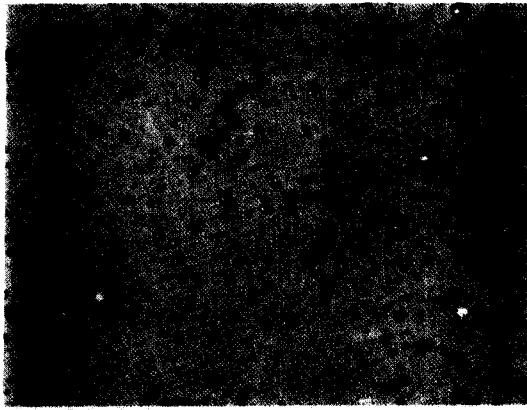
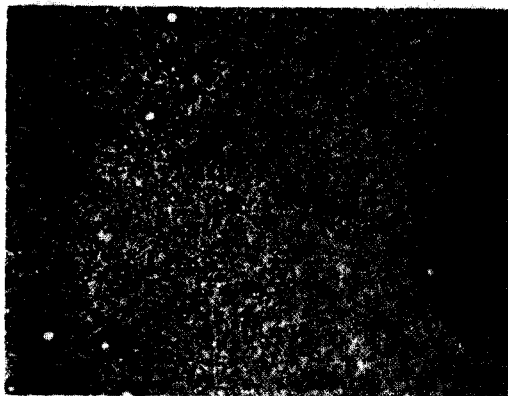


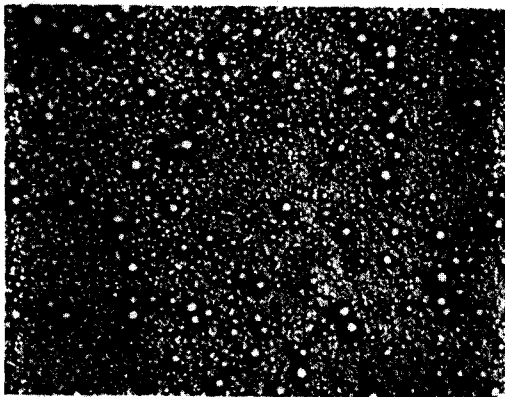
Fig.9 Number of tungsten nuclei formed on the oxide surface vs. pressure at  $T=350^\circ\text{C}$ ,  $p=0.3\text{torr}$ ,  $\text{SiH}_4/\text{WF}_6/\text{Ar}=10/10/400\text{sccm}$



(A)



(B)



(C)

Fig.10 Optical micrograph of tungsten nuclei formed at the different locations on the wafer surface, a)center b)middle c)edge,  $T=375^{\circ}C$ ,  $p=0.3\text{torr}$ ,  $SiH_4/WF_6/Ar=10/10/400\text{sccm}$  (x 1000)

며 반응기체가 흘러나가는 방향으로 아랫쪽에 있을수록 핵생성이 촉진된다. 이러한 면에서 볼 때 운반기체의 유량을 크게 해 반응부산물을 빨리 반응기 밖으로 흘려보내는 것이 핵생성을 억제하고 따라서 선택적 증착에 유리하게 된다.

Fig.11은 산화규소막위에 증착된 텅스텐 박막을 Auger Spectrometer로 분석한 결과를 보여주고 있다. 산화막위에 증착된 텅스텐 박막은 규소웨이퍼위에 증착된 텅스텐박막<sup>13)</sup>과 비교하여 그 화학적 조성에는 별차이가 없는 것으로 나타났으나 텅스텐이 산화규소막쪽으로 상당히 침투해 있음을 알 수 있었다. Fig. 12에는 산화규소가 덮힌 규소기판위에 증착된 텅스텐막의 단면을 주사전자현미경으로 보여주고 있다. 산화막 위에는 상당히 느린 속도로 핵이 생성되고 이것이 자라 박막형태로 성장하므로 표면이 상당히 거칠은 것을 알 수 있으며 텅스텐 층이 산화규소막쪽으로도 부분적으로 침투된 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 식 (5)와 (6)에 나타난 화학반응에 의한 것으로 생각된다. 한편 규소표면에 증착될 때 관찰되었던 기둥구조는<sup>13)</sup> 형성되지 않았음을 알 수 있다. 생성된 텅스텐 핵의 모양도 경우에 따라서는 입방체 모양의 각진 형태로 관찰이 되었다. 산화막 표면위에 텅스텐 핵의 생성을 TiN표면위와 비교하면 속도도 느리고 핵의 크기도 크며 이에 따라 산화막위에 증착

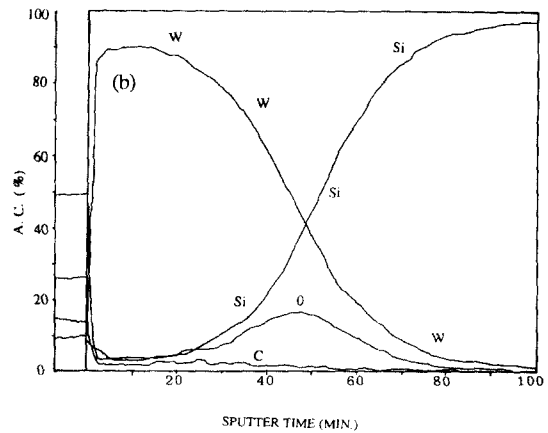


Fig.11 Auger depth profile of tungsten film deposited on the oxide surface by  $SiH_4$ - $WF_6$  reaction

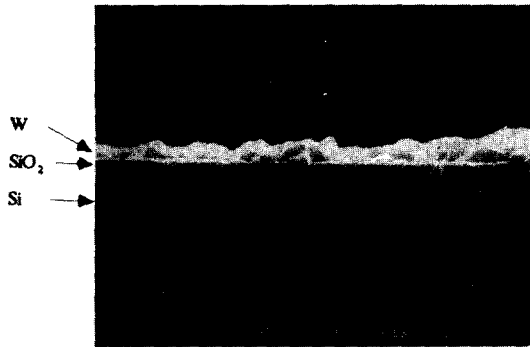


Fig.12 Cross sectional SEM micrograph of tungsten formed on the oxide surface at  $T=350^{\circ}\text{C}$ ,  $p=0.3\text{torr}$ ,  $\text{SiH}_4/\text{WF}_6/\text{Ar}=10/10/300\text{sccm}$

된 텅스텐 막의 표면이 더 거칠음을 알 수 있다<sup>19)</sup>.

## 5. 결 론

열산화공정에 의해 형성된 산화막 위에 텅스텐 핵이 형성되는 현상을 관찰하여 선택도에 영향을 미치는 변수들을 밝혀내었다. 반응온도가 높고 운반기체의 유량이 적으며 증착시간이 길수록 산화막 위에 핵이 많이 생성되어 선택도가 떨어짐을 알 수 있었다. 또한 반응기내의 압력이 높을수록 핵의 생성속도는 빨랐다. 반응기체가 흘러지나가는 아랫쪽에 위치한 면에서 핵이 많이 생성되었으며 이는 반응부산물인 핵의 생성에 큰 영향을 미침을 나타낸다. 산화막 위에 증착된 텅스텐 박막은 그 표면이 실리콘 위에 증착된 경우보다 더욱 거칠은 것으로 나타났으며 텅스텐 박막의 화학적 조성은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

## 후 기

본 연구는 1990년도 전자통신연구소 초고집적 반도체 기술 공동개발사업의 지원을 받아 수행되었음.

## 참고문헌

- 이시우, 김원규, 전자공학회지, 15(4), 455 (1988).
- C.M. McConica and K. Krishnamani, J. Electrochem. Soc., 133(2), 2542(1986).
- R.S. Rolser, J. Mendonca, and M.J. Rice, Jr., J. Vac. Sci. Technol., B6(6), 1721 (1988).
- R.A Levy and M.L. Green, J. Electrochem. Soc., 37C-49C(1987).
- M.L. Green and R.A Levy, J. Electrochem. Soc., 132(5), 1234(1985)
- K. Suguro, Y. Nakasaki, S. Shima, T. Yoshii, T. Moriya, and H. Tang, J. Appl. Phys., 62(4), 1265(1987).
- R.A. Levy, M.L. Green, P.K. Gallagher, and Y.S. Ali, J. Electrochem. Soc., 133(9), 1905(1986).
- Ph. Lami and Y. Pauleau, J. Electrochem. Soc., 135(4), 980(1988).
- J.O. Carlsson and M. Boman, J. Vac. Sci. Technol, A3(6), 2298(1985).
- W.T Stacy, E.K. Broadbent and M.H. Norcott, J. Electrochem. Soc., 132(2), 444 (1985).
- J.M. De Blasi, M. Delfino, D.K. Sadana, K. N. Ritz and M.H. Norcott, Appl. Phys. Lett., 51(8), 602(1987).
- M.L. Green, Y.S. Ali, T. Boone, B.A. Davidson, L.C. Feldman and S. Nakahara, J. Electrochem. Soc., 134(9), 2285(1987).
- 황성보, 최경근, 이시우, 전자공학회 논문지, 27(10), 1588(1990).
- Y. Nakamura, N. Kobayashi, H. Goto and Y. Homma, Ext. Abs. 1991 Int. Conf. Solid State Devices and Materials, 216(1991).
- J.R. Creighton, J. Vac. Sci. Technol., A7 (3), 621(1989).
- D.R. Bradburry and T.I. Kamins, J. Electrochem. Soc., 133(6), 1214(1986).
- C.M. McConica and K. Cooper, J. Electrochem. Soc., 135(4), 1003(1988).
- M. Wong, N. Kobayashi, R. Browning, P. Paine and K.C. Saraswat, J. Electrochem. Soc., 134(9), 2339(1987).
- 이청, 이시우, 이건홍, 전자공학회논문지, 인쇄중, 29-A(4), (1992).