

RF 반응성 스퍼터링으로 제조한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막의 특성

朴昱東\*, 琴東烈\*\*, 金基完\*, 崔圭萬\*\*\*

Characteristics of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Films by RF Reactive Sputtering

Wug Dong Park, Dong Yeal Keum, Ki Wan Kim, and Kyu Man Choi

## 요 약

RF 반응성 스퍼터링으로서 P형 실리콘웨이퍼위에 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막을 제조하였다. 시편의 구조 및 조성은 XRD와 AES로 조사하였다. 산소의 혼합비가 10%일 때 C-V 특성으로부터 구한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막의 비유전률은 10-12이었다. AES와 RBS로 측정된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막의 Ta:O의 비는 각각 1:2와 1:2.49로 나타났으며, 산소분위기에서 700°C의 열처리 온도에서 결정성장이 시작되었다. 산소분위기에서 1000°C로 열처리한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막의 비유전률값은 20.5였으며, 질소분위기에서 열처리한 경우의 비유전률값은 23으로 나타났다. 이 때 가역방전계(pseudo hexagonal δ-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)의 결정구조를 나타내었다. 시편의 ΔV<sub>FB</sub>와 누설전류밀도는 산소의 혼합비가 증가함에 따라 감소하였다. 그리고 최대절연과괴전장은 산소가 10% 혼합되었을 때 2.4 MV/cm로 나타났다. 이러한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막은 수소이온 감지막 및 기억용소자의 게이트 절연막 등에 응용될 수 있을 것이다.

## Abstract

Tantalum pentoxide(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) thin films on p-type (100) silicon wafer were fabricated by RF reactive sputtering. Physical properties and structure of the specimens were examined by XRD and AES. From the C-V analysis, the dielectric constant of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> films was in the range of 10-12 in the reactive gas atmosphere in which 10% of oxygen gas is mixed. The ratio of Ta:O was 1:2 and 1:2.49 by AES and RBS examination, respectively. The heat-treatment at 700°C in O<sub>2</sub> ambient led to induce crystallization. When the heat-treatment temperature was 1000°C, the dielectric constant was 20.5 in O<sub>2</sub> ambient and 23 in N<sub>2</sub> ambient, respectively. The crystal structure of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> film was pseudo hexagonal of δ-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. The flat band voltage shift(ΔV<sub>FB</sub>) of the specimens and the leakage current density were decreased for higher oxygen mixing ratio. The maximum breakdown field was 2.4MV/cm at the oxygen mixing ratio of 10%. The Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> films will be applicable to hydrogen ion sensitive film and gate oxide material for memory device.

## I. 서 론

최근에 반도체 집적회로기술의 급격한 발전으로

인하여 단위소자가 소형화, 경량화 및 고성능화되는 초고집적화 시대를 맞이하게 되었다. 따라서 기억용소자의 게이트 절연막 및 커패시터의 유전박막의 두께는 얇아지게 되고, α 입자의 조사에 따른 오동작(soft error)이 증가하게 되었으며,<sup>[1]</sup> 상대적으로 이 절연막에 인가되는 전장은 증가하게 되었다.

한편 DRAM(Dynamic Random Access Memory) 및 SRAM(Static Random Access Memory)에는 커패시터의 절연막으로 실리콘산화막이 주로 사용되는데, 초고집적화에 따라서 유전층의 두께는 수십 Å으로 얇

\* 正會員 : 慶北大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronics, Kyungpook Nat'l Univ.)

\*\* 正會員 : 現代電子産業(株) 半導體研究所  
(Hyundai Electronics Industries Co., Ltd.  
Semiconductor Research & Development Lab.)

\*\*\* 正會員 : 關東大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronics, Kwandong Univ.)  
(접수일자 : 1992년 6월 20일)

아저야만 한다. 그러나 이는 공정상에 어려움이 많고,<sup>2</sup> 실리콘산화막이 100Å이하가 될 경우에 누설전류가 증가한다. 그리고 항복전압의 감소와 불순물 확산에 대한 장벽효과가 낮아진다. 이러한 실리콘산화막에 대한 신뢰성의 문제로 인하여 새로운 절연막이 필요하게 되었다.<sup>[3-5]</sup>

이들 물질로는  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  등이 있으며, 현재 4M bit DRAM에는  $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ 의 적층구조가 사용되고 있고,<sup>[6]</sup> 한편 16M bit 또는 64M bit DRAM의 경우  $\text{SiO}_2$ 나  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 의 적층구조로는 초고 집적 기억용소자에서 필요로 하는 커패시턴스값을 만족시키지 못한다. 그래서 유전상수가  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ( $\epsilon_r=7.0$ ),  $\text{SiO}_2$  ( $\epsilon_r=3.8$ ) 및  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\epsilon_r=8$ )보다 2-6배 정도 큰  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  ( $\epsilon_r=22-30$ )에 보다 큰 기대를 갖게 되었다.<sup>[7-12]</sup> 그러나 일반적으로 알려져 있는 바와 같이  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 막은 누설전류가 큰 것이 문제가 되고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 최적의  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 막을 제조하는 몇가지의 방법이 시도되고 있다.<sup>[13]</sup>  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 막의 제조방법으로는 전자선 가열 증착법, 양극산화법,<sup>[14]</sup> RF 반응성 스퍼터링법,<sup>[15]</sup> 열산화법<sup>[16-18]</sup> 및 CVD (chemical vapor deposition)법<sup>[19]</sup> 등이 있다.

본 실험에서는 비교적 정확한 화학양론적인 조성비를 갖는  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 막을 증착시키기 위해 RF 반응성 스퍼터링법을 사용하였으며, 이렇게 하여 증착된 막의 물리적 및 전기적인 특성을 조사하였다.

## II. 실험 및 측정

본 실험에서 사용한 기판은 결정방향이 (100), 그리고 비저항이  $13\sim 19\ \Omega\cdot\text{cm}$ 인 p형 실리콘 웨이퍼이다. 초기세척으로 아세톤속에서 10분간 초음파 세척을 시킨 뒤  $100^\circ\text{C}$ 의  $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2(4:1)$  용액에 10분간 담근 후,  $\text{H}_2\text{O}:\text{HF}(10:1)$  용액에 20초간 담귀서 자연산화막을 제거하였다. 다음에  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 막을 증착시키기 위하여 13.56MHz의 RF 스퍼터(Anelva SPF-210B)를 사용하였다. 그리고 반응기체로는 아르곤과 산소를 사용하였으며, 표 1과 같은 조건에 따라서 1000Å의 탄탈륨 산화막을 증착하였다.

표 1.  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 막의 증착조건

Table 1. Deposition conditions of  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  films

제 조 변 수	범 위
RF 출 력	40~100W
$\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$	0~30%
기 판 온 도	0~300°C
분 위 기 압	40~100mTorr
열 처 리 온 도	600~1200°C

표 1의 조건에 따라 증착된 막의 두께와 굴절률은 각각 Alpha-step 100(Tencor Co.)과 ellipsometer(Gaertner L116B)를 이용하여 측정하였다. 그리고 증착된 막의 열처리온도에 따른 결정구조의 변화는 XRD를 이용하였으며,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 막의 조성비를 알기 위하여 AES, ESCA 및 RBS 분석을 하였다. 그리고 전기적 특성을 조사하기 위하여 그림 1과 같이 MTOS(Metal-Tantalum-Oxide-Silicon)커패시터를 제작하였다. 이 커패시터의 C-V특성측정은 1MHz C meter/C-V plotter (HP-4280)와 LCR meter를 사용하였으며, I-V특성측정은 electrometer(Keithley 617)를 사용하였다.

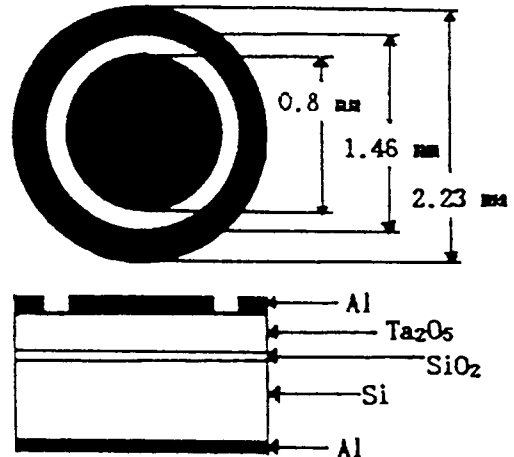


그림 1. MTOS 커패시터의 구조

Fig. 1. Structure of MTOS capacitor.

### III. 결과 및 고찰

그림 2는 시편 제작시 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)의 %비에 따른 증착률 및 굴절률을 나타낸 것이다. 아르곤 가스에 산소의 혼합량을 증가시킴에 따라서 증착률은 거의 일정하게 나타났으나 굴절률은 산소가 10% 이상인 경우 포화되는 경향을 나타내었다. 이는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막이 증착되면서 산소가 혼합되어 굴절률이 증가하는 것으로 생각된다.

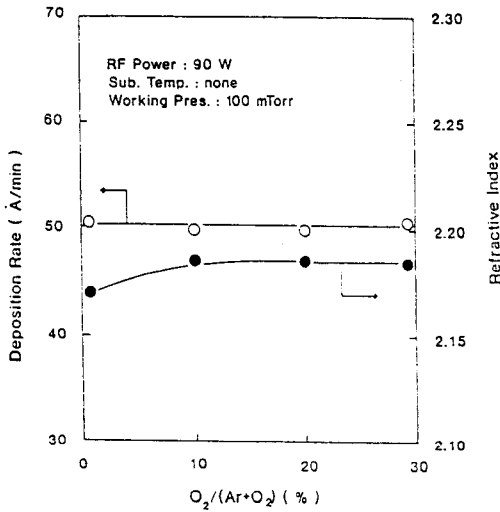


그림 2. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)의 %비에 따른 증착률 및 굴절률

Fig. 2. Deposition rate and refractive index for various ratios of O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>).

그림 3은 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)의 %비에 따른 비유전률값을 나타낸 것이다. 산소의 혼합비가 10%일 때 비유전률은 11.5로써 가장 큰 값을 나타내었다. 이것은 플라즈마 상태에서 증착되는 막은 산소가 혼합됨에 따라 화학양론적으로 안정화되며, 그 이상의 산소가 혼합되는 경우 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막과 실리콘사이의 계면에서 실리콘 산화막이 성장하게 되어 비유전률값이 감소하게 된다. 이 실리콘 산화막의 두께는 플라즈마에의 노출상태와 산소의 혼합비에 따라 변하게 되는데, 산소의 혼합비가 10%이고 노출 시간이 10분 정도이면 약 25Å가 된다.<sup>[20]</sup>

그림 4는 산소가 혼합되지 않았을 때와 10% 첨가되었을 때 시편의 AES 깊이방향분석을 나타낸 것이다. 산소가 혼합되지 않았을 경우에는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막 표면의 산소가 외확산(out-diffusion)되어 산소결핍현상을 나타내는데 비하여 산소가 혼합되면서 이러한 현상이

사라졌음을 알 수 있다. 그리고 산소가 혼합된 경우 Ta : O의 비율은 1 : 2정도를 나타내었다. 이 값은 기대치와 크게 다르지 않은 것이다.

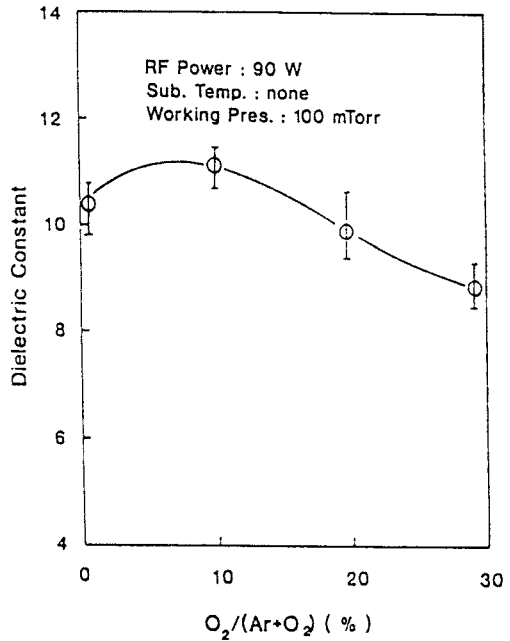


그림 3. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)의 %비에 따른 비유전률  
Fig. 3. Dielectric constant for various ratios of O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>).

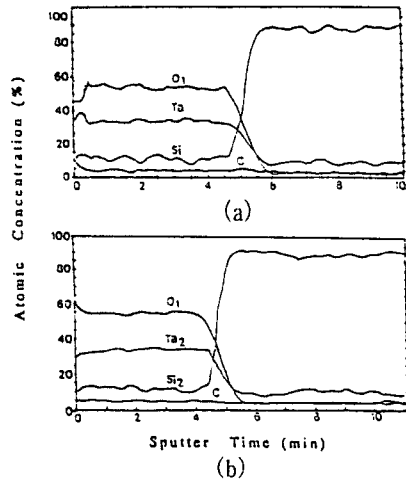


그림 4. (a) 산소가 혼합되지 않았을 때 AES 깊이 방향분석  
(b) 산소가 10% 혼합되었을 때 AES 깊이 방향분석

Fig. 4. (a) AES depth profiles at oxygen mixing ratio of 0%.  
(b) AES depth profiles at oxygen mixing ratio of 10%.

그림 5는 열처리온도에 따른 XRD 패턴을 나타낸 것이다. 열처리온도가 700°C가 되었을 때 2θ값이 27.78° 근방에서 (100) 결정면의 피크가 생기기 시작했고 열처리온도가 증가함에 따라서 2θ값이 23.09° 근방에서 (001) 결정면의 피크와 37.16° 근방의 (101) 결정면의 피크가 나타났다. 이것은 열처리온도가 700°C에서 비정질로부터 다결정상태로 결정이 성장되기 시작하며, 온도가 증가함에 따라 δ-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 pseudo hexagonal의 결정구조가 됨을 알 수 있다.

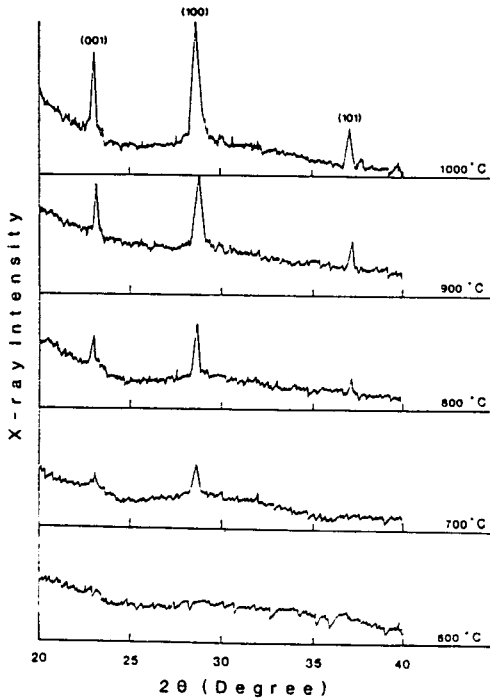


그림 5. 열처리온도에 따른 XRD 패턴  
Fig. 5. XRD patterns for various annealing temperatures.

그림 6은 열처리온도에 따른 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막의 비유전률값을 나타낸 것이다. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막의 열처리온도가 증가함에 따라 비유전률값이 증가하였다. 열처리온도가 1000°C였을 때 질소분위기에서 열처리한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막의 비유전률값은 23이었으며, 산소분위기에서 열처리한 경우는 20.5정도의 비유전률값을 나타내었다. 계속해서 열처리온도를 증가시키면 그 값이 감소하는 경향을 나타냈는데 산소분위기에서 열처리를 한 경우가 더 빨리 감소하였다. 이는 1000°C 이하에서는 결정이 성장되면서 비유전률값이 증가하였으나, 1000°C 이상에서는

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막과 실리콘사이의 계면에서 실리콘 산화막이 많이 성장했고 산소분위기에서는 이것이 더욱 빠르게 성장함에 따라 비유전률값이 감소하는 것으로 생각된다.

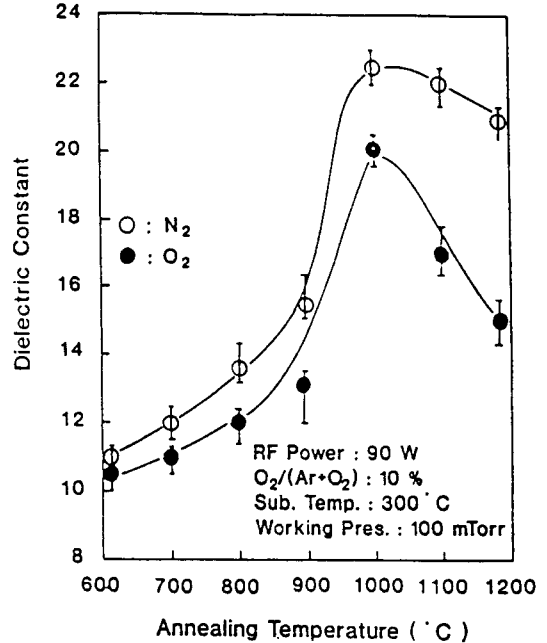


그림 6. 열처리온도에 따른 비유전률  
Fig. 6. Dielectric constant for various annealing temperatures.

그림 7은 화학적 조성비를 조사하기 위해서 측정된 RBS 분석도이다. 이 때 산소의 혼합비는 10%였으며, 열처리온도는 600°C였다. 여기서 점선은 이론치이고, 실선은 측정치이다. 측정된 RBS 스펙트럼은 이론치와

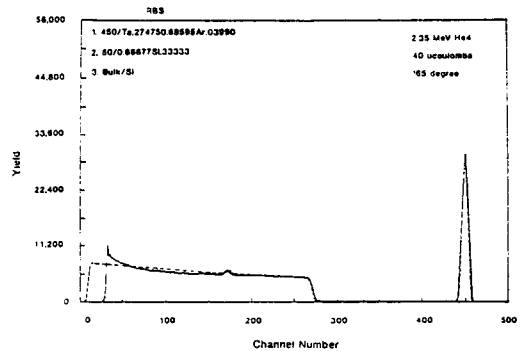


그림 7. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막으로부터 2.35MeV He4에 대한 RBS 스펙트럼  
Fig. 7. RBS spectrum of 2.35MeV He4 from Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> film.

거의 일치하였으며 Ta : O의 비가 1 : 2.49로 나타났다. 이는 AES 깊이방향분석의 결과인 그 비가 1 : 2인 것과 비교된다.

그림 8은 시편 제조시의 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)의 %비에 따른 C-V특성을 나타낸 것이다. 제조된 시편에 -5V에서 +5V로 게이트전압을 변화시키면서 C-V측정을 한 결과, 산소가 혼합된 경우 C-V특성에서의 이력특성이 개선되었다.

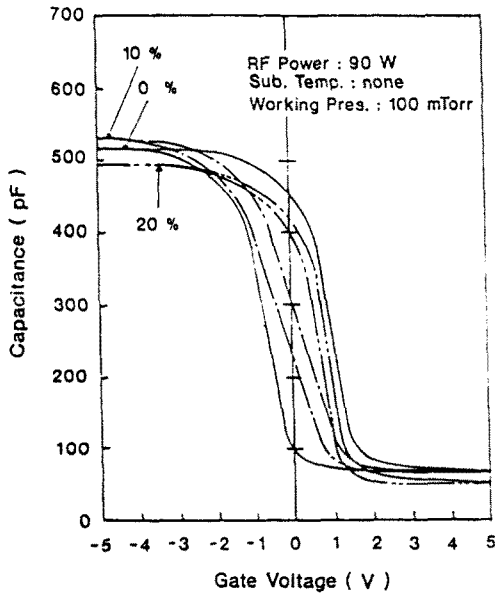


그림 8. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)의 %비에 따른 C-V특성  
Fig. 8. C-V characteristics for various ratios of O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>).

그림 9는 산소분위기에서 열처리했을 때 그 열처리온도에 따른 C-V특성을 나타낸 것이다. 열처리온도가 증가함에 따라 증착된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막의 구조가 비정질에서 다결정으로 성장함으로써 C<sub>max</sub>값은 증가하고 ΔV<sub>FB</sub>는 양의 값으로 이동하였다.

그림 10은 시편 제조시 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)의 %비에 따른 시편의 I-V특성을 나타낸 것이다. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막을 증착함에 있어 산소가 혼합됨에 따라 누설전류밀도는 상당히 감소되는 경향을 나타내었다. 이는 산소의 혼합량이 증가함에 따라 증착된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막의 화학양론적인 조성비가 개선되었고, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막과 실리콘사이의 계면에 실리콘산화막이 생성되어 누설전류를 상당히 감소시킨 것으로 추측된다.

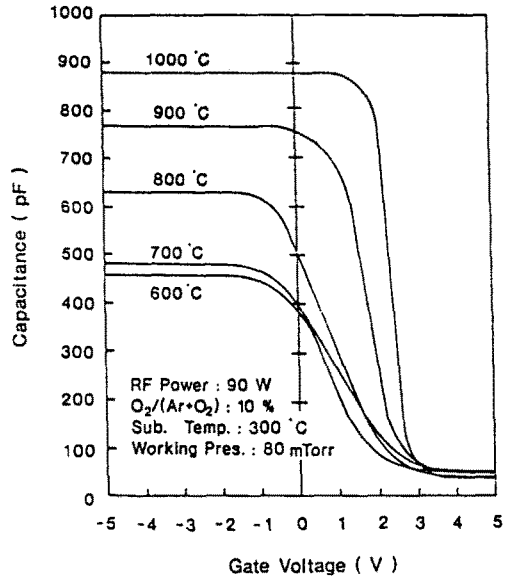


그림 9. 산소분위기에서 열처리온도에 따른 C-V특성  
Fig. 9. C-V characteristics for various annealing temperatures in oxygen ambient.

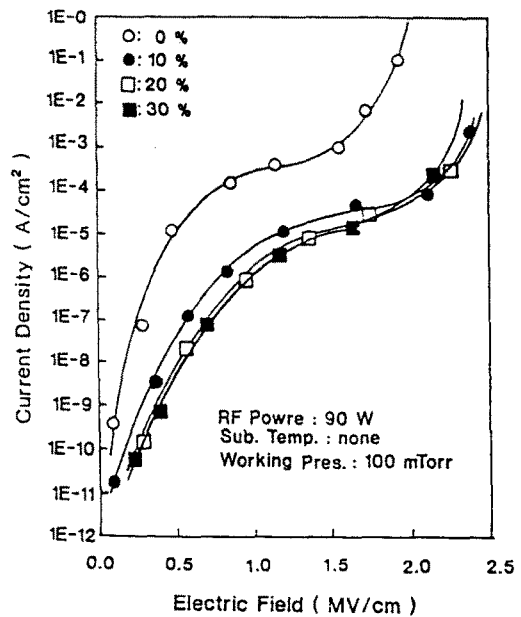


그림 10. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)의 %비에 따른 I-V특성  
Fig. 10. I-V characteristics for various ratios of O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>).

그림 11은  $O_2/(Ar+O_2)$ 의 %비에 대한 Fowler-Nordheim 전도특성을 나타낸 것이다. 제조한  $Ta_2O_5$ 막은  $\text{Log}(J/E^2)$ 과  $1/E$  관계의 선형적인 특성으로부터 F-N 전도특성을 따르고 있음을 알 수 있다. 그리고 산소의 혼합량이 증가할수록 이 선형성의 기울기가 커지는 것으로 보아 전도장벽의 높이가 증가한다는 것을 알 수 있다.

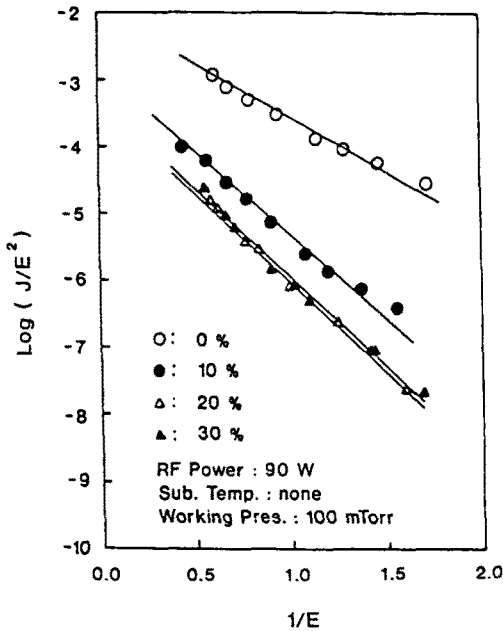


그림 11.  $O_2/(Ar+O_2)$ 의 %비에 따른 Fowler-Nordheim 전도특성  
 Fig. 11. Conduction characteristics of Fowler-Nordheim for various ratios of  $O_2/(Ar+O_2)$ .

그림 12는 산소분위기에서 열처리할 때 열처리 온도를 달리한 경우의 I-V특성을 나타낸 것이다. 열처리 온도가 증가함에 따라 탄탈륨산화막의 누설전류 밀도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 열처리 온도가 증가함에 따라  $Ta_2O_5$ 막이 비정질에서 다결정으로 결정성장이 진행됐기 때문이라고 생각된다.

그림 13은 산소분위기에서 열처리한 경우 그 열처리 온도에 따른 Fowler-Nordheim 전도특성을 나타낸 것이다. 산소분위기에서 열처리 온도가 변화함에 따라 F-N 전도특성을 만족하고 그 직선의 기울기가 일정한 것으로 보아 전도장벽의 높이가 거의 변화하지 않았음을 알 수 있다.

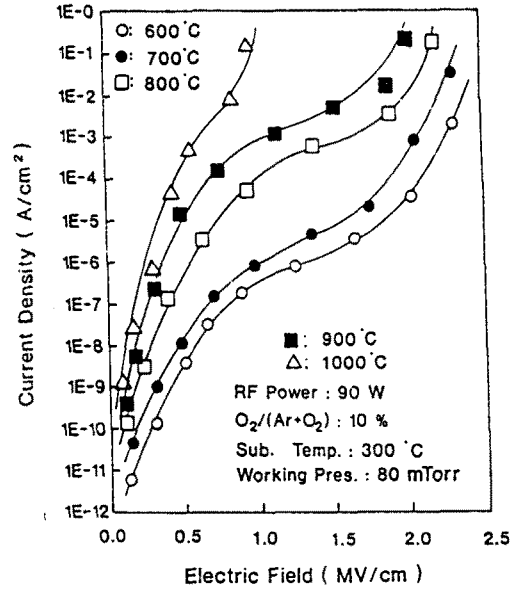


그림 12. 산소분위기에서 열처리 온도에 따른 I-V특성  
 Fig. 12. I-V characteristics for various annealing temperatures in oxygen ambient.

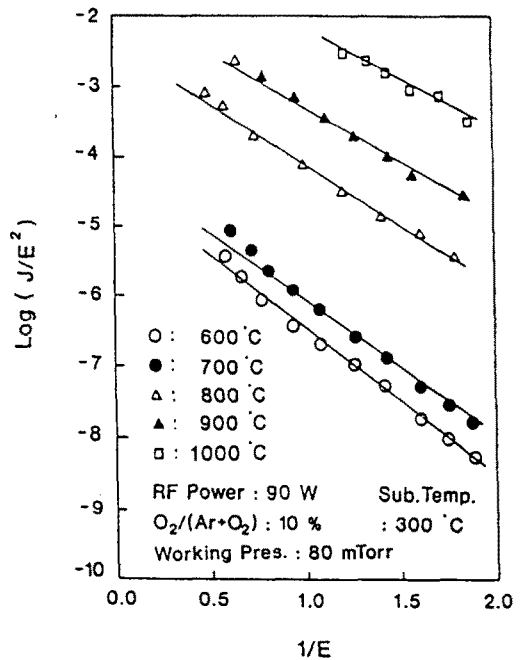


그림 13. 산소분위기에서 열처리 온도에 따른 Fowler-Nordheim 전도특성  
 Fig. 13. Conduction characteristics of Fowler-Nordheim for various annealing temperatures in oxygen ambient.

그림 14는 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)의 %비를 달리한 경우의 절연 파괴전장을 나타낸 것이다. 산소의 혼합량이 증가함에 따라 절연 파괴전장은 증가하다가, 혼합비가 10%가 되었을 때 절연 파괴전장은 2.4MV/cm으로 가장 큰 값을 가졌다. 그 이상의 산소가 혼합되었을 경우에는 그 값이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 그림 3과 그림 11의 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)의 %비에 대한 비유전률 값과 전도장벽의 변화와 일치한다.

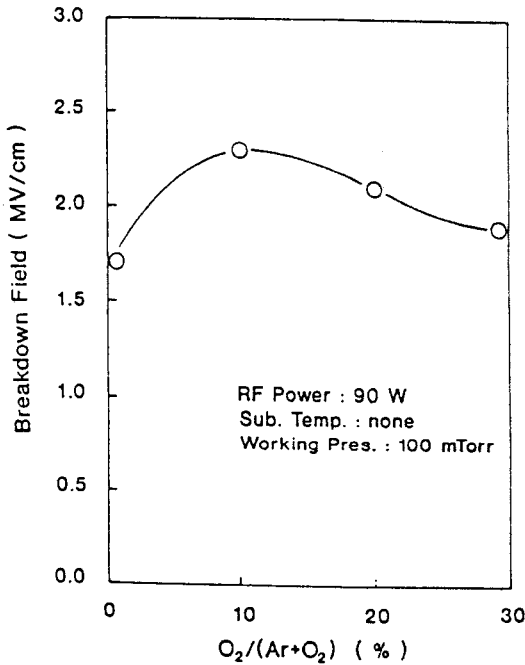


그림 14. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)의 %비에 따른 절연 파괴전장  
Fig. 14. Breakdown field for various ratios of O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>).

그림 15는 열처리온도에 따른 절연 파괴전장을 나타낸 것이다. 열처리온도가 증가함에 따라 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막의 결정화현상이 발생해서 절연 파괴전장이 감소하게 되었고, 800°C 이상에서는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막과 실리콘사이의 계면에서 실리콘산화막이 성장하게 됨으로써 절연 파괴전장은 다시 증가하는 경향을 나타내었다.

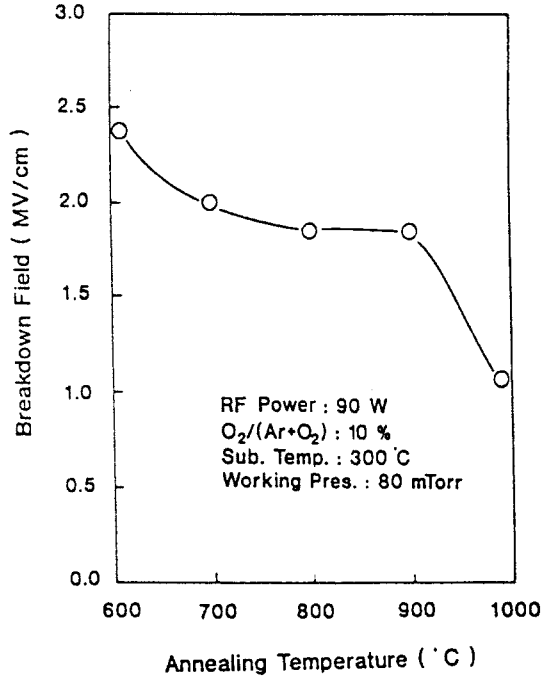


그림 15. 열처리온도에 따른 절연 파괴전장  
Fig. 15. Breakdown field for various annealing temperatures.

#### IV. 결 론

RF 반응성 스퍼터링으로 p형 실리콘 기판위에 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막을 증착하였다. 이 때 산소가 10% 혼합된 경우 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>막의 비유전률값은 11정도를 나타내었다. 그리고 AES와 RBS로 화학적 조성비를 조사한 결과 Ta : O가 각각 1 : 2와 1 : 2.49로 나타났다. 열처리온도를 증가시켰을 때 700°C에서 결정성장이 시작되었고, 1000°C가 되었을 경우에는 pseudo hexagonal δ-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 결정구조를 나타내었다. 본 실험에서 얻어진 최대 비유전률값은 RF 출력, O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>), 기판온도 및 분위기압이 각각 90W, 10%, 300°C 및 80mTorr일 때, 또 1000°C에서 열처리한 경우 산소분위기에서는 20.5, 질소분위기에서는 23으로 가장 크게 나타났다. 그리고 제조된 막의 계면을 RBS로 조사한 결과 산소분위기로 열처리한 경우에는 실리콘산화막이 성장을 하는 반면 질소분위기에서는 그 막이 성장하지 않았다.

반응용 기체로 10%의 산소가 혼합된 아르곤 가스를 사용했을 경우 C-V특성에서의 이력특성이 상당히 개선되었다. 열처리온도가 증가함에 따라 C<sub>max</sub>값은 증

가했고,  $\Delta V_{FB}$ 는 감소하는 경향을 나타내었다. 그리고  $Ta_2O_5$ 막을 증착함에 있어 산소를 첨가함에 따라 누설전류밀도는 인가된 전장이 1MV/cm일 때  $5 \times 10^{-4}$  A/cm<sup>2</sup>에서  $5 \times 10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup>으로 상당히 감소되었고 절연 파괴전장은 증가하였으며, 그 첨가비가 10%인 경우 2.4MV/cm으로 가장 큰 값을 가졌다.

RF 반응성 스퍼터링에 의해서 증착된  $Ta_2O_5$ 막은 누설전류가 많은 것이 문제가 되고 있으나, 이를 이상과 같이 개선시킴으로써 메모리소자의 게이트 절연막과 커패시터의 유전막으로 사용할 수 있고, 수소이온감지막 및 고유전률을 요구하는 소자 등에 응용될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] T.C. May and M.H. Woods, "Alpha-particle-induced soft errors in dynamic memories," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. 1, pp. 2-9, Jan. 1979.
- [2] W.A. Tiller, "On the kinetics of the thermal oxidation of silicon," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 127, no. 3, pp. 619-624, Mar. 1980.
- [3] C. Hu, *IEDM. Tech. Dig.*, p. 368, 1985.
- [4] S. Asai, *IEDM Tech. Dig.*, p. 6, 1984.
- [5] C. Hu, *ibid.*, p. 368, 1984.
- [6] T. Watanabe, A. Menjoh, T. Mochizuki, S. Shinozuki, and O. Ogawa, in 23rd Annual Proc. *Reliability Phys. Conf.*, p. 18, 1985.
- [7] G. Oehrlein, F.D. Heurle, and A. Reisman, *J. Appl. Phys.*, vol. 55, p. 3715, 1984.
- [8] G. Oehrlein and A. Reisman, *J. Appl. Phys.*, vol. 54, p. 6502, 1983.
- [9] S. Seki, T. Unagami and O. Kogure, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 132, p. 3054, 1985.
- [10] S. Seki, T. Unagami, O. Kogure, and B. Tsujiyama, *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 5, p. 1771, 1987.
- [11] S. Bannerjee, B. Shen, I. Chen, J. Bohlman, G. Brown, and R. Doering, *J. Appl. Phys.*, vol. 65, p. 1140, 1989.
- [12] M. Saitoh, T. Mori, and H. Tamuta, In *IEDM 86 Tech. Dig.*, p. 680, 1986.
- [13] G.S. Oehrinen, "Capacitor-Voltage Properties of Thin  $Ta_2O_5$  Film on Silicon," *Thin Solid Films*, 156, pp. 207-229, 1988.
- [14] 西岡泰城. 神力, "高誘電率絶縁膜  $Ta_2O_5$ 의 VLSI への應用," *應用物理* 第25卷, 第11號, pp. 1622-1628, 1989.
- [15] Yasuhiro Nishioka, Hiroshi Shinriki, and Kii-chiro Mukai, "Influence of  $SiO_2$  at the  $Ta_2O_5/SiO_2$  interface on dielectric characteristics of  $Ta_2O_5$  capacitor," *J. Appl. Phys.*, 61, 1988.
- [16] G.S. Oehrlien, "Capacitor-Voltage Properties of Thin  $Ta_2O_5$  Films on Silicon," *Thin Solid Films*, 156, pp. 207-229, 1988.
- [17] David J. Smith and Lanrence Young, "Optical and Electrical Properties of Thermal Tantalum Oxide Films on Silicon," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. ED-28, no. 1, pp. 22-27, 1981.
- [18] C.A. Steidel and D. Gerstenberg, "Thermal Oxidation of Sputtered Tantalum," *Thin Films* between 100 and 525, *J. Appl. Phys.*, vol. 40, no. 9, pp. 3828-3835, 1969.
- [19] K. Lehovec, "Rapid Evaporation of C-V Plots for MOS structure," *Solid State Electronics*, vol. 11, pp. 135-137, 1968.
- [20] Y. Nishioka, "Dielectric Characteristics of Double Layer Structure of Extremely Thin  $Ta_2O_5/SiO_2$  on Silicon," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 134, no. 2, p. 441, 1987.



## 著者紹介



朴 昱 東

1963년 1월 8일생. 1986년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1988년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1988년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야: 박막기술 및 비정질 실리콘 이미지 센서 등임.



琴 東 烈

1965년 5월 1일생. 1990년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년 2월~현재 현대전자반도체 연구소 근무중. 주관심분야: 절연막 및 반도체소자 등임.

金 基 完 : 논문 92-01, p.5 참조.

崔 圭 萬 : 논문 92-01, p.5 참조.