

SiO₂ 막의 습식식각 방법별 균일도 비교

안영기*, 김현종*, 성보람찬*, 구교욱*, 조중근*

*SEMES 연구소 나노센터

초록

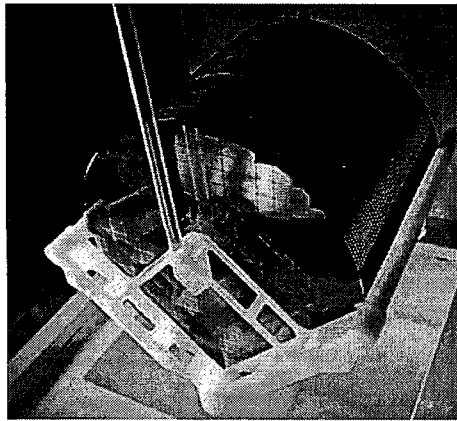
현재 반도체 습식식각 공정에 사용되고 있는 방법은 batch식과 매엽식이 있다. batch식 식각방법은 매엽식보다 throughput이 많은 반면 식각균일도는 떨어진다. 매엽식은 웨이퍼를 회전시키면서 약액을 분사할 때 Boom swing을 하여 균일하게 식각할 수 있다. 본 연구에서는 Boom swing이 없는 구조의 매엽식 장비에서 약액이 상온과 고온일 때 SiO₂막을 식각하여 비교하였다. 각각의 조건에서 식각량의 분포와 균일도의 변화에 대해서 알아보았으며, 실험평가시 분사된 약액의 온도분포를 이론적으로 계산하여 실제 실험결과와 비교하여 보았다. 식각균일도는 batch식 보다 매엽식 스펀방식이 균일하였으며, 약액분사 방법은 boom swing을 하는 것이 더 균일하였다.

1. 서론

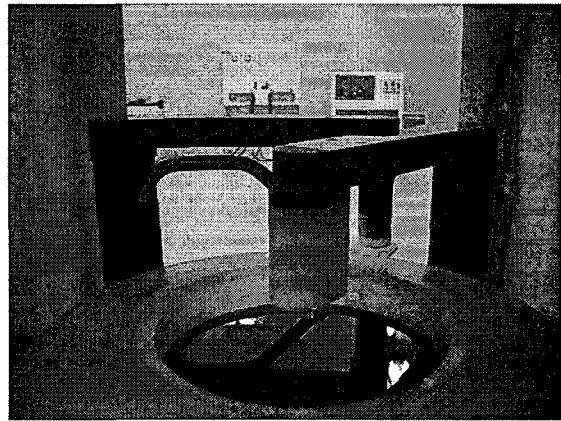
반도체 생산공정에서 식각공정은 매우 중요한 공정이다. 식각공정에서 사용되는 방법은 보통 batch식과 매엽식의 두 가지 방법이 있다. Batch식은 전통적인 방법으로 약액 bath에 수십장의 웨이퍼를 한번에 넣어 처리하는 방법이다. 그러나 반도체 기술이 발전하면서 웨이퍼를 한장씩 처리하는 매엽식이 개발되었다. 상온의 약액에서 batch식은 균일도가 3% 이상인 반면에 매엽식은 균일도가 1% 이하로 매우 우수하다. 또한 매엽식은 batch식과 비교하여 불 때 초순수 사용량이 1/15 정도로 적으며, Cu 공정처럼 금속오염이 우려되는 공정에서 웨이퍼를 한 장씩 처리하므로 역 오염을 방지할 수 있다. 매엽식은 웨이퍼를 회전시키면서 약액을 분사하는 방법이다. 이때 분사 노즐을 웨이퍼 중앙에서 테두리 방향으로 왕복시키는 boom swing을 하여 균일하게 식각할 수 있다[1-8].

본 연구에서는 batch식과 매엽식을 접목시켜 boom swing이 없는 방법으로 식각 공정을 평가하였다. 식각공정을 진행하는데 있어서, boom swing을 없애기 위하여 웨이퍼 위에 판이 있는 구조로 매엽식 장치를 제작하여 식각평가를 하였다. Boom Swing이 없는 매엽식 구조에서 상온의 약액을 웨이퍼 중앙에서 분사하여 식각평가를 하였으며, 또한 고온의 약액을 사용하였을 때의 결과를 알아보기 위하여 평가를 하였다. 고온의 약액을 사용하였을 때에는 식각이 불 균일하게 되는 문제가 나타났다. 이때 발생하는 문제에 대하여 이론적으로 고찰하여 보았으며, 이론적으로 계산된 결과를 바탕으로 고온의 약액을 분사하는 방법을 개선하였다. 그림1.은 대표적인 습식식각 장치이다. 습식장비는 제조사마다 조금씩 방법이 다르지만, 기본적인 원리는 같다.

그림1.(a)는 batch식 장치에서 웨이퍼를 bath에 넣기 전의 모습이다. 그림1.(b)는 매엽식 장치이다. 웨이퍼가 회전하는 동시에 상부에서 약액이 분사된다. 이때 공정마다 웨이퍼의 높이를 다르게하여 약액을 재사용하기도 한다.



(a)Batch식

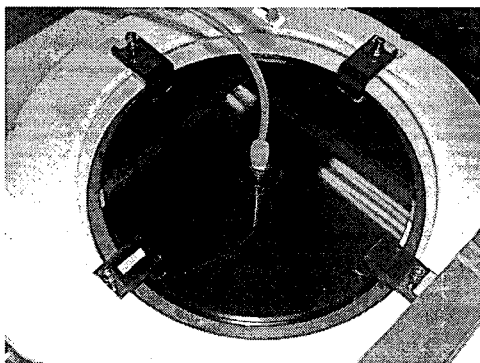


(b)매엽식

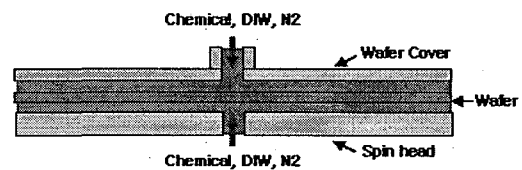
그림1. 습식 식각 장치

2. 실험 방법

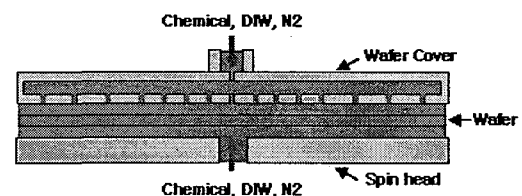
매엽식 장치를 이용하여 웨이퍼위에 판이 있는 구조로 장치를 제작하여 평가하였다. 그림 2.(a)는 상판이 있게 제작한 매엽식 장치의 외관모습이다. 웨이퍼의 회전은 최대 2000RPM 까지 가능하며, 사용 웨이퍼의 크기는 300mm 이다. 웨이퍼는 Spin Head 에 설치되어있는 척에 의해서 고정되며 약액, DIW(DE-Ionized Water)와 질소가스는 상판에 연결된 배관으로 공급하고 있다.



(a)판이있는 매엽식장치.



(b)약액이 중앙에서만 공급될 경우



(c)약액이 다공으로 공급될 경우

그림2. 상판이 있는 300mm 매엽식장치(a)와 단면도(b),(c).

평가에 사용된 웨이퍼는 Si 위에 SiO₂ 막을 10000 Å 증착한 것을 사용하였고, SiO₂ 막의 식각에 사용한 약액은 DIW 와 HF 49%를 100:1 로 혼합한 DHF(Dilute HF)를 사용하였다. 상판과 웨이퍼의 간격은 2mm 이며 약액의 유량은 0.6L/min 이었다. 이 유량은 웨이퍼의 회전속도에 따라서 달라진다. 100RPM 이하의 속도에서는 0.6L/min 의 유량이 상부판과 웨이퍼 사이에 약액이 채워지며 테두리 방향으로 퍼지는데 적합하였다. 약액의 온도는 상온과 고온일 때 식각 평가를 하였으며, 식각 전과 후의 막두께 측정은 K-MAC ST-6000 으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 유한체적법(Finite Volume Method)을 적용하여, 총 5개의 방정식을 사용하였다. 유체의 유동장 파악을 위해 연속방정식(3.1)과 각 방향운동량 방정식(3.2)을 적용 하였다.

The Mass Conservation Equation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad \text{----- (3.1)}$$

Momentum Conservation Equations

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad \bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad \text{----- (3.2)}$$

특히 본 연구에서는 난류모델을 적용하였다. 난류모델 중 2 equation 방정식인 K-E 방정식 (3.3-1), (3.3-2)을 채택하였다.

Transport Equations for the Standard k-e Model

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad \text{----- (3.3-1)}$$

and,

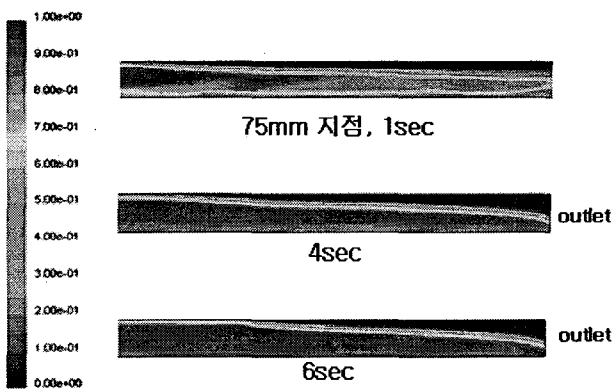
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad \text{----- (3.3-2)}$$

또 온도 장 계산을 위해 에너지 방정식(3.4)을 적용하였다.

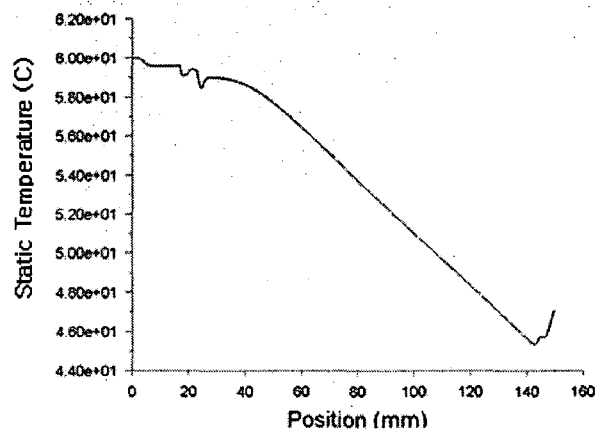
The Energy Equation

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{\text{eff}} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\bar{\tau}_{\text{eff}} \cdot \vec{v}) \right) + S_h \quad \text{----- (3.4)}$$

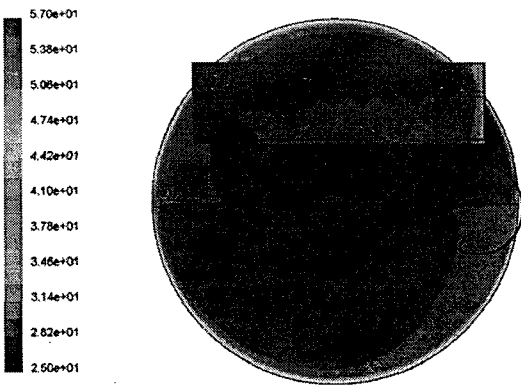
그림3.은 60℃의 약액을 웨이퍼에 분사하였을 경우의 웨이퍼의 온도를 FLUENT를 이용하여 가상적으로 계산해 본 결과이다. 웨이퍼 상판의 재질은 PVC의 열전도율로 계산하였으며 웨이퍼는 Si 열전도율을 감안하여 계산해 보았다. 그림3.(a)는 웨이퍼 중앙에서 약액을 분사하여 상판과 기판사이에 약액이 채워지는 것을 보여준다. 웨이퍼 중앙에서 75mm지점에서 1초, 4초, 6초의 시간 동안 60℃의 약액이 채워지는 것을 나타내었다. 그림3.(b)는 약액분사 25초 후 중앙(0mm)에서 테두리(150mm)까지의 온도분포를 나타낸 것이다. 중앙은 60℃이고 테두리는 약46℃이다. 이러한 현상은 중앙에서 공급된 약액이 테두리로 퍼지면서 약액의 온도가 떨어지기 때문이다. 그림3.(c)는 60℃의 약액을 다공에서 분사했을 때 웨이퍼의 온도분포를 나타내었다.



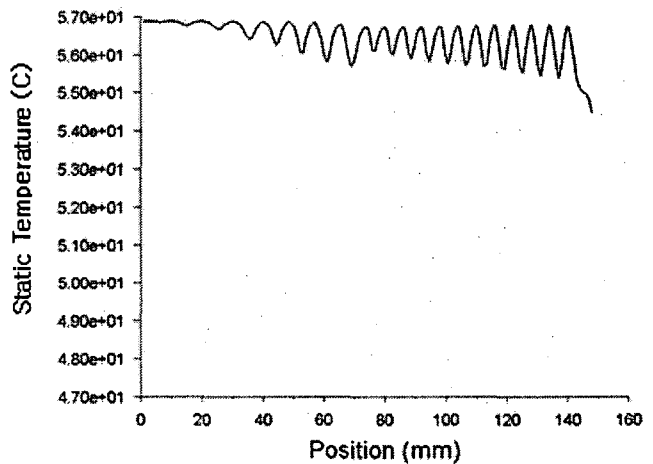
(a)약액 중앙분사 후 시간에 따른 변화.



(b)약액 중앙분사 25초 후 웨이퍼 위치에 따른 온도분포.



(c)약액 다공분사 후 웨이퍼의 온도분포.



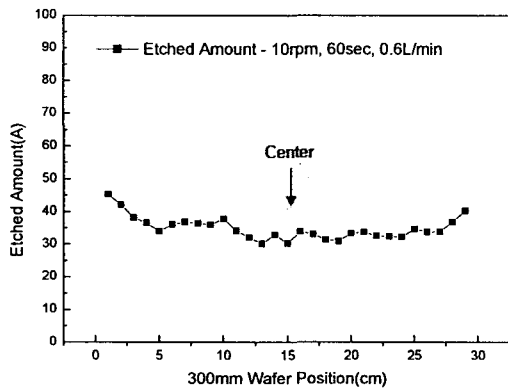
(d)약액 다공분사 25초 후 웨이퍼 위치에 따른 온도분포.

그림3. 약액 분사위치에 따른 웨이퍼의 온도변화 Simulation 결과.

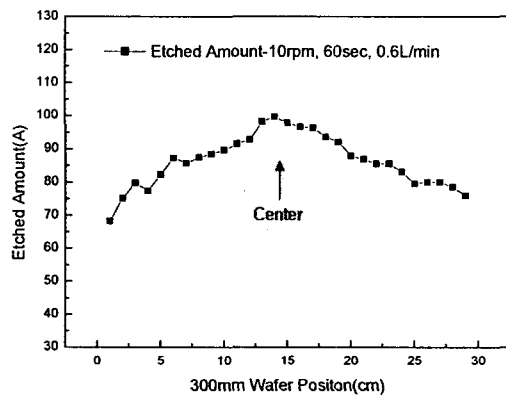
웨이퍼 전체의 온도가 평균 56.5℃로 균일하게 나타났다. 그림3.(d)는 (c)에서의 온도분포를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 온도의 변화는 약액분사 구멍이 있는 곳과 없는 곳의 온도차이 때문이다. 중앙에서 분사한 (b)와 비교하여 볼 때 다공에서 약액이 분사되기 때문에 웨이퍼의 온도분포가 약2℃의 범위 내에서 균일하였다.

3.2. 실험 결과

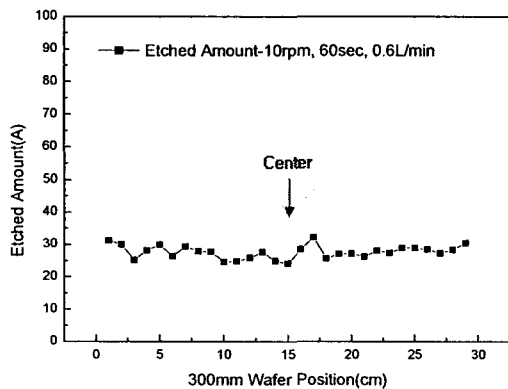
먼저 상온에서 DHF를 60초 동안 0.6L/min의 약액을 중앙에서 분사했을 때, 식각량의 분포에 대하여 평가를 하였다. 그림4.는 식각량의 분포를 나타낸 것이다. 그림4.(a)는 22℃약액을 중앙에서 분사하였을 때 식각량의 분포이다. 테두리부분의 식각량이 많은 것은 린스공정에서 DIW가 가운데에서 공급되기 때문에 테두리 부분의 식각시간이 길어진 이유인 것으로 생각된다. 식각이 가장 많이 된 부분의 값은 분당 약45Å이고 가장 적게 된 부분의 값은 분당 약 28Å이며 평균 식각량은 분당 약 35Å이고 식각량의 균일도는 약 21% 이었다. 그림4.(b)는 53℃에서 DHF를 60초 동안 0.6L/min의 약액을 중앙에서 분사했을 때의 식각량의 분포를 나타낸 것이다.



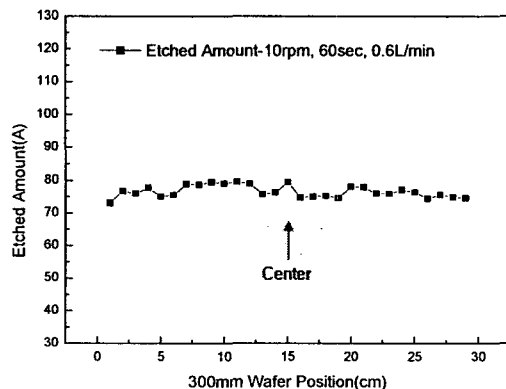
(a)중앙분사, 22℃ 약액



(b)중앙분사, 53℃ 약액



(a)다공분사, 24℃ 약액



(b)다공분사, 57℃ 약액

그림4. 300mm SiO₂막 웨이퍼의 식각량 분포.

상온에서 평가한 결과와는 다르게 웨이퍼 가운데 부분의 식각량이 테두리보다 약 31Å 많았다. 식각이 가장 많이 된 부분의 값은 약 99Å이고 가장 적게 된 부분의 값은 약 68Å이며 평균 식각량은 분당 약 86Å 이었고 균일도는 약 18% 이었다. 약액의 온도를 53°C로 승온시킨 결과 평균 식각량은 245% 증가하였지만, 웨이퍼 중앙부분이 볼록한 모양의 분포를 나타내었다. 그림 4.(c)는 직경을 따라 약액분사 구멍이 40개 있는 그림2.(c)의 다공상판으로 식각한 결과이다. 평균 식각량은 약 28Å으로 중앙에서 분사한 값보다는 약7Å 적게 식각 되었지만, 식각 균일도는 약 15%로 중앙에서 분사한 21% 보다는 약 6% 균일도가 향상되었다. 그림4.(d)는 57°C DHF로 다공 상판에서 식각한 결과이다. 가장 많이 식각된 부분은 약79.6Å이고 가장 적게 식각된 부분은 73Å이며 평균 식각량은 분당 76Å이고 균일도는 약 4.3% 이었다. 53°C DHF를 중앙에서 분사하여 식각한 결과와 비교하여 볼 때 평균 식각량은 약 10Å 적었지만 균일도는 18%에서 4%로 14%가 향상 되었다. 그림5.는 중앙에서 53°C 약액을 분사하였을 때의 Simulation 결과와 실제 식각결과를 비교한 것이다. 온도와 식각량의 관계를 계산하여 보면, 웨이퍼 중앙의 식각량이 22°C일 때, 28Å이고 53°C일 때, 99Å이므로 31°C 온도가 상승함에 따라서 71Å 식각량이 증가 되었다. 온도와 식각량의 관계가 선형적이라고 가정하면, 1°C 올라감에 따라서 2.3Å의 식각량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이 값을 Simulation한 온도분포에 대입하면 가상의 식각량의 분포가 그림5.와 같이 계산된다. 그림 5.에서 보면 계산한 값과 실제 식각량의 분포가 유사한 양상을 나타낸다. 그림6.도 같은 방법으로 계산하여 Simulation 결과와 비교한 결과이다.

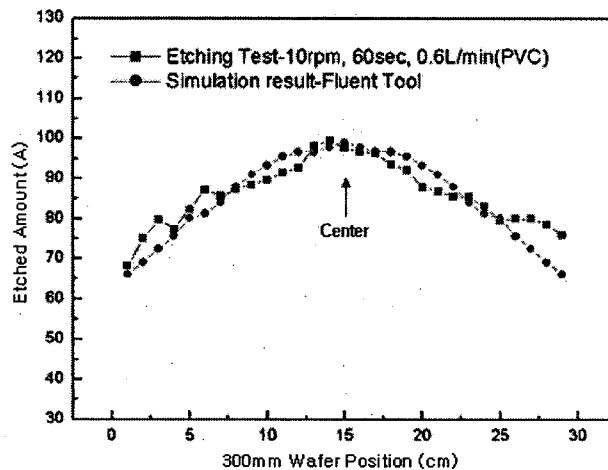


그림5. 53°C 약액을 중앙에서 분사하였을 때의 SiO₂막의 식각결과와 Simulation결과 비교.

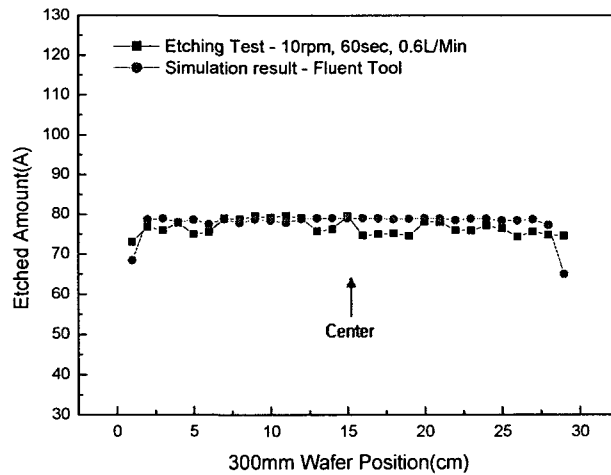


그림6. 57℃ 약액을 다공에서 분사하였을 때의 SiO₂막의 식각결과와 Simulation결과 비교.

4. 결론

본 연구는 매엽식 방법에서 boom swing 이 없는 간단한 구조로 식각이 가능한지 고찰해 본 것이다. Boom swing 이 없는 매엽식 방법으로 식각공정을 진행하였을 때의 식각량과 식각량의 분포를 알아보았다. 또한 상온의 약액뿐만 아니라 고온의 약액을 사용하였을 때의 식각량과 식각량의 분포도 알아보았다. 고온에서의 결과는 기존의 batch 식과 boom swing 을 하는 매엽식에서 평가한 결과가 없기 때문에 비교하지 못하였다. 본 연구에서 SiO₂ 막을 식각 할 때 약액의 온도가 중요한 요인으로 작용하는 것을 관찰하였으며, 고온의 약액으로 식각량의 분포를 균일하게 하기 위하여 다공으로 약액을 분사하는 방법을 사용하였다. SiO₂ 막의 식각량의 분포는 simulation 결과에서 약액의 온도분포와 유사한 결과를 나타내었다. 기존의 batch 식의 장비에서 평가한 결과와 boom swing 을 하는 매엽식과 비교하면 미흡한 결과이지만, 약액분사 구멍을 최적화한 장비를 제작하여 식각공정을 진행할 경우에 앞의 실험결과보다 우수한 결과를 얻을 것으로 생각된다. 평가결과 이 방법을 이용하면 습식식각을 하는데 있어서 여러가지 장점이 있을 것으로 생각된다. 첫째, Boom swing 이 없어도 되므로 구조가 간단해진다. 둘째, 웨이퍼의 오염을 발생시킬 수 있는 요인을 줄일 수 있다. 셋째, 한번에 양면을 식각할 수 있다. 넷째, 기관의 이면만 식각할 경우에 웨이퍼 아래의 판과 웨이퍼 사이에 약액이 채워지면서 식각하기 때문에 적은 양의 약액을 효과적으로 사용할 수 있다. 마지막으로 향후 건조문제를 해결하는데 있어서도 많은 응용이 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] Aaron Hand, Semiconductor International (www.semipark.co.kr)
- [2] 반도체 공정기술, 황호정, 1999.
- [3] P. Singer, The Future of Interconnects, Semiconductor International, June 1998.
- [4] T. Ohmi, T. Imaoka, I. Sugiyama, T. Kezuka, J. Electrochem. Soc., 139, 3317, 1992.
- [5] M. West and P. S. Lysaght Spin-Process Contamination Elimination for Advanced Copper Device Applications, Solid State Technology, November 1999.
- [6] R. Chang, Chemistry, 2nd Edition, Random House, New York, 1984.
- [7] R. C. Weast, Editor, Handbook of Chemistry and Physics 52nd Edition, 1971.
- [8] P. Singer, Dual-Damascene Challenges Dielectric Etch, Semiconductor International, August. 1999