

半導体機器ヒートシンク用クロム-銅系および モリブデン-銅系新材料の開発

Development of New Cr-Cu Base and New Mo-Cu Base Materials for Heat-sink of Semiconductor Devices

寺尾 星明 TERAO Hoshiaki JFE 精密 常任顧問・博士 (工学)
橋本 功一 HASHIMOTO Koichi JFE 精密 新規事業部課長
和田 雷太 WADA Raita JFE 精密 品質保証部長・博士 (工学)
平谷多津彦 HIRATANI Tatsuhiko JFE スチール スチール研究所 機能材料研究部 主任研究員 (課長)・博士 (工学)

要旨

JFE 精密は、電動車 (xEV)、光通信および無線通信等に使用される 4 種類の新ヒートシンク材を開発した。クロム (Cr) 粉末の焼結体に銅 (Cu) を溶浸した Cr-Cu は、圧下率 75% 以上で圧延することにより従来 W-Cu 材と同等の板面内の熱伝導率となり、純 Cu 材と積層してクラッド化することで厚さ方向の熱伝導率も W-Cu 材と同等とすることができた。両表面層をモリブデン (Mo) あるいは Mo-Cu として、中間層に Cu を配置した 3 層クラッド構造材 (それぞれ Mo/Cu/Mo 材あるいは Mo-Cu/Cu/Mo-Cu 材) はさらに高特性で、従来の Cu/Mo-Cu/Cu 材よりも高熱伝導率かつ低熱膨張率となる。表面に Cu 層を必要とする用途には、Mo-Cu と Cu の 3 層構造の両表面に Cu 層を付与した 5 層構造とし、各 Cu 層厚をパラメータとしたデータベースを活用することで、従来材より優れた熱特性の設計を実現した。

Abstract:

Four kinds of new materials have been developed as heat-sink applications for xEV, optical communication, radio communication and others. By applying 75% or higher rolling reduction ratio, Chromium-Copper (Cr-Cu) material which comprises sintered Cr powder with infiltrated Cu acquired in-plane thermal conductivity equivalent to that of conventional W-Cu. Cr-Cu clad with Cu has made it possible to have equivalent thermal conductivity to conventional W-Cu even in thickness direction. Three-layer clad materials comprising Molybdenum or Mo-Cu on the both surfaces and Cu in the middle; Mo/Cu/Mo and Mo-Cu/Cu/Mo-Cu have been found to have improved thermal properties respectively, i.e. high thermal conductivity and low coefficient of thermal expansion, far more than conventional Cu/Mo-Cu/Cu. And for heat-sink applications requiring Cu layer on the surface, five-layer clad structure having Cu layers on the both surfaces of Mo-Cu base three-layer structure also has been found to make it possible to design thermal properties better than conventional materials using the data base of thermal properties with each Cu layer as a parameter.

1. はじめに

電動車 (xEV)、電車、発電、ロボットなどに使用されるインバータや、光通信、および携帯電話、衛星通信、レーダーなどの高周波通信は今後さらなる発展が予想される。それらに使用される高出力のデバイスには、半導体から発生する熱を効率よく機器外に逃がす必要があるため、ヒートシンクが使用されている。ヒートシンクの役割は、発熱する半導体と直接接合し、あるいは半導体が搭載されたセラミック基板と接合することで、それらからの発熱をヒートシンクから反

対面へ放熱させることである。そのため、ヒートシンク材には、はんだやろう付けで半導体やセラミックと接合しても有害な反りおよび使用環境下における接合界面の有害な剥離が発生しない、高レベルの接合信頼性が得られる低い熱膨張率と、厚さ方向への高い熱伝導率が求められる。ヒートシンクの材料としては熱伝導率が高い純銅 (Cu) 材が広く使用されるが、半導体やセラミックとの熱膨張率のマッチングがより要求される場合には、低熱膨張率のタンゲステン (W) やモリブデン (Mo) と Cu との複合材料 (以下、それぞれ W-Cu¹⁾ 材、Mo-Cu²⁾ 材と呼ぶ) が使用される。ただし、これらは純 Cu 材より熱伝導率が低いという課題があり、より高い熱伝導率を求められる用途や表面に Cu 層が必要な場合

2020 年 10 月 30 日受付

には、Mo-Cu 板を Cu 板の間にはさみ込んだクラッド構造の材料（以下 Cu/Mo-Cu/Cu 材と呼ぶ）が使用される³⁾。

W および Mo は Cu とほとんど合金化しないことから、W および Mo の低熱膨張率と Cu の高熱伝導率を活かせる二相の複合組織を形成させることができる。複合化の方法としては、W や Mo の粉末を成形、焼結し、焼結体内に溶けた Cu を浸み込ませる溶浸法が一般的である。

しかし、原料として使用される W や Mo の粉末は高価で価格変動も大きく、原料産地も中国を中心として限られることから供給安定性にも問題がある。また W-Cu 材は圧延が難しく、プレス加工もできない。Mo-Cu 材は圧延は可能だが温間で行う必要があり、プレス加工も単純な形状しかできない。

Cr は W および Mo と同様に Cu とほとんど合金化しない金属で、ステンレスや特殊鋼、表面処理などに広く使用されている。W や Mo と比較して生産量、埋蔵量ともに 100 倍以上あり、原産国の地政学リスクも少ない。このことから、JFE 精密は、比較的安価で供給安定性のある Cr をヒートシンク材へ適用することに着目した。

一方、半導体の高出力化が進んでおり、従来の Si 半導体に替わり SiC 半導体や GaN 半導体を使用した次世代半導体パワーデバイスの採用も進んでいる^{4,5)}。SiC 半導体は高硬度、高剛性で、GaN 半導体も脆性であるため、接合材での熱応力吸収がより難しくなる。また、チップ面積がより小さくなり、作動温度も高くなることから、ヒートシンク材には、従来よりもさらに高い熱伝導率が要求される。

このような背景から、筆者らは、① Cr と Cu の複合材料 (Cr-Cu)、② Cr-Cu と Cu のクラッド材 (Cr-Cu/Cu クラッド材)、③ Mo-Cu と Cu とのクラッド材 (Mo-Cu/Cu クラッド材) および④ Mo と Cu のクラッド材 (Mo/Cu クラッド材) の 4 種類のヒートシンク材の開発を進めた。Cr 系の①と②は従来の W-Cu 材を代替できる低コストの材料であり、Mo 系の③と④は従来の Mo 系のクラッド材より熱特性に優れた材料である。

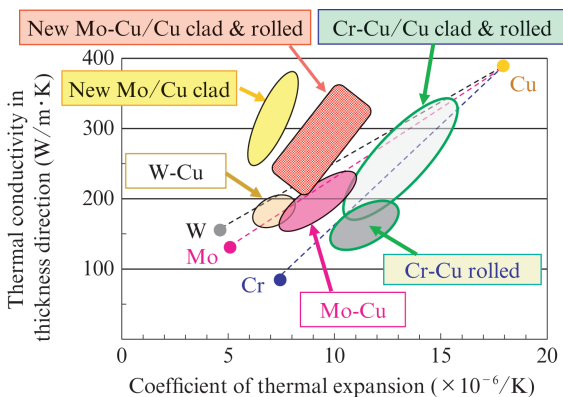


図1 開発したヒートシンク材の熱特性概略

Fig. 1 Thermal properties of developed materials compared with conventional W-Cu and Mo-Cu

図1に純金属のW, Mo, Cr, 従来材のW-Cu, Mo-Cu および開発した4種類の材料の熱特性の大まかな範囲を示す。なお、図中の熱伝導率は、厚さ方向の熱伝導率である。

2. 実験方法

W, Mo, Cr の各粉末を成形して焼結し、焼結体に純 Cu を溶かし込んで溶浸体を作製した。Mo-Cu 溶浸体および Cr-Cu 溶浸体は、圧延し圧延板を作製した。それらの圧延板を使用して純 Cu 板と交互に積層後、圧延板中の Cu 相と純 Cu 板の界面で原子が十分拡散できる温度に保持し、加圧中に拡散接合した。その後材料の方向性をなくすため、拡散接合前の圧延板の圧延方向と直角の方向に、圧下率を同じにして圧延（クロス圧延）した。以降これらのクラッド材を Cr-Cu/Cu クラッド圧延材および Mo-Cu/Cu クラッド圧延材と称する。それらの圧延材を、ひずみ除去の熱処理後、測定サンプルに加工し熱特性を測定した。W-Cu 材は圧延が困難なため、溶浸体から測定サンプルに加工し熱特性を測定した。

Mo/Cu クラッド材は純 Mo 板と純 Cu 板を積層し、接合に十分な温度と加圧力で接合し、接合板から測定サンプルに加工して熱特性を測定した。Mo/Cu クラッド材は、測定後測定サンプルの断面組織を観察し、接合部にポイド等の発生がなく層間が密着していることを確認した。

測定サンプルの厚さはいずれも 1 mm とした。W, Mo, Cr と Cu との配合比率は、各測定サンプルの密度をアルキメデス法で測定し、各金属の理論密度から算出した。熱膨張率は、押棒式変位検出法で 323 K から所定温度までの平均熱膨張率を測定した。厚さ方向と板面内方向の熱伝導率⁶⁾は図2に示すフラッシュ法により測定し、板面内方向については圧延方向とその圧延直角方向の2方向で測定した。

3. Cr-Cu 複合材料 (J-C' CREP[®])

3.1 Cr-Cu 圧延材

図3に 50 mass% Cr-Cu 材の断面組織例を示す。50 mass% Cr とは Cr-Cu 材中の Cr の配合比率を示す。圧下とともに Cr 粒は Cu 相との界面の剥離なく圧延方向に伸張され、圧延方向の扁平化が先行する。圧延直角方向も圧下率が大きくなるにつれて扁平化していく。Cr は延性に乏し

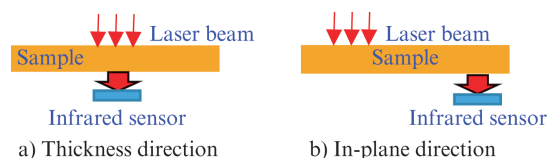


図2 熱伝導率測定方法

Fig. 2 Measurement method of thermal conductivity

い材料であるが Cu に包まれると高い展伸性⁷⁾を示す。さらに焼結と溶浸の条件を制御し残留空孔や介在物のない溶浸体⁸⁾を製造することにより、図3のとおり圧下率98%以上の冷間圧延が中間熱処理なしで可能になる。

図4は50 mass% Cr-Cu 材の圧下率と熱特性との関係を示す。圧下率の上昇とともに熱膨張率は低下していく。圧延板の板面内方向では、熱膨張率の高い Cu 相と熱膨張率の低い Cr 粒との熱膨張率差により界面せん断応力が生じ、Cu 相が扁平化された Cr 粒により膨張が拘束されるため、熱膨張率が低下するものと思われる。一方、板面内方向熱伝導率は圧下率の上昇とともに向上し、圧下率75%以上で W-Cu 材の熱伝導率 (180~200 W/m・K)¹⁾と同等となる。一方、厚さ方向の熱伝導率は圧下率の上昇とともに低下していく。

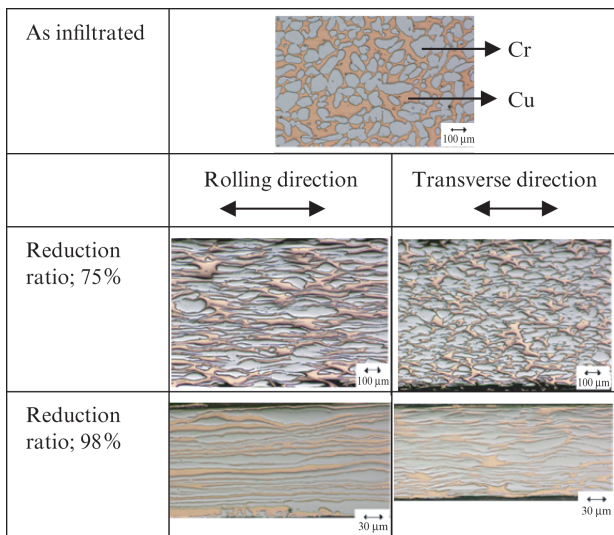


図3 50 mass% Cr-Cu 各種の断面組織

Fig. 3 Various 50 mass% Cr-Cu cross-sectional structures

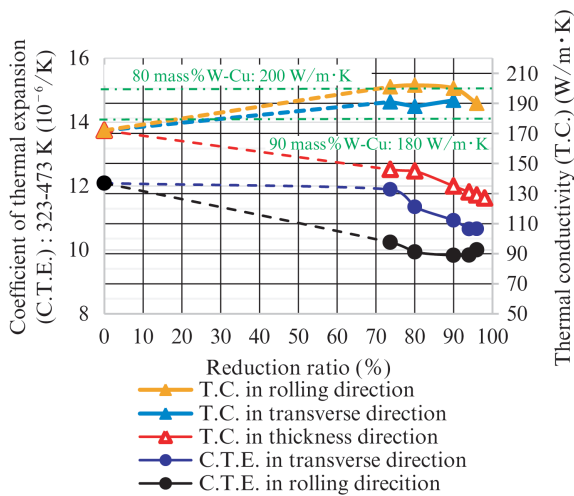


図4 50 mass% Cr-Cu の圧延圧下率と熱特性との関係

Fig. 4 Relation between rolling reduction ratio and thermal properties of 50 mass% Cr-Cu

熱の流れは熱伝導率の高い Cu 相中で Cr 粒に沿って優先的に生じるため、圧下率が大きくなるにつれて、熱は厚さ方向には流れにくくなり、厚さ方向の熱伝導率が低下していくものと思われる。熱特性は Cr の配合比率と圧下率で調整できる⁹⁾。50 mass% Cr-Cu 圧延材では、圧下率を75~98%の範囲とすることで、板面内方向の熱伝導率が W-Cu 材と同等となり、かつ板面内方向にも放熱するデバイスに要求される接合信頼性が得られる、低い熱膨張率に抑えられるようになった。

3.2 Cr-Cu/Cu クラッド圧延材

上述のとおり Cr-Cu 圧延材は、圧下率の上昇とともに厚さ方向熱伝導率が低下するという課題がある。この課題に対し、筆者らは文献9で純 Cu 板とのクラッド化によって厚さ方向熱伝導率が向上することを示した。以下、クラッド構造が熱特性にどのように影響を与えるかを検討する。

図5に示すとおり、表面が Cu 層の5層構造で、表面 Cu 層厚比 (t_1)、中間の各 Cu 層厚比 (t_2) および Cr-Cu 層厚比 (t_{Cr-Cu}) との関係は (1) ~ (3) 式で定義する。

$$t_1 = L_{Cu1} / L_{clad} \dots\dots\dots (1)$$

$$t_2 = L_{Cu2} / L_{clad} \dots\dots\dots (2)$$

$$t_{Cr-Cu} = L_{Cr-Cu} / L_{clad} \dots\dots\dots (3)$$

なお、 L_{Cu1} は表面 Cu 層の厚さ (mm)、 L_{Cu2} は中間 Cu 層の厚さ (mm)、 L_{clad} はクラッド材の全厚さ (mm)、 L_{Cr-Cu} は各 Cr-Cu 層の厚さ (mm) である。さらに、上記各層厚比を用いて、総 Cu 層厚比 (T_{Cu}) と総 Cr-Cu 層厚比 (T_{Cr-Cu}) を (4) および (5) 式で定義する。

$$T_{Cu} = 2t_1 + t_2 \dots\dots\dots (4)$$

$$T_{Cr-Cu} = 2t_{Cr-Cu} \dots\dots\dots (5)$$

上記各パラメータは (6) 式の関係にある。

$$T_{Cu} + T_{Cr-Cu} = 2t_1 + t_2 + 2t_{Cr-Cu} = 1 \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 $t_1=0$ および $t_2=0$ の場合はそれぞれ図5 (b) および図5 (c) に示すような3層構造となる。

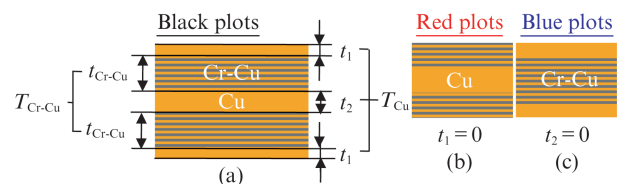


図5 Cr-Cu と Cu のクラッド構造

Fig. 5 Cr-Cu/Cu clad structures

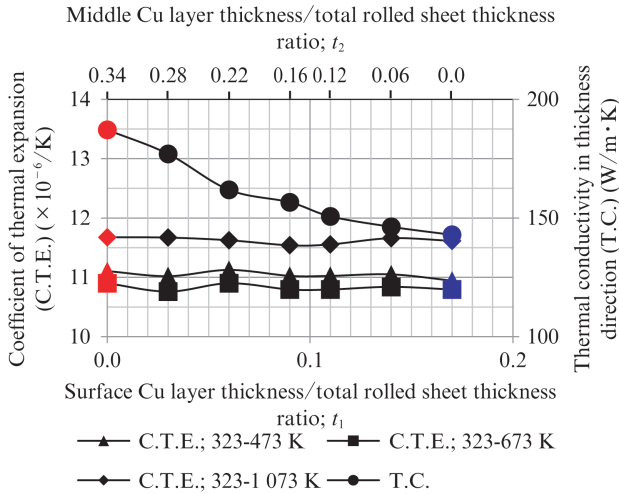


図6 Cr-Cu と Cu のクラッド構造の変化による熱特性への影響
Fig. 6 Effect of Cr-Cu/Cu clad structure on thermal properties

図6に50 mass% Cr-Cu/Cu クラッド圧延材の $T_{Cu}=0.34$ および圧下率を98%とした場合の熱特性を示す。熱伝導率は $t_1=0$ ($T_{Cu}=t_2$) が最も高くなっており、 t_1 の増加とともに減少し、 $t_1=0.17$, $t_2=0$ で最小となる。一方、熱膨張率は t_1 によらず一定である。したがって、 T_{Cu} を一定とした場合は図5 (b) のとおり、Cu 板を Cr-Cu 材で挟み込んだ3層構造とすることで厚さ方向熱伝導率を最大にできる。

Cr-Cu/Cu クラッド圧延材は Cr-Cu 圧延材と同様に W-Cu 材や Mo-Cu 材と比べて非常に塑性加工性が良く、段差付プレス加工も可能である¹⁰⁾。しかしプレス加工を行う用途では、Cr-Cu 層が表面の場合、プレスによる打抜き加工の端面や段差プレス加工の場合に生じるダレの部分に加わる曲げ応力により、Cr-Cu 材中の Cr 粒相と Cu 相の界面の剥離や、表面に露出した Cr 粒の亀裂が生じ、後処理のめっきに支障をきたす場合がある⁷⁾。その場合には、多少の熱伝導率の低下を伴っても $t_1 > 0$ として表層に Cu 層を設ける。図6の

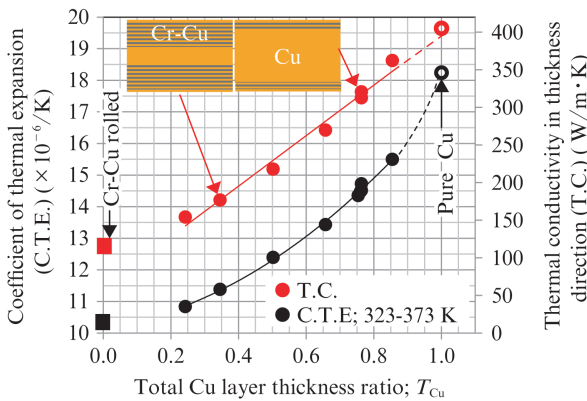


図7 開発した50 mass% Cr-Cu/Cu クラッド圧延材の熱特性
Fig. 7 Thermal properties of 50 mass% Cr-Cu /Cu clad & rolled

$T_{Cu}=0.34$ の場合には、 $t_1=0.03$ としても厚さ方向熱伝導率の低下は5%未満に抑えられ、段差プレス加工も可能となる。図7に $t_1=0.03$ の熱特性を総 Cu 層厚比 T_{Cu} の関数として示す。厚さ方向熱伝導率は総 Cu 層厚比にほぼ線形の関係にあり、 $T_{Cu}=0.35 \sim 0.50$ の範囲で W-Cu 材の代替が可能な厚さ方向熱伝導率となる。

熱伝導率は T_{Cu} の増加とともに増加するが、熱膨張率も同時に増加する。したがって、実用上は熱伝導率と熱膨張率とのバランスで T_{Cu} が決定される。

Cr は上述のとおり安価・安定で、原産国の地政学リスクも少ない。さらに、Cr-Cu/Cu クラッド圧延材は少ない Cr 配合量で熱膨張率を抑えつつ厚さ方向熱伝導率を向上させることができることから、Cu よりも高価な Cr の原料コスト低減にもつながる。Cr-Cu/Cu クラッド圧延材は W-Cu 材や Mo-Cu 材と異なり冷間での圧延も可能である。上述のとおり Cr-Cu 圧延材および Cr-Cu/Cu クラッド圧延材は段差付のプレス加工も可能で、さらに切削加工性もよい¹⁰⁾ ことから、部品までのコスト低減につながられる。Cr-Cu 圧延材と Cr-Cu/Cu クラッド圧延材は W-Cu 材の代替として実用化されており、用途に応じて使い分けられている。

4. Mo-Cu/Cu クラッド圧延材

前章の Cr-Cu/Cu クラッド圧延材は、熱伝導率は W-Cu 材と同等となるが、熱膨張率は W-Cu 材の2倍程度となる。さらに熱膨張率を低減するため、Cr をより低熱膨張率の Mo に置換した系を本章では検討する。前記 (1) ~ (6) 式お

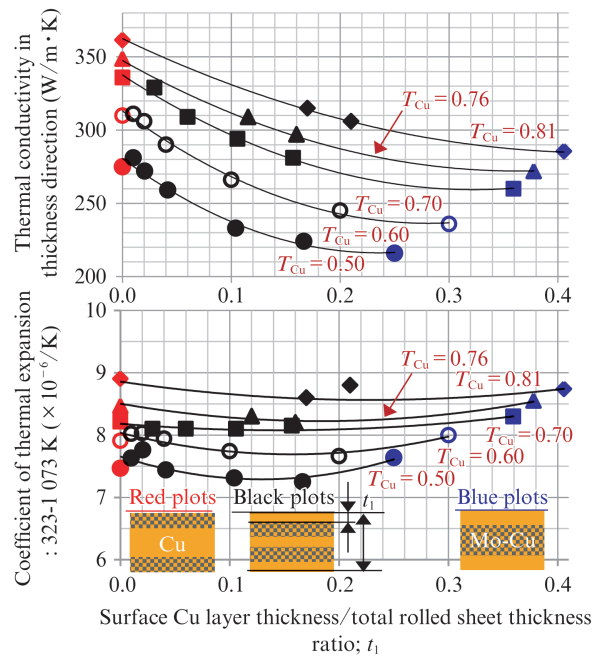


図8 75 mass% Mo-Cu/Cu クラッド圧延材の熱特性
Fig. 8 Thermal properties of 75 mass% Mo-Cu/Cu clad & rolled materials

よび図5のCr-CuをMo-Cuに読み替え、Mo-Cu/Cuクラッド材の表面Cu層厚比(t_1)を変化させた場合の75 mass% Mo-Cu/Cuクラッド圧延材の熱特性を図8に示す。なお、圧下率は95%で一定、 T_{Cu} は中央のCu層厚とその両側のMo-Cu層厚とを調整することにより変化させた。 T_{Cu} を一定とした各プロット群の右端の青点で $t_2=0$ (Mo-Cu層を中央とする3層構造; Cu/Mo-Cu/Cu)となる。

総Cu層厚比(T_{Cu})を一定とした場合、323-1073 Kの範囲の熱膨張率は $t_1=0$ の3層構造(赤点)と $t_2=0$ の3層構造(青点)では同程度であり、その中間付近の t_1 の値で極小となる挙動を示す。一方、厚さ方向熱伝導率は上述のCr-Cu/Cuクラッド圧延材と同様に、 $t_1=0$ (表面がMo-Cu層の3層構造; Mo-Cu/Cu/Mo-Cu)が最も高くなっており、 t_1 の増加とともに単調に減少する。また、 t_1 を一定とすると T_{Cu} の増加とともに、厚さ方向熱伝導率と熱膨張率はいずれも上昇していく。

このようなクラッド構造と熱特性との関係は、熱伝導率の高いCu層から低いMo-Cu層に入熱されると、熱が厚さ方向に入ることが難しくなりCu板層の板面内方向に流れるため、厚さ方向へ流れにくくなるのが影響していると思われるが、そのメカニズムは現在のところ十分解明できていない。

図9は、図8の結果を、横軸を熱膨張率、縦軸を厚さ方向熱伝導率として整理したものである。熱膨張率が同じ場合、 $t_1=0$ (両表面がMo-Cu層の3層構造; 赤点)は $t_2=0$ (両表面がCu層の3層構造; 青点)より厚さ方向熱伝導率が75 W/m·K程度向上している。

図10に75 mass% Mo-Cu/Cuクラッド圧延材の熱伝導率を t_1 の関数として示す。ここで圧下率95%、 $T_{Cu}=0.60$ とした。圧延方向熱伝導率は t_1 が0から0.15に増加する間に5%上昇するが、 $t_1 \geq 0.15$ の範囲ではほぼ一定となる。一方、厚さ方向熱伝導率は t_1 の増加とともに減少し $t_1=0.30$ ($t_2=0$)では $t_1=0$ の場合に比べて30%低い。 $t_1=0$ の場合は熱伝導率の異方性は非常に小さくほぼ等方的である。このように、熱膨張率が $10 \times 10^{-6}/K$ 以上であったCr-Cu/Cuクラッド圧延材と比べ、Mo-Cu/Cuクラッド材の熱膨張率は $7 \sim 9 \times 10^{-6}/K$ であることから、熱膨張率を低減しかつ200 W/m·K以上の熱伝導率が得られることがわかる。

複数の材料による厚さ方向熱伝導率 λ が単純複合則に従うと仮定すると、Mo-Cu材とCu板とを積層した場合の厚さ方向熱伝導率は次の(7)～(8)式となる。

$$\lambda = \sum \lambda_i t_i \dots\dots\dots (7)$$

$$\lambda = \lambda_{Cu}(2t_1 + t_2) + 2\lambda_{Mo-Cu}t_{Mo-Cu} \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 λ_{Mo-Cu} は75 mass% Mo-Cu、圧下率95%の圧延材の熱伝導率: 175 W/m·K、 λ_{Cu} は純Cu材の熱伝導率: 405 W/m·Kである。また、5層構造における t_1 と t_2 の関数は(4)式から(8)式になる。

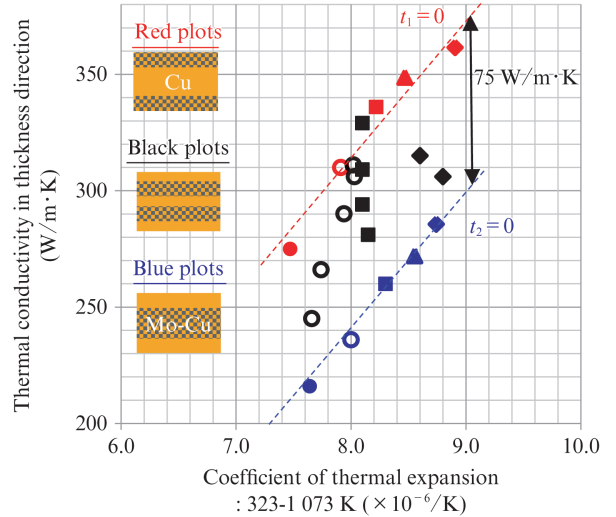


図9 75 mass% Mo-Cu/Cuクラッド圧延材の熱特性
Fig. 9 Thermal properties of 75 mass% Mo-Cu/Cu clad & rolled materials

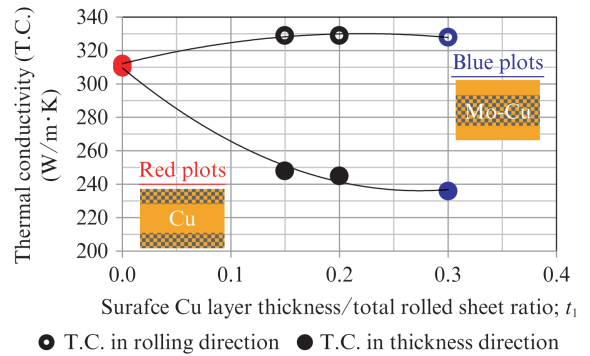


図10 75 mass% Mo-Cu/Cuクラッド圧延材のクラッド構造変化による熱伝導率への影響
Fig. 10 Influence of clad structure of 75 mass% Mo-Cu/Cu clad & rolled materials on thermal conductivity

$t_1=0$ の場合は $t_2=T_{Cu}$ および $2t_{Mo-Cu}=1-T_{Cu}$ となり(8)式は下記(9)式となる。

$$\lambda = \lambda_{Mo-Cu} + (\lambda_{Cu} - \lambda_{Mo-Cu})T_{Cu} \dots\dots\dots (9)$$

すなわち、変数が T_{Cu} の一次式で書き下すことができる。図9の $t_1=0$ のプロットは(9)式で算出した値とほぼ一致する。このとおり、中央がCuの3層構造の場合、厚さ方向熱伝導率は単純複合則を基に設計可能である。

従来のCu/Mo-Cu/Cu材は $t_2=0$ に相当するが、図9のとおり $t_1=0$ の3層構造のほうが、同じ熱膨張率で比較すれば厚さ方向熱伝導率に優れたクラッド材である。表面にCu層が必要な場合には、図8のプロットに基づいて調整することにより、所望の熱膨張率の範囲で最大限の厚さ方向熱伝導率が得られる材料設計が可能である。

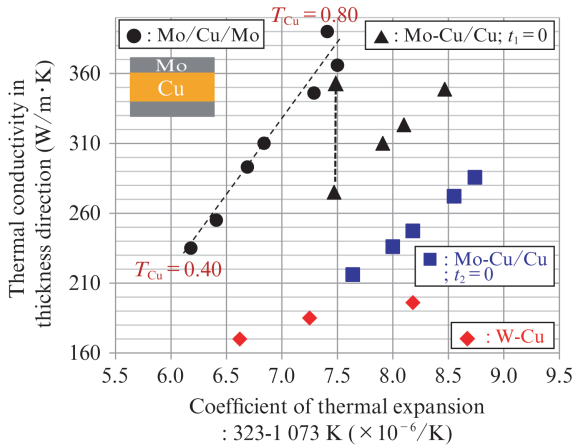


図 11 Mo/Cu クラッド材と 75 mass% Mo-Cu/Cu クラッド圧延材および W-Cu 材の熱特性比較

Fig. 11 Comparison of thermal properties of Mo/Cu clad with 75 mass% Mo-Cu/Cu clad & rolled materials and W-Cu

5. 新構造の Mo/Cu クラッド圧延材

前章では Cr-Cu 材に代えて Mo-Cu 材を用いることにより熱特性が向上することを示した。Mo-Cu 材と同じく Mo 粉末から製造される純 Mo 板は非常に高価であるが、本章では Mo-Cu 材を Mo 材に置換して更なる熱特性の向上を試みた。3 層の Mo/Cu クラッド材の熱特性を評価する。図 11 は 3 層構造のクラッド材 ($T_{Cu}=0.40\sim 0.80$) の熱特性を示す。比較のため、図 9 の $t_1=0$ および $t_2=0$ の Mo-Cu/Cu クラッド圧延材、さらに筆者らが作製した W-Cu 材の熱特性も示す。

その結果、Mo/Cu クラッド材は、例えば熱膨張率が同じ $7.5 \times 10^{-6}/K$ の場合、Mo-Cu/Cu クラッド圧延材より熱伝導率が $100 W/m\cdot K$ 程度高く、熱特性に優れていることがわかった。

この 3 層構造の Mo/Cu クラッド材は、上述の Mo-Cu 材の $t_1=0$ の 3 層構造と同様に、次の (10) 式の単純複合則で計算すると、厚さ方向熱伝導率は計算値にほぼ近い値を示していた。

$$\lambda = \lambda_{Mo} + (\lambda_{Cu} - \lambda_{Mo}) T_{Cu} \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 λ_{Mo} は Mo の熱伝導率: $139 W/m\cdot K$, λ_{Cu} は純 Cu 材の熱伝導率: $405 W/m\cdot K$, T_{Cu} は Cu 層の総厚比である。Mo/Cu クラッド材においても (10) 式にしたがってパラメータ T_{Cu} の関数により特性設計が可能である。

なお、Cr-Cu/Cu クラッド圧延材および Mo-Cu/Cu クラッド圧延材は、接合後に圧延することにより接合の健全性を確認しているが、Mo/Cu クラッド材は圧延が難しい。そのため、生産時には接合界面を非破壊で超音波探傷することにより接合の健全性を確認する必要があるため、原料の純 Mo 板コストのみならず製造コストにおいても Mo-Cu/Cu ク

ラッド圧延材に比べて不利であるが、優れた熱特性が要求される、例えば SiC 半導体チップの下のインサートとしての用途には最適であると思われる。

6. おわりに

本報では Cr 粉末と Mo 粉末の焼結体に Cu を溶浸させた Cr-Cu 材および Mo-Cu 材をベースに 4 種類のヒートシンク用材料を開発した。

- (1) Cr-Cu 圧延材: 欠陥なく Cu 溶浸した Cr-Cu 材は圧下率 98% 以上の冷間圧延が可能である。圧下率とともに面方向熱伝導率は向上し、圧下率 75% 以上で従来の W-Cu 材と同等となる。
- (2) Cr-Cu/Cu クラッド圧延材: 上記 Cr-Cu 材と純 Cu 板を積層しクラッド化することで厚さ方向熱伝導率も向上する。中央を Cu とする 5 層構造では、表面 Cu 層が薄いほど厚さ方向熱伝導率は向上する。層構造を特徴づけるパラメータとして各 Cu 層厚を定義し、厚さ方向熱伝導率が W-Cu 材レベルとなるパラメータの範囲も確立した。
- (3) Mo-Cu/Cu クラッド圧延材: 上述の Cr-Cu に代えて Mo-Cu を用いることにより、さらに高熱伝導率、低熱膨張率にシフトできる。表面が Mo-Cu 材となる 3 層構造 (Mo-Cu/Cu/Mo-Cu) では従来の Cu/Mo-Cu/Cu 材をしのぎ、表層に Cu 層を付与した 5 層構造もモデルやデータベースで設計を可能にした。
- (4) Mo/Cu クラッド材: 表面が Mo-Cu 材の 3 層構造の Mo-Cu を純 Mo に置換した Mo/Cu クラッド材は、さらに高熱伝導率、低熱膨張率で、熱膨張率 $7.5 \times 10^{-6}/K$ で比較して Mo-Cu/Cu/Mo-Cu 材よりも $100 W/m\cdot K$ 程度高い $360 W/m\cdot K$ が得られる。

自動車用インバータ、光通信および高周波通信の今後のさらなる発展が予想される中で、ヒートシンクへの要求も多岐にわたっている。それらの幅広いニーズに対応するため、上記 4 種類のヒートシンク材を開発し、お客様の仕様に応じた材料設計を可能とする幅広い品揃えに成功した。Cr-Cu 圧延材および Cr-Cu/Cu クラッド圧延材は W-Cu 材を代替する用途で実用化されている。

参考文献

- 1) Koumura, T.; Goto, S.; Mishima, A. Physical Properties of W-Cu Composite Materials. Nippon Tungsten Review. 1985, vol. 18, p. 2-4.
- 2) 市田晃. 銅/モリブデン系ヒートシンク材料. エレクトロ実装技術. 1996, vol. 12, no. 11, p. 61-64.
- 3) 長田光生, 平山典男, 有川正, 天野良成, 前里英俊, 林秀史, 村井洋. 半導体搭載用放熱基板材料, その製造方法, 及びそれを用いたセラミックパッケージ. 2000, 特開 2001-358266.
- 4) 佐藤伸二. 次世代パワー半導体デバイスとその応用技術の動向. Kensetsu Denki Gijyutsu. 2016, vol. 189, p. 4-8.
- 5) 佐野征吾, 蛸原要, 山本高史, 佐藤富雄, 宮沢直行. 無線通信用 GaN HEMT の開発. SEI テクニカルレビュー. 2018, vol. 192, p. 69-74.

- 6) 山根常幸, 片岡眞一郎, 十時稔. フラッシュ法による板材の面方向の熱拡散率測定. 第15回日本熱物性シンポジウム. 1994, p C203.
- 7) 寺尾星明, 松原行宏, 木村幸雄, 小日置英明, 太田裕樹. 半導体ヒートシンク用 Cr-Cu 複合材料の圧延加工性. 塑性と加工. 2015, vol. 56, no. 648, p. 29-33.
- 8) 寺尾星明, 小日置英明, 太田裕樹, 伊藤孝至, 金武直幸. 半導体機器用 Cr-Cu 材ヒートシンクの焼結条件と溶浸性の関係. 粉体および粉末冶金. 2013, vol. 60, no. 8, p. 367-372.
- 9) 寺尾星明, 和田浩, 小日置英明, 太田裕樹, 伊藤孝至, 金武直幸. Cr-Cu 圧延材と Cr-Cu/Cu クラッド圧延材の熱特性. 塑性と加工. 2015, vol. 56, no. 652, p. 407-412.
- 10) 寺尾星明, 和田浩, 小日置英明, 太田裕樹, 松原行宏. 半導体機器ヒートシンク用 Cr-Cu 複合材料「J-C'CREP[®]」の開発. まてりあ. 2014, vol. 53, no. 2, p. 66-68.



寺尾 星明



橋本 功一



和田 雷太



平谷多津彦