

Heat Sink용 Mo-Cu 합금 재료의 열적 특성

황창규 · 장건익 · 박치완 · 김태형* · 우용원*

충북대학교 재료공학과, *(주)나노테크

A Study on the Thermal Properties of Mo-Cu Composites as a Heat Sink Material

Chang-Gyu Hwang · Gun-Eik Jang · Chi-Wan Park · Tae-Hyoung Kim* and Yong-Won Woo*

Dept. of Materials Engineering, Chungbuk University, Cheongju 361-763, Korea

*Nano Tech Co. Ltd, Chungbuk Cheongwon Ochang 363-880, Korea

Abstract In Mo-Xwt%Cu compound, physical and thermal properties were systematically evaluated in terms of Cu contents and sintering temperature. Typically Cu contents were varied from 15 to 25wt% and also the sintering temperatures were changed from 1115°C to 1350°C. In physical properties, Mo-15~25wt%Cu has the maximum density of 95% while Mo-20wt%Cu has the maximum thermal conductivity of 165.179[$\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$] at sintering temperature of 1300°C. Especially, Mo-25wt%Cu has the maximum hardness of 173.4 at sintering temperature of 1150°C and the maximum thermal expansion of 9.0[W/mK] as the specimen heated in the range of temperature from 50°C to 400°C. Based on electrical conductivity measurements, the relative density increased with increasing Cu contents and the values were in the range of 100~150[W/mK].

(Received August 4, 2003)

Key words: Mo-15~25wt%Cu, Density, Thermal conductivity, Thermal expansion, Hardness

1. 서 론

고도 정보화 사회의 발전에 따라 정보통신용 소자는 점차적으로 고집적/고속/고성능화/극소형화 특성을 요구하게 되었다. 이때 발생하는 큰 문제 중 하나는 소자의 단위면적 당 발열량도 더불어 증가하게 된다는 것이다. 따라서 전자부품 또는 모듈 내에서 발생하는 열의 관리는 차세대 부품 패키지의 성능을 좌우하는 중요한 요소이며 재료적인 측면에서의 최적 방열(Heat Sink) 소재 합금 제조 및 부품 제조 공정의 최적화는 필수 불가결한 문제로 대두되고 있다.

방열부품의 구성소재는 기관으로부터 발생하는 열을 효과적으로 발산하기 위하여 높은 열전도도를 가져야 할 뿐 아니라, 동시에 기관에 열응력을 주거나 박리되지 않도록 기관과 유사한 열팽창 특성을 가져야만 한다. 특히 고주파 관련 부품에 적용되는 방열 부품의 경우, 고주파의 차폐를 위하여 위의 특성에 추가적으로 낮은 유전율이 요구된다. 이상의 요구특성을 동시에 만족하는 단일상 물질은 매우 드문 편이며 현재 두 가지 이상의 소재를 복합화하여 새로

운 방열 소재를 개발하는 것이 일반적이다. 이러한 합금계로서 제시되는 대표적인 재료 중 하나는 Mo/Cu 복합 재료이다.

본 연구에서는 방열부품의 응용에 필요한 높은 열전도도와 작은 열팽창률을 갖는 재료를 개발하기 위하여 Mo에 Cu를 15, 20, 25% 첨가하고 소결한 후 밀도, 미세구조가 열적 성질에 미치는 영향을 체계적으로 연구하였다.

2. 실험

2.1. 시편제작

본 실험에서는 순도 99.9% 이상의 Mo와 Cu의 금속을 조성식 Mo-15~25wt%Cu에 따라 측량한 후 24시간 동안 건식 불밀로 혼합, 분쇄하였다. 혼합, 분쇄된 시료를 100mesh 체를 사용하여 체가름한 후 바인더를 첨가 후 원통형 금형($\phi=15$ mm)에 넣고 100 kg/cm²의 압력으로 성형한 후 1150~1350°C에서 N₂ 분위기에서 3시간 동안 소결하였다. 또 열전도도의 측정을 위해 10×10×20 mm

의 사각 금형으로 성형한 후 같은 온도 범위에서 소결하였다. 소결된 시편은 N₂ 분위기에서 환원되어서 금속의 특성을 나타내었다.

2.2. 시편측정

소결된 시편은 Archimedes 원리를 이용하여 밀도를 측정하였고, 마이크로 비커스 경도계를 사용하여 경도를 측정하였다.

시편을 5φ×10 mm의 크기로 가공하여 50~200°C, 50~400°C의 온도 범위에서 열팽창률을 측정하였으며, 10φ×2 mm의 크기로 다시 가공하여 열전도도를 측정하였다.

시편의 미세구조와 열적 특성의 상관관계를 고찰하고자 SEM 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 Mo에 Cu를 15, 20, 25% 첨가시킨 후 1250°C, 1350°C에서 3시간 소결시킨 시편의 미세조직 사진이다. Cu의 첨가량과 소결온도가 증가함에 따라 조직 내의 Cu의 양이 상대적으로 증가함을 확

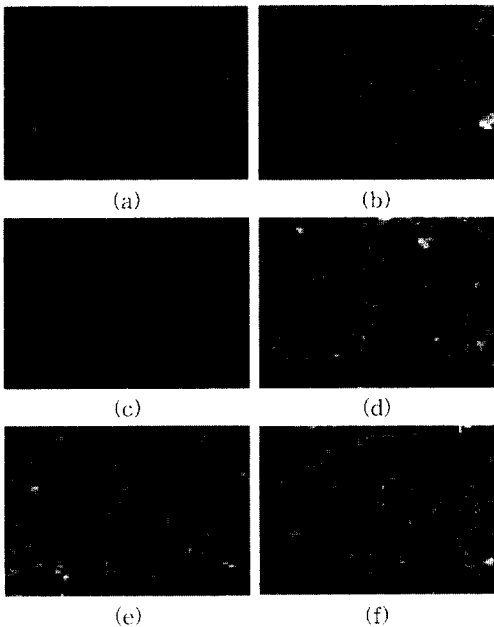


Fig. 1. Micrographs of sintered Mo-15~25 wt% Cu specimen.

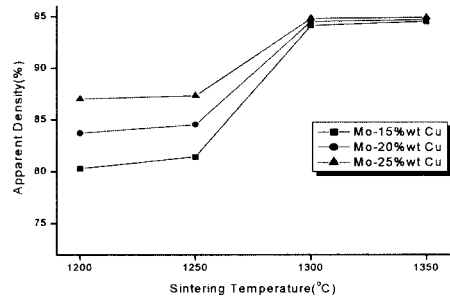


Fig. 2. Density measurement of Mo 15~25% wt% Cu specimen

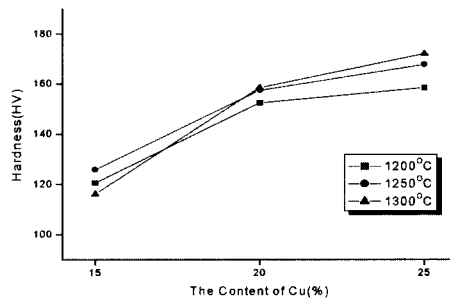


Fig. 3. Hardness measurement of Mo-15~25 wt% Cu specimen with different Cu addition

인할 수 있었다. 1250°C에서 소결시킨 것 보다는 1350°C에서 소결시 Cu양이 증가한 것으로 보여지며, 동일한 소결온도에서는 Cu의 첨가량이 증가할수록 Cu양이 증가함을 확인할 수 있었다.

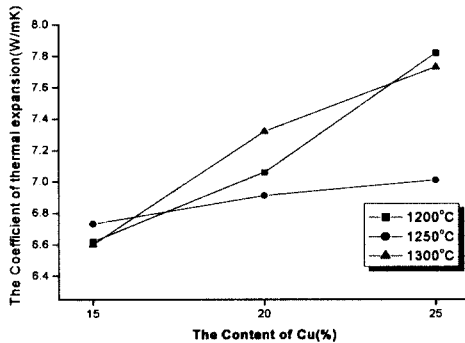
Fig. 2와 3은 Mo-15~25wt%Cu의 소결온도와 Cu 첨가량에 따른 밀도변화를 나타내었다. 밀도는 1200°C 소결 후 전반적으로 이론밀도 대비 80% 이상을 나타내었다. 특히 1300°C이상의 온도에서는 대략 95%의 높은 밀도치를 보였으나 1350°C에서 소결시 1300°C에서의 밀도값과는 별 다른 차이를 보이지 않았다.

Fig. 3은 Cu의 첨가량에 따른 경도변화를 나타낸 것이다. Mo-15~25wt%Cu의 경도값은 Cu량이 증가함에 따라 그리고 1200에서 1300°C에서 3시간 열처리시 120~175 정도 나타냈으며 Cu를 25% 첨가 후 Mo-25wt%Cu를 1300°C에서 소결하였을 시 173.4의 가장 높은 경도 값을 나타내었다. 소결온도와 Cu 첨가량이 높아질수록 경도값 또한 증가함을 확인할 수 있었다.

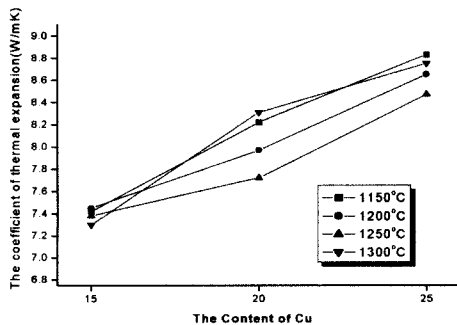
소결온도와 Cu 첨가량이 높을수록 밀도와 경도값이 증가함은 Kim[9]의 결과에서와 같이 소결온도가 높아지면서 Mo 입계 주위의 Cu가 기공을 채우면서 밀도와 경도의 증가를 가져온 것으로 판단된다.

Fig. 4는 Mo-15~25wt%Cu의 Cu첨가량에 따른 열팽창률을 나타낸 것이다. 50~200°C의 온도 범위에서 가열하였을 때 열팽창률은 6.0~8.0사이의 값을 나타내었으며 Cu의 증가에 따라서 열팽창률은 증가하였고 최고치는 1200°C에서 소결한 Mo-25wt%Cu가 8.0의 값을 나타내었다. 50~400°C의 온도 범위에서 가열하였을 경우 7.0~9.0사이의 값을 나타내었으며 Cu가 증가함에 따라서 열팽창률 역시 증가하였다. 하지만 모든 온도 범위에서 소결 온도에 따른 열팽창률의 경향성은 나타나지 않았다. 최고 열팽창률 값은 1150°C로 소결한 Mo-25wt%Cu로 9.0의 값을 나타내었다.

식 (1)은 Turner[11]에 의해 제안된 열팽창계수



(a)



(b)

Fig. 4. The coefficient of thermal expansion measurement of Mo 15~25% Cu specimen:
(a) heating in the temperature range of 50~200°C
(b) heating in the temperature range of 50~400°C

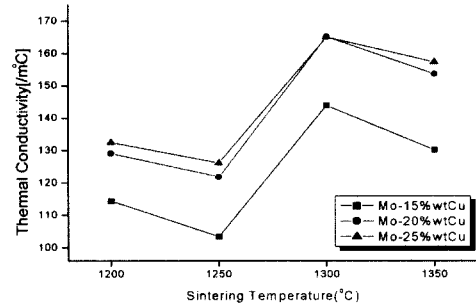


Fig. 5. The thermal conductivity measurement of Mo-15~25 wt% Cu specimen with different sintering temperature.

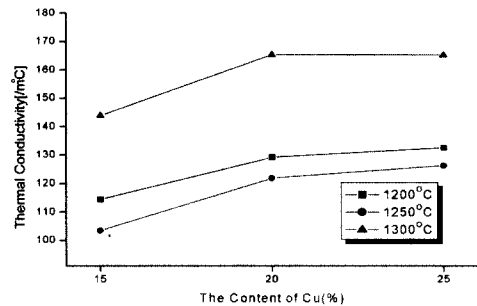


Fig. 6. The thermal conductivity measurement of Mo-15~25 wt% Cu specimen with different Cu addition.

식이다.

$$\alpha_M = \frac{\alpha_{Mo} V_{Mo} B_{Mo} + \alpha_{Cu} V_{Cu} B_{Cu}}{V_{Mo} B_{Mo} + V_{Cu} B_{Cu}} \quad (1)$$

여기서 α_M 은 복합재료의 열팽창계수를, α_{Mo} 와 α_{Cu} 는 각각 Mo와 Cu의 열전도도, V_{Mo} 와 V_{Cu} 는 각각 Mo와 Cu의 부피분율, 그리고 B_{Mo} 와 B_{Cu} 는 각각 Mo와 Cu의 bulk modulus를 나타낸다. 이 모델로부터 Cu의 첨가량이 증가하면 복합재료의 열팽창률이 상대적으로 증가함을 알 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 Mo-15~25wt%Cu의 소결온도와 Cu첨가량에 따른 열전도도 값을 나타내었다. 1300°C에서 소결하였을 때 가장 높은 열전도도 값을 나타내었으며 조성과 소결 온도에 따라서 일정한 경향성을 나타내진 않았다. 전체적으로 103~165W/mK까지의 범위를 나타내었으며 최고 열전도도 값은 Mo-20wt%Cu일 때 165W/mK의 값을 나타내었다. 열전도도가 1300°C에서 소결시킨 시편에서 높은 값

을 나타낸 이유는 열전도도가 밀도와 밀접한 상관관계가 있다고 판단된다.

이는 소결온도와 Cu 첨가량이 높아질수록 열전도도가 증가한다는 것을 의미한다.

Kerrisk[10]와 Maxwell[12]은 분산상의 크기가 일정하고 분산상이 일정한 간격을 가지고 분포하고 있다는 가정하에 조성에 따라 복합재료의 열전도도에 대해 다음과 같은 식을 유도하였다.

$$Q_M = Q_{Cu} \left(\frac{Q_{Mo}(1 + 2V_{Mo}) + 2Q_{Cu}V_{Cu}}{Q_{Cu}(2 + V_{Mo}) + Q_{Mo}V_{Cu}} \right) \quad (2)$$

여기서 Q_M 은 복합재료의 열전도도, Q_{Mo} 와 Q_{Cu} 는 각각 Mo와 Cu의 열전도도, 그리고 V_{Mo} 와 V_{Cu} 는 각각 Mo와 Cu의 부피분율을 나타낸다. 이 식에서와 같이 열전도도가 Mo에 비해 높은 Cu의 부피분율이 증가함에 따라 즉, Cu의 첨가량이 증가할수록 복합재료의 상대적 열전도도가 증가한다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 Mo-Cu 금속 분말을 선택하여 Cu의 첨가량에 따라 heat sink 재료로서의 응용가능성에 대하여 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Cu의 첨가량이 증가하고 소결온도가 증가함에 따라 조직 내의 Cu의 량이 증가함을 확인할 수 있었으며 조직내의 Cu의 양이 증가할수록 경도와 열팽창률이 증가함을 확인할 수 있었다.

(2) 열팽창률 측정결과 Cu의 첨가량이 증가할수록 열팽창률은 증가하는 경향을 나타내었으며, 소결온도에 따라서는 일정한 경향을 나타내진 않았다. Mo-15%Cu를 1350°C에서 소결하였을 때 6.5 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ 의 값을 나타내었다.

(3) 경도는 Cu의 첨가량이 증가할수록 증가함을 알 수 있었다. 상대밀도는 1300°C에서 소결하였을 때 Cu의 변화량에 상관없이 95% 정도의 밀도를 나타내었고 이는 Mo-Cu 합금의 최적 소결온도가 1300°C임을 나타내고 있다.

(4) 열전도도 측정결과 시편의 상대밀도가 높을수록 양호한 열전도도를 나타내었다. 전체적으로

100~150W/mK 사이의 값을 나타내었으며 1300°C에서 소결하였을 때 가장 높은 열전도도를 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 유망전자부품개발 사업이 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. T.E. Finke, and T.G. Heberling, "Determination of Thermal-expansion Characteristics of Metals Using Strain Gages", *Experimental Mechanics*, April pp.155-158, 1978.
2. R. Chanchani, "Processability of Thin-film, Fine-line Pattern on Aluminum Nitride Substrates." *IEEE Trans, Comp., Hybrids, Manuf. Technol.*, Vol.11, pp.427-432, 1988.
3. F.J.Dance and J.L.Wallace, "Clad Metal Circuit Board Substrates for Direct Mounting of Ceramic Chip Carriers," *Electron. Pack. Product.*, pp.226-237, Jan. 1982.
4. A.L.Eustice, S.J.Horowitz, J.J.Stewart, A.R.Travis, and H.T.Sawhill. "Low Temperature Cofireable Ceramics: A Now Approach for Electronic Packaging," in *Proc. Electronic Components Conf.*, pp.37-47. 1986.
5. C.E.Guillaume, "Anomaly of the Nicel Steels," in *Proc. Physical Society, London*, Vol.32, pp.374-404, 1920.
6. T.A.Hahn, "Thermal Expansion of Copper from 20 to 800K-standard Reference Material 736," *J. Appl. Phys.*, Vol.41, pp.5096-5101, 1970.
7. P.M.Hall, "Creep and Stress Relaxation in Solder Joints of Surfaced Mounted Chip Carriers," *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf. Technol.*, Vol. CHMT-12, pp.556-565, 1987.
8. P.M.Hall and R.A.Deighan, "On using Strain Gages in Electronic Assemblies When the Temperature is not Constant," *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf. Technol.*, Vol.CHMT-9, pp.492-497, 1986.
9. J.-C. Kim and I.-H. Moon : *Nanostruct. Mater.*, Vol 10, pp.283, 1998.
10. J.F.Kerrisk : *J. Appl.PHYS.*, Vol.43, pp.112, 1972.
11. P.S.Turner : *J.Res.NBS.*, Vo.;37, pp.239, 1946.
12. J.C.Maxwell : *A Treatise on Electricity and Magnetism*, (3rd Ed.), Oxford U.P, Oxford, pp.63, 1982.