半導体機器ヒートシンク用 Cr-Cu 複合材料 「J-C' CREP® | の開発

寺 尾 星 明₁) 和 田 浩₂) 小日置英明** 太 田 裕 樹** 松 原 行 宏**

1. はじめに

光通信や無線通信,あるいは,インバータなどに使用されている半導体の高出力化が進展しており,社会基盤として重要な電子機器の安定性を維持するためには,半導体から発生する熱を効率良く機器外に逃がすヒートシンク(放熱板あるいは放熱部品)が重要な役割を果たしている.

ヒートシンクには、半導体素子として使用される Si, SiC, GaAs など、あるいは、パーケージに使用される Al_2O_3 や AIN などのセラミックやコバール材 (Fe-Ni-Co 合金) と同等の低熱膨張率が要求され、かつ熱伝導率が高いものが求められる。そのような要求を満たす素材として、従来、粉末治金法による W-Cu 材や Mo-Cu 材が使用されてきた。しかし、W や Mo はレアメタルであり鉱石産地も限られることから、高価で供給安定性に大きな問題がある。さらに、W-Cu 材や Mo-Cu 材は塑性加工性に乏しく、複雑形状のプレス加工は難しいため、部品形状にするには切削加工が中心となる。ただし、難切削材でもあり、ヒートシンクの部品形状に仕上げるまでのプロセスのコスト面でも課題を有している。

そこで Cr に着目し開発を行った. Cr は熱膨張率,熱伝導率ともに W や Mo より素材特性は劣るものの,同じ 6A 族であり,また Cu との固溶限が低いため Cr-Cu 複合材料の形成が可能である。また,生産量は W, Mo と比較して100倍以上あり,地政学的リスクも少ないことから安価で,供給は安定している。ただ, Cr と Cu を単純に複合しただけでは熱特性の点で W-Cu 材, Mo-Cu 材の代替することはできないため,熱特性を向上させる独自の方策が必要となる。

2. ヒートシンクに適用するための方策

ヒートシンク用途では、相手材の種類と接合温度により要求される熱膨張率は異なってくるが、 12×10^{-6} /K以下とする必要がある。また熱伝導率は既存のヒートシンク材と同等以上であることが要求される。 図 1 に German モデル $^{(1)}$ の計算結果と開発した Cr-Cu 材の熱特性を示す。 W-Cu 材で多用されている 90 mass $^{'}$ W $^{'}$ Cu の熱伝導率は 180 W/mK 程度である。 German らのモデルによる計算では、50 mass $^{'}$ Cr $^{'}$ Cu とすると熱伝導率は 175 W/mK で熱膨張率は 13.5 \times 10 $^{-6}$ /K となる。

このような高 Cr 配合率 Cr-Cu 材の製造には,凝固偏析が大きい溶解法ではなく,Cr 粉末を成形,焼結した後純銅を溶浸し複合化する粉末冶金法が最適である.最大の開発課題である熱特性の向上については,①熱処理と②圧延の Cr 組織制御の二つの方法により熱膨張率の低減を図った.さらに Cu 材と Cr-Cu 材とのクラッド化と圧延により熱膨張率の低減効果を維持しかつ熱伝導率の向上を図り,ヒートシンク用途への適用範囲の拡大を目指した.

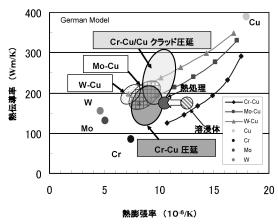


図1 開発した Cr-Cu ヒートシンク材の熱特性.

66 新技術·新製品

^{*} JFE 精密株式会社:1)取締役 2)素形材部 次長

^{**} JFE スチール株式会社:スチール研究所 主任研究員 Development of Cr-Cu Composites for Heat-sink of Semiconductor Devices; Hoshiaki Terao*, Hiroshi Wada*, Hideaki Kobiki**, Hiroki Ota** and Yukihiro Matsubara**(*JFE Precision Corporation, **JFE Steel Corporation) 2013年10月31日受理[doi:10.2320/materia.53.66]

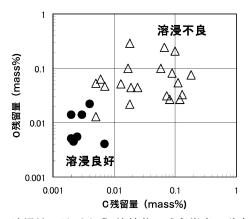


図2 溶浸性に及ぼす Cr 焼結体の残留炭素, 酸素の影響.

3. ヒートシンク用 Cr-Cu 溶浸体の検討

溶浸体中に空孔が残留すると、ヒートシンク用途に必須のNi メッキ不良や熱特性の劣化を招く恐れがある。また、常温付近で脆性を示す Cr 粒と Cu 相との間に空孔や有害な介在物がないことが良好なプレス加工性や圧延性を得るための必要条件となると考えられる。Cr 粉末は不純物が少ない溶解精錬法の純クロムの粉砕粉末(-100メッシュ)を採用したが、それでも粉末表面には C, O が残留しており、焼結によりこれらを十分低減しないと溶浸性に大きく影響を与えることが判明した。図2に示すように、Cr 焼結体中の C, O 含有量をともに 0.01 mass%程度以下とすることにより、空孔および残留介在物のないヒートシンク用の溶浸体を得ることに成功した。この溶浸体は加工性に優れプレス加工が可能であることを確認した。

4. 熱処理による熱膨張率の低減

これまでに15 mass%Cr-Cu溶製材を用いた基礎研究にお いて、圧下率99.5%以上の強加工を行うことにより熱膨張率 が低減することが報告⁽²⁾されている.これは、Cr 粒が高圧 下率の圧延により細分,延伸されてCu相との界面の表面積 が増加したためと推定されている。筆者らはこのような状態 を熱処理に伴う Cr の 2 次析出により実現し、熱膨張率を低 減させることを試みた. 溶浸により Cu 相中に Cr は僅かに 固溶する. クロム銅(JIS-Z3234)では、溶体化処理により Cr を固溶後急冷, 時効熱処理により材料を硬化させてい る. この硬化は Cr の 2 次析出物によるものであるが、析出 物が小さすぎて熱膨張率の低減には寄与しない. そこで, Cr を固溶後に急冷せず、徐冷してから時効熱処理すること で、大きな Cr の 2 次析出物とし、Cu 相との界面の表面積 を増加させ熱膨張率を低減できるとする仮説をたて検証した. 50 mass%Cr-Cu 溶浸体に対して、1473 K 溶浸後炉冷(1.8 Ks 保持後、473 K まで 2.7 Ks で冷却)後時効熱処理を行っ た. 時効は、保持温度を変化させて水素 3.6 Ks 保持にて処 理した. その結果、図3に示すように、時効により熱膨張率 が低下する現象を発見した(3). ただし、この熱処理による方

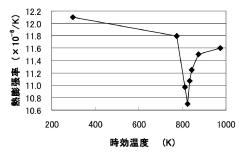


図 3 50 mass % Cr-Cu 材における時効温度と熱膨張率 との関係.

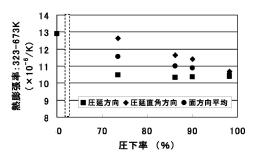


図 4 50 mass%Cr-Cu 材における圧下率と熱膨張率と の関係。

法は、はんだ付けの用途では適用可能であるが、823 Kより高いロウ付を行うと Crの2次析出物が粗大化して熱膨張率低減効果が少なくなるため、この用途には適用は難しい.

5. 圧延による熱膨張率の低減

これまでの報告(2)と異なり、高 Cr 配合率 Cr-Cu 材は圧延 によって小さな圧下率でも熱膨張率が低減することを確認し た. また、健全な溶浸体は、圧下率98%以上の冷間圧延が 中間熱処理無しで可能であることも確認した. ただし,冷間 圧延板には耳割れが見られ、また板表面にも Cr 粒の割れや Cr 粒と Cu 相間の剥離等の微細な欠陥が発生していた.こ れらは353 K以上の温間圧延の導入により解消でき、表面 欠陥がなくヒートシンクに適用できる健全な圧延板を得るこ とに成功した. 図4に示すように、圧下率が高くなるにつれ て, 熱膨張率は低下していく. 一方熱伝導率では圧下率が 90%程度まで厚さ方向の熱伝導率が低下しその後は一定と なる結果となり、図5に示すように、厚さ方向の熱膨張率は 圧延面方向に比べて低い. このため圧延板の場合, 圧延面方 向、厚さ方向ともに放熱されるヒートシンクには適用可能と 考えられるが、厚さ方向のみの放熱が必要なヒートシンクの 場合には、機能が十分発揮できない可能性がある.

6. Cr-Cu と Cu のクラッド化による熱特性の向上

幅広い用途のヒートシンクに Cr-Cu 材を適用するためには、厚さ方向の熱特性を改善する必要があるが、熱膨張率を低下することなく厚さ方向の放熱性の改善を図るためには、熱伝導率の高い材料とクラッド化することが有効と考えられ

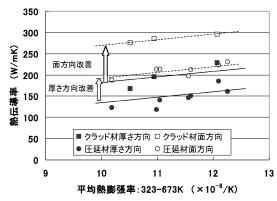


図5 Cr-Cu 圧延材とクラッド圧延材の熱特性比較.

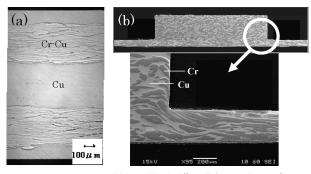


図 6 クラッド圧延材の断面組織例(a)と段付きプレス加工例: Cr-Cu 材圧延断面組織写真(b).

る. そこで Cr-Cu 材に純 Cu 板を接合して、その圧延加工性や熱特性への影響を検討した. 55 mass%Cr-Cu 溶浸材と純 Cu 板を積層して拡散接合した後、圧下率96~98%まで圧延してクラッド圧延材を製作した. 熱特性が単純複合則に従うとすると、純 Cu 板と接合することにより熱伝導率は改善される. 一方で、熱膨張率は純 Cu 板の体積分大きくなるはずであるが、図 5 に示したように、Cr-Cu 圧延材と比較して、熱膨張率が同様のレベルとなるクラッド圧延材は厚さ方向、面方向ともに Cr 熱伝導率が 70~80 W/mK 向上した. 図 6-(a) に開発したクラッド圧延材の断面組織例を示す. クラッド圧延材はプレス加工性も良好である.

7. 開発した Cr-Cu 材ヒートシンクの特長

光通信,無線通信用途を中心に商品化に成功し量産を開始した. 図7に光通信の光半導体用パッケージへの適用例を示す. さらにインバータなどへの適用範囲拡大を図っている. 開発した Cr-Cu 材ヒートシンクの特長は以下の通りである.

- (1) ヒートシンクで使用されている W-Cu 材, Mo-Cu 材の 原料である W, Mo 材より安価で、安定供給可能な Cr 材を使用していることから、材料の原料コストを低減か つ安定化できる.
- (2) Cr は、熱膨張率、熱伝導率ともに同じ 6A 族の W, Mo より劣っているが、①熱処理による Cr の 2 次析出物の

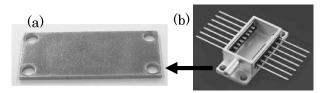


図7 Cr-Cu 材ヒートシンク; プレス加工品(a) と光通 信半導体パッケージの外観写真(b).

表1 ヒートシンク材の切削加工性及び塑性加工性比較.

	W-Cu 材	Mo-Cu 材	Cr-Cu 材
切削加工	×	Δ	0
冷間圧延	×	Δ	0
プレス加工	×	Δ	0
段差プレス加工	×	×	0

制御,②圧延によるCr 粒組織の制御,③Cu 材とCr-Cu 材のクラッド化と圧延,以上3つの独自のプロセス開発により,ヒートシンク用途に使用可能とする性能を具備することに成功した.

- (3) 熱間圧延は不要で、温間圧延にて表面欠陥のない圧延板が得られ、ヒートシンク用途にて必須の Ni メッキが可能で、はんだ付け、ロウ付けも可能である.
- (4) W-Cu 材, Mo-Cu 材より硬度が低く, **表1**に示すよう に W-Cu 材, Mo-Cu 材より切削性, 塑性加工性に優れる. 図 6-(b)の断面組織写真に示すように, 段差のつい たプレス加工が可能である.
- (5) 圧延材, クラッド圧延材ともに複雑形状なプレス加工が可能であることに加えて, 切削加工が必要な場合でも切削性が良好であることから, 部品への加工プロセスコストを大幅に低減できる.
- (6) Cr-Cu 材およびクラッド圧延材は密度が $7.9\sim 8.5\times 10^3$ kg/ m^3 と W-Cu 材, Mo-Cu 材より低いため部品軽量化も期待できる.

8. 特 許

国内特許は,第4138844号,第4213134号など登録計9件,その他公開5件.海外特許は,米国,中国,韓国,欧州に2件登録,一部審査中である.

文 献

- (1) R. M. German, K. F. Hens and J. L. Johnson: The International Journal of Powder Metallurgy, **30**(1994), 205–215.
- (2) 三原邦照,栗原正明,大山好正,鈴木洋夫:古河電工技報, 第107号,(2001),53-57.
- (3) 寺尾星明,小日置英明:日本金属学会2012年秋期講演大会概要集,(2012),659.

68 新技術·新製品