

레이저빔 직접묘화에 의한 반도체 가공

(Semiconductor Processing by Laser Beam Direct Writing)

이 지 학

서울대학교 공과대학 공업화학과

1. 서 론

레이저빔이 갖는 고강도, 본광학적 순수성, 시간적 및 공간적 Coherence, 선택적 흡수성 등의 특성은 반도체재료의 가공에 있어서 독특한 방법을 제공할 수 있으며, 따라서 레이저빔은 차세대 VLSI 소자제조의 새로운 공정수단으로 이용될 높은 잠재력을 지니고 있다. 가시광이나 자외선 레이저빔을 직경 수 μm 로 집광하여 웨이퍼 표면에 주사할 경우 기판의 가열이나 기체의 광분해를 유발시켜 식각, 증착, doping, annealing 등의 다양한 공정이 가능하다. 이러한 레이저공정은 마스크를 쓰지 않는 직접묘화공정으로서, 국부적 가공의 저온공정이며, 빔에 의한 손상이 적고, 빠른 속도로 미세패터닝이 가능한 장점이 있다. 현재 레이저를 이용한 여러가지 가공공정의 기초연구가 많이 이루어지고 있으며, 한편 집적회로를 위한 Excimer 레이저 리토그래피에 대한 기술도 경쟁적으로 개발되고 있다. 아래는 CW Ar⁺-레이저를 사용하여 실리콘을 식각 또는 증착시킨 실험의 초기 결과를 간단히 요약하였다.

2. 실험 방법

출력 15W 의 CW Ar⁺-레이저의 488nm 선을 10배로 확대시킨 다음 $f=9\text{cm}$ 의 볼록렌즈로 진공실내에 설치한 실리콘 웨이퍼에 집광시키고, 진공실을 모터로 이동시켜서 간단한 선을 가공하였다. Cl₂를 식각기체로, SiH₄를 증착기체로 각각 사용하였으며, 가공된 선의 모양을 광학현미경, 전자현미경, Stylus로 관찰하였다. 이론적인 빔의 직경은 약 10 μm 에 해당된다.

3. 실험 결과

Si(100)을 Cl₂의 압력 0.6 Torr, 주사속도 100 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 의 조건에서 식각할 때, 레이저빔의 출력이 1.3W (평균에너지 밀도 = 1.7MW/cm²)에서 식각이 시작되었다. 출력을 증가시키면 식각된 선의 폭과 깊이가 동시에 증가하여, 3.3W의 경우 폭 8.6 μm 깊이가 약 5 μm 로 식각되었고, 이는 약 50 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 의 식각속도에 해당된다. 주사속도를 감소시키거나 Cl₂의 압력을 높여도 유사한 경향을 보이나 그 효과가 약하였다. 한편 2 μm 의 실리콘 산화막위에 4760Å의 두께로 증착된 다결정 실리콘을 위와 유사한 조건으로 식각시킬 경우, 단결정보다 식각속도가 빨라서 다결정이 완전히 제거되었으나 높은 출력에서는 산화막이 응기 또는 파열되었다. 식각은 Cl₂의 광분해보다는 주로 기판가열 효과로 일어나며, 초점거리가 훨씬 짧은 렌즈를 쓰면 Submicron 선폭의 식각이 가능하여 aspect ratio가 큰 trench의 형성에 응용할 수 있을 것으로 본다.

SiO₂ 위에 다결정 실리콘을 증착시킬 경우, 빔의 출력이 높을수록, 주사속도가 느릴수록, 또 SiH₄의 유량이 클수록 증착된 선의 높이와 폭이 증가하였다. 그러나 선의 중앙부분은 암몰되고 가장자리가 응기한 대칭의 모양을 보였으며, 이 정도는 증착속도가 빠를수록 심하였다. 이는 Gaussian 빔의 중앙부분에 해당하는 부분이 응점에 도달하여 증발되기 때문이며, 적절한 조건을 선택하면 균일성을 얻을 수 있을 것이다.