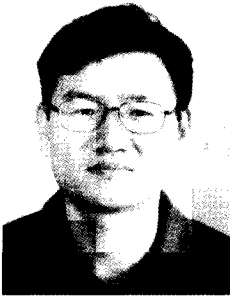


Heat Sink용 분말재료기술



김 용 진

(KIMM 재료기술연구부)

- '79 - '83 경북대학교 금속공학과(학사)
- '83 - '85 경북대학교 금속공학과(석사)
- '94 - '00 한국과학기술원 재료공학과(박사)
- '87 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



홍 성 현

(KIMM 재료기술연구부)

- '80 - '84 고려대학교 금속공학과(학사)
- '85 - '87 한국과학기술원 재료공학과(석사)
- '87 - '91 한국과학기술원 재료공학과(박사)
- '93 - '94 일본금속재료연구소 객원연구원
- '90 - '97 쌍용중앙연구소 선임연구원
- '97 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 론

최근 전 세계적으로 전자부품 내 각종 소자의 고집적화, 고성능화 및 소형화가 급속히 진행되고 있다. 국내에서도 전자부품용 소자 중 메모리 반도체 등 특정기술에 있어서는 미국, 일본 등 선진국과 동등한 수준에 도달하고 있으며, 2000년대 초에는 세계적으로 선도기술의 위치를 확보할 수 있는 유망한 기술분야이다. 이를 위해 현재 국내 반도체 및 관련 전자부품 산업체에서는 대규모의 시설과 연구투자가 진행되고 있다. 그러나 국내기술이 세계기술을 선도하기 위해서는 각종 소자의 성능향상과 고부가가치화가 요구되고 이를 위해서는 소자의 고집적화, 고속도화와 소형화가 필수적이며 기존 메모리 반도체 위주의 대량생산체제에서 비메모리 반도체 제조분야로 그 영역을 확대해야 한다.

각종 반도체 소자의 고집적화와 소형화는 소자의 단위 면적 당 발생하는 열량의 증가를 가져오며 작동 중에 발생한 열이 적절하게 발산되지 않을 경우에는 소자의 성능이 급격히 저하됨과 동시에 수명도 감소되어 진다. 또한 고집적 반도체 소자와 패키지(package)사이의 열팽창 차이로 인해 열응력이 반복적으로 가해지고(열피로) 이로 인해 solder 등의 접합부나 소자가 손상될 가능성이 높다. 실제로 반도체 소자의 불량률 중 70-75%가 열적인 문제에 의해 발생되고 있다. 따라서 각종 고집적 반도체 소자 등에서 발생하는 열을 최대한 방출시키고 이로 인해 발생하는 열적인 문제점을 최소화하기 위해 heat spreader 및 chip carrier등의 heat sink부품을 반

도체 칩 또는 세라믹기판 등에 부착하여 소자에서 발생하는 열을 최대한 방출시키고 있다.

본 고에서는 반도체 등 각종 전자부품용 소자에서 발생하는 열을 방출시키기 위해 사용되고 있는 각종 heat sink 소재 및 그 특성, 문제점을 제시하고 향후 heat sink 소재로서 수요가 급격히 증가될 것으로 예상되는 분말복합재료에 대한 소개와 국내의 개발현황을 살펴보고자 한다.

2. Heat sink 개요 및 관련 소재 현황

그림 1-a는 반도체의 고집적화에 따라 발생하는 열량을 인텔사의 개인용 컴퓨터 MPU (Micro-Processor Unit) 모델을 기준으로 나타낸 것으로 1989년부터 1995년 사이에는 5-10W수준에 불과하던 열량이 1996년에는 13-16W수준으로 증가하였고 1997년에는 34W, 현재에는 모델의 성능에 따라 20-40W 수준에 이르고 있다. 한편 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 Pentium III, 500+ MHz MPU의 경우 약 30-35W 수준의 열량이 발생되고 있으며 이 열량은 2000년대 전반기 처리속도가 기가 Hz인 MPU의 등장으로 50-70W수준으로 증가될 것으로 예상된다. 그림 1-b는 반도체 소자의 온도증가가 소자의 수명에 미치는 영향을 도식적으로 나타낸 것이다. 예를 들면 Si나 GaAs계 반도체 소자의

경우에는 사용온도가 10℃증가됨으로써 그 수명은 70~75%감소되어진다.

현재 반도체 소자에서 발생하는 열을 방출하기 위한 방법으로 그림 2와 같은 대표적인 방법을 사용하고 있다. 그림 2에서 다이(die)가 장착된 형상에 따라 상향식(die-up)과 하향식(die-down)으로 나눌 수 있으며 상향식의 경우 열방출을 위한 heat sink는 다이의 밑 부분에 부착되고, 하향식의 경우에는 다이의 윗 부분에 부착된다. 그림 2-c는 하향식에서 heat sink가 부착된 208핀 PQFP (Plastic Quad Flat Pack)의 실제모양을 나타낸다.

현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 heat sink소재는 Cu나 Al이다. 이들 금속은 열방출 능력은 크지만 열팽창 계수가 Si나 GaAs계열의 반도체 소자에 비해 3~6배정도 높아 소자에 직접 접합시키지 못하는 단점이 있다. 그러나 메모리 반도체나 일반적인 성능의 각종 소자에는 큰 문제점이 없이 사용되고 있다. 또한 패키징 소재로는 Kovar(Fe-29Ni-17Co)나 Invar(Fe-36Ni)를 주로 사용하고 있는데 열팽창 계수는 매우 낮지만 열방출 능력도 매우 낮은 단점이 있다. 표 1은 현재 일반적으로 사용되고 있는 반도체 패키징 관련 소재의 밀도, 열팽창계수, 열전도도 및 탄성계수를 나타낸다

표 1에서 나타낸 각종 전자 패키징용 소재의 물리적 특성에 가장 큰 영향을 미치는 변수는

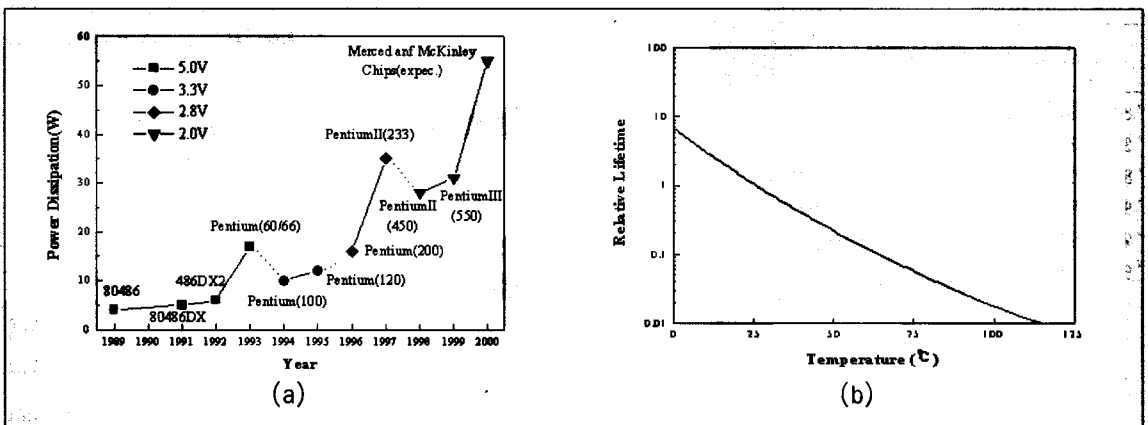


그림 1. 인텔사의 모델년도에 따른 반도체 소자에서의 열발생량(a)과 온도에 따른 반도체 수명(b).

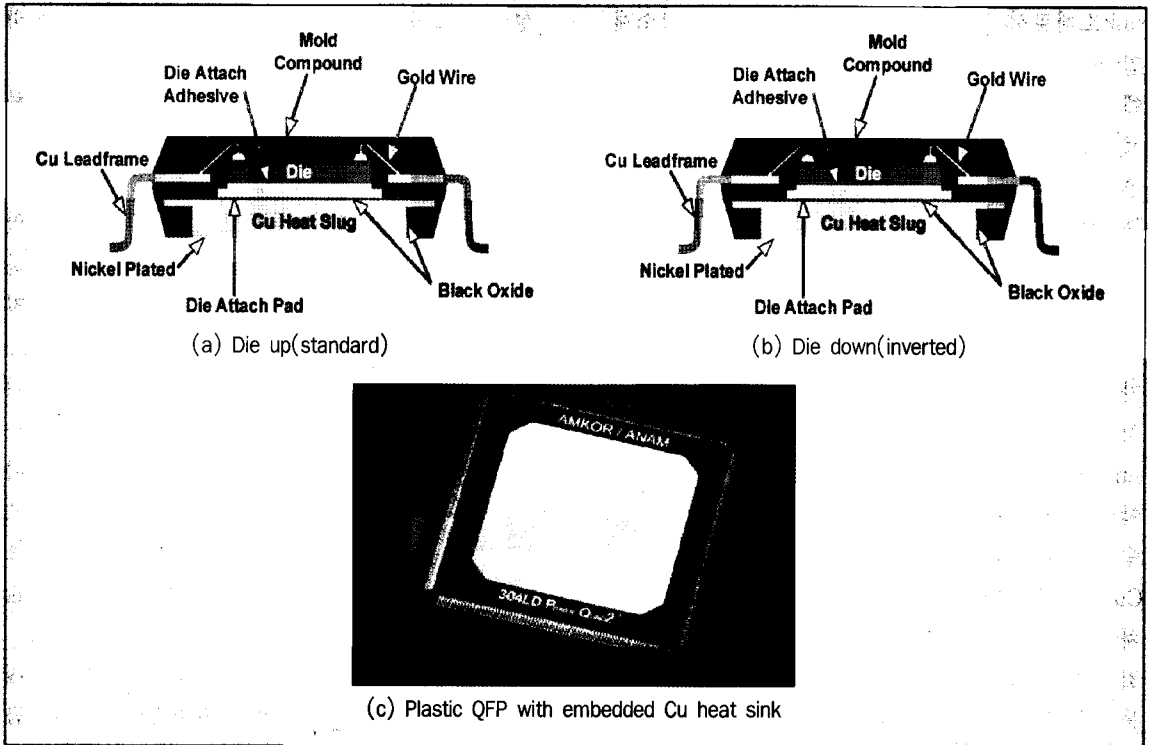


그림 2. 반도체 패키징의 개략도(a, b) 및 형상(c)

소재의 순도이다. 특히 열전도도는 소재의 순도에 따라 표 1에 제시된 값보다 50%이상 낮아질 수 있다. 위에서도 언급된 바와 같이 Kovar와 Invar와 같은 패키징 재료는 각각 5.8ppm/K,

0.4ppm/K의 낮은 열팽창 계수를 가지지만 열전도도도 각각 17W/mK, 11W/mK로 매우 낮음을 알 수 있다. Cu, Ag 및 Au와 같은 금속소재는 열전도도가 316-431W/mK로 매우 높아 heat

표 1. 현재 사용 중인 반도체 소자 및 패키징 관련 소재 특성

Materials	Density(g/cm ³)	Thermal Expansion (ppm/K)	Thermal Conductivity (W/mK)	Elastic Modulus (MPa)
Silicon	2.3	4.1	150	113
GaAs	5.2	6.5	54	100
Alumina	3.9	6.7	20~30	350
AlN	3.3	5.8	250	345
Al	2.7	24	230	69
Cu	8.9	17	400	131
Invar	8.0	0.4	11	144
Kovar	8.3	5.9	17	131
Gold	19.3	14	316	79
Silver	10.5	19	431	76
Epoxy	1.2	60	0	0.1

sink소재로서 적절하지만 열팽창계수가 다이소재인 Si나 GaAs에 비해 최소 2배 이상 높기 때문에 고성능 소자용 heat sink소재로서는 많은 문제점을 가지고 있다. 한편 소재의 탄성계수는 각종 열에 의해 부품 상호간의 접촉면에서 발생하는 계면응력과 이에 따른 부품의 변형 정도를 예측하고 설계에 반영하는데 매우 중요한 역할을 한다.

반도체 소자의 열방출을 최대화시키기 위해서 가장 효과적인 방법은 heat sink소재를 소자에 직접 접합시키는 것으로 이를 위해서는 heat sink소재의 열팽창계수가 반도체 소자와 유사해야만 사용 시 열응력에 의한 소자의 손상을 막을 수 있다. 그러나 현재 heat sink로 사용되고 있는 Cu나 Al의 경우, 열팽창계수가 다이소재와 크게 차이가 나기 때문에 이와 같은 방법으로 접합시킬 수 없는 실정이다. 따라서 이와 같은 열방출 문제를 해결하기 위해 관련 업계에서는 크게 두 가지 방법으로 접근하고 있다. 한가지 방법은 heat sink소재나 패키징의 설계를 최적화하여 열방출량을 최대화하는 방법으로 현재 사용 중인 소재를 이용하여 할 수 있는 가장 손쉬운 방법이다. 그림 3은 열방출을 최대화시키기 위해 설계 및 제조된 각종 heat sink부품의 모양을 나타낸다. 그러나 이러한 heat sink부품들은 설계의 제한성과 소재자체가 가진 특성의 한계로 인해 고

성능 반도체 소자용 heat sink부품으로서 응용하는데는 근본적인 해결방법이 되지 못한다.

다른 방법은 보다 근본적인 해결 방법으로 heat sink부품을 기존의 Cu나 Al소재 대신에 새로운 소재를 사용하여 제조하는 것이다. 새로운 heat sink 소재로서 갖추어야 할 특성은 1) 방열성을 최대화시키기 위해 열전도도가 높아야 하며, 2) 열적 특성의 차이로 발생하는 여러 가지 문제점을 최소화시키기 위한 반도체 소자와 유사한 열팽창계수를 가져야 하며, 3) 경량화를 위해 소재의 밀도가 가능한 낮아야 한다. 또한 4) 열적응력에 의한 부품의 변형을 최소화하기 위해 높은 강도 및 탄성계수가 요구되며 5) 제조비용이 저렴해야한다(그림 4). 그러나 현실적으로 이러한 요건을 모두 갖춘 이상적인 heat sink 소재를 개발하는 것은 불가능하다.

한편 금속기지 복합재료(metal matrix composites : MMCs)는 높은 열전도성을 가진 금속과 낮은 열팽창성을 가진 강화재를 상호 조합 시킴으로써 재료의 물리적 특성을 인위적으로 조절할 수 있는 장점이 있기 때문에 이러한 특성에 가장 근접할 수 있는 소재로서 많은 주목을 받고 있다. 이중 W/Cu 및 SiC/Al복합재료는 상용화에 가장 근접한 소재로 미국 등에서는 부분적으로는 heat sink소재로 사용되고 있다. 이들 복합재료는 지금까지 많은 연구가 진행되어온 구조용 복합재료의 개념과는 달리 강화재의 양이 최소 40vol%이상의 고 부피분율을 요구하기 때문에 일반적인 용해, 주조공정으로는 제조할 수 없다. 따라서 near net shaping이 가능하고 고 부피분율의 복합재료를 제조할 수 있는 분말야금공정을 이용하여 이러한 복합재료를 제조하는 것이 현재로서는 가장 경제적이며 적절한 방법으로 알려져 있다.

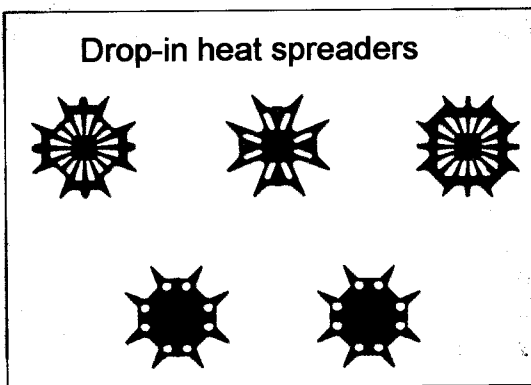


그림 3. 열방출을 최대화하기 위해 설계된 각종 heat sink부품

3. Heat sink용 분말복합재료

금속복합재료를 전자 패키징의 heat sink부품

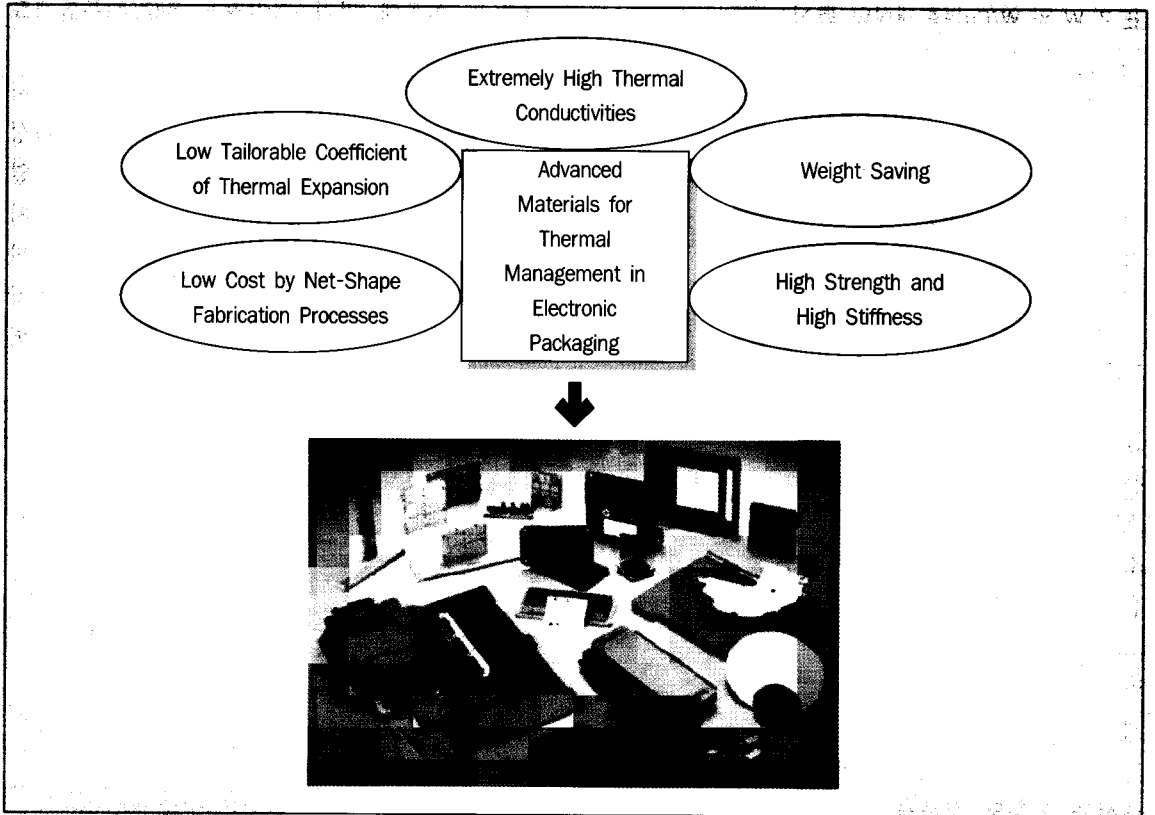


그림 4. 새로운 반도체 패키징용 heat sink 소재 개념도

으로 응용하기 위한 연구는 1990년 초 W/Cu 복합재료를 시초로 현재까지 Cu 및 Al을 기지로서 많은 복합재료들을 대상으로 연구가 진행되고 있다. W/Cu복합재료는 지난 20년 동안 전기 접점재료로서 연구개발 및 상용화되어 왔다. 이 복합재료는 W의 낮은 열팽창계수(4.5ppm/K)와 Cu의 높은 열전도도를 조합시켜 heat sink소재로 응용하는 것으로 분말을 성형 후 액상소결에 의해 제조하는 방법이나 W분말을 성형, 소결하여 W골격체를 제조한 후 Cu함침에 의해 제조하는 방법을 주로 사용하고 있다. 현재는 미국의 Ametek, Polese, 일본의 Sumitomo 등에서 함침 공정을 이용해 제조하고 있다. 한편 국내에서는 한국기계연구원에서 초미립/고순도 W/Cu분말을 이용한 heat sink소재 제조기술을 (주) 나노테크와 공동으로 개발 중에 있으며, RIST에서는

W/Cu의 분말사출 성형기술을 개발, near net 부품을 제조하고자 하는 연구를 진행 중에 있다.

표 2는 미국 Ametek사에서 시판 중인 W/Cu 복합재료의 주요특성을 나타낸다. 일반적으로 W/Cu복합재료에서 열팽창계수는 W함량의 증가에 비례하게 감소하며, 열전도도는 복합재료에 함유된 불순물량과 잔류기공의 양에 크게 의존되어지기 때문에 제조회사에 따라 열적 특성이 다소 차이가 있다. 그림 5는 일본의 Matsushita사에서 제조된 GaAs용 고성능 반도체 패키지를 나타낸 것으로 heat sink부품을 W/Cu복합재료로 사용하여 44W까지 열방출이 가능하도록 제작되었다.

한편 SiC/Al복합재료는 W/Cu에 비해 밀도가 1/6수준에 불과하고, 재료비가 낮은 장점으로 인해 항공기, 방산용 및 휴대용 전자부품 등 무게

표 2. W 및 W/Cu복합재료의 특성

Materials (wt%)	Density (g/cm ³)	Thermal Expansion (ppm/K)	Thermal Conductivity (W/mK)
Pure W	19.3	4.5	174
90W-10Cu	17.0	6.5	175
88W-12Cu	16.9	6.8	180
85W-15Cu	16.4	7.4	185
80W-20Cu	15.6	8.2	190
75W-25Cu	14.9	9.1	205

* 미국 Ametek사의 W/Cu 소재

를 중요시하는 전자부품의 heat sink소재로서 부분적으로 응용되어지고 있다. 그러나 heat sink용 소재로 응용되기 위해서는 SiC의 부피분율이 최소 60%이상이어야 하며, W과는 달리 SiC와 Al 용탕은 젖음성이 없기 때문에 일반적인 합침법으로는 제조하기가 힘들다는 어려움이 있다. 따라서 일반적인 제조공정은 SiC분말을 이용해 골격체를 제조한 후 Al용탕을 가압하여 합침하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 미국의 Lanxide사에서는 Al용탕 성분제어와 적절한 합침온도 및 분위기 조절을 이용하여 무가압 합침공정을 개발, 특허화하였으며 이로 인해 heat sink용 SiC/Al복합재료 제조분야에서는 매우 독보적인 위치를 차지하고 있다. 이외 미국의 Advanced composite material사, Ceramic process system사 등에서 가압합침법에 의해 SiC/Al복합재료를 제조하고 있다. 국내의 경우 KAIST에서 가압합침

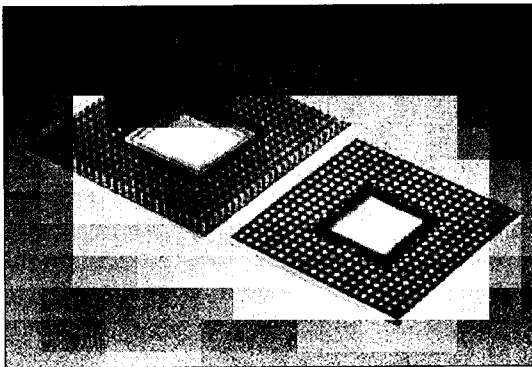


그림 5. W/Cu를 Heat sink로 사용한 반도체 패키지

공정을 이용해 전자 패키징용 SiC/Al복합재료 개발에 대한 연구를 진행 중에 있다.

표 3은 미국의 Ceramic process system사에서 시판 중인 SiC/Al 전자 패키징 소재의 기본특성을 나타낸 것이다. W/Cu복합재료와는 달리 열전도도는 SiC함량에 따라 큰 변화가 나타나지 않고, 열팽창계수는 SiC함량에 비례해서 변화되어진다. 그림 6은 SiC/Al복합재료 하우징(housing)을 사용하여 조립된 Motorola사의 power module을 나타낸다.

표 3. SiC/Al복합재료의 특성

Materials (vol%)	Density (g/cm ³)	Thermal Expansion (ppm/K)	Thermal Conductivity (W/mK)
46Al-54SiC	3.0	10.1	180
37Al-63SiC	3.0	8.7	180
30Al-70SiC	3.0	7.5	180

* 미국 Ceramic process system사의 SiC/Al 소재



그림 6. SiC/Al복합재료 하우징(housing)을 사용한 power module

위에서 언급된 W/Cu 보다 밀도가 낮고, 경제적이면서 SiC/Al 복합소재보다 열전도도가 높은 새로운 차세대 heat sink용 분말복합소재를 개발하고자 하는 연구가 미국, 일본, 대만 등 반도체 및 패키징 제조기술을 보유한 국가에서 기초 연구단계로 수행되고 있으며 국내에서도 한국기계연구원, 아주대학교 등에서 부분적으로 연구가 진행되고 있다. 현재 중점적으로 주목을 받고 있

는 복합재료는 SiC/Cu, AlN/Cu, Cu/C 등 Cu를 기지로 하여 열팽창계수가 낮은 SiC, graphite등을 강화재로 한 복합재료와 Al기지에 탄소를 강화재로한 Al/C복합재료이다. 그러나 이들 재료들은 SiC/Al복합재료의 경우와 같이 기지와 강화재 사이가 젖음성이 없기 때문에 액상소결, 단순함침 등 일반적인 소결기술로는 고밀도화된 소결체를 제조하는 것이 어렵다는 기술적인 문제점을 가지고 있다. 따라서 기지 및 강화재의 계면에너지를 제어할 수 있는 새로운 소결기술의 개발이나 보다 경제적으로 진밀도를 얻을 수 있는 소결 후의 신공정기술을 개발하는 것이 향후 SiC/Cu 등 차세대 heat sink복합재료를 상용화하기 위해서 시급히 해결해야할 과제이다.

그림 7은 지금까지 언급된 반도체 소자 및 heat sink관련 소재의 열적특성을 사용현황을 재료별로 구분하여 나타낸 것이다. 이중 차기 heat sink용 개발재료는 현재까지 신뢰성있는 연구결과가 발표되지 않았기 때문에 관련 model식을 적용하여 이론적으로 계산된 값을 나타낸 것이다.

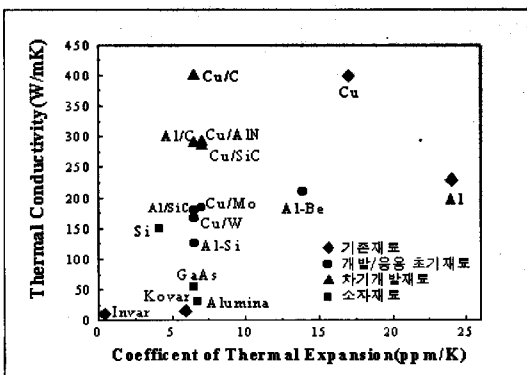


그림 7. 반도체 소자 및 heat sink관련 소재의 열 특성 비교

4. 결론

지금까지 heat sink관련 소재의 개념, 제조공정, 연구개발동향 등에 대해서 살펴보았다. 그러나 이러한 heat sink소재를 고집적 반도체 소자,

고출력 powder module, RF부품 등에 응용하기 위해서는 앞에서 언급된 열적 및 기계적인 기초 특성 외에 Ni이나 Au 등을 표면에 코팅하기 위한 코팅성, 이종 소재와의 접합성, microwave 흡수성, 판재의 평탄도, 치수 정밀도 등 다른 여러 가지 특성도 동시에 요구된다. 또한 제조원가도 가장 고려해야 할 사항 중에 하나이다.

본 고에서 언급된 heat sink용 분말복합재료는 그 수요량이 매년 12%이상 증가될 것으로 예측되고 있고, 각종 반도체 및 통신용 부품의 고성능화에 따라 응용분야도 향후 크게 다양화될 것으로 예측되어진다. 이를 대비하기 위한 향후 연구개발 방향은 W/Cu, SiC/Al 등 기존 개발중인 재료의 제조공정을 확립시키고 경제성을 향상시켜 조기에 상용화시키는 방향과 SiC/Cu, Al/C 등 기존 개발중인 재료보다 값싸고 우수한 특성의 새로운 소재를 개발하는 방향 등 크게 두가지로 진행되어야 할 것이다. 또한 heat sink용 복합재료는 현재 우리나라가 다른나라에 비해 기술적으로 우위를 확보하고 있는 전자 및 반도체 산업과 직접적인 연관을 가지고 있기 때문에 연구개발의 결과에 따라 세계적으로 선도기술을 보유한 국가로 부상할 가능성이 높은 분야일 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] J. Browne, Microwaves and RF, Feb.(1991), p.114.
- [2] Prismark Report, "Thermal Management Upgrade". May(1999), p3.
- [3] C. Zweben, JOM, June.(1998), p.47.
- [4] M.A. Occionero, IMAPS San Diego Meeting, Nov.(1998), p1.
- [5] Lanxide Elec. Components, Inc., Home Page: <http://www.lec-inc.com/>
- [6] Cera. Pro. Sys. Co., Home page: <http://www.alsic.com/>

- [7] Ametek,
Home page:<http://www.amet84.com/>
- [8] R. M. German, The Int. Jour. of P/M,
Vol 2(1994). p.205
- [9] C. Zweben, J. Met., vol. 44 no. 7(1992) p.15-23.
- [10] C. Zweben and K. A. Schmidt, "Advanced Composite Packaging Materials", Packaging vol. 1 of Eletronic Materials Handbook, ASM 1989.