

---

# ボンディングパッド下におけるクラックと応力の同時評価技術

## Simultaneous Evaluation of Stress and Cracking under the Bonding Pad

---

三木 芳彦\*  
Yoshihiko MIKI

渡辺 博文\*  
Hirobumi WATANABE

---

### 要 旨

---

半導体チップのテスト工程やボンディング工程において、アセンブリ応力により層間絶縁膜にクラックが生じ深刻な問題になることがある。本研究では、クラックの発生原因となる応力を解析するため、ボンディングパッド下に応力とクラックを同時評価するコンボセンサを作製し、ボンディング工程におけるクラック発生のタイミングとその応力変化を明らかにした。また、2次元応力分布と接合表面の観察より、応力集中はUS(Ultrasonic)接合の初期段階に形成される合金の塊によって生じることがわかった。

### ABSTRACT

---

Crack defect in the interlayers of semiconductor chips due to assembly stress can be a serious problem. To analyze the crack-generating stress, we fabricated a combo sensor that enables simultaneous evaluation of stress and cracking under the bonding pad. We performed evaluation of the timing of crack generation in the bonding process and the stress that gives rise to these cracks, and the results clearly indicated that the cracks tend to occur in the interlayer during the period of US power increase. Measurements of the 2D stress distribution and microstructural observations found that the stress concentrations are generated by alloy aggregates that form during the initial stage of ultrasonic bonding.

---

\* グループ技術開発本部 Eデバイス開発室

Electronic Device Development Department , Corporate Technology Development Group

## 1. 背景と目的

近年、半導体製品をより小型化するため、入出力用ボンディングパッド下に配線やアクティブ素子を配置するCUP(Circuit-Under-Pad)が利用されるようになった。しかし、テスト工程やボンディング工程においてアセンブリ応力が過度に加わった場合、メタル層間の絶縁膜にクラックが生じるといった問題を抱えている。これまでにアセンブリ応力の評価手法<sup>1)</sup>やクラックを防止する構造<sup>2)</sup>などの報告があるが、クラックの発生原因を明らかにする有効な評価手法の報告例はなかった。本研究では、ボンディングパッド下クラックの発生と応力変化を *in situ* で同時評価する技術を新たに開発し、ボンディング工程におけるクラックの発生原因について解析を行ったので報告する。

## 2. 評価技術

### 2-1 コンボセンサの構造と検出原理

Fig. 1はクラックの発生と応力変化を同時評価するため開発したコンボセンサの構造模式図である。評価用ボンディングパッドの直下にクラックセンサと応力センサを持つ構造とした。本構造は2つのメタル配線層を持ち、1層目にクラック検出用の内部メタルを配置し、2層目は評価およびセンサ駆動検出用のボンディングパッドとして利用する。メタル層間の絶縁膜厚さは800nm( $\text{SiO}_2$ )ある。クラックの発生をメタル層間の電氣的ショートの有無で検知する。

Fig. 2は応力センサの上面図である。応力センサとしてSi表面に形成した拡散抵抗を用い、応力変化をピエゾ抵抗変化として4端子法により検知する。図は応力センサを3つアレイ状に配置した例である。それぞれの応力センサは高濃度の拡散抵抗を用い評価用ボンディングパッドの外側でコンタクトを取るように配線した。このようにすることで、センサ形状に起因する応力集中の発生を防ぐことができる。

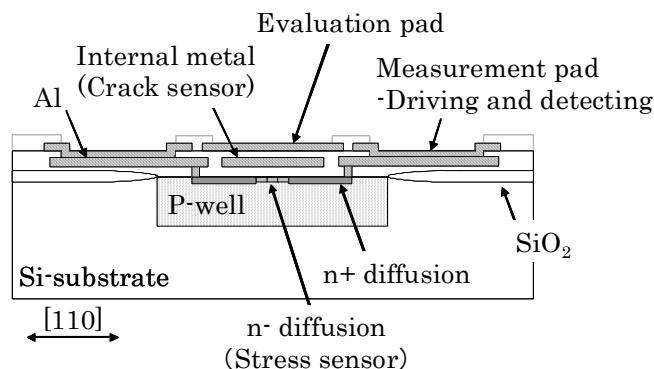


Fig. 1 Schematic of the combo sensor.

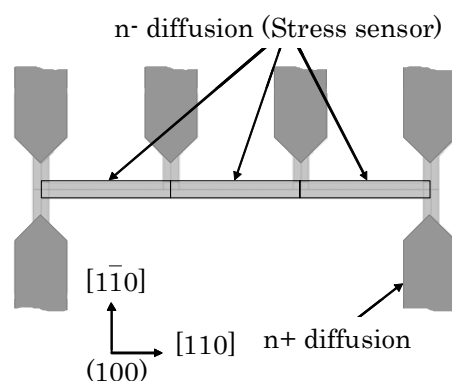


Fig. 2 Stress sensor part (Top view).

### 2-2 2次元応力分布の評価手法

応力の発生原因を解析するにあたり、応力集中箇所が特定できると良い。2次元アレイ状に応力センサを配置することも可能だが、配線層が増え構造が複雑になる。

Fig. 3に本研究で用いた2次元応力分布の取得方法を示す。ボンディング工程を評価する際、ボンディングボールの中心座標と応力センサの位置関係の異なる複数個のサンプルを用い測定を実施し、それぞれの測定データと座標情報、タイミング情報を重ね合わせることで2次元応力分布を容易に得ることができる。

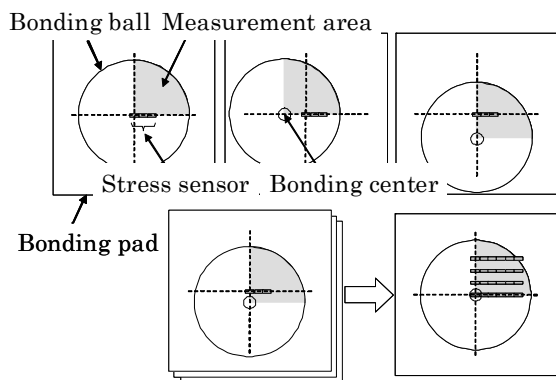


Fig. 3 Principle of 2D stress distribution measurement.

### 3. 評価結果

#### 3-1 クラックと応力の同時評価

Fig. 4に評価を行ったボンディング工程を示す。ボンディング時に生じる応力はボンド加重[ $\text{gf}$ ]とUSパワー [arbitrary units] により決定されると考えられる。

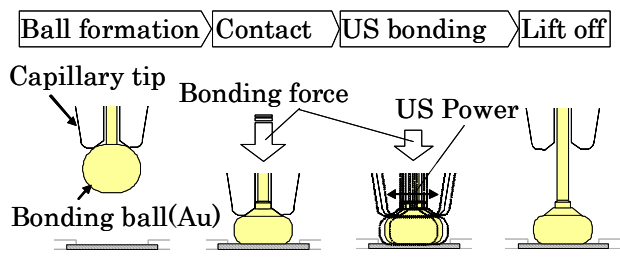


Fig. 4 Processing steps during ultrasonic bonding.

以下にコンボセンサを用いた評価結果を示す。応力の評価位置はボンディングボール下中央である。

Fig. 5にボンド加重45 $\text{gf}$ 、USパワー50a.u.のときの実験結果を示す。クラックセンサ出力、応力センサ出力およびボンディング装置より得たUSパワー信号をそれぞれ示している。USパワー50a.u.においてクラックの発生は無い。応力センサ出力より、ボンディングボールがコンタクトした瞬間が確認でき、以降応力が増大

し、US印加開始のタイミングより応力の減少していく様子が確認できる。

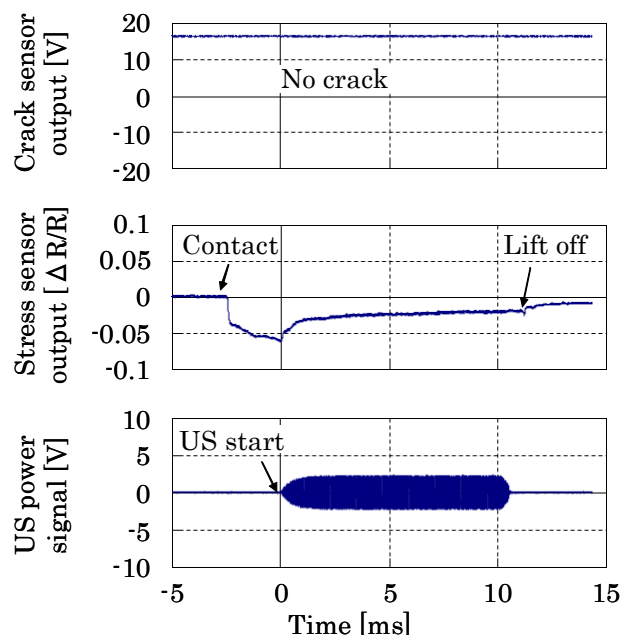


Fig. 5 Measurement results (US power 50 a.u.).

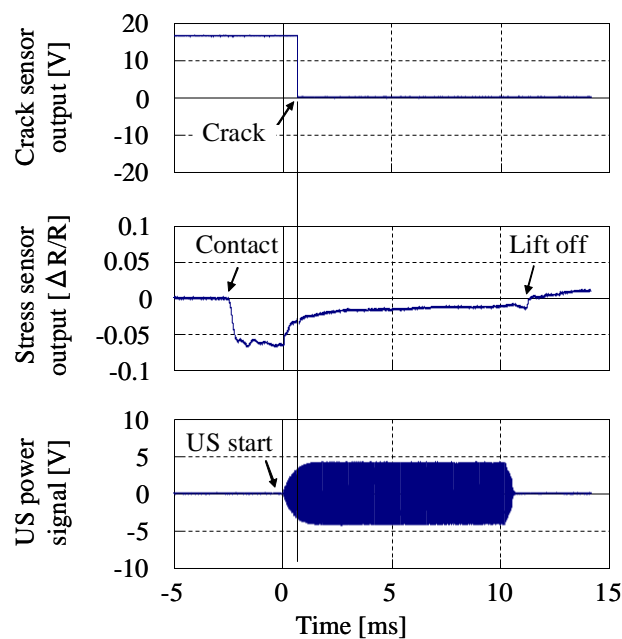


Fig. 6 Measurement results (US power 100 a.u.).

Fig. 6にボンド加重45 $\text{gf}$ 、USパワー100a.u.のときの実験結果を示す。クラックの発生をUS印加初期に確認

できる．そのときの応力はUSパワー50a.u.印加時に比べ減少していることが分かる．

別途，ボンド加重225gf, USパワー45a.u.でボンディングを行った結果，コンタクト時の応力によるクラックの発生が無いことを確認している．これらの評価結果より，クラックはUSパワーの増大により生じ，そのタイミングはUS印加初期であることが明らかになった．

### 3-2 2次元応力分布の評価

Fig. 7に2-2節で示した手法を用い，ボンディングボール下4分の1の範囲の2次元応力分布を取得した結果を示す．クラックの発生タイミングであるUS印加初期について詳しく評価するため，USパワーを0a.u.から設定値の35a.u.まで5msかけて上昇させた．

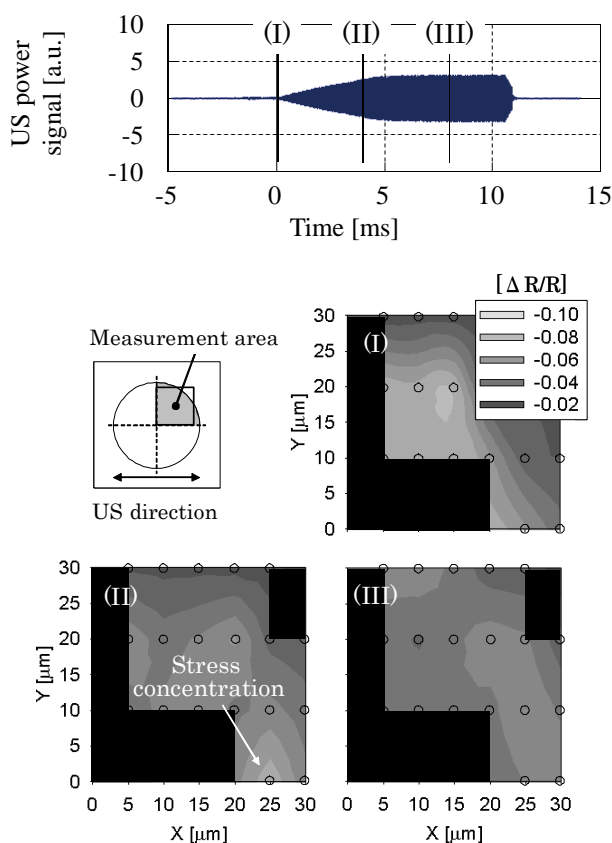


Fig. 7 Stress distribution in a quarter segment of the bonding ball.

(I)はUS印加前，(II)はUS印加4ms, USパワーが設定値に上昇する途中，(III)はUS印加8msである．ボンディングボール下における応力分布の変化が可視化できていることがわかる．(II)のタイミングにおいて，ボンディングボール外周付近(X : 22μm, Y : 0μm)に応力集中の発生が確認できる．

## 4. 考察

### 4-1 ボンディングボールの挙動と応力集中

Fig. 8に3-2節で示した応力集中箇所(X : 22μm, Y : 0μm)の応力センサ出力とボンディング装置より得たUSパワー信号，キャピラリー位置信号を示す．キャピラリー位置信号はボンディングボールがコンタクトした後，ボールつぶれ量を示す信号として用いることができる．これらの情報から応力集中の原因となる現象がわかった．

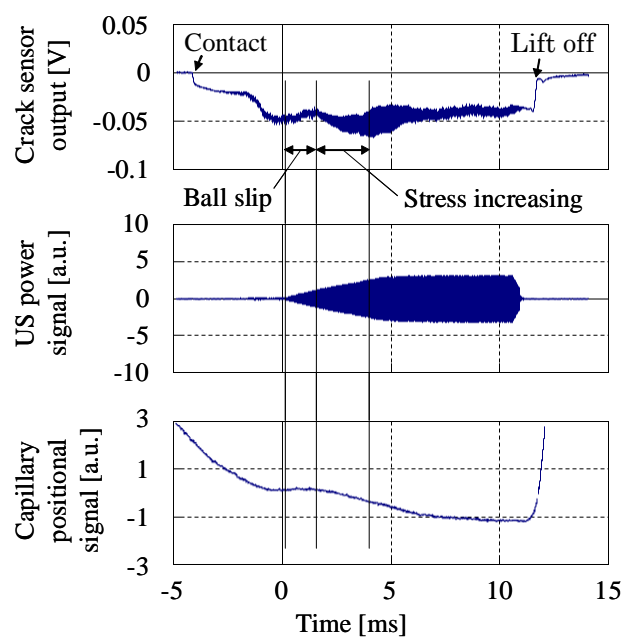


Fig. 8 Measurement results of stress concentration point.

US印加0~1.5msまでの期間において，応力変化は無く，ボールつぶれも生じていないことが確認できる．

これはボール表面に有効な接合が無く、スリップを起こしている状態と考えられる。そして1.5msより、ボールつぶれの再開が確認できる。これはボール表面に接合が形成されたことを示しており、固定されたボンディングボールはUS振動により変形を始める。また同時に応力の増大が確認でき、接合部に生じる応力の集中がUSパワーの上昇に伴い増大したと考えられる。4ms以降の応力緩和については、接合面積が広がったためであると考えられる。

#### 4-2 ボンディングボール接合表面の観察と応力集中の原因

Fig. 9にボンディングボール接合表面のSEM像を示す。USパワー印加時間の異なる複数個のサンプルを作成し確認を行った。Fig. 9(a)(b)においてボンディングボール表面に合金の形成はなく、ボールつぶれのみが確認できる。Fig. 9(c)より合金の形成が確認でき、Fig. 9(d)においてUSパワー印加方向のボール外周付近に合金の塊が確認できる。Fig. 7(II)に示した応力集中箇所とほぼ同じ位置であることから、この合金の塊が応力集中を引き起こす局所的な接合を形成したと考えられる。

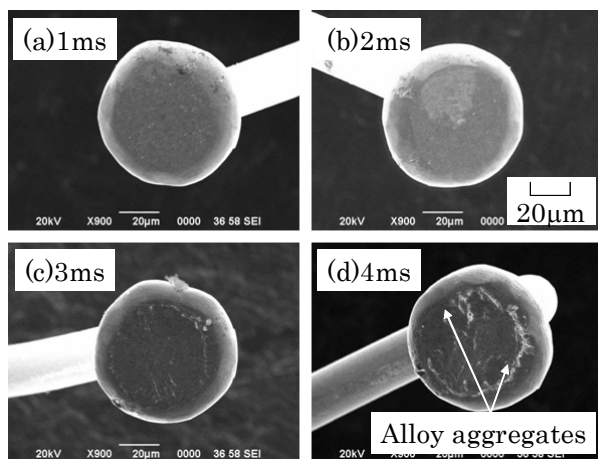


Fig. 9 SEM images of bonded areas.

## 5. まとめ

クラック発生と応力変化を動的に同時評価するコンボセンサを作製し、ボンディング工程を評価した結果、クラックはUSパワーの印加初期に生じることが明らかになった。そして、2次元応力分布とボンディングボール接合表面のSEM観察より、接合形成初期に生じる合金の塊にUSパワーに相当する応力が集中することがわかった。本評価技術はクラック発生の原因となる応力を有効に評価できる。今後、CUP利用の際、ボンディング工程を効率良く定量的に設計が可能となる。また、テスト工程時のプロービングや新たなアセンブリ技術の評価への応用が期待できる。

### 謝辞

本研究にあたりボンディング装置を用いた実験において多くの協力を頂いたアオイ電子株式会社に感謝致します。

### 参考文献

- 1) N. Watanabe, T. Asano: Behavior of Plated Micro bumps during Ultrasonic Flip-Chip Bonding Determined from Dynamic Strain Measurement, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.42, No.4B, pp.2193-2197 (2003).
- 2) K. Takemura et al.: 65nm Node Transistor. Characteristic Evaluation Technology for Assembly Stress and Assembly Stress and Relaxation Design, *Abstracts of the 2006 International Conference on Solid State Devices and Materials*, pp.324-325 (2006).