



Title	相関法を用いた光音響信号のインパルス応答の測定とその解析
Author(s)	萩行, 正憲
Citation	大阪大学低温センターだより. 1987, 59, p. 4-6
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/8529
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

相関法を用いた光音響信号のインパルス 応答の測定とその解析

工学部 萩行正憲(吹田4667)

1. はじめに

光音響法とは光音響効果(Photoacoustic Effect)を利用した物性測定やセンシングのことである。¹⁾光音響効果とは、光を吸収した試料が熱を発生し、その熱が試料内を伝わってゆく過程で音波を発生する現象であるが、その発見は遠く電話の発明で有名なBellにまで溯る。。最近は、光学顕微鏡でレーザー光をミクロンオーダーまで絞り込み試料表面を走査し、光音響信号によるイメージングを行う光音響顕微鏡 (Photoacoustic Microscope — PAM) が、セラミックスや半導体の非破壊検査に応用できる可能性があることから盛んに研究されている。²⁾ 我々の研究室でも PAMのイメージ生成過程の基礎的な研究とともに、非破壊検査に応用する目的で PAMの研究を行っている。^{3,4)}

我々は熱の拡散過程を光音響信号のインパルス応答を測定することにより得、試料内部の情報を得る手法を確立したいのであるが、従来、固体における光音響信号のインパルス応答を解析した例は非常に少ない。とりわけ圧電素子を検出器として用いた場合は皆無である。最近、この点に関して、若干の成果を得ることができたのでここに紹介する。⁴⁾

2. 相関法とインパルス応答

系のインパルス応答を得る手段としては、パルス光励起の他に相互相関を利用する方法がある。これは次の数字的関係式に基づいている。今、 $F(t)$ と $G(t)$ をそれぞれ時間 t における線形システムに対する外力とその応答とする。もし、 $F(t)$ が時間 t のランダム関数ならば F と G の相互相関が系のインパルス応答を与える。光音響系の場合、 F はレーザー光、 G は光音響信号である。相互相関法はパルス励起法に比べて試料に与えるダメージが小さい等のメリットがある。図1に相関法を応用したPAMのブロック図を示す。ラ

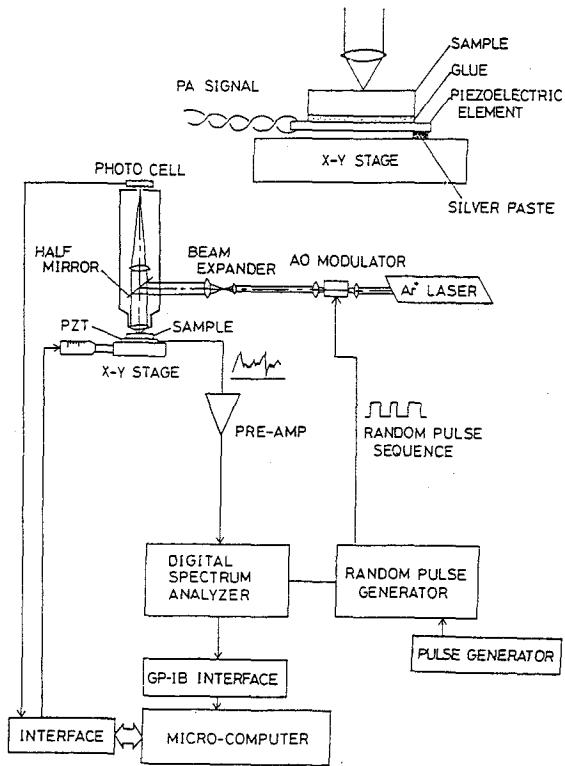


図1 相関PAMのブロック図

ノダム光は音響光学素子でレーザー光に変調をかけることによって得、スペクトラムアナライザーでインパルス応答を計算している。また、試料はX-Yステージに固定されており、1ミクロンの精度で移動できるようになっている。圧電素子は試料の裏側に接着され、自由に伸縮できるように端の一点で試料台に接着されている。本装置の時間分解能はスペクトラムアナライザーの性能で決っており、約5μsecである。

3. 光音響信号のインパルス応答とその解析

アルミニウムでできたくさび型試料のインパルス応答を、レーザー光の照射位置を変えて測定した結果を図2に示す。図中の数字は照射位置における試料の厚さである。応答はマイナスから立ち上がり、ゼロをよぎってプラスになり、徐々に減衰してゆく。ゼロをよぎる時間は試料厚が厚い場所ほど遅くなっている。この結果は図3に示されるように、試料と圧電素子の歪みの時間変化を考慮する事によって説明できる。即ち、試料が励起された直後は、熱は試料表面に局在しており、曲げが支配的で圧電素子は縮む(a)。時間が経過するとともに熱は試料内部に拡散し、伸びが支配的になり圧電素子は伸びる(b)。この圧電素子の縮みと伸びがそれぞれ信号にマイナスとプラスの寄与をする結果、信号がゼロをよぎる時間 τ_0 が、温度分布が厚さ方向に一様になるまでに要する時間の目安を与える。このような考え方で、試料内の熱分布の時間依存性を求め、圧電素子からの信号を計算すると図3(上)のようになる。 τ_0 は、試料の密度、比熱、熱伝導係数、厚さをそれぞれ ρ 、 C 、 κ 、 t とすると

$$\tau_0 = 9.20 \times 10^{-2} t^2 \rho C / \kappa$$

で与えられる。図4は、試料厚と信号がゼロをよぎる時間との関係をプロットしたもので、実験点(丸印)とアルミニウムの物性定数を用いて計算した結果(実線)は良く一致している。この結果から逆に、インパルス応答の測定により、試料の熱的物性定数を求めることが出来るのがわかる。

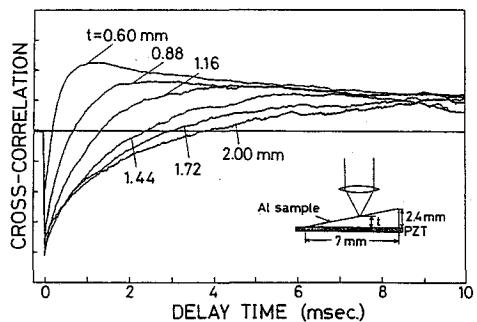


図2 くさび型アルミニウム試料のインパルス応答

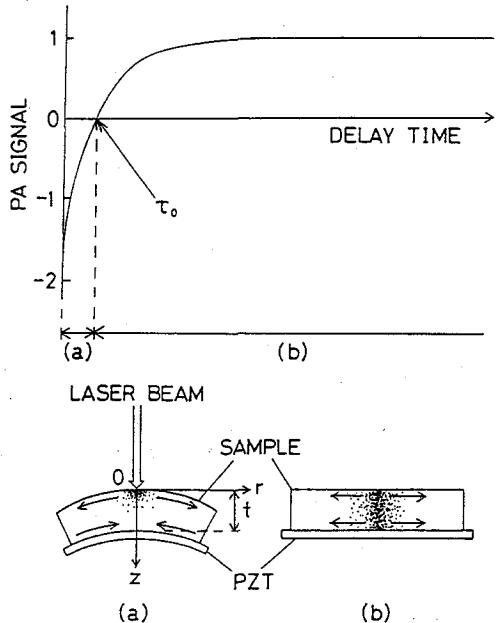


図3 パルス光照射後の試料及び圧電素子の歪み(下)と光音響信号のインパルス応答(上)

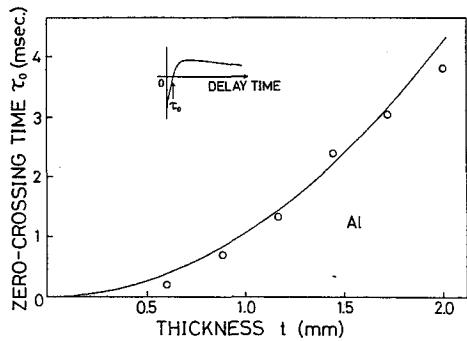


図4 インパルスの応答がゼロをよぎる時間を試料厚さの関数としてプロットしたもの(白丸が実験、実線が理論)

次に、インパルス応答の照射位置依存性を利用して試料内部の傷の検出を行った例を図5に示す。試料はアルミニウムで、人工的に挿入図に示されるようなクラックを作つてある。照射位置をSからEにずらしてゆくと、クラックに近づくにつれて信号がゼロをよぎる時間が長くなる。これは、クラックで熱波が反射される為に、厚さ方向に温度分布が一様になる時間が遅れる為である。

4. おわりに

光音響信号のインパルス応答を相関法を利用して測定する為の装置と、得られたインパルス応答がどのように解釈できるか、どのような物理量と関係しているのかを簡単に紹介した。これまでの測定は、室温で行っていたが、圧電素子は低温でも特別な工夫もなく使用できるので、今後、図1の装置に窒素ガスの断熱膨張を利用した小型冷却器を組みこんで、低温での測定を行う予定である。

参考文献

- 1) 沢田嗣郎編：光音響分光法とその応用—P A S、学会出版センター (1982).
- 2) 沢田嗣郎、笠井正信：分光研究 33 (1984) 307.
- 3) M. Hangyo, S. Nakashima, S. Sugimoto, T. Yamaguchi and A. Mitsuishi: Jpn.J.Appl. Phys. 25 (1986) 376.
- 4) 萩行正憲、中島信一：非破壊検査 36、10月号に掲載予定.

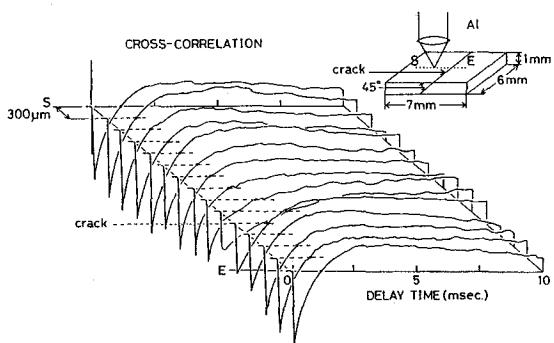


図5 クラックが入ったアルミニウムモデル試料の一次元相関PAM像