

極細ボンディングワイヤの開発

Development of Ultra-Fine Bonding Wire for Fine Pitch Bonding

大野 恭 秀⁽¹⁾ 大 関 芳 雄⁽²⁾
Yasuhide OHNO Yoshio OHZEKI

抄 録

これまでワイヤボンダ法は120 μ mピッチ程度が限界といわれていたが、600DPIのLEDプリントヘッドの開発を可能とするために40 μ mピッチのワイヤボンダ法の開発を行った。まず、本目的のために新たに金基系合金の高強度で線径10 μ mの極細ワイヤを開発した。本ワイヤを用いて40 μ m接続ピッチのウェッジボンディングによる接合技術を確立し、600DPI LEDプリントヘッドを試作して良好な信頼性結果を得た。本ワイヤの開発にあたり種々の製造技術の検討を行い、最終的に微細な金属組織を有する長尺ワイヤの製造技術を確立した。

Abstract

In the conventional wire bonding technology, the bonding pitch is limited to 120 μ m. To support the development of LED print heads with 600 DPI, a technology for enabling the wire to be bonded at a pitch of 40 μ m has been developed. For the development of this technology, a ultra-fine high-strength wire, made of gold-based alloy, with a diameter of 10 μ m was developed. Using this wire, a technology that makes possible the bonding of wires at a pitch of 40 μ m by wedge bonding was established. The 600 DPI LED print heads which were produced on a trial basis by this method exhibited high reliability. For the development of this wire, extensive research was conducted on various manufacturing methods, as a result of which a technology for manufacturing long wire with fine metallic structure has been established.

1. 緒 言

電子機器の軽薄短小化、高機能化を背景として、それに用いられるICも小型化、薄型化への要求が強く、更に多ピン化の傾向が著しくなっている。この多ピン化の傾向に対応してIC実装技術も最近著しい進歩をとげてきている。ICの内部と外部との情報のやりとりのためにIC周辺に設けられたパッドは、多ピン化するにつれてその間隔を狭くしなければならない。しかし、現在の実装技術ではワイヤボンダ法で120 μ m、TAB (Tape Automated Bonding) で80 μ m程度が限界と言われている。

又、端末機器のプリンタの高解像度化の要求が高まっており、これまでに開発された400DPI (dots per inch) から600DPIのLED (発光ダイオード) プリンタの開発が望まれている¹⁾。この600DPIのプリントヘッドを実現するには接続ピッチ40 μ mの高精細な接合技術の開発が必要である。しかも、実装コストの面からはワイヤボンダ法が最も有利であり、著者らはこれまで120 μ m程度が限界であったワイヤボンダ法で40 μ mピッチの接続技術を確立する、難しい課題に挑戦した。図1にLEDプリントヘッド上での40 μ mピッチワイヤボンディングの模式図を示す。図中、LEDとドライバIC間を高精細なワイヤボンディングを行っている。なお、本開発は沖電気工業²⁾と共同で行ったものである。

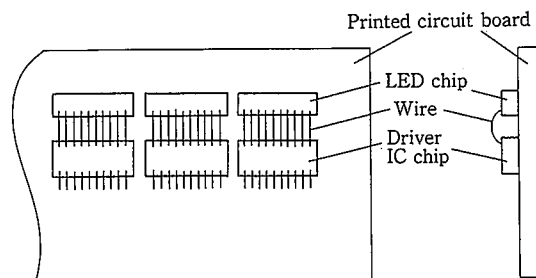


図1 LEDプリントヘッドの模式図

2. 実験方法

2.1 供試ワイヤ

ワイヤボンダ法に用いられる金ワイヤは、ほとんどが線径25~30 μ mの4N (99.99%)の純度の金を用いている。しかし、本研究の目的とする40 μ mピッチの接続技術を確立するために、新たに金基系合金の高強度極細ワイヤを試作した。

従来から、ワイヤボンダ法にはボールボンディング法とウェッジボンディング法があり、それぞれの分野でその特徴を活かして使用されている。写真1に金ワイヤを用いた両法の外観写真を示す。この写真から明らかなように、40 μ mの微細ピッチを実現するにはボン

⁽¹⁾ 技術開発本部 先端技術研究所 機能材料応用研究部 主幹研究員 工博

⁽²⁾ 技術開発本部 先端技術研究所 機能材料応用研究部 研究員

ディング後のつぶれ幅の少ないウェッジボンディング法が有利であり、ボールボンディング法では非常に困難なことがわかる。

図2に40μmピッチで配列した時に考えられる二つのショート状態を示す。(a)、(b)各々の状態は次のような境界条件式(1)、(2)で表すことができる。

$$P > 2 \times \frac{W}{2} + \sqrt{2(T^2 + M^2 + F^2)} \quad \dots\dots(1)$$

$$P > \left(\frac{W}{2} + \frac{B}{2}\right) + \sqrt{(T^2 + M^2 + R^2 + F^2)} \quad \dots\dots(2)$$

ここで、P：接続ピッチ、W：ワイヤつぶれ幅、F：つぶれ幅ばらつき、T：ボンダティーチング精度、M：ボンダ機械精度、R：認識精度、B：パッド幅である。この二つの関係式を図3に示す。こ

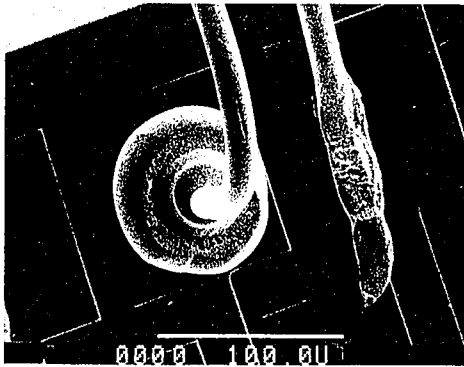


写真1 ボールボンディングとウェッジボンディングの比較写真

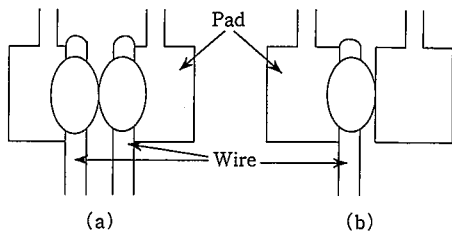


図2 接合部のショートモード

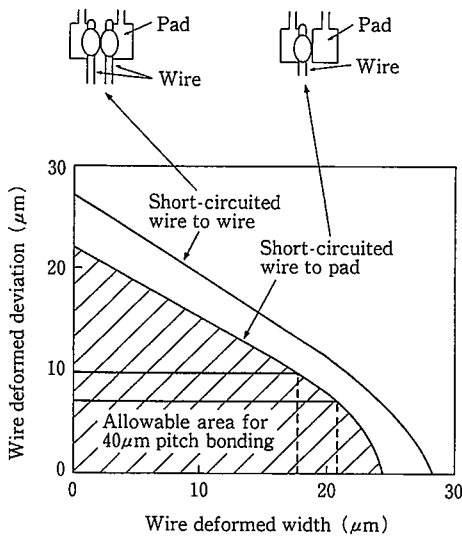


図3 40μmピッチ接合におけるつぶれ幅、位置精度とショート条件の関係

の図で斜線部分が40μmピッチを可能にする範囲を示している。

一方、接合強度も重要な要素であり、図4に10、13、18μm径のワイヤをウェッジボンディングしたときのつぶれ幅とプル強度の実験結果を示す。この結果から、10μmワイヤではつぶれ幅が19~21μmで最も接合強度が高くなっている。又、図5に10μmワイヤの20μmにつぶした時のつぶれ幅のばらつきを示す。3σで6.4μmであり、図3と関係づけてみると、10μm径のワイヤを用いてつぶれ幅20μmを得る条件で接合すれば40μmピッチの接合が可能であることがわかる。

以上のように10μm線径のワイヤ開発が必要であるが、従来から用いられている4NのAuワイヤを10μmにすると次のような問題がある。

- (1)強度が低くワイヤの取扱いが難しい
- (2)接合後のプル強度が低い
- (3)極細化細引加工が困難
- (4)二次ボンド側にテールを発生しやすい

これらの問題を解決するため表1に示す3種類の金基合金の高強度ワイヤを試作した。ワイヤ径は10μmである。図6にこれら試作ワイヤ3種と従来の4N金ワイヤの線径と破断強度の関係を示す。試作ワイヤIIIの10μm径の強度が、従来の4Nワイヤの25μm線径の強度とほぼ等しいことがわかる。この金基合金IIIは115kgf/mm²の破断応力を有する超高張力材料である。これら3種類のワイヤは金をベースに%オーダーで他の元素を添加している。

2.2 接合方法

600DPIのLEDプリントヘッドを想定した40μmピッチのAl電極

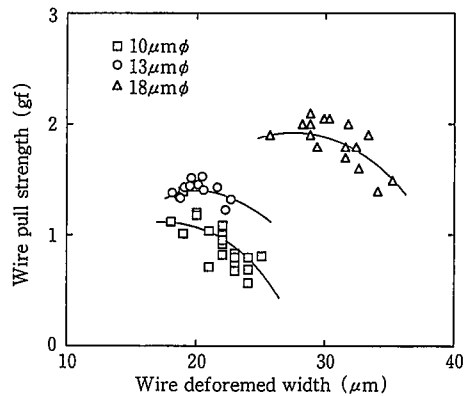


図4 ワイヤつぶれ幅とプル強度の関係

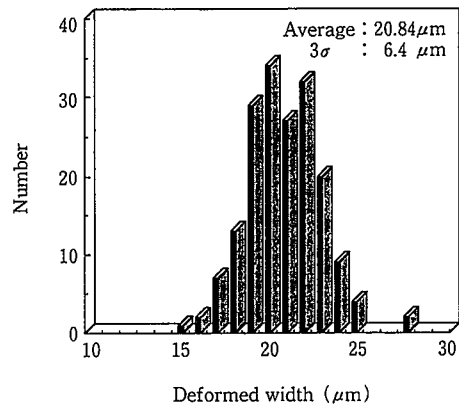


図5 ワイヤつぶれ幅の分布

表 1 供試ワイヤの機械的特性

Bonding wire	Wire diameter (μm)	Breaking load (gf)	Elongation (%)
Au-base alloy I	10	1.7~3.4	0.1~2.6
Au-base alloy II	10	2.3~4.4	0.1~6.4
Au-base alloy III	10	9.1	1.1
Commercial grade Au (99.99%)	15	4	1

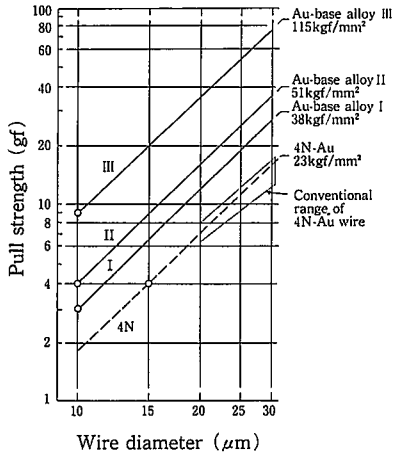


図 6 供試ワイヤと4Nワイヤの線径と破断強度の関係

パッドに上記試作ワイヤを用いてボンディングし、接合条件の探索を行った。評価項目として、一次側ではワイヤつぶれ幅、ボンディング位置精度、二次側ではテールの発生状況を調べ、全体評価としてプル強度を測定した。又、ボンディング条件として、ツール荷重15~100gf、超音波パワー2.5~10mW、超音波時間10~150msの範囲で実験し、連続ボンディング可能な条件のものについては詳細なデータを採取した。

2.3 信頼性試験

上記の良好な接合条件のプリントヘッドを用い、温湿度サイクル試験及び熱衝画試験を行った。

3. 実験結果

3.1 接合特性

表1で示した金基合金I~IIIを用いて接合特性を評価した。その結果、金基合金Iのワイヤで40μmピッチでの良好な接合特性を得ることができた。金基合金IIではワイヤつぶれ幅が小さく、かつ高い接合強度を示したが、二次ボンディングでのテール発生があり、連続ボンディング性が得られなかった。金基合金IIIではワイヤ強度が高いため、ハンドリング性は良好であったが、大きな電極へのダメージが認められた。写真2に金基合金IIIを用いた電極ダメージの例を示す。ワイヤの変形が少なく、電極部が大きく凹んでいるのがわかる。

連続ボンディングを阻害する要因として接合強度の低下と二次接合部でのテール発生がある。テール発生は二次接合後クランパーを閉じてワイヤを引き切るときに接合部から離れた場所でワイヤが切れる状態である。このようなテールが発生すると、次の一次ボンディングが不可能となり、連続ボンディングが停止する。

図7に金基合金Iのワイヤを用いた接合特性の一例を示す。超音波パワー3mW、超音波時間60~80ms、ツール荷重15gfでワイヤつぶれ幅が適正で、強度の高い接合が得られている。

以上の結果から、金基合金I~III及び比較として4N金ワイヤを用いたワイヤの破断荷重と伸びによる最適接合条件範囲を図8に示す。40μmピッチの接合を可能にする線径10μmのワイヤの最適機械特性

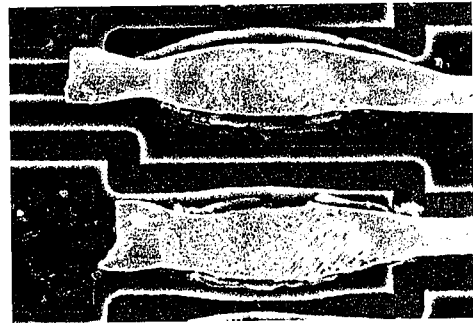


写真 2 アルミ電極の損傷例

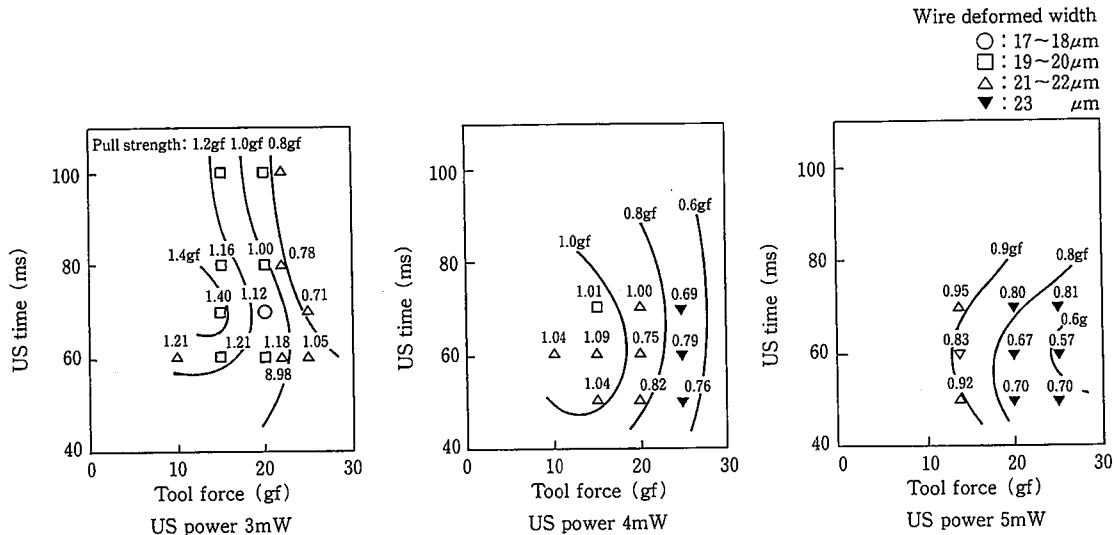


図 7 接合条件とつぶれ幅及びプル強度との関係の実験例

は、破断強度2.5~3.5gf、伸び0.5~2%の範囲であることがわかる。

図9に実験に使用したボンディングツールの断面を示す。標準タイプではツール後部部のヒールからワイヤを通し、ボンディング面へとワイヤを導いている。ガイドタイプではツール後部部よりワイヤを挿入し、直接ボンディング面へ導いている。これらのツールを用い、ツール穴径とボンディング位置精度との関係を調査し、図10のような結果が得られた。ボンディングの位置精度を高めるには穴径の小さいガイドタイプのツールを用いることが望ましいことがわかった。

3.2 信頼性試験結果

前節で得られた最適接合条件でLEDプリントヘッドにボンディングし、温湿度サイクル試験(-10°C-65°C繰り返し、95%RH 24h cycle)による電気抵抗の変化を図11に示す。図12には熱衝撃試験(-55°C, 0.5h-125°C, 0.5h繰り返し)によるプル強度の変化を示す。比較材として4N金(15μm径)を用いた。金基合金ワイヤは比較材

に比べ、ワイヤ径が細いにもかかわらずいずれの試験でも良好な信頼性が得られた。なお、写真3にLEDチップ部の高精密40μmピッチのワイヤボンディング部の外観写真を示す。

4. 極細ワイヤの製造技術の検討

高精密40μmピッチのワイヤボンディング技術を確立するため、線径10μmの高強度金基ワイヤを開発した。本ワイヤの金属組織を写真4に示す。ワイヤの線径が10μmであることから結晶粒が数μmの極めて緻密で均質な組織であることがわかる。

ボンディングワイヤの製造は室温でダイス線引きによって目標とする線径の細線を得、その後、焼鈍によって必要とする機械特性をもつワイヤに仕上げる。本ワイヤの製造技術上の大きな課題として長尺ワイヤの線引きと焼鈍条件の設定があった。線径10μmのワイヤを断線せずに線引きするために、これまで以上の高純化等の種々の

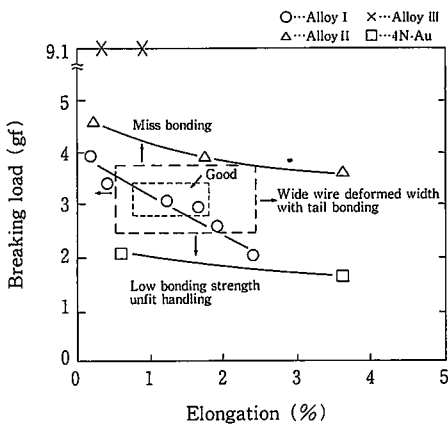


図8 接合性の優れたワイヤの最適範囲

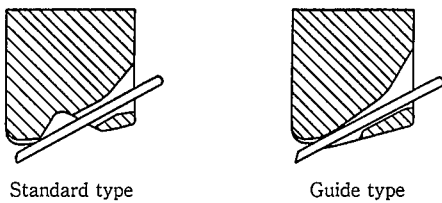


図9 ボンディングツール

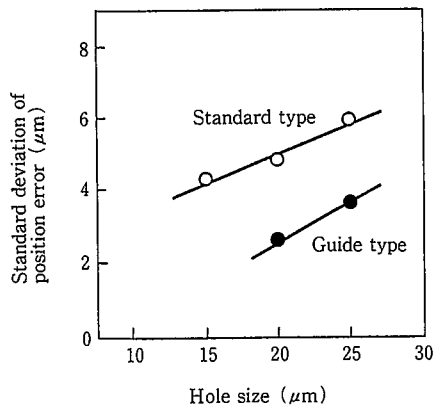


図10 ボンディング位置精度とツールの種類

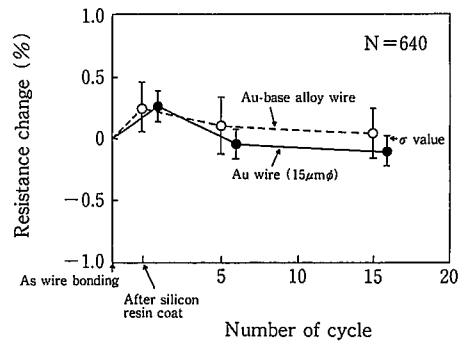


図11 温湿度サイクル試験による電気抵抗の変化

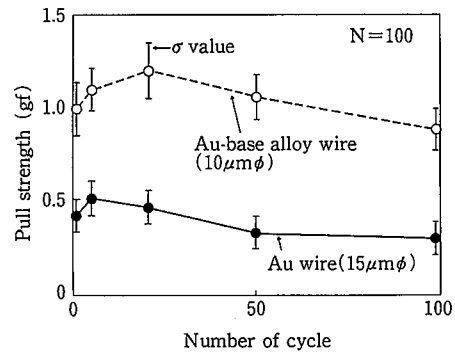


図12 熱衝撃試験によるプル強度の変化

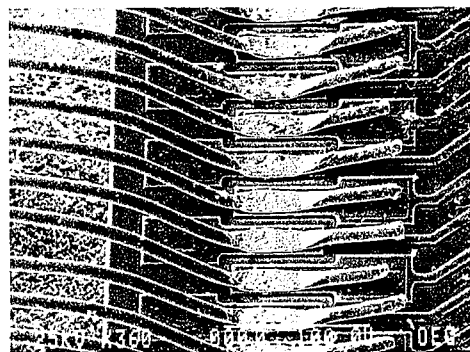


写真3 40μmピッチのワイヤボンディング部走査型電子顕微鏡

対策を実施し、実用上問題のない長さの線引きが可能となった。又、焼鈍条件については図13に焼鈍曲線の模式図を示すが、通常のワイヤと比べて特徴的な挙動が高温部の伸びで見られる。焼鈍温度が上昇するにつれて線引組織の回復過程を経て伸びは増加し、強度が低下する。更に温度が上昇すると、再結晶によって更に強度の低下と伸びの増加が通常ワイヤでは認められるが、極細ワイヤの場合、強度が低下するにもかかわらず、伸びも低下する。

この伸びが極細ワイヤで低下する理由は、再結晶粒がすぐ線径の大きさに成長してしまい、金属組織がいわゆる竹の節状となるためである。このような挙動はボールボンディングにおける熱影響部の特性と類似している²⁾。従って、通常ワイヤと比較して極細ワイヤの最適焼鈍条件の範囲が狭く、製造上の注意が必要である。

5. 高精細ワイヤボンディング技術の検討

接合の最適条件を見出すために3種類の金基合金を用い、接合条件として超音波荷重、パワー、時間を種々変えて実験を行った。その一例を図9に示した。これらの条件とプル強度及びつぶれ幅との相関を種々調べた結果、最も相関が強く認められたものを図14、15に示す。図14は合金Iについて、図15は合金IIについての結果である。ウェッジボンディングは基本的には超音波振動による圧接であり、その接合機構については必ずしも明確にはなっていない。ワイヤの特性ばかりでなく、相手方のアルミニウム電極の特性との関係で論ずることが必要である。

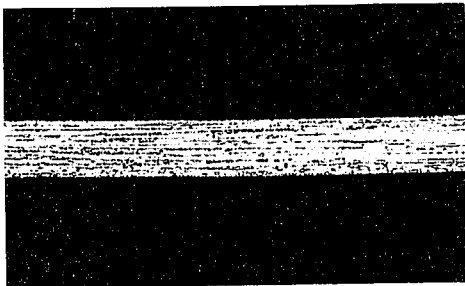


写真4 ワイヤの断面組織写真

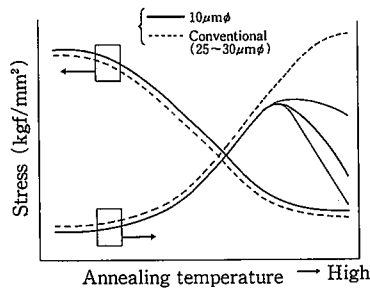


図13 焼鈍曲線の模式図

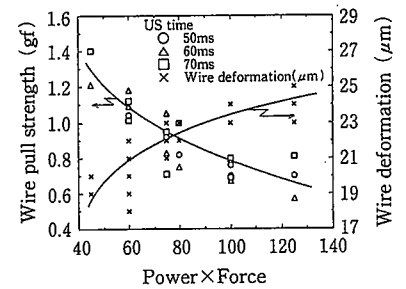


図14 金基合金Iの接合条件とプル強度の関係

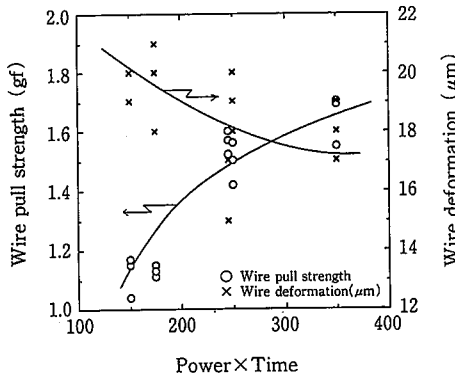


図15 金基合金IIの接合条件とプル強度の関係

6. 結 言

以下に本報告のまとめを示す。

- (1)線径10µmの高強度金基合金極細ボンディングワイヤを開発した。
- (2)上記ワイヤを用いて40µmの接続ピッチの高精細ワイヤボンディング技術を開発した。
- (3)これらの技術を用いて600DPI LEDプリントヘッドを試作し、良好な信頼性結果を得た。

図16に従来の接合技術との関係で本開発技術の位置付けを示す。開発した40µmピッチの接合技術を他のデバイスに適用していくことにより、冒頭に述べた実装技術の限界を大きく広げることが期待される。

謝 辞

本報告の内容は、沖電気工業(株)との共同で実施されたものであり、ここに関係各位に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Watanabe, K., Arao, Y., Tokura, K., Shibata, S.: High Density Wire Bonding Technology for 400DPI LED Print Head. Proc. ISHM. 1988, p.811~816
- 2) Ichiyama, Y., Saito, T., Ohno, Y.: A Study on Mechanical Property of the Grain Growth Region in Gold Wire Ball Bonding. Intern. Con. on Microjoining, London, 1988

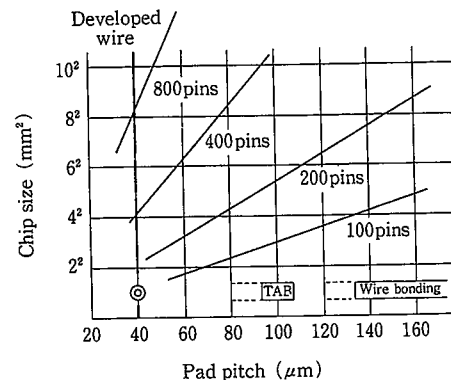


図16 従来の接合技術と本開発技術との関係