

2015B1899

BL19B2

## 2次元検出器を用いた半導体パッケージ用樹脂の熱硬化過程における 残留応力その場観察 2

### In-situ Residual Stress Analysis in Resins for Semiconductor Packaging during Curing Process with 2D Detector, Part 2

若林 みどり, 和泉 篤士, 加々良 剛志, 長島 大  
Midori Wakabayashi, Atsushi Izumi, Takeshi Kakara, Dai Nagashima

住友ベークライト (株)  
SUMITOMO BAKELITE CO., LTD.

X線回折法を用いた半導体パッケージ用樹脂/銅箔界面残留応力のその場観察において、樹脂の熱硬化反応過程におけるより詳細な応力変化挙動を明らかとするため、2次元検出器 PILATUS を用いた熱時残留応力その場観察を検討した。 $\sin^2\psi$ 法を適用しビームサイズを最適化した残留応力評価により従来の測定時間を 1/4 に短縮化することに成功した。また、高信頼性樹脂と低信頼性樹脂の間で熱時応力変化挙動が異なることを明らかにした。

**キーワード:** 半導体パッケージ、長期信頼性、熱硬化過程、残留応力測定、2次元検出器

#### 背景と研究目的:

近年の半導体高性能化および長期信頼性の観点から、半導体パッケージ用樹脂には高度な耐熱性、電気絶縁性、熱伝導性、耐湿性が求められている。半導体パッケージ基板は、熱硬化性樹脂と無機フィラーを主成分とする樹脂と金属(配線およびリードフレーム)で構成される複合部材である。それら異種材料間の弾性率と線膨張率(CTE)が異なるため、半導体パッケージ製造工程における熱プレスおよび熱硬化、半田リフローなどの複数の加熱冷却過程を経ることにより樹脂と金属界面に発生する熱応力が残留応力として蓄積し、半導体パッケージの歪みや反りの要因となる。それらは、金属界面の密着性に影響を与え、最終的には剥離という半導体パッケージにおける致命的な不良につながる。そこで半導体パッケージ製造の各工程において発生する熱応力をその場観察し、残留応力発生メカニズムを把握することができれば、プロセス改善による金属界面の密着性向上や信頼性評価時間の短縮につながることを期待される。我々はこれまでに 0 次元検出器であるシンチレーションカウンターを用いた  $\sin^2\psi$ 法<sup>[1-3]</sup>による半導体パッケージ用樹脂/銅界面の残留応力の評価手法を確立し、更に試料加熱ステージを併用することで熱プロセス中における応力変化のその場観察にも成功した<sup>[4-7]</sup>。

一方で、樹脂の熱硬化過程におけるリアルタイムな応力変化を検出するためには、測定時間を数分オーダーにまで短縮する必要があるため、1 測定当たり約 40 分を要する測定時間が課題となった。そこで測定時間の短縮化を目的として課題番号 2015B1622 にて 2 次元検出器 PILATUS 300K を用いた応力解析を試みた<sup>[8]</sup>。しかし、回折強度を十分に得るために長い露光時間を要したため測定時間の短縮化は達成できなかった。そこで本課題ではビームサイズの最適化により露光時間を短縮し、測定時間の短縮化を検討した。

#### 実験:

半導体パッケージにおける樹脂/銅界面のモデル試料として、銅箔(厚さ 12  $\mu\text{m}$ )上に半導体パッケージ用樹脂であるシリカフィラー含有熱硬化性樹脂を成形・後硬化し、直径 40 mm、厚さ 1.5 mm の円盤状の測定試料を得た。X線回折測定は BL19B2 ビームラインの HUBER 社製多軸回折計を用いて行い、入射 X線エネルギーは 8.00 keV とし、回折 X線は PILATUS 300K により計測した。課題番号 2015B1622 ではスリット形状(入射 X線ビームサイズ)を縦 0.2 mm  $\times$  幅 1 mm としたが、本課題では短時間露光で回折ピーク形状を解析可能な回折強度を得るために、縦 1 mm  $\times$  幅 1 mm に変更した。測定に用いた結晶面は Cu(331)面であり、8.00 keV における無歪銅の(331)面の回折角

を  $138.4^\circ$  とした<sup>[9]</sup>。得られた 2 次元回折像は  $\sin^2\psi$  法の側傾法により解析を行った。 $\sin^2\psi$  法におけるオフセット角度  $\psi$  は、 $0.0, 13.6, 24.1, 31.8, 38.6, 41.8, 45.0^\circ$  とした。ここで、 $\psi$  角は試料を水平設置した際の試料面法線と回折面法線のなす角と定義する<sup>[1]</sup>。残留応力計算に用いる銅の弾性率とポアソン比は、各々  $65.0 \text{ GPa}$ 、 $0.343$  とした<sup>[10]</sup>。また、試料下流側において検出面法線と入射光軸が平行となる位置を検出器アーム角  $tth = 0^\circ$  と定義し、PILATUS 300K の各ピクセル位置(a, b)における  $2\theta$  を  $tth = 0^\circ$  で観測されるダイレクトビーム座標( $a_0, b_0$ )、( $a_0, b_0$ )におけるカメラ距離(CL)、および  $tth$  の関数として算出した。カメラ距離(CL)は、 $tth = 0^\circ$  および  $5^\circ$  で観測されるダイレクトビームの検出面上におけるピークトップ座標の移動量(dx)より、 $CL = dx/\tan(5^\circ)$  より算出した。なお、 $tth$  の走査面は入射光軸と  $\psi = 0^\circ$  における試料面法線を含む面である。さらに、アントンパール社製試料加熱ステージ DHS1100 を用いて、樹脂の熱硬化過程を想定し熱時の応力評価を実施した。

### 結果および考察：

検出面法線と入射光軸とのなす角が  $8.00 \text{ keV}$  における無歪銅の(331)面の回折角と一致するように、検出器アーム角  $tth$  を  $138.4^\circ$  に設定した(図 1)。 $\psi = 0.0^\circ$  において PILATUS 300K により得た測定試料の Cu(331)面の 2 次元回折ピークを図 2 に示す。さらに、図 2 中に示す円周方向の角度を  $\gamma$  と定義し<sup>[11]</sup>、 $\gamma = 267.5\text{--}272.5^\circ$  において回折強度をセクター平均し 1 次元化した結果を図 2 に合わせて示す。また、1 次元化回折プロフィールのピーク強度および半価幅に関して、入射 X 線ビームサイズを縦  $0.2 \text{ mm} \times$  幅  $1 \text{ mm}$ 、露光時間を  $300 \text{ s}$  とした際と同等の結果が、入射 X 線ビームサイズを縦  $1 \text{ mm} \times$  幅  $1 \text{ mm}$ 、露光時間を  $60 \text{ s}$  とした際においても得られた。また、 $\psi = 45.0^\circ$  においても同様の結果が得られた。これより露光時間を  $1/5$  に短縮した場合においてもビームサイズの拡大により解析可能な回折ピークが得られ、また測定精度も劣らないことが確認できたため、以下入射 X 線ビームサイズを縦  $1 \text{ mm} \times$  幅  $1 \text{ mm}$ 、露光時間を  $60 \text{ s}$  で測定を行った。これにより課題番号 2015B1622 では 40 分程度の測定時間を要していたのに対して本課題では 10 分以下にまで短縮化することに成功した。

次に、熱サイクル信頼性が異なる 2 種の半導体パッケージ用樹脂と銅箔界面残留応力の熱時のその場観察結果を行った。残留応力は、図 2 中に示す円周方向の角度  $\gamma = 267.5\text{--}272.5^\circ$  において回折強度をセクター平均し動径方向に 1 次元化することで回折ピークの 1 次元プロフィールを求め、文献記載の手法に従い<sup>[11]</sup>ピアソン VII 関数フィッティングにより Cu(331)面の回折ピークトップ  $2\theta^*$  を算出し、複数の  $\psi$  における  $2\theta^*$  の変化から  $\sin^2\psi$  法により算出した。代表的な  $2\theta\text{--}\sin^2\psi$  線図として、高信頼性樹脂の熱硬化処理前における室温の結果を図 3 に示す。半導体パッケージ用樹脂の熱硬化過程における応力変化を図 4 に示す。低信頼性樹脂は加熱測定中残留応力変化が小さく常に引張応力を示したのに対して、高信頼性樹脂は室温-加熱間の残留応力変化が大きく、圧縮応力と引張応力の間を変化した。当初、低信頼性樹脂は残留応力の絶対値や変化量が大きいことを予測した。しかし、得られた結果から、長期信頼性と相関するパラメータとして圧縮方向にはたらく残留応力が考えられた。これらより長期信頼性樹脂開発にむけて、圧縮方向または引張応力といった応力の方向を制御した樹脂設計が必要である可能性が示唆された。

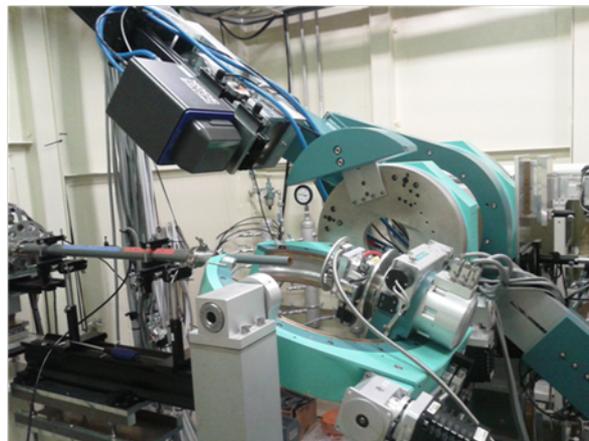


図 1 残留応力測定セットアップ

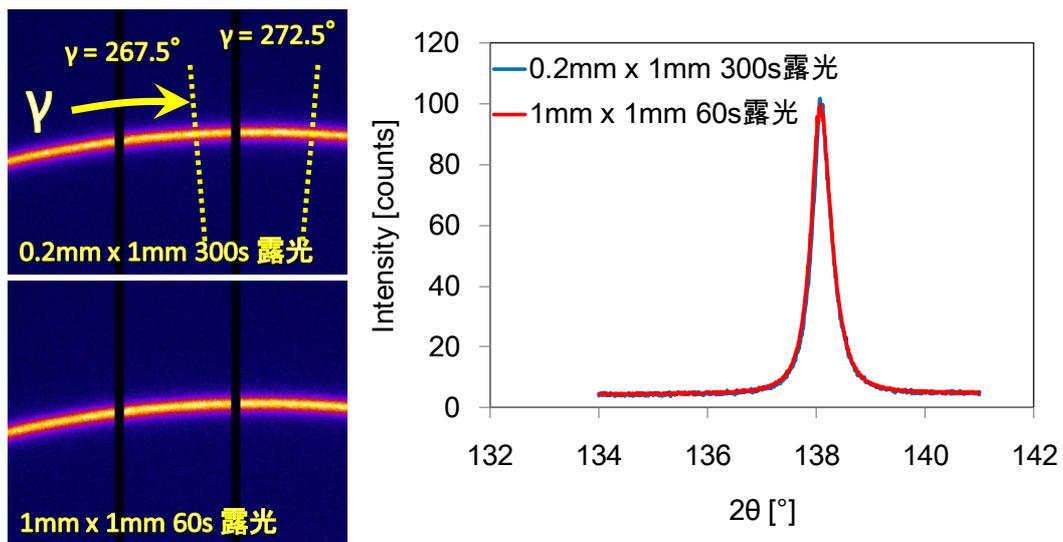


図2 各スリットサイズにおける Cu(331)面の回折ピーク(左)およびその1次元プロフィール(右)

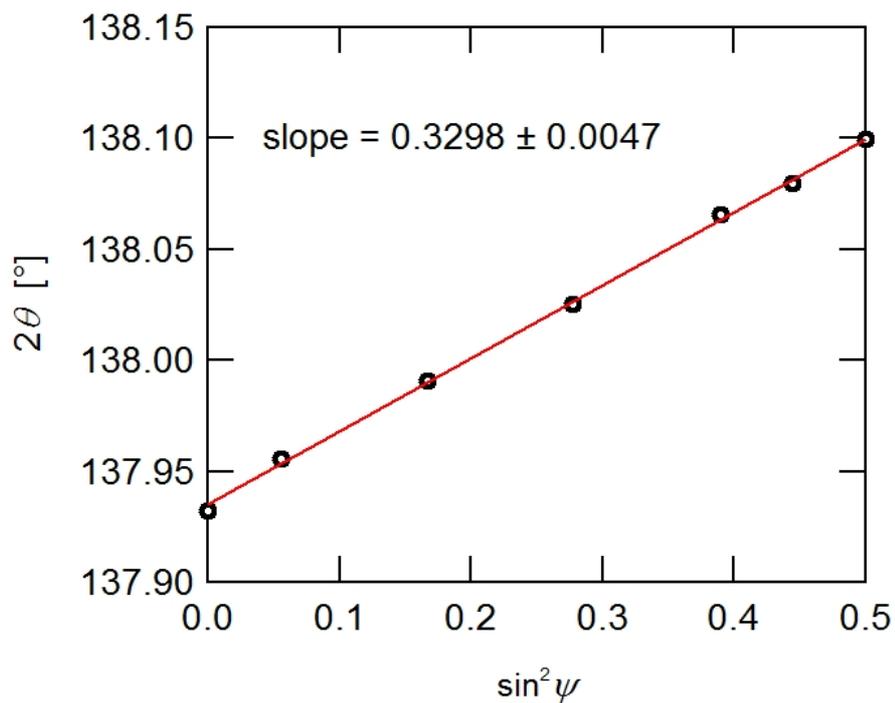


図3 高信頼性樹脂の熱硬化処理前における室温での  $2\theta$ - $\sin^2\psi$  線図

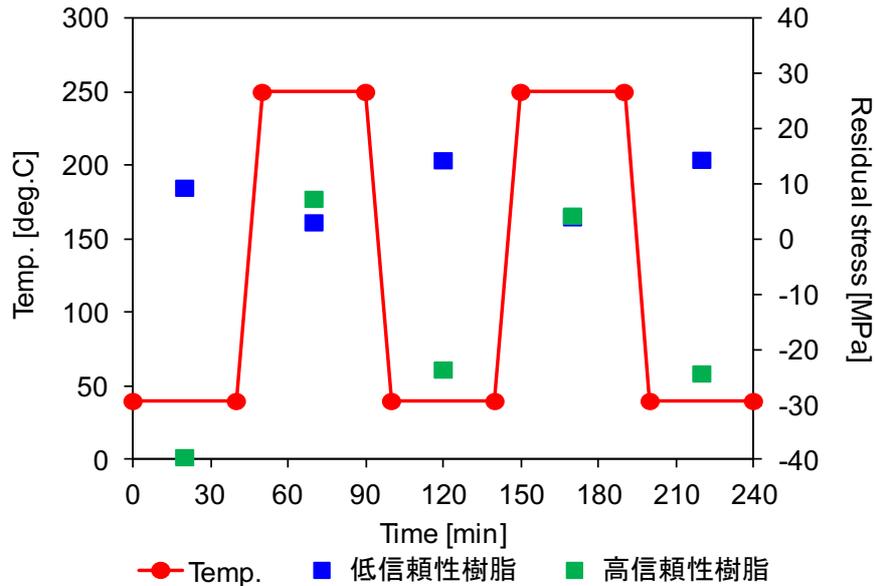


図4 半導体パッケージ用樹脂モデル試料の熱時その場観察結果

#### 今後の課題：

本課題により確立した残留応力評価手法は、複数の回折環を同時に観測することが可能であるため、樹脂/銅界面と樹脂/銀界面等の複数の異なる界面における残留応力の同時測定への展開を予定している(課題番号 2016A1535)。これにより、今回着目した樹脂/銅界面のみならず、銀ペーストやメッキ加工部等、半導体パッケージ内部における異種材料間の残留応力を同時評価することで、さらに多面的な長期信頼性樹脂開発へのアプローチに繋がると考えられる。

また、2次元検出器を用いた応力解析手法である2D法<sup>[11]</sup>を適用することによっても測定時間は短縮可能と推定される。

#### 参考文献：

- [1] 田中啓介 他, "放射光による応力とひずみの評価", 養賢堂, 東京 (2009).
- [2] K.Nakamae et al., *J.Appl.Polym.Sci.*, **40**, 2231 (1990).
- [3] T.Nishino et al., *J.Appl.Polym.Sci.*, **45**, 1239 (1992).
- [4] 若林みどり 他, SPring-8/SACLA 利用研究成果集, **3**(2), 589 (2015).
- [5] 若林みどり 他, SPring-8/SACLA 利用研究成果集, **4**(2), 275 (2016).
- [6] 若林みどり 他, SPring-8/SACLA 利用研究成果集, **4**(2), 294 (2016).
- [7] 若林みどり 他, SPring-8 利用課題実験報告書, 2015A1729.
- [8] 若林みどり 他, SPring-8 利用課題実験報告書, 2015B1622.
- [9] PDF card number: 01-070-3039.
- [10] 小出昭一郎, "物理学", 真喜屋実孜, 裳華房, 東京 (2003) p89.
- [11] B. B. He, "Two-Dimensional X-Ray Diffraction," John Wiley & Sons, Inc., New Jersey (2009).

©JASRI

(Received: March 9, 2016; Early edition: November 25, 2016;  
Accepted: December 12, 2016; Published: January 31, 2017)