

연속 공정으로 형성된 탄탈륨 산화막 및 실리콘 질화막의 이중유전막에 관한 연구

(A study on the double-layered dielectric films of tantalum oxide and silicon nitride formed by in situ process)

宋 溶 鎮*, 朴 柱 昱*, 朱 承 基**

(Yong Jin Song, Joo Wook Park, and Seung Ki Joo)

要約

탄탈륨 산화물의 전기적 특성을 개선하기 위해 실리콘 기판을 질소 플라즈마로 처리하여 50Å 정도의 실리콘 질화막을 형성한 후 곧이어 같은 용기에서 반응성 스퍼터링에 의해 탄탈륨 산화막을 형성하였다. 이렇게 하여 얻은 이중구조의 절연막은 두께 180Å인 경우 파괴전장이 2.9 MV/cm, 누설전류밀도는 9×10^{-8} A/cm² 를 나타냈다. 900°C 에서 산소 분위기로 100 분간 열처리 하면 파괴전장은 4.8 MV/cm, 누설전류밀도는 1.6×10^{-9} A/cm² 로 전기적 특성이 크게 향상되었다. 산소 플라즈마의 후처리에 의해 역시 전기적 특성을 향상시킬 수 있음을 알게 되었으며 높은 전장하에서의 전도기구는 Schottky emission 에 의한 것이 밝혀졌다.

Abstract

In an attempt to improve the electrical characteristics of tantalum pentoxide dielectric film, silicon substrate was reacted with a nitrogen plasma to form a silicon nitride of 50 Å and then tantalum pentoxide thin films were formed by reactive sputtering in the same chamber. Breakdown field and leakage current density were measured to be 2.9 MV/cm and 9×10^{-8} A/cm² respectively in these films whose thickness was about 180 Å. With annealing at 900°C in oxygen ambient for 100 minutes, breakdown field and leakage current density were improved to be 4.8 MV/cm and 1.6×10^{-9} A/cm² respectively. It turned out that the electrical characteristics could also be improved by oxygen plasma post-treatment and the conduction mechanism at high electric field proved to be Schottky emission in these double-layered films.

*準會員, **正會員, 서울대학교 金屬工學科
(Dept. of Metallurgical Eng., Seoul Nat'l Univ.)

接受日字: 1992年 9月 14日

1. 서론

DRAM 의 단위 기억 소자는 트랜지스터와 정보 저장 축전기로 이루어져 있으며 이 정보 저장 축전기의 축전량은 α 입자 조사에 따른 오동작을 막기 위해

여 소자당 최소한 약 30 fF을 만족시켜야 한다.¹ 그러나 최근 DRAM의 집적도가 증가하여 축전기의 면적이 감소함에 따라 필요로 하는 축전량을 만족시키기 어렵게 되었다. 이를 보상하기 위하여 유전체의 두께를 감소시키거나, 도량 구조¹¹나 적층 구조¹²로써 유효면적을 넓히려는 노력들이 행하여져 왔으나 물리적인 한계에 도달하거나 공정상의 많은 어려움이 있는 실정이다.¹³ 탄탈륨 산화막은 유전상수가 약 25로서 기존의 실리콘 산화막보다 6배 이상 유전상수가 큰 물질이어서 새로운 DRAM용 유전체로 각광을 받는 물질이다. 그러나 이러한 높은 유전상수에도 불구하고 높은 누설전류와 낮은 파괴전장¹⁴ 때문에 실용화하지 못하고 있다. 이와 같은 문제점을 개선할 목적으로 실리콘 산화막이나 실리콘 질화막과 같은 전기적 특성이 우수한 물질과의 다층 막의 형성에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.^{15,16}

본 연구에서는 실리콘 질화막과 탄탈륨 산화막의 이중구조를 형성함에 있어 외부로부터의 오염을 최소화하기 위해 in situ 공정으로 두 절연막을 연속하여 한 반응기 내에서 형성하였다. 이렇게 얻은 이중 절연막의 전기적 특성에 관해 비교, 분석하였으며 산소 플라즈마 후처리와 열처리 등이 파괴전장 및 누설전류에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 또한 누설전류의 전도 기구 규명에 관한 연구도 아울러 행하였다.

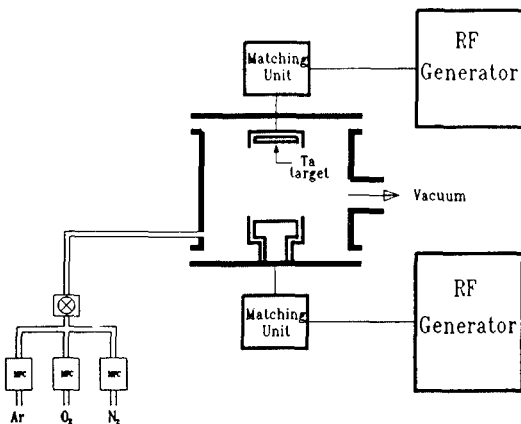


그림 1. 실험 장비 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

II. 실험 방법

시편은 비저항이 5~10 Ω·cm인 p형 (100) 실리콘 웨이퍼를 사용하였으며, 물은 불산으로 자연 산

화막을 제거한 뒤 스퍼터(sputter)에 장입하였다. 스퍼터의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 초기 진공은 3×10⁻⁶ Torr 이하로 하였으며, 질소 플라즈마에 의해 실리콘 질화막을 형성하였다. 실리콘 질화막의 형성 공정은 이미 참고 문헌에 발표된 바 있다.^{10,11} 이후 스퍼터 내를 다시 진공으로 만들고 아르곤과 산소의 비가 10:1인 분위기를 유지한 후 순도 99.9%의 금속 탄탈륨 타겟을 반응성 스퍼터링하여 탄탈륨 산화막을 형성하였다. 형성된 유전 막막의 두께는 Ellipsometer를 사용하여 측정하였다.

산소 플라즈마 후처리¹⁷는 탄탈륨 산화막을 형성한 후 산소 분위기에서 30W, 10분간 행하였으며 열처리는 분위기 조절로에서 산소 분위기에서 900℃와 400℃에서 각각 100분간 행하였다.

전기적인 특성을 분석하기 위해 알루미늄을 열기화 증착 방법으로 약 1μm 형성하였으며, 이후 알루미늄과 탄탈륨 산화막의 접촉을 좋게 하기 위하여 430℃ 질소 분위기 하에서 30분간 열처리를 하였다. 전극은 사진 식각방법으로 무늬를 형성하고 선택적으로 에칭하여 120μm×120μm의 크기로 만들었다.(그림 2) 열처리 도중에 실리콘 웨이퍼 뒷면에 생긴 산화막은 불산으로 제거하였다.

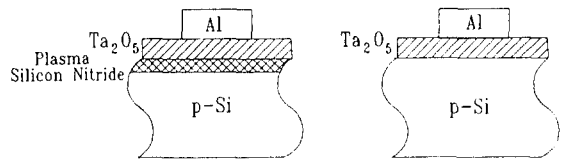


그림 2. 제조된 축전기의 단면구조
Fig. 2. Cross sectional structure of fabricated capacitor.

이중 유전 막막의 파괴전장 특성과 누설전류 특성은 HP 4140B picoammeter를 16 bit PC에 연결시켜 측정하였다. 인가 전압에 따른 축전량의 변화는 HP 4280 C-V plotter를 사용하여 측정하였다. 모든 측정은 어둠 상자 안에서 행하였으며, 파괴전장은 단위 면적당 누설전류가 1μA/cm²일 때의 인가전압으로, 누설전류밀도는 인가전압이 1 MV/cm일 때의 전류로 정의하였다

III. 연구 결과 및 고찰

이미 발표된 문헌에 의하면^{10,11,13} 질소 플라즈마로 실리콘 질화막을 형성하는 경우 약 50Å 정도까지 질화막이 자라고 이후는 소위 자기제한(self-stop)반응

에 의해 그 이상 자라지 않는다고 보고되었다. 본 실험에서도 탄탈륨 산화막과 실리콘 질화막의 이중구조를 형성하면 전체 두께가 약 180Å 이며 같은 조건에서 탄탈륨 산화막만을 형성하는 경우 약 130Å으로 측정되어 앞서의 논문과 일치하였다.

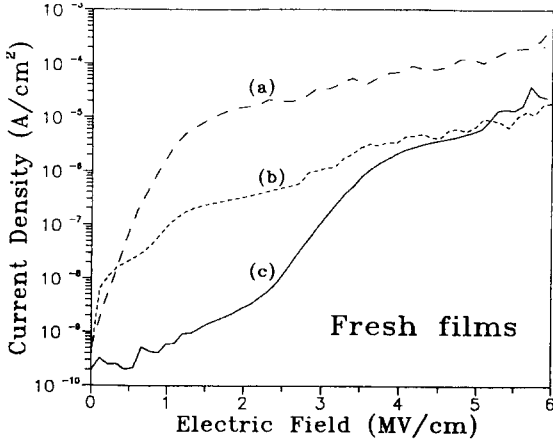


그림 3. 제조된 축전기의 전류-전압 곡선 (열처리를 하지 않은 시편)
 (a) 탄탈륨 산화막
 (b) 탄탈륨 산화막/플라즈마 실리콘 질화막
 (c) 탄탈륨 산화막/플라즈마 실리콘 질화막 (산소 플라즈마 후처리)
 Fig. 3. I-V curves of fabricated capacitors. (fresh film)
 (a) tantalum oxide,
 (b) tantalum oxide / plasma silicon nitride,
 (c) tantalum oxide / plasma silicon nitride (oxygen post treatment).

탄탈륨 산화막, 실리콘 질화막과 탄탈륨 산화막의 이중막, 그리고 이중막을 형성한 뒤 산소 플라즈마에 의해 후처리를 행한 시편의 인가전압 변화에 따른 누설전류 특성을 그림 3에 나타내었다. 탄탈륨 산화막 단일막의 경우는 파괴전장이 약 1 MV/cm 를 나타내었으며 플라즈마 실리콘 질화막과의 다층막은 약 2.9 MV/cm, 산소 플라즈마 후처리까지 행하였을 때는 약 3.5 MV/cm 의 파괴전장을 얻을 수 있었다. 이중막 형성후 산소 플라즈마 후처리를 행한 경우 누설전류밀도가 약 6×10^{-10} A/cm²로서 탄탈륨 산화막 단일막의 경우의 $\sim 10^{-6}$ A/cm² 보다 현격히 감소하였다. 이는 탄탈륨 산화막의 전기적 특성이 실리콘 질화막과의 이중막 형성으로 인해 개선된 것을 의미하며, 산소 플라즈마 처리로 성질이 개선된 것은 오존을 자외선 방사 처리를 하여 누설전류를 감소시

킨 것과 같이^{[14][15]} 산소 이온을 플라즈마 상태의 활성화된 이온으로 공급하여 탄탈륨 산화막에 존재하는 부분적 결함을 개선시킨 것으로 생각된다.

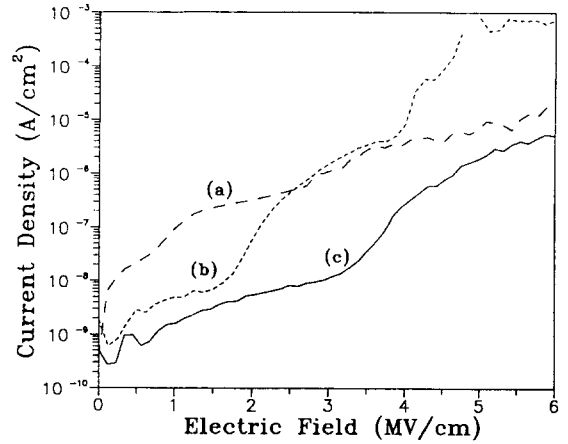


그림 4. 산소 분위기에서 100분간 열처리한 탄탈륨 산화막/플라즈마 실리콘 질화막의 열처리 온도에 따른 전류-전압 곡선
 (a) 열처리를 하지 않은 시편
 (b) 400 °C
 (c) 900 °C
 Fig. 4. Annealing temperature dependence of tantalum oxide / plasma silicon nitride annealed in oxygen ambient for 100 minutes.
 (a) fresh film,
 (b) 400 °C,
 (c) 900 °C.

탄탈륨 산화막과 실리콘 질화막의 이중막을 형성한 경우 열처리 온도에 따른 전류-전압 특성을 그림 4에 나타내었다. 이때 열처리를 행하지 않은 경우 파괴전장 특성이 2.9 MV/cm 이던 것을 900°C 산소 분위기 열처리한 후에는 약 4.8 MV/cm 로 향상시킬 수 있었다. 누설전류밀도는 열처리를 행하지 않은 시편의 경우 $\sim 10^{-6}$ A/cm² 이었으나 900°C 산소 분위기 열처리 한 후에 약 1.6×10^{-9} A/cm² 로 개선되었다. 플라즈마 실리콘 질화막과 탄탈륨 산화막과의 이중막이 약 180Å 정도의 막이어서 고온에서 열처리한 경우에도 결정화되지 않고^[16] 산소 분위기에서의 열처리에 의해 탄탈륨 산화막이 치밀해져서^[17] 전기적 특성이 향상된 것으로 생각되며 플라즈마 실리콘 질화막 자체도 산소 분위기하에서 열처리한 경우 그 파괴전장 특성이 개선되는^[13] 이유 때문인 것으로 생각된다.

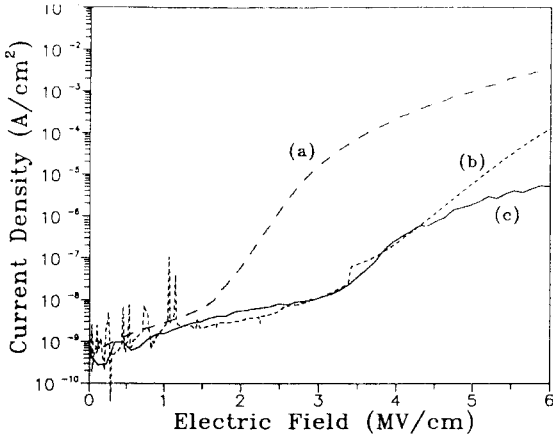


그림 5. 탄탈륨 산화막/플라즈마 실리콘 질화막과 탄탈륨 산화막/실리콘 질화막(저압 화학 기상 증착)의 전류-전압 특성 비교
 (a) 탄탈륨 산화막(400 Å) / Si₃N₄(200 Å)
 (b) 탄탈륨 산화막(400 Å) / Si₃N₄(400 Å)
 (c) 탄탈륨 산화막(130 Å) / 플라즈마 실리콘 질화막(50 Å)

Fig. 5. Comparison of I-V characteristics of tantalum oxide / plasma silicon nitride and tantalum oxide / Si₃N₄ (LPCVD).

- (a) tantalum oxide(400 Å) / Si₃N₄(200 Å).
- (b) tantalum oxide(400 Å) / Si₃N₄(400 Å).
- (c) tantalum oxide(130 Å) / plasma silicon nitride(50 Å).

표 1. 각 시편의 유전상수와 단위 면적당 축전량
 Table 1. Dielectric constant and capacitance per unit area of various specimen.

시편 사양	열처리	축전량(fF/μm ²)	유전 상수
탄탈륨 산화막 / 플라즈마 실리콘 질화막	Fresh	3.4	6.8
	400°C O ₂	3.9	7.1
	900°C O ₂	3.2	6.4
탄탈륨 산화막 / 플라즈마 실리콘 질화막 (산소 플라즈마 후처리)	Fresh	9.6	19.7
	400°C O ₂	8.2	16.8
	900°C O ₂	4.5	9.6

In situ 로 형성한 이중막의 누설전류 특성을 저압 화학 증기 증착(LPCVD)으로 각각 200 Å과 400 Å의 실리콘 질화막을 형성한 뒤 400 Å의 탄탈륨 산화

막을 반응성 스퍼터링으로 형성한 이중막¹⁹⁾과 비교하였다. (그림 5) In situ로 형성한 이중막은 400 Å의 LPCVD 실리콘 질화막과 400 Å의 탄탈륨 산화막과의 이중막을 형성한 경우와 거의 비슷한 누설전류 특성을 나타내었으며 200 Å의 LPCVD 실리콘 질화막과 400 Å의 탄탈륨 산화막과의 이중막의 경우보다는 월등히 향상된 전기적 특성을 보이고 있다. In situ로 형성한 경우는 축전량이 3.2 fF/μm²으로 실리콘 질화막(400 Å)/탄탈륨 산화막(400 Å)의 경우의 1.88 fF/μm²보다 큰 것으로 측정되었다.

표 1에 정리된 바와 같이 본 이중구조에서 산소 플라즈마 후처리를 하면 축전량이 크게 증가하는 것으로 나타났으며 열처리에 의해 축전량의 감소가 심하게 나타났다. 반면 산소 플라즈마 처리를 하지 않는 경우는 축전량이 열처리에 의해 크게 변하지 않았다.

탄탈륨 산화막 단일막의 축전량으로부터 구한 유전상수는 약 10으로 나타났는데 탄탈륨 산화막의 두께가 얇아짐에 따라 덩어리(bulk)일 때와는 다르게 그 유전상수값이 감소되는 것은 이미 발표된 바 있다.¹⁴⁾^{18,19,20)} 플라즈마 실리콘 질화막과 in situ로 형성한 탄탈륨 산화막이 이와 같은 유전상수를 갖고 있다고 가정하고 두개의 탄탈륨 산화막 축전기(두께 130 Å)와 플라즈마 질화막 축전기(50 Å)가 직렬로 연결된 것으로 생각하여 플라즈마 실리콘 질화막의 유전상수를 구하면 유전상수 값이 3~4가 된다. 이 값은 ECR 플라즈마로 형성된 실리콘 질화막의 유전상수와 일치하는 값이다.¹³⁾

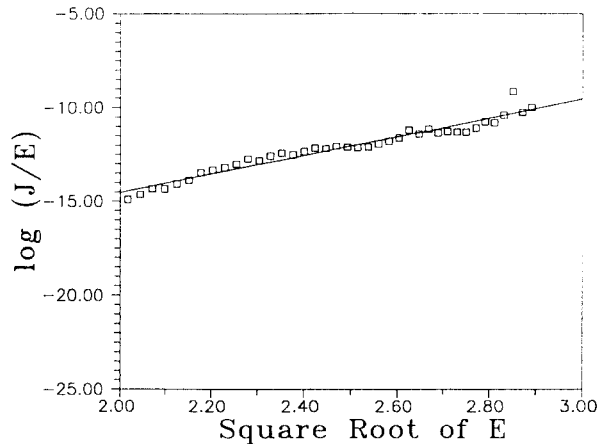


그림 6. 900°C 산소 분위기에서 열처리된 탄탈륨 산화막/플라즈마 실리콘 질화막의 Poole-Frenkel 특성 곡선

Fig. 6. Poole-Frenkel plot of tantalum oxide / plasma silicon nitride heat treated 900°C in oxygen ambient for 100 min.

높은 전장에서의 누설전류 전도 기구를 알아보기 위하여 900℃ 산소 분위기에서 열처리를 행한 이중막의 인가전압에 따른 누설전류밀도 곡선에서 4 MV/cm 이상에 해당하는 부분에 대하여 각각 Fowler-Nordheim tunneling 기구,^[21] Poole-Frenkel 전도 기구,^[22] Schottky emission 기구^[23]에 대한 분석을 해 보았다. Poole-Frenkel 전도 기구와 Schottky emission 기구는 식 (1)과 (2)로 주어진다.^[19]

Poole-Frenkel :

$$J=C_1E\exp [-nq\{\phi_B-(qE/\pi \epsilon\epsilon_0)^{1/2}\}/kT] \quad (1)$$

C_1 : 상수 E : 전장 ϕ_B : 장벽 높이
 n : 절연막 내의 보상 트랩수
 ϵ_0 : 동적 유전상수

Schottky emission :

$$J=(4\pi qmk^2T^2/h^3)\exp[-nq\{\phi_B-(qE/4\pi \epsilon\epsilon_0)^{1/2}\}/kT]$$

h : Planck 상수 E : 전장
 ϕ_B : 장벽 높이
 n : 절연막 내의 보상 트랩수
 ϵ_0 : 동적 유전상수

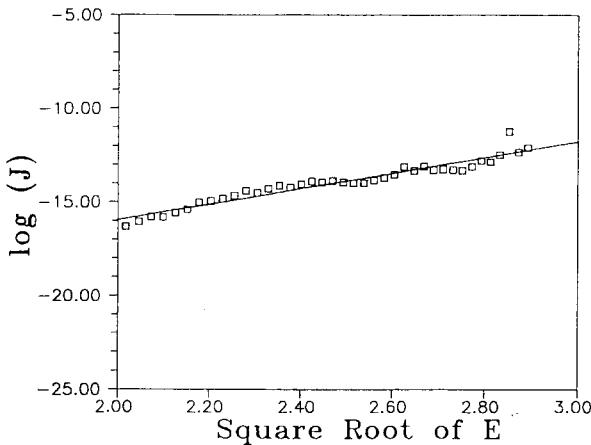


그림 7. 900℃ 산소 분위기에서 열처리된 탄탈륨 산화막/플라즈마실리콘 질화막의 Schottky 특성 곡선

Fig. 7. Schottky plot of tantalum oxide / plasma silicon nitride heat treated 900°C in oxygen ambient for 100 min.

실험으로 얻은 자료를 각각 $\log(J/E)$ 와 $(E)^{1/2}$, $\log(J)$ 와 $(E)^{1/2}$ 에 대한 그래프를 그린 결과 그림 6 과 그림 7처럼 Poole-Frenkel 과 Schottky

emission 모두 직선을 나타내는 것을 알 수 있었다. 실험으로부터 얻은 굴절률로부터 기울기를 계산하면 Poole-Frenkel 의 경우는 약 28.1 이며 Schottky emission 의 경우는 약 7.0 이다. 이 때 보상 트랩 수 n 값은 Poole-Frenkel 의 경우 2로 하였으며 Schottky emission 의 경우는 1로 하였다.^[19] Poole-Frenkel 전도기구 직선으로부터 얻은 기울기는 계산값과 많은 차이를 보이는데 비해 Schottky emission 그림으로부터 얻은 기울기는 약 5인 것으로 보아 Schottky emission 에 더 가까운 것으로 생각되나 기울기만으로는 이 두 가지 전도 기구를 정확히 구분할 수 없으므로^[19,24] 전극에 대한 의존성을 알아본 결과 그림 8과 같이 나타났다. 높은 전장에서 바이어스에 따른 누설전류의 특성이 나타나는 것으로 보아 Schottky emission 전도 기구를 따르는 것으로 생각된다.

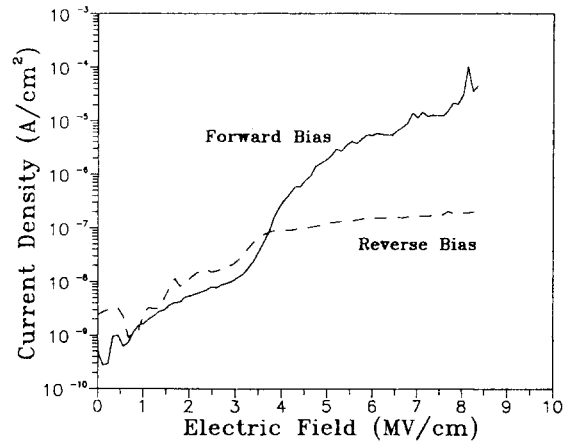


그림 8. 900℃ 산소 분위기에서 열처리된 탄탈륨 산화막/플라즈마 실리콘 질화막의 전극 의존성

Fig. 8. Bias dependence of tantalum oxide / plasma silicon nitride heat treated 900°C in oxygen ambient for 100 min.

IV. 결론

1. In situ 공정으로 형성한 50Å의 실리콘 질화막과 130Å의 탄탈륨 산화막의 이중구조의 파괴전장은 2.9 MV/cm, 누설전류는 $\sim 10^{-8}$ A/cm² 였다.
2. 이중막을 산소 플라즈마 후처리하면 파괴전장은 3.5 MV/cm, 누설전류밀도는 6×10^{-10} A/cm²로 개선되었으며 이중막을 900℃ 산소 분위기에서 열처리를 행한 후 파괴전장은 4.8 MV/cm 로 향상되었으며, 누설전류밀도는 1.6×10^{-9} A/cm²로 감

소하였다.

3. In situ 로 형성한 이중막의 경우 LPCVD 실리콘 질화막 및 반응성 스퍼터링에 의한 탄탈륨 산화막의 이중구조보다 전기적 특성이 우수하였다.
4. 900°C 산소 분위기에서 열처리를 행한 이중막의 높은 전장에서의 누설전류는 Schottky emission 전도기구를 따르는 것으로 밝혀졌다.

감사의 글

본 연구는 RETCAM을 통한 과학 재단의 연구비 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

參考文獻

- [1] T. C. May and M. H. Woods, "Alpha-particle-induced soft errors in dynamic memories." *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-26, no. 1, pp. 2-9, Jan. 1979.
- [2] S. Asai, "Trends in megabit DRAMs." *IEDM Tech. Dig.*, pp. 6-12, 1984.
- [3] H. Shichiro, "Trench transistor DRAM cell." *IEEE Electron Device Lett.*, vol. EDL-7, no. 2, Feb. 1986.
- [4] W. A. Tiller, "On the kinetics of the thermal oxidation of silicon." *J. Electrochem. Soc.*, vol. 127, no. 3, pp. 619-624, Mar. 1980.
- [5] C. Hu, "Thin oxide reliability." *IEDM Tech. Dig.*, pp. 368-371, 1985.
- [6] S. Kimura, Y. Nishioka, A. Shintani, and K. Mukai, "Leakage current increase in amorphous Ta₂O₅ due to pin hole growth during annealing below 600°C." *J. Electrochem. Soc.*, vol. 130, no. 12, pp. 2414-2418, Dec. 1983.
- [7] H. Shinriki, Y. Nishioka, Y. Ohji, and K. Mukai "Oxidized Ta₂O₅/Si₃N₄ dielectric films on poly-crystalline Si for dRAM's." *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 36, no. 2, pp. 328-332, Feb. 1989.
- [8] Y. Nishioka, S. Kimura, H. Shinriki, and K. Mukai, "Dielectric characteristics of double layer structure of extremely thin Ta₂O₅/SiO₂ on Si." *J. Electrochem.*

Soc., vol. 134, no. 2, pp. 410-415, Feb. 1987.

- [9] 박주욱, 주승기, "탄탈륨 산화물 다층 유전 박막의 전기적 특성에 관한 연구." 대한 전자공학회 논문지, 제 28권, A 편 제 3호, 1991.
- [10] 이병일, 주승기, "상온 플라즈마 질화막을 이용한 새로운 부분 산화 공정의 물성 및 전기적 특성에 관한 연구." 대한 전자공학회 논문지, 제 26권, 제 4호, 1989.
- [11] 주현성, 주승기 "플라즈마 실리콘 질화막의 전기적 특성에 관한 연구." 금속 표면학회지, 제 22권, 제 4호, 1989.
- [12] 이병일, "고집적 반도체 소자용 탄탈륨 산화물의 박막 형성에 관한 연구." 박사학위 논문, 서울 대학교, 1990.
- [13] 구본영, 전유찬, 주승기, "ECR 플라즈마에 의해 형성된 실리콘 질화막의 전기적 특성." 대한 전자공학회 논문지, 제 29권, A 편, 제 10호, 1992.
- [14] C. Isobe and M. Saitoh, "Effect of ozone annealing on the dielectric properties of tantalum oxide thin films grown by chemical vapor deposition." *Appl. Phys. Lett.*, vol. 56, no. 10, pp. 907-909, Mar. 1990.
- [15] H. Shinriki and M. Nakata, "UV-O₃ and Dry O₂ : Two-step annealed chemical vapor-deposited Ta₂O₅ films for storage dielectrics of 64-Mb DRAM's." *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 38, no. 3, pp. 455-462, Mar. 1991.
- [16] Y. Nishioka, N. Homma, H. Shinriki, K. Mukai, K. Yamakichi, A. Uchida, K. Higeta, and K. Oguie "Ultra-thin Ta₂O₅ dielectric film for high speed bipolar memories." *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-34, no. 9, pp. 1957-1962, Sep. 1987.
- [17] T. Kato and T. Ito, "Interfacial oxidation of silicon substrates through Ta₂O₅ films." *J. Electrochem. Soc.*, vol. 135, no. 10, pp. 2586-2590, Oct. 1988.
- [18] S. Zamia, T. Fruta, and Y. Yasuda, "Preparation and properties of Ta₂O₅ films by LPCVD for ULSI application." *J. Electrochem. Soc.*, vol. 137, no. 4, pp. 1297-1300, Apr. 1990.

- [19] S. Banerjee, B. Shen, I. Chen, J. Bohlman, G. Brown, and R. Doering, "Conduction mechanism in sputtered Ta₂O₅ on Si with an interfacial SiO₂ layer." *J. Appl. Phys.*, vol. 65, no. 3, pp. 1140-1146, Feb. 1989.
- [20] C. Hashimoto, H. Okikawa, and N. Honma, "Leakage-current reduction in thin Ta₂O₅ high-density VLSI memories." *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 36, no. 1, pp. 14-18, Jan. 1989.
- [21] M. Lenzlinger and E. H. Snow, "Fowler-Nordheim tunneling into thermally grown SiO₂," *J. Appl. Phys.*, vol. 40, no. 1, pp. 278-283, Jan. 1969.
- [22] C. A. Mead, "Electron transport mechanism thin insulating films," *J. Appl. Phys.*, vol. 128, no. 5, pp. 2088-2093, Dec. 1962.
- [23] W. Schottky, "Über kalte und warme elektroneneentladungen." *Z. Physik*, vol. 14, pp. 63-106, 1923.
- [24] P. L. Young, "dc electrical conduction in thin Ta₂O₅ films. I. Bulk-limited conduction," *J. Appl. Phys.*, vol. 47, no. 1, pp. 235-241, Jan. 1976.

 著者紹介

宋 溶 鎮(準會員)

1969年 4月 5日生. 1991年 서울대학교 금속공학과 졸업. 현재 서울대학교 금속공학과 석사 과정 재학중. 주관심 분야는 thin dielectric, 다층구조의 자성 박막의 개발등임.

朴 柱 昱(準會員) 第 28卷 A編 第 3號 參照.

현재 서울대학교 금속공학과 재학 중.

朱 承 基(正會員) 第 28卷 A編 第 3號 參照.

현재 서울대학교 금속공학과 교수.