

feature article

# 実装プロセス開発を加速する 超音波映像装置

*Scanning Acoustic Tomograph to Accelerate Development of Surface Mount Process*

山本 弘 Hiroshi Yamamoto

竹内 健 Ken Takeuchi

牧原 昇也 Syouya Makihara

柳本 裕章 Hiroaki Yanagimoto

マルチメディア時代を迎えて、エレクトロニクス実装分野では、機器システムの高機能化や高性能化とともに小型・軽量化への動きが激化している。これに対応するには、LSIのプロセス微細化による高集積化だけでは限界があり、高密度実装技術の導入が必要になってきた。それに伴い、実装における接着（接合）部の信頼性評価の重要性はいっそう増している。日立建機株式会社は、物体の内部を可視化できる超音波映像装置（SAT）について、キーテクノロジーである超音波探触子の高性能化、操作性の向上に焦点を当てて研究を進めてきた結果、実装の開発段階で必要不可欠となる検査ツールを開発した。

## 1. はじめに

エレクトロニクス実装分野では、システムの高機能化や高性能化とともに小型軽量化要求への対応が進み、実装形態は二次元の高密度実装から三次元へ急速に移行している。この三次元実装構造は、基板上への複数のLSI (Large-scale Integration) チップの搭載にとどまらず、三次元貫通配線構造を有したLSIチップそのものの積層化や部品内蔵基板の採用など、多様な形態へと進化している<sup>1)</sup>。また、環境負荷物質の低減という観点から、EUではRoHS指令 (Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment：特定有害物質使用制限指令) が2006年7月から施行され、回路基板の実装用はんだについても、既存のSn/Pb共晶はんだからPbフリーはんだへ移行している。メーカーは、これまで使用してきたプロセスの大幅な見直しを迫られている現状であり、信頼性試験や不具合解析を改めて実施する必要が生じている。

ここでは、実装における接合（接着）部の非破壊評価として、超音波を利用した検査装置である超音波映像装置（SAT：Scanning Acoustic Tomograph）の開発<sup>2), 3)</sup>、およびその技術応用について述べる（図1参照）。

## 2. 超音波による欠陥検出の原理

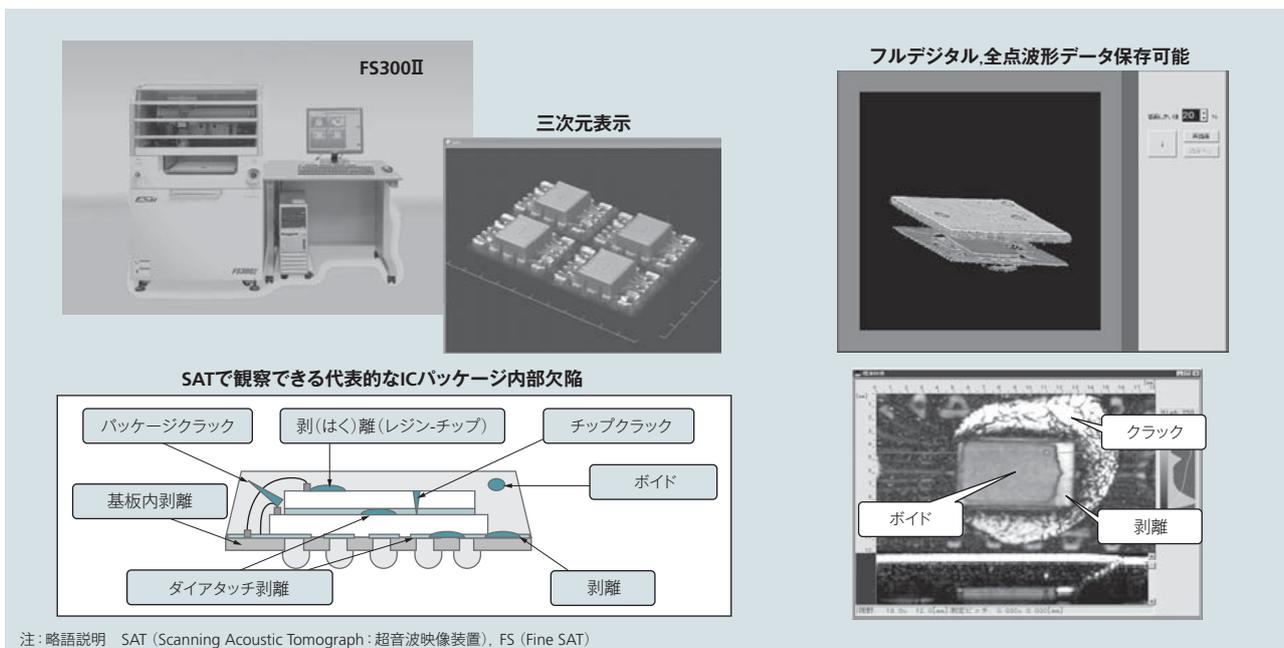
超音波とは、周波数20 kHz以上の人間の耳では聞こえない音のことであり、超音波を用いて非破壊で工業部品内部を検査するのが超音波検査法である。この検査法は他の検査法に比べ、き裂や剥（はく）離の検出能力が優れており、

電子部品の信頼性評価や故障解析に多用されている。超音波測定の原理を図2に示す。超音波探触子内にある圧電素子が、パルス電圧の印加によって振動し、この振動によって発生した超音波を試験体に照射すると、弾性波として内部を伝播（ば）する。内部にボイド、クラックや異物が存在すると音響インピーダンス（密度と音速の積）の変化が起きるため、反射・屈折といった挙動を示す。図1のIC (Integrated Circuit) パッケージで言えば、シリコンチップとモールド樹脂界面、樹脂中のボイド、チップクラックなどがこれに相当する。反射率は接している二つの材質の組み合わせによって異なり、状態の差が反射波強度の差として表れる。特に密度が桁（けた）外れに小さい空気の場合、反射率はほぼ100%となるため、これが空隙（げき）を精度よく検出する大きな要因となっている。今後、付加価値の高いLSI、特にスタックドICに代表される積層タイプのLSIは、初期段階での評価が重要視されてくる。超音波検査はその評価のための、検査ツールを担っていくものと予想される。

## 3. 超音波映像装置構成機器へのニーズ

### 3.1 超音波探触子の高性能化

超音波検査において、電気信号の入出力部に相当する超音波探触子の性能は、その装置性能を大きく左右すると言っても過言ではなく、いかに効率よく超音波を送受信するかがキーとなる。今後、進化し続ける半導体パッケージ評価において、試料の小型化に対しては、超音波探触子より発せられる超音波ビームをより細く絞るために超音波周



**図1 超音波映像装置 (SAT)**  
 超音波を利用して、半導体内部を非破壊で検査する日立建機株式会社の超音波映像装置「FS300II」の外観と画面例。フルデジタルで全点波形データを保存して三次元表示可能なソフトウェアによる代表的なICパッケージの超音波探査例、および、超音波映像装置で観察できるICパッケージの内部欠陥を示す。

波数の高周波化が、また試料の薄型化に対しては、接合界面からの反射波を精度よく分離するために超音波パルス幅の極短パルス化がそれぞれ求められている。

### 3.2 操作性の向上

超音波検査では、集束した超音波を検査したい接着（接合）界面に、いかにして合わせるかが評価するうえで最も重要なポイントとなる。鮮明な映像を採取するために、超

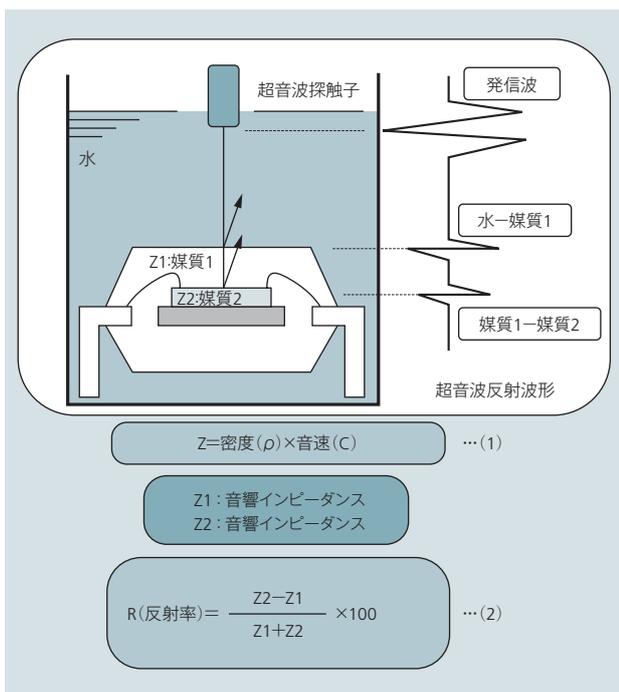
音波映像装置では超音波探触子の音響特性や媒体、被検査体内部の音速値により、所望の深さの位置に集束した超音波の焦点を設定する、焦点合わせ作業が必要となってくる。従来、この焦点合わせの作業は、オシロスコープなどを使用して試験体からの反射波形を観察して行っていた。しかし、検査対象である被検査体に依じて行わなければならない焦点合わせについては、検査対象物に依じて決まることなので、あらかじめデータ設定により操作を簡単しておくことが実作業ではさきわめて困難であり、鮮明な映像を採取するためには、従来から自動焦点合わせ機能が強く求められていた。

## 4. 超音波映像装置構成機器の開発

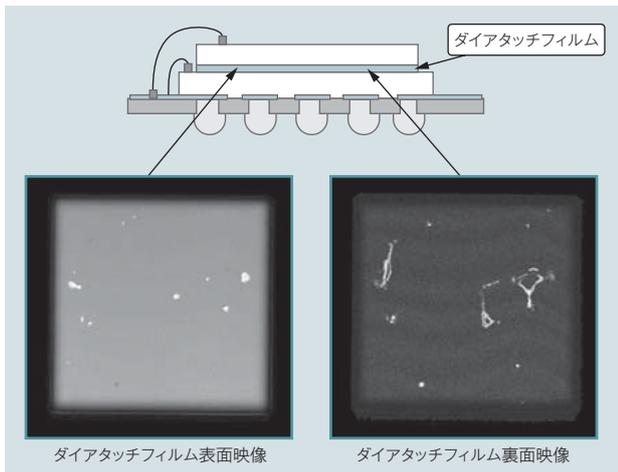
### 4.1 超音波探触子の高性能化へのアプローチ

従来、超音波探触子の研究は、超音波顕微鏡用探触子の開発でもあった。すなわち、材料の物性解析が主とした研究であるため、焦点距離は短いものであった。それに比べて、超音波検査は非破壊で内部の情報を可視化できる技術であるため、焦点距離の長い探触子が必要となってくる。そこで、日立製作所中央研究所で開発された100 MHz超音波変換器用ZnO薄膜の研究<sup>4)</sup>をベースにして、超音波を集束するための音響レンズの加工精度向上と音響整合層について独自に研究開発し、高感度・高性能の超音波探触子を製品化した。

スタックドICの検査例を図3に示す。開発した高周波超音波探触子により、ダイアタッチフィルムの上下それぞれに焦点を合わせた探査映像を示す。S/N (Signal-to-noise)



**図2 超音波測定の原理**  
 材料の物性値である音響インピーダンス（密度と音速の積）の差によって超音波の反射波強度が変化する。この性質を利用して、非破壊で内部を検査することができる。



**図3 ダイアタッチフィルムの検査例**  
 ベア状態でダイアタッチフィルムを評価した例を示す。ダイアタッチフィルムの厚みが20 μmであり、その表裏界面を分離して映像化した。

比がよく、各接触界面でのボイドを検出していることがわかる。従来、50 MHz以下の超音波探触子において、圧電素子としての圧電セラミックスと音響レンズ、圧電セラミックスとバックリング材の接合には接着剤が使用されていた。接着剤の使用から、吸湿による経年変化は避けられず、超音波探触子の感度低下、耐用年数の低下につながっていた。そこで、日立製作所機械研究所で開発された接着剤を使用しない接合技術である低温接合技術<sup>5)</sup>を利用して接着剤が介在しない、経年変化のない、短パルスの高感度な超音波探触子もあわせて製品化することができた。

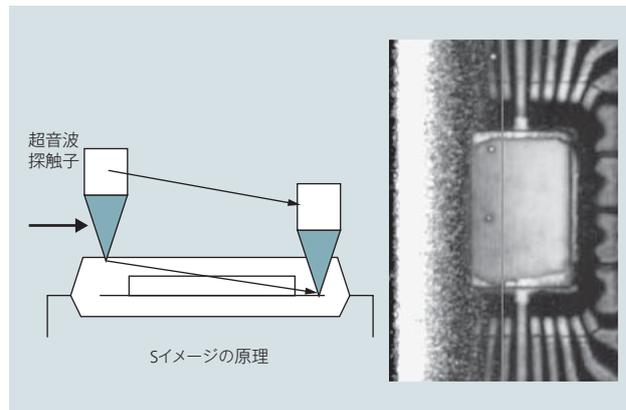
#### 4.2 操作性向上へのアプローチ(Sイメージ自動取得)

超音波探触子を試料に対し斜め走査して、超音波画像を取得する。試料断面に対して階段状Stairing (あるいはSlope, Slat) の画像であることから略して「Sイメージ<sup>6)</sup>」と称している。このSイメージ技術は、超音波の送受信回路と走査機構が外部制御方式であるために、各測定点において得られたデータ(映像上の各画素)と測定パラメータとを対応させて記憶することに着目した自社開発技術である。

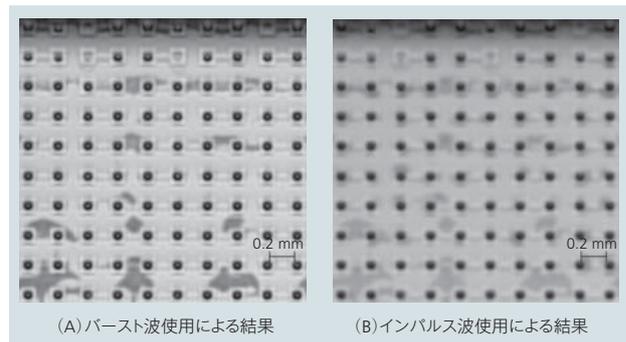
Sイメージは、超音波の専門家でないユーザーでも、任意の界面に焦点を合わせて検査ができる、世の中に初めて紹介されたものであるが、ユーザーサイドにとって大きなメリットとなり、超音波検査の普及に大きな影響を及ぼした(図4参照)。

#### 4.3 高精細画像取得へのアプローチ

超音波映像装置において、パルス波励振により得られた超音波信号は、媒質や試料中で減衰を受けるため、受信信号の中心周波数は低周波領域へシフトする。一方、超音波顕微鏡で用いられているバースト波信号の励振では、送信



**図4 「Sイメージ」の原理**  
 上の図はICパッケージを例にしたSイメージ映像結果である。



**図5 印加パルスの違いによる映像比較(周波数: 200 MHz)**  
 超音波顕微鏡で使用されているバースト波を印加電圧に使用することで、受信周波数を向上するとともに、高精細画像を取得することができる。

超音波信号を狭帯域化することができる。バースト波励振を内部探傷に適用することにより、伝播時の減衰による受信信号の中心周波数を引き上げることが可能となり、結果として高精細画像を得ることができた<sup>7)</sup>(図5参照)。

### 5. 超音波におけるすき間の検出限界

ボイドのすき間が微小になると、ボイド界面での超音波は完全に反射されず、一部通過して検出感度に影響を与える。したがって、すき間界面での反射挙動を知ることは超音波の検出限界を検討するうえで重要である。

すき間の検出感度を定量的に調べた従来の例として、平面ガラスと凸ガラスを重ねたニュートンリングによる方法がある。しかし、この方法では、すき間を光の干渉縞によって測定するため、可視光波長が長いので微小領域での精度はよくない。また、超音波のビームの幅に対してすき間が連続的に変化しているので、すき間の絶対値の検出感度の評価には不向きである。

そこで、この問題を解決するために、ウェーハ面の酸化膜にエッチングによって段差(すき間)5~500 nmのパターンを設けたボイドモデルの試験体を製作して、超音波のすき間の検出限界について検討した。

すき間が5 nmの場合の超音波探査画像を図6に示す。同図の画像上の白色部分がエッチングパターン部であり、

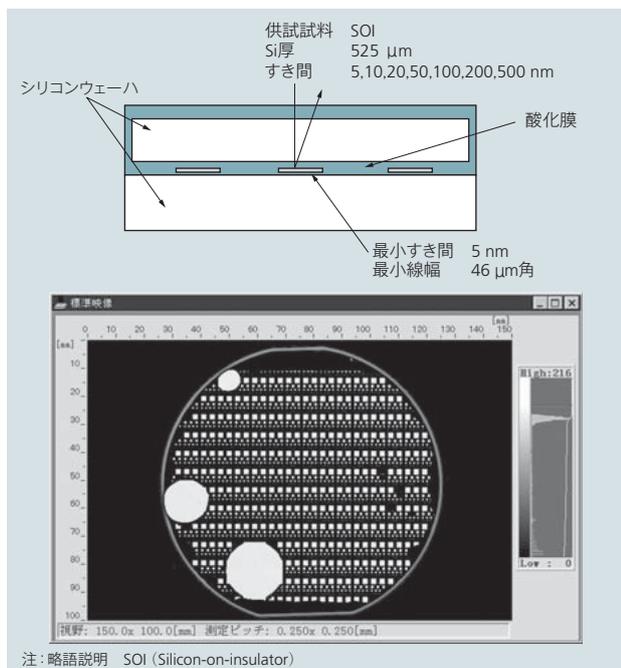


図6 すき間の検出感度

ウェーハの酸化膜にエッチングによって5 nmの段差(すき間)を設けた試験体の超音波画像の画面例を示す。エッチングパターンが明瞭(りょう)に画像化されている。円形状の白色像は接合界面に発生した自然ボイドである。

5 nmのすき間も超音波が反射し明瞭(りょう)に画像化している。この結果、すき間の検出限界は5 nm程度はあることがわかる。なお、同図中にエッチングパターン以外に見られる大きな白色の像は、接合界面に生じた自然ボイドである<sup>8)</sup>。

## 6. おわりに

ここでは、実装における接合(接着)部の非破壊評価として、超音波を利用した検査装置である超音波映像装置(SAT)の開発、およびその技術応用について述べた。

半導体パッケージの開発リードタイムの短縮、評価コストの低減といったニーズが高まるにつれて、日立建機株式会社の超音波映像装置(SAT)<sup>9), 10)</sup>は、必要不可欠な解析ツールとして位置づけられていくと考えられる。また、実装の開発段階では、検査ツールとしての実績もあり、今後さらなる研究開発が期待されている。

## 参考文献など

- 1) 三浦：構造解析に基づく電子パッケージ・モジュールの強度・信頼性評価，エレクトロニクス実装学会誌，Vol.10，No.5，p.427～432（2007）
- 2) 野中：超音波探査映像システムの開発，日立評論，68，6，489～494，（1986.6）
- 3) T.Nonaka, et al.: Ultrasonic imaging and data processing techniques for semi-conductor and new materials, Proc. of 12th WCNDT, Amsterdam, pp.784-789, April (1989)
- 4) K.Kushida, et al.: 100 MHz Band Ultrasonic Transducers Utilizing Epitaxially Grown ZnO Films, Proc. of 9th Symposium on Ultrasonic Electronics, Japanese Journal of Applied Physics, Vol28, Suppl.28-1, 260 (1989)
- 5) 河野，外：低音接合技術の開発，溶接技術，No.5，p.74～79（1989）
- 6) 有馬，外：超音波TECHNO，Vol.49，No.3（1992）
- 7) 竹内，外：パスト波励振による電子部品の超音波検査事例，日本非破壊検査協会，超音波分科会料，No21682（2002）
- 8) 小倉：超音波画像法によるシリコン貼り合わせ基板界面のボイドの検出技術と高感度化，応用物理，Vol.66，No.5，p.467～471（1997）
- 9) 藤井，外：セラミック基板上に直接フリップチップ接合された白色LED光源の信頼性評価，エレクトロニクス実装学会誌，Vol.12，No.1，p.72～78（2009）
- 10) 日立建機株式会社，<http://www.hitachi-kenki.co.jp>

## 執筆者紹介



### 山本 弘

1983年日立建機株式会社入社，技術開発センタ 企画グループ所属  
現在，新技術の探索に従事  
工学博士  
日本機械学会会員，日本非破壊検査協会会員



### 竹内 健

1991年日立建機株式会社入社，開発・生産統括本部 建設システム事業部 電子機器開発センタ 所属  
現在，超音波探触子の開発に従事  
エレクトロニクス実装学会会員



### 牧原 昇也

1989年日立建機株式会社入社，開発・生産統括本部 建設システム事業部 電子機器開発センタ 所属  
現在，超音波探査映像装置関連に従事



### 柳本 裕章

1985年日立建機株式会社入社，開発・生産統括本部 建設システム事業部 電子機器開発センタ 所属  
現在，建設機械の電動化技術開発に従事