

## 직접가열방식을 이용한 반도체 제조용 히팅장치

정순원\*, 권오준\*\*, 구경완\*\*\*

한국전자통신연구원\*, (주)에티스\*\*, 호서대학교\*\*\*

### A heating apparatus for semiconductor manufacturing using direct heating method

Soon-Won Jung\*, Oh Joen Kwon\*\*, Kyung-Wan Koo\*\*\*

Convergence Components & Materials Research Lab., ETRI\*

ETIS Inc.\*\*, Department of Defense Science & Technology, Hoseo University\*\*\*

**Abstract** - 본 연구는 반도체 기판 히팅 장치의 새로운 구조에 관한 것으로 기판의 바닥면에 밀착된 가열 플레이트층의 직접가열 구조에 따른 빠른 열 응답성 및 열손실 최소화를 이룰 수 있다. 또한 가열 플레이트층에 내장된 히팅 수단인 시즈히터의 접촉면적을 늘려 가열 유효면적 증가와 같은 효과를 갖는다. 이를 위해 감광막이 코팅된 기판과, 상기 기판의 바닥면에 밀착되는 가열 플레이트층, 절연 및 열손실을 최소화하기 위해 상기 가열 플레이트층의 바닥면에 밀착되는 운모층, 상기 운모층의 하부에 밀착되어 바닥 플레이트층으로 이루어지되, 상기 가열 플레이트층은 바닥면 전체에 걸쳐 연속되는 홈부를 형성하고, 상기 홈부로는 기판을 가열하기 위한 시즈히터가 삽입되어 구성된다. 새로운 기판 히팅 구조를 사용하여 시간 경과에 따른 가열 플레이트의 온도 변화를 확인 한 결과, 간접가열방식인 기존 방식에 비해 약 40 %의 전력 절감효과가 있는 것으로 확인 되었다.

#### 1. 서 론

반도체 소자 제조 공정 중에는 웨이퍼나 글래스 기판 위에 수많은 물질층이 증착된다. 많은 물질들이 반복적으로 증착되고 제거되는 과정에서는 오염이나 결함 또는 원하지 않았던 미세구조들이 포함될 수 있다. 이러한 오염이나 결함 등은 일정한 시간동안 일정한 온도에서 기판을 열처리함으로써 감소되거나 또는 제거될 수 있다. 예를 들어 구리(Cu) 막의 경우 열처리 과정에서 원하지 않았던 변화들이 나타나는 성질이 있어, 전혀 예측하지 못했던 저항력, 스트레스, 입자 사이즈, 경도 등의 변화를 초래할 수 있다. 이런 문제점들은 소정의 어닐링(annealing) 공정을 통하여 해결할 수 있다. 또한, 반도체 소자 제조공정에 있어서 많이 사용되어지는 사진식각 공정은 박막 상부에 감광액을 도포하여 감광막을 형성하는 공정, 형성된 감광막을 히팅하고 롤링하는 베이킹 공정, 베이킹 공정이 완료된 감광막 상에 노광 마스크를 배치한 후 전자빔과 같은 광선을 조사하여 노광하는 공정, 노광된 감광막을 현상액을 이용하여 현상하여 감광막 패턴을 형성하는 현상 공정 및 현상된 감광막 패턴에 대하여 히팅 및 롤링하는 베이킹 공정 등으로 구성된다.

상술한 바와 같이 반도체 공정에는 많은 열처리 공정들이 필요하게 되는데, 현재까지의 반도체 기판 히팅 장치는 기판 로딩부의 바닥면에 시즈히터를 내장한 운모층을 구비하여, 운모층을 통해 전달되는 간접열에 의해 기판을 가열하는 구조를 가지는 경우가 대부분이다. 이러한 히팅 구조에서는 2개의 운모층 사이에 열선이 내장되므로, 열전달 효율이 낮은 단점이 있다.

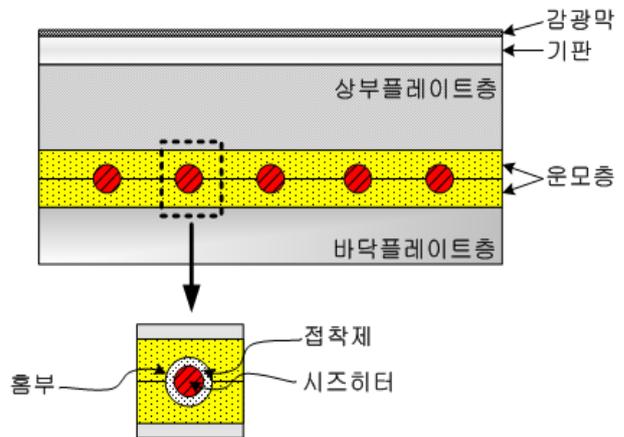
따라서 본 논문에서는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 새로운 반도체 제조용 히팅 장치를 개발하였으며, 그 결과에 대하여 기술한다.

#### 2. 반도체 제조용 히팅 장치

##### 2.1 간접가열방식

그림 1은 기존의 반도체 제조용 히팅 장치의 단면 구조를 나타낸 구성도이다. 그림에서와 같이, 기존의 반도체 제조용 히팅 장치는 감광막이 코팅된 기판을 가열하기 위해 상부 플레이트층과 바닥 플레이트층이 순차적으로 적층되어 구성된다. 이때 운모층은 2개로 분리 구성되며, 상호 밀착되는 면으로는 각각 시즈히터를 내장하기 위한 홈부가 형성되어 있는 구조이다. 홈부 및 시즈히터는 단면이 원형을 취하고 있는 구조이고, 시즈히터는 접착제를 통해 홈부에 고정되는 구조이다. 이러한 구조는 운모층을 통해 시즈히터의 열을 상부 플레이트층으로 전가시켜 기판을 가열

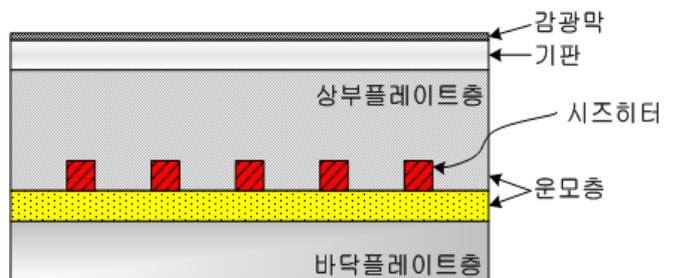
하는 간접 구조방식이기 때문에 절연은 우수하나 충격에 약하고, 내구성, 내습성이 좋지 않고, 열전달이 작아 온도 상승에 제약이 있다. 또한 운모층의 내부에 삽입된 시즈히터는 단면이 원형이므로 가열 유효 면적이 작아 열응답성이 좋지 않기 때문에 전력 소비가 많은 문제점이 있다. 아울러 운모층은 열전달이 좋지 않아 운모층과 시즈히터 사이의 접촉재 성분이 고온에서 기화, 경화, 수축 현상이 발생되어 기공이 생기므로 균일한 온도를 전달하지 못하는 문제점이 있다.



<그림 1> 운모 접촉형 간접가열방식 히팅 장치의 단면도.

##### 2.2 직접가열방식

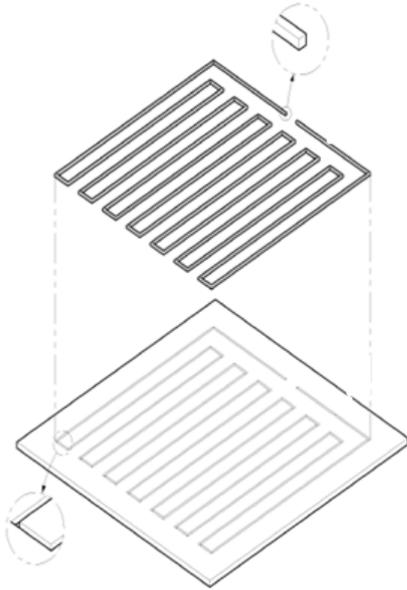
그림 2는 본 연구에서 제안한 반도체 제조용 히팅 장치의 단면 구성도를 보인 것이고, 그림 3은 매몰식 직접가열방식의 바닥 플레이트층 분해 사시도를 보인 것이다. 그림에 나타난 것과 같이, 본 구성은 기존의 운모층에 시즈히터를 내장하는 간접방식이 아닌 운모층의 상부에 배치된 가열 플레이트층을 가열하여 기판을 히팅시키는 직접가열방식을 취하고 있다.



<그림 2> 매몰식 직접가열방식 히팅 장치의 단면도.

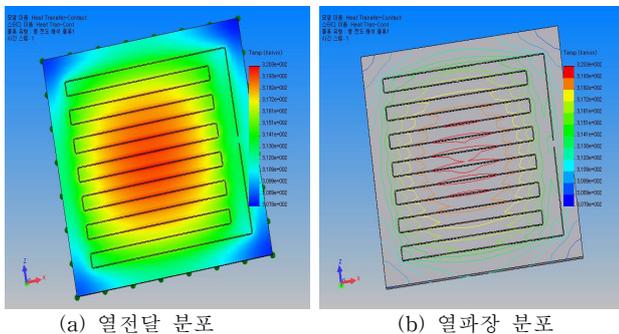
그림에서 가열 플레이트층은 기판을 가열하기 위해 시즈히터가 매몰된 구조인데, 이를 위해 상기 가열 플레이트층은 바닥면 전체에 걸쳐 연속되는 홈부를 형성하고, 상기 홈부로는 기판을 가열하기 위한 시즈히터가 매몰되게 삽입되는 구성이다. 이 때 상기 홈부 및 기판은 기존의 원형 홈 구조와, 원형단면 구조를 갖는 것과는 달리 접촉면적을 증대시켜 열전달효율을 상승시키

기 위해 사각형 구조를 취하고 있다. 이러한 상기 흠부는 그림 3과 같이 가열 플레이트층의 전체로 열을 균일하게 분포시키기 위해 지그재그 형태로 연속되게 형성되는데, 지그재그 배치 형상은 흠부 형성 밀도가 높으면 높을수록 좋기 때문이다. 결국, 시즈히터는 단면적을 작게 하고, 더불어 흠부의 깊이도 낮게 하고, 이와 반대로 흠부의 형성 밀도는 최대화하여 가열 플레이트층의 바닥면에 시즈히터가 최대한 촘촘히 배열될 수 있게 하는 것이 좋다. 더욱 이상적인 것은 열전도가 외각으로 갈수록 나빠짐으로 외각으로 갈수록 점차적으로 촘촘히 배열하는 것이다.



〈그림 3〉 매물식 직접가열방식의 바닥 플레이트층 분해 사시도

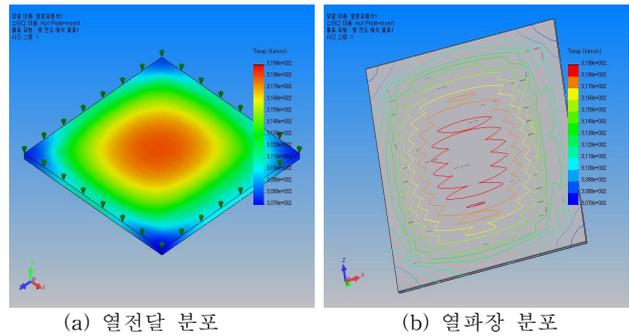
### 3. 결과 및 고찰



〈그림 4〉 접촉형 간접가열 방식 플레이트 구조의 열 분포

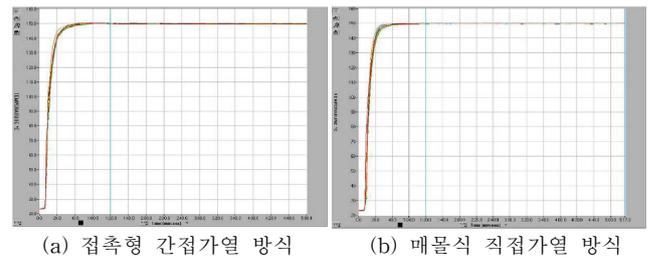
그림 4는 접촉형 간접가열 방식 플레이트 구조의 열 분포를 나타낸 것이다. 접촉된 형상의 열분포를 보면, 전반적으로 해석 결과가 잘 된 것처럼 보인다. 하지만, 유선형으로 처리하여 보면 상기의 그림과 같이 열유속의 현상이 부드럽게 나타나지 않는다. 이와 같이 온도의 분포가 심하게 되면 순간적으로 과도응답이 발생하여 재료의 변형을 가져오게 된다. 특히 원형이 아닌 사각형에서의 온도 분포가 다르게 되어 오랫동안 열변형을 가져오면 재료의 비틀림이 심하게 나타날 수 있다.

그림 5는 매물식 직접가열 방식 플레이트 구조의 열 분포를 보인 것이다. 열과장이 중심부 쪽으로 집중되지 않고 완만하게 분포되어 있다. 열 과장 분포가 자연스러운 등고선을 이루는 열 분포를 알 수 있다. 이와 같이 전반적으로 열 분포가 고르게 되면 열변형으로 인한 제품 변형을 방지할 수 있다. 또한 최저와 최고의 온도 차이가 미미한 것으로 분포되어 있으나, 온도가 상승하게 되면 열변형에 따른 영향은 더욱더 크게 되므로 접촉형과의 비교 시 매물식은 큰 장점을 가지게 된다. 또한 적은 열원으로도 같은 온도 분포를 가져오게 됨으로 열효율이 우수하다고 할 수 있다.



(a) 열전달 분포 (b) 열과장 분포

〈그림 5〉 매물식 직접가열 방식 플레이트 구조의 열 분포



(a) 접촉형 간접가열 방식 (b) 매물식 직접가열 방식

〈그림 6〉 플레이트의 형식에 따른 히팅 장치의 전력소모량

그림 6은 플레이트의 형식에 따른 히팅 장치의 전력소모량을 나타낸 것이다. (a)는 기존의 접촉형 간접가열 방식을 이용한 경우인데, 790 W의 전력을 사용하여 시간 경과에 따른 상부 플레이트의 온도변화를 나타낸 것이다. (b)는 본 연구에서 제안한 매물식 직접가열방식을 이용한 경우로서, 346 W의 전력을 사용하여 시간 경과에 따른 가열 플레이트의 온도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 같은 시간에 같은 온도분포로 볼 때, 본 연구에서 개발된 히팅 장치의 경우 약 40%의 전력이 절약되는 것으로 확인되었다.

### 4. 결 론

이상에서와 같이 본 연구에 따른 반도체 제조용 히팅 장치에 의하면, 기관의 바닥면에 밀착된 가열 플레이트층의 직접가열 구조에 따른 빠른 열 응답성 및 열손실 최소화할 이룰 수 있으며, 또한 가열 플레이트층에 내장된 히팅 수단인 시즈히터의 접촉면적을 늘려 가열 유효면적 증가와 같은 효과가 있다. 또한 시즈히터의 끼움 결합방식으로 접착제가 필요없기 때문에 접착제 성분이 고온에서 기화, 경화, 수축 현상에 따른 기공으로 균일한 온도를 전달하지 못하는 문제점을 방지할 수 있는 특징이 있다. 가열 플레이트층의 직접가열방식과, 시즈히터의 끼움결합구조, 시즈히터 및 흠부의 사각형상 구조에 따라 열전달효율이 증대됨으로 동일전력대비 히팅효과가 최대한 증대됨으로 히팅 공정시간의 단축과 반도체 생산 수율이 증대되는 효과가 있다.

### 〈참 고 문 헌〉

[1]S. Hirasawa, S. Ito, "Analytical study of thermal control method to minimize temperature change of a plate with changing heat generation", Proceedings of the ASME/JSME Thermal Engineering Summer Heat Transfer Conference - HT 2007, Vol. 3, pp. 169-173, 2007  
 [2]K. J. Daun, J. R. Howell, and D. P. Morton, "Optimization of Transient Heater Settings to Provide Spatially Uniform Heating in Manufacturing Processes Involving Radiant Heating", Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 46, pp. 651 - 667, 2004  
 [3]E. Rooy, "Isothermal melting process offers 70% energy savings", Light Metal Age, Vol. 65, pp. 46-51, 2007