

特集 高感度センサにおける微小接着層の影響*

Influence of the Minute Adhesion Layer in a High Sensitivity Sensor

安藤 幸也
Yukiya ANDO

新帯 亮
Akira SHINTAI

薫田 智仁
Tomohito KUNDA

Recently, minute adhesion technique which stacks sensor chip is introduced in order to achieve miniaturization of semiconductor. However, the behavior of adhesives change sensor offset. In this research, we verified quantitatively the behavior of sensor chip using Scanning White Light Interferometer in order to analyze the influence of minute adhesives. Moreover, we analyzed the change of the sensor offset using FEM in consideration of the adhesives behavior. As a result, we traced that hardening contraction and creep of adhesives change curve of adhesion parts, the minute displacement related to change of sensor offset. By having clarified the above mechanism, we enabled the optimal structure design of a sensor.

Key words : Adhesion, Hardening contraction, Creep, Sensor offset, FEM

1. はじめに

半導体センサは、年々小型化の要求が高まっている。その実現のため、微小接着を用いてセンサチップをスタック化する構造が主流になりつつあるが、センサの高感度化に伴い、微小接着層の挙動がセンサ特性に与える影響を無視できなくなっている。

ピエゾ抵抗式加速度センサは、加速度により変化する錘の変位を、錘を釣っているビーム上に組み込まれたピエゾ抵抗が抵抗値変化として検出し、加速度を電圧出力に変換する (Fig. 1)。センサチップは、加速度以外の歪みがピエゾ抵抗部に伝わらないように、低弾性接着剤によって接着されている。また、錘の振動時に空気による減衰効果をもたせるため、接着剤にビーズを混入し、所定のギャップを確保した設計がなされている。

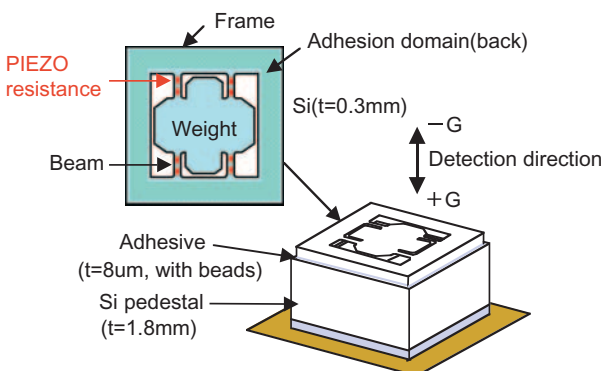


Fig. 1 Structure of acceleration sensor

しかし、センサ感度が高いために、接着剤挙動がセ

ンサ特性を経時的に変化させる問題がある (Fig. 2)。そのため、接着剤の影響によるセンサ特性変動メカニズムを明らかにする必要がある。

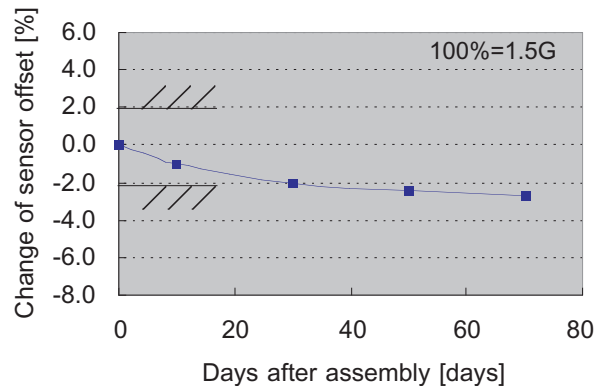


Fig. 2 Change of sensor offset

ところが、その特性変動はビームの数nmの変位に起因しているため、計測によるメカニズム解明は不可能である。また、ビーズを含んだ微小な接着層を考慮に入れた三次元解析による解明には、莫大な解析コストがかかる。従って、特性変動メカニズムを解明し最適設計を行うことは、これまで困難であった。

そこで本研究では、センサの接着部位の挙動に着目し、高精度測定と有限要素法により特性変動メカニズムを解明し、最適設計を行った。

2. センサチップの変形量測定

少数%のオフセット変動は、1.5G時の錘の変位量から計算すると、錘が-G方向に数nm変位すること

* (社)エレクトロニクス実装学会の了解を得て、「MES2003第13回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集」より一部加筆して転載

と等価な応力変化が、ビーム内で起きていることになる。しかし、現在の測定技術では、数nmの垂れおよびビームの変位は計測できない。そこで、少なくとも接着剤の微小挙動が、接着部位であるフレームを經由しビームを変形させているはずであるから、フレームの変形に着目し、白色光干渉装置（測定精度：10nm）でとらえられる変形がないか、測定を試みた。接着前工程、組付け直後から1か月にわたって同一サンプルのフレーム変形を追跡した。

その結果（Fig. 3参照）、フレームには組付け以前に80nmのそりが存在し、組付け後に20nmに減少、その後の放置で徐々にもとのそり量に戻っていく変化があることが分かった。

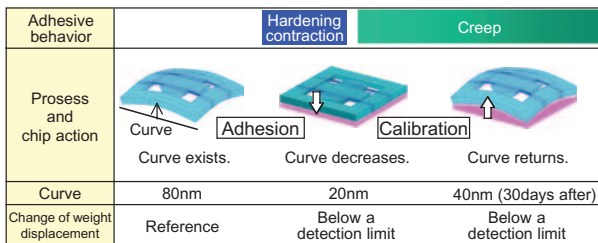


Fig. 3 Measurement result of flame deformation

この現象は、組付け以前からあるフレームのそりが、接着剤の硬化収縮により抑制され、接着剤のクリープにより戻ると推定できる。また、フレームのそり量変化は、ビームにねじれ変化を引き起こし、ビーム内の応力分布を変化させていることが考えられる。

そこで、有限要素法を用いて、

- ①接着剤の硬化収縮・クリープ挙動とフレーム変形の関係
 - ②フレーム変形とセンサ出力の関係
- の解析を行い、推定メカニズムを検証した。

3. 有限要素法解析によるメカニズム検証

3.1 接着剤挙動とフレーム変形の関係

接着剤の硬化収縮とクリープによるフレームの変形量を解析するため、二次元弾性クリープ解析を行った。解析に用いた物性値をTable 1、接着剤のクリープ速度式を(1)、解析モデルをFig. 4に示す。ここで、ビーズは線形バネ要素で定義し、バネ定数は接着剤に対して十分大きいものとした。

Table 1 Material property for FEM analysis

Parts	Young's modules [MPa]	Poisson's ratio	CTE [ppm/°C]
Chip	173,000	0.3	3
Adhesive	1	0.49	300

$$\dot{\epsilon} = 1.55 \times 10^{-4} \sigma^{1.163} \quad (1)$$

$$\dot{\epsilon} [1/s] \quad \sigma [MPa]$$

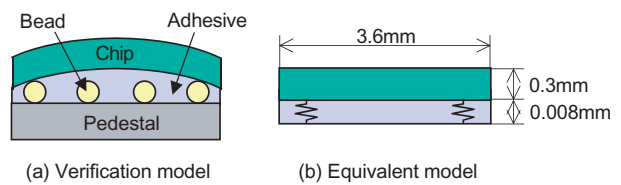


Fig. 4 Analysis model of frame deformation

その結果（Fig. 5参照）、スペーサの役割を果たすビーズが支点となって、フレームのそりは硬化収縮により抑制され、クリープにより戻ることが定量的に確認できた。

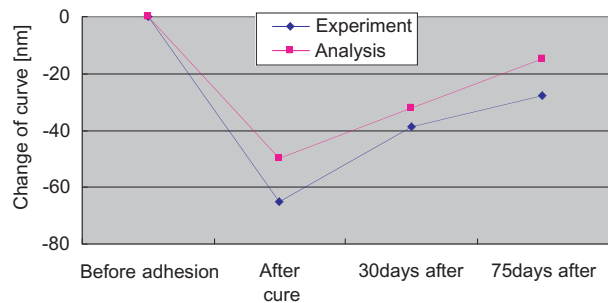


Fig. 5 Analysis result of frame deformation

以上により、接着剤挙動が微小なフレーム変形を引き起こしていることを立証した。

3.2 フレーム変形とセンサ出力の関係

次に、フレーム変形が特性変動に影響しているか定量的に確認するため、チップ単体の三次元モデルで、実際のそり変形を強制変位で与え、そのときの特性変化を解析した。

ここで、有限要素法による解析結果(σ)を電圧出力変化(V)に換算する必要があるため、ピエゾ抵抗効果(2)のゲージであることを利用して、解析モデル中の

ゲージが存在する領域内節点の応力変化の平均値を抵抗値変化とみなし、実際の回路にそって計算を行った(3)、(4)。+1.5Gと-1.5Gの時の有限要素法解析結果と実際の電圧変化から、有限要素法解析結果Sと出力電圧Vの関係式を(5)のように定式化した。

$$\Delta R = \Delta(\sigma_x - \sigma_y) \tag{2}$$

$$V \propto \left(\frac{R_1 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} - \frac{R_6 + R_7}{R_5 + R_6 + R_7 + R_8} \right) \tag{3}$$

$$S = \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4} - \frac{\sigma_6 + \sigma_7}{\sigma_5 + \sigma_6 + \sigma_7 + \sigma_8} \right) \tag{4}$$

$$V = 11.0S + 2.04 \tag{5}$$

フレーム変形の測定結果をもとに、そり変化を強制変位にて再現した。組付け後約30日間(そり量：20→40nm)と約75日間(そり量：20→55nm)のそれぞれのそり量変化を与えると、Fig. 6のようにビーム内で応力変化が起き、そのときのオフセット変動量は、Fig. 7のように実機とほぼ一致した。

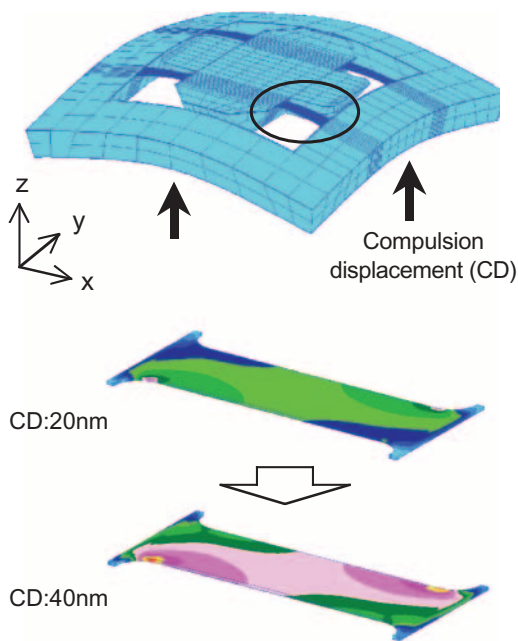


Fig. 6 Analysis model and change of stress distribution in beam

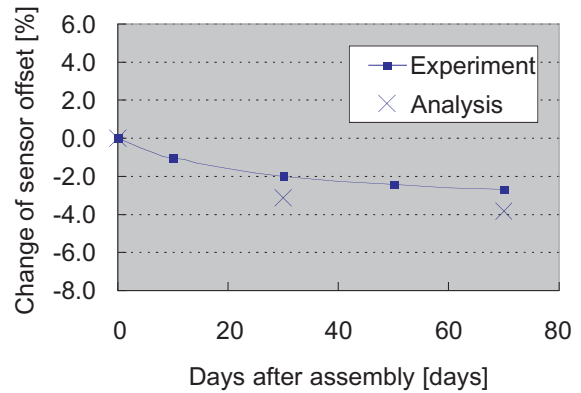


Fig. 7 Analysis result of sensor offset

以上により、ペースを含む接着剤の硬化収縮とクリープにより、フレームのそり量が変化し、ビーム内で応力に変化し、特性変動が引き起こされているメカニズムが明らかとなった。また、微小変位に起因する特性変動を、有限要素法で定量的に検証できることが分かった。

4. シミュレーションによる最適設計

以上のメカニズムをもとに、特性変動の低減策を検討した。ここでは、接着パターンの最適化についての検討内容を示す。

特性変動が引き起こされるビーム内の応力変化は、ビームが取付けられたフレームのそり変化の影響を顕著に受けると考えられる。接着剤は、接着辺のフレームを変形させているから、接着剤を塗布しないフレームは、そり変化を起こさないと予測できる。

そこで、Fig. 8のように接着パターンを変化させて特性変動量を推定する。

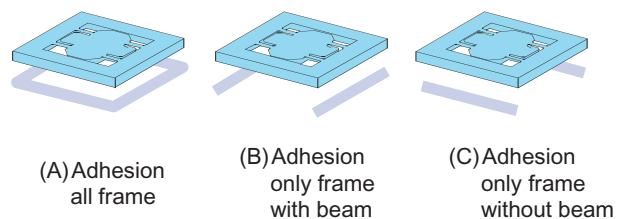


Fig. 8 Adhesive pattern

まず、各フレームのそり変化は、そのフレーム下の接着剤の存在により引き起こされていることを実測にて確認した (Fig. 9)。

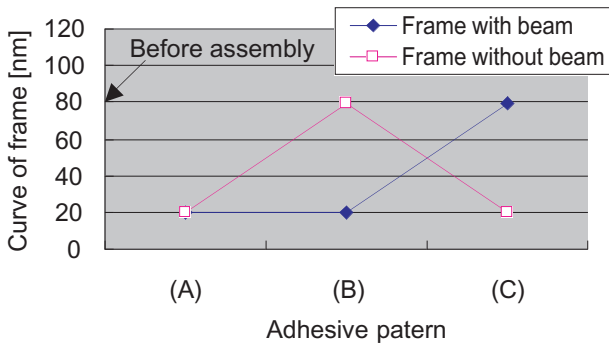


Fig. 9 Measurement result of curve

この結果から、接着剤が存在するフレームのみそり変化が起きるとして、各接着パターンについての特性変動を推定した結果、ビーム並行フレームのみに接着した場合(C)、特性変動量は小さくなることが分かった。これは、実際の測定結果とも傾向が一致した (Fig. 10)。

以上により、接着パターンの最適化で特性変動を低減できることがわかったが、本解析手法を用いれば、ピエゾ抵抗位置の最適化も可能になる。

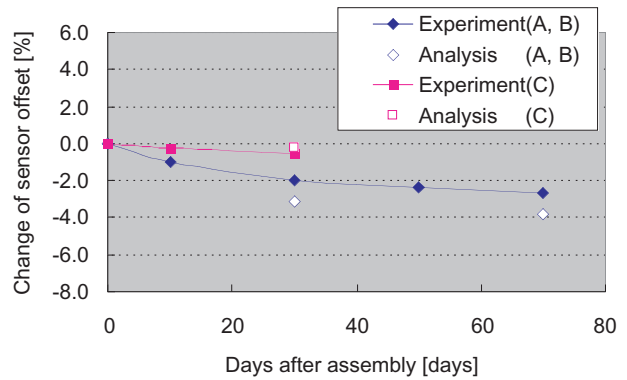


Fig. 10 Analysis result of sensor offset

5. おわりに

今回、10nmレベルの高精度測定と有限要素法を用いて、微小接着層の硬化収縮とクリープによるセンサ特性変動メカニズムを明らかにした。また、そのメカニズムをもとに、有限要素法を用いて特性変動低減のための最適設計を可能にした。

<参考文献>

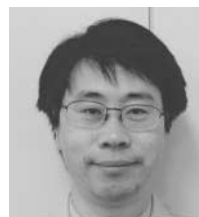
- 1)「半導体センサの知能化」, ミマツデータシステム, (1985)



<著 者>



安藤 幸也
(あんど う ゆきや)
材料技術部
樹脂材料研究に従事



新帯 亮
(しんたい あきら)
材料技術部
接着材料研究に従事



薫田 智仁
(くんだ ともひと)
IC技術2部
圧力・加速度センサの開発設計に従事