

논문 2008-45SD-8-2

반도체 웨이퍼의 스트레스 측정을 위한 공정 및 표면 검사시스템 구현

(Implementation of process and surface inspection system for
semiconductor wafer stress measurement)

조 태 익*, 오 도 창*

(Tae-Ik Cho and Do-Chang Oh)

요 약

본 논문에서는 먼저 RTP(Rapid Thermal Processor) 장치를 스트레스 측정에 용이한 구조로 제작하고 PC에서 통합 공정관리 시스템을 설계하였다. 다음으로는 Large deformation 이론을 바탕으로 반도체 웨이퍼 표면의 변형검사를 위한 레이저 인터페로미터를 구성하였다. 궁극적으로 이러한 레이저장치로부터 웨이퍼 표면의 영상을 추출하고 세션화, 블록화 그리고 스트레스 분포도의 순서로 영상처리 하여 스트레스로 인한 웨이퍼 표면의 변형을 검사하였다. 실험을 하기 위해 변형이 이루어지도록 웨이퍼의 후면을 1mm정도 갈아낸 후 약 1000도에서 3~4회 열처리를 수행하였으며, 열처리를 가한 영상과 가하지 않은 영상을 통하여 웨이퍼 열처리 후 심각한 변형이 이루어졌음을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, firstly we made of the rapid thermal processor equipment with the specifically useful structure to measure wafer stress. Secondly we made of the laser interferometry to inspect the wafer surface curvature based on the large deformation theory. And then the wafer surface fringe image was obtained by experiment, and the full field stress distribution of wafer surface comes into view by signal processing with thinning and pitch mapping. After wafer was ground by 1mm and polished from the back side to get easily deformation, and it was heated by three to four times thermal treatments at about 1000 degree temperature. Finally the severe deformation between wafer before and after the heat treatment was shown.

Keywords: Rapid Thermal Processing, coherent gradient sensing, large deformation, bifurcation, stress

I. 서 론

소형화 및 보다 효율적인 컴퓨터 칩 제조를 위한 요구가 초소형 전자산업을 자극하였고 더 많은 수의 칩이 제조될 수 있는 대구경 실리콘 웨이퍼를 점차적으로 생산하게 되었다. 21세기를 시작하면서 반도체산업은 현재의 200mm 웨이퍼를 대신하여 300mm 직경의 웨이퍼 제조에 유용한 새로운 장비의 연구가 활발히 진행되고

있다.^[1~3] 이러한 웨이퍼 직경의 증가는 제조 공정 중에 발생하는 스트레스로 인한 웨이퍼 변형에 매우 심각한 영향을 주고 있다. 웨이퍼 제조 공정을 안정화 시키고 제품의 수율을 증대시키기 위하여서는 이와 같은 제조 공정 열처리 과정에서 발생하는 웨이퍼의 변형, 특히 기존의 stony 방정식으로 해석이 되지 않는 Large Deformation 과정을 분석하여야 할 필요성이 매우 크게 제시되고 있다.^[4]

본 논문에서는 먼저 반도체 열처리 공정과정^[5~6]에서 필요한 RTP 공정시스템을 스트레스측정이 적합하도록 제작하고, 이를 PC에서 통합적으로 관리하기 위한 공정관리 시스템을 설계하며 PC를 이용하여 통합관리한다.

* 정희원, 건양대학교 정보전자공학과
(Department of Electronics and Information,
Konyang University).
접수일자: 2008년1월16일, 수정완료일: 2008년8월1일

다음은 Large deformation 이론을 바탕으로 반도체 웨이퍼 표면의 변형검사를 위한 레이저 인터페로미터를 구성한다. 궁극적으로 이러한 장치로부터 웨이퍼 표면의 영상을 추출하고 영상처리를 통하여 스트레스로 인한 웨이퍼 표면의 변형을 검사하고자 한다.

II. 본 론

1. 장치 구성

가. 고속 고온 열처리 공정 장치

열처리 과정에 꼭 필요한 RTP 장치의 구조는 그림 1과 같다. 그림 1의 공정장치 구조에서 히터는 1.5kw급의 할로젠 램프를 10개 사용하였고, 알루미늄 재질의 챔버와 아래쪽 제어 박스로 구성이 되어 있다. 또한 챔버 위쪽으로 quartz가 설치되어 있고, 그 위로 스트레스 측정을 위한 레이저 카메라가 배치되어 있다. 웨이퍼 받침장치는 정확한 스트레스측정을 위하여 회전이 가능하도록 구동장치와 회전판으로 구성되어 있다. Host PC에서 전체적으로 RTP 공정 관리 시스템을 통하여 데이터 관리와 제어 신호들을 보내고 받는다. 전체적인 제어블록도는 그림 2와 같으며 SCR을 통한 Heater의 온도제어는 PID(Proportional-Integrate-Differential) 제어로 구현을 하였고, 진공과 N2, Water, Air의 흐름을 위한 별도의 MFC 제어기를 두었다.

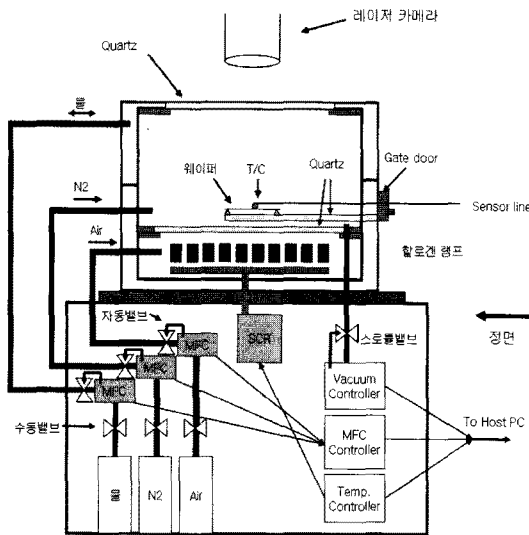


그림 1. 스트레스 측정을 위한 고속 고온 공정장치 구조
Fig. 1. High speed, high temperature processing system structure for stress measurement.

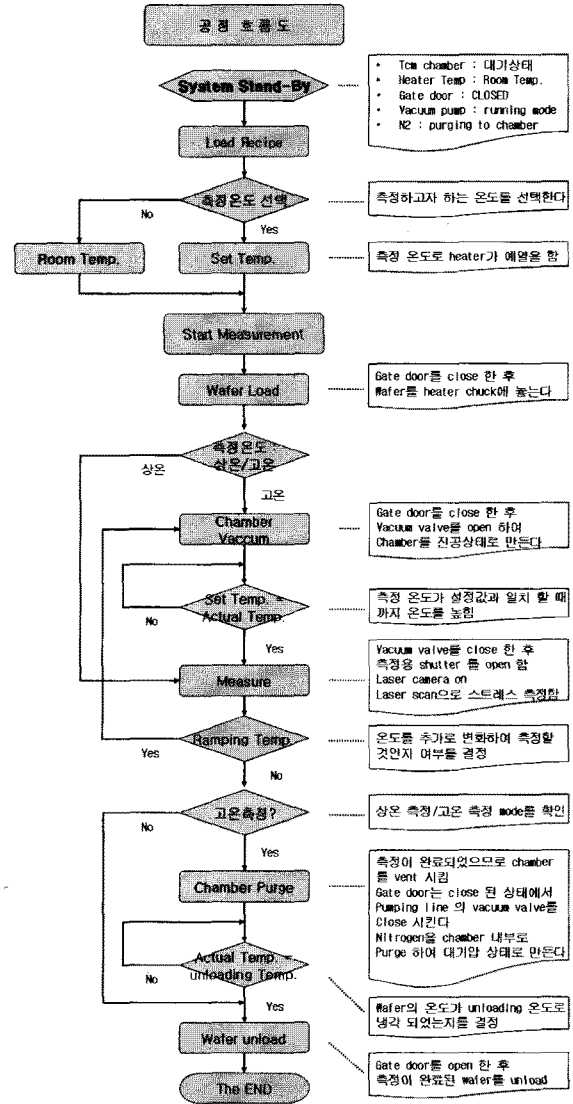


그림 2. 스트레스 측정을 위한 공정흐름도
Fig. 2. Processing flowchart for stress measurement.

나. 레이저를 이용한 CGS 인터페로메트리 장치
웨이퍼 표면의 변형검사를 위해 영상을 추출하기 위한 Coherent Gradient Sensing(CGS) Interferometry 장치의 구조는 아래 그림 3과 같다. 간섭성의 평행준준된 (coherent collimated) 레이저 빔이 beam splitter를 통해 거울같이 반영하는 시료 표면에 직접적으로 반사된다. 시료로부터 반사된 빔은 다음으로 beam splitter를 통과하고 한쌍의 동일한 고밀도(80lines/mm) grating G1과 G2(둘 사이의 간격은 Δ, 실험에서 80mm)에 투입된다. 두 grating으로부터 회절된 순차점들은 filtering lens를 이용하여 공간적으로 필터링되고 서로 다른 회절점들을 형성하게 된다. 이 필터 plane에 위치한 구멍은 관심있는 회절점을 필터링하고 이것은 평면위에 영상으로 나타난다.

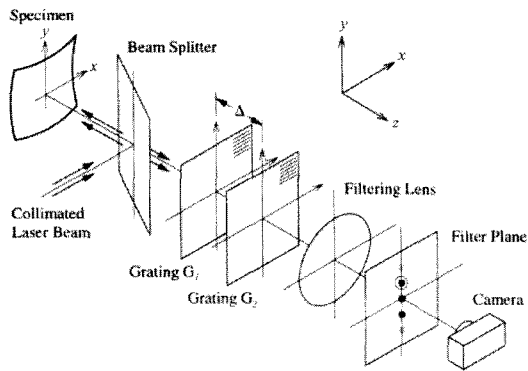


그림 3. CGS Interferometry 장치의 구조
Fig. 3. The structure of CGS Interferometry.

2. 스트레스 측정의 이론적 배경

아래 식 (1)은 CGS interferogram으로부터 곡률 인장계 (curvature tensor fields), 즉 $K_{\alpha\beta}(x,y)$ ($\alpha, \beta \in \{x, y\}$)를 결정하는 주요 지배식이다. 또한 n^α 는 α 방향, $\alpha \in \{x, y\}$ 을 따라 전단솔림으로 관측되는 플린지(fringe)를 나타낸다. 여기서 대칭적인 곡률 인장, $K_{\alpha\beta}$ (여기서 $\alpha, \beta \in \{x, y\}$)는 보통의 곡률을 나타내는 독립적 요소 K_{xx} 와 K_{yy} 와 뒤틀림 곡률을 나타내는 독립적 요소 K_{xy} 를 포함한다.

$$K_{\alpha\beta} \approx \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial \alpha \partial \beta} \approx \frac{p}{2\Delta} \left(\frac{\partial n^{(\alpha)}(x,y)}{\partial \beta} \right),$$

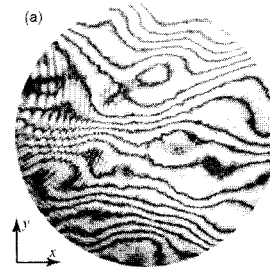
$$n^{(\alpha)} = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

CGS 기술로부터 두개의 독립적인 표면밖으로의 변위 gradient field를 얻은 후, 3개의 full-field curvature 독립요소 map을 구성하기 위해, Matlab 프로그램을 활용하여 이 gradient fields에 대한 수치적인 미분을 취해 준다.

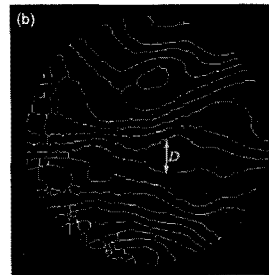
그림 4는 Si 기판위에 필름의 중심에서 직경 52mm 영역의 slope interferogram의 예이다^[1]. 관찰되는 필드를 가로질러 fringe 밀도의 변화는 표면의 곡률 변화를 코딩한 것이다.

디지털 영상처리 기술을 이용하여 interferogram으로부터 자동적으로 fringe 밀도의 map을 얻게 된다. 이는 Morphological Processing Algorithm(MPA)에 의해 3가지 단계를 거친다.

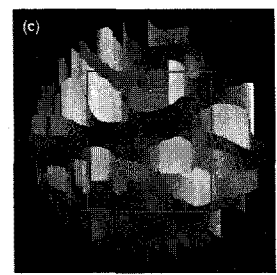
첫 번째 단계에서 그림 4(a)에서 단일 픽셀 너비의 라인들의 집합에 의해서 fringe들의 어두운 영역을 나타내는 것이다. 계속해서 하나의 문턱 분류 기술을 이



(a) CGS interferogram의 fringe 영상



(b) 세선화



(c) 블록화

그림 4. Fringe의 세선화 및 블록화 영상
Fig. 4. Thining and blocking image of fringe.

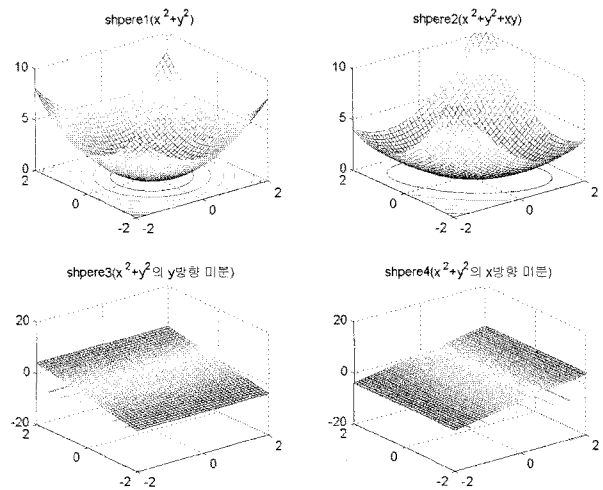


그림 5. $K_x=K_y, K_{xy}=0$ 일 경우(구형굴곡의 경우)
Fig. 5. The case of $K_x=K_y, K_{xy}=0$ (shpere).

용하여 interferogram을 구성하는 픽셀들을 그것의 밝기 값에 따라 두개의 subgroup으로 나누게 된다. 이 문턱분류 기술을 통하여, 그림 4(b)에서 어두운 영역은 이진 영상에서 1의 값, 즉 full brightness 값을 가지게 된다. 또한 일련의 MPA를 적용하여 그림 4(c)의 블록화 영상을 얻게 된다^[7]. 그림 3에서 표면위의 한 점에서의 곡률은 요소가 x-y 평면이 기준평면이고 표면의 지형은 $z = f(x, y)$ 로 측정되며, Mohr's Circle에 의해 곡률 요소-fringe의 관계는 수치적 예제를 통해서 아래와

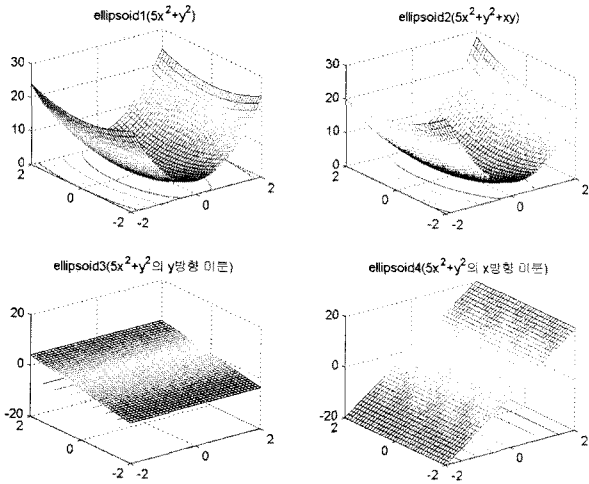


그림 6. $Kx > Ky, Kx, Ky > 0$ 경우(타원형의 굴곡의 경우)
 Fig. 6. The case of $Kx > Ky, Kx, Ky > 0$ (ellipsoid).

그림 5, 6과 같이 표현될 수 있다.

그림 5와 6에서 보듯이 구형곡률일때는 직각 방향의 곡률에 대한 fringe가 동일한 밀도를 가지나, 타원형곡률일때는 두 방향의 플린지 밀도가 서로 다르다. 따라서 실험에서는 열처리를 하지 않은 웨이퍼와 열처리한 웨이퍼에 대해 곡률의 모양이 구형을 유지하는지 또는 타원형으로 변화하는지 확인한다. 즉 두 수직 방향의 평균 곡률밀도가 큰 차이를 보인다면 이미 타원형으로 변화되었으며 bifurcation이 일어난 것으로 판단할 수 있다.

III. 실험

실험을 위해 스트레스측정을 위한 반도체 RTP 장비와 heater power 제어기 및 레이저 측정장비를 직접 설계하여 제작하였다.

아래의 그림 8은 고속 온도제어와 각 유틸리티의 흐

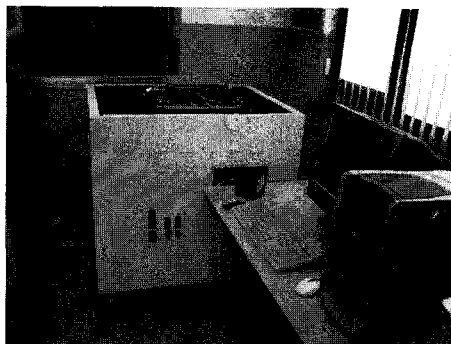


그림 7. 스트레스 측정을 위한 RTP
 Fig. 7. RTP for stress measurement.

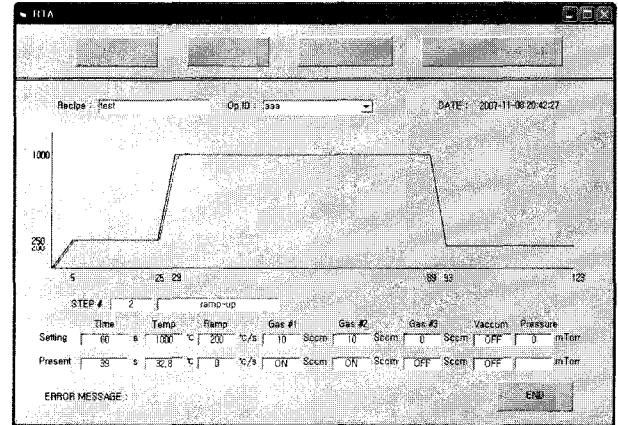


그림 8. 고속 온도제어와 각 유틸리티의 흐름제어를 위한 통합 열처리 관리 시스템의 운전 화면
 Fig. 8. The operating display of management system for unified heating treatment flow control.

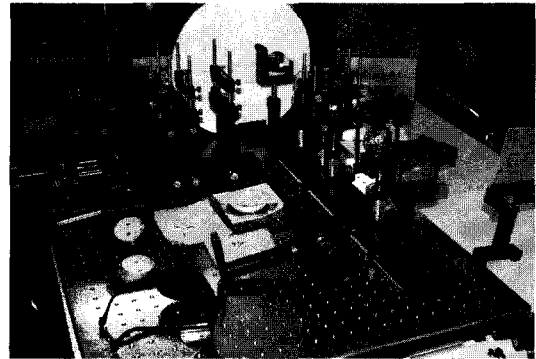


그림 9. 실험을 위한 CGS interferometry 장치의 구성
 Fig. 9. CGS interferometry system for experiment.

름제어를 할 수 있는 고속 열처리 통합 관리 시스템의 운전 화면을 캡처한 그림이다. 16스텝의 recipe를 가지고 있고 사용자마다 무한의 recipe를 관리 할 수 있다. 또한 그래프로 설정값(검정색 라인)을 확인하고 현재값(빨간색 라인)을 확인할 수 있어 현재 챔버안의 온도를 확인할 수 있을뿐더러 진행상황을 알 수 있게 아래 설정값과 현재값을 비교해 볼 수 있도록 했다. 공정이 끝나면 로그파일로 설정값 대 현재값이 저장되어 언제든지 불러와서 다시 볼 수 있게 하였다.

궁극적으로는 RTP의 온도공정을 설계하고 실시간으로 레이저 영상을 받아 처리하는 장치를 구성하는 것이 바람직하나, 레이저장치의 소형화, 진동 강인성의 기술적 문제, 또한 이와 관련된 막대한 비용의 문제로 인해 RTP장치와 인터페로미터리 장치를 구조적으로 결합하여 수행하지는 못하였고, 이 논문에서는 먼저 RTP를 통해 온도공정을 수행 후 레이저 장치로 검사를 수행하였다. 실제로 실험을 위한 광학장치는 그림 9에 나타나 있으며, 향후 실시간 측정을 위해 지속적으로 장



(a) κ_{xx} fringe (b) κ_{yy} fringe

그림 10. 열처리를 가하지 않은 웨이퍼의 CGS interferogram

Fig. 10. CGS interferogram of wafer before heating.



(a) κ_{xx} fringe (b) κ_{yy} fringe

그림 11. 열처리를 가한 웨이퍼 CGS interferogram

Fig. 11. CGS interferogram of wafer after heating.

치를 개선할 것이다.

실험을 하기 위해 Large Deformation 변형이 잘 이루어지도록 웨이퍼의 후면을 약 1mm 정도 갈아낸 후 1000도에서 3~4회 열처리를 한 웨이퍼와 열처리를 가하지 않은 웨이퍼의 영상을 보이고 있다.

그림 10에서는 두 주방향에서 평균 fringe 밀도가 비슷하다. 반면 그림 11의 웨이퍼는 (a) κ_x fringe의 수가 (b) κ_y fringe 수에 비해서 하나의 주방향에서 현격하게 증가되어 있음을 알 수 있다. 그래서 변형이 열처리를 가한 웨이퍼에서 발생되었고 평형상태의 모양은 구형에서 타원형으로 변형되었음을 관찰할 수 있다.

지역적인 pitch 맵은 인접한 fringe들 사이의 수직공간 (vertical spacing) D 를 측정하므로써 구성된다. 한 점의 밝기 레벨은 그 점에서 가장 가까운 한쌍의 fringe 사이의 공간거리에 비례한다. 특별히, 거리가 멀수록 그 점은 더 밝게 된다. 그러므로 그림 12와 13에서의 영상은 전체영역에 걸쳐 y 방향으로 인접한 fringe들 사이의 수직공간을 보여주는 하나의 pitch map이다.

Fringe 밀도와 동일한 Inverse pitch map은 식 (1)에서 나타난 것처럼 $p/2\Delta$ 만큼 계속 곱하기 하므로써 그

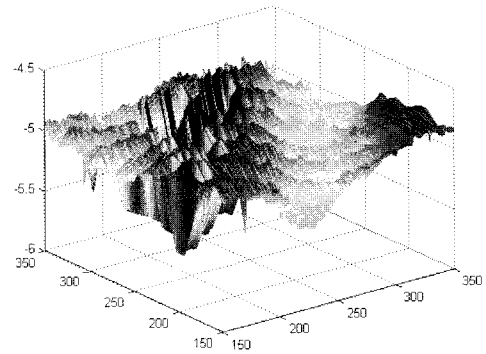


그림 12. 열처리를 가한 웨이퍼의 로그스케일의 스트레스 분포도 영상

Fig. 12. The stress distribution map of wafer after heating.

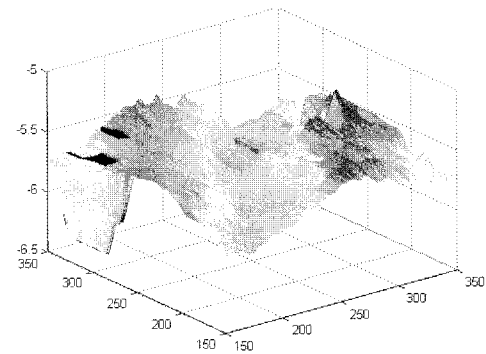


그림 13. 열처리를 가하지 않은 웨이퍼의 로그스케일의 스트레스 분포도 영상

Fig. 13. The stress distribution map of wafer before heating.

그림 12, 13과 같이 원하는 full-field map을 제공하게 된다. 이 곡률 map은 웨이퍼를 가로질러 수직적인 직접 곡률 요소 κ_y 에 대한 정보를 얻을 수 있도록 해 준다. 비슷한 방법으로 fringe들 사이의 수평 거리에 대응하는 pitch map은 shear curvature component인 κ_{xy} 의 map을 제공하게 된다.

그림 12는 그림 10의 일부분을 로그스케일로 smooth 효과를 주어 영상처리 한 것으로 스트레스가 중앙에 나타난 것을 볼 수 있다.

그림 13은 그림 11의 일부분을 로그스케일로 smooth 효과를 주어 영상처리 한 것이다. 안정적으로 분포하고 있음을 확인할 수 있다.

추가적으로 만약 수평 slope map 즉 $\partial f/\partial x$ 가 시작점으로써 이용되면 동일한 과정으로 κ_x 와 κ_{yx} 의 map을 얻을 수 있다. $\kappa_{xy} = \kappa_{yx}$ 임을 상기하면, 양 slope interferogram은 독립적인 곡률 요소 κ_x 와 κ_y 및 κ_{xy} 를

얻기 위해 필요하다. 이것은 full curvature tensor를 결정하고 따라서 실리콘 웨이퍼 표면의 덮혀진 박막 필름 구조위에서 받는 full stress 분포를 결정하게 된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 웨이퍼 스트레스 측정에 알맞은 고속 온도제어기를 포함하는 RTP 장치, 레이저 인터페로미터 장치 제작하였고, 이를 통합관리하는 시스템을 설계하였다. 실험에서 변형을 용이하게 이루도록 후면을 같은 웨이퍼를 대상으로 제작된 RTP 장치의 온도공정 전후의 large deformation을 검출할 수 있음을 보였다. 이를 위해 변형전의 웨이퍼와 변형된 웨이퍼의 CGS interferometry의 시스템을 통해 영상을 검출하고, 세션화, 블록화, 스트레스 분포도 까지 영상처리하여 비교 분석 하였다. 앞으로의 연구에서는 변형과정을 직접 확인 할 수 있게 RTP의 공정 중에 영상을 검출하여 분석할 수 있는 실시간 영상 획득과 실시간 영상처리등의 연구가 필요하다. 이를 위해 우선 레이저 광학 장치의 소형화와 RTP와의 결합시 제진의 문제가 해결되어야 하고, 스트레스 측정 알고리즘에 따라 정확한 측정이 이루어지도록 웨이퍼 회전판 구동장치가 추가되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] T.-S. Park, S. Suresh, A.J. Rosakis, J. Ryu. "Measurement of Full-Field Curvature and Geometrical Instability of Thin Film-Substrate Systems Through CGS Interferometry," J. Mech. Phys. Solids, Dec. 2003.
- [2] A. J. Rosakis, R. P. Singh, Y. Tsuji, E. Kolawa, N. R. Moore Jr., "Full field measurements of curvature using coherent gradient sensing: Application to thin film characterization," Thin Solid Films, 325, 42-54. 1998.
- [3] H. V. Tippur, "Simultaneous and real-time measurement of slope and curvature fringes in thin structures using shearing interferometry," Optical Engineering Vol. 43, No. 12, Dec. 2004.
- [4] Finot, M., Blech, I. A., Suresh, S., Fujimoto, H. Large deformation and geometric instability of substrates with thin-film deposits. J. Appl. Phys. 81, 3457-3464. 1997
- [5] A. T. Fiory, Methods in Rapid Thermal Annealing Proceedings of RTP 2000, Eighth International Conference on Advanced Thermal Processing of Semiconductors, 15-25. 2000.
- [6] 최성재 역. 반도체 소자 공정기술, 청문각. 2006.
- [7] 유현중 외 역저. MATLAB을 이용한 디지털영상 처리, ITC. 2004.

저 자 소 개



조 태 익(정회원)
2005년 건양대학교 제어계측 공학과 학사 졸업.
2007년 건양대학교 정보전자 공학과 석사 졸업
2008년~현재 (주)제노레이 대리
<주관심분야 : 통신, 자동제어, 반도체>



오 도 창(정회원)-교신저자
1991년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.
1993년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.
1997년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업.
1997년 2월~1997년 8월 창원대학교 국책교수
1998년 8월~현재 건양대학교 전자정보공학과 부교수
<주관심분야 : 자동제어, 신호처리, 반도체, 통신>