

X線回折測定による、樹脂モールドされた基板上の素子に働く熱応力の分析

三相電機株式会社 一井秀樹 (14676)、石橋正樹 (14737)、玉野康平 (14778)

1. 緒言

近年、冷暖房機器や燃料電池の装置など多くの機器に使用されているポンプについて、従来の AC ポンプに代わり小型・省エネ化を目的として DC ポンプの採用が増えてきている。このポンプには多くの電子部品を実装した基板が使用されており、このポンプの寿命を決定する要素の1つに基板のはんだ耐久性が挙げられる。

はんだ耐久性評価には加速試験として、ポンプを高温大気と低温大気に交互にさらすヒートショック試験がよく用いられ、はんだクラックの進行状況から製品寿命を推定する方法が一般的である。しかし、実際の運転条件と同様にポンプに熱水を通して ON/OFF 運転する試験を行うと、上記の加速試験で得られる推定寿命の 1/10 以下の運転時間で、特定の部位ではんだクラックが生じ加速試験の結果で推定された寿命と大きく食い違う現象が見られることがある。このことから、ヒートショック試験と実際の運転条件とで温度状態が異なっている可能性があり、ヒートショック試験の妥当性を評価する必要が出てきた。

はんだのクラック発生原因としてははんだ組織の巨大化、電子部品とはんだの熱膨張差や基盤保護のためのモールド樹脂とはんだの熱膨張の差から生じる熱応力などが挙げられ、ヒートショック試験の妥当性を示すためには、ヒートショック試験および実際の運転条件においてこれらの項目を比較しなければならない。本実験では、これらの原因のうち特に熱応力に注目し、それぞれの条件における熱応力を測定するための予備実験を行うことを目的とした。具体的には、まずはんだの基本回折波形を測定するために、単なるはんだを盛った試料を用いて、応力解析に最適な X 線のエネルギーレベルの選定及び回折ピーク角度の測定を行った。次に実装状態に近いサンプルを用いて外装を透過してはんだの回折線が測定できる条件を検討した。

本研究の最終目標は、実際の装置内部におけるはんだ部分の熱応力測定を非破壊で行うことである。またこれにより、ヒートショック試験の妥当性が分かりより精度の高い加速試験条件を確立するのみならず、はんだなどの合金の実使用条件下における応力測定技術の確立や、経験則に従っている場合が多い加速試験の根拠付けが期待される。

2. 試験片及び試験方法

2. 1 試験片

はんだの基本回折波形を測定するための試験片は、図 1 に示すように、素子を実装していない基板の上に直径約 20 mm のはんだを盛ったものを製作し使用した。これは特に応力を加えていない状態のものである。また実装状態に近いサンプルは図 2 のように、実製品のポンプから不必要な部分を取り外したものを使用した。但し基板には図 1 と同様、素子が未実装の基板にはんだのみを盛ったものとした。

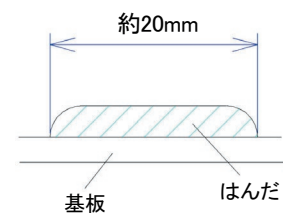


図1 はんだ単体試料

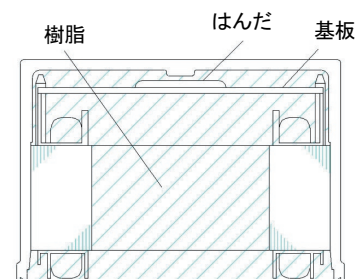


図2 実装状態に近い試料

2. 2 試験装置及び試験方法

試験は以下の図3に示す8軸回折計を使用して行った。

試験方法については以下の手順により行った。

- (1) X線のエネルギーレベルを70keV、30keVの2通りではんだのピーク波形を測定する。
- (2) (1)でエネルギーを選定後、下記の3通りの方法で波形の平滑化を図る。
 - ア) 入射角度(θ)を変えてスキャンし、足し合わせる。
 - イ) θ 、 2θ 及びビームに対するX-Y平面の角度(ϕ)を変えてスキャンし、足し合わせる。
 - ウ) イ)において θ は固定でスキャンし、足し合わせる。
- (3) 実装状態に近いサンプルにビームを当て、回折波を測定する。

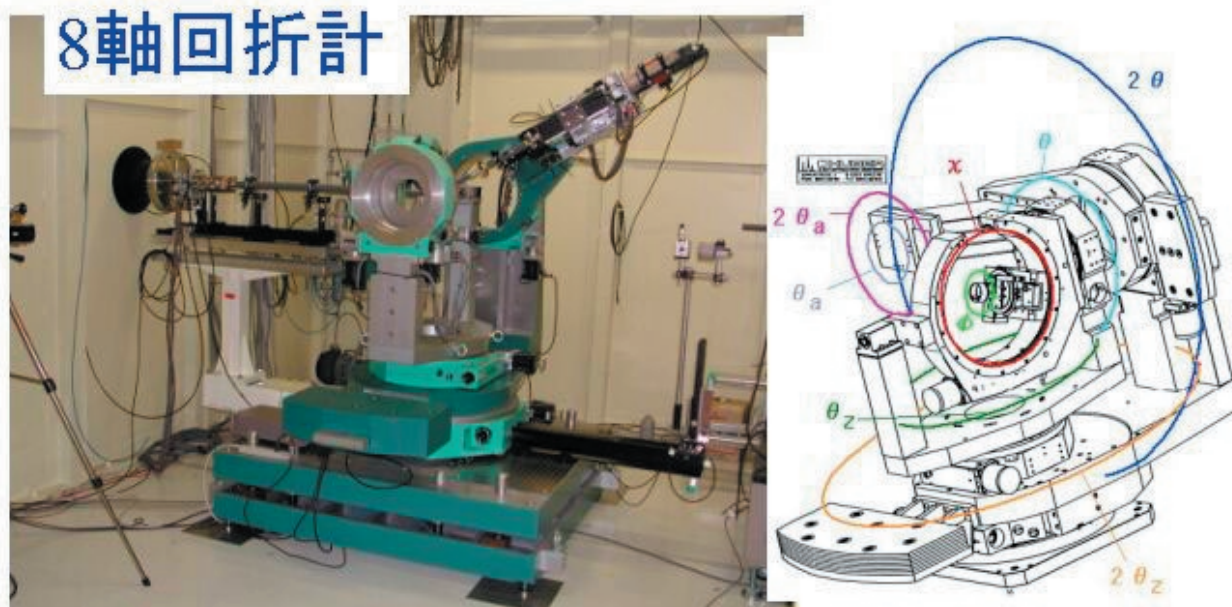


図3 実験装置概略図

3. 試験結果及び考察

3. 1 エネルギーレベル別のピーク波形

図4及び5に2種類のエネルギーレベルで測定した回折波形を示す。この図より、70keVにおいては 2θ が 2° 、 3.5° 及び 6.8° 近傍にピークが見られ、30keVにおいては 8.9° 、 16° 近傍にピークが見られた。しかし角度が低すぎて応力解析の際に不向きであるため、ソーラスリットを使用して再測定したところ、 4.9° 近傍でピークが測定された。よって、以降はこの近傍のピークを追っていくことにした。

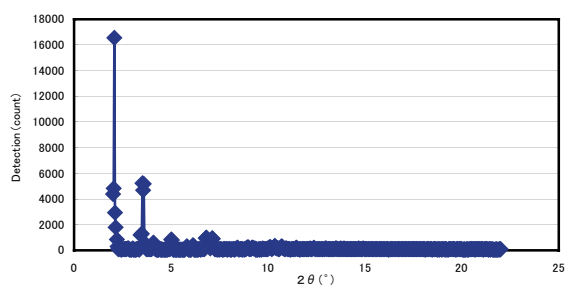


図4 はんだのピーク波形(70keV)

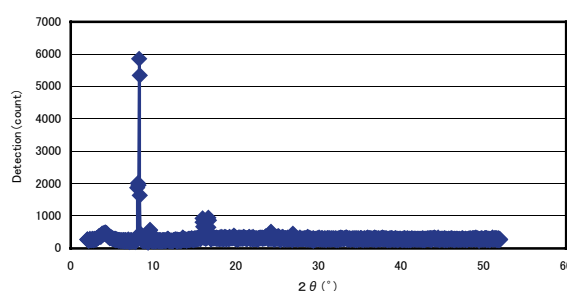


図5 はんだのピーク波形(30keV)

3. 2 波形の平滑化検討

2. 2 (2) で述べた手法で波形を足し合わせた結果を図6の (a) ~ (c) に示す。この結果より、手法ア) の入射角変更だけでは波形の平滑化はされず、手法イ) で若干平滑化され、手法ウ) が最も平滑化されることが分かった。

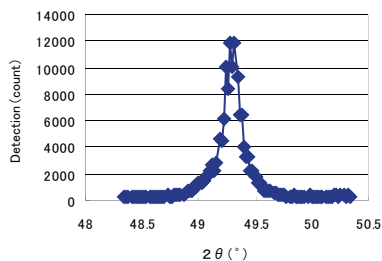


図6(a) 手法ア)による足し合わせ

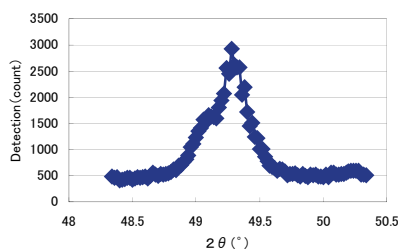


図6(b) 手法イ)による足し合わせ

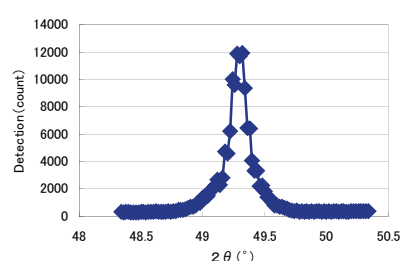


図6(c) 手法ウ)による足し合わせ

3. 3 χ 角別における波形の比較

上記3. 1 及び3. 2の結果を反映し、図3に示す χ 角を変化させて測定したものを以下の図7に示す。このグラフから、 $49^\circ \sim 49.5^\circ$ 付近に大きいピークと、その近傍にこぶのような少し低いピークの2つのピークが見られる。これは、はんだが鉛 (Pb) とスズ (Sn) の合金であるため、X線がそれぞれの元素で異なる回折を生じさせるためであると思われる。また χ 角が変化すると波形のピークにずれが生じている。本来は無応力状態の試験片であるから、波形がずれることはないはずである。この理由については以下のように考えられる。

X線の回折測定に適している結晶粒の大きさが最大 $2\mu\text{m}$ であるのに対し、はんだの結晶粒の大きさは数 $10\mu\text{m}$ である。このため、結晶面の影響を受けやすく、X線が当たった結晶によって回折角度にずれが生じるためであると考えられる。また、はんだはその特性上どうしても Pb と Sn が均一に分布されていないために、X線の当たる位置によって回折ピークの強度が変わってしまう事も考えられる。また、はんだ表面が曲線状になっている為に、上記と同様に回折角に影響するものと思われる。

これらの理由により、応力のかかった状態において回折波を測定した時、特に応力が大きくない場合においては回折角の変化が応力による結晶の変位によるものか、結晶面の影響によるものかの区別が付きにくくなることが考えられる。

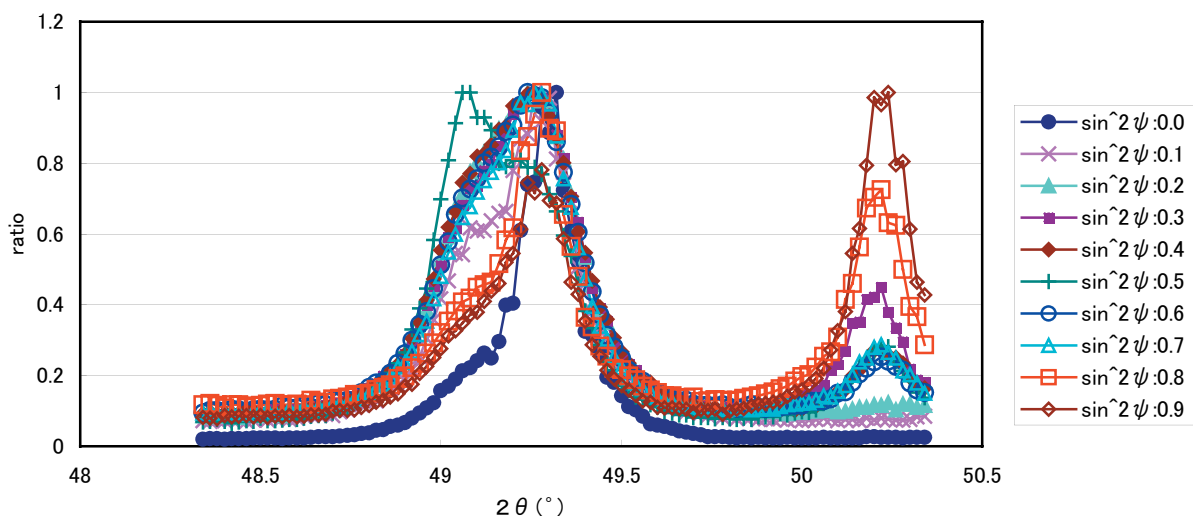


図7 $\chi (= \sin^2 \psi)$ 別波形の比較

3. 4 スピナー使用による再測定

上記3. 3で述べた結晶粒の影響を低減するために、下図8に示すスピナーを用いて測定サンプルをX-Y平面上で回転させた状態で回折角を測定し、 ϕ 方向の結晶配向による影響を低減することを図った。またこの時、回折角度を上げるためにエネルギーレベルを10keVとした。この時の回折波形(図9)より、 2θ が 25° 、 29° 、 78° 近傍にピークが現れているが、波形がなめらかであった 78° 近傍のピークを用いて測定を行った。その結果を図10に示す。この図より、波形にほとんどずれが無くなっている。この結果より、スピナーを用いることで結晶配向の影響を低減できることが分かった。

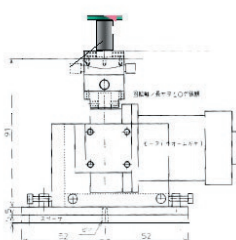
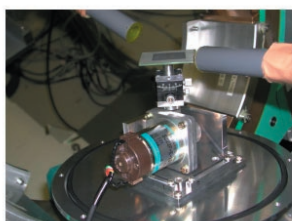


図8 スピナー外観図

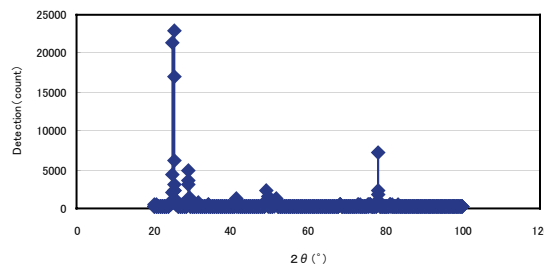


図9 はんだのピーク波形(10keV)

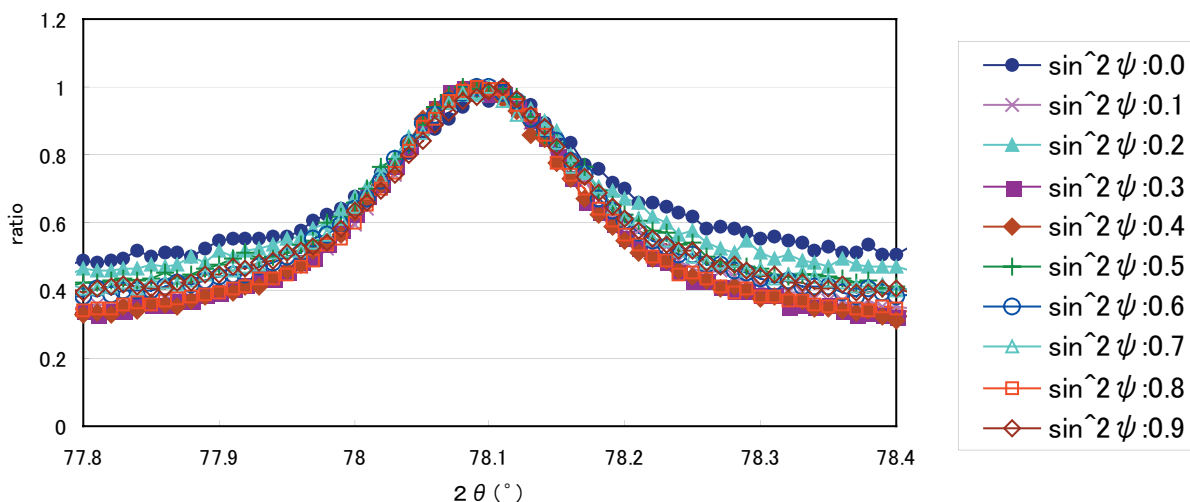


図10 スピナー使用時の χ 別波形の比較

3. 5 実装状態に近いサンプルでの測定

最後に、図2の実装状態に近いサンプルで回折波の測定を試みた。(サンプル質量の関係上スピナーが使用出来ないために、サンプルは固定状態で行った)しかし、最大エネルギーレベルの70keVでの照射においても回折波形は得られなかった。これは、70keVでは回折波を得られる角度が低いために、X線が樹脂内を透過する経路が長くなり、その結果大きく減衰してしまい、測定されなかったものと考えられる。

4. 結言

本実験において、X線回折測定による熱応力の分析を行う予備試験として先に記した試験を行い、以下の結果を得た。

- (1) はんだ単体において、回折波形のピークが結晶粒の影響で変動する。これははんだの結晶粒が大きいために結晶面の影響が大きく回折に影響するためである。このため、応力がかかった状態にしたとき、回折角のずれが応力による粒子の変位によるものか、結晶面の影響か判断することが難しい。
- (2) 上記の影響は、測定面に垂直な軸を中心に回転させた状態で測定することによって、影響を低減させることが出来る。
- (3) 実製品の場合、製品内を貫通させるためにエネルギーレベルを上げると回折角が低くなるため、結果モールド樹脂内をより多く透過することになりX線の減衰が大きくなる。これにより、回折波が検出されない。
- (4) 上記の結果より、X線の回折測定で、実製品の内部はんだに働く熱応力を測定することは困難であると思われる。評価には、中性子線のようなより貫通力の強いビームを用いて測定するか、全く別の手法として印可温度等の条件を細かく変えたサンプルを複数評価し、各サンプルの状態を統計する方法をとる必要がある。