



<연구논문>

ISSN 1225-8024(Print)
ISSN 2288-8403(Online)

한국표면공학회지
J. Korean Inst. Surf. Eng.
Vol. 52, No. 2, 2019.

<https://doi.org/10.5695/JKISE.2019.52.2.58>

복사에너지를 이용한 TIM소재의 방열 특성 향상을 위한 연구

황명원^a, 김도형^a, 정우창^b, 정원섭^{a,*}

^a 부산대학교 재료공학과, ^b 한국생산기술연구소 동남지역본부

Study on Improvement of Heat Dissipation Characteristics of TIM Material Using Radiant Energy

Myungwon Hwang^a, Dohyung Kim^a, Uoo-Chang Jung^b, and Wonsub Chung^{a,*}

^aDepartments of Materials Science and Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea

^bKorea Institute of Industrial Technology, Dongnam Regional Division, Busan 46938, Republic of Korea

(Received 21 January, 2019 ; revised 28 March, 2019 ; accepted 28 March, 2019)

Abstracts

The aim of this study is to quantitatively demonstrate the possibility of heat transfer by thermal radiation by comparing heat transfer by conventional heat transfer and radiation by radiation. 1) The heat transfer was measured by using filler of TIM material with low thermal conductivity (CuS). As a result, heat transfer was easier than ceramic with high thermal conductivity (Al_2O_3 and Si_3N_4). 2) The reason for this is thought to be that the infrared wave due to radiation of the air diaphragm has moved easily. 3) From the above results, the heat dissipation of the TIM material indicates the possibility of heat transfer by thermal radiation.

Keywords : Thermal Interface Material (TIM), Thermal resistance, Thermal bypass, Emissivity, Thermal conductivity

1. 서 론

최근 자동차, 전기·전자 분야 등에서 사용되고 있는 전기소자는 경량화, 박형화, 소형화, 다기능화가 진행되고 있다. 전자소자가 고집적화될수록 더욱 많은 열이 발생하는데, 이렇게 생성된 열은 소자의 기능을 저하시킬 뿐만 아니라 주변 소자의 오작동, 기판 열화 등의 원인이 되고 있어 생성열을 제어하는 기술에 대해 많은 연구가 진행되고 있다 [1-3].

열전달은 열전도, 열대류, 열복사 세 가지 기구가 작용한다. 소자의 방열은 ① 소자 세트 내부의 열전도에 의한 열전달, ② 소자에서 방열판으로의

열전도에 의한 열전달, ③ 방열판 내부의 열전도에 의한 열전달, ④ 방열판에서 대기로의 열복사와 열대류에 의한 열전달과 같은 과정을 거쳐 열을 방출한다. 이와 같이 소자의 방열을 위해 방열판을 사용하며, 방열판과 소자 사이의 경계면에서 가장 큰 열 저항을 받게 된다. 이러한 경계면에서 열 저항을 줄이기 위해 사용하는 물질을 TIM (Thermal Interface Materials)라 한다. TIM의 성능 개선을 위해 열전도도가 높은 충전재 개발과 효과 있는 열전달을 위한 많은 연구가 진행되었다. 현재까지의 대부분의 연구는 열전도도 향상과 대류에 의한 열전달을 향상시키기 위하여 행해진 연구가 대부분이다. 열전달 기구의 또 다른 하나인 복사를 이용한 방열연구는 미비한 실정이다. 복사에 의한 방열은 식 (1)과 같이 Stefan-Boltzmann 식으로 표현할 수 있다.

*Corresponding Author: Won-Sub Chung

Departments of Materials Science and Engineering, Pusan National University
Tel: +82-51-510-1446 ; Fax: +82-51-514-4457
E-mail: wschung1@pusan.ac.kr

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_H^4 - T_C^4) \cdot A \tag{1}$$

단, E : 복사를 통해 생산되는 열에너지

ϵ : 방사율 ($0 \leq \epsilon \leq 1$)

σ : (Stefan-Boltzmann constant ($5.6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$))

T_H : 방열체의 절대온도 (K)

T_C : 방열체 주변의 절대온도 (K)

A : 방열체의 표면적 (m^2)

복사에 의한 복사열은 방사율이 1에 가까울수록 흑체에 가까워지며, 방열 성능이 우수해진다. 대부분의 금속은 방사율이 0.5 이하이기 때문에 표면이 금속으로 이루어진 방열에서는 복사에 의한 방열은 거의 무시된다. 그러나 표면을 방사율이 1에 가까운 물질로 코팅하면 열 발생 물체에서 공기로의 열 이동은 복사를 무시할 수 없게 된다.

TIM 소재는 대부분 두 물체 사이의 열 이동을 원활하게 하기 위하여 일반적으로 가격이 저렴한 Al_2O_3 세라믹 충전재를 사용한다. TIM 제작 시에는 충전재와 수지 간에 air pocket이 형성된다. 이때, 충전재와 수지 간의 air pocket의 공기는 열전도도가 극히 낮은 매질($0.025 \text{ W/m} \cdot \text{K}$)로 열전도에 의한 열전달에 장애물로 작용한다. 이와 같은 Air pocket의 형성을 막기 위해 TIM 생산 공정에서 진공 공정을 도입하는데 이는 TIM 생산단가의 상승을 야기한다.

이러한 이유로 열전도에 의한 TIM 소재의 열전달을 복사에 의한 열전달 가능성을 검토할 필요가 있다.

기존의 열전도에 의한 열전달과 복사에 의한 열전달을 비교 검토하여 열복사에 의한 열전달의 가능성을 정량적으로 나타내는 것이 본 연구의 목표이다. 본 연구는 저렴한 고풍열 세라믹 복합체(이하, CuS)를 충전재로 활용하여 Air pocket의 틈을 열복사를 이용한 열전달을 이용함으로써 저비용·고성능 TIM 소재용 열 이동에 대한 연구를 수행하였다. 아크릴 수지와 열방사율이 높은 충전재인 CuS를 혼합하여, 방열도료를 제조하고 방열 특성을 평가하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 충전재인 CuS는 산화규소(SiO_2) 23g, 산화철(Fe_2O_3) 73g, 산화마그네슘(MgO) 2g, 산화알루미늄(Al_2O_3) 3g의 조성으로 산화물 분말을 혼합하고, 1400°C 에서 열처리한 후, 급냉하여 세라믹 복합체 분말을 제조하였다. 이를 planetary mill을 이용하여 분쇄한 후, 미분을 sieve를 이용하여 분급한

Table 1. Composition of samples with various fillers

Filler	CuS	Al_2O_3	Si_3N_4
Amount (wt.%)	50	50	30

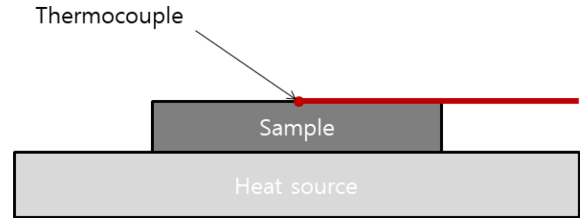


Fig. 1. Schematics diagram of the apparatus for measuring the temperature of sample.

뒤 사용하였다 [4]. 수지는 녹는점이 200°C 인 PMMA (Polymethyl Methacrylate)를 사용하였고, 무게 대비 50 wt. %로 방열효과를 부여하는 충전재로 각각 CuS, Al_2O_3 , Si_3N_4 를 사용하였다. 단, Si_3N_4 는 낮은 비중으로 인하여 부피비 5:5로 첨가하였다. 표 1은 각 시편의 조성을 나타낸다.

배합한 방열도료를 경화시킬 때, $15 \times 15 \times 2 \text{ mm}$ 크기의 mold에 주입 후, 225°C 의 Heating Plate를 이용하여 1 시간 동안 경화시켜 bulk형 시편을 제작하였다. 이때, 경화 중 방열도료 내의 조대한 기포의 형성을 막기 위해 주기적으로 교반하였다.

bulk형 방열블록을 제작 한 후, 표면 온도를 측정하기 위하여 세라믹 열원을 145°C 온도로 유지하고 10 분 간격으로 thermocouple을 이용하여 온도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 실험 방법에 따라 제조된 CuS의 (a) SEM 분석결과 및 (b) EDAX 분석결과를 나타낸다. EDAX 분석결과, 제조된 분말 입자 하나에 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 규소(Si), 철(Fe)의 산화물이 각각 1.5, 2.4, 23.1, 73.0 wt. %로 모두 검출되었다. 이를 통해, 각 산화물 분말의 혼합 및 열처리에 의하여 각각의 산화물이 용해과정을 거쳐 하나의 화합물을 형성했음을 알 수 있다.

그림 3은 충전재로 사용된 CuS, Al_2O_3 및 Si_3N_4 의 방사율을 나타낸다. CuS, Al_2O_3 및 Si_3N_4 의 방사율은 각각 0.902, 0.6 및 0.3으로 CuS가 가장 높은 방사율을 나타내며, 방열 성능이 우수한 것을 예상할 수 있다[4-6].

충전재의 종류를 달리하여 제작한 방열블록의 방열특성 평가결과를 그림 4와 표 2에 나타내었다.

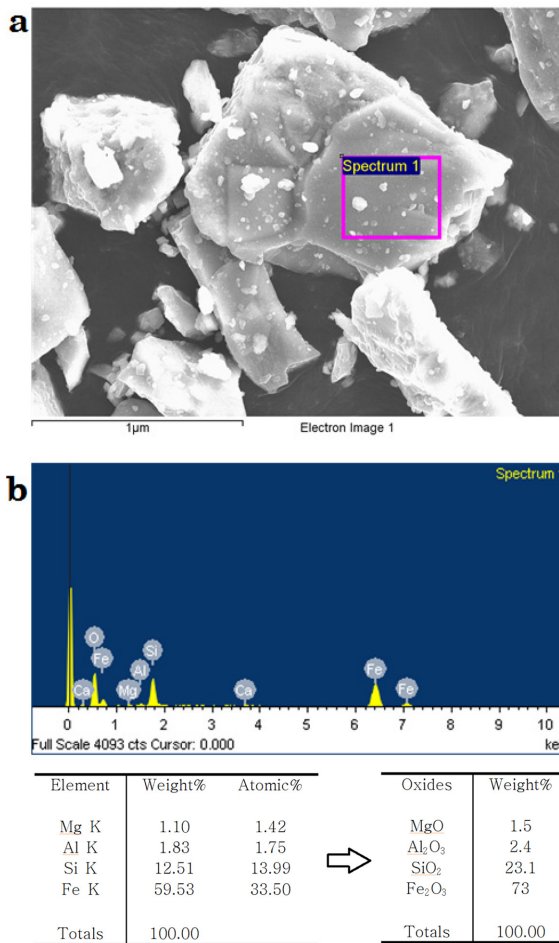


Fig 2. the high heat-dissipating ceramic composite powder; (A) SEM analysis and (b) EDAX analysis [3].

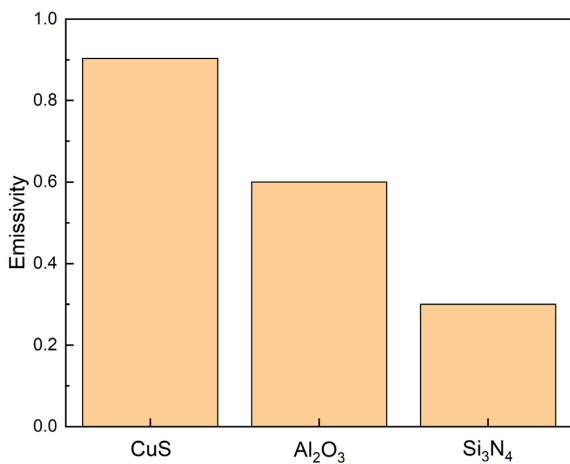


Fig 3. The emissivity of the filler used in the experiment

Thermocouple을 이용하여 방열블록 상단의 온도를 측정된 결과로 120 분일 때, 각각 CuS, Al₂O₃, Si₃N₄의 온도는 133.4, 132, 129.4°C로 측정되었다. 측정된 온도가 높을수록 방출되는 열량이 많은 것을

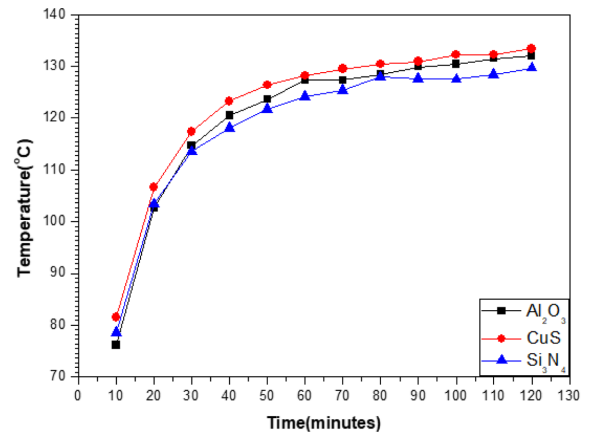


Fig 4. Change of temperature with time

Table 2. Temperature(°C) measured at thermocouple

Type Time (min)	Al ₂ O ₃	CuS	Si ₃ N ₄
10	76.1	81.5	78.6
20	102.6	106.6	103.4
30	114.7	117.4	113.6
40	120.5	123.3	118.1
50	123.6	126.4	121.7
60	127.4	128.2	124.2
70	127.3	129.5	125.4
80	128.5	130.4	127.9
90	129.9	130.9	127.6
100	130.4	132.2	127.5
110	131.5	132.2	128.4
120	132	133.4	129.7

의미하므로 CuS 방열블록의 방열 특성이 가장 우수함을 알 수 있다. 이는 방열 특성이 우수한 충전재가 방열블록에 분산되어 방열특성을 향상시킨 것으로 보인다.

그림 5는 TIM의 air pocket에서의 열전달을 나타낸다. 아래 그림과 같이 충전재와 수지 사이에 air pocket가 있을 때, 열전도도가 극히 낮은 공기에 의해 열전도에 의한 열전달은 제한되고, 매질 없이 열이 전달되는 특징을 가지는 열복사는 원활하게 일어나는 것을 볼 수 있다.

이와 같이, 고방열성 충전재를 이용할 때 방열 성능이 개선되는 기구를 설명할 수 있다. 고방열성 충전재를 이용하면 TIM 생산 시 진공 공정을 거치지 않아 저렴할 뿐만 아니라, 고성능의 TIM를 구현할 수 있다.

표 3에는 본 연구에 사용한 각 물질의 열전도도를 각각 나타내었다. 열전도도는 Si₃N₄, Al₂O₃ 그리

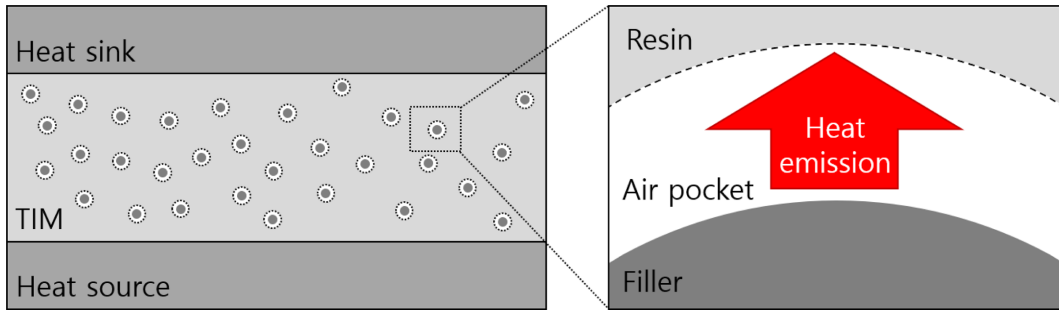


Fig. 5. Heat transfer mechanism inside TIM by thermal radiation

Table 3. Thermal conductivity of each materials

	Al ₂ O ₃	Si ₃ N ₄	CuS (This study)
Thermal conductivity (W/m·K)	20~25	40	1.2

고 본 연구에 사용한 고풍사을 산화물(CuS)의 순으로 높다. 열전도도가 높은 Si₃N₄과 Al₂O₃ 방열블록이 CuS 방열블록보다 표면 온도가 낮다는 것은 TIM 내부에서 열전달이 적게 발생했다는 것을 나타낸다. 이 이유는 앞에서 설명한 공기 격막을 열전도에 의한 이동은 어렵지만 복사에 의한 열 이동은 적외선의 파동에 의해 이동하기 때문에 본 연구의 결과가 나타났다고 생각된다.

4. 결 론

기존의 열전도에 의한 열전달과 복사에 의한 열전달을 비교 검토하여 열복사에 의한 열전달의 가능성을 정량적으로 나타낸 결론은 다음과 같다.

- 1) 열전도도가 낮은 산화물(CuS)을 TIM 재료의 필러(충전재)를 사용하여 열전달을 측정된 결과 열전도도가 높은 세라믹(Al₂O₃ 및 Si₃N₄)보다 열 이동이 용이하였다.
- 2) 이 이유는 공기 격막을 복사에 의한 적외선 파가 쉽게 이동하였음을 나타낸다고 생각된다.
- 3) 위와 같은 결과로부터 TIM 소재의 방열은 열복사에 의한 열전달의 가능성이 있음을 나타낸다.

Acknowledgments

이 과제는 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음

References

- [1] Jo, S. J, Kim, J. H, Ko, S. W, Lim S. M, Heat dissipation of Al₂O₃ Insulation layer Prepared by Anodizing Process for Metal PCB, J. Korean Inst. Surf. Eng., 48 (2015) 33-37
- [2] Choi, B. M, Hong, S. H, Jeong, Y. B, Kim, K, B, Lee S. G, Park, S. G, O, B. H, Improved Thermal Resistance of an LED Package Interfaced with an Epoxy Composite of Diamond Powder Suspended in H₂O₂, Korean J. Opt. Photon., 25 (2014) 221-224.
- [3] Lee, J. S, Jeon, D. Y, Thermal Interface Materials in Electronic Packages Using Thermal Conducting Properties of Carbon Nanotubes, Polym. Korea, 18 (2007) 542-548
- [4] Chung, W. S, Lee, J. H, Lee, K. W, High-heat dissipation ceramic composite, method for manufacturing same, and use thereof, WO2015093825A1, Pusan national university industry-university cooperation foundation, (2013).
- [5] X. Zhang and C. P. Grigoropoulos, Thermal conductivity and diffusivity of freestanding silicon nitride thin films, Rev. Sci. Instrum., 66 (1995) 1115.
- [6] A. E. Mushin, Chemical Vapor Deposition of Aluminium Oxide (Al₂O₃) and Beta Iron Disilicide (β-FeSi₂) Thin Films, PhD-Thesis, University of Duisburg-Essen, (2007)