https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.1.31

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. ISSN 2508-5107(Online)

Check for updates

열전소자를 이용한 반도체 검사용 자동 온도제어 모듈 개발

손덕수°, 동선희°, 이우영°*

Development of Automatic Temperature Control Module for Semiconductor Test Process Using Thermoelectric Element

Deuk-soo Son^a, Seon-Hee Dong^a, Woo-Young Lee^{a*}

^a School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

ARTICLE INFO

Article history:							
Received	27	December	2020				
Revised	26	January	2021				
Accepted	29	January	2021				
Keywords:							
Thermoelectric module (TEM)							
Semiconductor test equipment							
Auto temperature control module							
Temperature range							
Temperature change time							
Temperature precision							

ABSTRACT

In semiconductor manufacturing processes, the final inspection is a crucial last test stage for screening defective parts before delivery to customers. Since traditional convection-based temperature control has limitations and requires time for a solution, this study focuses on the development and verification of an automatic temperature control technology using conduction-based thermoelectric modules. From the performance tests, it is found that the module operates in the temperature range of -40° C to 120° C, and all channels achieve temperature transitions at each step within 6 min. The temperature module shows accuracy variations of -0.8° C to 1.9° C over the entire stage, which fulfills the semiconductor industry requirement of within $\pm 2^{\circ}$ C for inspection equipment.

1. 서 론

초고속 통신망(5G)을 기반으로 한 사물인터넷(IoT)과 VR/AR 기술의 발달, 전기자동차 및 자율주행 시스템이 장착된 스마트카 등 전 세계적으로 4차 산업혁명의 도래에 따른 새로운 시장이 형성 되고 있으며, 이에 따라 관련 핵심부품인 고성능 반도체의 수요가 기하급수적으로 증가하고 있다.

고성능 반도체 제조는 고정밀 제어 및 생산 수율 향상 등을 달성 하기 위하여 부품, 소재, 모듈 단위의 다양한 차세대 제조기술 연구 를 필요로 한다. 선행적으로 대단위의 투자를 필요로 하는 웨이퍼 초미세 생산 공정은 대기업 주도로 개발이 진행되고 있으나, 이에 상응 하는 조립 및 검사(test)공정은 아직까지 기존의 기술을 답보 하고 있어 고성능 반도체 최종검사를 위한 차세대 요소기술 개발 최종 검사공정은 설계가 완료되어 제조된 반도체를 일정하게 조 성된 환경에서 불량품과 양품으로 구별하는 과정으로, 제품의 전 수검사를 통해서 품질을 보증할 수 있는 마지막 공정이므로 출하 품질에 가장 큰 영향을 미친다^[1-2].

반도체 최종 검사단계에서 사용되는 장비는 테스터(tester), 핸들 러(handler) 등으로 구성되어 있다. 테스터는 반도체 소자의 검사 를 실제로 담당하는 장비이며, 핸들러는 주 검사 장비인 테스터에 반도체 소자를 개별 또는 그룹으로 이송하여 테스트 환경을 만들 어주고 검사가 끝나면 검사결과를 테스터로부터 전송받아 양품과 불량품으로 분류해주는 장비이다. 또한 핸들러는 검사가 진행되는 동안 검사 온도를 일정하게 유지해 주는 기능을 수행한다⁽¹⁻²⁾.

반도체 최종검사에서는 반도체 소자의 온도 조절을 빠르고 균일

이 필요하다.

^{*} Corresponding author. Tel.: +82-41-560-1134

E-mail address: wylee@koreatech.ac.kr (Woo-Young Lee).



Fig. 1 Convection chamber

하게 하는 것이 매우 중요하다. 따라서 이 분야의 연구들은 주로 핸들러 챔버(chamber)내부의 온도를 효과적이고 균일하게 유지하 는 방법에 대하여 이루어져 왔으나, 내부 온도의 균일성을 유지하 기 힘들고 제어 및 정밀도 있어서 한계를 가지고 있다^[1-2].

반도체 검사공정에서 종래에 사용하는 기술은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 테스트 챔버 내부에 설치된 히터의 열이나 노즐을 통해 분사된 LN2 가스를 팬을 이용하여 강제 대류 시켜 챔버 전체 구조 물의 온도를 공기를 통해 올리거나 내리는 공기 대류를 통한 분위 기 제어방식이다. 이 방식은 챔버 전체 온도를 올리거나 내리는데 30~60 min의 많은 공정시간(tact time)이 소요되며 내부 구조물 의 형상이나 위치에 따라 온도의 균일도가 불안정한 요소를 가지 고 있다. 또한, 챔버 내부에서 동작해야 하는 기구 구조물들의 온도 변화에 따라 수축 및 팽창하여 반도체의 정밀 테스트 공정의 정밀 도와 내구성에 심각한 영향을 미친다.

따라서 최근에 국내 및 국외 기술동향은 Convection chamber 에서 Conduction direct 방식으로 전환하고 있는 추세이다.

본 연구에서는 -40°C ~ 120°C 온도 대역에서 정밀 제어를 할 수 있는 Conduction direct 방식의 열전소자(thermoelectric module, TEM)를 이용한 반도체 검사용 자동 온도제어 모듈 기술을 개발 및 검증하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 열전소자

펠티에 효과(peltier effect, thermoelectric effect)는 Fig. 2의 구조 및 원리와 같이 서로 다른 종류의 도체(금속 또는 반도체)를 접합한 N형, P형 열전대에 전류를 흐르게 했을 때, 전류에 의해 발생하는 줄열(Joule's heat) 외에 열전대의 각 접점에서 발열 또 는 흡열 작용이 일어나는 현상이다. 이렇게 두 금속의 접합 점에서 한 쪽은 열이 발생하고, 다른 쪽은 열을 빼앗기는 현상을 이용하여 만든 반도체가 펠티에 소자 또는 열전소자라고 한다^[3-8].



Fig. 2 Thermoelectric module (TEM)



2.2 반도체 테스트 공정 적용 열전소자 검증 및 불량유형

반도체 테스트 공정에 적용 가능한 열전소자 검증 진행을 위하 여 F사의 열전소자에 대하여 기초성능시험을 하였다.

일정온도 구간 구현이 가능한 4 Channel mock up 온도 공정 성 능 시험결과 Fig. 3와 같이 온도 공정 구현이 이루어졌다. 특히 -40°C~120°C 온도 공정이 정상적으로 구현 되었으며, 또한 Channel 간에 온도 편차도 거의 없다. 또한 공정변환시간도 -40°C ~120°C 공정 시 240 sec, -25°C~85°C 공정 시 180 sec 온도 조건을 충족하였다.

열전소자의 불량유형으로는 열전소자 모듈자체에서 발열 및 흡 열 작용이 동시에 이루어지기 때문에 온도구배가 발생하게 되며, 이러한 온도구배에 의하여 세라믹 기판의 팽창과 수축을 유발하여



Fig. 4 Defect type of thermoelectric module

내부의 열전소자와 conductor 부위에 전단응력(shear stress)을 발 생시키며, 이러한 전단응력은 열전모듈의 모서리에 위치한 열전소 자일수록 열팽창의 차이가 커지므로 더욱더 증가하게 된다.

열전소자의 불량 유형은 Fig. 4와 같이 대부분 모서리 부분에서 열전소자 접합면의 파괴가 주요 원인이이며, 고온과 저온의 온도 변화에 따른 수축팽창에 의하여 열전소자간의 접합면에 전단응력 발생하여 모서리에 밀림현상이 발생한다.

2.3 열전소자 내구성 확보

열전소자의 수축팽창에 따른 전단응력을 해소하고 내구성을 향 상시키기 위하여, 열전모듈에서 ceramic plate와 copper sheet를 접합하는 역할을 하는 Glue 층의 두께를 기존 100 μm에서 300 μm까지 늘려 수축 팽창에 대한 슬립의 완충 역할을 할 수 있게 보강 하였다.

열전소자의 수축 팽창에 의한 변형을 절단면에서 damping 할



Fig. 5 Composition of thermoelectric module



Fig. 6 Design of thermoelectric module

Table 1 Specifications o	f thermoelectric module
--------------------------	-------------------------

Item	Value	Test Conditions				
Imax (Current)	8.5 A	Qc=0, DT=DTmax, Th=50°C				
Vmax (Voltae)	17.9 V	Qc=0, I=Imax, Th=50°C Qc=0, I=Imax, Th=50°C				
DTmax	77°C					
Qcmax	78 W	I=Imax, DT=0, Th=50°C				
Thmac	200°C	Momentary				
External Dimension 39.7 × 37.0 × 3.8 (mm)						

Table 2 Resistance change rate

Cycle Index	0	1800	3600	5400	7200	9900
Resistance change rate (%)	0.00	0.52	0.69	1.21	1.49	1.92

수 있도록 Fig. 6처럼 세라믹 접촉면을 분할하여 열전소자의 외형 을 개선하여 적용하였으며, 방열면 온도(Th)가 50°C에서의 열전 모듈 규격은 Table 1과 같다.

개선시킨 열전소자의 내구성 검증결과 Table 2와 같이 9900 cycle 연속 구동 시에도 저항변화가 2% 미만으로 기존 표준 제품 대비 내구성이 향상되었음을 검증하였다.

2.4 방열 블록 설계

효율적인 열전소자의 방열을 위한 냉각 유로 구조에 있어서 Fig. 5와 같이 (a) 냉각 유로 적용 방식과 (b) 방열 시트 적용 방식을 검토하였으며, 냉각 유로 적용 방식의 경우 유로 입구에서 출구로 진행되는 냉각수 유로라인이 1개이므로 그로 인하여 냉각수 온도 의 편차가 발생하고 냉각수 압력도 증가하게 된다. 반면, 방열 시트 적용 방식은 냉각 유로가 병렬로 되어 있어 전체 면적에 효과적인 냉각이 가능하고 냉각수 압력도 낮아 칠러의 부하 저감에 효과적 인 구조이므로 방열 시트 적용 방식을 채택하여 적용하였다.

2.5 자동 온도제어 모듈 및 컨트롤러 시스템 설계

기존 반도체 검사공정 장비의 heater type contactor와 호환 가 능한 크기로 설계하고 고온 기능 밖에 없는 heater type에 고온과 저온 양방향 온도를 제어 할 수 있는 기능을 구현하였다. 반도체 접촉면은 정전기에 의한 반도체의 전기적 충격 방지를 위한 ESD 코팅(표면저항 : 10⁶~10⁹ Ω)을 하였으며, heater type과 달리 냉 각 유로가 적용되는 자동 온도제어(Auto Temperature Control, ATC) type의 경우 냉각수 라인의 효과적인 배치를 위한 검토가 필요하며 Fig. 7(b)과 같이 좁은 공간에서 냉각수 흐름에 방해되지 않는 입체적인 설계를 적용하였다. ATC module control 계략도 는 Fig. 8(c)와 같다.

ATC module 방식은 반도체가 접촉되는 국소 부위를 열전소자





(a) Cooling hole type(b) Thermal radiation sheet typeFig. 7 Design concept of thermal radiation block



Fig. 8 Schematic diagram of ATC (Auto Temperature Control) module

를 이용하여 온도를 올리거나 내리는 방식으로, 챔버 방식에 비해 온도를 제어해야 하는 구조물이 1% 이하 수준으로 빠른 시간 안에 목표 온도에 정확하게 도달할 수 있으며, 채널별 독립된 제어가 가능하여 개별 반도체 온도 변화에 따른 능동적인 온도 제어가 가 능하여 정밀 반도체의 균일한 품질을 유지할 수 있다. 또한 국소 부위에만 온도가 전달됨으로서 다른 기구 구조물들의 온도 영향성 이 미미하여 정밀도 및 내구성에 영향을 미치지 않는 구조이다.

3. 성능시험

제작된 열전소자를 이용한 반도체 검사용 자동 온도제어 모듈의 성능을 시험하기 위하여 Fig. 9처럼 16 ch의 test bench를 제작 하였으며, 각 성능지표별 시험조건, 방법 및 판정기준은 Table 3과 같이 온도범위 -40°C ~ 120°C 도달여부, 온도변환시간을 시험하 기 위하여 25°C에서 -40°C 및 120°C까지의 각각의 채널별(16 ch) 온도 도달시간이 6 min 이내, 온도정밀도의 성능시험을 위해 서는 -40°C/-25°C/85°C/120°C로 온도설정 후 각 채널별(16 ch) 온도정밀도가 ±2°C이내 및 각 채널별(16 ch) 센서팁 기구물간의



(a) Test bench system

(b) Test jig (16 ch)





(C) Test of temperature range and change time



(e) Test of temperature precision (f) Test of resistance Fig. 9 Configuration of test bench

Table 3 Test conditions and method

Item	Test conditions and method	criteria
Temperature range	Check the possible range of set temperature	
Temperature change time	Check the temperature arrival time for each channel (16 ch) from 25°C to -40°C	Within 6 min
	Check the temperature arrival time for each channel (16 ch) from 25°C to 120°C	Within 6 min
Temperature precision	After setting the temperature to -40°C/-25°C/80°C/200°C, check the temperature accuracy for each channel (16 ch)	Within ±2°C for each temperature
Resistance	Measurement of resistance between each channel (16 ch) sensor tip and fixtures	Within 10 Ω

저항이 10 Ω 이하이어야 한다. 온도기록계 및 digital multimeter 를 사용하여 각 성능지표별 측정시험을 하였다.

시험결과 온도범위 시험항목에 대한 성능시험결과 -40°C 및 120°C에 도달하였으며, 25°C~ -40°C 및 25°C~ 120°C 각 온도 변환 구간에서의 변환시간 시험결과는 Table 4와 같이 모든 채널 에서 6 min 이내를 충족하였다.

온도 정밀도에 대한 성능시험결과 각각의 설정온도 대역(-40℃, -25℃, 85℃, 120℃)에서 각 채널별 온도정밀도 편차는 -0.8~ +1.9℃으로 온도정밀도 기준 ±2℃을 만족하였다.

마지막으로 자체 저항 측정 시험결과 Table 5와 같이 요구조건 10 Ω 이하를 충족하였다.

Table 4 Test result of Temperature change time

Temp. change section	ch	Change time	ch	Change time	ch	Change time	ch	Change time
	#1	3 min 00 s	#5	3 min 49 s	#9	4 min 15 s	#13	4 min 00 s
25°C~	#2	3 min 45 s	#6	3 min 33 s	#10	4 min 06 s	#14	3 min 50 s
-40°C	#3	3 min 46 s	#7	3 min 42 s	#11	4 min 03 s	#15	3 min 46 s
	#4	4 min 14 s	#8	3 min 58 s	#12	3 min 50 s	#16	4 min 14 s
	#1	5 min 25 s	#5	4 min 57 s	#9	5 min 07 s	#13	5 min 00 s
25°C~	#2	5 min 00 s	#6	4 min 55 s	#10	4 min 57 s	#14	5 min 03 s
120°C	#3	5 min 00 s	#7	5 min 06 s	#11	5 min 11 s	#15	5 min 18 s
	#4	5 min 07 s	#8	4 min 57 s	#12	5 min 00 s	#16	5 min 24 s

Table 5 Test result of resistance

-								
	ch	Resistance	ch	Resistance	ch	Resistance	ch	Resistance
	#1	1.0 Ω	#5	0.2 Ω	#9	0.2 Ω	#13	0.1 Ω
	#2	0.6 Ω	#6	0.5 Ω	#10	0.2 Ω	#14	0.5 Ω
	#3	0.5 Ω	#7	0.2 Ω	#11	0.5 Ω	#15	0.2 Ω
	#4	0.6 Ω	#8	0.2 Ω	#12	0.7 Ω	#16	0.2 Ω

4. 결 론

반도체 검사장비에 적용 가능한 신뢰성 및 내구성을 개선시킨 열전소자를 이용하여 국소 필요 부위에 직접 능동 제어가 가능한 자동 온도제어 모듈을 개발 및 검증하였다.

열전소자(펠티에 소자)의 수축팽창에 따른 전단응력을 해소하고 내구성을 향상시키기 위하여 열전모듈 Glue 층의 두께를 기존 100 μm에서 300 μm까지 늘려 수축 팽창에 대한 슬립의 완충 역할을 할 수 있게 보강 하였으며, 수축 팽창에 의한 변형을 절단면 에서 damping 할 수 있도록 세라믹 접촉면을 분할하여 열전소자 의 외형을 개선하여 적용하였으며, 효율적인 열전소자의 방열을 위하여 냉각 유로 구조는 방열시트 적용 방식을 적용하였다. 기존 반도체 검사공정 장비의 heater type contactor와 호환 가능한 크 기로 설계하였다.

제작된 열전소자를 이용한 반도체 검사용 자동 온도제어 모듈의 성능시험을 위하여 test bench를 제작 및 시험하였으며, 성능시험 결과 -40°C~120°C 온도대역에서 25°C에서 -40°C 및 120°C까 지의 온도변환시간이 6 min 이내이며, 각각의 설정온도 대역에서 의 온도정밀도 편차는 -0.8°C~+1.9°C으로 반도체 검사장비에 적용하기 위한 온도정밀도 기준 ±2°C을 충족하였다.

개발된 열전소자를 이용한 반도체 검사용 자동 온도제어 모듈을 반도체 양산 검사공정에 실적용하여 검증이 완료되면 향후 반도체 검사장비의 유용한 기술로 충분히 활용될 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 2019년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과 제 지원에 의하여 연구되었습니다.

References

- Lee, K. J., Jeong, K. S., Park, S. M., 2010, Improvement of the Uniformity of Temperature Distribution Inside Semiconductor Test Equipment Chamber, J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc., 11:10 3626-3632, https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.10. 3626.
- [2] Sweetland, M., Lienhard, J. H., 2001, Rapid IR Heating of Electronic Components in the Testing Cycle, Proceedings of 35th National Heat Transfer Conference, NHTC01-1413.
- [3] Cho, Y. T., 2020, Forced Heat Dissipation in 120 W Street LED Using Thermoelectric Modules, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 29:4 281-287, https://doi.org/10.7735/ksmte. 2020.29.4.281.
- [4] Han, J. H., Im, K. H., Cho, Y. T., 2019, Forced Heat Dissipation of 30 W COB LED with Use of Thermoelectric Modules, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 28:4 218-223, https://doi.org/10.7735/ksmte.2019.28.4.218.
- [5] Yoo, S. Y., Hong, C. P., Shim, W. S., 2004, A Study on the Performance of Thermoelectric Module and Thermoelectric Cooling System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 16:1 62-69.
- [6] Ro, S. T., Seo, J. S., 1990, Principle of Thermoelectric Refrigeration and System Design, The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 19:3 135-145.
- [7] Kang, B. H., Chang, H. J., Kim, S. Y., Kim, S. H., 2002, Cooling Characteristic at Hot Side of the Thermoelectric Module for an Air Conditioner, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 14:3 214-220.
- [8] Rajsuman, R., 2006, Innovation in Test: Where Are We, Third IEEE International Workshop on Electronic Design, Test and Applications (DELTA'06), 6-294, https://doi.org/10. 1109/DELTA.2006.59.



Deuk-soo Son

Ph.D. candidate in the School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education. His research interest is mechanical engineering. E-mail: dsson@koreatech.ac.kr



Seon-Hee Dong

Ph.D. candidate in the School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education. Her research interest is mechanical engineering, injection molding and precision measurement. E-mail: sunny61@koreatech.ac.kr



Woo-Young Lee

Professor in the School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education. His research interest is precision manufacturing process and product design.

E-mail: wylee@koreatech.ac.kr