

반도체 검사 장비의 챔버 내부 온도 분포의 균일성 개선

이광주^{1*}, 정경석¹, 박성문²

¹한국기술교육대학교 기계정보공학부, ²한국기술교육대학교 대학원 기계공학과

Improvement of the Uniformity of Temperature Distribution inside Semiconductor Test Equipment Chamber

Kwangju Lee^{1*}, Kyung-Seok Jeong¹ and Sung Mun Park²

¹School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

²Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Korea University of Technology and Education

요 약 반도체 소자 검사장비 핸들러는 주 검사장비인 테스터에 반도체 소자를 개별 또는 그룹으로 이송하여 테스트 환경을 만들어주고 검사가 끝나면 검사결과를 테스터로부터 전송받아 양품과 불량품으로 분류해주는 장비이다. 본 논문에서는 기존에 개발된 핸들러의 챔버 내부 온도 분포의 균일성을 개선하기 위하여, 챔버 덕트의 조절셔터 설치, Heater와 Match Plate 중심위치의 정렬, Match Plate Base의 Hole 크기 및 형상 변경, 온도 센서로 향하는 공기의 흐름이 원활할 수 있도록 핀에 직경 2 mm의 구멍 설치 등의 설계 변경을 하였다. 설계 변경의 효과를 확인하기 위하여, 기존 장비와 설계 개선된 장비 내부의 온도 분포를 32개의 온도 센서를 사용하여 측정하였다. 그 결과 기존 챔버 내부 온도 분포는 87.1~91.5℃ (90±2.9℃)이었으나 개선된 챔버 내부 온도 분포는 89.5~90.8℃ (90±0.8℃)으로 15분 이상 지속 가능하여 챔버 내부의 온도 분포 균일성이 크게 개선되었음을 알 수 있었다. 또한 설계 변경 이후의 온도 분포는 90±1℃의 범위 내에서 10분 이상을 유지하는 목표를 달성하였음을 확인하였다.

Abstract Some design changes were made to enhance the uniformity of temperature distribution inside the chamber of semiconductor test equipment. The design changes include the installation of adjustable airflow controller inside the chamber, the alignment of the centers of heater and match plate, the change in the size and the shape of holes in match plate base, and the addition of new holes of 2 mm diameter in order to allow airflow directly to the temperature sensors. In order to verify their effects, the temperature distributions inside the chambers were measured using 32 RTD sensors before and after the design changes. The temperature distributions were in the ranges of 87.1 to 91.5℃ (90±2.9℃) and 89.5 to 90.8℃ (90±0.8℃) before and after the design changes, respectively. The above temperature distribution after design changes was maintained for longer than 15 minutes, which satisfied the target temperature range of 90±1℃ for longer than 10 minutes.

Key Words : Semiconductor test equipment, Temperature distribution, Temperature control

1. 서론

1.1 연구배경

반도체 제조공정은 크게 반도체 펌 (Fabrication) 내에서의 Front-end Process와 반도체 펌 밖에서의 Back-end Process로 나뉜다 [1]. Back-end Process에 속하는 공정의

하나인 최종 검사 (Final Test)는 반도체 소자를 제조하는 공정이 아니고 제품의 신뢰성 확보를 위하여 완제품을 테스트 하는 공정이다.

최종 검사에서는 대량의 소자를 검사하여야 하며, 최종 검사에서의 시간 단축은 곧 바로 반도체 제조 단가의 인하와 직결되기 때문에 매우 중요하다고 할 수 있다. 실

*교신저자 : 이광주(klee@kut.ac.kr)

접수일 10년 08월 12일

수정일 10년 09월 06일

게재확정일 10년 10월 15일

제로 Front-end Process에서는 제조 단가를 낮출 소지가 더 이상 없기 때문에, Back-end Process에 속하는 최종 검사 공정에서 비용의 절감을 통한 제조 단가의 인하가 상대적으로 중요한 고려 요소로 등장하게 되었다. 최종 검사에서 비용을 절감하기 위하여, 대량의 소자를 동시에 검사하는 장비가 필요하게 되었다. 그러나 이러한 새로운 장비는 대부분 장비 내부 온도의 균일성을 유지하기 힘든 문제점을 가지고 있을 수 있다.

1.2 연구동향

반도체 최종검사에서는 핸들러의 챔버 내부 온도 조절을 빠르고 균일하게 하는 것이 매우 중요하다. 따라서 이 분야의 연구들은 주로 챔버 내부의 온도를 효과적이고 균일하게 유지하는 방법에 대하여 이루어 졌다.

Pfahl 등 기존의 테스트 트레이에 리브 (Rib)를 부착하는 설계 변경을 통하여 테스트 트레이와 반도체 소자에 대한 대류 열전달을 크게 증가시키는 연구를 수행하였다 [2]. 이들은 강제 공기 순환을 통하여 테스트 트레이가 가열 또는 냉각되는 속도를 크게 증가시킬 수 있었으며, 풍동 실험을 통하여 그 효과를 입증하였다. Sweetland 등은 반도체 검사를 위한 고온 시험에서 저렴한 적외선 히터를 사용하여 온도를 빠르게 상승시키는 방법을 고안하였다 [3]. 주동만 등은 반도체 열처리 공정을 위한 온도 조절용 전력 제어장치를 설계하였다 [4].

반도체 분야는 여러 국가에서 주요 산업으로 육성하고 있으며, 생산 및 시험 장비와 관련한 많은 특허가 출원되었다. 본 연구와 관련된 분야의 주요 특허는 다음과 같다. Hayama 등은 반도체의 고온 검사 시 미리 설정한 온도에서 시험을 하는 도중에 온도가 하강하는 것을 방지하는 장치를 고안하였다 [5]. Fukumoto는 공기의 효과적인 순환을 만들어주는 튜브형의 덕트를 사용하여 챔버 내부의 온도 상승과 온도 균일성을 향상시키는 장치를 고안하였다 [6]. Pfahl 등은 고온 및 저온에서 챔버 온도를 정확하게 조절하기 위해서 두 개의 열원을 연결하여 이들을 별도로 조절할 수 있는 장치를 개발하였다 [7].

1.3 연구목적

반도체 제조 비용의 절감을 위해서, 반도체의 최종 검사 공정에서는 한꺼번에 많은 개수의 반도체 소자를 동시에 검사하려는 시도가 이루어지고 있다. 그러나 이러한 대용량 시험에서는, 사용되는 챔버의 크기가 커져서 그 내부에서 온도 분포의 균일성을 유지하기가 매우 어려워진다.

본 연구의 목적은 기존에 사용되고 있던 512 파라 (파라: 반도체 검사장비에서 한 번에 검사할 수 있는 반도체

소자의 최대 개수) 용량의 챔버 내부 온도 분포의 균일성을 개선하는 것이다. 이를 위하여 챔버의 기존 설계에 덕트의 조절서티 설치, Heater와 Match Plate 중심 위치의 정렬, Match Plate의 Hole 크기 및 형상 변경, 그리고 온도센서로 향하는 공기의 흐름 개선 등의 설계 변경을 시도하였다. 설계 변경 이후에 챔버 내부 온도 분포를 90±1℃의 범위 내에서 10분 이상을 유지하는 것을 목표로 하였다.

2. 반도체 검사 장비의 개요

2.1 반도체 검사 장비의 구성

최종 검사 공정은 설계가 완료되어 제조된 반도체를 일정하게 조성된 환경에서 불량품과 양품으로 구별하는 과정이다. 최종 검사는 제품의 전수검사를 통해서 품질을 보증할 수 있는 마지막 공정으로 출하 품질에 가장 큰 영향을 미친다.

반도체 Back-end Process 최종 검사 단계에서 사용되는 장비는 테스터 (Tester), 핸들러 (Handler) 등으로 구성되어 있다 [8]. 테스터는 반도체 소자의 검사를 실제로 담당하는 장비이다. 핸들러는 주 검사장비인 테스터에 반도체 소자를 개별 또는 그룹으로 이송하여 테스트 환경을 만들어주고 검사가 끝나면 검사결과를 테스터로부터 전송받아 양품과 불량품으로 분류해주는 장비이다. 또한 핸들러는 검사가 진행되는 동안 검사 온도를 일정하게 유지해 주는 기능을 수행한다.

2.2 핸들러

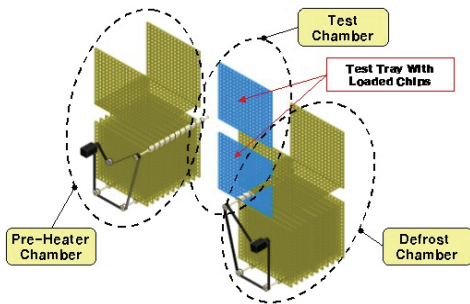
핸들러는 크게 메인부 (Main Part)와 챔버부 (Chamber Part)로 구성된다.

메인부는 반도체 소자를 담은 Tray Loader/ Unloader Assembly (TLUA), 반도체 소자를 옮기고 분류하는 Gantry Assembly와 Picker Assembly 등으로 구성된다.

TLUA는 검사를 위한 반도체 소자를 Gantry Assembly로 공급해주고 검사가 끝난 반도체 소자를 분류된 등급별로 해당 위치로 옮기는 역할을 수행 한다. Picker Assembly는 TLUA로부터 공급받은 검사 전 반도체 소자를 테스트 트레이 (Test Tray)로 옮기고, 검사가 끝난 소자를 다시 고객 트레이 (Customer Tray)로 옮기는 역할을 한다. Picker Assembly는 반도체 소자의 성능을 등급별로 분류하여 고객 트레이에 옮기게 된다. 분류 시간을 단축하기 위해서는 한꺼번에 많은 양의 반도체 소자를 이송하는 것이 유리하다.

메인부(Main Part)에서 옮겨온 반도체 소자를 검사에 필요한 적절한 온도 환경을 만들어 주는데 필요한 공간이 챔버부(Chamber Part)이다.

그림 1에는 챔버부에서 테스트 트레이의 순환 경로를 나타내었다. 이 그림에서는 테스트 챔버 내에서 테스트 트레이 2장이 동시에 테스트되는 모습이 도시되었다 [9]. 챔버부는 반도체 소자를 상온에서부터 검사에 필요한 온도까지 예열을 담당하는 예열 챔버(Pre-Heater Chamber), 실제로 검사를 위한 목표 온도에서 검사를 할 수 있도록 항상 검사 온도를 유지해야 하는 테스트 챔버(Test Chamber) 및 검사를 마친 반도체 소자의 온도를 상온으로 돌려주는 제열 챔버(Defrost Chamber)로 나눌 수 있다.

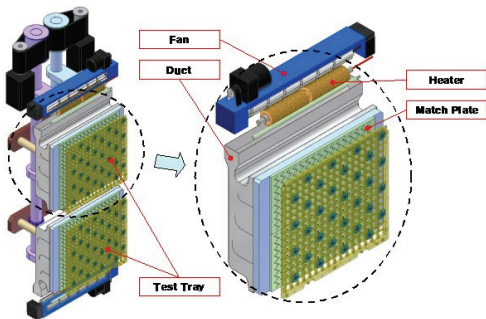


[그림 1] Circulation of test trays inside chamber part

3. 챔버 내부의 온도 균일성 향상

3.1 기존 챔버의 문제점

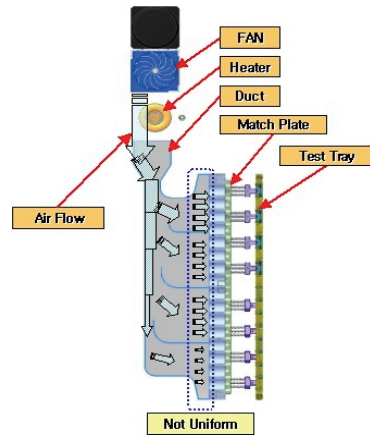
테스트 챔버는 강제 순환 팬, 히터, 노즐, 덕트 등으로 구성되어 있다(그림 2). 챔버의 앞쪽에는 매치 플레이트 베이스(Match Plate Base)가 위치하고 있다. 그 위에 매치 플레이트 및 테스트 트레이가 놓인다. 챔버 내부에는 상부 및 하부 덕트 조립물(Upper and Lower Duct Assembly)이 서로 대칭으로 놓여 있다.



(a) Test chamber (b) Upper duct assembly
[그림 2] Chamber part before design changes

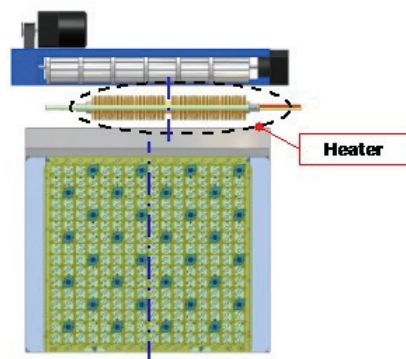
기존 챔버는 다음과 같은 4가지의 설계 문제점을 가지고 있었다.

기존 챔버 내부 덕트에서는, 팬에서 나온 가열된 바람이 덕트 내부에 위치한 세 개의 날개에 의하여 네 구역의 공간으로 나뉘어져서 공급이 된다(그림 3). 그러나 각각의 구역으로 향하는 바람의 양을 임의로 적절히 조절할 수가 없었기 때문에 네 구역에서 온도 편차가 발생하였다.



[그림 3] Side view of upper duct assembly before design changes.

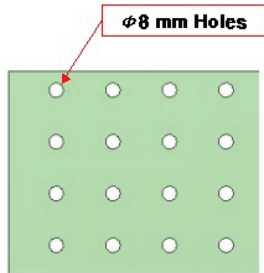
챔버 내부에 위치한 히터 중심의 위치가 매치 플레이트 베이스와 그 위에 놓인 테스트 트레이 중심의 위치와 일치하지 않아서 좌측부의 온도가 목표 온도까지 도달하지 못하는 경우가 발생하였다(그림 4).



[그림 4] Mis-aligned centers of heater and test tray before design changes

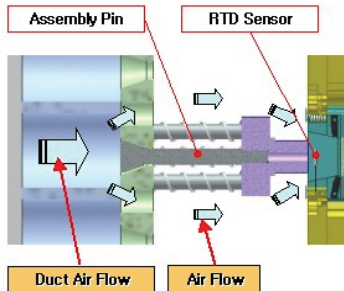
그림 5에는 직경 8 mm 크기의 바람 구멍이 뚫려 있는 매치 플레이트를 도시하였다. 덕트를 통과한 바람이 이들 구멍을 통하여 앞 쪽으로 이동하여야 하나 매치 플레

트 구멍의 크기가 너무 작아서 가열된 공기의 원활한 공급이 이루어지지 못하였다.



[그림 5] Convection holes of match plate before design changes

그림 6에는 매치 플레이트를 통과한 바람이 최종 목적지인 센서까지 도달하는 그림을 도시하였다. 중간에 위치한 핀 때문에 바람이 제대로 센서로 전달되지 못하는 문제점이 있었다.

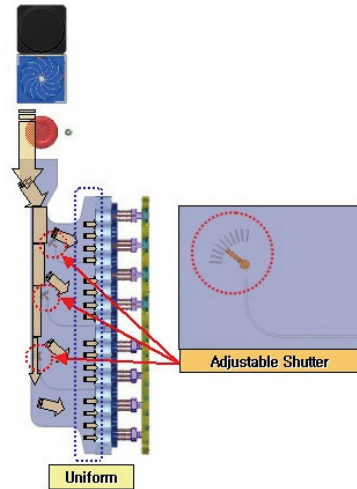


[그림 6] Air flow to RTD sensor before design changes

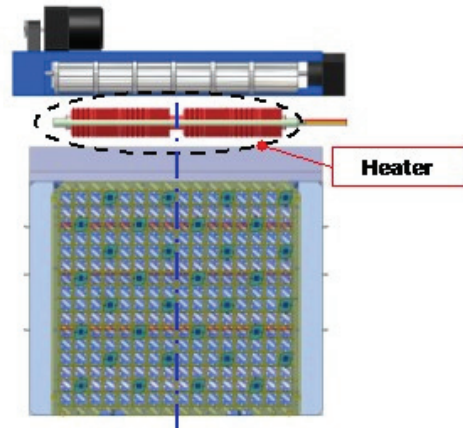
3.2 온도 분포 개선을 위한 설계 변경

본 연구에서는 기존 챔버의 설계 변경을 통하여 챔버 내부 온도 분포가 90 ± 1 °C의 범위 내에서 10분 이상 유지함을 목표로 하였다. 이를 위해 다음과 같은 4가지 설계 변경을 수행하였다.

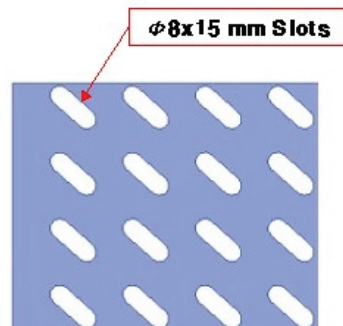
1. 덕트로 유입되는 바람의 양을 조절할 수 있도록 덕트에 유량 조절 셔터 설치 (그림 7).
2. 히터 중심 위치가 테스트 트레이 중심 위치와 일치하도록 히터 중심 위치 이동 (그림 8).
3. 매치 플레이트의 구멍을 직경 8mm인 정공에서 크기가 8x15mm인 장공으로 크기 및 형상을 변경 (그림 9).
4. 매치 플레이트와 온도 센서 사이에 위치하고 있는 핀에 직경 2mm의 구멍을 설치하여 유동의 방향을 개선 (그림 10).



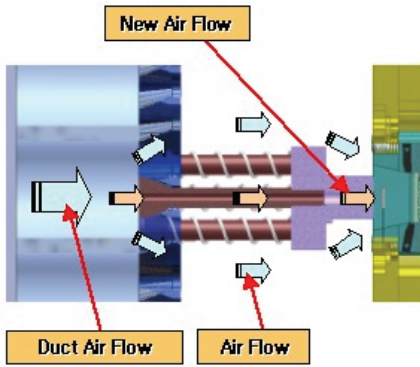
[그림 7] Side view of upper duct assembly after design changes.



[그림 8] Aligned centers of heater and test tray after design changes



[그림 9] Convection holes of match plate after design changes



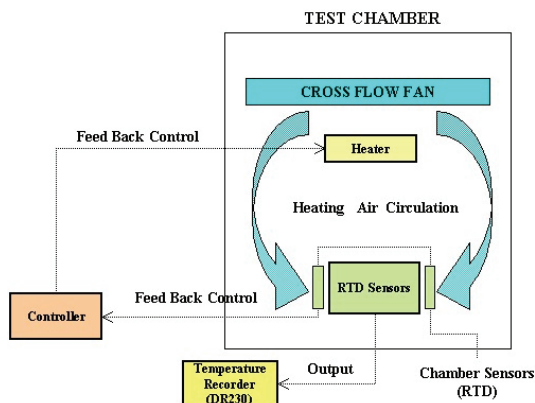
[그림 10] Air flow to RTD sensor after design changes.

4. 실험 및 결과

4.1 실험 설비 구성

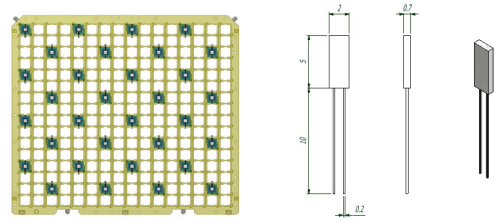
설계 변경 전후에 챔버 내부의 온도 분포를 측정하기 위하여 Ogam Technology Co.에서 제작된 RTD (Resistance Temperature Detector) 센서 32개를 테스트 트레이에 설치하였다 [10].

온도 측정 및 제어를 나타내는 모습을 그림 11에 나타내었다. 초기 설정온도 (90℃)에 의해 히터가 가열되고, 가열된 공기가 팬에 의해 순환된다. 챔버 내부의 온도를 RTD센서 2개가 측정하여 피드백해주고 다시 컨트롤러에 의한 히터 제어가 반복된다. 이 과정에서 32개 RTD센서의 온도를 계속 기록하였다.



[그림 11] Schematic diagram of temperature measurement and control

그림 12에는 RTD센서가 32개 부착된 테스트 트레이와 RTD 센서 단품의 크기와 형상을 도시하였다.



(a) Test tray with RTD sensors

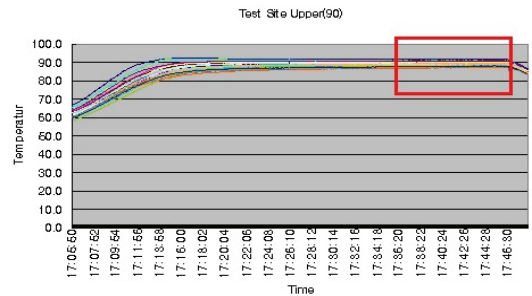
(b) RTD sensor dimensions

[그림 12] Test tray with 32 RTD sensors and dimensions of RTD sensor

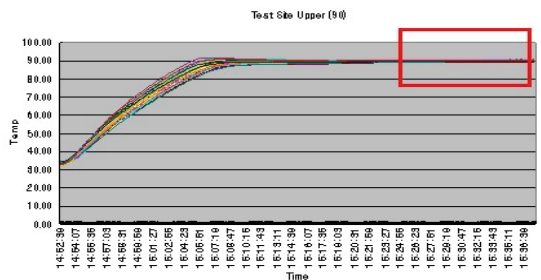
본 연구에서는 반도체 소자의 검사공정에서 따라야 하는 JEDEC Standards (v22-A103C) 7가지 규격 [11] 중에서 “Condition G”를 선택하였다. 이 때 챔버 내부의 목표 온도, 허용 오차 및 지속시간은 각각 90 (℃), ±1 (℃) 및 10 (minutes)이다.

4.2 챔버 내부의 온도 분포 측정 실험 결과

설계 변경 전후 챔버 내부의 온도 분포 측정 결과를 각각 그림 14와 15에 도시 하였다. 실험에서는 테스트 챔버의 Upper Duct Assembly만을 대상으로 하였는데, 이는 테스트 챔버의 구조가 상하 대칭이기 때문에 두 Duct Assembly내에서의 거동이 거의 동일하기 때문이다.

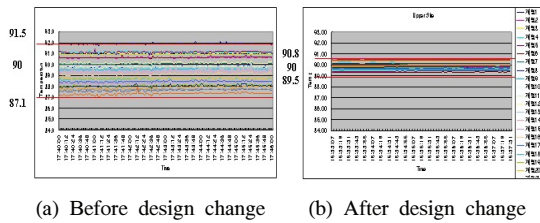


[그림 14] Temperature distribution of upper duct assembly before design changes



[그림 15] Temperature distribution of upper duct assembly after design changes

그림 14와 15에서 각각 직사각형으로 표시된 영역의 온도 분포를 확대하여 그림 16에 나타내었다. 그림 16에 의하면 설계 변경 전의 온도 분포는 87.1~91.5 (°C)이었으나, 설계 변경 후에는 89.5~90.8 (°C)로 온도 분포가 보다 균일하게 개선된 것을 확인할 수 있었다. 또한 그림 3과 같이 유량 조절 스위치가 설치되지 않은 경우 (설계 변경 이전)에, 네 개의 공간별로 평균 온도에 차이가 있음을 실험을 통하여 확인할 수 있었다 (그림 16 a).



[그림 16] Comparison of temperature distributions before and after design changes

설계 변경 전후의 온도 분포 측정 결과를 표 1에서 정리하였다. 설계 변경 전의 챔버 내부 온도 분포는 87.1~91.5 (°C)로 목표 온도 (90 °C)를 중심으로 약 ± 2.9 (°C)의 산포를 보였으나, 설계 변경 이후에는 챔버 내부의 온도 분포가 89.5~90.8 (°C)로 목표 온도를 중심으로 산포가 ± 0.8 (°C)로 향상되었다. 또한 온도 분포의 평균과 표준편차는 각각 89.4 (°C)와 1.26 (°C)에서 각각 90.1 (°C)와 0.34 (°C)로 향상이 되었다.

[표 1] Temperature distributions before and after design changes (unit: °C)

	Min. Temp.	Max. Temp.	Deviations	Average	Standard Deviation
Before	87.1	91.5	± 2.9	89.4	1.26
After	89.5	90.8	± 0.8	90.1	0.34
Improvement	2.4	0.7	± 2.1	0.5	0.92

표 2에는 목표로 설정된 온도 및 지속 시간과 함께 설계 변경 전후의 챔버 내부 온도 분포 결과를 정리하였다. 설계 변경을 통하여 90 ± 0.8 (°C)의 상당히 균일한 온도 분포를 15분 이상 유지할 수 있었다.

[표 2] Temperature distributions and their deviations from target temperature for endurance period

	Temp. Dist.(°C)	Deviations (°C)	Endurance Period (min)
Target	90	± 1	10
Before	87.1~91.5	± 2.9	10
After	89.5~90.8	± 0.8	15

본 연구에서는 설계 개선을 위하여 매치 플레이트와 온도 센서 사이에 위치한 핀에 구멍을 뚫었으나, 구멍을 뚫기 이전과 비교하여 핀에 과도한 열변형이 발생하지 않음을 실험에서 확인하였다.

5. 결론

반도체 검사장비 챔버 내부의 온도 분포 균일성은 매우 중요한 장비 성능이므로 반드시 기준 온도 범위를 충족하여야 한다. 본 연구에서는 기존에 개발된 반도체 검사장비의 챔버 내부의 온도 분포의 균일성을 향상시키기 위하여 설계 변경을 시도하였다.

설계 변경의 효과를 검증하기 위하여 챔버 내부에 모두 32개의 온도 센서를 설치하여 챔버 내부의 온도를 측정하였다. 기존 챔버 내부의 온도 분포는 87.1~91.5 (°C)로 90 ± 2.9 (°C)의 분포를 보였으나, 설계 변경된 챔버 내부의 온도 분포는 89.5~90.8 (°C)로 90 ± 0.8 (°C)의 상당히 균일한 온도 분포를 얻을 수 있었다. 또한 이 온도 분포를 15분 이상 유지할 수 있었다.

반도체의 최종 검사는 반도체의 품질과 제조 원가의 관점에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구를 통하여 챔버 내부의 온도 분포 균일성을 개선함으로써, 최종 검사의 신뢰성이 향상될 수 있을 것이다. 또한 온도 분포의 균일성이 잘 유지되는 설계 변경으로 보다 신속한 검사에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Zant, P.V., *Microchip Fabrication*, 5th Ed., McGraw-Hill, 2004.
- [2] Pfahnl, A.C., Lienhard, J.H., and Slocum, A.H., "Heat-Transfer Enhancing Features for Handler Tray-Type Device Carriers," *IEEE Transactions on Component, Packaging, and Manufacturing Technology-Part C*, Vol. 21, No. 4, October, 1998, pp.302~310.

- [3] Sweetland, M. and Lienhard, J.H., "Rapid IR Heating of Electronic Components in the Testing Cycle," *Proceedings of 35th National Heat Transfer Conference, ASME*, June 10-12, 2001.
- [4] 주동만, 민경일, 황재효, "반도체 열처리 공정을 위한 온도 조절기용 전력 제어장치의 설계 및 제작", 산학기술성공학회논문지, Vol.3, No.4, 2002, pp.257~262.
- [5] Hayama, H., Gogo, T., and Kanno, Y., "Semiconductor Device Testing Apparatus," *U.S. Patent 6,104,204*, May 12, 1998.
- [6] Fukumoto, K., "Constant Temperature Chamber in a Handler for Semiconductor Device Testing Apparatus," *U.S. Patent 5,859,540*, January 12, 1999.
- [7] Pfahnl, A.C., Lienhard, J.H., and Watson, D.J., "Method and Apparatus for Temperature Control of a Semiconductor Electrical-Test Contractor Assembly," *U.S. Patent 6,091,062*, July 18, 2000.
- [8] Rajsuman, R., "Innovation in Test: Where Are We," *Proceedings of the 3rd IEEE International Workshop on Electronic Design, Test and Applications*, 2006.
- [9] 추승용, 박성문, 임용진, '반도체 소자 테스트 핸들러의 테스트 트레이 이송 장치', *대한민국 등록특허 10-0792732*, 2008년 1월 2일
- [10] Ogam Technology Co. Ltd., *Specifications of RTD Sensors*, www.ogamtech.com
- [11] JEDEC Solid State Technology Association, "JEDEC Standard: High Temperature Storage Life," *JESD22-A103C*, November 2004.

이 광 주(Kwangju Lee)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 항공공학과 (공학학사)
- 1991년 11월 : Department of Aerospace and Ocean Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계정보공학부 교수

<관심분야>
구조역학, 신뢰성

정 경 석(Kyung-Seok Jeong)

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대학교 항공공학과 (공학학사)
- 1989년 2월 : 서울대학교 대학원 항공공학과 (공학박사)
- 1992년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계정보공학부 교수

<관심분야>
열유체 계측

박 성 문(Sung Mun Park)

[정회원]



- 2004년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학과 (공학학사)
- 2003년 11월 ~ 2007년 4월 : 미래산업 연구소
- 2007년 4월 ~ 현재 : 에스에프에이 FG사업부 개발팀

<관심분야>
반도체 검사장비, LCD 개발장비