

ミクロの材料開発で 半導体の高機能化を 支える

ボンディング ワイヤ

「接続技術」が キーとなる

現在、携帯電話には1台当たり約20個の半導体チップが搭載されている(写真1)。半導体の用途拡大に伴い、チップは小形化、高性能化、耐落下衝撃性など要求性能が高度化しており、特にリード(配線)とプリント基板(※1)との接続部(外部接続)、チップ電極とリードの接続部(内部接続)は、最終製品の寿命と信頼性に直結するため技術的要求が高い。半導体のキーテクノロジーは「接続技術」にあると言っても過言ではない(図1)。

外部接続は、当初チップ両側2辺から出ていたリードが高集積化に伴う入出力ピンの増加により4辺に移行。そしてさらに多くの信号を効率的に出すため、面上に半田ボールを配列して接続する実装技術(BGA/Ball Grid Array)が登場した。

一方、内部接続のワイヤボンディング方式も近年急速に進化し、単列から多段にワイヤ接続する多段配線構造、積層したチップに従来と同方向や逆方向から多層にワイヤ接続していく3次元の実装技術が主流となっている。これら実装技術の進化はボンディングワイヤの高性能化が支えており、半導体に不可欠な材料として、その重要性はますます高まっている。

新日鉄マテリアルズでは、グループ会社の(株)日鉄マイクロメタルが新日鉄先端技術研究所(以下、先端研)と連携して、ボンディング用ワイヤやBGA、フリップチップ用半田微細ボールを開発、商品化して、国内およびフィリピンの製造拠点から世界市場へ供給している。現在、日鉄マイクロメタル製のボンディングワイヤは、世界第3位のシェアを持つ(国内シェア約30%、世界シェア約15%)。

鉄のDNAを活かし 高品質材を送り出す

ワイヤボンディングは、半導体チップのアルミ電極とリードを、直径15〜30μmの金属製ワイヤで接続する。ボンディングワイヤは半導体素子の電気信号を半導体チップの外部に伝える役割を持つ。材料は従来から、電気抵抗が低く効率良く電気信号を伝え、加工性と接続強度が高い金が使われてきた。

接続方法は、ワイヤ先端をアーチ状放電※2により溶融して表面張力でボールを形成し、それをキャピラリーと呼ばれる円筒状の接続治具でアルミ電極上に120キロヘルツの超音波振動を加えながら0.01秒間程度の高速で熱圧着する(図2)。接続時には、アルミ電極表面のアルミ酸化膜を破壊し、金とアルミ新生面が強く結合した

接合界面を形成させている(図3)。接合部の状態は半導体の信頼性を決定するため、特に車載用途などでは、接合部での拡散および化合物成長を制御する機能もボンディングワイヤに要求される。

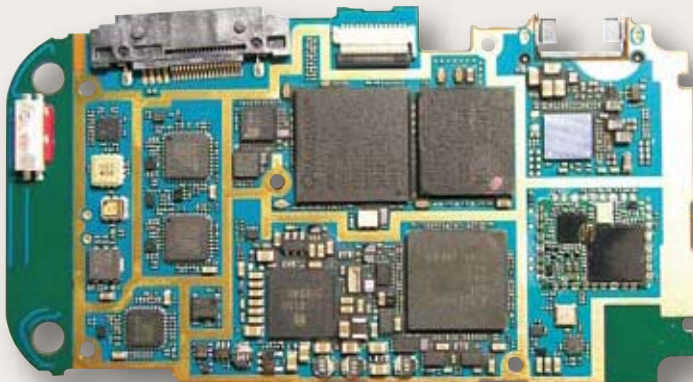
ボンディングワイヤの製造は、ただ金を細く引き伸ばせばいいわけではない。携帯電話やパソコンのCPU(※3)などでは、一つのパッケージに数個の半導体チップが内蔵され、それらを直径18μmのボンディングワイヤ約300〜500本により、35μmの間隔で外側のリードフレームと接続することもある。18μmは髪の毛の4分の1、35μmはシャープペンの芯の15分の1の細さだ(写真2)。

また、半導体パッケージの構造が複雑化しワイヤがロングスパン・3次元化する中で(写真3)、上下左右のワイヤ同士が接触しないループ形状を維持するための強度も求められる(図3)。

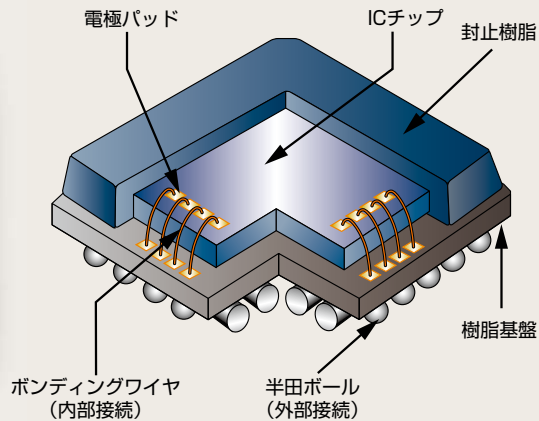
携帯電話やパソコンなど電子機器の小型化、高機能化に伴い、内蔵される半導体デバイスの高密度実装を可能とする技術の重要性が高まっている。新日鉄マテリアルズ(株)(元新日鉄新素材事業部)では、鉄鋼材料開発で培った微量添加物の制御や解析技術を駆使して、接続用材料である金ボンディングワイヤと半田ボールを市場に送り出すとともに、次世代の半導体実装技術のデファクトスタンダードと目される微細な半田ボールを使った接続技術(マイクロボールバンピング技術/7月号本企画で紹介)を開発、今日まで電子機器の技術革新を支えてきた。今号では(株)日鉄マイクロメタルが商品化した「ボンディングワイヤ」の技術開発の足跡と、新たな材料開発への挑戦を紹介する。

※本企画では2010年4月号から数回にわたり、長年、製鉄事業が培ってきた経験と技術を基盤に成長・発展を遂げるグループ各社の保有技術にスポットを当てて、その原点と技術開発の最先端を紹介しています。

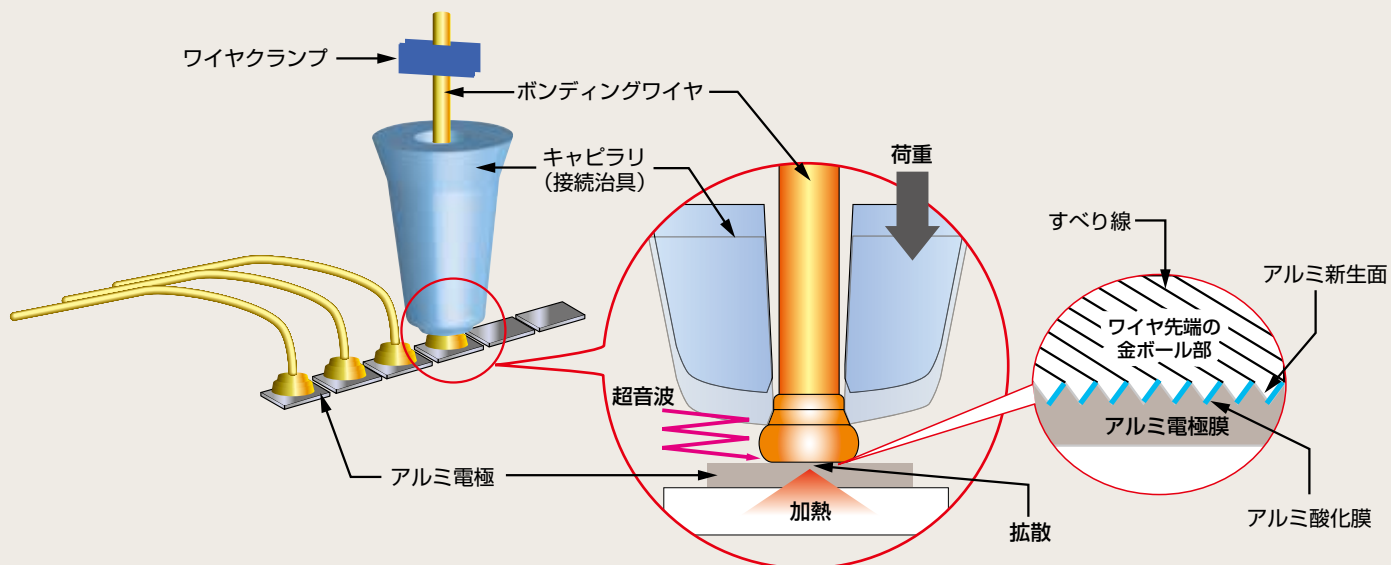
写真 1 携帯電話内部と半導体チップ



1 半導体パッケージの内部構造



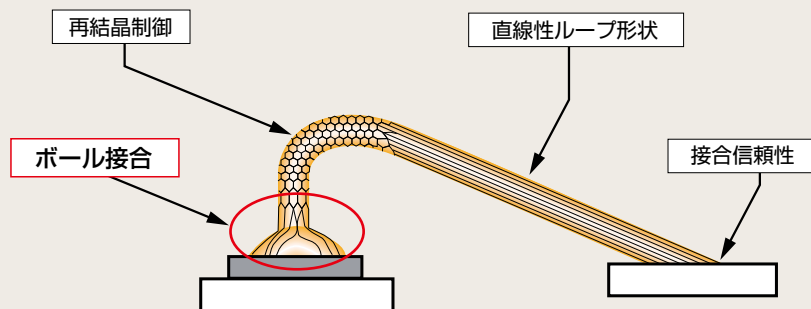
2 ワイヤボンディングの仕組み



ワイヤ先端にボールを形成し、アルミ電極上に超音波振動を加えてワイヤを熱圧着すると、アルミ電極表面のアルミ酸化膜を破壊。金とアルミ新生面が強固に接合した接合界面を形成する。

超音波熱圧着接合

3 ワイヤの要求特性



※ 1 プリント基板: 薄い銅箔が貼り付けられた絶縁体の板に、半導体チップや抵抗などの部品で電子回路を構成したもの。

※ 2 アーク放電: 気体中での放電の一つ。弧状の強い光と高熱を発生し、気体放電としては最も電流密度が大きく電圧降下が少ない。

※ 3 CPU: コンピュータを構成する部品の一つで、各装置の制御やデータの計算・加工を行う装置。

技術的要求が高度化する過程で、日鉄マイクロメタルは後発にもかかわらず、先端研が持つ100ppm以下の微量添加元素による材料特性コントロールや、製造プロセスでの金属組織の結晶粒制御のノウハウを駆使して、金の高強度ワイヤを世界に先駆けて商品化（商品名：K1）。ロングスパンが可能な同ワイヤは一躍脚光を浴びた。その後も、直進性の優れた「Tシリーズ」や、さらに強度を高めた「ATシリーズ」を開発するなど、常にニーズを先取りする新材料を市場に送り出している。今日では、ボンディングワイヤのボール部とワイヤ部の金属組織をサブミクロンレベルで制御するため、材質と加工プロセスの一層の高度化を図っている。

また、同社では最先端のワイヤ接続装置と材料解析技術を駆使して半導体実装の諸条件をシミュレーションし、利用技術まで踏み込んだ材質の最適化に取り組んでいる。

市場が熱望する 夢の新材料を生み出す

2008年に世界を襲った経済危機後の投機的な需要増加もあり、金の価格はこの10年間で4倍に高騰。この1年間だけでも1g当たり2900円から3600円まで値上がりし、高止まりの傾向にある。半導体実装の世界では、金の代替

となるボンディングワイヤの開発が熱望されるようになった。従来から導電性の高い銅が注目され一部で使われてきたが、銅は酸化しやすく、酸化膜ができてしまうと接続しにくく生産性が落ち、また金に比べて材質が硬いためチップを傷めるケースもあった。日鉄マイクロメタルでは、先端研と共同で、低コストの新材料で市場シェアの獲得を目指すユーザーの積極的な取り組みに応える形で、金に対抗する夢の材料開発に取り組んだ。

金を代替する最大のポイントのは、従来の銅ワイヤを凌駕する良好な「接続強度」と「防食性」の向上にある。例えば、ボンディングワイヤは半導体パッケージ1個（約400〜1200ピン）当たり1・5〜4m使われるが、銅ワイヤは製造ラインで1週間を使い切らなければ錆びてしまうため、巻き長さに制約がある。また、ボンディング時の接合部におけるボール圧着形状がきれいな円形にならず、均等なピッチでの接続に弱点もあった。これらの問題はワイヤ表面が銅であることに関係しており、既存のボンディングワイヤに共通する単層構造を前提とした従来技術の延長では解決は難しい。そこで全く新しい機能による差別化と、半導体向けの厳しい要求を満足する高品質化を目指し、先端研と一体となり初めて複層構造の銅ワイヤの開発に挑戦した。

複層構造に特有の課題も多く、先端研では素材選定、表面処理技術、表面構造制御など基本設計から特性評価まで総合的な材料開発に取り組み、2007年にパラジウム（※4）を銅ワイヤの被覆材として使用することで、接続強度、防食性などが大幅に向上することが可能であることを見いだした。また独自の表面制御技術をベースに、表層構造や厚みなどの最適化を図ることで優れた特性を引き出すことに成功した。日鉄マイクロメタルでは事業化の観点からプロセス・材料設計を行い、新たに表面処理や伸線加工などの要素技術を開発。量産段階での表面処理の安定化や、高速での伸線加工時の断線防止対策も試験を繰り返して確立し、最終的に金の特性と遜色ない画期的な材料「EX1」(EXCELLENTとEXCITINGから命名)を開発した（写真4・5）。

グループの技術力で マーケットを切り開く

EX1は2009年末からの半導体市場の盛り返しを牽引する新技術としてお客様から高く評価され、急激に受注を伸ばしている。価格は金ワイヤの約3分の1で、銅ワイヤと比べて接続強度1・5倍超、また1カ月間製造ラインで保持できる高い防食性を持つことから、ワイヤ巻き長さの制約がなく

なり、ワイヤ交換やメンテナンスなどの人的負荷も軽減する（図4）。また、ボンディング時の初期ボール形状が安定しているため、18〜20μmの線径で多ピン・ハイエンドタイプのロジックLSI（※5）に採用できる。

さらに、ボンディング後に樹脂封止される半導体パッケージにおいて、銅は高温・多湿になると接続部が腐食して使用時の接触不良を起こしやすいが、EX1はパラジウムの機能で金並みの防食性能を発揮する。つまりお客様が半導体を出荷した後の最終商品で高い信頼性を維持できる。現在、先端研と日鉄マイクロメタルは共同で、世界各国で多数の特許を出願し、新日鉄マテリアルズと連携して確実な知的財産化を進めている。

本材料では、先端研が基本技術の開発と知的財産化推進、およびお客様の関心が高い接続信頼性の解析や独自のメカニズム解明などによるお客様からの信用獲得を後押しして、量産体制の構築では日鉄マイクロメタル独自のプロセス開発をグループ会社である（株）日鉄テクノリサーチの解析技術が支えた。今回の材料開発は、新技術の基礎研究・商品化の着想（種）と、市場ニーズの高まり（土壌）、そして量産実現への技術・操業・経営の努力（栽培・結実）の三位一体により新商品を生み出す、まさに技術力でマーケットを創造するモデルケースとなった。

監 修 (株)日鉄マイクロメタル (1987年設立 社長 井上 俊男 本社 埼玉県入間市)



参与 技術開発部長
山田 隆 (やまだ・たかし)
(1986年入社、電気化学専攻)



ボンディングワイヤ部長
八田 健一 (はった・けんいち)
(1987年入社、機械工学専攻)

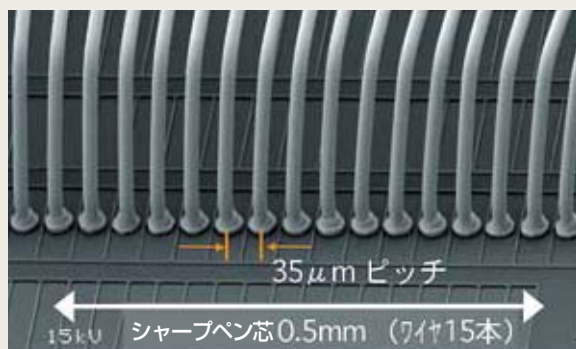


ボンディングワイヤ部 製造課長
北辰彦 (きた・たつひこ)
(1986年入社、精密工学専攻)



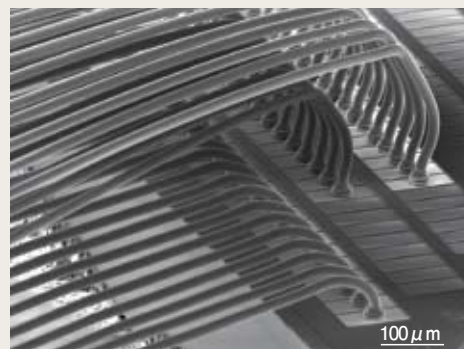
ボンディングワイヤ部 EX係長
石亀 秀之 (いしがめ・ひでゆき)
(2001年入社)

写真2 ボンディングワイヤの接続例



35μm間隔で接続するボンディングワイヤ

写真3 ボンディングワイヤの3次元実装例



ボンディングワイヤはロングスパン・3次元化が進む

写真4 EX1の製造現場より



伸線加工



外観検査

4 材質別比較表

	生産性	信頼性	適用範囲	価 格
金ワイヤ	◎	◎	◎	△
EXワイヤ	○～◎	○～◎	○	○
ベア銅ワイヤ	△	△～○	△	◎

写真5 ボンディングワイヤ3製品



金ワイヤ

EXワイヤ

ベア銅ワイヤ

※4 パラジウム:白金族グループの金属で、柔らかさと耐食性を兼ね備えた金属。プラチナとともに産出される。

※5 ロジックLSI:マイクロプロセッサのようにデータの加工・計算などの機能を持った半導体チップの総称。