

最近の技術から

超音波顕微鏡

石川 潔

日立建機(株)技術研究所 〒300 土浦市神立町 650

1. まえがき

超音波顕微鏡¹⁾は超音周波の超音波ビームをプローブとして用いて、物質の微小領域の弾性的な性質の変化を画像表示、あるいは計測することのできる装置である。

この装置を単なる画像観察装置としてとらえた場合には、光学顕微鏡とほぼ同程度の分解能が達成されているにすぎないが、それにもかかわらず超音波顕微鏡が最近話題になっている背景には、まず従来の顕微鏡に比べてはるかに物質の内部が観察できることができるとあげられる。つぎに、反射超音波の強度特性が工業計測に有益な情報を提供してくれることがだいに明らかになってきたからである。これに伴って、固体表面の音速や減衰、あるいは反射超音波の強度などを測定して、物質の表面の特性を評価しようとする手法が超音波顕微鏡の新しい応用分野として確立されるに至った。

ここでは、超音波顕微鏡を工業計測に利用して成功したと思われる二、三の例を紹介する。

2. 超音波顕微鏡の構成

反射型超音波顕微鏡の主要構成は図1に示すように、超音波の送受や集束を行なう音響レンズ部と試料あるいは音響レンズを2次元に高速で走査させる走査部ならびに画像表示部とから構成されている。受信信号電圧 $V(z)$ は音響レンズと試料との距離 Z に依存して変化し、その強度特性からは物質固有の周期をもった曲線が得られ、この周期から表面波の速度を求めることができる²⁾。

3. 物質の弾性的な性質の計測

表面波の速度の違いが画像コントラストにどのように反映するか調べたなかから、ケイ素鋼板の塑性変形領域を観察した結果を図2に示す³⁾。

試料は約6.5%の引張り変形を与えたのち、表面の凹凸を取り除くために鏡面に研磨した。結晶粒が明瞭に観察されるのは、おののの結晶の方位が研磨面に対して異なることによる弾性的な違いを反映しているか

らである。また結晶粒A内には双晶が観察されている。

一般に、双晶がそれと隣接した結晶粒界で停止したときには、その粒界近傍では高密度の転位が堆積するか、クラックが発生することはよく知られた現象である。このようなことを考え合せたとき、P点から結晶粒B内に発生しているコントラストは双晶ひずみを多重すべりなどによって徐々に緩和してゆく過程において生じた異方性や転位の周囲に析出した炭化物など、いわゆる Cottrell 雰囲気を画像としてとらえたものと考えている。

このように塑性変形領域の観察から、さらに進んで応力(ひずみ)計測の可能性も生れてきている。一般の金属材料など多結晶体に生じる応力を反映した超音波信号は、材料の異方性による散乱と重なってしまうので測定

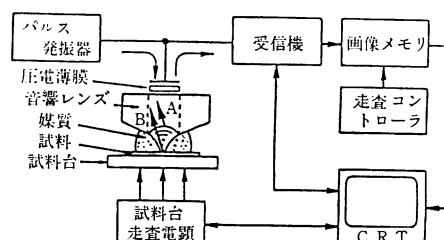


図1 反射型超音波顕微鏡の主要構成

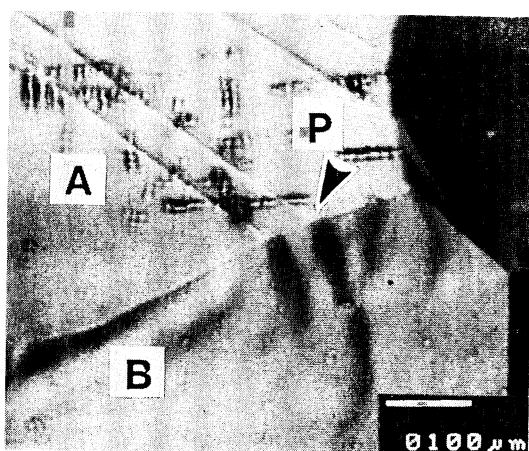


図2 6.5% 引張り変形をあたえたケイ素鋼板から得られた塑性変形領域を示す超音波顕微鏡像

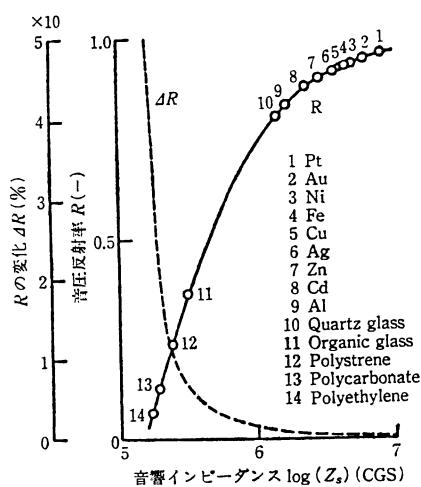


図3 物質の違いによる音圧反射率の変化

が難しい。これを除去する方法として応力被膜を用いた応力(ひずみ)計測が検討されている⁴⁾。

図3は物質の違いによる音圧反射率の変化を示したものである。図にみられる破線で示した曲線は試料の音響インピーダンスを仮想的に5%減少させた場合の音圧反射率の減少の割合である。このように、変形に伴う弾性的性質の変化を変圧反射率の差として検出できることができたことから、高分子膜を用いて円孔周辺部における音圧反射強度の二次元分布を測定した。その結果、薄膜に生ずる応力、とくに主応力和に対応した分布が得られることを確認して応力測定を可能にしている。

つぎに、気相法によって合成したダイヤモンド膜の機械的性質を調べた結果について述べる。ダイヤモンド膜の結晶構造と諸特性、とくに機械的・熱的性質とは深い関係があるので、表面波の速度の測定から機械的性質を解明して、ダイヤモンド膜の組織構造との関連を探ろうとすることが試みられている⁵⁾。

図4はCVD法を用いて、不純物ガス濃度の異なる条件で合成したダイヤモンド膜の表面波の速度を測定した結果である。ガス濃度の増加に伴って音速は減少し、その変化はガス濃度0.3~4%の範囲では、最大値の3%であったものが、濃度5%をすぎると9%まで減少することが見いだされ、両者の間には良い相関関係のあるこ

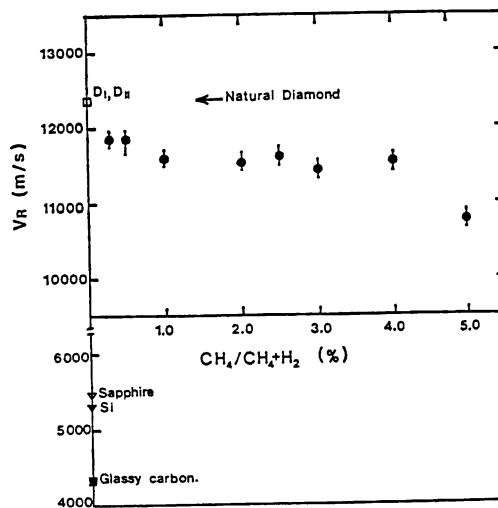


図4 ダイヤモンド膜の音速(メタン濃度依存性)

とがわかった。さらに、それぞれのダイヤモンド膜の比重を精度よく測定して音速=(弾性率/密度)^{1/2}の関係式から弾性率を求めてみると、弾性率はステップ状に変化しており、ラマンスペクトルや走査型電子顕微鏡から得られた組織変化とよく対応していることがわかった。

4. おわりに

本文では、固体材料の表面の評価に焦点を絞って述べたが、超音波顕微鏡はすでに半導体デバイスの不良解析、金属セラミックスの微小欠陥検出、加工表面の評価、高分子や生物分野にいたるまで広範囲にわたって利用されてきており、実用化への道を着実に歩んでいるということができる。

文 献

- 1) C. F. Quate, et al.: Proc. IEEE, 67 (1979) 1092.
- 2) R. D. Weglein: Appl. Phys. Lett., 34 (1979) 179.
- 3) 石川 潔, ほか: 非破壊検査, 36 (1987) 275.
- 4) 仙波卓弥, ほか: 日本機械学会第63期全国大会講演概要集 (1985) p. 49.
- 5) 畑智恵美, ほか: 第35回応用物理学関係連合講演会予稿集 (1988) p. 412.

(1988年6月1日受理)