

Ta₂O₅의 유전 특성과 열 안정성에 관한 연구

김인성*, 송재성*, 이동윤*, 김도한*, 김현식**
 한국전기연구원, 전자기소자연구그룹* (주)메트론**

The study on dielectric and thermal property of Ta₂O₅ Thin-films

I.S. Kim, J.S. Song, D.Y. Lee, D.H. Kim, H.S. Kim**
 K E R I, Mattron Ltd.

Abstract - The tantalum oxide(Ta₂O₅) is an important material for present thin-film capacitor application owing to its high dielectric constant and thermal stability. We report dielectric property of Si(p type)/Pt/Ta₂O₅/Ag based MIM structure obtained by RF sputtering and annealed in vacuum environment. We have measured and researched the characteristics of C-F, C-V and EPMA. And we describe parameter dependence on sputtered condition and annealed temperature with dielectric property.

터링(up-sputtering)형태이다. Ta₂O₅ 박막 제조 조건을 표 2-1에 나타내었다.

표 2-1 Ta₂O₅ 박막의 제조 조건

Parameter	Condition
Vacuum	Less than 4×10 ⁻⁴ torr
Substrate	Si-wafer (100)
Target	4" Ø Ta
RF power	150~200 W
Ar Pressure	5 mtorr
S-T distance	50 mm(고정)
Temperature	R. T.
Ar Gas flow	10 sccm
O ₂ Gas ratio	5~20 %

1. 서 론

지금까지 많이 사용되어온 silicon oxide(SiO₂), silicon nitride(Si₃N₄)와 SiO₂/Si₃N₄의 DRAM 응용이 물리적 한계에 도달하게 되었으며, 두께와 device의 신뢰성 문제가 심각해졌다. Capacitor의 면적을 늘리는 방법으로는 DRAM cell 구조를 형성하는 transistor와 capacitor를 3차원 공간상에 배치하면 평면구조에 비해 capacitor 소자의 면적과 간격을 넓게 확보할 수 있다. DRAM에서는 capacitor 구조를 trench 혹은 stacked 구조 형태로 사용되고 있으며 예전의 구조보다 더 복잡한 구조가 요구되고 있다. 그러나 새로운 구조를 갖는 cell의 생산은 실제 양산에서 엄청난 제조 시설의 투자와 함께 재현성, 신뢰성, 제조 단가 등의 상당히 복잡한 문제가 많이 산재해 있다.

Capacitor에서 정전용량을 늘리는 또하나의 방법은 고유전율의 유전체 박막을 사용하는 것을 의미하며 cell 구조 및 공정을 최대한 단순화시키면서 성능을 증대시킬 수 있어 이 분야에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 일반적으로 사용되고 있는 유전체의 비유전율은 SiO₂는 4, Si₃N₄ 7, TiO₂, 30~40, ZrO₂ 20~22, Ta₂O₅ 25~28 등으로 나타나있다. 특히 Ta₂O₅는 충분한 정전용량, 적은 누설전류, 높은 절연파괴 강도 값을 갖고 있어서 필요에 따른 유전체 박막재료로 많은 관심을 갖고 있다.

본 연구에서는 메모리 소자용으로 관심이 큰 Ta₂O₅를 RF 스퍼터링 방법으로 MIM 구조의 capacitor 박막 시료를 만들었으며 이때 반응성 가스(O₂)의 분압비 변화 5~20 %와 결정화 온도 부근인 550~700°C 열처리를 하였으며, 정전용량과 주파수 의존성 변화와 C-V 특성을 측정하였고 시료제조조건에 따른 분석을 통해 제조 조건과 물성 관계를 조사하였다.

2. 실험

2.1 시료 제조

유전체 박막을 제조하기 위하여 고주파 스퍼터링 장치를 이용하였으며, 방전전극의 구조는 평판 마그네트론(RF planar magnetron)을 사용한 반응성 스퍼터링 방법으로 Ta₂O₅ 유전체 박막을 제조하였다. 타겟은 하부에 위치하고 상부에는 시료 기판을 설치한 상향 스퍼

터링에 의한 영향을 알아보기 위해, 열증착 방법으로 제조하였으며, 크기는 2.2×10⁻³cm²이고 실험 조건상 전극의 크기를 달리하였으며, 스퍼터링 방법으로 증착한 전극 면적은 0.139cm²이다.

2.2. 분석 및 측정

HP4194A(HP, U.S.A.)를 이용하여 정전용량의 주파수 의존성과 정전용량의 전압의존성을 측정하였으며, 산소 분압비에 Ta₂O₅ 유전체의 반응성 가스와 박막내부의 산소량을 EPMA로 분석하였다.

3. 결 과

3-1. 정전용량의 주파수 의존성

열처리 온도에 따른 정전용량-주파수 의존성을 조사하여 그림 3-1에 나타내었다.

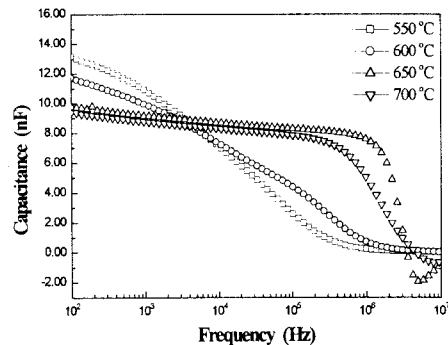


그림 3-1. 정전용량의 주파수 의존성

Ta₂O₅의 결정화 온도가 550℃에서 결정 핵이 생성되어 650℃에서 결정화되는 것으로 알려져 있다. 실험한 결과를 보면, 550℃와 600℃에서 열처리한 박막은 주파수가 증가할수록 정전용량이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 결정화가 진행됨에 따라, 고주파 영역에서의 정전용량이 증가함을 알 수 있다. 650℃와 700℃에서 열처리한 박막은 주파수의 변화에 따라 정전용량 값의 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 시료가 결정화됨에 따라, 정전용량의 주파수 의존성이 감소하는 것으로 알려진 결과와 일치한다. [1, 2]

3-2. 정전용량의 전압 의존성

정전용량의 전압 의존성은 소자의 특성을 평가할 수 있는 방법 중의 하나이다. 산소 분압 조건이 10%일 때, 온도 변화에 따른 정전용량의 전압 의존성을 조사한 결과 그림 3-2와 같이 나타났다.

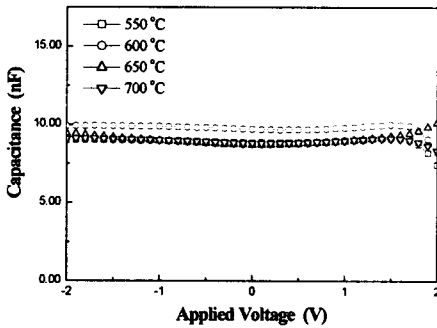


그림 3-2. 정전용량의 전압 의존성.

각 온도에서 열처리한 박막은 -2V ~ 1.6V에서 일정한 정전용량을 유지하였으며, 열처리 온도의 변화에 따른 정전용량의 변화량은 크지 않은 것으로 나타났다.

3-3. 정전용량과 전극 의존성

그림 3-3과 그림 3-4은 산소 분압 조건이 5~20% 까지 변화시켰을 때 Ta₂O₅ 박막의 유전 특성을 나타낸 것이다. 측정 주파수는 1 kHz부터 10 MHz 까지이다.

Ti/Cu 전극을 사용한 유전체 박막은 10 kHz 이후부터 주파수가 증가할수록 대체로 정전용량이 떨어지는 경향을 나타냈다. 이후 1MHz 부터는 완만한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 또한 Pt 전극을 사용한 경우 Ti/Cu와 크게 다르지 않았으나 박막 제조 후 650℃에서 열처리를 하였을 경우는 주파수에 따른 정전용량 특성이 비교적 안정하게 나타났다. 650℃ 부근은 Ta₂O₅ 박막의 결정화가 시작되는 온도로 알려져 있다. 즉 결정화가 진행되면서 주파수-정전용량 특성이 안정한 것으로 나타났다. 그림 3-5는 열처리전의 주파수 변화에 따른 정전용량이며 그림 3-4은 650℃에서 열처리한 후의 주파수-정전용량 특성을 나타내고 있다. 특히 산소가 가장 많이 들어간 산소 분압 조건 20%에서 제조된 유전체 박막은 주파수-정전용량 특성이 매우 안정하게 나타났다. 그러나 GHz 대역의 주파수 의존 특성은 다소 불안정한 것으로 나타났다.

3-4. 반응성 가스(O₂)의 함량 분석

그림 3-6과 3-7은 유전체 박막 제조시 반응성 가스의 분압 조건을 5~20%까지 변화 시키가면서 Ta₂O₅ 박막을 스퍼터링 방법으로 증착 후 EPMA로 탄탈륨과 산소의 상대량을 분석한 결과 산소의 유량이 5%일 경우 탄탈륨 박막의 산소 함량은 27 wt% 나타났으며, 산

소의 유량이 20%일 경우 32 wt%로 나타났다.

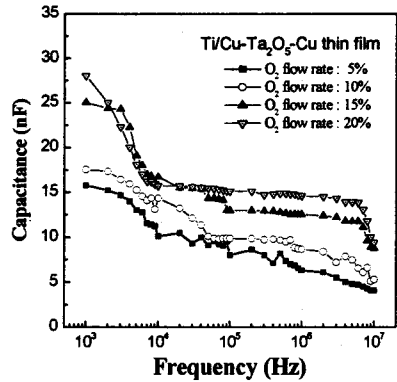


그림 3-3. 산소분압 조건에 따른 유전체 박막 시료 주파수-정전용량 특성 (하부전극 Ti/Cu)

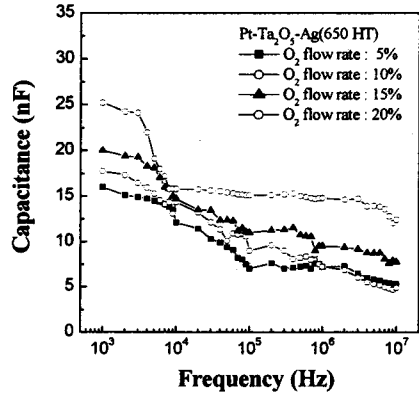


그림 3-4 650℃ 열처리 후 C-F (하부전극 Pt)

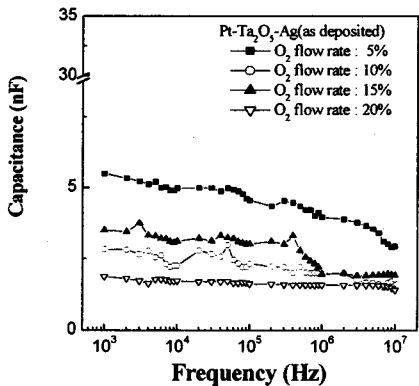


그림 3-5 As-deposited C-F 특성

탄탈륨이 산화될 경우 Ta₂O₅를 형성하며, 이를 경우 산소 함량은 약 20 wt%이지만, 본 연구에서는 산소 분압비에 무관하게 산소 함량이 20 wt% 이상이었다. 이는 Si 웨이퍼의 산화막인 SiO₂에 포함된 산소량 등이

EPMA 분석에 포함되었기 때문이라고 생각된다. 또한 산소 유량이 증가할수록 산소 함량이 27 wt%에서 32 wt%로 증가하였는데, 이는 산소 유량이 5 %일 경우 완전한 Ta₂O₅ 박막이 형성되지 않음을 알 수 있다.

[4] Schiller, U, Heisig, K, Steanefelder, and J. Strumpfel, Thin Solid films 63, 369, (1979)

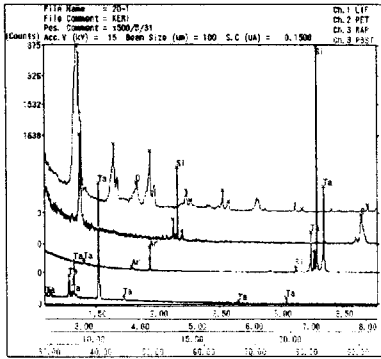


그림 3-6 O₂ 반응성 가스 20 %

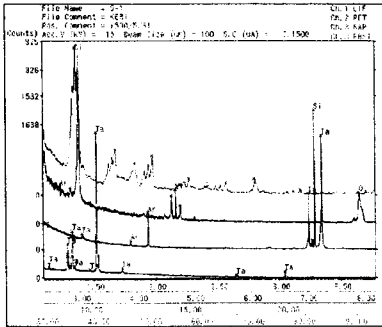


그림 3-7 O₂ 반응성 가스 5 %

4. 결 론

Ta₂O₅를 RF 스퍼터링 방법으로 MIM 구조의 capacitor 박막 시료를 만들었으며 이때 반응성 가스 (O₂)의 분압비 변화 5~20 %와 결정화 온도 부근인 550~700℃ 열처리를 하였으며, 정전용량과 주파수 의존성 변화와 C-V 특성을 측정하였고 제조 조건에 따른 분석을 통해 물성의 관계를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. Ta₂O₅ 유전체 박막은 결정화가 이루어지는 온도 650℃에서 정전용량이 증가하였다.
2. 주파수가 증가하면 정전용량은 감소하였으며, 열처리 온도가 증가 할 때에 주파수 의존성이 감소하였다.
3. -2 ~ +2 V 까지 C-V 특성의 변화 폭은 거의 없었으며, 열처리 온도에 따라서도 크게 의존하지 않았다.
4. 열처리를 할 경우 반응성 가스의 함량 보다 많은 량의 상대적인 산소가 많이 나타났다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. G. revesz, J. H. Reynolds, and J. F. Allison, J. Electrochem. Soc., 123.6 1983.
- [2] Lewis E. Hollander, and Patricia L. Castro, J. Appl. Phys., 33, 12(1962)34219저
- [3]. Kenichi Kobayashi and Hirishi Fujimagari, United states Patent No. 4, 734, 709, Mar. 29 (1988)