

超音波映像装置を用いた応力測定を紹介

精密・電子・航空技術部門

材料中の残留応力の測定方法の一つとして、超音波音弾性法があります。超音波音弾性法は弾性率によって変化する超音波の音速の特性（音弾性）を用いて応力を測定する方法です。ここでは部門で保有している接合界面内の剥離やボイドの探傷試験に用いられる超音波映像装置を利用し、超音波音弾性法による応力測定の適用と、接合界面の応力分布への応用について紹介します。

◆ 超音波映像装置

（日立パワーソリューションズ FineSAT FSⅢ）

■ 装置の概要

試料内部を伝搬・反射する超音波の音響特性を利用し、試料内部や接合界面像を非破壊で取得できる装置です。電子部品や半導体について界面剥離やボイド、内部クラックなどの検出を得意とし、主に探傷試験に使用されます。



図1 超音波映像装置

■ 原理

図2に示すとおり、試料内部を伝搬・反射する超音波は、探触子によって送受信されます。受信した超音波は図3の横軸を伝搬時間、縦軸を振幅としたオシロスコープ上に表され、図4のとおり探触子をX-Y 走査することで、任意の波形振幅を256階調の輝度値へと変換した2次元像を取得することができます。試料内部の観察像を非破壊で取得することができます。

■ 超音波音弾性法

固体中の弾性率は応力の負荷によって変化します。また、超音波の音速は弾性率によって変化することから、応力の負荷によって超音波の音速が変化するこの特性を音弾性といいます。超音波音弾性法は、板厚方向の伝搬音速の測定から残留応力を求める方法です。各媒質の板厚が既知であれば、

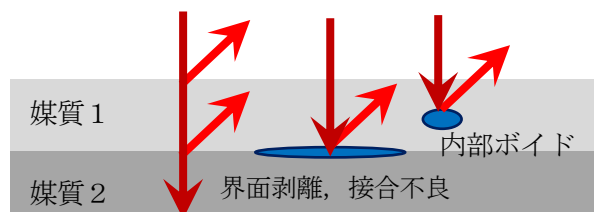


図2 超音波の伝搬・反射

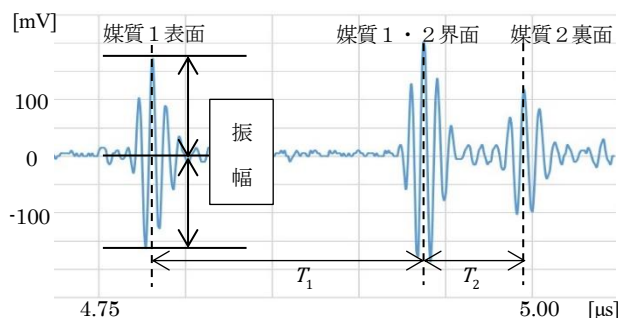


図3 オシロスコープの波形

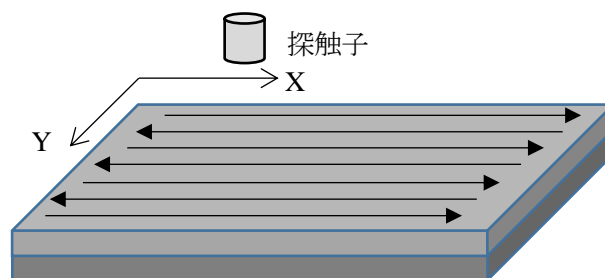


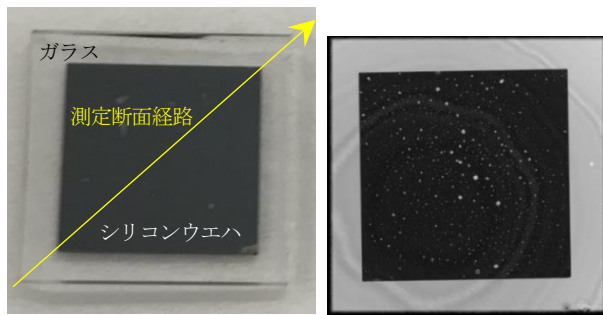
図4 探触子のX-Y 走査

図3のオシロスコープより、各界面反射波のピークの時間差 T から、各測定点について伝搬音速を求めることができます。

■ 測定例

<測定試料>

シリコンウエハと線膨張係数が約2倍以上の差がある硼珪酸ガラスを、陽極接合によって接合しました。180℃の高温状態で接合された両者には、線膨張係数の差から熱応力が生じています。図5は、接合体の外観と、超音波映像装置による接合界面の非破壊観察像です。



外観 接合界面像

図5 ガラスとシリコンウエハの陽極接合

<測定結果>

硼珪酸ガラスについて、接合前後の板厚方向の伝搬音速を測定しました。測定点は、図5の正方形のガラスの対角線上を測定断面経路とし、経路上の7点について測定した結果が図6です。接合する前後での伝搬音速の変化、変化量の分布が確認できました。この伝搬音速の変化は、熱応力によって生じたものであり、超音波音弾性法によって応力測定ができることが分かります。

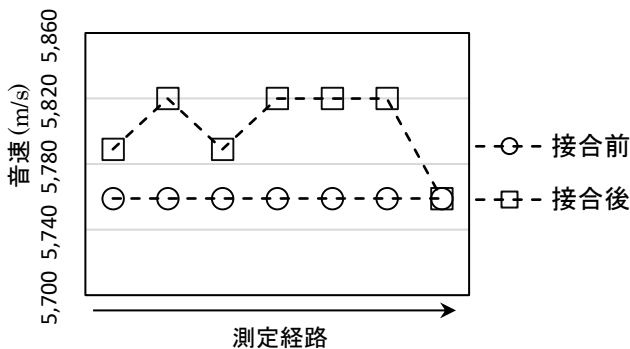


図6 ガラスの伝搬音速測定結果

■ 接合界面の応力分布への応用

図5に示した接合界面像内の各点の輝度値は、接合界面反射波の振幅を表します。界面反射波の振幅は、入射波に対し、反射率 R をかけた値になります。ガラスとシリコンウエハの各音響インピーダンスを Z_1 、 Z_2 とすると、反射率 R は(1)式で表されます。音響インピーダンスとは(2)式で表される値です。

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \times 100 \quad [\%] \dots (1)$$

$$Z = \rho(\text{密度}) \times C(\text{伝搬音速}) \dots (2)$$

音響インピーダンスは密度と伝搬音速から求まり、反射率は接合界面での両者の音響インピーダンスに依存します。したがって、接合界面内各点の反射率は、応力負荷による弾性率変化の影響を受ける

ものと考えられます。この特性を利用することで、図5の接合界面像を使用し、接合界面近傍の応力分布として出力することが期待できます。図7は、図5の接合界面像内の測定断面経路上について、反射波形の振幅分布を表したものです。接合界面内に分布差が確認できます。この分布差も熱応力によって生じたもので、超音波映像装置で迅速に取得することができる接合界面の全体像を使用し、接合界面の応力分布(面測定)へと応用ができます。

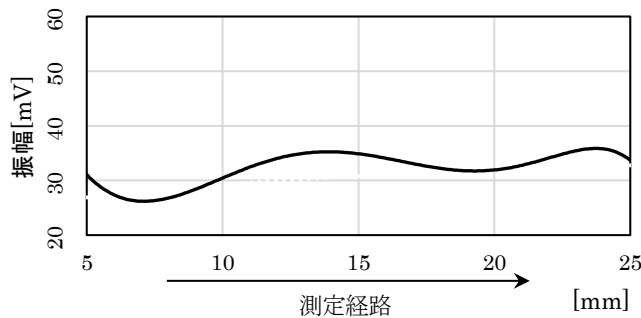


図7 接合界面内の反射波形振幅の分布

■ 特徴

超音波音弾性法および超音波映像装置を利用した応力測定法には、以下の特徴があります。

- ・非破壊での測定が可能
- ・伝搬音速が測定可能な板材であれば、材質を問わない
- ・スポット(点)測定だけでなく、全視野(面)測定も可能
- ・接合体に対し、接合界面近傍の測定が可能

また、超音波映像装置による $V(z)$ 測定(表面弾性波音速測定)を用いた応力測定についても報告があり、部門保有の装置で測定が可能です。

■ おわりに

主に探傷試験に利用する超音波映像装置での応力測定への取り組みについて紹介しました。今後の展開として、定量評価、測定精度の検証と向上、実用化に向けて取り組んでおります。ご興味のある方は、ぜひお気軽にお問い合わせください。

長野県工業技術総合センター
 精密・電子・航空技術部門 測定部 池田健次
 TEL:0266-23-4051 FAX:0266-23-9081
 E-Mail seimitsushiken@pref.nagano.lg.jp