CF_4와 O_2를 이용한 저유전율 물질인 Methylsilsequioxane의 RIE와 MERIE 공정

정도현*, 이용수*, 이길헌*, 김광훈**, 이희우**, 최종선*
*홍익대학교 전기제어공학과 **서강대학교 화학공학과

Reactive Ion Etching and Magnetically Enhanced Reactive Ion Etching Process of Low-K Methylsilsequioxane Insulator Film using CF_4 and O_2

Do-Hyun Jung*, Yong-Soo Lee*, Kil-Hun Lee*,
Kwang-Hun Kim**,Hee-Woo Lee**, Jong-Sun Choi*
*Dept. of Electrical and Control Eng., Hongik Univ.
**Dept. of Chemical Eng, Sogang Univ.

Abstract - Continuing improvement of microprocessor performance involves in the device size. This allow greater device speed, an increase in device packing density, and an increase in the number of functions that can reside on a single chip. However this has led to propagation delay, crosstalk noise, and power dissipation due to resistance-capacitance(RC) coupling become significant due to increased wiring capacitance, especially interline capacitance between the metal lines on the same metal level. So, MSSQ which has the permittivity between 2.5-3.2 is used to prevent from these problems. For pattering MSSQ(Methylsilsequioxane), we use RIE(Reactive Ion Etching) and MERIE(Magnetically enhanced Reactive Ion Etching) which could provide good anisotropic etching. In this study, we optimized the flow rate of CF_4/O_2 gas, RF power to obtain the best etching rate and roughness and also analyzed the etching result using α-step profilemeter, SEM, infrared spectrum and AFM.

1. 서 론

오늘날 반도체 미세가공기술이 크게 진보됨에 집적회로는 LSI(Large Scale Integration), VLSI(Very Large Scale Integration) 에서 ULSI (Ultra Large Scale Integration)로 나아가는 등 비약적인 발전을 거듭하여 고도정보화 사회의 견인적 역할을 하고 있으며, 놀라운 속도로 집적도를 향상시키고 있다. 현재의 이러한 집적회로에서는 단층만으로 배선하지 못하고 다층배선이 채용되고 있다. 일반적으로 고집적화는 소자 구조의 미세화를 통하여 이루어지므로 단위 면적 당 배선 밀도가 증가하지만, 소자의 치수가 축소되더라도 배선과 그 피치는 그만큼 미세화 되지 않기 때문에 다층배선기술은 미세화를 위한 필수기술이 되고 있다.

이와 같은 다층배선 기술의 과제로는 금속배선의 단선없는 형성, 배선간의 절연 등이 있다. 그러나 이러한 미세화로 인해 금속 배선의 저항과 금속 배선과 층간 유전물질에 의한 정전용량의 증가로 인한 시간 지연(RC time delay) 문제가 크게 대두되고 있다.[1] 이러한 문제점을 보안하기 위해 기존의 SiO_2(유전율 약 3.8)나 Si_3N_4(유전율 약 7) 대신에 유전율이 약 2.5-3.2 정도인 MSSQ (methylsilsequioxane)가 사용될 수 있다. 본 연구에서는 MSSQ의 형상화를 위한 CF_4와 O_2 chemistry를 이용한 RIE및 MERIE를 사용하였다.

2. MSSQ 성막 및 식각

MSSQ는 그림 1에서 나타난 것과 같이 각각의 Si 원자에 methyl기를 포함하고 있으며, 사다리 구조를 가지고 있다. 양쪽의 Si-OH는 전체적인 구조를 연결해주는 요소로서 baking이나 curing에 의해서 중합체를 형성한다. 그러나 Si-OH 결합은 약 400℃의 온도에서 열적으로 불안정한 상태를 이루며, 중합 상태가 끊어져 버리는 단점 또한 보여주고 있다.[3]

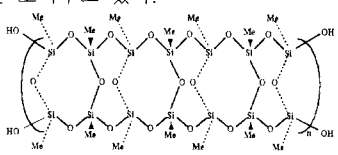


그림 1. MSSQ(Methylsilsequioxane)의 구조.

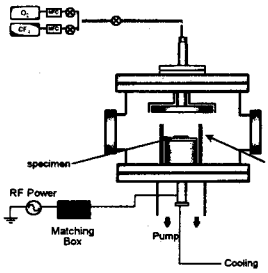
MSSQ 418은 말단기에 OH기 대신 H기가 있어 고리역할을 하고 있다. Etching하고자 하는 물질인 MSSQ 418를 spin coating하기 위해 PEGDA (poly-ethylene-glycol-diacrylate) 용액을 이용하여 용액을 만들고 (30wt. %), 2500 rpm으로 30초 동안 spin coating한 뒤, 0℃에서 250℃까지 curing을 하였다. 먼저 0℃에서 50℃까지는 10분, 50℃에서 250℃까지는 2시간 동안 curing을 한 뒤, 250℃로 2시간 동안 유지시킨 후, cooling을 하였다. MSSQ 650F은 MSSQ 418과 달리 말단기의 CH3가 고리 역할을 하고 있다. MSSQ 650F 또한 MIBK용매에 용해시켜 spin coating후 막을 형성한다. 모든 시편의 기판은 세척한 Si-wafer (p-type (100))를 사용하였다.

제작한 MSSQ 막을 형상화하기 위해 photoresist(PR ; AZ-1512)를 도포하였다. PR은 모든 시편에 대해 500 rpm으로 5초, 1000 rpm으로 5초, 3000 rpm으로 30초 동안 spin coating하였으며, 90℃에서 20분 동안 soft baking을 한 뒤, UV lamp(250 W, 250 ㎚)를 이용하여 45초 동안 노광한후, 95℃에서 10분 동안 hard baking을 한후, developer MIF 500 에 현상하여 이미지를 얻었다. 정확한 식각속도를 알아보기 위해 PR대신 mask 역할을 하는 capton tape을 사용하기도 하였다.

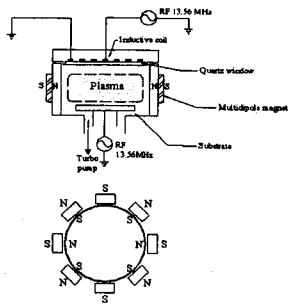
2.1 Plasma Etching

Parallel-plate R.I.E(Reactive Ion Etching : R.I.E. system KVRIE-660) system을 사용하였다. 반응 gas로 O_2와 CF_4를 사용하였다.본 연구에서 사용되어진 R.I.E장비의 개략도를 그림 2의 (a) 나타내었다.[3] 그리고 M.E.R.I.E(Magnetically Enhanced Reactive Ion Etching)는 그림 2의(b)에 MERIE의 개략도를 나타나있다. 최적의 공정 조건을 얻기 위해 RF power, pressure, flow rate, gas 조성비, 온도 등 공정 parameter들의 변

화가 식각에 미치는 효과를 관찰하였다. 각 시편들에 대하여 total flow rate를 각각 10, 20, 30, 40, 50, 56 sccm으로, power는 25, 50, 100, 130, 150, 600, 700, 800W로 변화시키며 O_2와 CF_4의 비율과 etching 시간을 각 sample 마다 다르게 하여 실험하였다.[3] 시편의 표면 이미지 관찰을 위해 AFM(PSI Autoprobe)과 광학 현미경(Olympus)을 사용하여 측정하였으며, 적외선 스펙트럼(Nicolet Magna 560)를 측정하여 식각전과 식각후의 스펙트럼 비교를 통하여 식각 여부를 관찰하였다. 또한 SEM(Hitachi S-2500C)을 이용하여 시편의 단면과 측면 이미지를 통해 etching의 식각 여부를 확인 하였다. 각층의 두께는 α-step profilemeter를 이용하여 측정하였다.



(a) R.I.E장비의 개략도.



(b) M.E.R.I.E장비의 개략도.

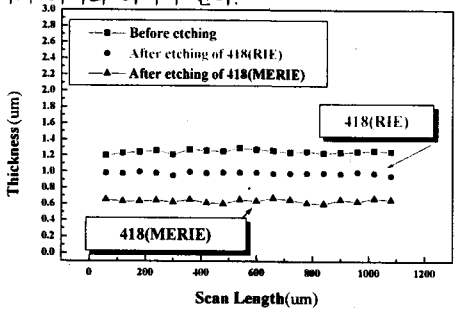
그림 2. 식각장비의 개략도.

3. 실험결과 및 검토

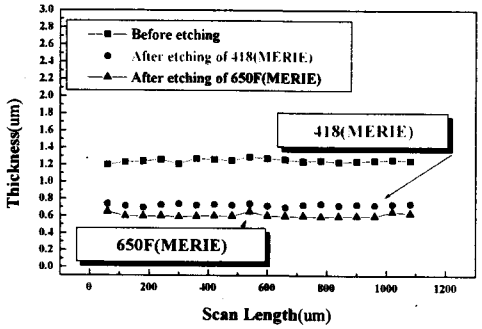
그림 3는 시편의 여러 위치에서 etching 전과 후에 α-step을 이용해 측정한 박막 두께의 평균값이다. 이 공정 에서는 MSSQ film과 PR의 식각속도 즉 선택비가 식각공정에 있어 중요한 요소이다. RIE공정에서는 flow rate가 30sccm, RF power가 100W 일 때, 식각속도는 약 1000Å/min이고, flow rate가 10sccm일 때의 식각속도는 약 1500Å/min로 최적의 조건으로 생각되어진다. MERIE을 사용했을 때의 식각속도는 약 4000Å/min임을 알 수 있었다. CF_4의 O_2 에 대한 비, power와 pressure에 따라 etch rate가 증가함을 알 수 있었다. 그리고 mask 역할을 했던 photoresist를 제거하기 위한 ashing 작업을 하기 위해 동일 chamber내에서 O_2 plasma를 이용하여 photoresist을 제거했다. 그러나 이 공정에서는 정확한 식각속도를 알아보기 위해 PR대신 mask역할을 하는 capton tape를 이용해 식각공정을 수행하였다.

그림 4는 식각한 박막의 광학현미경 이미지 이다. 식각시 MSSQ 박막의 물리적, 화학적 구조에 따라 식각 특성이 크게 달라지므로 균일한 박막의 형성이 무엇보다 중요하다.

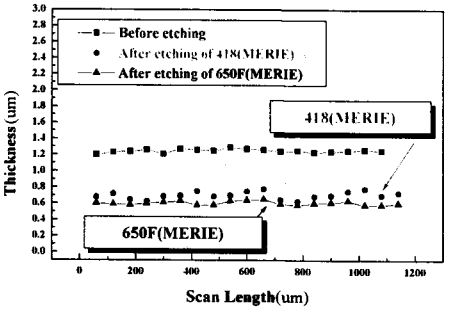
그림 5는 PR과 MSSQ의 etching 경계 부분의 SEM 사진이다. PR과 MSSQ의 etching line을 선명하게 볼 수 있다. 또한 그림 5 (a)에서는 etch된 MSSQ step을 확인할 수 있다. 그리고 etching 후 남아 있는 PR을 볼 수 있는데 etch된 edge부분에는 PR이 거의 모두 없어졌음을 확인할 수 있었다. 버렸다. 또한 PR 및 MSSQ의 선택비가 최적화 되어야 한다.



(a) 418을 이용한 RIE와 MERIE의 etch rate 비교.

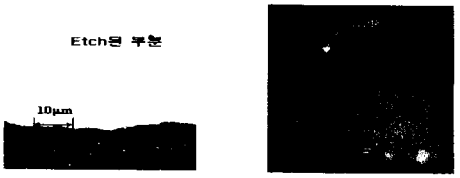


(b) 418과 650F을 이용한 MERIE의 etch rate비교 (Flow rate 변화).



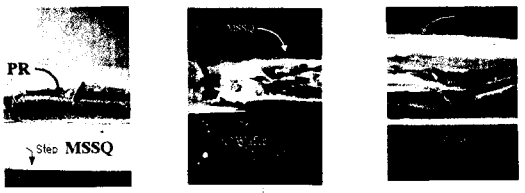
(c) 418과 650F을 이용한 MERIE의 etch rate비교 (RF power 변화).

그림 3. Thickness of MSSQ.



(a) (b)

그림 4 Etching한 박막의 광학현미경 이미지.



(a) (b) (c)

그림 5. SEM 이미지.

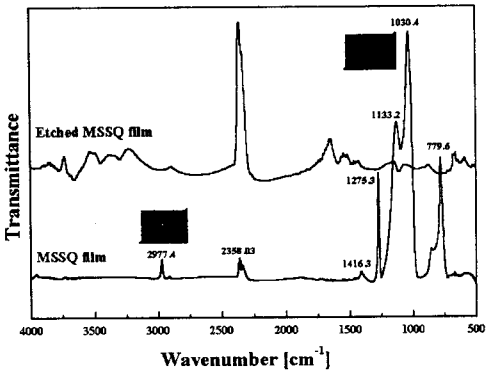


그림 6. Etching 후의 MSSQ물질의 적외선 스펙트럼.

그림 6 은 etching 후의 MSSQ물질의 적외선스펙트럼이다. Etching 전과 etching 후의 Si-O기을 보면 반응 gas인 CF_4와 O_2와의 화학반응에 의해 확연히 제거되었음을 알 수가 있다.

3. 결 론

실험 결과로 RIE와 MERIE의 식각속도를 비교해 보았을때 MERIE의 식각속도가 더 빠름을 알 수 있었다. 이 결과는 RF power, dc-bias와 gas의 양에 따라 식각속도에 영향을 줌을 알 수 있었다. 또한 MERIE에서는 RF power는 같았을 때 650F와 418의 식각속도를 비교해보았을 때 650F의 식각속도가 더 빠름을 알 수 있었다. 식각율은 605F에서는 4000Å/min이었고, 418에서는 3800Å/min정도의 식각속도를 얻을 수 가 있었다. RIE에서의 418과 650F의 식가속도는 약 1500Å/min정도임을 알 수 있었다. 그리고 photolithography 공정에서 PR과 stripper의 종류에 따른 etching rate, O_2와 CF_4의 혼합비율에 따른 gas의 이온화 정도와 etch rate, time 등이 중요한 요인임을 실험을 통해 알 수 있었고, 또한 실험을 통해 RIE와MERIE을 이용해 식각공정을 수행했을 때 전체적으로 etching이 고르게 됨을 알 수 있었다.

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

〔참 고 문 헌〕

[1] Wei William Lee, Paul S. Ho, Low-Dielectric-Constant Materials for ULSI InterlayrDielectric Application, MRS BULLETIN, October 1997

[2] T-M. Lu, J.A. Moore, Vapor Deposition of Low-Dielectric-Constant Polymeric Thin Film, MRS BULLETIN, October 1997

[3] Robert D. Tacito, Christoph Steinbruchel, Parrerning of Benzocyclobutene by Reactive Ion Etching, J.Electroochem. Soc, Vol. 143, No.8, August 1996

[4] Nigel P. Hacker, Organic and Inorganic Spin-On Polymers for Low-Dielectric-Constant Application, MRS BULLETIN, October 1997

[5] Lan Morey, Ashish Asthana, Etch challenges of Low-k Dielectric, Solid State Technology, June 1999

[6] Miyako Matsui, Fumihiko Uchida, masayuki Kojima, Takafumi Tokafume Tokunaga, Kazuo Yamazaki, Kiyomi Katsuyama, Hiromasa Aral, In-Situ After-treatment Using Low-Energy with CF_4/O_2 Gas Mixture to Remove Reactive Ion Etching Damage, No. 4B, April 1998