

Al-reflow 공정을 이용한 고단차 Sub-half Micron Contact-filling (Sub-half Micron Sized Contact Hole Filling by utilizing Al-reflow process)

삼성전자(주) 반도체연구소 : 위 영 진, 박인선, 박창수, 이상인, 안성태
연락처: 449-900 경기도 용인군 농서리 산24 삼성전자(주) 메모리 공정개발3팀
Tel : (0331) 280-6357 Fax : (0331) 280-6299

서론 : Sub-micron contact fill 공정을 위해 개발된 Al-reflow 공정은 contact의 aspect-ratio 증가에 따라 void가 발생하므로, high aspect-ratio contact-filling을 위하여 sputtering시의 주요 공정 변수가 fill 특성에 미치는 영향을 이해할 필요가 있다. Al 증착 step에서의 주요 변수는 Al 증착 초기의 Al nucleation, contact sidewall에서의 conformality 및 wafer의 outgassing 정도 등이며, reflow step에서의 주요 factor는 Al과 하지막과의 reaction, 장비의 진공도 및 residual gas (수분, 산소, 질소 등) 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 하지막 및 Al 증착 조건에 따른 nucleation, 하지막과의 wetting, 그리고 하지막과의 reaction 등을 조사하여 Al-reflow 공정과의 관계를 연구하여 high aspect-ratio (3.0 이상) metal contact에 Al-reflow 공정을 실현하였다.

실험 방법 : Al-reflow 공정의 주요 공정 변수들의 이해를 목적으로 하지막 종류별로 Al 증착 온도에 따른 Al 초기 증착 특성, 그리고 TiN의 wetting 특성 개선을 위한 ECR-plasma treatment의 영향 등을 SEM과 XPS 분석을 통하여 평가하였으며, wetting layer 적용후 Al nucleation과 Al-reflow와의 관계를 조사하였다. 본 실험은 step coverage를 개선하기 위하여 collimator를, Ar 내의 불순물 level을 1ppb 이하로 감소시키기 위하여 Ar-purifier (model : MonoTorr Phase-II)를 사용하여 Al sputtering 조건을 개선한 상태에서 test를 실시하였다.

실험결과 : 하지막은 Ti, TiN, N2 annealed-TiN로 split하였으며, 이들 막 위에 Al을 20°C와 450°C에서 1, 3, 5, 10 초로 depo time을 증가시키며 Al 초기 증착 양상을 관찰하였다. 먼저 Ti의 경우는 증착 온도가 높아지거나, 증착두께가 증가함에 따라 Al-grain growth에 큰 변화 없이 연속적인 Al film이 형성되었다. TiN의 경우는 Ti의 결과와는 달리 증착 온도가 높아짐에 따라 핵생성 site의 수는 감소하고 Al-grain size는 증가하였다. 초기 50Å 증착할 경우 island 형태의 Al이 형성되지만 500Å 정도로 증착두께가 증가함에 따라 coalescence 단계를 거쳐 비교적 연속적인 film을 형성하는 것을 확인할 수 있었다. Anneal된 TiN의 경우는 as-deposited TiN의 경우와 유사한 결과를 관찰하였다. 이상 Ti, TiN, annealed-TiN film을 하지막으로 하여 증착 온도와 증착시간을 변화시켜 Al 초기 증착 특성을 조사한 결과 wettability [sputtering된 Al 원자(adatom)가 하지막에 흡착하기 쉬운 정도]가 가장 우수한 하지막은 Ti임을 알았다.

Al flow 특성관점에서, Ti을 wetting layer로 사용하였을 경우는 우수한 wettability 특성에도 불구하고 reflow 공정 진행 중에 Al과 Ti의 반응(fig. 1)에 의해 flow 특성이 저하되어 contact fill이 이루어지지 않는다. 따라서 Al과의 반응성이 약한 TiN 상에 연속적인 Al 막을 성장시키기 위하여 ECR plasma로 TiN 표면 처리 유,무에 대해 TiN morphology, Al 초기 증착 특성, Al-reflow 특성을 조사하였다. TiN을 증착하면 contact sidewall에서의 TiN-grain은 표면 요철이 심하나 증착된 TiN을 RF bias 80watt (bias 전압 -50volt)의 ECR plasma에 노출시킬 경우 Ar ion의 bombardment에 의해 TiN 표면이 ion-polishing 되므로 amorphous-like surface를 갖는 smooth한 TiN film이 얻어진다. Contact sidewall 부위에서의 ECR 처리 효과를 알아보기 위하여 deep contact에서 wetting layer로 Ti, as-depo TiN, ECR-treated TiN을 사용한 경우에 Al 초기 증착 특성을 관찰하였다(fig. 2). As-depo TiN 위에 증착된 Al-grain은 size가 크고 sidewall 일부에는 Al이 증착되지 않은 부분도 관찰되나, ECR-treated TiN 위에서는 fine한 Al grain이 연속적으로 증착되어 sidewall-coverage가 향상됨을 확인할 수 있으며, 이러한 양상은 Ti 위에서의 Al-grain growth와 유사함을 알 수 있다. 이는 stoichiometric TiN의 표면이 plasma 즉, ion bombardment에 의해 physically desorption되어 stoichiometry가 변화하기 때문에 (plasma에 노출시 TiN에서의 titanium과 nitrogen의 결합력 차이 때문에) TiN 표면이 unstoichiometric한 Ti-rich TiN으로 되기 때문이다. 이는 ECR 처리 유무에 따른 TiN 조성을 XPS로 분석한 결과로 확인할 수 있었다. 또한 size 0.5µm, aspect-ratio가 1.8인 contact pattern에 Ti, as-depo TiN, 그리고 ECR-treated TiN을 wetting layer로 하여 cooling을 실시하고 Al을 증착한 후 Al-reflow를 실시한 결과, ECR-treated TiN의 경우만 fill이 되었다. 이것은 Ti-rich phase의 TiN 두께는 Al을 증착할 때 Al과 하지막과의 wetting을 개선하기에는 충분하면서 Al과의 반응에 의해 flow 특성 저하는 일으키지 않는 두께로 생각된다.

이상의 결과를 바탕으로 ECR-treated TiN wetting layer를 사용하여 contact size 0.35µm, aspect-ratio 3.5인 contact에 Al-reflow 공정을 실현 하였다(fig. 3).

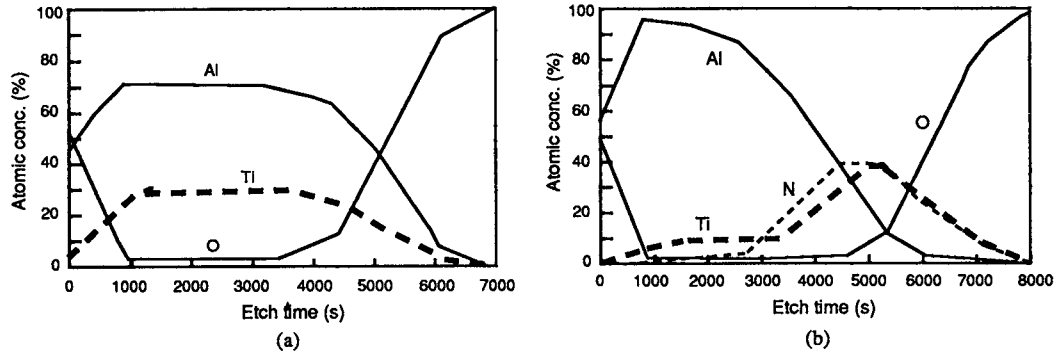


Fig. 1. XPS depth profiles showing the reaction of Al to underlying layers with (a) the Ti film and (b) the ECR-treated TiN film after the Al-reflow process

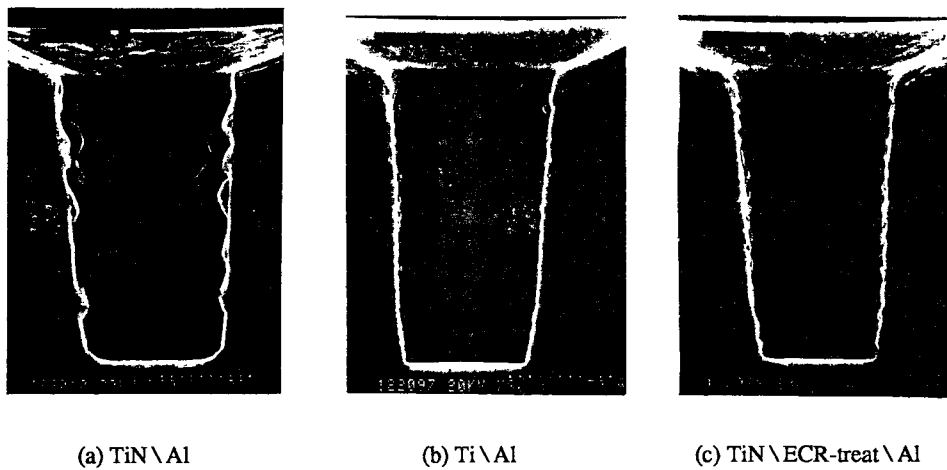


Fig. 2. Cross-sectional SEM micrographs showing the nucleation characteristics of early stage of Al grain growth with various underlying layers (a) as-deposited TiN, (b) Ti, and (c) ECR-treated TiN.

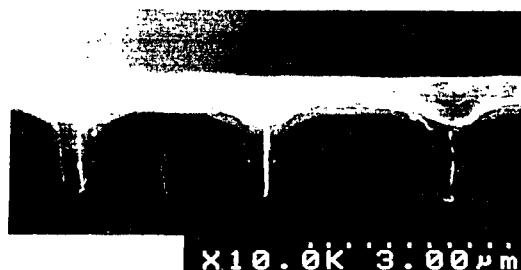


Fig. 3. Cross-sectional SEM micrograph showing the complete filling of a 0.35µm contact hole with an aspect-ratio of three.