

# 반도체 heatsink용 고부피분율 SiCp/Al 금속복합재료의 제조공정 및 열적특성분석

이효수\*, 홍순형

## Fabrication Process and Analysis of Thermal Properties of High Volume Fraction SiCp/Al Metal Matrix Composites for Heatsink Materials

Hyo S. Lee and Soon H. Hong

**Key Words:** pressure infiltration casting process, SiCp/Al MMCs, thermal conductivity, CTE

### Abstract

The fabrication process and analysis of thermal properties of 50~76vol% SiCp/Al metal matrix composites(MMCs) for heatsink materials in electronic packaging were investigated. The 50~76vol% SiCp/Al MMCs fabricated by pressure infiltration casting process showed that thermal conductivities were 85~170W/mK and coefficient of thermal expansion(CTE) were ranged 10~6ppm/K. Specially, the thermal conductivity and CTE of 71vol%SiCp/Al MMCs were ranged 115~156W/mK and 6~7ppm/K, respectively, which showed a improved thermal properties than the conventional electronic packaging materials such as ceramics and metals.

#### 1. 서론

정보통신 및 우주항공 등의 기술 집약적 산업이 급속히 발전되고 전자부품이 경박단소화 되면서 소자로부터 발생하는 열의 밀도가 급속히 높아지는 추세이다. 이로 인해 야기되는 문제점은 소자의 온도 상승으로 인해 일어나는 수명 단축과 신뢰성의 감소이다.<sup>1,5</sup> 따라서 기존의 전자부품에는 칩에서 발생하는 열을 배출하기 위하여 CPU(central processing unit) 및 PCB(printed circuit board)에 heat sink가 부착된다. 기존의 전자패키징용 부품 중에서 heat sink는 heat spreader, mother board 및 microwave housing등의 형태로 응용되며 이러한 heat sink용 소재로서 갖추어야 할 조건은 높은 열전도도, 반도체와 유사한 수준의 열팽창계수 및 낮은 밀도 등으로 요약될 수 있다. 그러나, 기존에 사용되어왔던 세라믹계 소

재의 경우 열전도도, 열팽창계수 그리고 밀도등 물리적 특성이 비교적 좋으나 소재자체의 가격이 너무 비싸고 복잡한 형상으로의 가공성이 나쁘며 기계적 성질의 신뢰도가 낮은 단점이 있다. 반면에 금속계 소재의 경우 열전도도는 높으나, 열팽창계수가 높고 밀도가 크므로 전자패키징소재로서의 기능 및 경량화 요구에 적합치 않다. 따라서 이러한 요구특성에 맞추어 최근에 관심이 집중되고 있는 소재가 금속복합재료(metal matrix composites)이다. 본 연구에서는 차세대 전자패키징용 소재로 응용이 가능한 고열전도도-저열팽창계수 금속복합재료를 제조하기 위하여 강화재는 SiC 분말을 사용하였으며 기지상은 Al을 사용하였다. Ball milling and pressing법으로 예비성형체를 제조하였고 pressure infiltration casting process로 강화재 부피분율 50~76vol% SiCp/Al 금속복합재료를 제조하여 열전도도 및 열팽창계수 등의

열적 특성평가를 수행하였다.

## 2. 실험방법

Pressure infiltration casting process로 SiCp/Al 금속복합재료를 제조하기 위해서는 고가압력에 견딜 수 있는 예비성형체를 제조하여야 한다. 고부피분율의 예비성형체를 제조하기 위해 강화재 부피분율 70%이하의 SiC 분말예비성형체는 48 $\mu$ m의  $\alpha$ -type SiC 분말을 사용하였고, 70vol%이상의 예비성형체는 평균직경 8 $\mu$ m과 48 $\mu$ m의  $\alpha$ -type SiC 분말을 1:2로 혼합하였으며 특히, 76vol%의 예비성형체는 평균직경 0.2 $\mu$ m, 3 $\mu$ m과 48 $\mu$ m의  $\alpha$ -type SiC 분말을 1:2:7의 혼합비로 혼합하여 SiC 분말 예비성형체를 제조하였다. 0~3%의 무기바인더(SiO<sub>2</sub>)를 첨가하여 균일하게 혼합하여 slurry를 만들고 ball milling하여 충분한 혼합물이 이루어지도록 하였다. 이러한 slurry상태의 혼합물을 cold press하여 SiC 분말 성형체를 제조하였으며 두 단계의 natural drying과 forced drying의 공정으로 충분히 건조시킨 후 1100 $^{\circ}$ C에서 소성과정을 거쳐 cylinder형태의 SiC 분말 예비성형체를 제조하였다. Pressure infiltration casting process를 통한 SiCp/Al 금속복합재료를 제조하기 위하여 예비성형체를 750 $^{\circ}$ C, 금형온도는 300 $^{\circ}$ C에 유지하였다. 또한 제조공정변수에 따른 SiCp/Al 금속복합재료의 특성변화를 분석하기 위해 예비성형체 제조조건을 변화시키며 금속복합재료를 제조한 후 열전도도와 열팽창계수를 평가하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 고부피분율 SiCp/Al 금속복합재료의 제조공정

Fig. 1은 본 연구에서 수행된 SiC 분말 예비성형체 제조공정과 pressure infiltration casting process를 나타낸 것이다. 본 연구에서 제조한 SiCp/Al 금속복합재료의 제조공정은 SiC 분말 예비성형체의 제조공정과 pressure infiltration casting process를 이용한 Al기지상의 금속복합재료의 제조공정으로 수행하였으며 예비성형체 제조조건,

용탕온도와 pressure infiltration casting process 가압력의 제조공정변수에 따라 SiCp/Al 금속복합재료를 제조하여 전자패키징용 소재의 요구특성에 적합한 SiCp/Al 금속복합재료의 제조공정조건을 확립할 수 있었다. 이러한 제조공정을 바탕으로 고부피분율(70vol%이상)의 예비성형체를 제조할 수 있었으며 고부피분율의 예비성형체에 Al기지를 균일하게 함침시킴으로써 전자패키징용 금속복합재료를 제조할 수 있었다.

### 3.2 SiC 분말 예비성형체 및 고부피분율 SiCp/Al 금속복합재료의 미세조직

Fig. 2(a)~ 2(e)는 각각 SiC 분말 예비성형체와 50~76vol%SiCp/Al 금속복합재료의 미세조직이다. Fig. 2(a)에서 보는 바와 같이 강화재 부피분율 70%이상의 SiC 분말 예비성형체는 0.2 $\mu$ m, 3 $\mu$ m, 8 $\mu$ m 및 48 $\mu$ m의 bimodal sizes 또는 trimodal sizes SiC 분말을 사용하여 효과적으로 큰입자와 작은입자를 혼합하여 고부피분율의 SiC 분말 예비성형체를 제조하였다. 또한, 첨가된 무기바인더는 SiC 입자사이에 응집되어 SiC 분말 예비성형체의 강도를 증가시켜 pressure infiltration casting process의 고가압력에 의한 SiC 분말 예비성형체의 미소균열을 방지하지만 금속기지상의 균일한 함침을 방해하여 SiC 입자 계면에서 기공을 유발시킨다. 따라서 SiCp/Al 금속복합재료내의 기공은 열특성을 감소시키므로 무기바인더의 첨가를 최소화하여야 한다. 본 연구에서는 Fig. 2(b)에서 보는 바와 같이 무기바인더를 첨가하지 않은 SiC 분말 예비성형체를 제조하여 Al 기지상이 원활하게 함침되고 금속복합재료내에 SiC 분말이 균일하게 분포되어질 것으로 기대되었다. Fig. 2(b)~ 2(e)은 Al기지를 함침시킨 50~76vol%SiCp/Al 금속복합재료의 미세조직이며 Al기지에 0.2 $\mu$ m, 3 $\mu$ m, 8 $\mu$ m, 48 $\mu$ m SiC 분말 강화재가 균일하게 분포되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.

### 3.3 SiCp/Al 금속복합재료의 열적특성분석

SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도와 열팽창계수에 영향을 미치는 영향을 분석하기 위하여 강화재 부피분율의 효과 및 첨가물의 효과를 분석하였다. 또한 SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도 및 열팽창계수특성을 예측하기 위한 이론식은 Maxwell' model과 Turner's model를 각각 이용하여

\* 한국과학기술원 재료공학과

이론값과 실험값을 비교분석 하였다. Table 1에는 SiCp/Al 금속복합재료의 열적특성에 영향을 미치는 SiC강화재, 무기바인더 및 기공성분들에 대한 열적특성을 나타내었다. 본 연구에서 제조한 SiCp/Al 금속복합재료의 제조조건에 따른 열전도도와 열팽창계수는 각각 85~170W/mK 및 6~10ppm/K의 범위를 나타내었으며 특히, 71vol% SiCp/Al 금속복합재료는 115~170W/mK의 열전도도와 6~7ppm/K의 열팽창계수를 나타내어 기존의 전자패키징용 소재에 비하여 우수한 열적특성을 나타내었다. Fig. 3(a)와 3(b)는 기지상을 pure Al을 사용한 SiCp/Al 금속복합재료의 열적특성을 나타낸 것으로 SiC분말의 부피분율의 증가에 따른 열전도도와 열팽창계수이다. 열전도도는 121W/mK, 열팽창계수  $4.5 \times 10^{-6}/K$ 인 SiC분말의 부피분율이 50~76vol%으로 증가함에 따라 열전도도는 170W/mK에서 85W/mK으로 감소하였고 열팽창계수는 10ppm/K에서 6ppm/K으로 감소하였다. SiC 분말의 열전도도는 121W/mK이고 열팽창계수는 4.5ppm/K이며 Al 기지상의 열전도도는 237W/mK이고 열팽창계수는 23.6ppm/K으로 강화재의 부피분율이 증가할수록 열전도도 및 열팽창계수가 감소되어 강화재의 부피분율이 70%이상일 때 전자패키징용 소재로서 요구특성에 적합한 열적특성을 지닌다. 열팽창계수는 강화재의 부피분율이 증가함에 따라 이론값에 거의 일치하는 결과를 나타내었다. 열전도도는 강화재 부피분율이 70%이하일 때 이론값이 거의 일치하며 강화재 부피분율이 70%이상으로 증가할 때 이론값에 비하여 약 20%이상 감소한다. 이러한 원인은 열전달의 주요한 path인 금속기지상이 강화재부피분율의 증가에 따라서 SiC 분말 또는 기공과 같은 defect에 의하여 연속적인 상을 유지하는 것이 어려워지기 때문이다. SiCp/Al 금속복합재료 제조 공정에서 무기바인더의 역할은 예비성형체의 강도를 증가시켜 pressure infiltration casting pressure에 의하여 예비성형체의 파단이 발생하지 않게 한다. 그러나 무기바인더 자체의 낮은 열전도도와 SiC 입자사이에 잔류되므로 금속기지상의 원활한 합침이 이루어지지 않기때문에 SiC입자사이에 기공을 유발시킨다. 따라서 SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도를 증가시키기 위해서는 무기바인더의 첨가량을 최소화해야 한다. Fig. 4(a)와 4(b)는 SiC분말 예비성형체에 첨가되는 무기바인

더 및 유기바인더의 첨가량에 따른 71vol%SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도 및 열팽창계수를 나타낸 것이다. Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 무기바인더의 양이 0~3%으로 증가할수록 열전도도는 118~156W/mK으로 감소하였다. 반면에 Fig. 4(b)에서 보는 바와 같이 열팽창계수는 무기바인더 첨가에 관계없이 비교적 일정한 6~7ppm/K를 나타냄으로써 SiCp/Al 금속복합재료의 열팽창계수는 강화재 부피분율 증가에 의해서만 감소되는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

- 1) Pressure infiltration casting process에 의해서 강화재 부피분율 50~76vol% SiCp/Al 금속복합재료를 제조하였으며 열적특성평가를 수행하여 기존의 전자패키징용 재료에 비해 낮은 밀도와 열전도도-저열팽창계수를 나타내는 전자패키징용 금속복합재료의 확립된 제조공정을 제시하였다.
- 2) SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도는 SiC 분말 강화재의 부피분율이 50~76vol%으로 증가할수록 85~170W/mK으로 감소하였으며 무기바인더의 첨가가 0~3% 로 증가될수록 118~156W/mK으로 감소하였다. 이는 강화재의 부피분율 및 무기바인더의 증가에 따른 SiC 입자사이에 기공의 발생증가 및 각 첨가물들의 낮은 열전도도에 기인한다.
- 3) SiCp/Al 금속복합재료의 열팽창계수는 무기바인더 및 기공의 영향 없이 강화재 부피분율이 50~76vol%으로 증가할수록 6~10ppm/K로 감소하였다.

#### 참고문헌

- (1) J. I. Song, Y. C. Yang and K. S. Han, J. Mater. Sci., 31 (1996)2615.
- (2) T. Iseki, T. Kameda and T. Maruyama., J. Mater. Sci., 19 (1984)1692.
- (3) H. Fukunaga and X. Wang., J. Mater. Sci. Lett., 9 (1990)23.
- (4) G. M. Janowski and B. J. Pletka, Mater. Sci. Eng., A129 (1990)65.
- (5) D. K. Balch, T. J. Fitzgerald and S. Suresh, Metall. Mater. Trans. A, 27A (1996)3700.

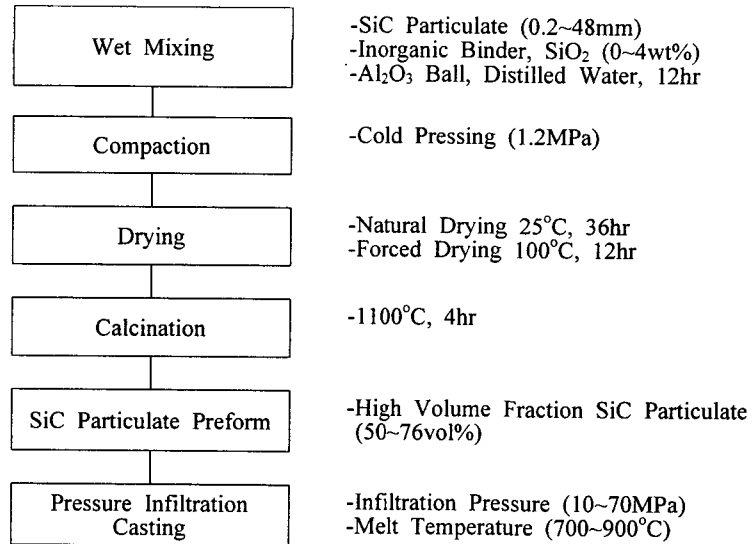


Fig. 1. Fabrication process of high volume fraction SiCp/Al metal matrix composites by pressure infiltration casting process.


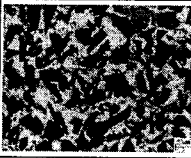

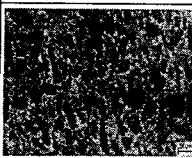

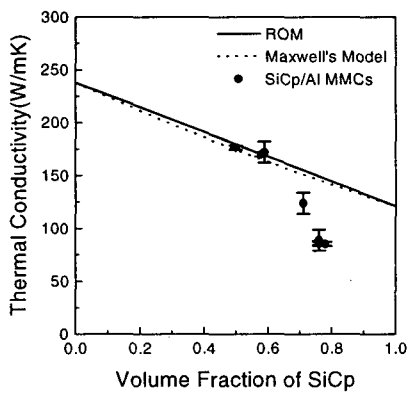
Properties	Microstructures				
	Preform	50~76vol% SiCp/Al Metal Matrix Composites			
No.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
					
Relative Density(%)	-	98	98	97	93
Thermal Diffusivity (10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /s)	-	7.8	7.5	4.1	3.7
Thermal Conductivity (W/mK)	-	177.2	170.1	149.3	85.2
CTE(ppm/K)	-	10.0	8.4	6.8	6.4

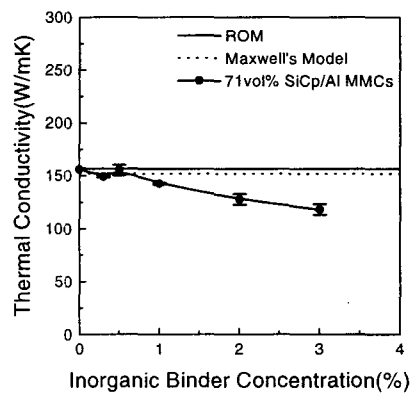
Fig. 2. SEM micrographs of 71vol% SiC particulate preform and 50~76vol%SiCp/Al metal matrix composite. (a) 71vol% SiC particulate preform without SiO<sub>2</sub>, (b) 50vol% SiCp/Al metal matrix composite using unimodal SiC particle, (c) 59vol% SiCp/Al metal matrix composite using unimodal SiC particle, (d) 71vol% SiCp/Al metal matrix composite using bimodal SiC particles, (e) 76vol% SiCp/Al metal matrix composite using trimodal SiC particles.

Table 1. Thermal Properties of the elements included in SiCp/Al MMC

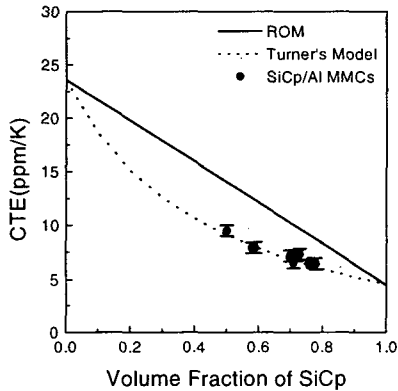
	Pure Al	SiC ( $\alpha$ -type)	SiO <sub>2</sub>		Pore
			amorphous	crystalline	
Thermal					
Conductivity(W/mK)	237	121	1.375	1.05	0.026
CTE(ppm/K)	23.6	4.5	0.535	18.5	-
Density(g/cm <sup>3</sup> )	2.705	3.217	2.2	2.21	-
Specific Heat(J/kg · K)	900	690	-	-	-



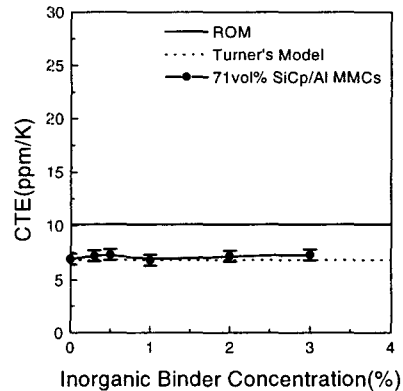
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 3. Thermal conductivity and CTE of SiCp/Al metal matrix composites with varying volume fractions of SiC particle. (a) Thermal conductivity, (b) CTE.

Fig. 4. Thermal conductivity and CTE of 71vol%SiCp/Al metal matrix composites with varying inorganic binder and organic binder. (a) Thermal conductivity, (b) CTE.