

当社で行っている熱物性評価の対象となる材料は、金属・非鉄・樹脂・セラミックスと幅広い。この中で大きな位置を占めるエレクトロニクス分野は、高性能化への開発が盛んに行われており近年、熱的性質に対する要求が高度化している。

このような中、当社が行う熱物性評価のエレクトロニクス分野に関係するいくつかの事例を紹介する。



加古川事業所
技術室
葛西 伸哉

E-1 凝固過程の評価

1-1 液体の特性

自然現象全体を考えたとき、物質の形態には、固相・液相・気相・プラズマの4態が存在すると言われる。このうち、液相は物質を構成する原子・分子が、ある制約の範囲において自由に動き回ることができ、流動性や反応性に富むという性質を持つ。この性質を利用して、鋳造合金の作製、はんだ付け接合などに活用される。

1-2 固相率の評価

凝固は、液相状態から固相の析出が徐々に起こり、固相状態へと変化していく相変態の一種である。固相は通常、結晶という形態をとり、固液界面が平滑か否かという凝固の形態によって結晶の形が異なるが、固相析出による核生成を考えると、球状で成長を続けるものと仮定している。

凝固の初期段階においては、固相の体積は液相に比べて小さく、自由凝固が進行する。しかし凝固の進行にともない、隣り合う固相同士の接触が起こり始め、その結果、固・液界面の面積が減少して自由凝固ができなくなる。

固相率の経時変化は、第1式により表される。

$$X(t) = 1 - \exp\left[-n \cdot \frac{4}{3} \pi (Rt)^3\right] \quad \dots \text{第1式}$$

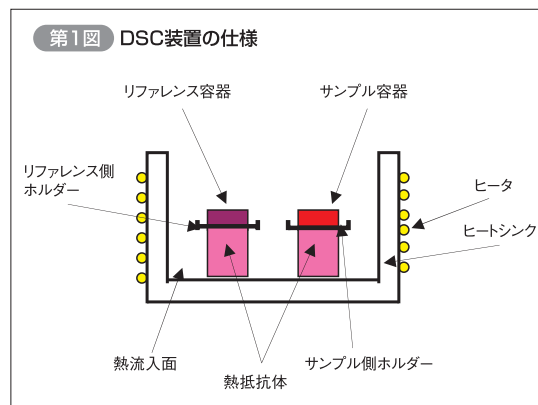
X: 固相の体積(固相率) n: 固相の数
R: 結晶の一次元成長速度 t: 経過時間

エンタルピーを評価すると、凝固時(固液共存域)には、潜熱と比熱の2項が含まれた結果となる。潜熱の放出速度は、体積凝固速度(固相率の増加率)に比例するため、潜熱の増加率から固相率を評価できる*1)。

鉛フリーはんだの開発が積極的に行われているはんだ付け接合過程において、凝固中の固相率評価は、濡れ角を評価する一手段としても重要である。

1-3 測定方法

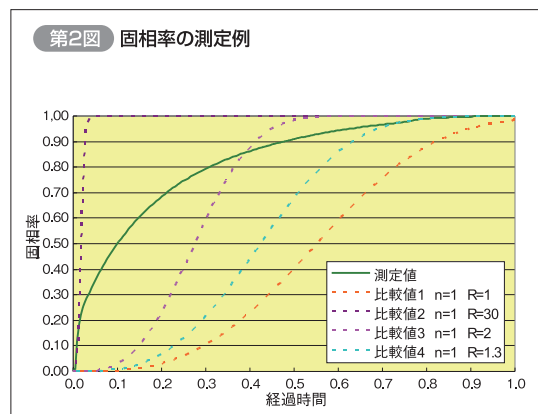
示差走査熱量計(DSC)は、第1図に示すような潜熱を評価する測定手法であるが、凝固過程のエンタルピーを連続的に測定することにより、潜熱を評価することができる。



1-4 測定結果

エンタルピーより潜熱を求め、潜熱の増加率より求めた固相率の測定例を第2図に示す。図には、第1式より計算した固相率の経時変化を、比較値1~4と表記して併せて示した。

測定例と比較値1(n:R=1:1)を比べると、そのプロファ



参考文献

*1)
中江秀雄:結晶成長と凝固 アグネ承風社(2002)
91~92

イルには違いが認められる。

凝固過程においては、凝固時の温度変化により、R（結晶の一次元成長速度）が大きく変化すること、また凝固途中においても核生成が起こることが多いため、nやRが変化しながら凝固が進行する。

比較値2~4は、nとRの比を変化させたものである。測定例と比べると、凝固初期においては比較値2(n:R=1:30)に比較的近く、凝固終期においては比較値4(n:R=1:1.3)に比較的近い。

この結果より、凝固初期段階においては結晶の成長

速度が非常に大きく、自由凝固が支配的となっていることが予想される。そして凝固の進行にともなって、隣り合う固相同士の間隙により固・液界面の面積が減少し、自由凝固が妨げられている状況が予想される。凝固中期においては理論値との差が大きいことから、nやRが常に変化しながら凝固が進行しているものと推定する。

先に述べた、はんだ付けの場合に重要なパラメーターとなる濡れ角は液相中の核生成に関連するパラメーターであることから、今回紹介した固相率と併せて検討していくことが今後の開発により有効になると考える。

E-2 伝熱の評価

2-1 熱について

高温物体と低温物体を接触させると、高温側から低温側へ熱の移動(伝熱)が起こることを我々は経験している。しかし、熱は目に見えない漠然としたものであり、以前は熱素という物質であると考えられていた。現在、熱の本質は物質を構成する分子の、分子どうしの衝突を介して運ばれるエネルギーとされている。

2-2 熱伝導率の評価

伝熱には、伝導・放射・対流の3形態があり実際の伝熱は、これら3形態が複合されて行われている。

伝熱評価において主として評価される熱伝導率は、物質内の粒子の接触による同一物質内の伝熱形態で、物質の種類・状態によって決まる物理量である。

また、伝熱評価においては第2式に示すような、熱伝導率と試料の厚みから求める熱抵抗が用いられることが多い。

$$R = \frac{d}{\kappa} \quad \dots \text{第2式}$$

R: 熱抵抗 d: 試料の厚み κ : 熱伝導率

熱抵抗は電気抵抗と同じように取り扱うことが

できるため、積層板のような熱抵抗は、各部材の熱抵抗の和として評価することができる*2)。

近年、電子機器の小型化・高性能化が加速しているがこれにともなって、機器の発熱源からの発熱が多くなり、不要な熱を機器外に効率的に放熱させるという課題が発生している。

そのため、実機においては発熱源から放熱器までの断熱性を除去するため、高熱伝導率材料を介した構造を採用している。ただし、これらの界面にも熱抵抗は存在し、この界面熱抵抗の大小が大きなキポイントとなる。

2-3 測定方法

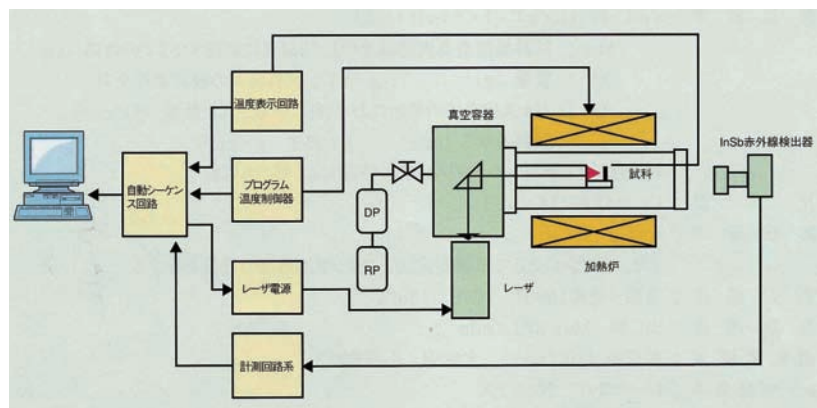
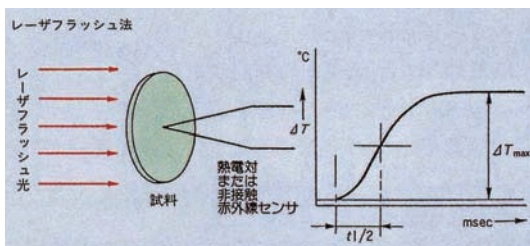
熱伝導率の評価には、定常的評価(時間が経過しても試料各部の温度が、ある一定な状態)・非定常的評価(時間の経過とともに試料各部の温度が変化する状態)がある。レーザーフラッシュ法は、第3図に示すように、試料にレーザーを照射して入熱させその時の試料温度変化を計測する非定常的評価方法であり、2層材の界面熱抵抗の評価に活用することができる。この測定は第4図に示すように、界面熱抵抗の有無による温度上昇時間の違いから、界面熱抵抗を求める方法である。

温度上昇の計測には赤外線検出器を用いるが、定常的評価法の分解能よりも優れているため、薄い界面の評価も可能となる。

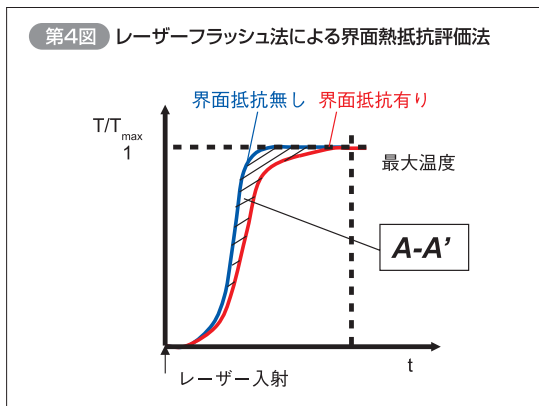
参考文献

*2)
北山直方 図解 伝熱工学の学び方 オーム社 (2007) 86~88

第3図 レーザーフラッシュ装置の仕様



第4図 レーザーフラッシュ法による界面熱抵抗評価法



2-4 測定結果

レーザーフラッシュ法により評価した、同種板間の界面熱抵抗測定例を第5図に示す。この測定例は、板表面の面粗さが熱抵抗に及ぼす影響を調査したものである。また、板間の接触荷重は同じ荷重に設定した。

結果、面粗さが▽▽▽▽・▽▽▽の場合、約 250×10^{-6} (mK/W) という同等の熱抵抗値となった。一方、#220研磨紙によって表面を粗く調整した場合、約 600×10^{-6} (mK/W) と2倍以上の高い熱抵抗となった。板材をそのまま接触させる場合、界面熱抵抗が大きくなるが、その中でも表面粗さが界面熱抵抗の大小を決定する重要な一要因となっていることが示唆された。このような理由もあり、実際は界面に熱伝導性の良いグリースやシートを入れ、熱抵抗を低減させることが行われている。

次に、界面にグリースを挟んだ時の効果を目的として行った測定例を第6図に示す。グリースは熱伝導率の異なる3種類を用いた。

図中の点線はグリースの熱抵抗(計算値)であり、界面熱抵抗の測定値を各マークで示している。

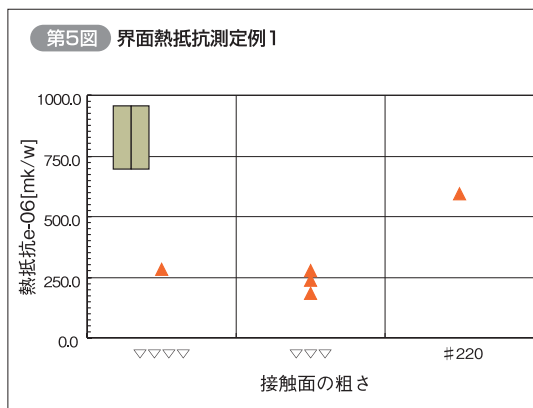
結果、界面熱抵抗の測定値は、グリースの熱抵抗(計算値)にほぼ沿った結果となった。界面熱抵抗値はグリース:0.9(W/(m・K))の場合、約 $15 \sim 30 \times 10^{-6}$ (mK/W) となり、グリース:3.5および6.2(W/(m・K))の界面熱抵抗値は、約 $5 \sim 10 \times 10^{-6}$ (mK/W) となったが、界面にグリースの無い場合の熱抵抗より1/10以下の低値を示しており、グリースによる界面熱抵抗の低減効果が大きいことが示唆された。

今回測定して得られた熱抵抗値が、どの程度の大

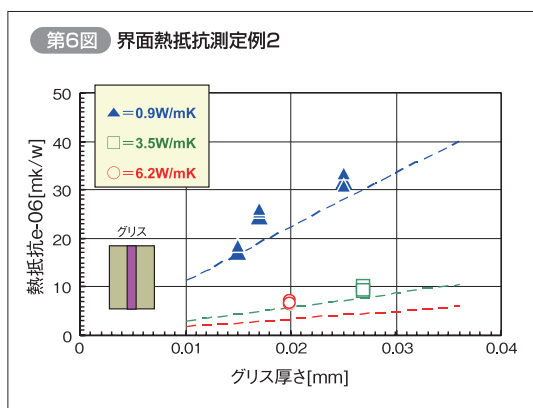
きさであるのかを評価した。アルミニウム1mmの熱抵抗は、約 4×10^{-6} (mK/W) である。アルミニウム1mm板を2枚挟んだとき、約 8×10^{-6} (mK/W) の板の熱抵抗に対して、界面にグリースが無い場合、その界面には約 $250 \sim 600 \times 10^{-6}$ (mK/W) もの熱抵抗が存在することになり、放熱特性を大幅に低下させることがわかる。グリースが界面に存在する場合、約 $5 \sim 30 \times 10^{-6}$ (mK/W) の熱抵抗となり大幅に低下するが、板の熱抵抗と同等以上であることがわかる。また、これら部材の置かれる環境は比較的高温となり、グリースが経時的に熱劣化してグリースの熱抵抗が大きくなることも予想される。さらに、グリースを挟んだときの熱抵抗値が、グリースの計算上の熱抵抗よりも高い傾向を示していることから、グリースと板間にも界面熱抵抗が存在する可能性が考えられる。

今後はさらに高熱伝導性のグリースを使用すること、熱劣化の少ないグリースを使用すること、板との濡れ性の良いグリースを使用することが課題になると考える。

第5図 界面熱抵抗測定例1



第6図 界面熱抵抗測定例2



E-3 膨張の評価

3-1 膨張現象

物質を構成する原子間には、凝集するための引力が働く。一方、原子間には互いに接近しすぎないような斥力(反発力)も存在する。

原子間ポテンシャルエネルギーは、引力ポテン

シャルエネルギー(負)・斥力ポテンシャルエネルギー(正)の和となり、これが釣り合うところで原子間の距離が決定される。物質の熱膨張は、このポテンシャルエネルギーの非調和性が関係する物理現象として知られる。

3-2 熱膨張の評価

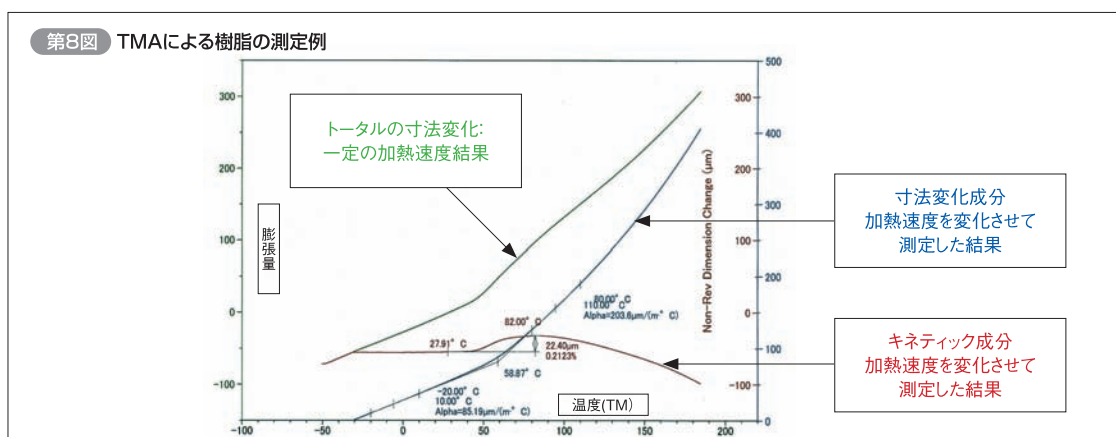
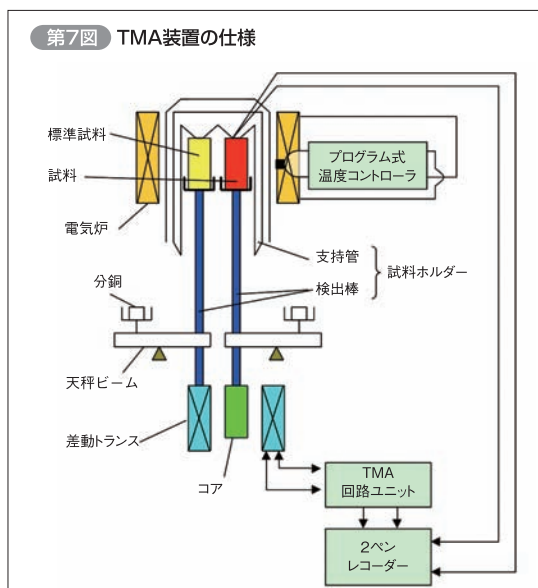
熱膨張は初期長さからの試料長さ変化を評価するものであり、第3式に示すような熱膨張率、熱膨張係数として評価される。

$$\alpha_1 = \frac{\delta L}{L} \quad \alpha_2 = \frac{\delta L}{\delta T \cdot L} \quad \dots \text{第3式}$$

α_1 : 熱膨張率 α_2 : 熱膨張係数
 δL : 試料長さ変化 L: 初期試料長さ
 δT : 温度範囲

3-3 測定方法

固体の熱膨張評価に、熱機械分析(TMA)が用いられる。TMAは第7図に示すような差動トランスを使った評価装置であり、セラミックス・金属・樹脂の熱膨張評価に活用できる。



世の中には多くの知見が存在する。これらは個々でみると「点」としての有効な知見であるが、この「点」どうしが「線」として繋がったとき、新しい知見(技術)が生まれる。「点」から「線」となる組み合わせは無数に存在するため、多くの技術が存在する現在

熱膨張評価において、速度を一定として加熱した場合と速度を変化させながら加熱した場合の2通りで評価を行うと、膨張・ガラス転移成分(寸法変化成分に対応)と、残留歪み成分(キネティック(動力学的)成分に対応)に分けて評価できる*3)。

近年、電子部品には軽量・低熱伝導性などの利点を活用し、樹脂材料が多く使われている。樹脂の熱的性質は熱履歴に依存しやすい。また、他材料と同様に成型過程における履歴によって、物質内に歪みを生じる。

3-4 測定結果

TMAによる市販樹脂材料の測定例を第8図に示す。測定例では、一定速度で加熱したもの、速度を変化させて加熱したものの2通りを行い各結果を重ねて示した。

一定速度で加熱した場合、40℃付近より寸法変化が大きくなる様子が認められる。ガラス転移点を通過する場合、ガラス転移点以上の温度域においては低温域よりも膨張が大きくなり、一定速度で加熱した結果のみであると、試料のガラス転移点が40℃付近に存在するという推定結果となる。

一方、速度を変化させて加熱した場合、40℃付近よりキネティック成分が大きくなったのち、60℃付近より寸法変化成分が大きくなる様子が認められる。キネティック成分の変化量は約0.2%であり、測定した樹脂には0.2%程度の残留歪みが存在していると推定される。その後、60℃付近からの寸法変化より試料のガラス転移点を実際には60℃付近に存在するという推定結果となる。

電子基板に用いられる樹脂の場合、成型過程で行われる厚み方向の加圧によって面方向に歪みが生じる。このような膨張評価を活用することにより、実機の変形解析などにより正確に反映することができると考える。

においても、今後、さらに新しい技術が生まれる可能性がある。

このような意識を持ち、常に可能性を追求していく技術者として精進していきたい。