

텅스텐 식각반응의 표면 열전달해석을 통한 개구부 매몰층 형성에 관한 연구

° 안 태 혁 , 백 수 현

삼성전자 반도체연구소 , 한양대학교 재료공학과

1. 서 론

반도체 소자의 집적도 향상이 가속됨에 따라 배선연결용 개구부 직경이 0.5 μ m이하로 축소됨과 동시에 수직단차는 감소하지 않아 aspect ratio가 증가하고 있다. 기존의 알루미늄을 기본으로 한 sputtering방법은 step coverage한계로 인해 개구부 내부를 채우지 못하여 배선 불량률의 주요 원인이 되고 있으며, 이에 대한 해결방법으로 CVD(Chemical Vapor Deposition, 화학증착법) 방법에 의한 텅스텐 매몰층 형성방법이 사용되고 있다. 본 연구는 개구부 내부에 텅스텐을 매몰하기 위한 텅스텐 전면증착, 에치백 공정에 있어 텅스텐 에치백시 발생하는 텅스텐 매몰층의 손실이 최소화 되는 공정을 고찰하고 그 반응기구를 표면 반응에 주로 영향을 주는 열전달 모델을 통해 해석하였다.

2. 실험방법

실리콘 기판상에 1 μ m 두께의 산화막을 화학증착한 후 0.5 μ m 직경의 개구부를 이방성 이온 식각방법을 이용하여 수직으로 형성하였다. 개구부가 형성된 상부에 텅스텐막과 산화막의 접착성을 유지하기 위해 Ti-Nitride 층을 형성한 후 텅스텐 막을 화학증착법에 의해 1 μ m 두께로 증착하였으며 이때 개구부내부는 완전히 텅스텐막에 의해 매몰되는 것을 확인하였다. 개구부 내부에만 텅스텐을 남기기 위한 방법으로서 SF₆ gas를 사용하는 플라즈마 에치백을 실시하였으며, 이때 플라즈마 에치백 장치는 기판의 온도가 조절될 수 있는 이면냉각방식의 전극구조를 갖추었다. 플라즈마 발생에 영향을 주는 주요인자로서 고주파전력, gas 압력을 변화시켰으며, 기판온도 조절에 관여하는 이면냉각매체인 He gas유량과, 전극온도를 조절하는 냉각기의 냉매 온도를 변화시키면서 텅스텐 매몰층의 변화를 관찰하였다. 텅스텐 에치백반응의 진행정도를 관찰하기 위해 monochromator를 이용한 분광분석법에 의해 텅스텐 에칭시의 특성파장인 703nm의 강도를 이용하였다. 텅스텐 에치백은 텅스텐 하부의 Ti-Nitride층 까지만 실시하였으며, 소자의 표면단차로 인해 요구되는 추가에치백시 하부 Ti-Nitride층과 개구부 내부의 텅스텐 매몰층의 손실을 최소화하는 것을 본 연구의 목적으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

텅스텐 에칭시의 플라즈마 고주파전력과 가스압력에 대한 의존성을 실험한 결과 고주파 전력이 250watt 이상에서 텅스텐 매몰층의 손실이 증가하였으며, 가스압력에 대해서는 100mTorr와 250mTorr의 범위에서도 텅스텐 손실이 발생하지 않아 압력의존성은 크지 않음을 알았다. 기판온도에 영향을 주는 전극냉각용 냉매온도를 5도에서 45도까지 변화시킬 경우 온도가 높아질수록 텅스텐 매몰층의 손실은 조금씩 증가하였으나, 전극의 온도를 실리콘 기판에 전달하는 매체의 역할을 하는 He gas의 유량을 0 sccm에서 35sccm까지 변화시킨 결과 He gas가 흐르지 않을 경우 개구부 내부의 텅스텐이 모두 에치되어 없어지는 현상이 보였으며, 1sccm만 흘릴 경우에도 텅스텐 손실이 급격히 감소하는 것으로 나타나서 기판의 온도가 텅스텐 손실률의 주요인자임을 알수있었다. 기판상에 형성된 개구부가 실리콘 기판까지 닿아있는 경우와, 실리콘기판과 텅스텐 매몰층사이에 소정 두께의 절연막이나 폴리실리콘 등의 배선을 통해 기판에 놓여있는 경우에 대해서 각각 텅스텐이 손실되는 속도차이가 있는것으로 확인되었으며, 기판이 냉각되어 텅스텐 손실속도가 포화된 후에는 더이상 기판표면에서 에칭반응이 진행하지 않았고 기판을 반응실 외부에 방치하여 온도가 상온이 되게 한 후 다시 에칭할 경우 표면반응이 잠시 진행되었다가 다시 포화되는 현상을 보여 적절한 온도이하에서 기판표면에서의 텅스텐 에칭반응이 포화되는 것을 이용하여 개구부 내부에만 텅스텐 매몰층을 안정하게 형성할 수 있음을 알았다. 이러한 표면반응의 온도의존성을 설명하기 위해 기판온도에 영향을 주는 주요인자를 Fig.1에 나타내었으며, 산화막 상부와 실리콘 상부에 접촉한 개구부, 그리고 중간매개층을 가지는 개구부에서의 냉각속도차이에 의한 표면반응차이를 Fig.2에서 도식화 하여 나타내었

다. 이러한 결과에 의해 최적화된 조건에 의하여 형성된 개구부 텅스텐 매몰층의 전자현미경 사진을 Fig.3에 나타내었다.

4. 결 론

이상의 결과로부터 텅스텐 매몰층을 개구부 내부에만 안정되게 형성할 수 있는 공정을 기판상의 열전달효과에 의해 설명하고자 하였다. 기판온도에 영향을 주는 주요인자는 전극의 온도를 효율적으로 기판에 전달해 주는 매체가스(He)의 유량이었으며, 기판온도가 전극온도에 의해 일정하게 조절될 경우 250watt이하의 고주파전력 범위에서 텅스텐 손실량을 포화시킬 수 있다. 기판상부에 집적 접촉한 개구부내의 텅스텐 냉각속도에 비해 산화막상부 및 중간배선층 상부의 개구부내의 텅스텐 냉각속도가 늦어 텅스텐 산화막 상부의 텅스텐은 계속 에칭반응이 진행되는 반면, 실리콘과 집적 접촉한 개구부 내부의 텅스텐표면은 냉각된 온도에서 반응부산물인 WF_6 의 증기압이 낮아져 에칭반응이 포화되는 것으로 보여진다. 이러한 열전달 모델에 의한 에칭표면반응해석은 향후 고선택비 및 이방성화를 위한 저온화 추세에 따라 계속 연구가 필요한 중요한 과제로 남아있다.

- 참고 문헌 -

1. D.D Wagman, et al; The NBS Tables of Chem. Thermodynamic properties, 1982
2. D.R Stull. et al; JANAF Thermochemical Tables
3. Sybil P.Parker; Encyclopedia of Physics, p186
4. Tokuo Kure, et al; Proceeding of Symposium on Patterning Science and Technology, Vol.90-1. pp175-177, "Time Modulation Technique for Low-Temperature Etching"

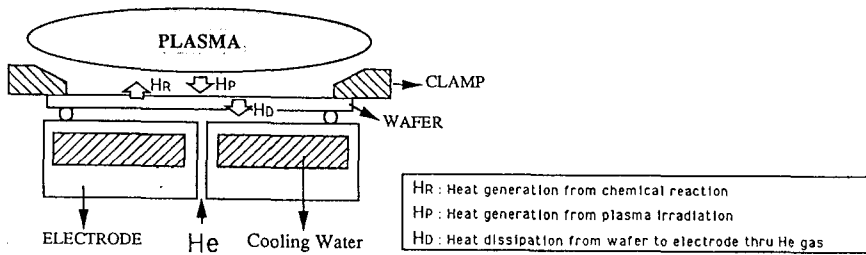


Fig.1 Heat Transfer Diagram of Tungsten Etchback Chamber

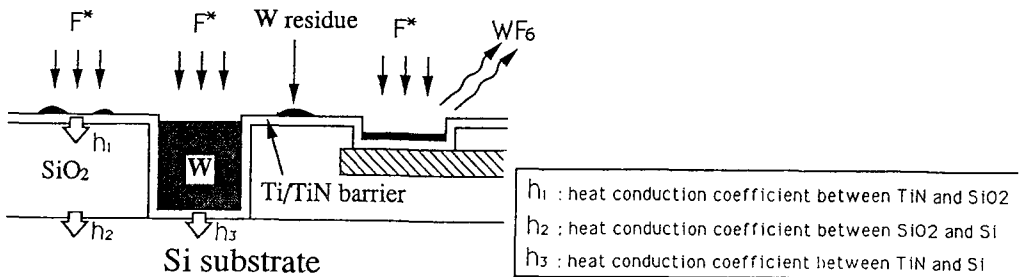


Fig.2 Heat Transfer Modeling of Surface Reaction of Tungsten Etching Process

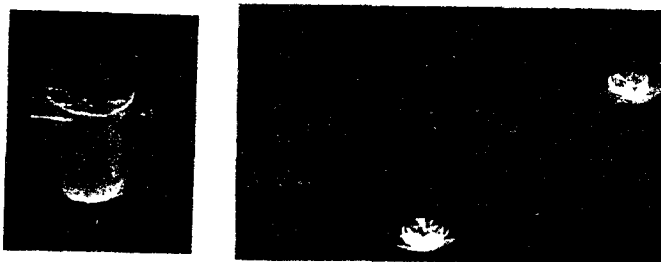


Fig.3 SEM results of Tungsten Plug Formation controlled by Surface Heat balance