

B

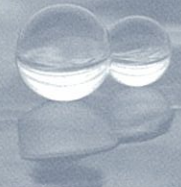
超音波顕微鏡によるマイクロ接合部の評価法

超音波は生体内部、例えば胎児や内臓の検査から輸送機や化学プラント、電子機器に搭載される半導体パッケージの品質評価まで幅広い分野で活用されている。これは超音波が安全な媒体であり、被検体の材質、厚さに応じて適切な周波数を選択することで、信頼性の高い評価を可能にしているからである。

本稿ではエレクトロニクス分野、特に半導体パッケージにおけるマイクロ接合を対象として、超音波を利用した非破壊評価事例について紹介する。また、超音波測定後に断面SEM観察を行い、非破壊評価と破壊評価を融合させたマイクロ接合部の評価事例についても紹介する。

エレクトロニクス分野において、超音波を利用した非破壊評価法はSAT(Scanning Acoustic Tomography)、AMI(Acoustic Microscopy Image)あるいはC-SAM(C Scanning Acoustic Microscopy)等々の略称で表現されている。超音波測定の世界では一般的にA-Scan(A-Scopeと呼ぶ場合もある)は、ある点における波形計測結果、B-Scan(B-Scope)は被検体の断面情報をえるための走査結果、そしてC-Scan(C-Scope)は界面の情報をえるための二次元走査結果を意味している。超音波を利用した非破壊評価では広くC-Scanがおこなわれており、C-SAMの「C」は二次元走査結果を意味している。

本稿ではこのC-SAMという略称を使って測定原理、解析事例などを紹介していく。



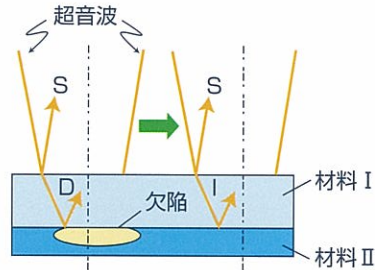
B-1

超音波測定原理

1) Shinobu Satonaka, Ultrasonic Evaluation of Die Bonding in Electronic Device, PVP 98-vol.380.p.237

C-SAMによる測定は被検体を水やアルコールなど¹⁾の液体中に浸し、transducerから発信されたパルス波が液中を通過した後に被検体に入る水浸法でおこなわれる。これは液中のほうが超音波の指向性が鋭く、総合感度が向上するためである。

第1図はC-SAMの測定原理を示している。transducerから発信された超音波は媒質中を通過して被検体に達し、反射(透過)が起こる。この



第1図 超音波顕微鏡の測定原理

ときの反射は式(1)に従う。

$$R = (Z_2 - Z_1) / (Z_1 + Z_2) \dots\dots\dots (1)$$

Rは境界における反射率、Zは音響インピーダンス(材料自身の密度とその中を伝播する超音波の音速の積)を示しており、材料固有の物理定数で決まる。すなわち、超音波の反射はこの音響インピーダンスの差によって生じる。そのためにポイドあるいは剥離等が存在する場合は、空気(密度を $\rho = 0$)として100%の反射が起こると考えられる。被検体中の剥離やポイドの検出にC-SAMが最適なのはこの理由による。

C-Scanによってえられる画像はゲートと呼ばれる機能を使って観察したい界面からの反射波(第1図ではDまたはI)を取り出して、ゲート内の振幅の大小をマッピングしたものである。

B-2

解析事例

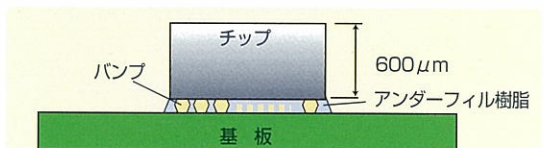
- 第2図は試験片の断面模式図を示している。各々、
- ①ダイボンディング接合部、
 - ②Full GridタイプのFC-BGA、
 - ③peripheralタイプFC-BGAである。

ダイボンディングはFC-BGA(Flip Chip Ball Grid Array)やTCP(Tape Carrier Package)などを除くパッケージング形態に共通する接合部である。今回使用した試料はダイ(Siチップ)とリードフレームはAgペーストで接着されており、チップ厚は約300 μ mである。

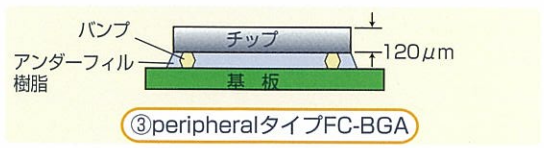
また、FC-BGAは携帯電話やPCなどに代表される電子機器に搭載されるパッケージング形態であり、チップ厚は各々約600 μ m、120 μ mである。



①ダイボンディング接合部



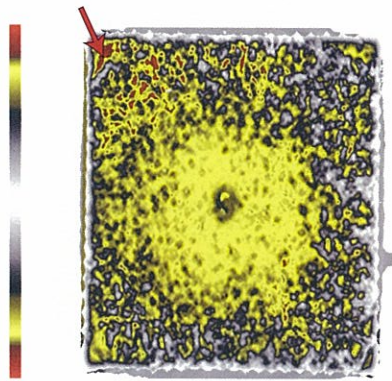
②Full GridタイプのFC-BGA



③peripheralタイプFC-BGA

第2図 試験片模式図

ダイボンディング接合部評価事例



第3図 ダイボンディング接合部のC-SAM測定図

第3図は試験片①のC-SAMの計測結果を示している。

計測は100MHzのtransducerを使用し、チップ側よりおこなった。左側の帯状のものはカラーマップと呼ばれるもので、反射波の振幅が大きい場合は赤く表示されることを意味している。

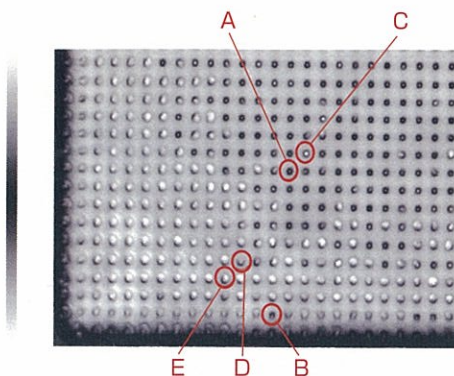
図中の矢印の領域は最も反射波の振幅の高い領域であり、ボイドあるいは剥離の存在が考えられる。すなわち、(1)式により、 $Z_2 \neq 0$ として、100%の反射が起こっている領域と思われる。

また、中央部近傍は黄色であり、灰色の斑点状のものが散在している。中央部近傍にはこの灰色の斑点状が少なく、均一な接着状態ではないことがわかる。

このようにC-SAMによる評価では接合状態をエリアとして評価できる特徴がある一方で、接合状態の予測の域を出ない。そこで、詳細な断面観察をC-SAM評価後に実施したマイクロ接合部の評価事例について以下に紹介する。なお、チップ中央にみえる斑点はチップ表面のきずである。

Full Grid FC-BGA評価事例

第4図は試験片②のC-SAM測定結果を示している。



第4図 Full Grid FC-BGAのC-SAM測定結果

計測は230MHzのtransducerを使用してチップ側より観察をおこなった²⁾。

本結果は、第3図とは異なるカラーマップを選択しており、反射波の振幅が大きい場合は白く表示されることを意味している。

図に示すとおり、バンプのコントラストを便宜的に次の5段階に分類した。

Aは黒色、Bは濃灰色、Cはバンプ中央が白色、Dは淡灰色、Eは白色である。すなわち、カラーマップから各々のバンプの接合状態はアルファベットの順であることが予測される。

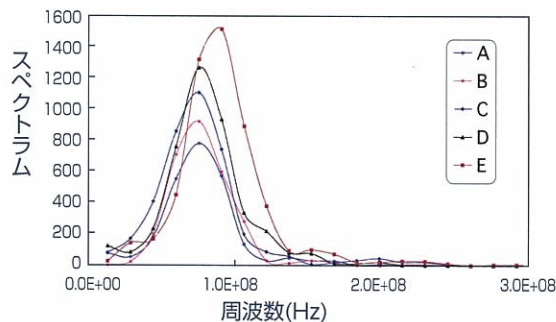
これらのバンプのコントラストを定量的に評価するために以下の波形解析をおこなった。

最初にtransducerをA~Eのバンプ直上まで移動させてA-Scanをおこない、波形データを離散化する。そして、式(2)に示す窓関数(ハミング関数)³⁾を使ってゲート区間内の波形を取り出し、FFT解析をおこなった。

$$y = 0.54 - 0.46 \times \cos(2\pi t/T) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 t は離散化された時間、 T は波形の切出し区間である。

第5図はFFT解析結果を示している。



第5図 FFT解析を利用した各バンプの接合状態の比較

本結果には二つの特徴がある。

一つは最大スペクトルがアルファベットの順に大きくなっており、主観的に分類したバンプのみえかたの順(A:黒→E:白)と一致していることである。

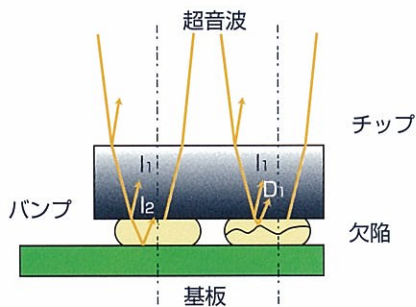
すなわち、スペクトル解析をおこなうことで、バンプの接合状態を定量化することができる。もう一つの特徴はEのバンプの最大スペクトルを示す周波数が他のバンプのそれに比べ、約15MHzシフトしていることである。

このような現象が起こる原因として第6図に示すようなモデルが考えられる。

すなわち、 I_2 よりも早く反射する位置に、しかもスペクトルが大きくなるような界面すなわち、剥離面の存在である。15MHzの周波数シフトは約0.064 μ sに相当する。はんだ内を伝播する超音波の音速を1980m/sとすると

2) 上野ら、FC-BGAにおけるバンプ接合部の評価法、MES2002第12回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集、p.411

3) 佐川雅彦ら、高速フーリエ変換とその応用、昭晃堂、p.80



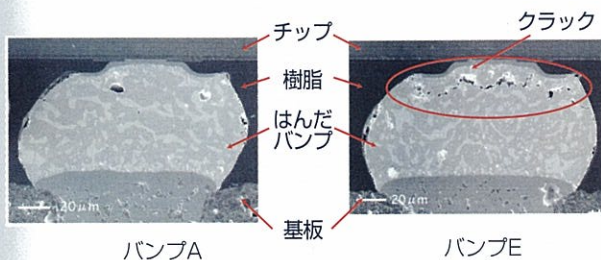
第6図 超音波伝播モデルの検討

$$0.064 \times 1980 / 2 \approx 63 (\mu\text{m}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

であり、I2の反射界面よりも63 μm 下方に反射界面、すなわち剥離面があると推定できる。そこでバンブAおよびEについて断面試料調製⁴⁾をおこない、SEM観察を実施した。

その結果、第7図に示すようにEのバンブには剥離が確認され、その位置はI2の反射界面よりも60 μm 下方にあり、FFT解析で予測された結果とほぼ一致した。

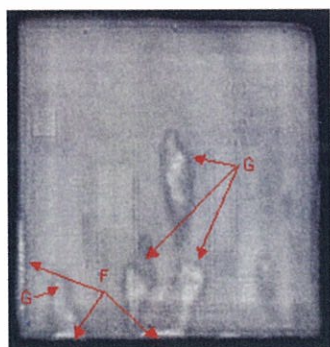
また、断面観察からバンブEに比べてスペクトルの小さいB~Dのバンブには剥離は存在しないが、接合状態が異なっていることも予測された。



第7図 バンブAおよびEの断面観察結果

Peripheral FC-BGA評価事例

第8図は試料③のC-SAM測定結果を示している。

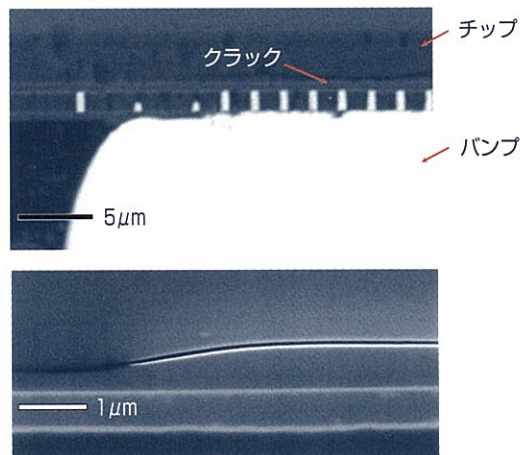


第8図 Peripheral FC-BGAのC-SAM測定結果

計測は230MHzのtransducerを使用してチップ側から測定をおこなった。

矢印Fはバンブの接続不良、Gはアンダーフィル樹脂の欠陥と考えられる。そこで、C-SAMでえられた結果をもとに断面試料調製後、SEM観察を実施した。

第9図は断面観察結果を示している。



第9図 Peripheral FC-BGAの断面観察結果

C-SAMではバンブ接合部(チップとバンブの界面、あるいはバンブと基板の界面)で剥離が生じていると思われたが、剥離はチップ内で生じていることが本結果よりわかる。

下図はさらに拡大してクラックを詳細観察した結果である。

本事例のように超音波の伝播速度(約8500m/s)が速いSi中の剥離ではバンブ接合界面から反射される超音波の伝播時間と剥離面からのそれが非常に接近しており、非破壊評価だけでは不良部位を特定することは困難である。しかし、詳細な断面観察との融合によって剥離状況が検証される。

今回はエレクトロニクス分野における半導体パッケージをモチーフに、薄板接合部あるいはマイクロ接合部について、高周波のTransducerを利用したC-SAMによる非破壊評価法について述べた。

次の機会では低周波(15~50MHz)のTransducerを利用して、材料評価、例えば、溶接欠陥や铸件中に含まれるボイド、クラッド材の評価結果についてご報告する。

[専門事業所 上野一也]

4) 林富美男、BGA/CSPマイクロ接合部の解析法、エレクトロニクス実装技術、1999臨時増刊号、p.116