직접 가열 방식을 이용한 반도체 제조용 히팅 장치

論 文
57P-4-11

A Heating Apparatus for Semiconductor Manufacturing using Direct Heating Method

鄭 焞 元* · 丘 庚 完†
(Soon-Won Jung · Kyung-Wan Koo)

Abstract – As to this research is new structure of the semiconductor substrate heating apparatus. The fast thermoresponsive according to the direct heating structure of the heating plate layer adhering closely to the floor side of a substrate and the fast heat loss minimization can be accomplished. Moreover, the contact area of the sheath heater, which is the heating plate layer built-in heating apparatus, is increased, so that it has more heating valid area. For this, it adheres closely to the substrate, in which the photosensitive film is coated and the heating plate layer, adhering closely to the floor side of a substrate the mica layer which adheres closely to the floor side of the upper heating plate layer in order to minimize an insulation and heat loss, and the lower part of the mica layer and it is comprised of the floor plate layer. The heating plate layer forms the continued groove portion over the floor side whole. The sheath heater for heating a substrate is inserted with the groove portion and the heating plate layer is comprised. It is confirmed that by using the new substrate heating structure, the temperature change of the heating plate against the time is observed. Then, there is the electric power saving effect of about 40 % in comparison with the existing method.

Key Words : Direct Heating, Power Saving, Substrate Heating Apparatus, Sheath Heater

1. 서 론

평면 디스플레이 시장은 급격한 성장을 이루고 있으며, 특히 LCD 의 경우 국내 제조업체가 세계를 선도하고 있다. 그러나, 국내 LCD 모듈에 적용되는 각종 소재 및 전자 필름의 대부분은 일본, 미국 등의 선진국으로부터의 수입에 의존하고 있는 실정이다. 뛰어난 생산능력과 양산기술을 보유하고 있으면서 세계시장을 지배하고 있지만, 부품 · 소재 분야에서는 선진국에 비해 많이 뒤쳐져 있는 것이 현실이다. 이러한 현실적 상황에서 평판디스플레이 시장에서 지속적으로 주도권을 형성하기 위해서는 부품 · 소재의 가격 경쟁력이 필수불가결한 전제조건이 될 것이며, 이 분야의 원가경쟁력이 있는 제품의 원활한 국내생산은 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 반도체 기판 히팅 장치[1-7]의 새로운 구조의 개발을 목적으로, 기판의 바닥면에 밀착된 가열 플레이트층의 직접가열 구조에 따른 빠른 열 응답성 및 열손실 최소화를 이룰 수 있는 새로운 구조를 제시하고자 한다. 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 쿨링하는 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 쿨링하는 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 2 개의 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.

* 正 會 員 : ETRI 융합부품·소재연구부문 Post-Doc. · 工博
† 교신저자, 正會員 : 湖西大學校 國防科學技術學科 副敎授 · 工博
E-mail: alarmkoo@hoseo.edu
接受日字 : 2008年 9月 4日
最終完了 : 2008年 10月 7日

2. 반도체 제조용 히팅 장치

2.1 개발 목표 및 재료 선택

LCD 장비의 대형화 추세에 맞추어 핫 플레이트나 쿨 플레이트에 사용되는 원판 플레이트를 개발하는 것을 목표로 하여 연구를 진행하였다. 개발하고자 하는 LCD 용 플레이트의 사양 및 성능을 간단하게 살펴보면, 플레이트 모듈 평탄도는 ± 250 ㎛ 이하 이고, 제어 온도범위는 23-200 ℃이다. 온도균일도는 104 ℃에서 3 ℃ 이하이다. 적용 재료의 요구 특성으로는 기구적 응력이나 열변형에 최적 소재를 선택하였다. 표 1에 플레이트의 사양을 정리하였다.

반도체 웨이퍼 포토 가공공정에서와 같이 LCD용 핫/쿨 플레이트의 사용온도가 20-130 ℃ 범위에서 LCD 글래스를 가열하거나 냉각 역할을 하므로, 재료의 선정에 있어서 열전도성이 크고, 가공이 용이하며, 저렴한 소재를 기준으로 설정하였다. 일반적으로 열전도성이 우수하고, 기계 가공성이 양호하며 저렴한 금속으로는 알루미늄을 들 수 있다. 본 과제에서는 플레이트의 기본 소재로 알루미늄 6061로 선정하였다. 알루미늄 6061 재료의 장점과 단점은 표 2에 정리하여 나타내었다.

표 1 LCD용 플레이트의 사양.
Table 1 The specification of the plate for LCD.

사 양	성 능
온도 균일도	Range ≤ 3 ℃ @ 104 ℃ (Test Glass 16 Point PT 100 Ω Sensor)
플레이트 평탄도	±250 μm
제어온도범위	23-200 ℃
적용 재료	기구적 응력이나 열변형에 최적 소재
시험 적용 분야	온도균일도(Range ≤ 3 ℃ at 104 ℃)

표 2 알루미늄의 특성.
Table 2 Characteristic of an aluminium.

경량성	알루미늄의 비중은 2.7로서 철(7.8)이나 동(8.9)과 비교하면 약 1/3 수준임.
내식성	알루미늄은 공기중의 산소와 반응하여 표면에 얇고 치밀한 산화 피막을 생성해 부식을 방지.
가공성	알루미늄은 소성가공이 하기 쉽고, 다양한 형상에 성형하는 것이 가능.
열, 전기 전도성	열 전달은 철의 5배, 전기전도도는 구리의 60 % 수준.
비자성	알루미늄은 비자성체로, 자장에 영향을 받지 않음.
저온 강도	저온에 강하다. 액체 질소(-196 ℃)나 액체 산소(-183 ℃)의 극저온 하에서도 취성 파괴가 없다.

2.2 간접 가열 방식

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 접착재를 통해 홈부에 고정되는 구조이다. 이러한 구조는 운모층을 통해 시즈히터의 열을 상부 플레이트층으로 전가시켜 기판을 가열하는 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 접착재 성분이 고온에서 기화, 경화, 수축 현상이 발생되어 기공이 생기므로 균일한 온도를 전달하지 못하는 문제점이 있다.

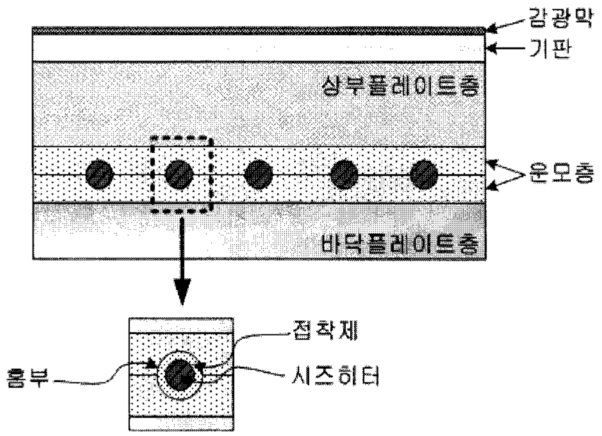


그림 1 운모 접촉형 간접가열방식 히팅 장치의 단면도.
Fig. 1 Cross-sectional view of the mica contact type indirect heating method heating apparatus.

2.3 직접 가열 방식

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

그림에서 가열 플레이트층은 기판을 가열하기 위해 시즈히터가 매몰된 구조인데, 이를 위해 상기 가열 플레이트층은 바닥면 전체에 걸쳐 연속되는 홈부를 형성하고, 상기 홈부로는

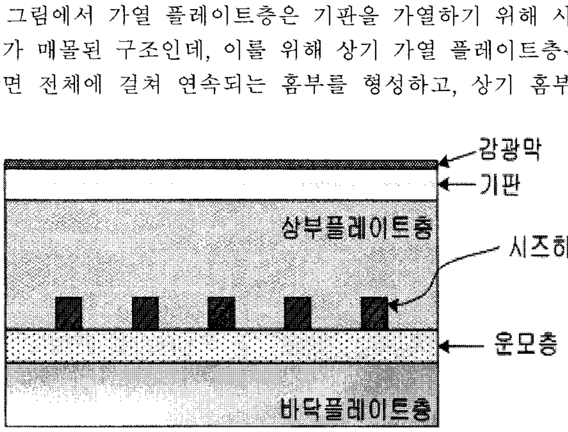


그림 2 직접가열방식 히팅 장치의 단면도.
Fig. 2 Cross-sectional view of the direct heating method heating apparatus.

기판을 가열하기 위한 시즈히터가 매몰되게 삽입되는 구성이다. 이 때 상기 홈부 및 기판은 기존의 원형 홈 구조와, 원형 단면 구조를 갖는 것과는 달리 접촉면적을 증대시켜 열전달 효율을 상승시키기 위해 사각형 구조를 취하고 있다. 이러한 상기 홈부는 그림 3과 같이 가열 플레이트층의 전체로 열을 균일하게 분포시키기 위해 지그재그 형태로 연속되게 형성되는데, 지그재그 배치 형상은 홈부 형성 밀도가 높으면 높을수록 좋기 때문이다. 결국, 시즈히터는 단면적을 작게 하고, 더불어 홈부의 깊이도 낮게 하고, 이와 반대로 홈부의 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.

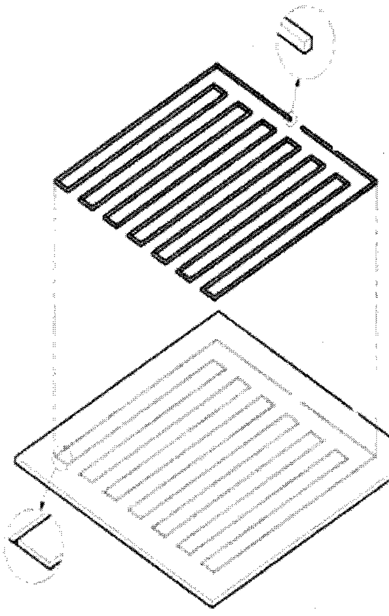
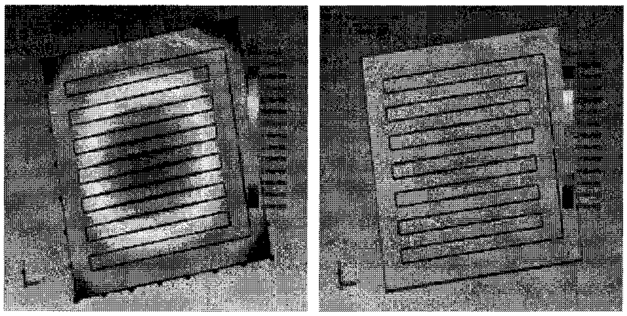


그림 3 직접가열방식의 바닥플레이트층 분해 사시도.
Fig. 3 Floor plate layer disassembled perspective view of the direct heating method.

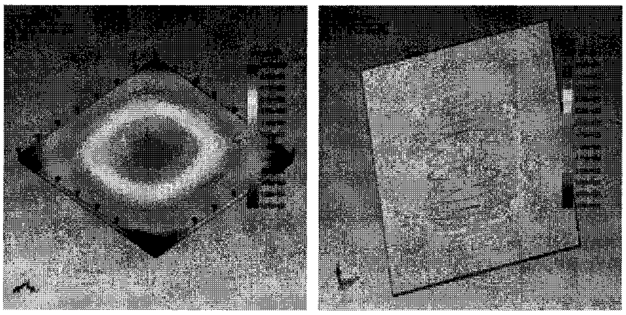
3. 결과 및 고찰

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.

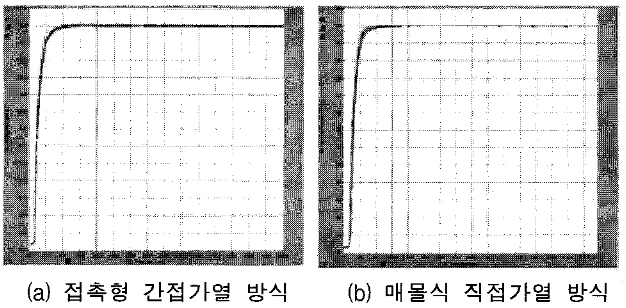
그림 5는 매몰식 직접가열 방식 플레이트 구조의 열 분포를 보인 것이다. 열파장이 중심부 쪽으로 집중되지 않고 완만하게 분포되어 있다. 열 파장 분포가 자연스러운 등고선을 이루는 열분포를 알 수 있다. 이와 같이 전반적으로 열 분포가 고르게 되면 열변형으로 인한 제품 변형을 방지할 수 있다. 또한 최저와 최고의 온도 차이가 미미한 것으로 분포되어 있으나, 온도가 상승하게 되면 열변형에 따른 영향은 더욱 더 크게 되므로 접촉형과의 비교 시 매립형은 큰 장점을 가지게 된다. 또한 적은 열원으로도 같은 온도 분포를 가져오게 됨으로 열효율이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



(a) 열전달 분포 (b) 열파장 분포
그림 4 접촉형 간접가열 방식 플레이트 구조의 열 분포.
Fig. 4 Heat distribution of the contact type indirect heating method plate structure.



(a) 열전달 분포 (b) 열파장 분포
그림 5 직접가열 방식 플레이트 구조의 열 분포.
Fig. 5 Heat distribution of the direct heating method plate structure.



(a) 접촉형 간접가열 방식 (b) 매몰식 직접가열 방식
그림 6 플레이트의 형식에 따른 히팅 장치의 전력소모량.
Fig. 6 Power consumption of the heating apparatus according to the format of the plate.

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 매몰식 직접가열방식을 이용한 경우로서, 346 W

의 전력을 사용하여 시간 경과에 따른 가열 플레이트의 온도 변화를 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

본 연구에 따른 반도체 제조용 히팅 장치에 의하면, 기판의 바닥면에 밀착된 가열 플레이트층의 직접가열 구조에 따른 빠른 열 응답성 및 열손실 최소화를 이룰 수 있으며, 또한 가열 플레이트층에 내장된 히팅 수단인 시즈히터의 접촉면적을 늘려 가열 유효면적 증가와 같은 효과가 있다. 또한 시즈히터의 끼움 결합방식으로 접착재가 필요없기 때문에 접착재 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 홈부의 사각형상 구조에 따라 열전달효율이 증대됨으로 동일전력대비 히팅효과가 최대한 증대됨으로 히팅 공정시간의 단축과 반도체 생산 수율이 증대되는 효과가 있다.

참 고 문 헌

[1] B. J. Wrona, E. Johanson, "Development of direct electrical heating apparatus to study the response of nuclear fuels to applied transients", Nuclear Technology, Vol. 29, Issue 3, pp. 433-442, 1976.

[2] T. Abe, N. Miyamoto, "DEVELOPMENT OF NEW SUBSTRATE HEATING-APPARATUS FOR MOLECULAR BEAM EPITAXY", Tohoku Kogyo Daigaku kiyo. Series 1, Rikogaku-hen, Issue 8, pp. 185-188, 1998.

[3] G. Hilimana, P. Infeltab, "A novel apparatus for the uniform heating of substrates during post expose bake", Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, Vol. 5039 II, pp. 1319-1326, 2003.

[4] 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.

[5] M. Girtan, P. O. Logeraisa, L. Avrila, F. Gonzzattib, A. Boutevillea, "THERMAL PROFILE EVALUATION OF A SILICON WAFER IN THE APPARATUS FOR RAPID THERMAL CHEMICAL VAPOUR DEPOSITION", Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 7, No. 2, pp. 665-670, 2005.

[6] 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.

[7] E. Rooy, "Isothermal melting process offers 70% energy savings", Light Metal Age, Vol. 65, pp. 46-51, 2007.

저 자 소 개

정 순 원 (鄭 焞 元)
1998년 2월 영동대학교 정보·전자공학부(공학사). 2000년 2월 청주대학교 전자공학과(공학석사). 2004년 2월 청주대학교 전자공학과(공학박사). 2006년 3월-2007년 2월:영동대학교 컴퓨터공학과 전임강사. 2007년 3월-현재:한국전자통신연구원 융합부품·소재연구부문 Post-Doc.
Tel : 042-860-6386
E-mail : jungsoonwon@etri.re.kr

구 경 완 (丘 庚 完)
1983년 2월 충남대학교 전자공학과(공학사). 1985년 2월 충남대학교 전자공학과(공학석사). 1992년 2월 충남대학교 전자공학과(공학박사). 1998년 2월-1999년 2월 일본 우츠노미야대학 박사후 연구. 1987년 6월-1989년 2월:현대전자 반도체연구소 선임연구원. 1989년 3월-1994년 2월 충청전문대학 전자과 조교수. 1994년 3월-2005년 2월 영동대학교 전자・정보공학부 부교수. 2005년 3월-현재 호서대학교 국방과학기술학과 부교수
Tel : 041-540-9541
E-mail : alarmkoo@hoseo.edu