

<학술논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2014.38.10.1049>

ISSN 1226-4873(Print)
2288-5226(Online)

패키지 기판의 Warpage 해석을 위한 열팽창계수의 측정 및 평가

양 희 걸* · 주 진 원**

* 충북대학교 기계공학부

Measurement and Evaluation of Thermal Expansion Coefficient for Warpage Analysis of Package Substrate

Hee Gul Yang* and Jin Won Joo**

* Dept. of Mechanical Engineering, Chungbuk Nat'l Univ.

(Received March 16, 2014 ; Revised July 23, 2014 ; Accepted July 23, 2014)

Key Words: Strain Gage(스트레인 게이지), Coefficient of Thermal Expansion(열팽창계수), Thermal Strain(열적 변형률), Package Substrate(패키지 기판)

초록: 전자 부품을 이루고 있는 재료들은 여러 다른 열팽창계수를 가지고 있다. 새롭게 개발된 재료나 적용하려는 온도범위가 다른 경우에는 실제 제품을 구성하고 있는 그 재료 자체의 열팽창계수를 측정할 필요가 있으며 이에 대한 신뢰성 있는 측정방법이 필요하다. 재료의 온도가 변화하면, 그에 부착된 스트레인 게이지 저항체의 출력은 기계적인 하중뿐 아니라 온도변화에 의해서도 복합적으로 발생한다. 본 논문에서는 이러한 스트레인 게이지의 특성을 이용하여 온도가 증가함에 따라 변하는 변형률을 측정하고 이로부터 재료의 열팽창계수를 구하는 방법을 실험적으로 제시하였다. 실험의 신뢰성을 검증하기 위해서 일반적으로 열팽창계수가 잘 알려진 탄소강, 알루미늄 및 구리시편을 사용해서 열팽창계수를 측정하고 그 결과를 비교하여 열팽창계수 측정방법의 신뢰성을 평가하였다. 또한 이 방법을 전자 패키지를 구성하고 있는 새로운 전자재료에 적용하여 무섬유 패키지 기판의 온도에 따른 열팽창계수를 측정하였다.

Abstract: Microelectronics components contain various materials with different coefficients of thermal expansion (CTE). Although a large amount of published data on the CTE of standard materials is available, it occasionally becomes necessary to measure this property for a specific actual material over a particular temperature range. A change in the temperature of a material causes a corresponding change in the output of the strain gage installed on the specimen because of not only the mechanical load but also the temperature change. In this paper, a detailed technique for CTE measurement based on these thermal characteristics of strain gages is proposed and its reliability is evaluated. A steel specimen, aluminum specimen, and copper specimen, whose CTE values are well known, were used in this evaluation. The proposed technique was successfully applied to the measurement of the CTE of a coreless package substrate composing of electronics packages.

1. 서론

최근에 전자정보산업을 비롯한 여러 공학 분야에서 신소재의 개발이 활발히 이루어지고 있으며 그에 따라 재료의 여러 물성치를 구해야 할 필요

성이 증가하게 되었다. 특히 반도체 패키지, 모바일 기기, 디스플레이 재료 등이 소형화, 고집적화 되면서 온도 변화에 의해 발생하는 열변형 및 응력집중 현상이 제품의 성능에 큰 영향을 미치는 것으로 인식되고 있다. 열팽창계수는 온도변화에 따르는 제품의 변형거동을 예측하고 해석하기 위해서 반드시 필요한 재료의 성질이다. 많은 상용

† Corresponding Author, jinwon@chungbuk.ac.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

재료들에 대해서는 여러 정보들을 통하여 열팽창 계수가 잘 알려져 있지만, 새롭게 개발된 재료나 열팽창계수가 알려져 있더라도 미세한 화학적 조성비나 제조공정이 다른 경우 또는 적용하려는 온도범위가 정해진 것과 다른 경우에는 알려진 정보를 이용하기 어려울 수 있다. 따라서 실제 제품을 구성하고 있는 그 자체 재료의 열팽창계수를 측정할 필요가 있으며 이에 대한 신뢰성 있는 측정방법이 필요하다.

열팽창계수를 측정하기 위해서 현재 dilatometer 방법⁽¹⁻³⁾과 무아레 간섭계를 비롯한 몇 가지 광학적인 방법^(4,5)이 이용되고 있다. 각각의 측정 방법은 소재의 특성에 따라 장단점을 가지고 있으며, 경우에 따라서는 시편의 준비에 제한이 있어 측정이 불가능한 경우도 많다. 또한 반도체 패키지와 같은 비금속 제품이 제조될 때에는 조건에 따라 재료의 물성치가 변화할 수도 있고, 화학적 조성비나 제조공정에 따라 같은 재료라도 열팽창계수가 상당히 차이날 수도 있다.

스트레인 게이지는 하중을 받고 있는 재료의 변형률을 저항변화로 감지하여 측정하는 센서이다. 스트레인 게이지 저항체의 저항변화는 기계적인 하중뿐 아니라 온도변화에 의해서도 복합적으로 발생한다.^(6,7) 본 논문에서는 이러한 스트레인 게이지의 특성을 이용하여 온도가 증가함에 따라 변하는 변형률을 측정하고 이로부터 재료의 열팽창계수를 구하는 방법을 실험적으로 제시하였다. 실험의 신뢰성을 검증하기 위해서 일반적으로 열팽창계수가 잘 알려진 탄소강, 알루미늄 및 구리시편을 사용해서 열팽창계수를 측정하고 그 결과를 비교하여 열팽창계수 측정방법의 신뢰성을 평가하였다. 또한 이 방법을 전자 패키지를 구성하고 있는 새로운 전자재료에 적용하여 무선유 패키지 기판(coreless package substrate)의 온도에 따른 열팽창계수를 측정하였다.

2. 열팽창계수의 측정방법

2.1 온도 변화에 따른 열적 변형률

스트레인 게이지는 일종의 금속 저항체로 재료에 변형률이 발생하게 되면 재료에 부착된 스트레인 게이지 저항체의 길이가 변화하고 이에 따라 저항값이 변하는 성질을 가지고 있다. 저항변화율 $\Delta R/R$ 과 축방향 변형률 ϵ 사이의 관계는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.⁽⁷⁾

$$\frac{\Delta R}{R} = K\epsilon \quad (1)$$

여기서 비례상수 K 를 게이지 상수(gage factor)라 하며 이 상수는 스트레인 게이지마다 갖는 특성 값이다.

탄성체가 온도 변화 ΔT 를 받아 변형할 때의 자유 변형률 ϵ_T 는 열팽창계수 α 의 정의에 따라 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\epsilon_T = \alpha \Delta T \quad (2)$$

식 (2)에서 보는 바와 같이 기본적으로는 온도에 따라 변화하는 변형률을 측정하면 그 재료의 열팽창계수를 구할 수 있다. 그러나 상용되고 있는 스트레인 게이지들은 온도에 의한 변형률을 최소화시켜 가능한 한 기계적인 변형률만이 측정될 수 있도록 재료의 열팽창 계수에 따른 최적화가 되어 있다. 즉, 온도가 변화하면 스트레인 게이지의 저항변화율은 식 (1)과 같이 표현된 기계적인 변형률에 의한 저항변화율에 스트레인 게이지 자체의 온도변화에 따른 저항변화율과 시편과 스트레인 게이지의 열팽창계수 차이에 따른 저항변화율이 더해져서 다음 식과 같이 표현⁽⁷⁾되는데, 이를 가능한 한 최소화시킴으로써 온도가 변하더라도 측정되는 변형률에는 큰 영향이 없도록 제작되어 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R}{R} &= K\epsilon + [\beta + K(\alpha_S - \alpha_G)] \Delta T \\ &= \left(\frac{R}{\Delta R}\right)_M + \left(\frac{R}{\Delta R}\right)_T \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 β 는 스트레인 게이지 저항체의 저항온도 계수(temperature coefficient of resistivity)이고 α_S 와 α_G 는 각각 시편과 스트레인 게이지 저항체의 열팽창계수이다.

식 (3)에서 온도의 변화에 의해 발생하는 스트레인 게이지의 열적 변형률(thermal strain)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\epsilon_T = \frac{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_T}{K} = \left[\frac{\beta}{K} + (\alpha_S - \alpha_G) \right] \Delta T \quad (4)$$

식 (4)로 표현된 열적 변형률 값은 온도 차이가 커지는 경우 기계적인 하중에 의한 변형률에 비해 대단히 커질 수 있어 측정 시 큰 오차의 원인이 될 수 있다. 이러한 오차를 제거하기 위한 온도보상 방법으로 1/2 브리지(half bridge) 회로를

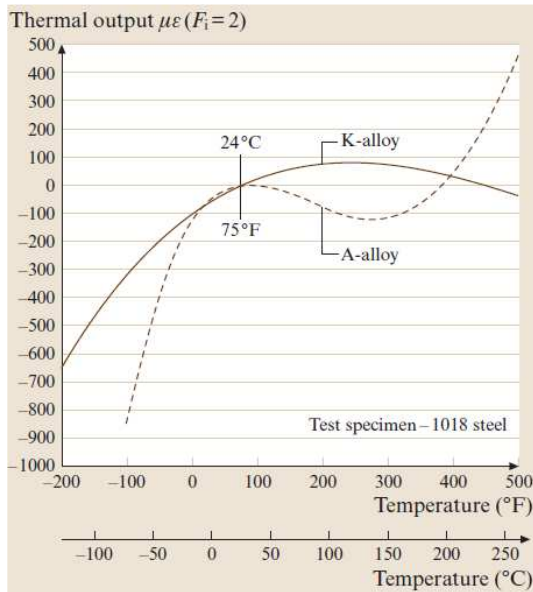


Fig. 1 Thermal output variation with temperature for several strain gage alloys⁽⁸⁾

이용하는 방법, 더미(dummy) 게이지를 이용하는 방법 등이 유용하게 이용되고 있다. 최근에는 사용하는 재료의 종류에 맞추어 식 (4)의 열적 변형률 값이 넓은 온도 범위에서 최소화되도록 제작되는 자체 온도보상 게이지(self-temperature-compensated strain gage)가 널리 사용되고 있다.

Fig. 1은 1018 steel 재료에 탄소강용 게이지(MM-CEA-06-062UW-350)를 부착하였을 때 온도의 변화에 따라 발생하는 열적 변형률을 보여주는 한 예이다. 이 열적 변형률은 자체 보상되지 않은 스트레인 게이지의 경우에 비해 상당히 작은 값이며, 특히 상온 근처에서는 $100 \mu\text{m/m}$ 이내의 열적 변형률이 발생되도록 최적화 되었다. 이러한 열적출력 데이터는 측정 대상으로 하는 재료와 스트레인 게이지에 따라서 다르게 제공되며, 이와 같은 이유로 스트레인 게이지는 재료의 열팽창계수에 따라 분류되는 것이 일반적이다. 이와 같은 열적 변형률은 제작사마다 사용 온도 범위에 걸친 그래프로 제공하거나 다음과 같은 온도에 대한 다항식의 형태로 표현하여 상수들을 제공하는 것이 일반적이다.

$$\epsilon_T = a_0 + a_1 \times T + a_2 \times T^2 + a_3 \times T^3 + a_4 \times T^4 \quad (5)$$

재료에 하중이 가해졌을 때 실제 발생한 기계적인 변형률 ϵ 은 다음 식과 같이 측정된 변형률 ϵ_r 에서 온도에 따른 열적 변형률 ϵ_T 를 차감하여

결정될 수 있다.

$$\epsilon = \epsilon_r - \epsilon_T \quad (6)$$

2.2 열팽창계수의 결정방법

스트레인 게이지를 이용하여 재료의 열팽창계수를 구하기 위하여 열팽창계수를 알고 있는 기준시편을 이용할 수 있다. 열팽창계수를 측정하려는 시편과 기준 시편에 동일한 스트레인 게이지를 각각 부착하고 기계적인 하중을 가하지 않은 상태에서 시편의 온도를 변화시켜 측정된 열적 변형률을 각각 ϵ_S , ϵ_R 이라 하면, 각각의 스트레인 게이지에서 발생된 열적 변형률은 식 (4)로부터 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\epsilon_S = \left[\frac{\beta}{K} + (\alpha_S - \alpha_G) \right] \Delta T \quad (7)$$

$$\epsilon_R = \left[\frac{\beta}{K} + (\alpha_R - \alpha_G) \right] \Delta T \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)을 연립하면 다음 식과 같은 관계가 성립된다.

$$\alpha_S - \alpha_R = \frac{\epsilon_S - \epsilon_R}{\Delta T} \quad (9)$$

식 (9)를 이용하면 재료의 열팽창계수 α_S 를 간단히 결정할 수 있지만, 이를 위해서는 기준 시편의 정확한 열팽창계수 적용과 온도에 따른 변형률 측정방법의 신뢰성이 먼저 확보되어야 한다.

3. 열팽창계수 측정 실험방법

본 논문에서는 측정방법의 신뢰성을 평가하기 위하여 일반적으로 열팽창계수가 잘 알려져 있는 탄소강과 알루미늄 시편의 열팽창계수를 상호 측정하였다. 실험에 사용한 스트레인 게이지는 자체보상 게이지인 MM(Micro-Measurements)사의 탄소강용 스트레인게이지인 CEA-06-062UW-350과 알루미늄용 스트레인 게이지인 CEA-13-062UW-350이다. 실험에 사용된 스트레인 게이지의 그리드 합금은 콘스탄탄(A-Alloy)으로 구리와 니켈 합금이고 저항값은 350Ω 이며, CEA 타입의 스트레인 게이지의 사용온도 범위는 -75°C 부터 175°C 까지이다.

스트레인 게이지 제작사에서 탄소강용 스트레인 게이지의 특성을 시험할 때 기준시편으로 사

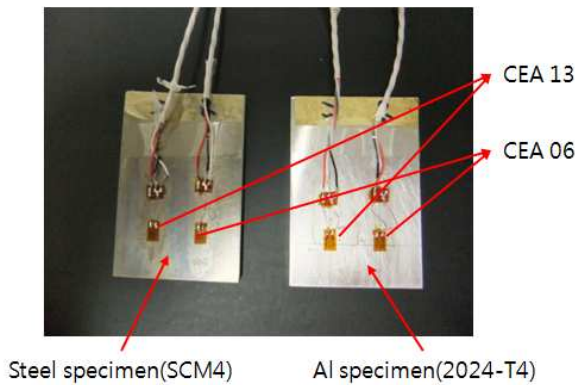


Fig. 2 Specimens with strain gages



Fig. 3 Experimental setup for measuring thermal strain

용한 재료는 1018 steel이며, 알루미늄용 스트레인 게이지의 경우는 2024-T4이다. 본 실험에서는 탄소강 1018 steel과 구성성분이 유사한 SCM4를 시편으로 사용하였고 알루미늄은 기준시편과 동일하게 2024-T4를 사용하였다. Fig. 2와 같이 70×50×5 mm의 동일한 사이즈로 가공한 탄소강 시편과 알루미늄 시편에 앞의 두 가지 스트레인 게이지를 양쪽 모두 부착하여 실험을 수행하였다. 100℃ 이상의 고온에서도 접착의 문제가 없도록 MM사의 고온용 본드인 M-610을 사용하여 스트레인 게이지를 부착하고 100℃에서 4시간 이상 경화 후, 상온에서 서서히 냉각시켰다.

스트레인 게이지에 연결되는 전선의 온도에 의한 영향을 최소화시키기 위해 스트레인 게이지에서 터미널로 연결되는 리드 와이어와 터미널에서 변형률 측정기로 연결되는 와이어를 각각 MM사의 고온용 리드 와이어(134-AWQ)와 고온용 와이어(134-FJT)를 사용하였다. 변형률 측정기는 Vishay사의 P3를 사용하였으며, 각 스트레인 게이지에 해당하는 게이지 상수를 측정기에 입력 후

온도에 따른 변형률을 1 μm/m의 분해능으로 측정하였다.

스트레인 게이지가 부착된 시편을 Fig. 3과 같은 대류식 챔버 안에 넣고 상온(24℃)에서 변형률 측정기의 영점을 조정된 후 온도를 상승시키면서 변형률을 측정하였다. 실제 시편의 온도는 시편에 부착된 열전대를 이용하여 측정하였다. 온도를 약 10℃ 간격으로 상승시키면서 각 온도 단계에서 5분 이상 온도를 유지시킨 후 변형률 값의 변화가 없을 때를 기다려 시편의 온도와 변형률을 동시에 측정하였다.

4. 열팽창계수 측정방법의 신뢰성 평가

4.1 열적 변형률 측정 결과

Fig. 4는 탄소강용 스트레인 게이지(CEA06)를 탄소강 SCM4 시편에 부착하고 온도를 변화시키면서 측정한 겉보기 변형률(ϵ_r) 값을 스트레인 게이지 제작사에서 제공한 열적 변형률(thermal strain, ϵ_T) 값과 함께 비교하여 보여주고 있으며, Fig. 5는 알루미늄용 스트레인 게이지(CEA13)를 알루미늄 시편에 부착하여 측정한 결과를 보여주고 있다. 측정된 겉보기 변형률을 보면, 상온을 기준으로 180℃까지 알루미늄용 스트레인 게이지의 경우는 약 -20 μm/m에서 100 μm/m 정도의 겉보기 변형률이 측정되었고, 탄소강용 스트레인 게이지의 경우는 약 -100 μm/m에서 10 μm/m 정도의 겉보기 변형률이 측정되었다. 이러한 겉보기 변형률 변화는 스트레인 게이지 제작사에서 제공한 열적 변형률 변화와 비슷한 경향을 보였으나, 그 값은 온도 구간에 따라 약간의 차이를 보였다. 그 이유는 실험시편이나 측정방법 등의 실험조건이 다를 수 있기 때문일 뿐 아니라, 적용하는 온도 구간의 차이로 인한 보간 오차 때문이다. 즉, 제작사에서는 열적 변형률을 식 (5)와 같이 온도에 대한 4차식의 형태로 표현하고 5개의 상수 값을 제공하는데, 이 상수 값은 온도 범위 -100℃부터 300℃까지의 측정값을 다항식으로 보간해서 구한 값이다. 이와 같이 보간식에 의한 열적 변형률은 본 시험에서 측정한 상온(24℃)부터 180℃까지에서와 같은 일부의 온도 범위에서는 상당한 차이가 날 수 있다.

본 논문에서는 상온에서 180℃ 정도까지의 온도 범위에서 재료의 열팽창계수를 구하려 하므로

Table 1 Coefficients of thermal output of the CEA type strain gages

Coefficient	CEA06 (steel)		CEA13 (aluminium)	
	MM,Inc	Experiment	MM,Inc	Experiment
a_0	-111	-44.6	-53.5	-4.25
a_1	6.29	3.04	3.39	0.796
a_2	-0.0778	-0.0499	-0.056	0.0223
a_3	0.00023	-0.00018	0.00021	0.00012
a_4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

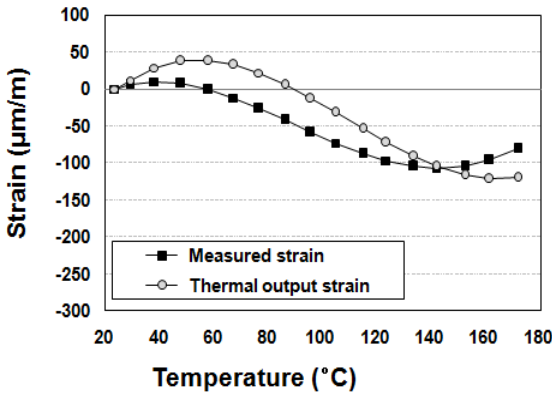


Fig. 4 Thermal strain variation measured by the steel strain gage(CEA06) attached on steel specimen(SCM4)

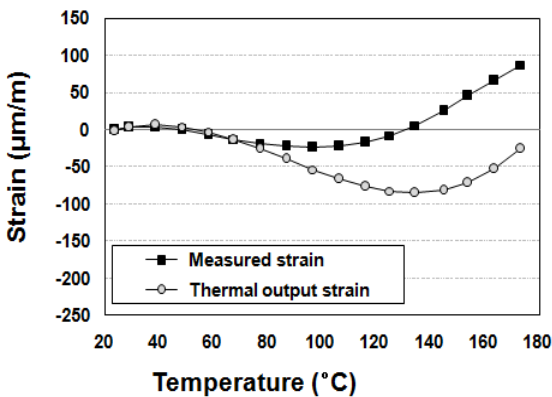


Fig. 5 Thermal strain variation measured by the aluminium strain gage(CEA13) attached on aluminium specimen(AI2024)

스트레인 게이지 제작사에서 제공한 열적 변형률을 사용하지 않고, 본 실험에서 측정된 결보기 변형률 값을 보간 해서 구한 다항식의 계수를 사용하는 식 (5)의 다항식을 열적 변형률로 하였다. Table 1에서는 측정된 결과를 사용하여 구한 다항식의 계수 값을 제작사에서 제공한 계수 값과 비

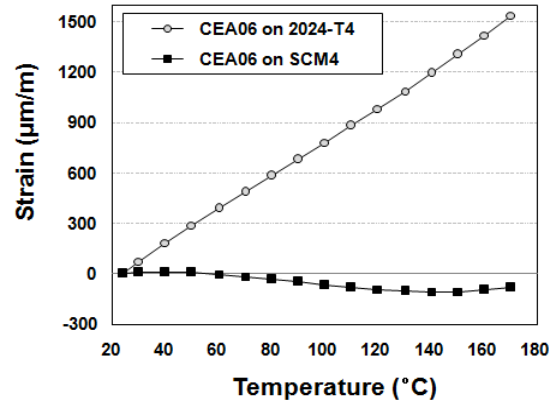


Fig. 6 Thermal strains of SCM4 and 2024-T4 measured by steel strain gage(CEA06)

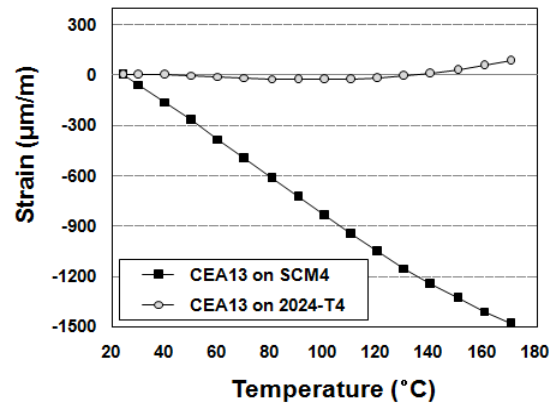


Fig. 7 Thermal strains of SCM4 and 2024-T4 measured by aluminium strain gage(CEA13)

교하여 나타내었다.

4.2 탄소강과 알루미늄의 열팽창계수 측정 결과 식 (9)를 이용하여 어떤 재료의 열팽창계수를 구하려면, 열팽창계수를 알고 있는 다른 재료에도 같은 스트레인 게이지를 부착하고 온도변화에 따른 변형률의 차이를 구하면 된다. 본 논문에서는 열팽창계수를 알고 있는 탄소강 시편과 알루미늄 시편을 상호 기준시편으로 하여 열팽창계수를 구함으로써 본 논문에서 제안한 열팽창계수 결정방법의 신뢰성을 평가하였다.

Fig. 6은 탄소강용 스트레인 게이지(CEA06)를 서로 다른 2개의 시편 SCM4와 AI2024-T4에 부착한 후 동일하게 온도를 상승시키면서 측정된 변형률 값을 나타내고 있으며, **Fig. 7**은 알루미늄용 스트레인 게이지(CEA13)를 SCM4와 AI2024-T4에 부착하여 측정된 변형률 값을 나타내고 있다. 두 경우 모두 재료에 맞는 스트레인 게이지를 사용

하였을 때에는 열적 변형률이 작게 발생하였으나, 그렇지 않았을 때는 대단히 큰 열적 변형률이 발생되었다. 작은 열팽창계수 재료에 사용되는 스트레인 게이지(CEA06)를 큰 열팽창계수를 가진 재료(Al2024-T4)에 부착하였을 때는 인장변형률이, 그 반대의 경우는 압축변형률이 발생한 것을 볼 수 있다. 따라서 온도변화가 큰 환경에서 기계적인 변형률을 측정할 때에는 재료에 맞는 온도차체보상 스트레인 게이지를 사용하지 않으면 대단히 심각한 변형률 측정 오차가 발생할 수 있음을 알 수 있다.

식 (9)를 이용하여 시편의 열팽창계수를 구하기 위해서는 기준시편의 열팽창계수와 시험시편 및 기준시편의 온도에 따른 열적변형률 값이 필요하다. 알루미늄의 열팽창계수를 구하기 위해서는 Fig. 6과 같은 탄소강용 스트레인 게이지를 이용한 변형률 측정 결과를 이용하였고, 탄소강의 열팽창계수를 구하기 위해서는 Fig. 7의 결과를 이용하였다. 재료의 물성치에서 온도에 따른 열팽창계수는 기준온도(상온)를 기준으로 정하므로 식 (9)에서 ΔT 는 각 대상온도와 기준온도의 차이로 계산하였다. Fig. 8과 Fig. 9는 각각 SCM4와 Al2024-T4 재료에 대해 구한 온도의 변화에 따른 열팽창계수를 나타내고 있다. 그림의 점선으로 표시된 평균 열팽창계수는 SCM4의 경우 12.9 ppm/°C이었고, Al2024-T4의 경우는 23.8 ppm/°C이었다. 이는 재료 물성치로 알려진 SCM4의 열팽창계수 12.7 ppm/°C과 Al2024-T4의 열팽창계수 23.8 ppm/°C과 아주 잘 일치하였다. 온도구간이 작은 30°C 근처에서는 식 (9)의 ΔT 가 작아 이후 온도에서의 결과와 약간의 차이가 있었으나, 본 논문에서 적용한 열팽창계수 결정방법과 실험방법 및 실험치는 매우 신뢰성이 있는 것으로 판단된다.

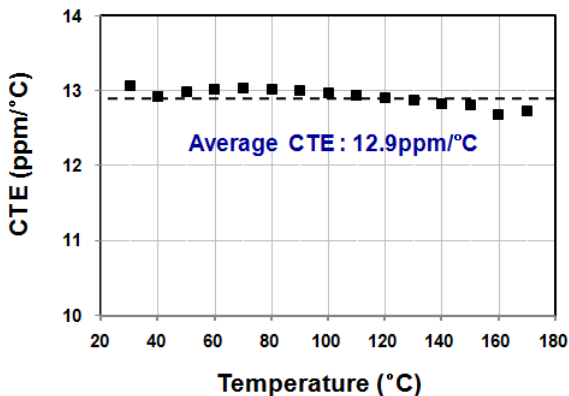


Fig. 8 Coefficient of thermal expansion of the SCM4 specimen determined by Eq. (9)

4.3 구리 시편의 열팽창계수 측정

본 논문의 방법을 이용하여 좀 더 실제적인 조건에서의 열팽창계수를 구하기 위하여 또 다른 재료인 구리 시편의 열팽창계수를 측정하였다. 실험에 사용된 시편은 구리 C1100이었고, 3.3절에서의 탄소강 SCM4와 알루미늄 Al2024-T4의 두 가지를 기준시편으로 사용하여 결과를 비교하였다. 탄소강용 스트레인 게이지인 CEA06과 알루미늄용 스트레인 게이지인 CEA13을 하나의 구리 시편에 부착하고 온도를 변화시키면서 발생하는 변형률을 측정하였다. Fig. 10은 기준시편을 탄소강과 알루미늄으로 하였을 때 온도에 따라 발생한 열적 변형률을 보여주고 있다. 탄소강과 알루미늄의 열적 변형률은 4.1절의 Table 1 결과를 계수로 하는 식 (5)의 온도에 대한 식을 이용하였다.

평균 열팽창계수는 SCM4을 기준시편으로 했을 때 17.3 ppm/°C이었고, Al2024-T4을 기준시편으로

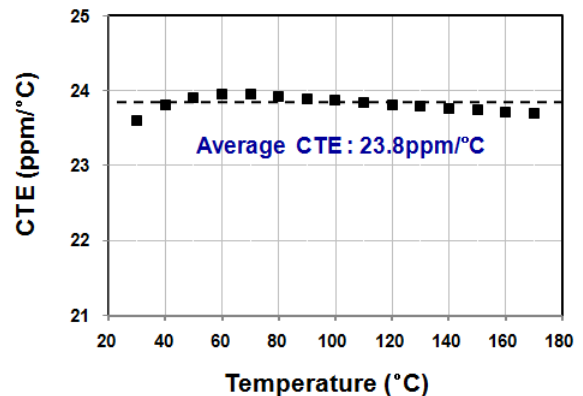


Fig. 9 Coefficient of thermal expansion of the 2024-T4 specimen determined by Eq. (9)

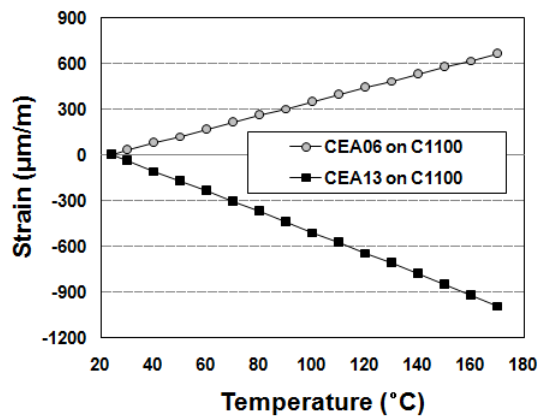


Fig. 10 Thermal strains of C1100 measured by steel strain gage(CEA06) and aluminium strain gage(CEA13)

했을 때 17.1 ppm/°C이었다. 본 논문의 방법으로 측정된 열팽창계수들은 두 경우 모두 구리 C1100의 열팽창계수로 알려진 17.3 ppm/°C과 아주 잘 일치하였으나, Al2024-T4를 기준시편으로 했을 때보다 SCM4를 기준시편으로 했을 때 조금 더 잘 일치하였다. 이와 같은 결과로, 열팽창계수를 측정할 때의 기준시편으로는 측정하려는 시편의 예상 열팽창계수와 가능한 가까운 열팽창계수를 갖는 재료를 선택하는 것이 좀 더 정확한 측정결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

5. 패키지 기판의 열팽창계수 측정

반도체칩과 직접 결합하여 필요한 성능을 보여야 하는 패키지 기판(package substrate)은 일반적인 PCB 기판에 비해 재료선택에 있어 기계적, 전기적인 제한이 많다. 반도체를 이용한 전자제품의 성능이 향상되고 경량화, 소형화가 요구됨에 따라 얇은 패키지 기판을 개발하기 위해서 섬유를 사용하지 않고 폴리머와 구리판으로 기판을 구성하려는 무섬유 패키지 기판 기술이 관심을 받고 있다. Fig. 11은 유리 섬유가 포함된 두께 1.0~1.4 mm 정도의 일반적인 패키지 기판에 실장된 FC-PBGA 패키지와 0.4 mm이하의 대단히 얇은 두께를 가지고 있는 무섬유 패키지 기판에 실장된 패키지를 보여주고 있다.

반도체 패키지는 온도가 변화할 때 반도체 칩과 패키지 기판의 열팽창계수 차이로 인하여 상당한 양의 휨 변형이 발생할 수 있다. 이로 인하여

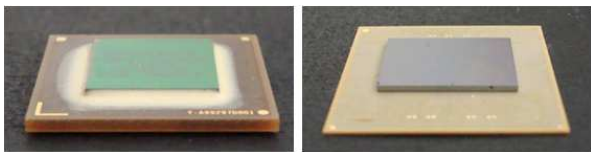
여 응력집중 등이 발생해서 패키지의 신뢰성이 저하될 수 있으며, 경우에 따라서는 패키지 자체의 기능이 전기적으로 작동하지 않을 수도 있다. 특히 무섬유 패키지 기판과 같이 휨 변형이 발생하기 쉬운 전자재료의 경우에는 온도변화에 대한 신뢰성 확보를 위해서 열팽창계수의 측정이 필요하다. 본 논문의 4장에서 신뢰성이 확보된 열팽창계수 측정방법을 적용하여 무섬유 패키지 기판의 열팽창계수를 측정하였다. 이를 위하여 무섬유 패키지의 칩과 기판을 분리한 후 Fig. 12와 같이 시편의 두 지점을 선정하여 탄소강용 스트레인 게이지(CEA06)를 부착하고 4장의 실험방법에 따라 온도를 변화시키면서 변형률을 측정하였다. 기준시편으로는 탄소강 SCM4를 사용하였다.

Fig. 13은 스트레인 게이지를 이용해 측정된 패키지 기판의 열팽창계수 측정 결과를 보여주고 있다. 측정결과에서 보는 바와 같이 두 지점의 열팽창계수는 약간의 차이가 발생하였으며, 특히 130°C 근처 이상에서는 차이가 좀 더 크게 나타났다. 결정된 열팽창계수는 상온에서 약 25.5 ppm/°C이었고 온도가 증가함에 따라 거의 선형적으로 감소하여 120°C에서는 약 22.7 ppm/°C의 값이 측정되었다. 130°C 이상에서는 재료의 유변형(rheological deformation) 현상으로 인하여 온도에 따라 열팽창계수가 불규칙적으로 변화하였다.

Fig. 13에 표시된 점선은 다음과 같이 온도에 대한 식으로 표현할 수 있다.

$$\alpha(T) = 26.1 - 0.028T \tag{10}$$

여기서 α 는 열팽창계수(ppm/°C)이고 T는 섭씨온도(°C)를 나타낸다.



(a) Fibered substrate (b) Coreless substrate

Fig. 11 Flip chip packages

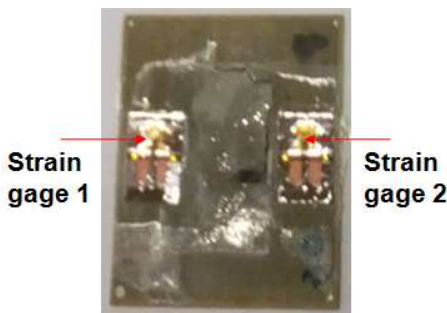


Fig. 12 Strain gages attached on the substrate

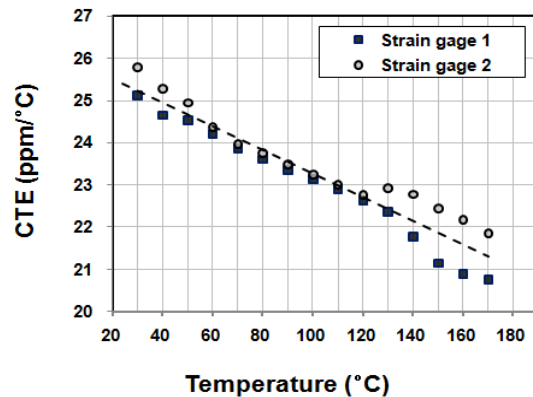


Fig. 13 Coefficient of thermal expansion of the coreless substrate determined by Eq. (9)

이상의 결과로 본 논문에서 제안한 스트레인 게이지를 이용한 열팽창계수 측정방법은 온도에 따라 변화하는 새로운 재료의 열팽창계수를 측정하는데 유용하게 사용될 수 있으리라 판단된다.

6. 결론

본 논문에서는 스트레인 게이지의 온도특성을 이용하여 임의 재료의 열팽창계수를 실험적으로 구하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법의 신뢰성을 검증하기 위해서 탄소강과 알루미늄 및 구리 시편을 대상으로 열팽창계수를 측정하여 상호 비교하였고, 이 방법을 무섬유 패키지 기관의 열팽창계수 측정에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 탄소강 시편과 알루미늄 시편을 상호 기준 시편으로 하여 결정된 열팽창계수는 SCM4의 경우 12.9 ppm/°C이었고, Al2024-T4의 경우는 23.8 ppm/°C이었다. 이는 재료 물성치로 알려진 열팽창계수와 아주 잘 일치하여서 본 논문에서 적용한 열팽창계수 결정방법과 실험방법은 매우 신뢰성이 있는 것으로 평가되었다.

(2) 구리 C1100 시편의 열팽창계수를 측정할 결과 SCM4을 기준시편으로 했을 때 17.3 ppm/°C, Al2024-T4을 기준시편으로 했을 때 17.1 ppm/°C이었다. 이 결과는 구리의 열팽창계수 17.3 ppm/°C과 아주 잘 일치하였으며, 측정하려는 시편과 가능한 가까운 열팽창계수의 재료를 기준재료로 선택하였을 때 좀 더 정확한 측정결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

(3) 본 논문의 측정방법을 무섬유 패키지 기관의 열팽창계수 측정에 적용한 결과 결정된 열팽창계수는 상온에서 약 25.5 ppm/°C이었고, 온도가 증가함에 따라 거의 선형적으로 감소하여 120°C에서는 약 22.7 ppm/°C의 값이 측정되었다. 또한, 130°C 이상에서 나타나는 재료의 유변형 현상에 의한 열팽창계수의 급격한 변화가 잘 감지되어서 본 논문의 측정방법은 온도에 따라 변화하는 새로운 재료의 열팽창계수를 측정하는데 유용하게 사용될 수 있으리라 기대된다.

후기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2012R1A1A2041786).

참고문헌 (References)

- (1) Neumeier, J. J., Bollinger, R. K., Timmins, G. E., Lane, C. R., Krogstad, R. D. and Macaluso, J., 2008, "Capacitive-Based Dilatometer Cell Constructed of Fused Quartz for Measuring the Thermal Expansion of Solids," *Review of Scientific Instruments* 79, 033903.
- (2) Paganelli, M., 2004, *The Non-Contact Optical Dilatometer Designed for The Behaviour of Ceramic Raw Materials*, Expert System Solutions S.r.l. Tech. Note.
- (3) Han, B., Wu, Z. and Cho, S., 2001, Measurement of Thermal Expansion Coefficient of Flexible Substrate by Moire Interferometry," *Experimental Techniques*, Vol. 25, Issue 3, pp. 22~25.
- (4) Lee, B. H., Kim, M. K. and Joo, J. W., 2010, "Thermo-Mechanical Behavior of WB-PBGA Packages with Pb-Sn Solder and Lead-free Solder Using Moire Interferometry," *J. Microelectron. Packag., Soc.*, Vol. 17, No. 3, pp. 17~26.
- (5) Vishay Precision Group, 2010, "Strain Gage Thermal Output and Gage Factor Variation with Temperature," *Strain Gages Technical Data*, Tech Note TN-504-1, pp. 35~47.
- (6) Joo, J. W. and Kim, G. S., 1992, "The Apparent Strains of Strain Gages in Cryogenic Environment," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 16, No. 6, pp. 1099~1107.
- (7) Vishay Precision Group, 2010, "Measurement of Thermal Expansion Coefficient Using Strain Gages," *Strain Gages Technical Data*, Tech Note TN-513-1, pp. 119~129.
- (8) Shape, W. N. Jr., 2008, *Handbook of Experimental Solid Mechanics*, Springer, New York, pp. 283~325.