

(解説)

車載半導体用リードフレーム銅合金板条

Copper Alloy Strips for Lead-frames for Automotive Semiconductors



三輪洋介*
Yosuke MIWA



尾崎良一*
Ryoichi OZAKI



有賀康博**
Yasuhiro ARUGA

The semiconductor market for automotive applications is expected to grow, while posing technical challenges also. Device and packaging technologies need to be improved for power semiconductors in hybrid vehicle units and for semiconductors in engine control units to achieve higher reliability. The Super KFC series and KLF170 were developed as highly efficient copper alloys suitable for the quad flat non-leaded packaging (QFN) that is expected to be applied to automotive semiconductors.

まえがき = 半導体は、日本の高度経済成長を支えた鉄鋼に代わり「産業の米」と呼ばれるようになって久しい。それほど日本の産業の中核を担うものとなっている。その半導体も、内蔵されるチップを作り込む「デバイス設計や製造技術」、できあがったチップを組み込み手軽に扱えるようにする「パッケージング技術」、さらに家電やパーソナルコンピュータ（以下、PC という）、携帯電話に搭載され私たちが実際に購入して使用する製品となるまでの「実装技術」、この3本柱が総合的に機能してはじめて高度な半導体産業が成立する。

その半導体も、家電、PC、携帯電話といった身の回りの電化製品、通信インフラといったものから、日本の代表産業である自動車分野へ急速な広がりを見せている。これまでも自動車には、ECU (Engine Control Unit)、ABS (Antilock Brake System)、ナビゲーションシステムなど電装化による半導体部品の搭載は進んできているが、環境とエコロジーをうたい文句に広がりを見せるハイブリッドカーや交通渋滞を緩和するなど「より便利に・より快適に」を目指した ITS (Intelligent Transport System)、いざという時の危険回避から快適性の追求までの運動車体姿勢制御など、半導体関連部品の搭載量はますます増えていくものと予想される。自動車1台あたりの半導体部品に使われるシリコンウエーハの量は、1990年代の大型車でさえせいぜい数枚程度だったものが、新型のハイブリッドカーでは20枚以上ともいわれるようになってきている¹⁾。

このように、自動車に搭載される半導体（以下、車載半導体という）は急速に拡大しているが、自動車は他の家電品やPCと異なり屋外で使用や保管がなされることから環境的にも様々な対応が求められる。また、使用条件も熱、振動、粉塵など非常に劣悪になりやすく、半導体にとっては軍用航空機以上に厳しい環境とも想像され

る。さらに、搭載機器の動作不良や誤作動は人命にかかわることから厳格な品質管理が求められる一方で、コストはミニマムにすることが求められる。このように相反するような要求を両立させることが車載半導体には求められる。

そこで本稿では、車載半導体の技術動向を解説すると共に、車載用パッケージングや使用されるリードフレーム材料について説明する。

現在の世界半導体市場で生産・使用される銅合金リードフレーム材料は13,000ton/月と見積られる。この市場の中でC19210に代表されるCu-Fe-P系の銅合金は約4割の5,000ton/月を占めており、この合金系の先駆けとして1977年に生産・販売を開始した銅合金が当社のKFC[®] (Kobe Ferrous Copper)である。銅板条の生産を行っている長府製造所の生産割合でも40%を占める主要製品であり、オンリーワン・ナンバーワン製品のひとつである。本稿では、このKFCをベース合金として改良を加え、車載用パッケージに適する銅合金として開発したスーパーKFCシリーズ、および新しい銅合金系として次代を担う特性を具備させたKLF170の特徴を紹介する。

1. 車載半導体の技術動向

車載半導体はその重要度や使用目的・用途により大きく五つの分野に分類できると考えられる。

- 1) ハイブリッドユニットに代表される高いエネルギーを伝達、制御するための半導体、また、制御用半導体の電源ラインとして使用されるパワー半導体
- 2) エンジン制御、ブレーキ制御、エアバック制御などに使用され、信頼性と冗長度を重要視する制御用半導体
- 3) 車体制御、居室環境制御、インストルメントパネル表示などの大量の各種信号を統合制御するために使

*アルミ・銅カンパニー 長府製造所 銅板工場 **技術開発本部 材料研究所

用される半導体

- 4) ナビゲーション, ETC (Electronic Toll Collection System) 車載器などの通信に使用される半導体
- 5) 運動制御のための加速度センサ, パーキングアシストのための CCD カメラなど, センサやカメラ類に使用される半導体

1.1 パワー半導体

これまでの内燃機関のみを駆動力とする自動車(以下, エンジンカーという)に代わり, ハイブリッドカーや燃料電池車, 電気自動車などのモータによって駆動する自動車が登場したことにより, この分野で使用される半導体が出現している。絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ(Insulated Gate Bipolar Transistor, 以下 IGBT という)がその代表例である。IGBT の詳細については割愛するが, ここではモータに供給する電流を制御するためのトランジスタ集合体と理解していただきたい。

モータ駆動の最も簡単な例は 1980 年代後半に流行したミニ四駆である。電池とモータを電線で直結し, ギアでタイヤに駆動力を伝える。スイッチはオン/オフのみ。電気自動車も基本はこのミニ四駆と同じであるが, 実用車となるとそう簡単ではない。アクセルに連動した速度制御, 蓄電池の充放電, 回生ブレーキなど, 一連のパワーユニットを制御することが求められる。さらにハイブリッドカーではエンジンとの協調駆動(トルク配分や速度制御)も必要となってくる。

これらの技術は, 既に鉄道分野の電車や電気機関車で実現されていた技術であったが, 自動車のサイズに小型化すること, および低コスト化することが重要であった。インバータ制御と IGBT の出現によってこれらの問題が解決され, この数年でハイブリッドカーや電気自動車の実用化, 普及が進んできている。しかし, まだまだ一般のエンジンカーとの価格差は小さくない。

IGBT にはその半導体材料としてシリコンウエーハが使用されている。現在は第 6 世代にまで進化しており, その能力は耐熱性能などの面で Si 製半導体の物理的な限界点に近づきつつある^{2), 3)}。このため, 次代の半導体材料として SiC や GaN が着目されている。SiC ウエーハは IGBT 内のトランジスタの能力を耐圧電流の点で飛躍的に向上させる。また, 動作限界温度も Si の 140 から SiC では 300 以上に高くすることができ, IGBT の小型化や同じ出力密度を得るためのチップ点数を大幅に減らすことができる。しかしながら, SiC ウエーハは製造過程において歩留りが低いことやウエーハサイズが 8 インチクラスの小径しか生産できていないことなどの問題があり, Si 製半導体にとって代わるにはまだ数年は要するものと推定されている⁴⁾。

SiC 製半導体への切替えにより, 出力密度は現行 Si 製半導体の数倍から 10 倍にも高密度化すると予測されており, チップ一つあたりの発熱量も出力密度に相応して増加する。このため, 使用されるリードフレーム材, 放熱板といった金属部材だけでなく, 封止樹脂や接合はんだなどにも高温に耐え, 熱を籠らせない熱放散性の優れた部材が要求される³⁾。

1.2 信頼性を重要視する制御用半導体

高い信頼性をもつ半導体パッケージを生産するには二つの考え方がある。一つは, 機能を損なうことなくいつまでも動作し続ける長寿命を実現させること。もう一つは, 製造過程での不良を一切発生させない 100% 歩留り, もしくは不良品を一切製造ラインから外部流出させないことである。後者のため, 半導体製造分野では上工程と呼ぶ半導体チップの製造工程および下工程と呼ぶパッケージへの組立工程ともに全数検査を行い, 不良品の外部流出を最大限に抑制している⁵⁾。

そういった信頼性の面から, 車載分野のチップ回路やパッケージ設計においては, これまで PC や携帯電話といったコンシューマ分野で 10 年以上量産実績を積んだタイプのものを使用することが数多く見られた。「2 世代前が標準」との考えである。しかし, 車載半導体の機能高度化がすさまじく進行するため, 数世代前のパッケージ機能では不十分になってきており, 最近では最新タイプで, しかもコンシューマ分野でも量産経験の少ない場合であっても車載に使用せざるをえない状況も発生している。一方で多機能化, 高度化, 複雑化は部品点数の増加も招いている。図 1 は, 部品点数と部品 1 個あたりの歩留りで, 製品全体の歩留りを推定したグラフである。部品点数が増加しても製品の歩留りを維持するには, 部品点数が増加した以上に部品 1 個あたりの歩留りを大幅に向上しなくてはならない。量産実績の少ない製品でその立上げ当初から高い歩留りを維持するためには, 使用する材料に対する徹底した品質管理に加え, 不良要因を排除するための工程数削減や工程管理を行うことによって作り込むことが必要になっている。

上記の品質管理において当社のような素材メーカーに求められる要件としては, 材料そのもの高品質性が求められる。いわば製品安定度という意味での高い工程能力であり, 従来では問題とならなかったレベルの極めて微小な欠陥でも発生させない清浄度である。

開発する新製品に対しても, 単に特性が優れるというだけではなく, その製品素性として上記の 2 点が考慮された設計が必要となっている。よりシンプルな組成, よりシンプルなプロセスは, 製造工程での管理項目を少な

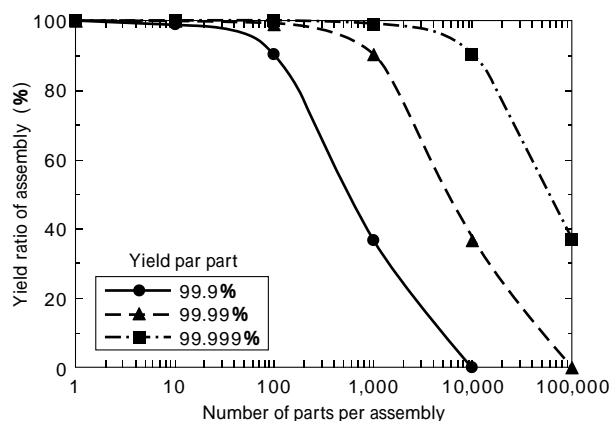


図 1 製品全体の歩留りと部品点数, 部品 1 個あたりの歩留りの関係

Fig. 1 Relationship between yield ratio of whole product and parts as function of part numbers per product

くことができ、品質を安定させ高いレベルで維持管理することに寄与する。また、シンプルなプロセスは工程数の削減をもたらし、ひいてはラインの清浄度と共に製品の清浄度を高い次元で維持することが可能になる。シンプルではあるが高性能であることが素材には求められている。

1.3 各種信号制御用半導体, 通信用半導体, センサ, カメラ用半導体ほか

これらの半導体は全て、一般のコンシューマ分野の技術に基づいている。技術蓄積が浅い場合でもその分野の機能が求められる場合には比較的気軽に車載製品に使用される。特筆すべきは車内外の照明にLED(発光ダイオード)が使われ始めたことである。

LEDは、赤色・黄色系のテールランプやターンランプに10年ほど前から使われている。電球と比べて、発光量自体は少ないが照度はあまり要求されないこと、玉切れが起き難いこと、複数個配置することで車体デザインでの意匠性が出せることが採用されている主な理由である。しかし、前方照明用ヘッドランプへの適用においては、白色系の高輝度のLEDが必要であることや道路運送車両法の改正が必要であったことから、一昨年までは市販車に使用されることはなかった⁶⁾。トヨタ自動車㈱のレクサスLS600h用ロービームとして搭載されたことが市販車での日本初の搭載例である⁷⁾。今後は、電球に比べて消費電力の小さいLEDの特性が重用され、ハイブリッドカーや電気自動車への搭載車種拡大が予想される。しかし、高輝度LED自体の価格、高輝度LEDから発せられる熱を逃がすランプユニットの複雑さ=高価格などから、一般のエンジンカーへの搭載は少ないものと我々は予測している。

2. パッケージの高信頼性に向けたリードフレーム材料

リードフレーム材は半導体パッケージの高信頼性化、高性能化の一翼を担っている。図2および表1は代表的な半導体パッケージの後工程と称する組立プロセスと要求特性の一覧である⁸⁾⁻¹⁰⁾。強度、導電率などの基本特性のほか、プレス打抜き性、エッチング加工性、めっき性などの様々な特性が重要となっている。また、パッケー

表1 リードフレーム用銅合金の必要特性

Table 1 Necessary properties of copper alloys for lead-frames

Classification	Properties	
1 st characteristics	Physical properties	<ul style="list-style-type: none"> Higher thermal conductivity Higher electrical conductivity Lower permeability Lower thermal expansion Higher modulus of elasticity
	Mechanical properties	<ul style="list-style-type: none"> Higher tensile strength Higher yield strength higher elongation Higher Vickers hardness Higher softening resistance Lower stress relaxation Higher stiffness Higher spring limit Higher fatigue resistance Better bend formability
Formability	Stampability	<ul style="list-style-type: none"> Lower internal residual stress Longer tool life Lower spring back
	Etching formability	<ul style="list-style-type: none"> Lower internal residual stress Higher etching ratio Better surface property
	Dice formability	<ul style="list-style-type: none"> Smaller burr Longer blade life
2 nd characteristics	Palatability	<ul style="list-style-type: none"> Better silver・nickel・palladium plating (for innerlead) Better solder・tin plating (for outerlead)
	Bondability	<ul style="list-style-type: none"> Better die-bonding (Paste method, Eutectic method, Solder method) Better wire-bonding Better bear-bonding (die and wire)
	Oxidation-reduction	<ul style="list-style-type: none"> Lower rate of oxidation Higher rate of reduction Higher adhesion of oxide film
	Sealing	<ul style="list-style-type: none"> Higher adhesion of resin (Higher adhesion of glass)
	Solderability	<ul style="list-style-type: none"> Higher solderability (Sn-Pb system, Lead free system) Higher joining strength between solder and leadframe Higher re-solderability Longer solder life Higher Ag-brazing strength
	Resistance of humidity other	<ul style="list-style-type: none"> Lower migration Lower stress corrosion cracking Lower oxidation in humidity Lower gas corrosion Lower hydrogen embrittlement

ジ形態でもこれまでのQFP (Quad Flat Package) に代わり、より小型化が可能なQFN (Quad Flat Non-leadless package) が登場している。

QFNはCSP (Chip Size Package) の1種類と分類されるほど実装面積が小さくでき、同機能のQFPの実装面積に対して約1/4ともいわれている¹¹⁾。このQFNに対しては、一括モールドタイプと呼ばれる製造方法において、最終の個片にパッケージを切離すダイシングが行われ、高速でダイシングを行ってもバリが出にくいなどの特性が材料には求められる。ダイシング工程は、一般には上工程の回路形成が終了したシリコンウエーハからチップ一つ一つを切出す工程のことを称していた。ダイサーと呼ぶダイヤモンドパウダを分散させたのこ刃によって切断する機械装置はそのまま、チップの切離しからパッケージの切離しに活用した点が異なる点である。QFNの一括モールドタイプは、QFPのような個片モールドタイプに比べて生産性が非常に高く、QFNが拡大している理由の一つでもある。QFNは車載半導体への

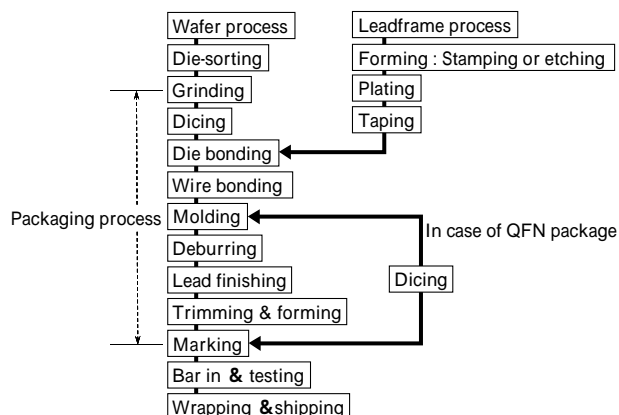


図2 プラスチックパッケージの代表的な組立工程

Fig. 2 The typical assembly process flow chart of plastic package

採用も増えており、搭載実績が増えればエンジン制御などの高い信頼性を要求される半導体にも使用されると予測している。

当社は、新しく登場したパッケージ形態であるこのQFNに適した新合金「スーパー KFC シリーズ」および「KLF170」を開発した。先に述べたように、高い信頼性を提供するためにも「シンプルであるが高性能」を開発コンセプトの一つとして掲げている。現在の銅板条製品のオンリーワン・ナンバーワンである KFC はシンプルな合金組成、シンプルな工程で作られている。この KFC の名とシンプルな合金組成および工程は継承しながらも、「スーパー」を冠させる程の高性能としている。

一方、KLF170 はスーパー KFC シリーズをしのぐ高性能を獲得した銅合金である。これららの新製品は次代の半導体パッケージを担うに相応しい高性能を有していると考えられる。以下にその特性を紹介する。

2.1 スーパー KFC シリーズと KLF170

スーパー KFC シリーズ（以下、SPKFC という）は、当社も含め全世界で 4,000ton/月以上も生産され 30 年以上もの使用実績がある Cu-Fe-P 系合金の KFC (C19210) をベースとする銅合金である。プロセスメタラジの概念を導入し、一貫工程制御によって従来の限界を超えた析出物の微細化（高強度化）と析出量の最大化（高導電率化）を達成しており¹²⁾、フレームの薄肉化・大型化などに寄与できる。

一方、KLF170 は、Cu-Ni-P 系合金として量産化した世界初の銅合金である。2 種類の析出物を一貫工程制御によってそのサイズと析出量を効率よく制御することによって高強度と高導電率を両立させている。

両合金共に、これまでの高強度合金で問題となる合金中の晶出物やめっき前処理でのスマットなどの問題を解決し、パッケージの高品質・高信頼性化に寄与できる銅合金としている。

2.2 特長¹³⁾

1) ダイレクトボンディングが可能 (SPKFC-1 のみ)

ユーザでリードフレームに施すめっきを省略することが可能であり、パッケージの製造コスト低減が可能である。また、めっき工程を省略することでプロセスを単純化でき、めっき起因による不良を抑制し、高歩留りにも寄与することが可能である。

2) エッチング面は平滑であり、スマットレスしかも残留応力フリーにて製造可能

板厚をほぼ半分まで除去するハーフエッチング技術を多用する QFN 用リードフレームには必須の特性である。残留応力フリー技術によりフレームの反りを極限まで低減でき、フレームおよびパッケージの大型化に寄与できる。

3) ダイシング性に優れる

上述した一括モールドタイプの QFN に必須の特性である。パッケージの小型化・高信頼性化が可能である。

4) Ag めっき突起は発生しない

めっき不良の一つである異常析出をベース合金として抑制でき、パッケージの高信頼性化や高歩留りに寄与で

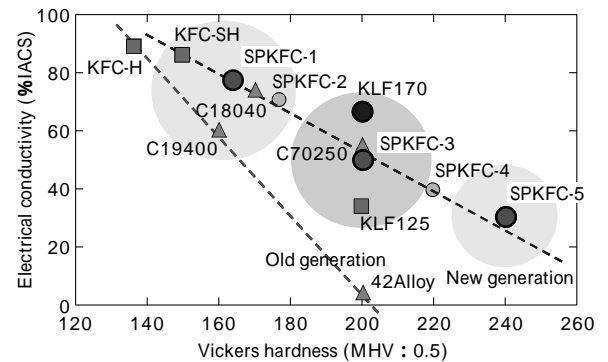


図3 開発合金と従来合金の位置付け

Fig. 3 Positioning of developed copper alloys and comparative alloys

表2 開発合金と従来合金の特性比較

Table 2 Comparison of properties between those of developed alloys and conventional alloys

Properties		Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers hardness (MHV:0.5)	Electrical conductivity (%IACS)
High electrical conductivity	SPKFC-1	570	7	165	78
	C19400	560	7	160	63
	C18040	580	7	170	75
High strength	SPKFC-3	670	7	200	50
	KLF170	670	7	200	65
	C70250	680	11	200	53
Very high strength	SPKFC-5	770	5	240	30

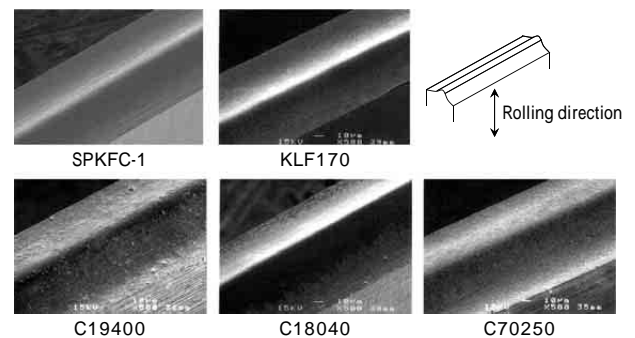


図4 エッチング加工後の各種合金表面のSEM写真

Fig. 4 SEM photographs of surfaces in copper alloys after etching

きる。

2.3 性能¹³⁾

1) 基本特性

図3に開発合金と従来合金の位置付けを、表2に各種合金の基本特性を示す。スーパー KFC シリーズは SPKFC-1 から SPKFC-5 までをシリーズ化しており、幅広い強度・導電率特性の要求にこたえることができる。また、KLF170 はピッカース硬さで HV 200 かつ導電率も 65% IACS を有しており、様々なパッケージに対応可能なハイスpek合金となっている。

2) エッチング加工性 (図4)

開発合金はいずれも合金中に長径で 10 μm を超えるような粗大な晶出物を含んでいない。これにより平滑なエッチング面が得られる。QFN フレームの製作工程で実施されるハーフエッチング面の平滑性を確保し、パッケージの信頼性向上に寄与している。

3) 銀めっき性 (図5)

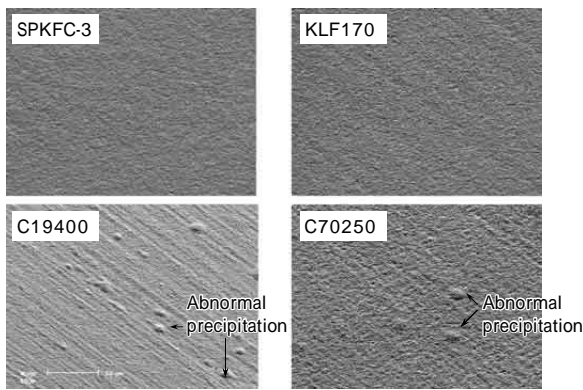


図5 銀めっき後の各種合金表面のSEM写真

Fig. 5 SEM photographs of surfaces in copper alloys after Ag-plating

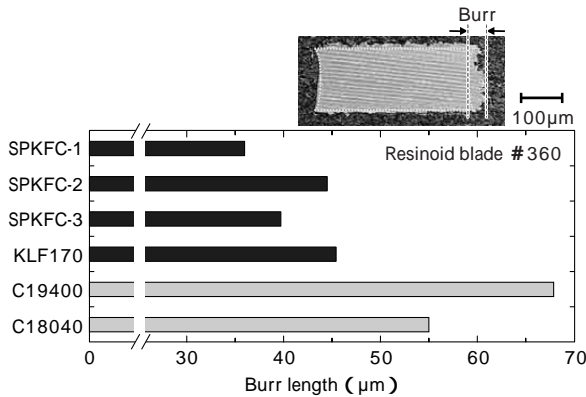


図6 ダイシング加工後の各種合金の引きずりバリ長さ

Fig. 6 Burr length of copper alloys after dicing

エッチング加工時の平滑性に影響する晶出物などの存在は、銀めっき時には異常析出の原因となる。開発合金は、前述したように長径 $10\mu\text{m}$ 以上の晶出物を含まないため、銀めっき後にも平滑で均一なめっき面を呈する。

4) ダイシング性 (図6)

QFN, とくに一括モールドタイプのQFNには、ダイシング性が重要な特性項目である。ダイシング時にリードを切断した際に発生する引きずりバリの大きさがパッケージの品質に影響する。また、引きずりバリが大きいことはダイシング速度を遅くする必要が出てくるため、バリの大きさは生産性にも影響をおよぼす。

開発合金はダイシング性に優れ、リード引きずりバ리를従来合金比で約3割低減できることから、品質もしくは生産性の向上に寄与できる。

むすび=車載半導体分野は、既存材料の標準化や使い勝手の向上が志向され、成熟市場となりつつある半導体関連産業の中で今後も成長が期待できる数少ない市場である。

当社は、業界標準材であるKFC(C19210), C19400だけでなく今回開発したスーパーKFCシリーズ, KLF170といったシンプルかつ高性能な銅合金をもって車載半導体分野の高信頼に対する要求にこたえていく。高信頼性化の要求にこたえるには、その開発過程から品質的なものづくりを組込んでいく必要があると考えており、その思想を組入れたスーパーKFCシリーズとKLF170は、次代のオンリーワン・ナンバーワン製品に育つものと信じている。

一方、SiC製ウエーハの出現により劇的な変化が予想されるパワー半導体分野には、スーパーKFCシリーズの開発で培ったプロセスメタラジ、KLF170の開発で培った2種類以上の析出物を一括プロセスで制御する技術により新たな合金を創造、提案していく所存である。

参考文献

- 1) 池山智也: 進展するパワー半導体の最新動向と将来展望 2006-2007, 株式会社 矢野経済研究所 (2006) pp.20-27.
- 2) 南川 明ほか: 需要拡大期を迎えたパワー半導体, セミナー資料, 日経マイクロデバイス (2008).
- 3) 岩室憲幸ほか: IGBTの基礎とモジュール放熱設計の実際, セミナー資料, 日本テクノセンター (2008).
- 4) 大橋弘通: パワーエレクトロニクスデバイスの動向と実装技術の課題, セミナー資料, 工業調査会 (2009).
- 5) 二川 清: はじめてのデバイス評価技術, 工業調査会 (2000) p.136.
- 6) 日経 Automotive Technology, 2005年夏号, pp.116-121.
- 7) 日経産業新聞, 2007年4月16日号.
- 8) 香山 晋ほか: VLSIパッケージングと技術, 日経BP社 (1993) pp.130-135.
- 9) 坂本光雄: LSI周辺金属材料・技術, 株式会社トリケップス (1990) pp.78-79.
- 10) 野村幸矢: R&D 神戸製鋼技報, Vol.54, No.1 (2004) pp.13-18.
- 11) 春日壽夫: 超小型パッケージCSP/BGA技術, 日刊工業新聞社 (1998) pp.25-34.
- 12) 有賀康博ほか: まてりあ, 第47巻, 第1号 (2008) pp.33-35.
- 13) 尾崎良一ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.57, No.1 (2007) p.110.