

Plasma를 이용한 구리배선용 저유전 물질의 etching에 대한 연구

이길한, 정도현, 최중선
홍익대학교 전기제어공학과

Low dielectric material etching technology for Cu interconnection

Kil-Hun Lee, Do-Hyun Jung, Jong-Sun Choi
Dept. of Electrical and Control Engineering, Hongik Univ.

Abstract - The application of low dielectric constant material instead of SiO₂ has been considered to reduce interconnection delay, crosstalk, power exhaustion. Methylsilsequioxane(MSSQ) have a dielectric constant less than k>3 which is lower than that for the convention SiO₂ insulator (k~4). The Propose of this study is to know etching rate of MSSQ. Experimentation in this paper use RIE(Reactive Ion Etching) and control flow rate of CF₄/O₂ gas, RF power.

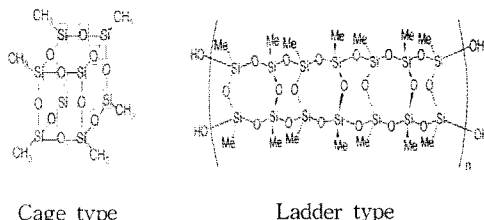


그림 1. 일반적인 MSSQ(Methylsilsequioxane)의 구조

2.1 실험방법

실험에 사용된 MSSQ 샘플로는 Techneglas 650F, Dow corning(DC)109C와 서울대에서 합성된 SMSSQ (R2=1.6)(R2 : mole of H₂O) / (mole of methyltrimethoxysilane)를 사용하였다. DC109C는 end group에 CH₃와 약간의 OH가 나타나며, SMSSQ는 메톡시(OMe)가 많은 것이 특징이다. 먼저 cleaning한 Si-wafer(p-type 100)위에 성막하기 위해 MSSQ용액을 3000rpm으로 30초간 spin coating 한 후 경화시키기 위해 30℃에서 180℃까지는 1시간동안 3℃ 증가 시켰고, 180℃에서 430℃까지는 4시간동안 3℃ 증가시키는 curing공정을 수행하였다. 성막과 경화단계를 거친 MSSQ는 원하는 패턴을 위해 photoresist(PR: AZ-1512)를 사용하여 photolithography (노광공정)을 수행하였다.(그림 2.)

1. 서 론

소자의 소형화에 의해 capacitance의 감소와 회로의 switching time 감소에 따라 고집적화가 가능해졌다. 하지만 배선 간격이 수십 마이크로 이하로 감소함에 따라 계속되는 소자의 집적화는 배선기술에 있어서도 선풍의 감소를 요구하고 있으며 이는 직접화에 따른 이득도 있으나 선풍감소에 따른 저항과 capacitance의 증가로 인한 RC time delay가 문제로 대두되고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 기존의 알루미늄보다 낮은 비저항을 갖는 구리배선과 층간절연막으로 널리쓰이는 SiO₂(~4.1)보다 낮은 유전상수를 갖는 저유전물질의 도입으로 문제를 해결하려는 연구가 진행중이다.

2. 본 론

최근 GB급 DRAM과 고속 logic chipset등의 발전은 반도체 미세가공기술을 성장시키고 있다. 이러한 고집적 회로의 발전은 소자의 크기를 줄임으로써 가능해졌다. 이에 본 논문에서는 유전율(k)이 약2.5이하이면서 저유전 물질중의 하나인 MSSQ(Methylsilsequioxane)를 이용하여 식각공정시 소자의 손상이 적고 선풍비가 높으며, 식각의 이방성을 향상시킬 수 있는 장점을 지닌 플라즈마를 이용한 건식식각(dry etching)장비인 반응 이온 식각(RIE : reactive ion etching)을 사용하였고, 반응가스로 사용되는 CF₄/O₂를 이용해서 Cu배선형성을 위한 식각공정을 수행하였다. 이 논문에서 사용할 MSSQ물질은 그림1.과 같은 구조를 보이고 있다. MSSQ를 합성시 기본 구조에 H와 H₂O를 첨가하게 되는데, H의 양에 따라 분자량(Mw : Molecular weight)의 변화가 나타난다. 여러가지 방법으로 합성되어 제품화된 MSSQ물질은 분자량(Mw)과 End group에 따라 성질이 달라지는데, 그 이유는 MSSQ가 가지는 End group에서 secondary bound를 하기 때문이다. 또한 유전율을 낮추기 위해서 열분해시켜 그 자리에 pore가 남는 nanopore structure를 형성 시킨다.

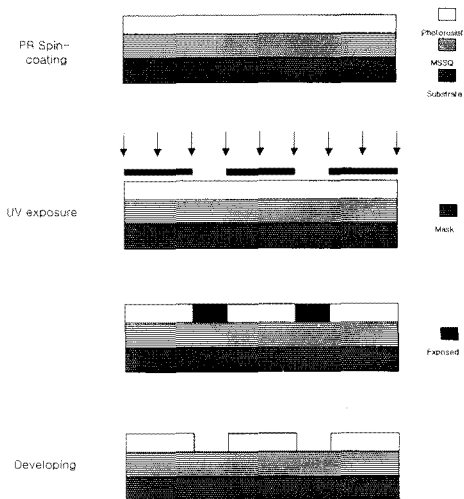


그림 2. photolithography 공정

하지만 실험시에 PR이 플라즈마에 손상을 입기 때문에 플라즈마 damage에 강한 metal mask를 사용하여 실험을 병행하였다.

2.2 식각공정

노광공정을 마친 시편을 식각하기 위해 Parallel-plate 형 반응성 이온 식각 장비인 R.I.E(Reactive Ion Etching: KVRIE-660)을 사용하였다. 그림3은 R.I.E의 기본 구조를 나타낸 것이다. 여기에 반응가스로는 CF_4/O_2 를 혼합하여 사용하였고, 최적화된 식각조건을 얻기위해 CF_4 에 대한 O_2 의 비율, pressure, RF power, total flow rate를 변화가 MSSQ에 어떤 영향을 미치는지 살펴보았다.

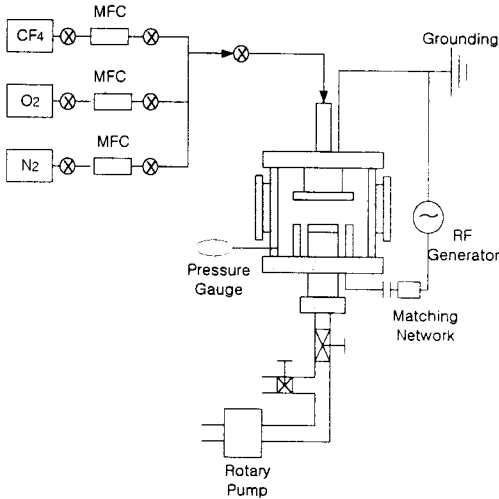


그림 3. R.I.E의 기본구조

먼저 이 실험의 목적인 최적화된 식각조건을 찾기 위해 여러 조건을 제시하였다. total gas flow rate는 20, 30, 40, 50 sccm으로 변화를 주었고, CF_4 에 대한 O_2 의 첨가 비율을 조절해 보았으며, RF power는 20, 40, 50W, 100W, 150W로 실험에 적용시켰다. 실험 후 식각된 두께를 알기 위해 α -step profilometer를 이용하여 측정하였다. 또한 식각전과 식각후의 MSSQ표면을 관찰하기 위해 광학 현미경을 이용했고, AFM를 사용하여 표면 morphology를 관찰하였다, 그리고 SEM을 사용해서 식각된 단면을 살펴 볼 수 있었다.

2.3 실험결과 및 분석

입력전압에 따른 식각특성을 살펴보았는데 RF power가 증가할수록 식각속도가 향상됨을 알수 있었다. 본 실험에서는 150W일 때 식각속도가 가장 높은 것으로 나타났다. 이 때 total flow rate와 CF_4/O_2 의 첨가비율을 조절함에 따라 식각 속도가 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 O_2 의 비율이 증가 할수록 식각 속도도 빨라졌지만 CF_4 의 비율에 근접할수록 식각 속도는 감소하는 현상이 일어났다. 이 논문에서 사용된 모든 MSSQ 시편 모두 각 조건을 여러 가지조절에 의해 실험해본 결과 최적화 된 조건일 때의 식각속도는 평균 6000Å/min이상이므로 모두 비슷한 수치를 보였다. 그리고 AFM으로 관찰한 결과 식각 후 MSSQ의 표면 morphology가 식각전

과 비교해 볼 때 향상된 것을 확인할수 있었다. 그림 3.1 (a)와 (b)는 MSSQ의 광학 현미경 평면 이미지를 보여 주고 있다.



(a)

(b)

그림 3.1 (a)650F와 (b)SMSSQ의 광학현미경 이미지

그림 3.2는 (a)와 (b)는 식각 후 패턴이 된 MSSQ를 광학현미경으로 평면이미지를 나타낸 것이다. 식각 후 패턴닝된 곳과의 확실한 차이를 볼수 있다.

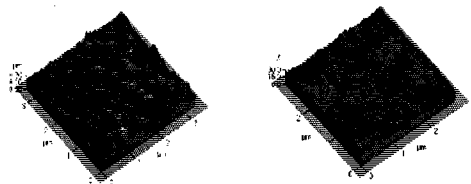


(a)

(b)

그림 3.2 (a)650F와 (b)SMSSQ의 식각후 패턴이미지

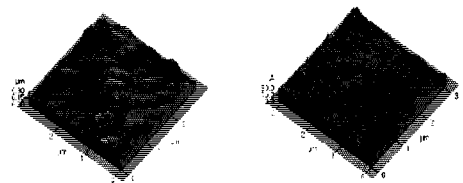
플라즈마로 식각 후 MSSQ의 표면 morphology를 확인하기 위해 AFM으로 관찰하였다. 그림 3.3과 그림3.4는 식각 전과 후의 표면 morphology 이미지이다.



(a)

(b)

그림3.3 650F (a)식각전 (b)식각후 표면 morphology



(a)

(b)

그림3.4 SMSSQ (a)식각전 (b)식각후 표면 morphology

그림 3.3과 그림 3.4의 AFM 이미지를 확인해본 결과 플라즈마에 의한 식각후 650F와 SMSSQ 모두 O₂의 조절에 의해 표면 morphology가 향상되었음을 알 수 있었다. 그리고 시각된 단면을 관찰하기 위해 SEM을 사용하여 그림 3.5에 이미지를 나타냈다.

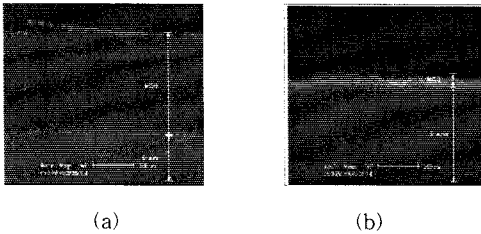


그림 3.5 (a)식각전 (b)식각후 MSSQ의 SEM 이미지

그림 3.5의 (a)와 (b)를 비교해보면 플라즈마 공정후 MSSQ가 확실히 식각된 것을 확인할 수 있다.

3. 결 론

실험에 의해 Low-k material인 MSSQ의 식각 반응을 알아보았다. 실험결과 RF 출력이 높아지면 식각률이 증가했는데, 이는 전자온도와 이온온도가 증가하기 때문에 식각면에 더 높은 에너지로 충돌하기 때문이다. 그리고 O₂의 비율을 조절함에 따라 식각률의 변화가 나타났다. 이는 CF₄의 F 라디칼이 O₂에 의해 희석됨에 따라 식각에 변화를 주었다고 생각된다. 또한 O₂의 비율에 따라 surface morphology가 향상됨을 알 수 있었다. 본 실험으로 MSSQ의 식각률은 최적화된 실험조건에서 650F에 비해 SMSSQ가 좀더 좋은 식각 반응을 나타내었고, 나머지 샘플에 대해 6000Å ~이상으로 모두 비슷한 결과를 나타내었다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부와 과학기술부에서 시행한 시스템 집적반도체 기술 개발사업 (System IC 2010)의 지원으로 수행되었음

[참 고 문 헌]

- [1] Ion Morey, Ashish Asthana "Etch Challenges of dielectric", solid state technology, june 1999
- [2] Rao V. Annapragada, Subhas Bothra "Low k inte issues for 0.18 μ m devices", Electrochemical Society Proc Volume 98-6
- [3] M. Engelhardt "Modern Applications of Plasma R and Patterning in Silicon Process technology", C Plasma Phys. 39(1999) 5, 473-478
- [4] Wei William Lee, Paul S. Ho "Low-dielectric co Material for ULSI Interlayer Dielectric Application" BULLENTIN, October 1997