

< 논문 >

초정밀 플립칩 접합기용 고성능 가열기의 열적 설계 및 시험

이상현* · 곽호상† · 박상희** · 류도현* · 한창수***
(2006년 3월 30일 접수, 2006년 8월 1일 심사완료)

Thermal Design and Experimental Test of a High-Performance Hot Chuck for a Ultra Precision Flip-Chip Bonder

Sang-Hyun Lee, Ho Sang Kwak, Sang-Hee Park, Do Hyun Ryu
and Chang Soo Han

Key Words: Flip-Chip Bonder(플립칩 본더), Hot Chuck(고온 척), Radiative Heating(복사가열), High-Speed Heat-up(급속가열), Two-Body Heating Tool(이체형 열판)

Abstract

A high-performance hot chuck is designed as a heating device for an ultra-precision flip-chip bonder with infrared alignment system. Analysis of design requirements for thermal performance leads to a radiative heating mechanism employing two halogen lamps as heating source. The heating tool is made of silicon carbide characterized by high thermal diffusivity and small thermal expansion coefficient. Experimental tests are performed to assess heat-up performance and temperature uniformity of the heating tool. It is revealed that the initial design of hot chuck results in a good heat-up speed but there exist a couple of troubles associated with control and integrity of the device. As a means to resolve the raised issues, a revised version of heating tool is proposed, which consists of a working plate made of silicon carbide and a supporting structure made of stainless steel. The advantages of this two-body heating tool are discussed and the improved features are verified experimentally.

기호설명

1. 서론

- C : 가열판의 비열 [J/kg-K]
- d : 가열판 작업대의 두께 [m]
- k : 열전도계수 [W/m-K]
- q'' : 단위면적당 가열용량 (열유속) [W/m²]
- T : 온도 [°C]
- t : 시간 [s]
- ρ : 밀도 [kg/m³]

차세대 통신산업은 초고속 광대역 통신이 가능한 광통신을 중심으로 발전할 것이라는 것이 일반적인 예측이다. 그러나 본격적인 광통신 시대를 맞이하기 위해서는 해결해야 할 여러 가지 기술적 과제가 있는데 그 중 하나가 전기신호를 광신호로 변환하는 광모듈의 대량생산이다. 광모듈의 신호변환 성능은 광소자와 기판의 접합 정밀도에 의존한다. 따라서 광소자의 접합에는 기존의 와이어 본딩 대신 적절한 압력과 열을 가하여 접합면에 땀납을 얇게 도포하여 붙이는 플립칩(flip-chip) 접합방식⁽¹⁻³⁾이 사용되고 있다. 이 방식이 점멸계의 전기적, 열적 성능이 우수하여 미세 배선폭이 요구되는 정밀접합에 적합하기 때문이다.

이 연구는 실시간 적외선 정렬기술⁽⁴⁾을 사용하여

† 책임저자, 회원, 금오공과대학교 기계공학부
E-mail : hskwak@kumoh.ac.kr
TEL : (054)478-7300 FAX : (054)478-7319

* (주)탐엔지니어링 기술연구소

** 회원, 금오공과대학교 기계공학부

*** 회원, 한국기계연구원 지능형정밀기계부

허용오차 1 μm 이하의 정렬정확도를 가지는 초정밀 플립칩 접합장비를 개발하는 작업의 일환으로 수행되었다. 연구대상은 플립칩 접합장비에서 실제 접합이 이루어지는 작업공간이며 뿔납을 녹이는데 필요한 열을 제공하는 핫척(hot chuck)이라고 불리는 가열장치이다. 접합작업에서 가열과 냉각은 접합부의 기계적 특성을 결정할 뿐 아니라 작업시간이 가장 많이 소요되는 공정으로 핫척은 크기는 작지만 접합의 수율과 생산성을 좌우하는 핵심 부품이다. 실험실 규모에서 사용되고 있는 수동형 장비에서 수 분 이상 소요되는 공정시간을 양산가능한 수준으로 단축할 수 있는 고성능 가열기를 개발하는 것이 연구 목표이다.

플립칩 접합은 국내외를 막론하고 활발한 연구가 이루어지고 있는 연구분야이나 연구의 대부분은 전자공학적인 실장기술이나 뿔납 또는 칩의 물성에 대한 것을 다루고 있다.^(1-3,5,6) 그동안 이루어진 가열기와 관련된 연구는 주로 난방용이나 공정용 히터를 대상으로 하고 있다.⁽⁷⁻⁹⁾ 반도체 공정에 사용되는 열판에 대해서는 높은 온도균일도 유지를 위한 열설계와 신뢰성 평가와 같은 연구가 이루어지고 있으나^(8,9) 이 연구의 대상인 플립칩 접합기에 적용할 수 있는 가열기구와 관련된 연구는 거의 없는 실정이다. 플립칩 접합용 가열기는 고정밀도, 급속 가열, 높은 온도균일도를 요구하는 첨단부품이다. 몇 개의 외국기업에서 광모듈 접합기를 시범적으로 출시하고 있으나⁽¹⁰⁾ 관련기술은 공개하지 않고 있다.

이 연구는 이러한 현실을 극복하고 플립칩 접합기용 가열기에 대한 독자적인 설계기술을 확보하기 위하여 추진되었다. 본 연구진은 이미 선행연구를 통해 플립칩 본더용 가열기의 과도 열전달 특성을 분석할 수 있는 수치모델을 개발하고 기초해석을 수행한 바 있다.⁽¹¹⁾ 이 논문에서는 설정된 목표에 부합하는 가열기를 개발하기 위한 설계와 모형시험의 과정과 결과를 정리하였다. 먼저 정량적인 설계 요구조건 분석과 단순이론을 기초로 하여 수행한 가열기구의 기본설계 내용을 소개할 것이다. 다음으로 가열기의 성능과 타당성을 평가하기 위하여 구성한 실험장치와 실험의 결과에 대하여 기술할 것이다. 마지막으로 초기 모형에 대한 실험에서 나타난 문제점을 분석하고 이를 해결하기 위한 설계개선과 그 성과에 대하여 논의할 것이다.

2. 기본 설계

이 연구에서 설정한 초정밀 플립칩 접합기용 가열기 개발의 기술적 목표는 다음과 같다. 첫째 공정시간을 1분 이하로 단축하기 위하여 접합작업이 이루어지는 열판(hot plate)을 30 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 이상의 속도로 급속 가열할 수 있어야 한다. 둘째 급속가열시 뿔납의 과납 또는 냉납에 의한 불량을 방지하기 위하여 작업 영역의 온도는 설정온도로부터 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 오차범위 내에서 동적 제어가 가능하여야 한다. 셋째 정렬오차를 최소화하기 위하여 작업대의 열변형이 작아야 하며 작업부위의 온도차도 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 이하로 유지되어야 한다.

연구의 출발점으로 급속가열을 실현하기 위한 기술적 조건을 찾기 위하여 간단한 이론식을 고려하였다. 밀도가 ρ , 비열이 C , 두께가 d 인 평판형 열판을 상정해보자. 열판의 열확산계수가 매우 크다고 가정하고 일괄용량(lumped capacity) 근사법⁽¹²⁾을 적용하면 요구되는 온도상승을 dT/dt 를 달성하는데 필요한 단위면적당 가열용량 q'' 는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$q'' = \rho C d \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

Table 1에 열판으로 검토된 몇 가지 재료의 물성치와 설계조건인 30 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 이상으로 급속가열하는데 필요한 가열용량을 정리하였다. 두께 2mm의 박판을 택하는 경우에도 모든 재료에 대해 12W/cm² 이상의 유효열유속이 요구된다. 금속이나 세라믹 재료의 전기저항을 이용하는 접촉식의 히터는 이론적인 최대 가열용량이 20W/cm² 정도에 불과하다.⁽¹³⁾ 열손실을 고려하면 설계여유가 거의 없어 목표를 충족시키기 어렵다. 실제 일차적으로 검토한 여러 가지 형태의 세라믹 히터의 경우 접촉저항 또는 열관성(ρC)이 커서 열판의 온도상승은 10 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 정도로 설계목표에 크게 못미치는 것으로 판명되었다.⁽¹⁴⁾ 그 외에도 웨이퍼 공정장비에 사용되는 유도가열 히터나 소형 가열장치에 사용되는 박판 필름히터도 검토되었다. 전자의 경우 충분한 용량에 비해 장치구성이 복잡하고 크기가 커지는 단점이 있고, 후자의 경우 작고 단순하지만 충분한 가열량이 보장되지 않았다. 이 연구에서는 열관성이 매우 작아 가열지연이 거의 없고 작은 크기에 비해 소비전력 즉 발

Table 1 Physical properties and the effective heat flux required for heating up a flat plate of 2mm thickness with a rate of 30°C/s for several materials

Properties Materials	Density, ρ [kg/m ³]	Specific heat, C [J/kg-K]	Conductivity k [W/m-K]	Required heat flux, q'' [W/cm ²]
Starvax	7800	460	23	21.5
Aluminum Alloy	3000	883	168	14.8
Berilium Oxide	2790	1030	272	18.5
Silicon Carbide	3160	675	450	12.8

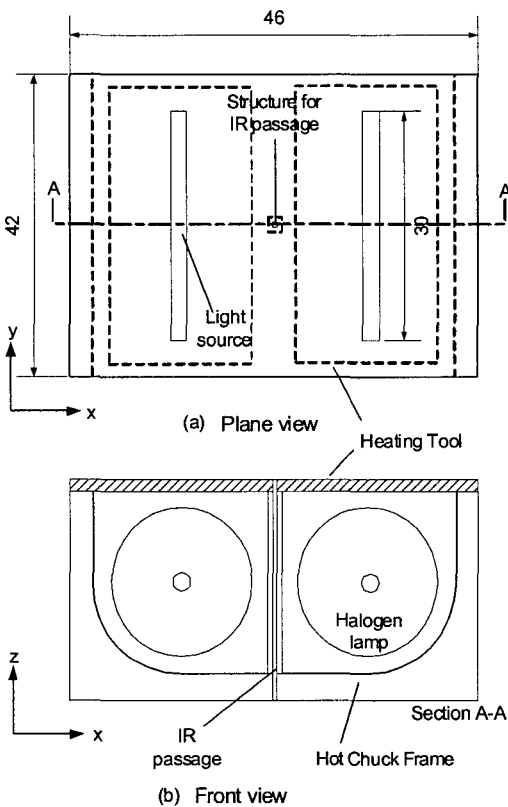


Fig. 1 Sketch of the first design of hot chuck

영량이 매우 큰 할로젠 램프의 복사열을 이용하는 방안을 채택하였다.

Fig. 1은 할로젠 램프를 복사열원으로 채용한 가열기의 개략도이다. 가열기의 구조는 최대한 단순화시켜 할로젠 램프의 크기에 맞는 최소의 크기로 설계하였다. 전체적인 구조는 할로젠 램프와 이를 장착할 틀(frame), 그리고 복사열을 받아 가열되는 상부의 열판으로 구성된다.

이 연구에서 개발하려고 하는 광모듈 접합장비는 허용정렬오차 1 μ m 이하의 초정밀도를 구현하기 위하여 적외선 정렬과 기상감시⁽⁴⁾라는 기술을 채택하고 있다. 사전 정렬후 감시 없이 접합하는 기존 장비와는 달리 적외선을 이용하여 접합의 전 과정 동안 기판과 광소자의 정렬상태를 파악하고 능동 제어함으로써 정밀도를 유지하는 방안이다. 그러나 이 기술은 가열기의 소형화와 구조 단순화, 열효율 증대를 제약하는 불리한 조건으로 작용한다. 가열기의 하부에 정렬에 사용되는 적외선 발생장치가 위치한다. 여기서 나온 적외선이 열판 위에 놓이는 기판에 도달할 수 있도록 보장하는 통로를 가열기의 중앙부에 배치하여야 한다. 이 구조물 때문에 중앙에 할로젠 램프를 둘 수 없어 대칭성을 고려하여 2개의 램프를 장착하도록 설계하였다.

할로젠 램프는 시판제품 중에서 크기에 비해 발열량이 크며 협소한 공간에 배치하기 쉬운 800W 출력의 I자형 모델을 선정하였다. 열판은 2개의 할로젠 램프에 맞는 최소의 크기인 46mm x 42mm로 설계하였다. 할로젠 램프에서 열로 전환될 수 있는 최대양은 입력의 72% 정도이다. 50%의 열손실을 감안하더라도 가열판 단위면적당 가열량은 29.8W/cm² 정도로 Table 1에서 고려한 모든 경우를 충족시키고 있다.

열판은 납땜 작업이 이루어지는 물리적 공간으로 상온에서 공정온도인 300°C까지의 온도범위에서 기계적 건정성이 유지되어야 한다. 급속가열이 가능하려면 열판성이 작아야 하며 복사열 흡수가 잘되는 흑체에 가까운 재질이어야 한다. 또한 온도균일도 유지와 정밀도 보장을 위해서는 열확산율은 크고 열변형은 작아야 한다. 이러한 요구조건을 만족시키는 열판의 재질로 SiC(실리콘 카바이드)를 선정하였다.

3. 실험 장치 및 방법

Fig. 2는 가열기의 가열성능과 온도 제어능력을 평가하기 위하여 구성된 실험장치의 개략도를 보여주고 있다. 실험장치는 시험용 가열기와 전력을 공급하는 전원제어부, 열판의 온도변화와 분포를 감시하기 위한 계측부로 구성된다. 비례성이 우수한 교류전원장치(RKC THV-1)와 피드백 제어기(RKC HA900)가 가열기에 공급되는 열을 조절하는 전원제어부를 형성한다. 가열기의 작업영역 온도가 미리 설정된 작업범위에 도달하고 유지될 수 있도록 제어가 교류전원장치에서 할로겐 램프로 공급되는 전기의 전류와 전압에 대한 피드백 제어를 수행한다.

정확한 온도제어와 성능 평가에 필수적인 비정상 온도거동을 측정하기 위하여 응답속도가 빠르고 상온에서 500°C까지의 대역에서 선형응답성을 가지는 0.1mm 지름의 K형 열전대를 사용하였다. 열전대는 초당 250 샘플의 취득과 120채널 동시 측정이 가능한 22비트의 분해능을 가진 계측장비(Agilent 34970A)에 연결된다.

열판의 동적 열특성을 평가하기 위하여 세 곳의 대표적인 위치에 열전대를 부착하였다. 첫 번째 측정점 P1은 가열판의 정중앙이며 P2와 P3는 Fig. 1의 AA단면을 따라 P1에서 수평으로 각각 11mm와 21mm 떨어진 곳이다. P1은 플립칩이 놓여지는 작업영역의 중심부이며 P2는 가열판 하부에 장착되는 할로겐 램프의 복사열원 중심이 위치하는 곳이다. P3

는 가열판이 가열기의 몸통인 틀에 놓여지는 부분으로 복사열을 직접 받지 않고 몸통부위로 전도에 의한 열손실이 있어 온도가 가장 낮은 지점이다.

열전대는 항온조를 이용하여 3회 보정하여 사용하였다. 동일한 가열 실험을 12회 반복시행하여 온도측정 불확실도를 평가하였다.⁽¹⁵⁾ 99% 신뢰도의 가열판 중앙에서의 온도측정 불확실도는 1.5°C였다.

열전대로 구하기 어려운 작업영역 전체의 정성적인 온도분포 특성을 파악하기 위하여 적외선 열화상장치(Infrared Thermo Vision, TH3100MR)를 추가적인 온도측정 수단으로 사용하였다. 이 장치는 자료취득 속도가 충분히 빠르지 못하기 때문에 여기서 얻은 온도분포는 열전대로 취득한 결과를 기준으로 보정하여 분석하였다.

4. 기본 설계 적정성 평가

기본설계의 적정성을 평가하기 위하여 가열기 모형을 실물 크기로 제작하여 실험을 수행하였다. SiC로 제작된 열판은 핫척의 틀에 의해 자유지지되며 아래에 장착된 두 개의 할로겐 램프로부터 복사열을 받는다. 열원과 열판의 재질 및 평면 크기가 정해진 상황에서 가열판의 가열속도를 결정하는 일차적인 요인은 가열판의 두께이고 부차적인 요인은 할로겐 램프에서 나오는 복사광을 반사하는 핫척 틀의 재질이다. 이 두 설계변수의 영향을 평가하기 위한 실험을 수행하였다. 0.57mm, 1mm, 1.5mm, 2mm 네 가지 두께의 가열판과 세라믹 단열재인 지르코니아와 저렴하고 가공이 용이한 알루미늄과 스테인레스, 세 가지 재질의 틀을 제작하여 실험을 실시하였다.

4.1 가열용량과 재질특성

먼저 할로겐 램프의 최대가열 능력을 알아보기 위하여 온도제어 없이 100%의 전출력을 부가하여 열판의 온도를 측정하였다. Fig. 3는 지르코니아 재질의 틀로 만든 가열기에 전출력을 가했을 때 열판의 시간에 따른 온도 상승을 나타낸 것이다. 열판의 두께가 2mm인 경우, 가열판의 정중앙인 P1에서는 50°C/s의 속도로 거의 직선적인 온도상승이 이루어지고 있다. P2의 온도는 약간의 온도편차를 가지지만 P1의 온도와 유사한 거동을 보이고 있다. 그러나 P3 지점의 온도거동은 P1, P2와 상당한 큰 편차를 보이고 있는데 P3는 틀과 접촉하는 부위로 여기에서 전도에 의한 열손실이 발생하기 때문이며 이것이 열

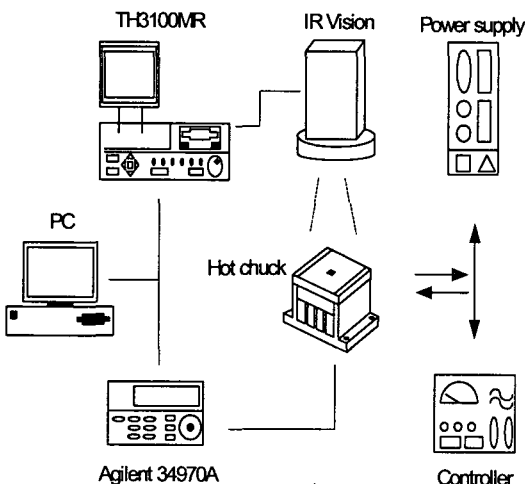


Fig. 2 Schematic view of experimental apparatus

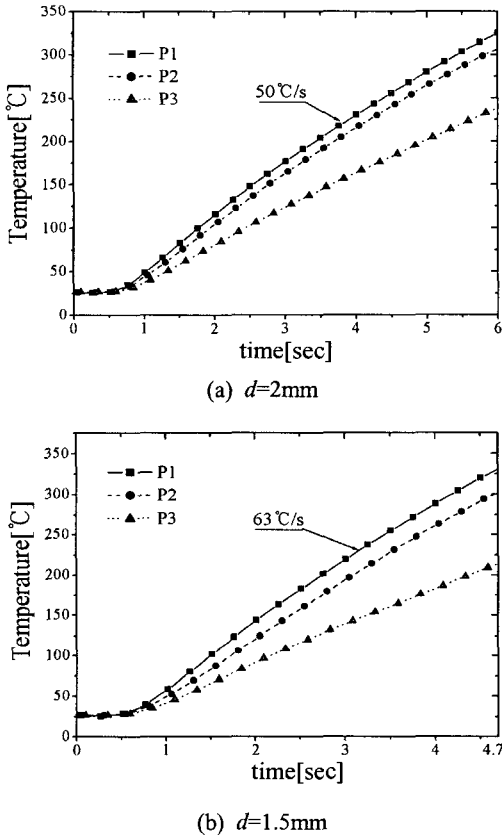


Fig. 3 Results of linear heat-up test with full power for the first prototype of hot chuck. Plotted are time-dependent variations of temperature at three dedicated points on the heating tool. The frame is made of Zirconia

판의 온도 불균일을 초래하는 주요인이다.⁽¹¹⁾ 두께를 1.5mm로 감소시킨 가열판의 온도거동도 정성적으로는 두께 2mm의 가열판과 유사한 경향을 보이고 있다. 두께 2mm 가열판에 비해 두께를 25% 줄인 결과로 P1과 P2의 온도편차는 약간 증가하였으며 P1의 온도상승률은 63°C/s로 26% 정도 증가하였다. 두 경우 모두 목표치인 30°C/s를 크게 상회하고 있다.

가열속도를 증가시킬 목적으로 1mm와 0.57mm의 초박형 가열판을 제작하여 동일한 시험을 수행하였다. 이 경우, 열판상의 감소로 온도상승율은 증가했으나 시험중 가열판이 파손되는 문제가 발생하였다. 급속가열되는 중앙부위와 상대적으로 온도가 낮은 틀과의 접촉부위의 온도차에 의한 열충격이 파손을

Table 2 The effect of material of frame on linear heat-up performance of hot plate

Material	Rate of heat-up at P1
Zirconia	63°C/s
Aluminium Alloy	62°C/s
Stainless Steel	50°C/s

유발한 것으로 판단된다. 두께가 1.5mm인 열판은 반복적인 가열시험이 주는 열충격과 피로를 견딜 수 있는 것으로 나타났다.

가열기의 틀로 사용된 지르코니아는 세라믹으로 단열성이 우수하나 상대적으로 가공이 어렵고 직접 복사열에 노출되기 때문에 반복 사용하면 열적 피로에 의해 틀이 파손되는 경우도 발생하였다. 대안을 찾기 위하여 가공이 쉽고 저렴한 알루미늄과 스테인레스강으로 틀을 만들어 가열 실험을 수행하였다. 두께가 1.5mm인 SiC 열판을 사용한 가열실험 결과를 Table 2에 정리하였다. 세 측정점에서의 온도상승은 Fig. 4에 제시된 지르코니아 틀을 사용한 경우와 거의 유사하였다. 알루미늄 틀과 스테인레스 틀을 사용하는 경우 중심점 P1의 온도상승률은 각각 61°C/s, 52°C/s로 나타났다. 열판의 온도상승률은 틀의 열전도 계수에 크게 의존하지 않음을 보여주는 것이다. 열판 중심부의 온도상승을 결정하는 일차적인 인자는 할로겐 램프의 복사열이며 틀로의 열전도에 의한 손실은 부수적인 역할을 하는 것으로 이해할 수 있다. 틀 재질에 따른 가열속도의 편차는 20% 정도이지만 세 가지 경우 모두 설계목표 30°C/s 이상의 가열속도를 보여 가열 용량면에서는 문제가 없는 것으로 판정되었다.

4.2 온도제어시의 가열성능

앞 절에서 논의한 전출력을 부가한 경우의 온도상승은 외형적인 최대 가열용량을 나타내는 지표에 불과하다. 가열기의 생산성을 결정하는 것은 접합작업이 요구하는 온도제어가 이루어질 때의 가열성능이다. 이와 관련된 두 가지 핵심 고려사항은 피드백 온도제어를 위한 온도 측정 방법과 온도제어 모드에서 목표한 가열성능을 확보가 가능한 지 여부이다.

Fig. 4는 지르코니아 틀과 1.5mm 두께의 가열판을 채택한 가열기에서 온도제어를 위한 온도 측정점을 P1, P2, P3로 바꾸었을 때 작업의 중심영역인 P1의 온도변화를 도시한 것이다. P2와 P3를

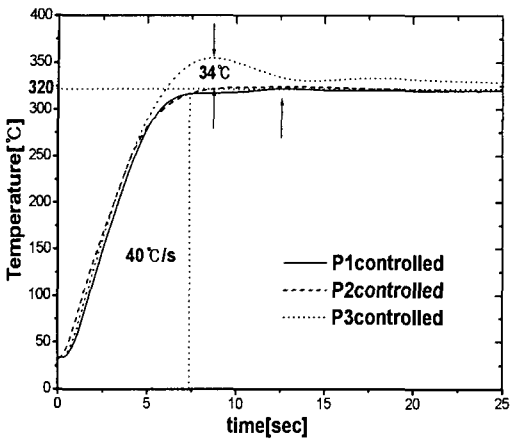


Fig. 4 Time-dependent evolution of the temperature at the center of hot plate when a PID control of heat input is conducted. Three lines represent the location of temperature sensor for control

측정점으로 채택한 경우, P1의 온도가 작업온도인 320°C 근처에서 정착하도록 P1과의 온도차를 보상하여 제어하였다. 세 가지 경우 모두 전원을 가한 후 초기에는 40°C/s의 선형적인 온도상승을 보이고 있다. 전출력을 가한 경우에 비해 36% 정도 온도상승율이 감소하였지만 여전히 설계 목표값인 30°C/s를 충족시키고 있다.

문제는 제어기에 입력을 제공하는 온도 측정점의 위치이다. P1과 P2의 온도를 제어입력으로 한 경우 P1의 온도는 초기의 선형적인 온도상승 후 최종온도인 320°C에 자연스럽게 접근하여 ±3°C의 설계기준 온도범위 내에서 유지되었다. 그러나 P3의 온도를 감지하여 제어하는 경우, 온도기동은 320°C에서 과잉상승(overshoot)한 후 다시 320°C로 점진적으로 감소하고 있다. 이 문제는 제어기의 조정으로 어느 정도 개선이 가능하나 제어의 대상이 열판 중심부의 온도인점을 고려하면 중심부와 온도편차가 많이 나는 P3의 온도보다 가능하면 P1, P2의 온도로 가열기를 제어하는 것이 적절하다고 할 수 있다.

4.3 접합부의 온도 분포 평가

플립칩 접합에서 뿔납의 불균등 가열은 접합불량의 주요 원인으로 열판의 온도 균일도는 접합 품질을 결정하는 중요요소이다. 열판의 온도균일도를 확

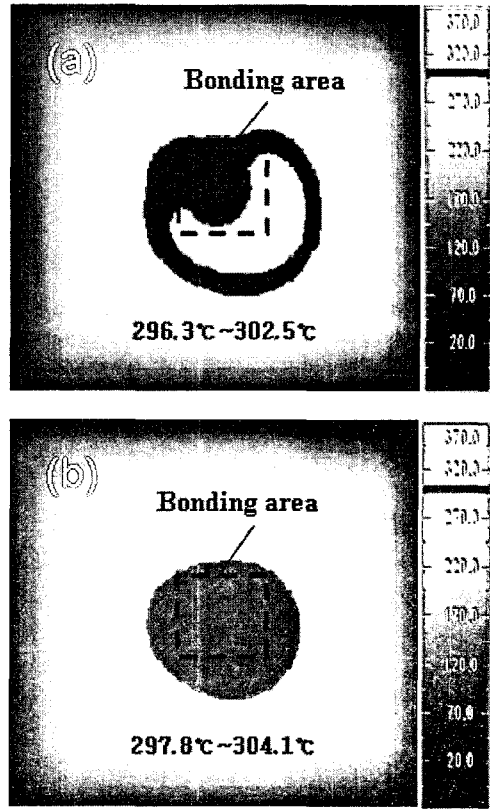


Fig. 5 Temperature distribution on the heating tool at steady state with working temperature. (a) $d=1.5\text{mm}$, and (b) $d=2\text{mm}$. The temperature values given in the frames denote the temperature range of the dark region including bonding area

인하기 위하여 열화상 카메라를 이용하여 온도분포를 관찰하였다.

Fig. 5은 두께가 1.5mm, 2mm인 열판이 작업온도에 도달한 정상상태에서의 표면의 온도분포를 보여주고 있다. 그림에서 점선으로 그려진 부분이 플립칩이 올려져 작업이 진행되는 접합부이다. 그림에 제시된 온도범위는 진하게 나타난 부위의 온도범위를 나타내는 것으로 중심부의 평균 온도로부터 ±3.1°C의 편차내에서 균일한 온도분포를 보이고 있다. 1.5mm 두께의 열판은 열판성이 작아 높은 가열속도를 보장하지만 외부로의 대류 및 복사열전달에 민감하여 접합부의 온도편차 또한 상대적으로 크다. 열판성이 상대적으로

큰 2.0mm 두께의 열판은 온도균일도 면에서도 안정적으로 설계요구조건을 충족하고 있다.

5. 설계 개선 및 검증

5.1 설계 개선

Fig. 1의 가열기는 설계 개념의 타당성을 확인하기 위하여 기본적 기능만을 포함시킨 간이실험용 모형이다. 이 모형을 이용한 실험 결과를 토대로 문제점을 개선하여 실제 플립칩 접합장비에 장착할 가열기 시제품을 설계하였다.

초기 모형에서 나타난 문제는 열충격에 의한 가열판의 파손과 온도제어의 어려움 두 가지로 요약할 수 있다. 열판 파손의 원인은 복사열을 받는 부위와 복사열을 받지 않으면서 틀로 열을 빼앗기는 부위의 큰 온도차 때문에 발생하는 것으로 규명되었다.⁽¹¹⁾ 온도제어의 대상은 접합작업부의 온도이므로 그 중심인 P1 지점의 온도를 측정하여 제어하는 것이 이상적이다. 그러나 이 연구에서 개발하고자 하는 가열기의 중앙에는 칩정렬을 위한 적외선 통로 구조물이 위치하므로 센서 장착이 매우 어렵다. P2의 지점에서 온도를 측정하여 제어하는 것이 대안이나 세라믹 재질인 SiC 열판에 열전대를 안정적으로 심거나 부착하는 것이 물리적으로 어렵다. 열판과 틀이 겹쳐지는 P3의 위치에 열전대를 장착하는 것이 손쉬운 방법이지만 P3 지점의 온도를 기준으로 접합부의 온도를 제어하면 Fig. 4에 나타난 것처럼 큰 온도차 때문에 제어능력에 문제가 생길 수 있다.

이 두 가지 문제를 해결하기 위하여 새롭게 고안된 것이 Fig. 6에 도시된 이체형 열판이다.⁽¹⁶⁾ 초기 열판이 SiC 재질의 단일 판재로 제작되었던 것과는 달리 중심부에 SiC로 만든 작업판(working plate)과 외곽부의 스테인레스강으로 만든 지지부로 구성된다. 작업판은 물론 작업판을 둘러싼 외곽지지부가 직접 복사열을 받아 가열되기 때문에 작업부에서 지지부로의 전도 열손실을 최소화하여 작업부의 온도균일도를 향상시킬 수 있다. 또한 복사열을 받는 부위와 틀과 접촉하는 부위 사이의 큰 온도차가 발생하는 외곽지지부의 재질로 스테인레스강을 써서 열충격에 의한 파손을 방지하였다.

이체형 열판은 온도제어의 문제도 해결해주었

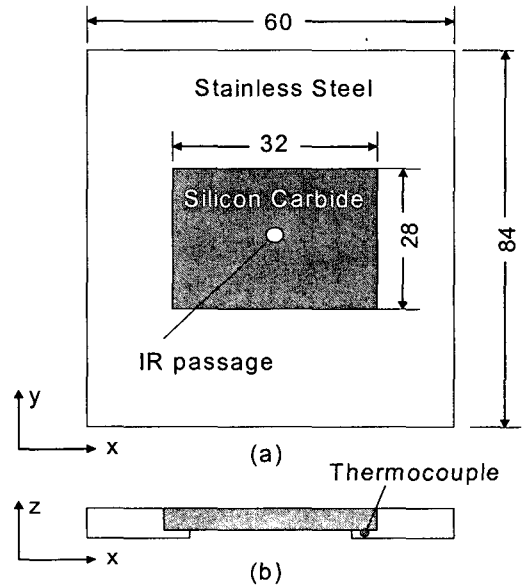


Fig. 6 The modified version of heating tool consisting of two bodies: a SiC working plate and a stainless steel supporting plate. (a) plane view; (b) frontal view

다. Fig. 6(b)에서 볼 수 있듯이 이체형 열판의 가열부는 외곽부에 가공되어 있는 단차 위에 놓이게 된다. 단차의 위치는 온도 측정점 P2에 해당한다. 스테인레스강은 가공성이 우수하기 때문에 이 단차에 열전대를 심어 여기에 접촉하는 SiC 작업판의 온도를 쉽게 측정할 수 있다.

가열기에는 칩과 열판을 고정하는데 필요한 진공 배관, 정렬용 적외선 통로 등 복잡한 구조물의 설치가 필요하다. 지지대를 스테인레스강으로 제작함으로써 이러한 구조물을 쉽게 포함시킬 수 있는 것도 부가적인 이득이다. Fig. 7은 설계개선된 이체형 열판을 포함하는 가열기의 실물사진을 보여주고 있다. 장비 유지보수의 편의성을 고려하여 복사열원을 크기가 약간 큰 1kW 출력의 장수명 할로겐램프로 바꾸었고 이에 따라 열판도 약간 크게 설계하였다.

5.2 검증시험 결과

다시 설계된 가열기 시제품의 성능과 신뢰성을 평가하기 위하여 장비에 장착하여 실장시험을 수행하였다. 실제 접합장비에서는 생산성을 높이기 위하여 맴납의 융점보다 낮은 280°C 정도의 예열

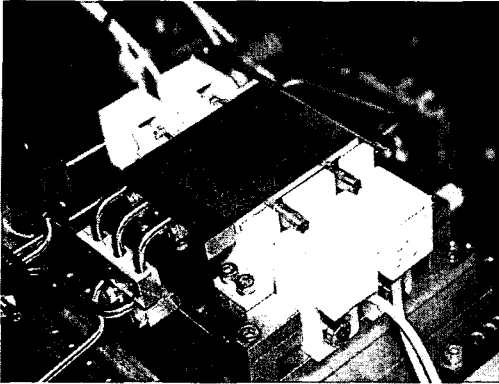


Fig. 7 The final version of heating tool consisting of two bodies which is equipped in the flip-chip bonder

대기온도와 작업온도 사이에서 반복 운전을 하는 경우가 많다. 이를 고려하여 상온에서 작업온도까지의 급속가열과 함께 반복 운전모드에서의 가열기 성능을 실험하였다.

Fig. 8은 Fig. 6에 표시된 측정점에서 취득한 온도를 기준으로 가열기를 제어한 경우, 가열판 중앙부의 온도변화를 보여주고 있다. 상온의 초기 상태에서 가열기를 기동시키면 열판의 온도가 작업온도까지 도달하는데 7.8초가 소요되어 평균 40°C/s의 가열속도를 기록하였다. 반복운전 모드에서는 예열대기온도에서 작업온도까지 상승하는데 3.8초가 소요되어 평균가열속도는 평균 19°C/s이다. 정상상태에서는 작업온도에서 ±3°C의 범위 안에서 열판온도의 동적 제어가 성공적으로 이루어지고 있다. 모듈의 장착, 정렬, 제거에 소요되는 시간을 제외하고 고온 접합시간 10초, 냉각시간 25초를 포함하여 접합에 필요한 순수 열적공정을 40초 안에 수행가능함을 확인할 수 있다. 기존 장비에서 수분이 소요되는 열적 공정시간이 크게 감소되었다.

접합장비에서 가열기는 초정밀 스테이지 위에서 장착되므로 스테이지로 향하는 열을 차단하기 위하여 가열기 하부에 냉각핀 구조물이 설치되어 있다. 가열기가 정렬 스테이지에 미치는 열적 영향을 평가하기 위하여 10회의 가열시험을 반복하는 동안 가열기 하부의 냉각핀의 온도거동을 살펴 보았더니 초기 온도로부터 4°C 정도 상승하였다. 접합시험 결과 접합작업 1주기당 0.4°C의 온도상승은 1µm의 접합정밀도에는 영향을 미치지

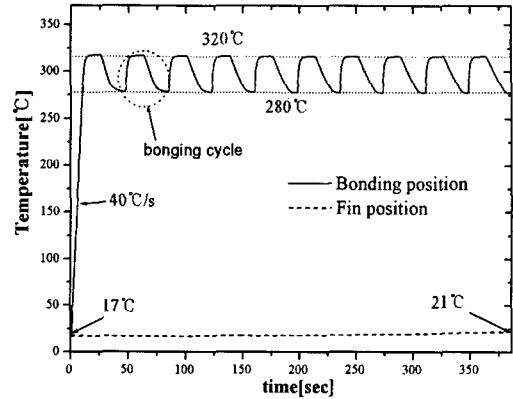


Fig. 8 Time-dependent variation of the temperature at the center of SiC working plate. After the initial start-up, heating is managed by a periodic operation mode between the prescribed preheated temperature and the bonding temperature. The dashed line in the lower part is the temperature measured at the cooling fin for thermal insulation

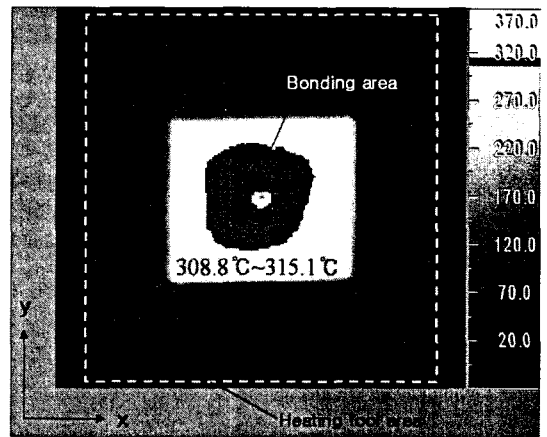


Fig. 9 Temperature distribution on the final version of a two-body heating tool. $d=1.5\text{mm}$. The legend is the same as in Fig. 5

않는 것으로 판정되었다.

Fig. 9은 열화상 카메라를 이용하여 이체형 열판의 온도분포를 관찰한 것이다. 정렬을 위한 적외선 투과용 구멍이 있는 정중앙을 제외하고 실리콘 카바이드로 만들어진 가열부의 2/3 정도가

작업온도로부터 3°의 미만의 편차를 가지는 우수한 온도균일도를 가짐을 확인할 수 있다.

6. 결론

급속 가열과 높은 온도균일도가 요구되는 초정밀 플립칩 접합기용 고성능 가열기를 개발하였다. 가열용량이 매우 큰 할로젠 램프와 열확산계수가 크고 열팽창 계수는 작은 SiC 재질의 열판의 사용을 기본 개념으로 하여 가열기를 설계하였다. 초기 설계모형에 대한 기초실험 결과, 가열용량은 충분한 것은 판명되었으나 열판의 파손과 제어를 위한 온도센서의 위치 지정의 어려움이 과제로 제기되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 SiC 작업판과 스테인레스 지지대로 구성된 새로운 이체형 열판을 고안하였다. 이 가열기를 실제 장비에 장착하여 실험을 수행하여 초기 기동시 40°C/s의 급속가열과 ±3°C의 편차내에서 동적 온도제어가 가능하며 연속반복 작업시 40초내에 열적 공정을 모두 소화할 수 있음을 확인하였다.

후 기

이 연구는 과학기술부의 첨단기계류부품개발사업(M1-01-19-04-0001-01-A10-01-002-1-1)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드린다.

참고문헌

- (1) <http://www.flipchips.com>
- (2) Shin, Y.E. and Koh, Y.W., 2002, "Trends and Prospects of Domestic Joining Technology in Electric-Electronic Field," *Journal of KWS*, Vol. 20, No. 5, pp. 618~627.
- (3) Lee, Y.M., 1999, "Overview on Flip Chip Technology for RF Applications," *Journal of Microelectronics and Packaging Soc.*, Vol. 6, No. 4, pp. 61~71.
- (4) Ryu, D.H., Ahn, M.H. and Kim, T.H., 2004, "Flip-Chip Bonder Apparatus and Method for Operating the Same," Korean Patent No. 10-0434832.
- (5) Hong, S. M., Kang, C. S. and Jung, J. P., 2002, "Effect of Plasma Treatment on the Bond Strength of Sn-Pb Eutectic Solder Flip Chip," *Journal of Korean Welding Soc.*, Vol. 20, pp. 92~98.
- (6) Park, J.H. and Jung, J.D., 2003, "Thermal-Mechanical Interaction of Flip Chip Package Constitutents," *Journal of KSPE*, Vol. 20, pp. 183~190.
- (7) Kim, J. K., 1998, "Characteristics of Surface Pressure Distribution Around a Kerosene Fan Heater," *Transactions of the KSME B*, Vol. 21, No. 4, pp. 61~71.
- (8) Park, Y.-H., 2003, "New Design Approach for the Uniform Temperature of Precision Hot Plates," *Transactions of the KSME B*, Vol. 27, No. 11, pp. 1525~1533.
- (9) Song, J.Y., Song, C.K., No, S.K. and Park, H.Y., 2002, "Reliability Evaluation System of Hot Plate for Photoresist Baking," *Journal of KSPE*, Vol. 19, pp. 180~186.
- (10) *Flip Chip Bonders, FC250*, A Product Catalog, 2002, Karl Suss.
- (11) Lee, S. H., Kwak, H. S., Han, C. S. and Ryu, D. H., 2003, "A Numerical Model to Analyze Thermal Behavior of a Radiative Heater Designed for Flip-Chip Bonders," *Journal of Computational Fluid Engineering*, Vol. 8, No. 4, pp. 41~49.
- (12) Holman, J.P., 1997, *Heat Transfer*, 8th ed., McGraw-Hill, pp. 142~144.
- (13) Watlow, 2002, "Your Heat Solution Resources," Watlow Electric Manufacturing Company, COR-LC-0601.
- (14) Ryu, D.H., 2002, "Results of Heating Tests by Using Several Types of Ceramic Heaters," Private Communication.
- (15) Abernethy, R.B., Benedict, R.P. and Dowdell, R.B., 1985, "ASME Measurement Uncertainty," *Trans ASME J. Fluids Engineering*, Vol. 107, pp. 161~164.
- (16) Ryu, D.H., Kim, T.H., Kim, J.W., Kwak, H.S. and Lee, S.H., "Flip-Chip Bonder," Korean Patent No. 10-518978.