

特集 アルカンを用いたフラックスレス基板間接続技術*

FPC Interconnection Technology Using Alkane

三宅敏広 戸谷 眞 黒崎礼郎 近藤宏司
Toshihiro MIYAKE Makoto TOTANI Hiroo KUROSAKI Koji KONDO

Electronics products are becoming smaller these days. The connection technology with fine pitch electrodes is very important. We already developed the new method for connecting FPC (flexible printed circuit) and PWB (printed wiring board). In the new method the volume expansion energy of alkane boiling was used instead of flux. There was no detectable insulation deterioration between the fine pitch electrodes. This paper presented the simultaneous adhesion and encapsulation technology through alkane soldering. When alkane was applied to PWB, and PEI (poly ether imide) FPC was heated by heating tool on the PWB, the adhesion, encapsulation and soldering simultaneously was completed.

Key words : Thermoplastic, FPC, Fluxless joining, Alkane

1. はじめに

電子製品の小型高密度化に伴い、微細ピッチなFPC (Flexible Printed Circuit) による基板間の接続技術が必要となってきた。基板間接続技術のコンセプトは、Fig.1に示したように電子製品の低コストな高機能化技術と言える。

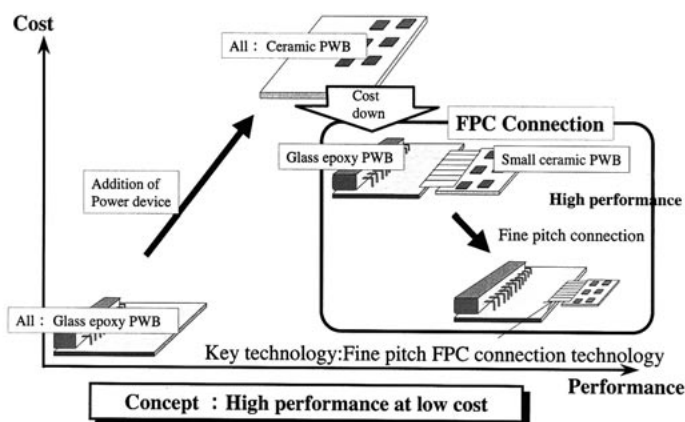


Fig.1 Concept of FPC interconnection

ここで、はんだ付けによって電極接合をする場合、フラックスを用いて被接合材表面の酸化膜を除去する必要がある。しかし、フロンの使用規制から洗浄が十分できず、特に微細ピッチの電極接合において、フラックス残渣は耐湿絶縁特性を低下させるという問題がある。

そこで、これまでに、フラックスを用いないはんだ付け技術として、酸化膜溶解作用のないアルカン類をはんだめっきした接合電極間に介在させ、沸騰による体積膨張エネルギー

ーによってはんだの酸化膜を物理的に破壊してはんだ接合する接合技術を研究し(アルカン接合技術)¹⁾²⁾³⁾、基板間接続に適用してきた。このような基板間接続法においては、FPC基材として熱硬化性ポリイミドを用いることができるが、その場合、電極接合後に防滴剤を塗布して結露による短絡を防止する構造にする必要がある。

そこで、さらにFPC接続部の強度向上と工数削減によるコストダウンを狙い、FPC材料として高耐熱可塑性フィルムPEI(ポリエーテルイミド)等を用い、電極接合と同時にFPC基材を溶融・接着させて封止をする工法も可能である(同時封止技術)。

本稿では、アルカン接合法における電極接合の原理、及び同時封止技術におけるFPCの接着特性について述べる。基板間接続工法の概要についてFig.2に示した。

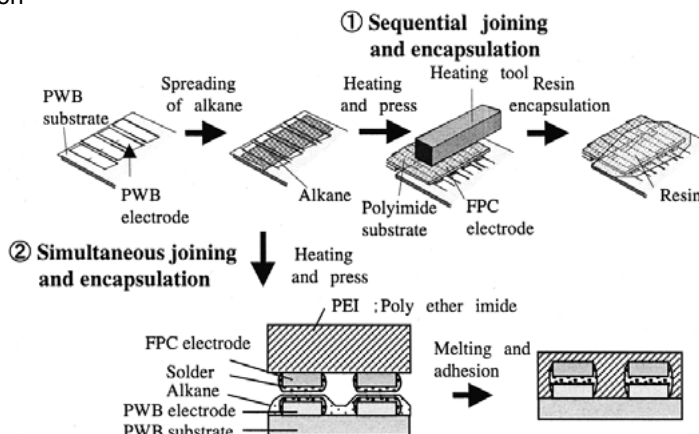


Fig.2 Connection process using alkane

* (社)表面技術協会の了解を得て、協会誌「表面技術 (Vol.52, No.5, 2001)」より一部加筆して転載。

2. アルカン接合法

2.1 酸化膜の物理的な除去法の考え方

はんだ接合時にフラックスを用いてはんだ表面の酸化膜を除去すると、フラックスが金属を溶解してイオン化するために、イオンマイグレーションの原因となり、はんだ付け後に洗浄しないと絶縁性が低下するという問題がある。そこで、絶縁性能を維持するために、はんだを溶かさずに物理的に酸化膜を破壊して双方の電極のはんだを十分混合させる必要がある。一般的に、溶融したはんだに挟まれた酸化膜ははんだの流動によって破壊されると言われている⁴⁾ことから、無フラックスでも酸化膜の破壊は起こると考えられる。

しかし、接合面積率を調べた結果から、はんだ流動による酸化膜破壊は良好な電極接合をさせるには不十分であった。したがって、はんだ自身の流動に加えて、物理的な外力による補助が必要である。そこで、この外力としてはんだ間に介在させた流体の流動エネルギーに着目した。すなわち、流体の動きがはんだ表面の酸化膜破壊を促進する可能性があると考えられる。

2.2 流体を介在させたはんだ付け

使用する流体は、絶縁特性を劣化させない物質でなければならない。化学反応性に乏しい流体として、アルカン（官能基を持たない炭化水素； C_nH_{2n+2} ）を選定し、検討した。各種分子量のアルカンを電極に塗布して電極接合を行い、はんだ流動解析により電極接合状態を比較した。

ここでは、電極を対向させて接合するときに、銅粉を挟み込んだ状態で加熱溶融電極接合した。この電極接合部の断面を研磨し、断面における銅の分布状態を

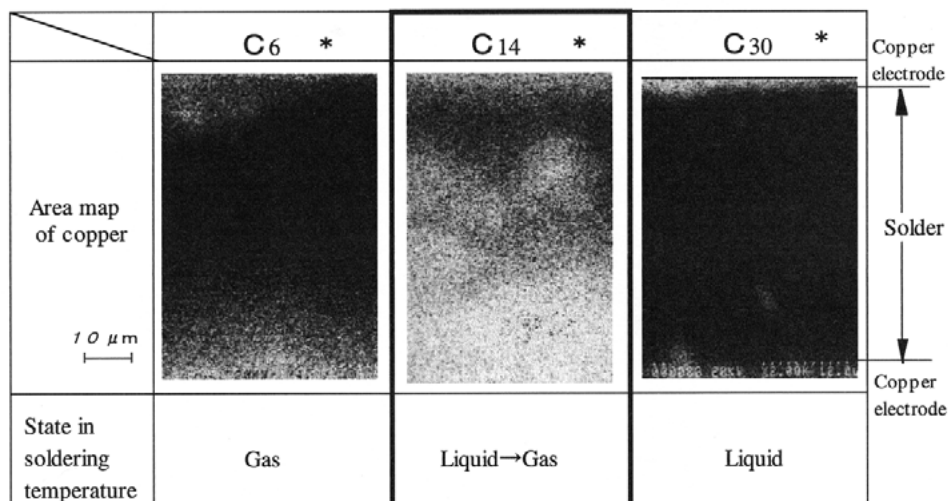
分析した。この分布状態が、電極接合過程におけるはんだの流動状態を表している。はんだの流動が活発でない場合は、はんだと銅粉が接触する機会が少ないため、はんだ中へ溶解する銅の量は少なく、はんだ中への銅の拡散も不十分になり、はんだ中の一部の領域にのみ銅が存在することになると考えられる。

これに対して、はんだの流動が活発な場合は溶解する銅の量が多く、拡散がより進むため、はんだ中の銅の分布はより均一になると考えられる。すなわち、銅が均一に分布しているほどはんだは良く流動して混合していると言える。

結果をFig.3に示す。一部のアルカンを用いた場合に、はんだが十分混合され、酸化膜が破壊されていることが確認できた。電極接合温度に着目すると、まず、低分子量アルカンであるC6（ヘキサン； $n-C_6H_{14}$ ）は電極接合温度では気化しており、流動エネルギーは得られないと考えられる。一方、電極接合温度において液体として存在するC30（トリアコンタン； $n-C_{30}H_{62}$ ）は、流動エネルギーが期待でき、酸化膜を破壊しやすいと考えられるが、予想に反して酸化膜の破壊効果が小さいことがわかった。

これに対して、中間的な分子量のC14（テトラデカン； $n-C_{14}H_{30}$ ）は、電極接合温度において沸騰し、この場合に効果的に酸化膜の破壊が起こっている。この結果より、流体の流動エネルギーだけでは酸化膜を破壊するのに不十分であり、沸騰のような相転移を伴う変化によって、酸化膜は物理的に破壊されるのではないかと推測できる。

次に、流体の沸点と電極接合性の関係について調べ



* Alkane ($C_n = C_n H_{2n+2}$)

Fig.3 WDX analysis of copper powder distribution in joined solder using alkane

た結果を示す。

2.3 流体の沸点と電極接合性との関係

流体の沸点と電極接合性の関係を調べた結果を Fig.4 に示す。流体として、ここではアルカンの他にアルコール、及びシリコンオイルも加えて比較した。横軸に流体の沸点、縦軸に電極接合面積率をとった。はんだの融点よりも低い沸点を持つ流体を用いた場合は、電極接合面積率は低いレベルであるが、はんだの融点を越えると急激に電極接合面積率が增大することがわかる。これは酸化膜が破壊されているために、電極接合面積率が向上していると考えられる。

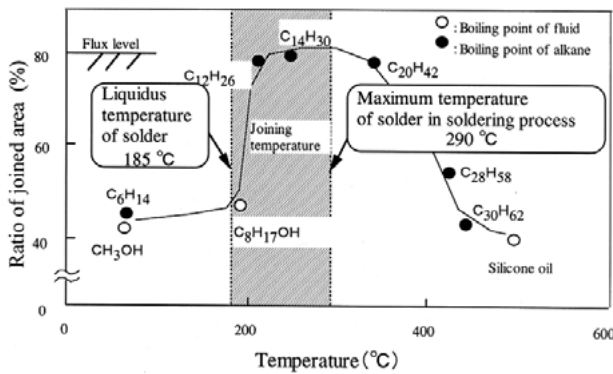


Fig.4 Relationship between ratio of joined area and boiling point of fluid

また、さらに流体の沸点が電極接合温度以上の場合は、電極接合面積率が減少することがわかる。これら

のこより、はんだが溶融している温度範囲で沸騰する流体を使用した場合において、電極接合性が良好であることがわかった。

以上のことから、溶融したはんだに挟まれた状態でアルカンが沸騰し、その沸騰エネルギーによって酸化膜が破壊されていると推定できる。次にこのメカニズムを検証する実験結果を示す。

2.4 電極接合メカニズムの検証

はんだ被覆されたFPC電極にC14を塗布し、Fig.5に示したようにガラス板と重ねた状態でヒーターツールにより加熱加圧（はんだ温度290℃、10秒）してはんだを溶融させ、放冷凝固させた後、はんだの表面から深さ方向への酸素の分布をオージェ電子分光分析法（AES）により分析した。この場合は、はんだとガラス板間に拘束された流体の沸騰エネルギーが溶融はんだに作用すると考えられる。また、はんだ被覆されたFPC電極にC14を塗布し開放状態で加熱し（290℃オープン中で10秒加熱）、同様に分析した。開放状態では、流体の沸騰エネルギーは蒸発するためだけに消費され酸化膜は破壊しないと考えられる。

これらの分析結果を Fig.5 にまとめた。流体を拘束した場合は、酸素が深く侵入しているが、開放状態では、酸素が最表面のみに存在しており、酸化膜が表面に残存していることがわかる。これは、流体を拘束した場合においてははんだ表面の酸化膜が物理的に破壊されて、それが内部に分散している結果であると解釈で

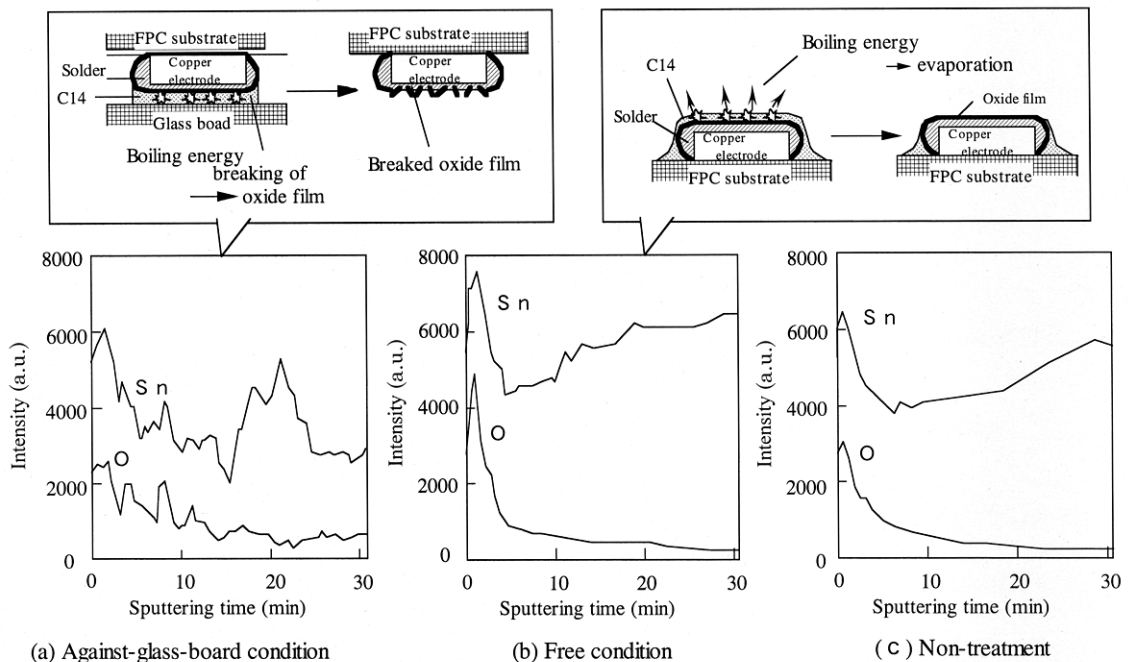


Fig.5 Depth profile of tin and oxygen in solder (AES analysis)

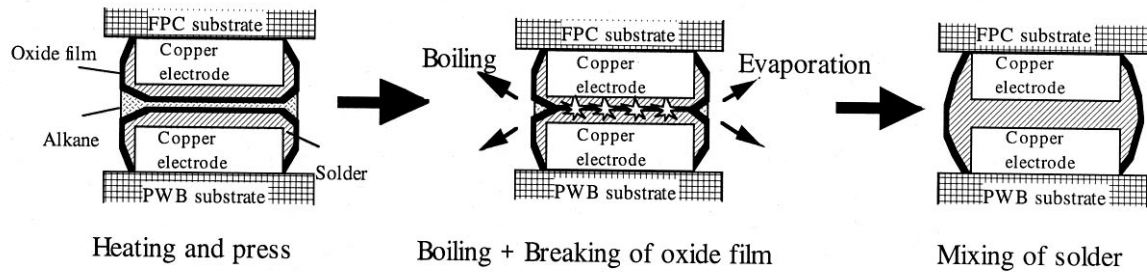


Fig.6 Mechanism of soldering process using alkane

きる。すなわち、沸騰エネルギー（体積膨張による仕事）によって酸化膜の破壊が生じていることを示している。

以上、電極接合メカニズムとしては、はんだ溶融時に流体が沸騰して酸化膜を破壊し、はんだ混合が進行して電極接合が完了すると推定できる。Fig.6に模式図を示す。

3. 熱可塑性基材FPCを用いた接続法

3.1 ガラスエポキシ基材とPEI基材との電極接合および接着検討

ガラスエポキシ基材とPEI基材との間にアルカンを介在させた場合とさせない場合それぞれについて、接着実験をした（アルカンとして、C14を用いた）。アルカンを用いた場合には約260℃までは接着力が現れず、270℃以上になると良好な接着力を示した（引き剥がし強度：1.5～1.8N/mm）。一方、アルカンを介在しない場合は、270℃では接着せず、300℃を越えてはじめて良好な接着力を発現することがわかった（引き剥がし強度：1.5～1.8N/mm）。

次に、それぞれの場合において、電極を設けた基材を用いて接続し、断面構造を観察した、アルカンの介在がある場合、比較的低温（接着界面温度270℃）で接続が可能であり、過剰な樹脂流動を防いで良好な封止を確保しつつ接着することがわかった。

アルカンが介在した場合により低温で接着が完了するという事は、次の二つの点を示唆している。一つ目は、アルカンは界面に残留しないことであり、二つ目は、アルカンは、接着温度において基材の弾性率を下げる効果があるということである。アルカンは、ヒーターツールにより上部より加熱・加圧されるため、ガラスエポキシ基材とPEI基材との界面で高温・高圧で密閉状態となる。その際、アルカンがガラスエポキシ基材とPEI基材界面で気化、または沸騰し、PEI基材中へ浸透する可能性がある。この時、接触界面で

PEI基材の弾性率が低下して接着を促進していると考えられる。次に、この仮説を検証する実験の結果を示した。

3.2 アルカンのPEI基材への浸透量の温度依存性

沸点の異なる各種アルカンにPEI基材を浸漬してアルカンの浸透量を測定した。アルカンとしては、C10（デカン； $n\text{-C}_{10}\text{H}_{22}$ ）、C14、C16（ヘキサデカン； $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$ ）、C22（ドコサン； $n\text{-C}_{22}\text{H}_{46}$ ）を用い、PEI基材浸漬時のアルカンの温度は、室温、100℃、200℃、250℃、および320℃とした。カーボン数に依存せず、どのアルカンにおいても浸漬温度がPEI基材のガラス転移温度（ $T_g=240^\circ\text{C}$ ）を超えると浸透量が增大する傾向が見られた。

次に、各種アルカンを介在させた状態でPEI基材とガラスエポキシ基材とを接着し（界面温度270℃）、PEI基材へのアルカン浸透量と接着強度との関係を調べた結果をFig.7に示した。PEI基材へのアルカンの浸透量が多くなるほど、接着強度も向上する傾向が見られ、アルカンの浸透量と接着強度は相関関係があることがわかった。このことから、アルカンは、PEI内部に浸透し、浸透量が增大するに従って接着強度が向上することがわかった。

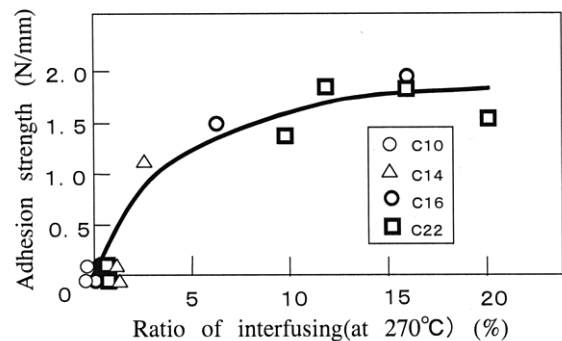


Fig.7 Relationship between ratio of alkane interdiffusing into PEI and adhesion strength

3.3 PEI基材の弾性率に与えるアルカンの効果

PEI基材に各種アルカンを浸透させた場合とさせない場合のPEI基材の弾性率を測定し、アルカンの浸透による弾性率の変化及び、弾性率と接着強度との関係を調べた。結果をFig.8に示す。横軸に270におけるPEIの弾性率、縦軸に接着強度をとった。アルカンの浸漬無しに比べ、浸漬した場合は、弾性率の低下にともなって接着強度も向上する傾向を示している。このことから、PEIのガラス転移温度(240)以上の温度でアルカンがPEI中に浸透し、PEI基材の弾性率が低下して接着強度が発現したと考えられる。

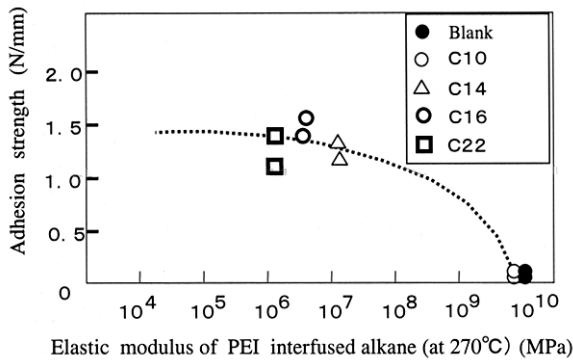


Fig.8 Relationship between elastic modulus of PEI interfused alkane and adhesion strength

3.4 アルカンを介在した接着メカニズムの推定

以上の結果から、ガラスエポキシ基板とPEI基板との低温接着におけるアルカンの作用をFig.9に示すように推定した。まず、ヒーターツールにより高温・高圧空間に密閉されたアルカンがガラスエポキシ基板とPEI基材界面で沸騰する。続いて、PEI基材がガラス転移温度に到達するとともにアルカンがPEI基材中に浸透し始める。すると、アルカンの浸透によりPEI基材の弾性率がガラスエポキシ基材との界面近傍で低下する。そして、ガラスエポキシ基板面へのPEI基材の濡れが進行し、分子間相互作用が働いて接着が完了すると考えられる。

4. 接続品質の評価

各種アルカンを使用して電極を形成したガラスエポキシ基材のPWBとPEIとPEEKの混合物の基材のFPCとを接続し(接続ピッチ: 0.5mm), 高温高湿槽中(60, 95%)で隣あう電極間に30Vの電圧を印加し、絶縁抵抗の経時変化を調べた。その結果、1000時間経過後も絶縁抵抗は10¹⁰を維持し、安定してい

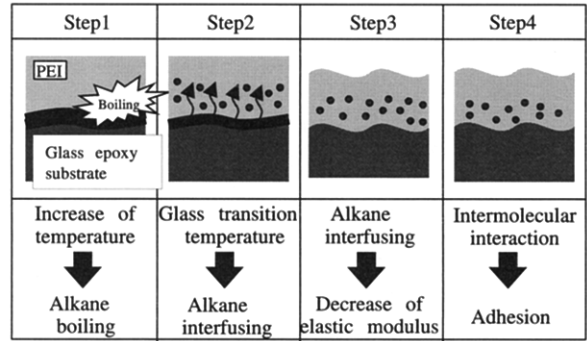


Fig.9 Mechanism of adhesion using alkane

ることがわかった。

次に、同様に接続した試料を熱衝撃槽(-30 85)に入れて熱衝撃を印加し、接続部を含む導体抵抗を測定した。その結果、1250サイクル印加後も導体抵抗の変化は10%以下であり、品質の劣化は見られなかった。以上、アルカンを用いたFPC接続部の絶縁特性及び熱衝撃特性は安定しており、また、PEI中にアルカンが浸透した接着構造になっていても、接着部の品質は実用上問題のないレベルであることを確認した。

5. まとめ

電子製品を低コストで高機能化するために、微細ピッチの基板間接続技術が必要である。その要素技術として、微細ピッチ電極接合部の絶縁信頼性を確保するために、アルカンを用いたフラックスレス接合技術を開発した(アルカン接合法)。酸化膜溶解作用のないアルカン類をはんだめっきした電極間に介在させ、沸騰による沸騰エネルギーによってはんだの酸化膜を物理的に破壊してはんだ接合が可能である。

また、FPC材料として高耐熱可塑性フィルムPEI等を用い、電極接合と同時にFPC基材を溶融・接着させて封止をする工法も可能である(同時封止工法)。PEI基材とガラスエポキシ基材との接着において、アルカンを介在させると、低温で接着が可能となり、樹脂全体が流動しない条件での接着が可能であることがわかった。接着時に介在させたアルカンがガラスエポキシ基材とPEI基材界面で沸騰してPEI基材に浸透し、PEI基材表面の弾性率が下がり、低温で樹脂全体の流動を抑制した条件で接着できる。この結果接合電極がPEIによって封止され、結露による短絡を防止することが可能である。

<参考文献>

- 1) 三宅敏広, 近藤宏司, 小原文雄, 奥村望: “アルカンを用いたフラックスレスはんだ接続法”, 回路実装学会誌, Vol.13, No.2, 103, (1998)
- 2) 三宅敏広, 小島克明, 黒崎礼郎, 近藤宏司: “熱可塑性フィルム基板を用いたフラックスレス基板間接続技術”, Mate 2000 論文集A-6, 21, 103 (2000)
- 3) 三宅敏広, 戸谷眞, 黒崎礼郎, 近藤宏司: “熱可塑性フィルム基板を用いたフラックスレス基板間接続技術”, 第14回エレクトロニクス実装学術講演大会講演論文集16A-08, 137 (2000)
- 4) R.J.Klein Wassink (竹本正, 藤内伸一監訳): “ソルダリング・イン・エレクトロニクス”, 日刊工業新聞社, (1986)



<著者>



三宅 敏広
(みやけ としひろ)

生産技術開発部
プリント基板関連の要素技術開発
に従事



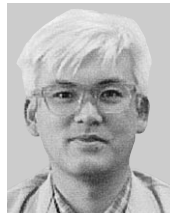
戸谷 眞
(とたに まこと)

生産技術開発部
プリント基板関連の要素技術開発
に従事



黒崎 礼郎
(くろさき ひろお)

三菱樹脂株式会社
技術開発センター開発部
樹脂フィルム製品の開発に従事



近藤 宏司
(こんどう こうじ)

生産技術開発部 工学博士
プリント基板関連の要素技術開発
に従事