

狭ピッチワイヤボンディング技術

Fine Pitch Wire Ball Bonding Technology

巽 宏 平⁽¹⁾
Kohei
TATSUMI

宇 野 智 宏⁽²⁾
Tomohiro UNO

尾 上 浩 三⁽²⁾
Kozo ONOUE

北 村 修⁽³⁾
Osamu
KITAMURA

抄 録

半導体の高機能化，小型化が急速に進む中で，半導体実装の高密度化への要求が年々高まってきている。ワイヤボンディング法は半導体のチップ電極と外部端子とを接続する手法として広く使用され，高密度化への要求にも，開発が進み，現在90 μ m以下のワイヤピッチで接続が実用化されているが，2000年に向けて50 μ mピッチの接続技術の開発が望まれている。本論文では，ワイヤの先端に形成するボールの小径化，キャピラリの先端寸法の小径化，ワイヤの高弾性率化の検討を行い，70 μ m，60 μ mピッチのワイヤボンディングが可能なることを示し，更には，接合信頼性についての考え方を明確にした。

Abstract

In the midst of expeditely developing highly functional and miniaturized semiconductors, the densification of semiconductor IC is getting required with the years. The wire bonding has been widely applied as a method to bond a chip electrode and an external terminal, and also developed to cope with the requirements of the densification of IC. At present, the fine pitch wire bonding with less than a 90 μ m wire pitch is being put to practical use, however, the development of a bonding technology for less than a 50 μ m pitch is expected toward the 2000th year. It is explained in this paper that the wire bondings with a 70 μ m pitch and a 60 μ m would be available from the results of studies on how to make the diameter of the ball formed at the tip of wire smaller, how to make the size of the tip of capillary smaller and how to make the elastic modulus of the wire higher. Further, our point of view on the bonding reliability is made clear.

1. 緒 言

半導体の実装は一般的には，図1に示されるように，半導体チップの電極端子を，リードフレームのインナーリードと呼ばれる端子にワイヤボンディングで接続したのち，リードフレームの外部リード部分を残して，樹脂でパッケージされる。電子機器の小型化，高機能化が進むなかで，半導体パッケージの薄型化，高密度化への要求が年々高まり，ワイヤボンディングの狭ピッチ化も急速に進んできた。チップ電極のピッチが90 μ mに対応できるワイヤボンディング技術が開発され，実用化されている。しかし，デバイス内部の配線の線幅は0.5 μ mから0.35 μ m，0.25 μ mとその微細化が急速に実現されている現在，チップ電極のピッチが80 μ m以下のボンディングが検討されているが，一部では，ワイヤボンディングの限界との認識からTAB(Tape automated bonding)に移行する動きもみられている。TABはポリイミドフィルム上に銅箔で配線パターンを形成し，配線の先端部分に形成し

た，銅のリードを電極パッド上に形成されたバンプに接続して使用するもので，現在60 μ mピッチの接続が可能とされている。

しかしながら，ワイヤボンディングをとりまく環境，すなわちワイヤ，リードフレーム，ワイヤボンダ，キャピラリの開発も以前に

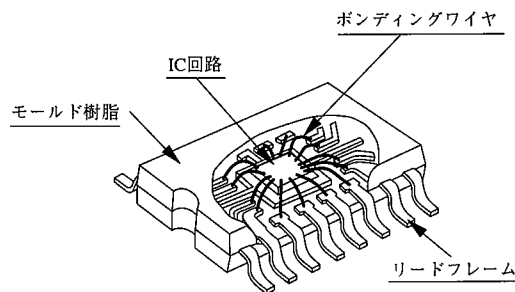


図 1 LSI内部構造

⁽¹⁾ 技術開発本部 先端技術研究所 新材料研究部
主幹研究員 Dr.-Ing.

⁽²⁾ 技術開発本部 先端技術研究所 新材料研究部 主任研究員

⁽³⁾ (株)日鉄マイクロメタル 生産技術部 担当部長

まして、積極的に行われてきており、既存の実装工程を変更することなく、更なるチップの小型化、高密度化に対応できるワイヤボンディング技術の開発が望まれている。米国SIA (Semiconductor Industry Association)の1994年のロードマップによると2001年には50 μmピッチのワイヤボンディングが実現し、そのための高強度なボンディングワイヤが必要であると予測されている。また現在300を越えるような多ピンデバイスには、リードフレームに代って、図2に示すように、樹脂やテープ等の基板の裏面にハンダボールを格子状に配列するBGA (Ball Grid Array)の実装が普及し始めたが¹⁾、チップと基板との接続は、現在ワイヤを使用するものが、圧倒的に多く、チップと基板の接続にも狭ピッチ接続の要求が高まっている。

本論文では、まず狭ピッチワイヤボンディングのための課題について述べ、次に狭ピッチ用に開発したT, Uタイプのボンディングワイヤを使用した70 μm, 60 μmピッチボールボンディングの評価結果²⁾を述べるとともに、50 μmピッチに向けての課題を抽出する。

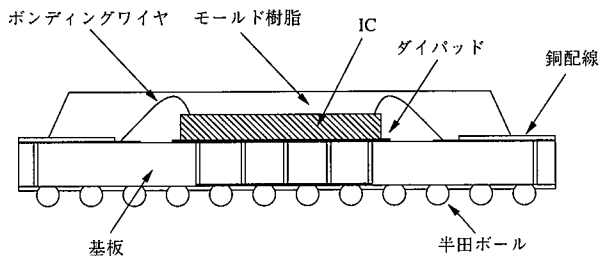


図2 BGA構造の例¹⁾

2. 狭ピッチワイヤボンディングの課題

狭ピッチワイヤボンディングの“第1の課題”は小パッド、狭ピッチの電極に、小径金ボールを隣と接触することなく、十分な強度を保って接合を行うことである。小径ボールを安定して作製するためには、最新のボンディング装置では、ワイヤ径の約1.8倍以上のボール径が必要であることから、ワイヤの細径化も必要となる。“第2の課題”は、ワイヤのロングスパン化においても、ワイヤ同士の接触がないことである。パッドの狭ピッチ化に対して、リードフレームのリードの加工は困難で、現在百数十 μmが限界で、そのため、ワイヤボンディングの間隔はより長スパン化してきている。チップが正方形で、パッドが等間隔で各辺に配置されているとすると、最大ワイヤ長Lは

$$L = \sqrt{2N(Lp - Pp)} / 8$$

となる。ここで、Lp, Ppはそれぞれ、リードピッチ、パッドピッチでNは全パッド数である。パッド数300で、80 μmピッチ、リードピッチが160 μmとすると、最大ワイヤ長Lは4.2mmとなる。ボンディングのワイヤの直線性のみならず、樹脂モールド時にワイヤ流れを抑制することが重要である。

以上の課題を解決するためには、(1)高強度ワイヤの開発、(2)狭ピッチ用細径キャピラリの設計、(3)接合部信頼性を確保するための接合条件の最適化が不可欠である。

3. 高強度ワイヤの開発

ワイヤに要求される特性は(1)高強度化による細径化、(2)小ボール形成能、(3)樹脂封止時の耐ワイヤ流れ性、(4)接合信頼性である。図3にワイヤの引張試験での伸びと荷重の関係の一例を示す。

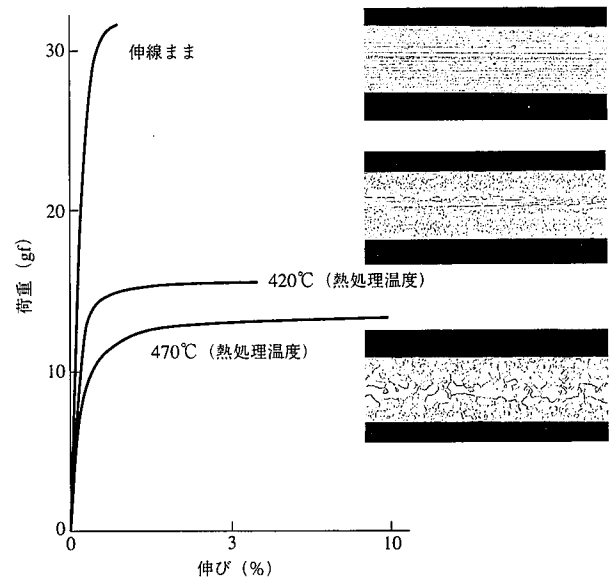


図3 伸線後の熱処理による金線の強度伸び特性、組織の変化 (30 μm径の金線の断面組織を示す)

伸線後の加工組織のままでは、加工歪みのためワイヤボンディング時のワイヤ曲がり大きいので、熱処理によってわずかに再結晶した状態で使用する。図4は今回使用した金ワイヤT, Uタイプの引張試験を行った場合の破断強度とワイヤ線径の関係を示す。ワイヤUの金純度は99%、ワイヤTの金純度は99.99%以上、ワイヤKは従来汎用的に使用されているハードタイプの金ワイヤで純度は99.99%以上である。各ワイヤは伸線加工後熱処理して、破断までの伸びをほぼ4%に調整している。汎用的に使用されているボンディングワイヤ(K)の25 μm径の強度と同等である高強度ワイヤT, Uの線径は、それぞれ22 μm, 20 μmである。各ワイヤのヤング率を図5に示す。ヤング率はワイヤの引張試験の応力-歪み線図の弾性変形領域での傾きより求めた。T, U及びKワイヤのボール部及びその近傍の熱影響部の断面組織を写真1に示す。ワイヤの再結晶温度はK, T, Uの順に高く、ボール端部から再結晶(粒成長)領域の長さがそれぞれ約140 μm, 80 μm, 70 μmとなっている。この再結晶の長さはボールボンド後のループ高さに関係しており、特に狭ピッチボンディングの際には、隣接するワイヤのボンディング時のキャピラリとの接触を避けるためには、再結晶長さが短く、ループ高さが低い

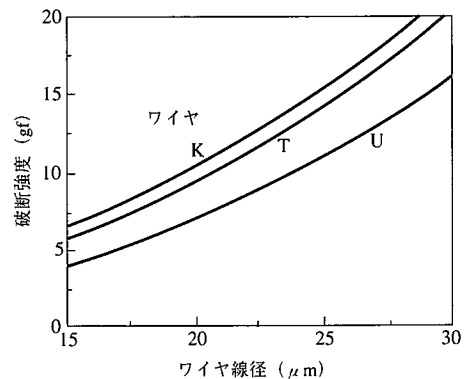


図4 ワイヤ線径と破断強度の関係

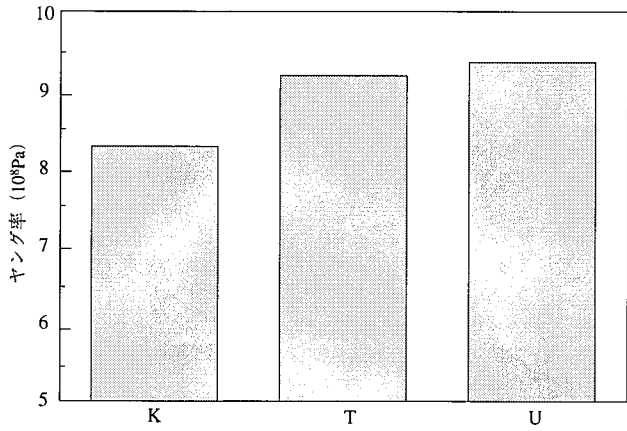


図5 各ワイヤのヤング率

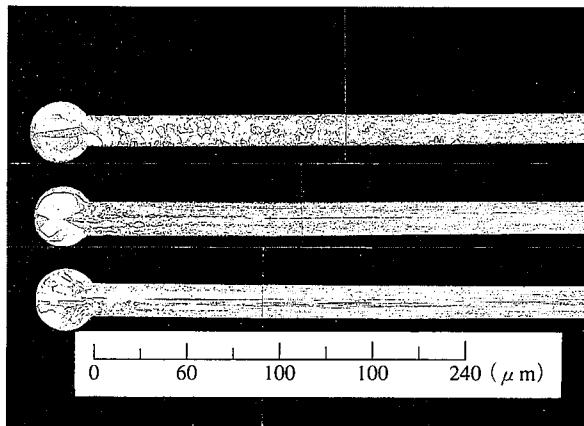


写真1 K, T, Uワイヤのボール部及び熱影響部の断面組織 (ワイヤ径22μm, 初期ボール径約40μm)

ことが望ましい(次章参照)。ボール部の硬度は, K, T, Uの順に高強度タイプになるほど, それぞれ38, 39.5, 40と高くなる傾向にあるが, ワイヤ母線の高強度化に比較して, 一旦熔融されたボールの硬度上昇はわずかである。銅ワイヤなどでは問題点として指摘されていたボンディング時のチップ損傷は特に問題にならないと考えられる(高純度銅ワイヤのボール硬度は約Hv48)。

写真2にT, Uタイプワイヤの先端に作製したボールのSEM像を示す(22μm径Tワイヤの先端に作製した38μm径ボール, 18μm径Uワイヤの先端に作製した33μm径ボールのSEM像を示す)。高強度化のための添加元素がボール形成時に酸化し, 凝固挙動に影響を及ぼすことによって, 引け巣状の欠陥や, 真球性を劣化させる場合があるが, T, Uワイヤとも, ボンダの機種によらずワイヤ線径の1.8倍以上であれば, 安定して, 真球度の高いボールが作製できることが確認できた。

4. 60μmピッチでのボンディングと使用したキャピラリー, ボンディング装置

使用したボンディング装置は新川UTC200BISuper, 並びにK&S1488Turboである。今回使用したキャピラリーはいずれも先端がボトルネックの形状のもので, 図6にその一例の光学顕微鏡写真を表1にキャピラリーの寸法を示す。キャピラリーが隣接するワイヤと接触しないための条件は,

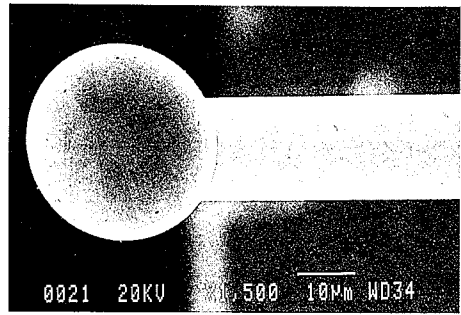
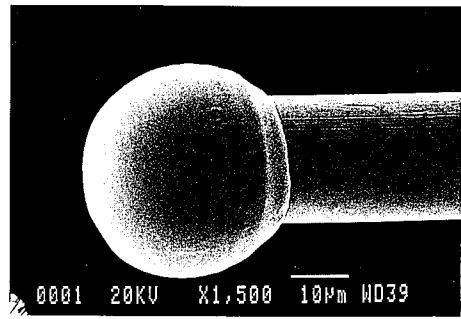


写真2 ワイヤ先端に作製したボールのSEM像 (上: 22μm径Tワイヤ, ボール径37μm/下: 18μm径Uワイヤ, ボール径33μm)

$$T < 2 Pp - 2 h \tan(\theta / 2) - Wd$$

となる。ここで, Ppはパッドピッチ, hはボール直上ループ高さ, θはキャピラリーのボトルネック角, Wdはワイヤ径である。T=83, Pp=60, Wd=22, θ=5とすると, ループ高さ(ボール直上部)は172μm以下に制御する必要がある。ワイヤボンディングの位置精度を考慮すると更に低いことが必要となる(図6参照)。写真3にワ

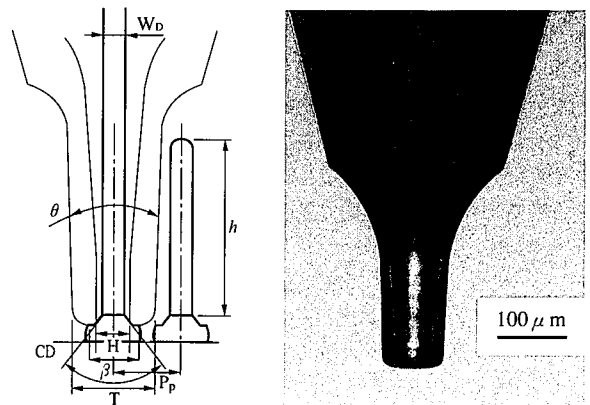


図6 使用したキャピラリーの例(右)とキャピラリー形状と隣接ワイヤとの関係を示す図(左)

表1 使用したキャピラリー寸法(例)

記号	名称	寸法 (μm)
H	ホール径	31
CD	チャンファー径	40
T	チップ径	83
θ	ボトルネック角	5°
β	チャンファー角	90°

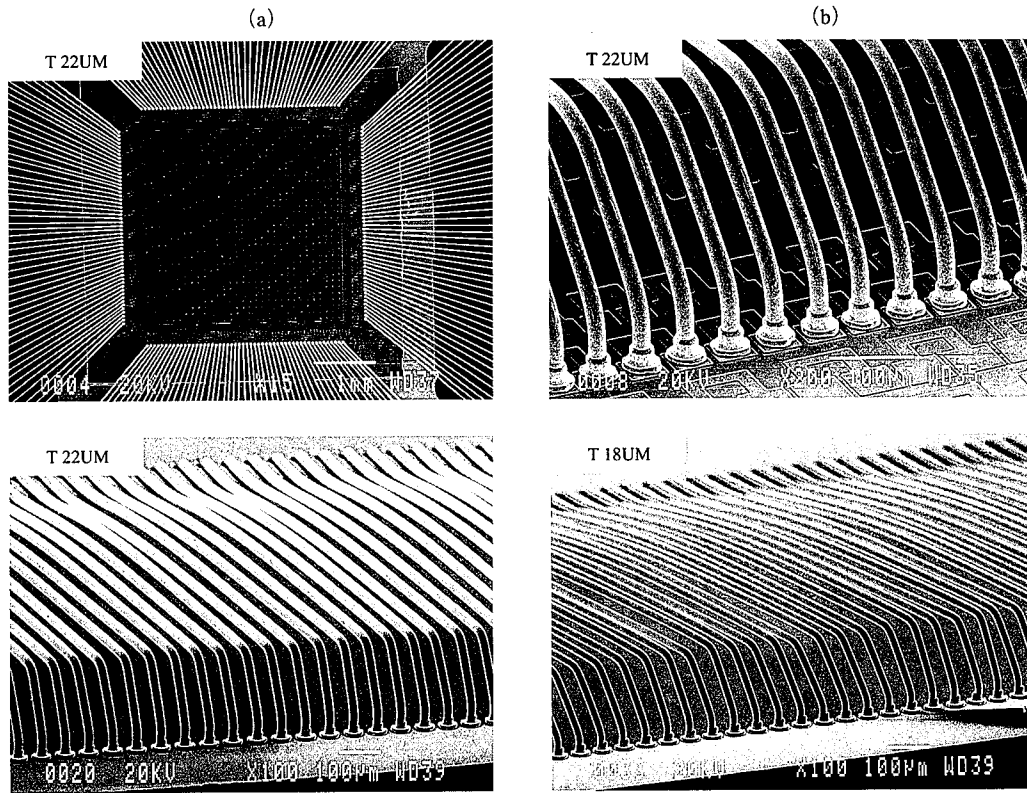


写真 3 60 μ mピッチでのワイヤボンディングのSEM像
 (a)ワイヤT: 22 μ m径, ボンダ: 新川UTC200BISuper (b)ワイヤT: 22 μ m径(上)/ワイヤU: 18 μ m径(下), ボンダ: K&S 1488Turb

ワイヤボンディングしたもののSEM像を示す。60 μ mピッチのボンディングには、ワイヤは、18 μ m径(初期ボール径: 約33 μ m)のものと22 μ m径(初期ボール径: 約38~40 μ m)のものを使用した。キャピラリのT寸法はいずれも85 μ m以下のものを使用し、隣接するボール、ワイヤへの接触がないことを確認した。

5. 接合強度, 信頼性

金ボールとアルミニウム電極の接合部の信頼性については、長期間の使用での不良原因の一つとされ、種々の検討がなされてきた。その結果実際の製造工程では、接合初期の接合強度(ボールシヤ強度)を測定し、下限値を設定するのが一般的である。狭ピッチ接合の場合はボールの小径化により、接合強度の値は低下する。ボンディング条件の荷重, 超音波出力を高めると、シヤ強度は上昇するが、ボールのつぶれ径が大きくなり、隣接するボールとの接触の可能性が高まる。必要な初期接合強度の考え方を明確にし、最適な初期ボール径, 接合条件をより厳密に選定することが重要となる。図7に22 μ m径のワイヤT, Uを使用し、70 μ mピッチでボンディングした場合のボール部のシヤ強度をボンディングのままのものと、加熱(200 $^{\circ}$ C)後のものについて示す。平均つぶれ径はいずれも約55 μ mである。プロットは各条件20か所の測定値を示し、平均値を+印で示すが、いずれの場合も初期強度は20gfから25gf程度である。250時間までの加熱では、接合強度の低下は見られず、写真4に示すように加熱された接合部の断面観察から、いずれも、AuとAlの金属間化合物が均一に成長しており、ボイドの発生は見られないことが分かる。

著者らの今までの研究では^{3,4)}, ボイドの発生は、AuボールとAl

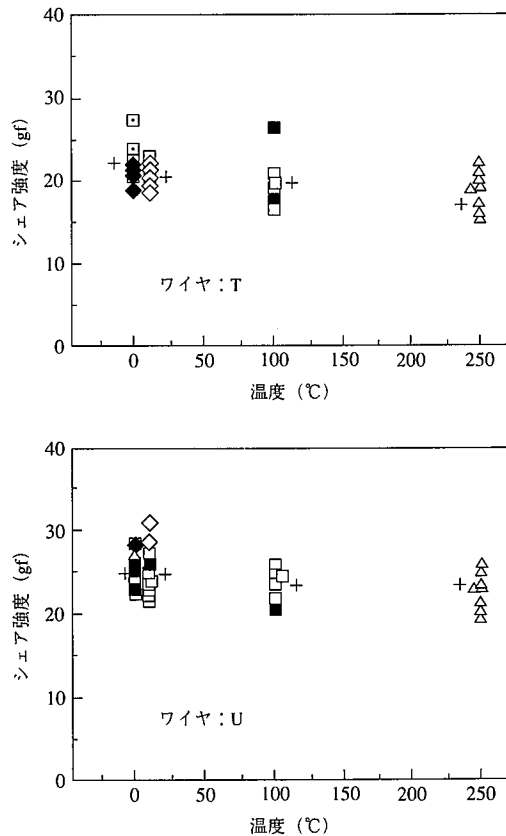


図 7 ボールシヤ強度の加熱による変化
 ワイヤ径22 μ m, ボールつぶれ径(接合面直径)55 μ m

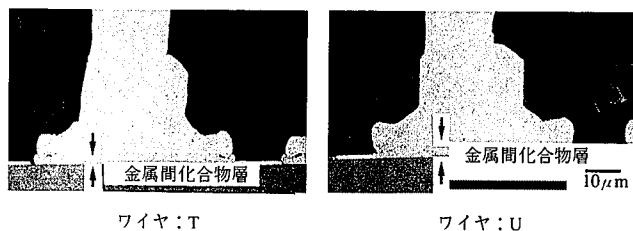


写真4 ワイヤT, Uのボールボンド部の加熱後(200℃, 10時間)の断面(ボールつぶれ径55μm, ワイヤ径22μm)

電極との界面に存在するAl酸化膜の分散状態と関係する。Al電極膜表面に存在する酸化膜は金ワイヤのボールボンディング時に、荷重(force)と超音波振動(power)により、破壊され、金とアルミニウムの金属接合が行われる。ところが、その酸化膜が十分に微細に破壊されないで、接合界面に残存し、初期の接合強度を低下させている場合は、その後の加熱により、金とアルミニウムの拡散が不均一となり、ポイド発生の原因となる。したがって、接合信頼性のための、管理基準の設定は酸化膜の接合界面での分散状態により、判断されるべきである。

すなわち初期の接合強度で、管理する場合は、単位面積当たりの接合強度で評価することが妥当と考えられる。一般的なボールボンディング(初期ボール径75μm, つぶれ径90μm)での初期シア強度とポイド発生との関係を調査した結果³⁾, 初期シア強度が50gfを下回らなければ、接合不良に至るポイド発生は見られないことから、ポイド発生のない単位面積当たりの初期シア強度下限値を算出すると、約8kg/mm²とすることができる(図8参照)。図中にボールつぶれ径が90μm, 初期シア強度38gfの場合(A)とボールつぶれ径50μm, 初期シア強度18gfの場合(B)の加熱後の接合断面を示すが、前者でのポイド発生が顕著であるのに対して、後者では、ポイド発生は全く見られなかった。

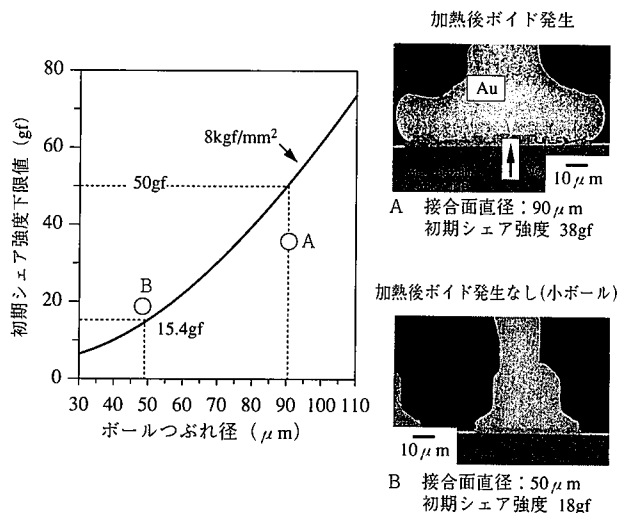


図8 接合信頼性を確保するための初期シア強度下限値

6. モールディング時のワイヤのながれ

ワイヤのモールディング時の流れ率は、ワイヤの径が太くなるほど、ワイヤのヤング率が上昇するほど、ワイヤ長さ(wire span)が短くなるほど流れ率は減少する⁵⁾。

今回は22μmの線径のワイヤを約4.5mmのワイヤ長さでボンディングし、モールディングした結果、K, T, Uの順に流れ率は軽減され、ヤング率の高いワイヤほど、流れ量の少ないことが分かった(図9参照)。22μm径のTワイヤ, 20μm径のUワイヤををそれぞれ70μmピッチ, 60μmピッチでボンディング, モールディングした結果、いずれも、ワイヤの接触、破断は見られなかった。ワイヤ流

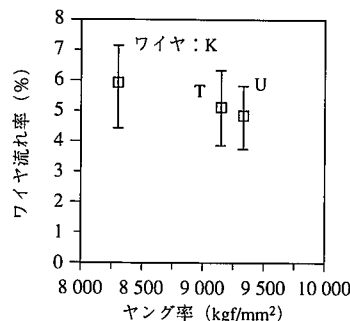


図9 ヤング率とモールド後のワイヤ流れ率との関係
(ワイヤ流れ率: $\Delta W/L$, ΔW : ワイヤ流れ量, L : ワイヤ長)

れのモールディング条件, モールド樹脂, ワイヤ長さの依存性は、実際に使用するリードフレーム, チップについて、更に検討を重ねる必要がある。

7. まとめと今後の課題

ワイヤボンディングの狭ピッチ化の限界を見極めるための評価を行った。高強度化されたワイヤ, 先端径Tの細径化されたキャピラリーを使用して、60μmピッチ, 70μmピッチのワイヤボンディングを行った。ボールの小径化により、接合強度は低下するが、単位面積あたりの接合強度は従来以上の値が得られており、信頼性に問題の無いことを示した。モールド試験により、ワイヤの流れによるワイヤの破断、ワイヤ同士の接触の無いことを確認し、60μmピッチの実装の実用可能性を示した。今後細径キャピラリーの耐久性の確認、最適モールド樹脂、モールド条件の選定と同時にリードフレームのリードの狭ピッチ化、ワイヤスパンの限界を見極めることによって、60μm, 50μmピッチボンディングの適用可能範囲を明確にすること、と同時に50μmピッチボンディングのための、接合技術開発が重要と考えられる。小ボールのつぶれ径を最小限に抑え、初期接合強度を確保するためには、最近実用化が可能となってきた接合時の超音波の高周波化(~120kHz)などの採用が有用と考えられる。

終りに、本狭ピッチワイヤボンディング技術の検討にあたり、ご協力、ご助言をいただいた方々、特にキューリック・アンド・ソーフア社勝保隆氏、古澤昌之氏、元(株)東芝山本和彦氏、熊本大学大野恭秀教授に感謝致します。

参考文献

- 1) Lau, J. H. : In Ball Grid Array Technology. New York, McGraw-Hill, Inc.(1995) 30
- 2) Tatsumi, K., Uno, T., Kitamura, O., Ohno Y., Katsumata, T., Furusawa, M. : Proceedings of the IEEE/CPMT Intl. Electronics Manufacturing Technology Symposium. (1995)295
- 3) Uno, T., Tatsumi, K., Ohno, Y. : Proceedings of the joint ASME/JSME Advances in Electronic Packaging. 2 (1992) 771
- 4) 植穂教子, 水野薫, 宇野智裕, 巽宏平 : 日本金属学会誌. 59, 1095(1995)
- 5) Nguyen, L. T. : Polymer Engineering and Science. 28, 926(1988)