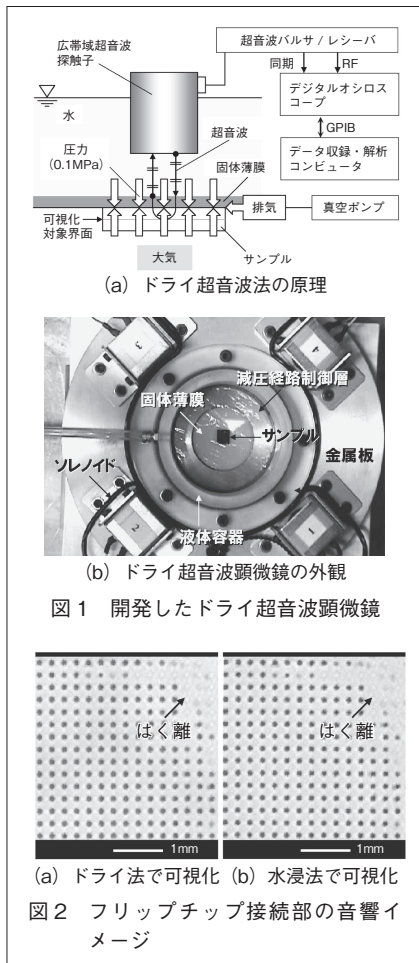


薄膜を通過する超音波を利用した 材料検査・評価

表1 計測した高分子薄膜の音響物性値

	Z (MNm ⁻³ s)	c (× 10 ⁻³ m/s)	ρ (× 10 ³ kg/m ³)
LDPE	1.89 ± 0.01	2.06 ± 0.03	0.92 ± 0.02
PVC	2.35 ± 0.01	1.75 ± 0.01	1.35 ± 0.02



(a) ドライ超音波法の原理

(b) ドライ超音波顕微鏡の外観

図1 開発したドライ超音波顕微鏡

(a) ドライ法で可視化 (b) 水浸法で可視化

図2 フリップチップ接続部の音響イメージ

1. はじめに

電子材料や電子デバイスをはじめとする先端微小構造物の非破壊検査・評価に、超音波顕微鏡／映像法が大いに利用されている。従来超音波法では、検査時にサンプルを水没させる必要があることから、その利用は電子デバイス等の検査においてしばしば制限されてきたが、最近、水とサンプルとの間に薄膜を介するドライコンタクト超音波法により、サンプルを水に濡らさずに高画質な内部音響イメージが収録できるようになってきている⁽¹⁾。

本稿では、サンプルの非水没下で実施するドライ手法を取り上げるとともに、この手法を応用した高分子薄膜の音響物性値取得⁽²⁾について紹介する。

2. ドライ超音波の原理と実例

ドライ超音波法の原理と開発したドライ超音波顕微鏡の外観を図1に示す⁽¹⁾。音響液体としての水とサンプルとの間に固体薄膜を挿入し、薄膜を介して超音波探触子により励起した高周波数超音波を送受信する。薄膜とサンプルとの間の空気は減圧経路制御層を介して真空ポンプによって排気される。ここで薄膜とサンプルとの間が減圧されたことで、同接触界面には約0.1MPaの圧力が作用するが、この圧力は超音波伝達時に薄膜／サンプル界面の変位連続性を満足させ、高効率に高周波数超音波を伝達するための重要な要件である。

たとえば、電子デバイス等で利用されるシリコンの音響インピーダンス（音速と密度の積）は水のそれと比較して大きく、水とシリコンの間には大きな音響不整合が存在するが、適切な音響インピーダンスを有する薄膜を挿入することでこの不整合は解消され、水からシリコンへ高効率に超音波を伝達できる。薄膜を介する場合の超音波透過率は周波数依存性を示し、送信超音波の1/4波長の膜厚に対して最大となる。これを利用して、挿入する薄膜を防水層としてのみならず、信号増幅や変調といった周波数フィルタとして活用できる期待もある⁽³⁾。

図2はフリップチップ接続したシリコンチップと基板との間の界面を、100MHz集束型超音波探触子を用いたドライ法 (a)、および従来水浸法 (b) で可視化したものである⁽⁴⁾。ドライ法では厚さ9 μ mのポリ塩化ビニリデン薄膜を用いており、この厚さは54.4MHz超音波の1/4波長に相当する。いずれもバンプ接続不良が明瞭に可視化できているが、検査時の探傷感度はドライ法が水浸法に比べて8dBも低かった。このことは、ドライ法のほうが水浸法に比べて高効率に超音波を送受信できたことを示している。

3. 高分子薄膜評価への応用

高分子薄膜の物性値は製造時のレオロジー履歴等によって大いに異なり、製造後の評価が重要である。多くの場合において高分子薄膜は膜単体として供試されるが、厚さが10 μ m程度以下で低密度の薄膜の物性値を取得するこ

とは大変困難である。

ドライ超音波顕微鏡法において、音響インピーダンスが高いタンゲステン⁽⁵⁾をサンプルとし、水とタンゲステン板との間に未知の高分子薄膜を挿入した超音波伝達系で観察した受信波形の振幅スペクトルと、薄膜を挿入しない場合のそれとを比較することで、薄膜の音響インピーダンス (Z)、音速 (c) および密度 (ρ) が高精度に計測できる⁽²⁾。この場合、高分子フィルムの音響インピーダンスは水とタンゲステン⁽⁵⁾の間にあるので、薄膜を介して受信される振幅スペクトルの強度は薄膜がない場合のそれよりも強い。

表1は音響共鳴を利用して計測した厚さ12.1 μ mの低密度ポリエチレン (LDPE) 薄膜および厚さ7.8 μ mのポリ塩化ビニル (PVC) 薄膜の Z , c , ρ であり、計測には50MHz非集束型超音波探触子を用いた。それぞれの薄膜から円筒を作製し、電子天秤を用いて正確に密度を測定したところ、LDPE および PVC 薄膜の密度は 0.91×10^3 , 1.34×10^3 kg/m³ であり、本手法による高分子薄膜の物性値計測精度が極めて高いことが確認された。

4. おわりに

非水没下で高分解能な超音波可視化が行えるドライ超音波法は、とくに先端材料・部品の検査に好適であり、適切な薄膜の利用により水没時よりも高品質な内部音響イメージを取得できる期待がある。また、従来困難であった極薄、低密度の高分子薄膜の音響物性値も高精度に計測できることを付記する。

(原稿受付 2008年10月1日)

[燈明泰成 東北大学]

●文献

- (1) Tohmyoh, H. and Saka, M., Dry-Contact Technique for High-Resolution Ultrasonic Imaging, *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr.*, 50-6 (2003), 661-667.
- (2) Tohmyoh, H., Imaizumi, T. and Saka, M., Acoustic Resonant Spectroscopy for Characterization of Thin Polymer Films, *Rev. Sci. Instrum.*, 77-10 (2006), 104901, 3pages.
- (3) Tohmyoh, H., Polymer Acoustic Matching Layer for Broadband Ultrasonic Applications, *J. Acoust. Soc. Am.*, 120-1 (2006), 31-34.
- (4) Tohmyoh, H. and Saka, M., Effective Transmission of High Frequency Ultrasound into a Silicon Chip through a Polymer Layer, *JSME Int J., Ser. A*, 47-3 (2004), 287-293.