

Two-zone 확산법을 이용한 다결정 실리콘 박막으로의 Phosphorus 도핑에 관한 연구

황민욱, 김윤해, 이석규, 엄명운, 박영욱,* 김형준
서울대학교 공과대학 재료공학부 *삼성전자주식회사

본 연구는 고집적 반도체 소자의 제조 공정에 있어서 산화막을 형성하지 않고 굴곡진 표면을 균일하게 고농도로 도핑하기 위한 방안의 일환으로 기존의 PH_3 대신 고체 P를 직접 이용한 2-zone 확산법으로 다결정 Si에 도핑하는 방법을 채택하고, 그 가능성을 검토하는데 목적이 있다.

도핑 시간에 따른 확산 경향을 살펴본 결과, 시간이 증가함에 따라 도핑이 증가하는 뚜렷한 경향을 나타내었으며, 온도가 증가할수록 시간에 따른 농도의 증가량이 커지는 것을 알 수 있었다. 따라서, 고온에 비해 저온에서 더 빨리 pile-up이 일어나며 표면 부근의 농도가 포화 상태에 빨리 도달하는 것을 알 수 있었다.

다결정 Si에서의 확산 거동을 살펴본 결과, 결정립 크기가 적을수록 저항이 높게 나타났으며, 단결정 Si의 저항값보다 약 4~5배 가까이 높은 값을 나타내었다. 또한, 동일한 온도에서 시간에 따라 표면 부근의 pile-up 현상이 증가하는 뚜렷한 경향을 보여 주었다. 온도가 감소할수록 pile-up 현상이 증가하는 경향을 나타내었으며, 입계를 통한 빠른 확산에 의해 단결정 Si에 비해 표면 pile-up의 포화가 늦게 일어나는 것을 알 수 있었다.

고체 P를 source로 사용한 경우와 PH_3 (phosphine)을 source로 사용한 경우를 비교 분석한 결과, 750°C에서 PH_3 에 비해 고체 P를 사용한 경우의 표면 농도가 약 50배 정도로 높게 도핑된 것을 알 수 있었다. 도핑된 P 중에서 전기적으로 활성화되어 있는 성분을 알아본 결과, SIMS의 결과와 유사하게 고체 P의 경우가 약 50배 높은 값을 나타내었다.

실제 소자에서의 특성을 알아보기 위하여 캐패시터를 제작하여 측정하여 본 결과, 추가의 도핑을 하지 않은 시편에 비해 고체 P를 도핑한 시편이 약 8%의 Cmin 값의 증가를 보였으며, PH_3 에 비해 약 3%의 증가된 값을 나타내었다. 누설전류 특성은 2V에서 수 $\text{fA}/\mu\text{m}^2$ 로 양호하게 나타났다. 실험 결과 고체 P를 이용한 경우 더 우수한 특성을 나타내었으나, 예상과는 달리 차이가 적게 나타났다. 그 원인은 소자 제조 공정에서 콘택 부분에 큰 저항 성분이 형성되어 생긴 문제로 생각된다. 또한, 실험에 사용된 유전체의 두께가 두꺼워 HSG 사이의 갭 부분이 캐패시턴스 증가에 기여를 충분히 못한 것으로 사료된다. 따라서, 제조 공정 상의 문제점을 제거하고 고체 P를 사용할 경우 본 실험에 비해 보다 증진된 특성을 보여줄 것으로 기대된다.

이상의 결론을 토대로 볼 때, 2-zone 확산법을 이용한 P 도핑 방법은 저온에서 효과적으로 다결정 Si에 고농도의 도핑을 할 수 있다고 생각된다.