

平成26年度中部科学技術センター顕彰
振興賞

中部科学技術センターでは、科学技術水準の向上と中部地域における産業発展に寄与することを目的として、優れた研究・技術開発に携わった企業の研究者等を表彰しています。今回は第13回（平成26年度）振興賞を受賞された技術をご紹介します。

銅－モリブデン複合材料による
放熱材料の開発Development of S-CMC[®] (Cu/Mo Clad)
for Heat-sink

(株) FJコンポジット 代表取締役 津島 栄樹氏

1 はじめに

パソコン等に使用されている半導体は高い周波数で作動している。その発熱量は周波数の2乗で増加するため、周波数を高くして処理速度を上げると発熱量は大きく増えることになる。また、半導体デバイスの小型化により、小さな面積から大きな発熱が起こることから、面積当たりの発熱量は莫大なものになる。その発熱を外部に放熱することは極めて重要であることは容易に理解される。そのため、半導体デバイスでは各種の方法により放熱する技術が発達している。弊社で開発したS-CMC[®]は、銅とモリブデンの薄板を多層に積層して一体化（クラッド化）した材料である。この材料は、現在は主に携帯電話の基地局

に使用されている増幅器（FET）のパッケージングに採用されるに至った。本報では、(株) FJコンポジット設立の経緯から、S-CMC[®]の開発から現状・今後に関してまとめた。

2 開発の経緯

(株) FJコンポジットは静岡県富士市にて2002年に誕生したベンチャー企業である。FJは地名に由来し、富士（Fuji）市で複合材料（Composite）を製造する会社である。私は、それまで石油会社の研究所で炭素繊維およびその複合材料を開発する研究者であった。石油会社では恵まれた開発費で研究が行えた。当時は、強い複

合材料を作る炭素繊維はどんな物か、その表面処理の影響は、などの研究を行い、多くの論文をまとめることができた。⁽¹⁾しかしながら、研究を推進してきた社長が、取締役会で突然解任され、翌日からは新事業開発は会社で不要な部門となってしまった。外資系企業で起こったドラマチックな出来事であった。

当時、私はピッチ系炭素繊維で強化した炭素材（C/C複合材料）を開発していた。⁽²⁾ピッチ系炭素繊維は広く普及しているPAN系炭素繊維に比べて、圧倒的に高い熱伝導率（1000W/mK）を有しており、その特性を利用して半導体用の放熱材料が出来ると確信していた。C/C複合材料を40×40×1mm程度の板状に加工し、パソコンのCPUの放熱材としてユーザーにサンプルを提出したところ、優れた特性と同時に、ハンダ付けやロウ付け、メッキ

などの周辺技術に関しての欠如を指摘された。このとき、ユーザーからの期待の言葉に事業化ができると確信し、独立することを決断したが、それは1996年の事であった。もしもその時、ユーザーの担当者が厳しい指摘だけであったなら、今日の私は無かったと思う。

当時の半導体は、D-RAMなどのメモリーはSi素子がプラスチックで覆われたパッケージ(PKG)であったが、中央演算素子(CPU)はセラミックスPKGで出来ており、ヒートシンク材(当時はCu-W:銅タングステン)が銀ロウ付けで接合された構造であった。私はC/C材をセラミックスPKGの放熱材に売り込みを考えていたが、技術革新が起こりCPUもプラスチックPKGに変更となった。その結果、私の目論見は独立直前に無くなってしまった。もっとも、ユーザー企業であるPKGメーカーでは、今まで何百万個/月のセラミックスPKGを製造した仕事で、突然失ってしまったことから、私よりも遙かに大きな痛手を受けたことになる。

このユーザーの担当者は、新しい職場として高周波通信デバイス部門に転勤となった。現在では携帯電話が普及していて、その通信方式を理解している人も多いが、当時の私には全くの未知の分野であった。そこでヒートシンクが使用されるとのことで、私の開発したC/Cヒートシンクの採用の検討が、再び同じユーザーと始まる事になった。ここから、自分の知らない特殊な先端分野との付き合いが始まった。

真っ黒で、指で触ると汚れてしまう材料である炭素は、そのままの状態では半導体分野で使用することは難しい。そこで、その欠点を補うために表面に金属箔を接合して、表面は金属であり、内部はカーボンの優れた物性を有するヒートシンクの開発を試みた。カーボンの表面に銅などの金属箔を接合する方法としてロウ付けを試みたが、なかなか上手く出来なかった。ある時、

ステンレス(SUS)板にカーボンに乗せて高温で空焼きしたところ、SUSとカーボンが接合する偶然に遭遇した。これは、1150°C近辺でカーボンと鉄がレゼブライト共晶と言われる共晶反応を起こし、鉄の溶融とカーボンとの接合が起こったのである。これをヒントに、カーボンとSUSを接合する研究に没頭し、ホットプレス装置を用いて高温・高圧にてカーボンの表面に金属箔を拡散接合(固層同士の接合)する実験に取り組んだ。上手く接合したと思っても、同じ条件のはずなのに付かない日もある。何が接合に重要な条件であるのか、全く見当が付かない状況で、来る日も来る日も実験に取り組んだ。それは濃い霧の中で、道に迷った旅人のようで、地図も持たずに目的地を探すような気分であった。全く分からなかった条件も、1000回近い実験を繰り返すことにより、段々と視界が開けてくるもので、技術を深めていった。それから20年以上を経過し、今では何千回もの実験を行ったが、未だに日々新しい結果に驚いている毎日であり、技術の核心は遠いところにあるようだ。

遂にC/Cの表面に銅箔を拡散接合する事に成功した。カーボンとの接触面にはSUSを用い、SUS中のCrとカーボンのCr-C結合により強固な接合を得、表面はメッキ性やロウ付け性からCuを、その間には熱膨張率を調整するためのMoの各箔を、一度にC/Cに両面に接合する技術である。上下両面は金属箔で覆われたが、サンプルを切り出した切断端面にはカーボンが露出しており、そこにはメッキの検討を行った。しかしながら、多孔質のカーボン材にメッキを施すことは思った以上に難しかった。メッキメーカーの協力を得ながら進めたが、メッキ液の多孔質への染み込みと、その後の乾燥工程でのシミの発生は避けることができなかった。

ある時、金属箔の厚さを各種変えた実験を行っていたところ、思わぬ実験結果に遭

遇する。それは、厚い銅箔を使用すれば、製造されるヒートシンクの熱膨張率は大きくなり、セラミックスとロウ付けすれば反りが発生するはずであったが、そのようなクレームはユーザーからは無かった。そこで、製品の熱膨張率を測定したところ、熱膨張率が温度により大きく変化し、一般的な直線的な熱膨張率カーブではなく、大きくカーブするヒステリシスを描くカーブが現れた。繰り返し昇温と降温を繰り返しても全く同じカーブを繰り返して辿り、違うサンプルでも同じ現象が発生した。この時、この事象が普遍的な現象であれば、カーボンを使用しないで、銅とモリブデンだけでも良好なヒートシンクが得られる直感した。銅とMoのヒートシンクの考え方自体は昔からあったが、ここでの発見は、極めて少量のMo(5%)を2層に配する構造により、ヒステリシスを示す特異的な熱膨張率カーブを示すことを発見したのである。⁽³⁾この熱膨張率カーブを図-1に示した。

これにより、僅かMo=5%で熱膨張率を9ppm/°Cまで低減が出来た。同時に、熱伝導率は360W/mK(厚さ方向)、380W/mK(面方向)と高く、従来品に比べ1.5~2倍の熱伝導率であった。このMo箔を多層に積層したCuとMoのクラッド材を従来のCu/Mo/Cuの3層品であるCMC材に対して、スーパーを意味するS-CMCと命名して販売することになった。このS-CMC材の物性を表-1に記載した。従来のCMC材では200W/mK程度の熱伝導率に対して、300~360W/mKの高い熱伝導率を示している。この材料は最初、通信衛星用のGaN(窒化ガリウム)素子を使用したデバイスのベースメタルに採用となった。その外観を図-2に示した。さらに、携帯電話の新しい通信方式であるLTEデバイス(4G通信方式)においても、GaN素子が採用されたことにより、高い熱伝導率が要求される、S-CMC[®]が遂に量産品に採用

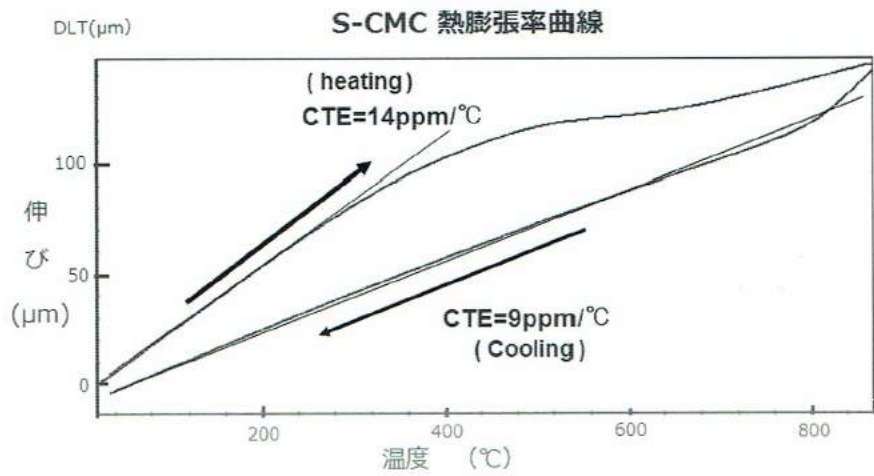


図-1 Mo2層構造のS-CMC 熱膨張率曲線

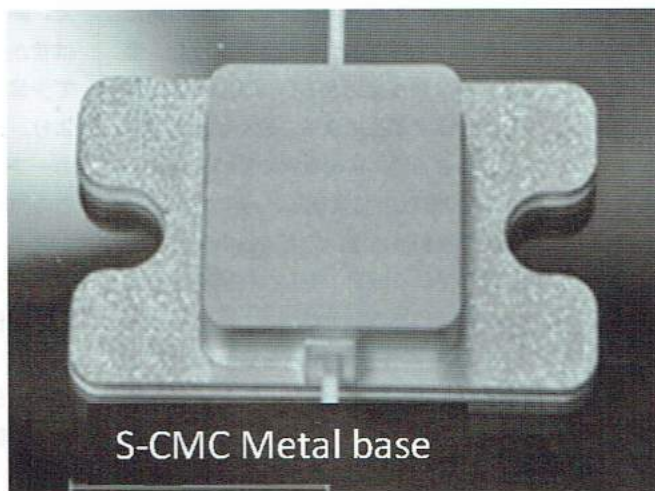


図-2 高周波PKGデバイス採用例



図-3 千歳新工場外観

されるに至った。それは2013年8月のことで、独立を決意してから17年の月日が経っていた。その間に、燃料電池セパレータ⁽⁴⁾や、セラミックス基板と銅を拡散接合したDBC基板、LED用ヒートシンク材⁽⁵⁾などの開発に取り組み、多くの成果とユーザーの獲得を果たすことができた。2014年12月には北海道千歳市の千歳空港に隣接する土地に新工場を完成させ、2015年4月から本社・工場機能を全て移転して、製造を開始する予定である。(図-3・参照)

サラリーマンから独立し、全く資金の無い状態で事業を始めたことは、今から思えば無鉄砲なことであったと思う。最初に思い描いた事業モデルとは違った製品を作り出している現状は、自分の考えたとおりに進む事の難しさの証でもある。しかしながら、常に前向きに希望を持って仕事に取り組めば、自分の実力以上に買い被って評価

してくれる人もいて、困ったときには助けて頂くことが幾度となくあった。サラリーマン時代は、大きな会社では歯車の一つとして働いていると感じていたが、今の自分は社会の中の一つの歯車として機能するように、多くのネットワークを広げて、国内外のユーザー、外注先、商社、研究機関などの繋がりを多く持つことにより、社会の中で生きていて、存在感を示すことが出来ていると思う。組織(会社)とは必ず衰退する運命にあり、常に新陳代謝がなければ社会は発展しない。その意味でも、多くのベンチャー企業が誕生し活躍できることが簡単な社会構造になることを期待している。

(1) The Society of Materials Science, Japan, CJMR: Current Japanese Material Research

Vol.12 Advances in Fiber Composite Materials, 1944 p41-57

"Fracture Mechanism for High-Modulus Pitch-Based CFRP"

(2) J. of Materials Science and Technology Vol.12, 2004, No.2 "Development of B4C-hybrid-matrix C/C Composites"

(3) 特許 3862737 "クラッド材およびその製造方法、クラッド材の成形方法"

(4) 炭素 2005 (No.218) 173-177 "固体高分子型燃料電池用炭素成形セパレータ板"

(5) 月刊ディスプレイ P34-38 2012 Aug. "銅-モリブデン複合材料によるLED素子の放熱"

Mo contents (%)	熱伝導率 (W/mK)		熱伝導率 (ppm/°C) 面方向		
	厚さ方向	面方向	250°C	RT~400°C	RT~840°C
5%	362	381	14.8	13.5	9.5
10%	335	369	11.8	9.3	7.5
15%	311	356	10.5	8.2	6.8
20%	291	344	7.4	6.8	6.5
40%	230	293	6.6	6.2	6.1
(Mo=100%)	142	142	5.3	5.6	5.7

表-1 S-CMCの熱伝導率と熱膨張率

問い合わせ先

津島栄樹 (株)FJ コンポジット 代表取締役
 〒416-0946 静岡県富士市五貫島783
 TEL 0545-60-9052
 FAX 0545-60-9053
 E-mail tsushima@fj-composite.com