

SiO₂막의 습식식각 방법별 균일도 비교

안영기[†] · 김현종* · 성보람찬* · 구교육* · 조종근*

[†]*SEMES 연구소 나노센터

Comparison of Etching Rate Uniformity of SiO₂ Film Using Various Wet Etching Method

Young Ki Ahn[†], Hyun Jong Kim*, Bo Ram Chan Sung*, Kyo Woog Koo* and Jung Keun Cho*

[†]*Nano Center, R&D Division, SEMES CO., LTD

ABSTRACT

Wet etching process in recent semiconductor manufacturing is divided into batch and single wafer type. Batch type wet etching process provides more throughput with poor etching uniformity compared to single wafer type process. Single wafer process achieves better etching uniformity by boom-swing injected chemical on rotating wafer. In this study, etching characteristics of SiO₂ layer at room and elevated temperature is evaluated and compared. The difference in etching rate and uniformity of each condition is identified, and the temperature profile of injected chemical is theoretically calculated and compared to that of experimental result. Better etching uniformity is observed with single wafer tool with boom-swing injection compared to single wafer process without boom-swing or batch type tool.

Key Words : Semiconductor, Wet Etching, Single wafer process

1. 서 론

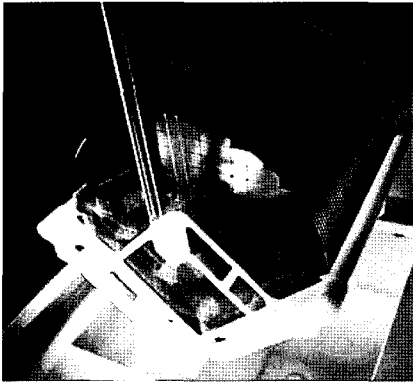
반도체 생산공정에서 식각공정은 매우 중요한 공정이다. 식각공정에서 사용되는 방법은 보통 batch식과 매엽식의 두가지 방법이 있다. Batch 식은 전통적인 방법으로 약액 bath에 수직상의 웨이퍼를 한번에 넣어 처리하는 방법이다. 그러나 반도체 기술이 발전하면서 웨이퍼를 한장씩 처리 하는 매엽식이 개발되었다. 상온의 약액에서 batch식은 균일도가 3% 이상인 반면에 매엽식은 균일도가 1% 이하로 매우 우수하다[1-3]. 또한 매엽식은 batch식과 비교하여 불 때 초순수 사용량이 1/15 정도로 적으며, Cu 공정처럼 금속오염이 우려되는 공정에서 웨이퍼를 한 장씩 처리하므로 역 오염을 방지할 수 있다[4,5]. 매엽식은 웨이퍼를 회전시키면서 약액을 분사하는 방법이다. 이때 분사 노즐을 웨이퍼 중앙에서 테두리 방향으로 왕복시키는 boom

swing을 하여 균일하게 식각할 수 있다.

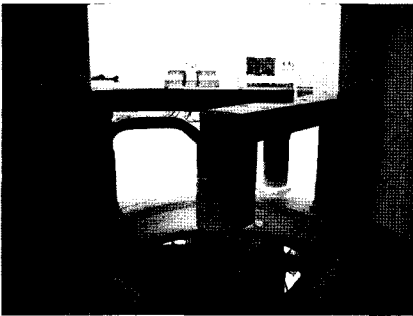
본 연구에서는 batch식과 매엽식을 접목시켜 boom swing이 없는 방법으로 식각 공정을 평가 하였다. 식각 공정을 진행하는데 있어서, boom swing을 없애기 위하여 웨이퍼 위에 판이 있는 구조로 매엽식 장치를 제작하여 식각평가를 하였다. Boom Swing이 없는 매엽식 구조에서 상온의 약액을 웨이퍼 중앙에서 분사하여 식각 평가를 하였으며, 또한 고온의 약액을 사용하였을 때의 결과를 알아보기 위하여 평가를 하였다. 고온의 약액을 사용하였을 때에는 식각이 불 균일하게 되는 문제가 나타났다. 이때 발생하는 문제에 대하여 이론적으로 고찰하여 보았으며, 이론적으로 계산된 결과를 바탕으로 고온의 약액을 분사하는 방법을 개선하였다. Fig. 1은 대표적인 습식식각 장치이다. 습식장비는 제조사마다 조금씩 방법이 다르지만, 기본적인 원리는 같다.

Fig. 1(a)는 batch식 장치에서 웨이퍼를 bath에 넣기 전의 모습이다. Fig. 1(b)는 매엽식 장치이다. 웨이퍼가 회전하는 동시에 상부에서 약액이 분사 된다. 이때 공

[†]E-mail : youngki.ahn@samsung.com



(a) Batch type tool



(b) Single wafer tool

Fig. 1. Wet etching system.

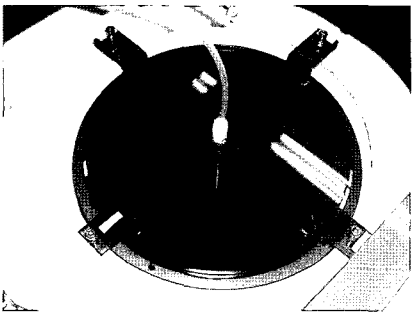
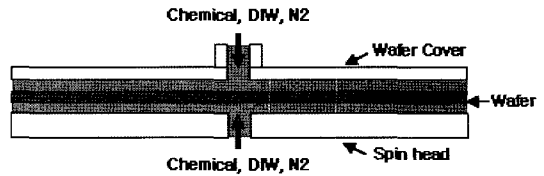


Fig. 2. New single wet etching system.

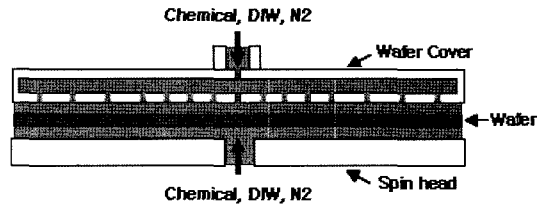
정마다 웨이퍼의 높이를 다르게 하여 약액을 재사용 하기도 한다.

2. 실험 방법

매엽식 장치를 이용하여 웨이퍼 위에 판이 있는 구조로 장치를 제작하여 평가하였다. Fig. 2는 상판이 있게 제작한 매엽식 장치의 외관모습이다. 웨이퍼의 회전



(a) Single chemical injection hole type



(b) Plural chemical injection hole type

Fig. 3. Schematic diagram of new single etching system.

은 최대 2000RPM까지 가능하며, 사용 웨이퍼의 크기는 300 mm이다. 웨이퍼는 Spin Head에 설치되어있는 척에 의해서 고정되며 약액, DIW(DE-Ionized Water)와 질소가스는 상판에 연결된 배관으로 공급하고 있다.

평가에 사용된 웨이퍼는 Si 위에 SiO₂막을 10000Å 증착한 것을 사용하였고, SiO₂막의 식각에 사용한 약액은 DIW와 HF 49%를 100:1로 혼합한 DHF(Dilute HF)를 사용하였다. 상판과 웨이퍼의 간격은 2 mm이며 약액의 유량은 0.6 L/min이었다. 이 유량은 웨이퍼의 회전속도에 따라서 달라진다. 100RPM이하의 속도에서는 0.6 L/min의 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-6000으로 하였다.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

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[6,7].

The Mass Conservation Equation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = S_m \tag{3.1}$$

Momentum Conservation Equations

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

$$\vec{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} \right] \quad (3.2)$$

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-ε Model

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

And,

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

또 온도 장 계산을 위해 에너지 방정식(3.4)을 적용하였다.

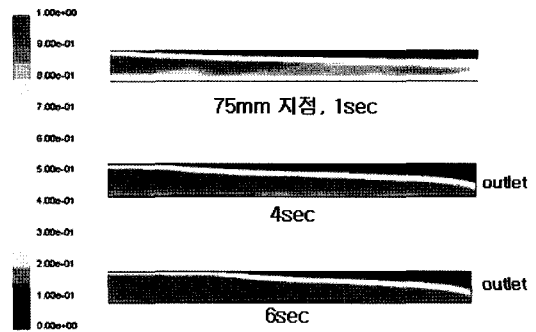
The Energy Equation

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

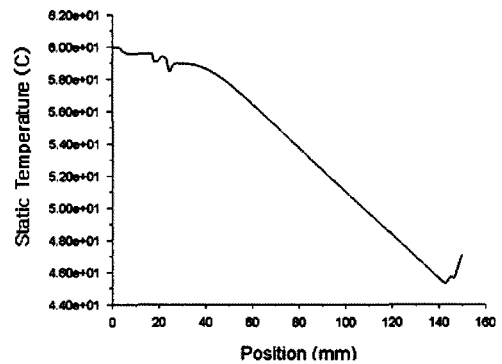
Fig. 4는 60°C의 약액을 웨이퍼에 분사하였을 경우의 웨이퍼의 온도를 FLUENT를 이용하여 가상적으로 계산해 본 결과이다. 웨이퍼 상판의 재질은 PVC의 열전도율로 계산하였으며 웨이퍼는 Si 열전도율을 감안하여 계산해 보았다.

Fig. 4(a)는 웨이퍼 중앙에서 약액을 분사하여 상판과 기관사이에 약액이 채워지는 것을 보여준다. 웨이퍼 중앙에서 75mm지점에서 1초, 4초, 6초의 시간 동안 60°C의 약액이 채워지는 것을 나타내었다. Fig. 4(b)는 약액분사 25초 후 중앙 (0 mm)에서 테두리(150 mm)까지의 온도분포를 나타낸 것이다. 중앙은 60°C이고 테두리는 약46°C이다. 이러한 현상은 중앙에서 공급된 약액이 테두리로 퍼지면서 약액의 온도가 떨어지기 때문이다.

Fig. 5(a)는 60°C의 약액을 다공에서 분사했을 때 웨이퍼의 온도분포를 나타내었다. 웨이퍼 전체의 온도가 평균 56.5°C로 균일하게 나타났다. Fig. 5(b)는 (a)에서



(a) Flow of chemical at 60°C



(b) Temperature distribution on wafer surface

Fig. 4. Simulation of wafer surface temperature distribution after 25sec, single injection chemical at 60°C.

의 온도분포를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 온도의 변화는 약액분사 구멍이 있는 곳과 없는 곳의 온도차이 때문이다. 중앙에서 분사한 Fig. 4(b)와 비교하여 볼 때 다공에서 약액이 분사되기 때문에 웨이퍼의 온도분포가 약2°C의 범위 내에서 균일하였다.

3.2. 실험 결과

먼저 상온에서 DHF를 60초 동안 0.6 L/min의 약액을 중앙에서 분사했을 때, 식각량의 분포에 대하여 평가를 하였다. Fig. 6은 식각량의 분포를 나타낸 것이다. Fig. 6(a)는 22°C약액을 중앙에서 분사하였을 때 식각량의 분포이다. 테두리부분의 식각량이 많은 것은 린스 공정에서 DIW가 가운데에서 공급되기 때문에 테두리부분의 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. Fig. 6(b)는 53°C에서 DHF를 60초 동안 0.6 L/min의

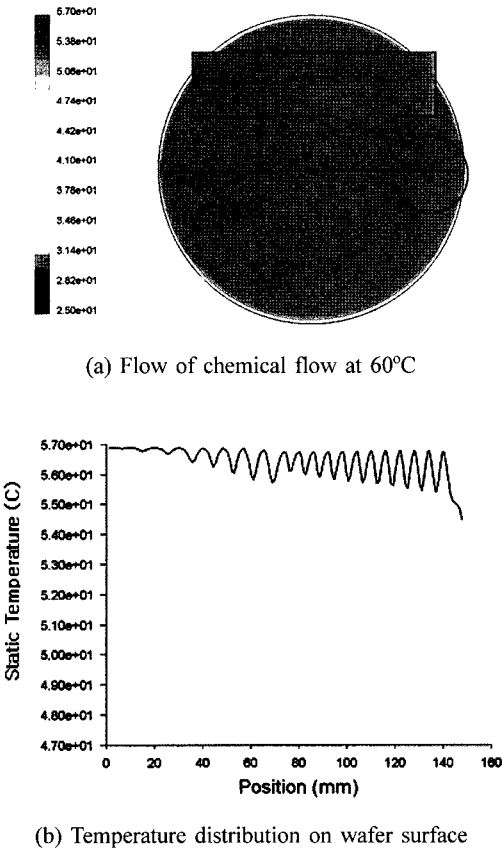


Fig. 5. Simulation of wafer surface temperature distribution after 25sec, plural injection chemical at 60°C.

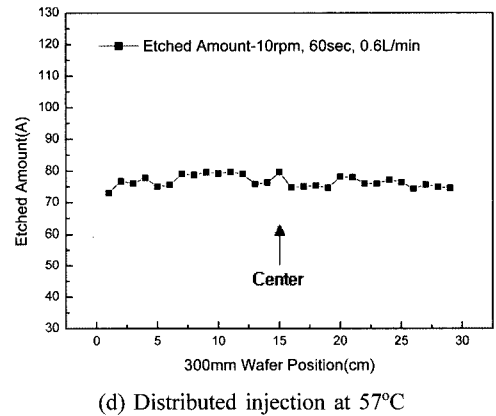
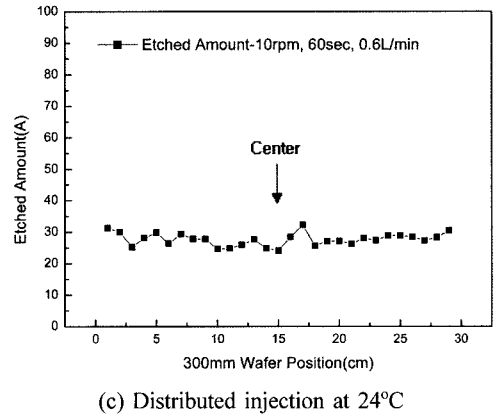
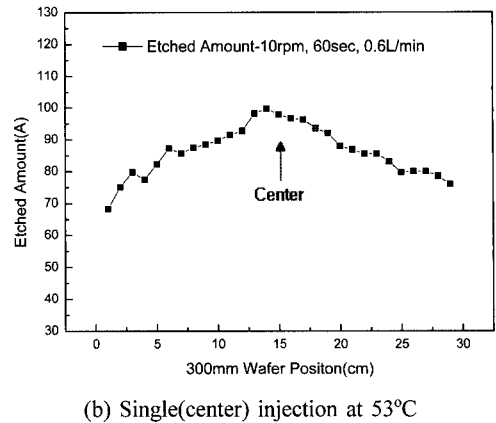
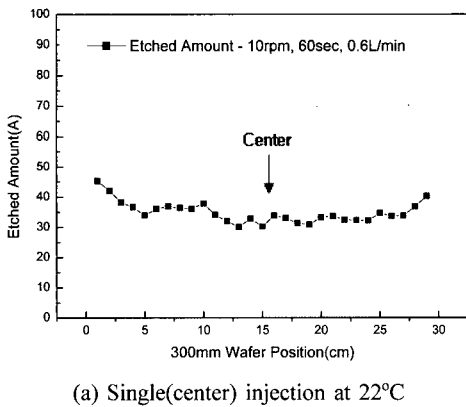
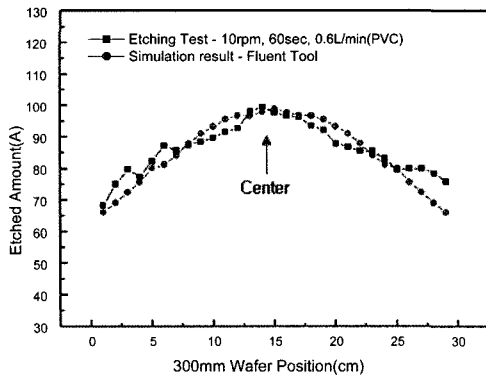


Fig. 6. Distribution etched amount of 300 mm SiO₂ film deposition wafer.

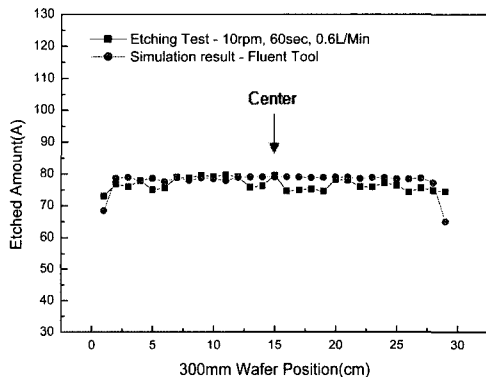
약액을 중앙에서 분사했을 때의 식각량의 분포를 나타낸 것이다. 상온에서 평가한 결과와는 다르게 웨이퍼 가운데 부분의 식각량이 테두리보다 약 31Å 많았다. 식각이 가장 많이 된 부분의 값은 약 99Å이고 가장 적

게 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 불룩한 모양



(a) Single(center) injection at 53°C



(b) Distributed injection at 57°C

Fig. 7. Comparison between simulation of temperature distribution and SiO₂ film etching result.

의 분포를 나타내었다. Fig. 6(c)는 직경을 따라 약액분사 구멍이 40개 있는 Fig. 3(b)의 다공상판으로 식각한 결과이다. 평균 식각량은 약 28Å으로 중앙에서 분사한 값보다는 약 7Å 적게 식각 되었지만, 식각 균일도는 약 15%로 중앙에서 분사한 21% 보다는 약 6% 균일도가 향상되었다. Fig. 6(d)는 57°C DHF로 다공 상판에서 식각한 결과이다. 가장 많이 식각된 부분은 약 79.6Å이고 가장 적게 식각된 부분은 73Å이며 평균 식각량은 분당 76Å이고 균일도는 약 4.3% 이었다.

53°C DHF를 중앙에서 분사하여 식각한 결과와 비교하여 불 때 평균 식각량은 약 10Å 적었지만 균일도는 18%에서 4%로 14%가 향상 되었다. Fig. 7(a)는 중앙에서 53°C 약액을 분사하였을 때의 온도분포 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 증가되었다. 온

도와 식각량의 관계가 선형적이라고 가정하면, 1°C 올라감에 따라서 2.3Å의 식각량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이 값을 Simulation한 온도분포에 대입하면 가장 적인 식각량의 분포가 Fig. 7(a)와 같이 계산된다. Fig. 7(a)에서 보면 계산한 값과 실제 식각량의 분포가 유사한 양상을 나타낸다. Fig. 7(b)도 같은 방법으로 계산하여 Simulation 결과와 비교한 결과이다.

4. 결 론

본 연구는 매엽식 방법에서 boom swing이 없는 간단한 구조로 식각이 가능한지 고찰해 본 것이다. Boom swing이 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 batch식과 boom swing을 하는 매엽식에서 평가한 결과가 없기 때문에 비교하지 못하였다.

본 연구에서 SiO₂막을 식각 할 때 약액의 온도가 중요한 요인으로 작용하는 것을 관찰하였으며, 고온의 약액으로 식각량의 분포를 균일하게 하기 위하여 다공으로 약액을 분사하는 방법을 사용하였다. SiO₂막의 식각량의 분포는 simulation결과에서 약액의 온도분포와 유사한 결과를 나타내었다. 기존의 batch식의 장비에서 평가한 결과와 boom swing을 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 swing이 없어도 되므로 구조가 간단해진다. 둘째, 웨이퍼의 오염을 발생시킬 수 있는 요인을 줄일 수 있다. 셋째, 한번에 양면을 식각할 수 있다. 넷째, 기판의 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. Cheryl A. Deckert, "Pattern Etching of CVD Si₃N₄/SiO₂ Composites HF/Glycerol Mixtures", J. Electrochem. Soc. 127. p.2433, 1980.
2. H. Kikuyama, "A study of the Dissociation state and the SiO₂ Etching Reaction for HF solution of

- Extremely Low Concentration”, J. Electrochem. Soc. 141. p.366, 1994.
3. David J. Monk, “Hydrofluoric Acid Etching of silicon Dioxide Sacrificial Layers”, J. Electrochem. Soc. 141. p.264, 1994.
 4. T. Ohmi, “Metallic Impurities Sequestration at the Interface Between Si wafer and Liquid during Wet Cleaning”, J. Electrochem. Soc. 139. p.3317, 1992.
 5. Takeshi Hattori, “Ultraclean Surface Processing of Silicon Wafers”, Springer, p.42, 1998.
 6. Fluent Inc, “Gambit 2.1 User Guide”, 2003.
 7. J.W Kim, “Coating Characteristics of Photo Resist in a Slit-Coater”, J. KSSET, 3(8), p.41, 2004.