

電子部品モールド樹脂中の空隙検知の研究

奥谷潤* 米澤保人* 筒口善央*

電子部品の中でも樹脂によってモールドされるパワーデバイスには、樹脂中にできた空隙が原因となって、使用中に故障し、事故につながる恐れがある。そのため、この空隙を検知することは、電子部品の信頼性を保証する上で重要である。本研究では、空隙を安全かつ簡便に検知する方法として超音響顕微鏡を検討した。疑似空隙を測定した実験結果から、検知できたのは、測定面から空隙までの距離が 0.5mm であり、分解能は 0.2mm 以下であった。また、レーザ照射径を拡大することによって、異なる材料が混在する試料における測定を改善できることが分かった。

キーワード：電子部品，モールド樹脂，空隙，非破壊検査，超音響顕微鏡

Research on the Method of Detecting Void in Resin for Molding Electronic Parts

Jun OKUTANI, Yasuto YONEZAWA and Yoshiteru DOHGUCHI

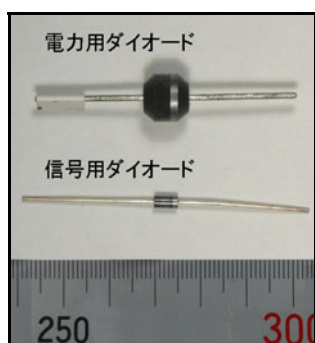
The voids generated in power devices molded with resin may cause failure of the devices. It is, therefore, important to detect voids in resin to improve the dependability of electronic parts. In this study, a scanning photoacoustic microscope was investigated as a method for detecting the voids safely and easily. The measurement performance for the void location and the measurement speed were examined. The microscope could detect artificial void when the depth from the surface to the void was 0.5mm at maximum, and the resolution was 0.2mm or lower. In addition, it was confirmed that measurement performance for specimens made of different materials could be improved by enlarging the diameter of laser irradiation.

Keywords: electronic parts, power devices, molding resin, void, non-destructive testing, scanning photoacoustic microscope

1. 緒言

電子部品のうち、電力変換用、電力制御用の半導体デバイスは、信号用の半導体デバイスと比較して、高耐圧・大電流などに対応しており、パワーデバイスと呼ばれる。このデバイスは、エアコンや列車、自動車などに使用され、大量に生産される一方、一つ一つに高い信頼性が求められる。図 1 にパワーデバイスである電力用ダイ

オードと信号用ダイオードを示す。比較的大きな半導体部分を保護するため、パワーデバイスは、信号用のものよりも多量の樹脂によって封止(モールド)されている。特に半導体部分近傍のモールド樹脂に空隙が存在すると、温度上昇などによって接合部のはんだが染みだし、短絡などによってパワーデバイスが故障し、搭載された製品の発火事故などにつながる恐れがある。一般にモールド樹脂は黒色であるため、内部に存在する空隙を外観検査によって発見することは不可能である。図 2 にパワーデバイスに存在する空隙の例を示す。同図左は電力用ダイオードのモールド樹脂部分のエックス線透過像であり、色が濃いほどエックス線の吸収が強い。外周の色が薄い



上：パワーデバイス(電力用ダイオード)

下：信号用ダイオード

図1 ダイオードの例

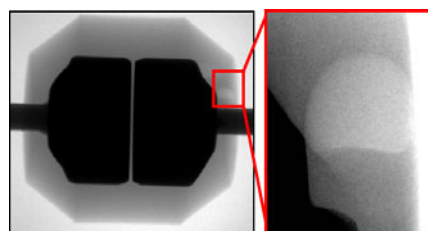


図2 エックス線透過による空隙検知の例

八角形に見える部分がエックス線吸収の弱いモールド樹脂であり，その中の黒い部分は電極などの金属部分である。右図は左図のモールド樹脂の一部を拡大したものであり，中央付近にある吸収の弱い色の薄い部分がモールド樹脂中の空隙である。現状では，エックス線透過試験などによって，ある程度の大きさの空隙であれば検知可能であるが，エックス線透過のような装置は大掛かりで危険性が高く，検査時間が長いといった問題もあるため，生産現場において使用されにくい。そのため，エックス線に代わる検査方法が求められている。

本研究では，生産現場においてモールド樹脂の空隙を安全かつ簡便に探知できる省スペースな検査方法として光音響顕微鏡 (Scanning Photoacoustic Microscope; SPAM)¹⁾を検討した。

2. 実験方法

2.1 装置

光音響顕微鏡は，密閉した試料に断続光を照射すると音波が発生するという光音響効果²⁾を応用した装置である。図3に原理図を示す。光源(レーザ)からの光を変調・集光し，光音響セル内に密閉された試料に照射する。セル内の試料が光を断続的に吸収すると光音響信号(音波)が発生するため，これをマイクロホンによって検出する。発生した熱は試料内部に拡散するため，光が当たる表面だけでなく，試料内部の情報も得ることができる。加えて，レーザ光照射位置を2次元的に走査しながら複数点を測定することで，内部構造のイメージングが可能になる。固体試料に発生する光音響信号は，RG理論³⁾により，空隙のある箇所は，空隙のない箇所と比較して，位相はより遅れ，振幅は強くなる⁴⁾とされている。

図4に本研究で使用した光音響顕微鏡の構成を示す。実験には，金沢工業大学工学部得永研究室が構築した装置を使用した。光音響セルはアルミニウム製で，上面か



図3 光音響顕微鏡の原理

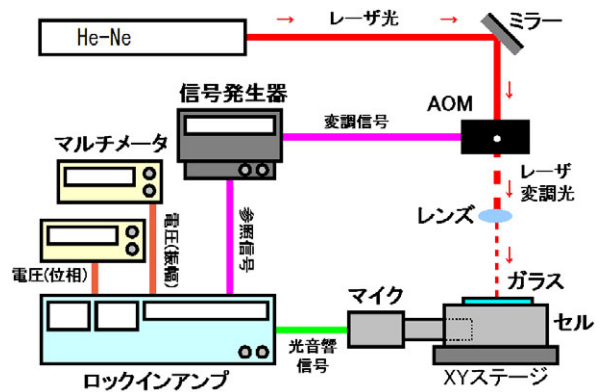


図4 光音響顕微鏡(SPAM)の構成

ら試料投入用穴(約 縦 18mm×横 20mm×深さ 12mm)，側面からマイクロホン挿入用穴(約 13mm×奥行 20mm)を開け，2つの穴を1mmの孔によってつないだ。試料投入用穴の内側は，光の乱反射などを軽減するため，黒色に着色した。試料投入後，上面の穴は，スライドガラスと真空グリスを使用して密閉し，発生する光音響信号の漏洩を防止した。He-Ne レーザ(波長 632.8nm，Spectra-Physics 社製 model127)からの光は，信号発生器(NF 社製 1946)をもちいて制御した AOM(Acoustic Optical Modulator; 音響光学素子，HOYA 社製 A100)によって 2.5~20Hz の正弦波に変調した。また，レーザ光は，最終的にレンズを通して試料表面に集光した。光音響信号は，マイクロホン(RION 社製 UC-52)によって取得し，ロックインアンプ(NF 社製 LI-574A)に入力した。ロックインアンプには，信号発生器からの変調周波数の参照信号を入力し，光音響信号の位相ずれ，並びに振幅強度に比例して出力される出力電圧をデジタルマルチメータ(ADVANTEST 社製 R6452A)2台によって，それぞれ測定した。1箇所を測定するごとにセルを乗せた XY ステージを移動させ，試料表面を2次元走査した。表計算ソフトをもちいて位相と振幅の測定データからそれぞれの SPAM 像を表示した。

2.2 測定試料

パワーデバイスに存在する実際の空隙は，測定面から空隙までの距離や形状が明確でない。そのため，空隙測定用の試料として，形状が明らかな疑似空隙試料を作製した。実験に使用した測定試料の外観を図5に示す。(a)は測定面，(b)は金属ヒートシンクのある裏面である。(c)の上図は試料を横にしたときの断面模式図であり，下図は疑似空隙箇所を拡大した図である。NC フライス盤を使用して，市販のパワーデバイスのモールド樹脂部

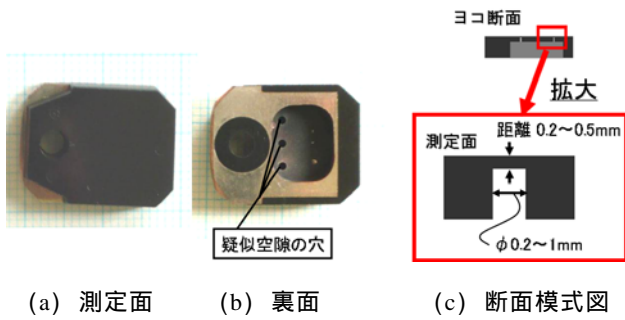


図5 疑似空隙試料の外観

分の裏面から図5(c)のように加工した。

疑似空隙の寸法は、直径 0.2~1mm、測定面から空隙までの距離を 0.2~0.5mm にした。また、光を照射する面は、メーカー名・型番などの印字からの影響をなくするため、粒径 1 μ m の砥粒で研磨した。なお、直径 0.2mm は、加工可能な最小の直径であった。

3. 実験結果と考察

3.1 レーザ光照射径

光音響顕微鏡によって疑似空隙が観察できることを確認するため、空隙までの距離が最も小さく、直径が最も大きな疑似空隙試料(空隙までの距離 0.2mm、空隙直径 1mm)の測定を試みた。変調周波数 10Hz、測定間隔 0.2mm で測定したときの SPAM 像を図6に示す。位相像の位相ずれは、ロックインアンプの位相出力電圧を位相に換算して表示した。振幅像は、出力電圧をそのまま表示した。疑似空隙のある箇所は点線で示した。位相像の疑似空隙のある箇所に位相の遅れが見えたことから疑似空隙を検知できたと考えられる。しかし、はっきりと円形に疑似空隙を確認することはできなかった。

原因を調べるため、光学顕微鏡により疑似空隙試料の測定面を観察した。図7に測定面の光学顕微鏡像を示す。一般的なモールド樹脂はフィラー(シリカ粉末)をエポキシ樹脂で固めており、疑似空隙試料でも試料表面にフィ

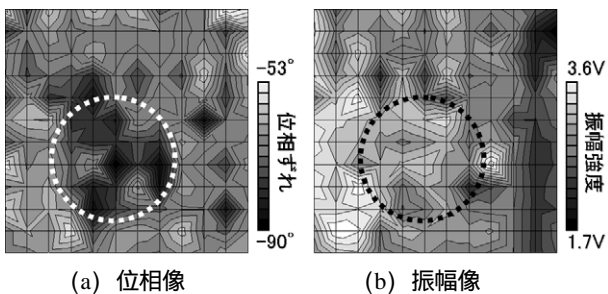


図6 疑似空隙試料の SPAM 像

空隙条件： 1mm、距離 0.2mm
測定条件：周波数 10Hz、間隔 0.2mm

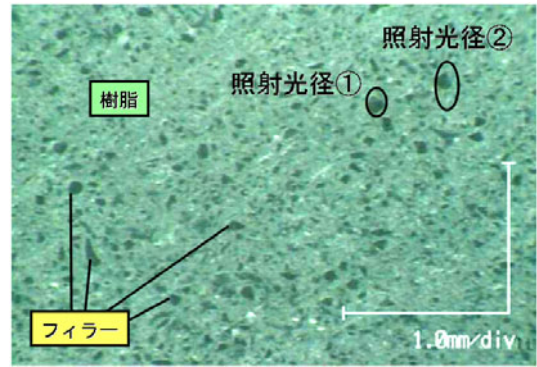


図7 測定面の光学顕微鏡像

(右上：照射光径 ①、②のレーザ光出力の半値幅境界)

ラーの粒が点在するのが観察できた。レーザ光照射径を測定したところ、表1の照射光径の大きさであった。図7の右上にレーザ光照射径の半値幅境界線を楕円で示す。フィラーと樹脂では光吸収や熱伝導率などの特性が異なり、レーザ光照射径が小さな場合、測定箇所によっては光音響信号出力が異なることが考えられる。測定面には照射光径と同程度の大きさのフィラーもあり、SPAM 像のむらの原因と考えられる。そこで、試料をレンズから遠ざけることにより、照射光径を表1の照射光径に拡大させて光の吸収を均一にし、SPAM 像のむらを軽減するよう試みた。図7の右上、照射光径の右隣にレーザ光照射径の半値幅境界線を示す。図8に照射光径を拡大して(照射光径②)、図6と同じ試料を同じ条件にて測定した SPAM 像を示す。図8から、変更前(照射径①)よりも空隙をはっきりと円形に観察できるようになった。このことから、樹脂と特性が異なり、大き

表1 照射光径の条件

	レーザ光出力の半値幅	
	縦	横
照射光径	0.15 mm	0.10 mm
照射光径	0.25 mm	0.12 mm

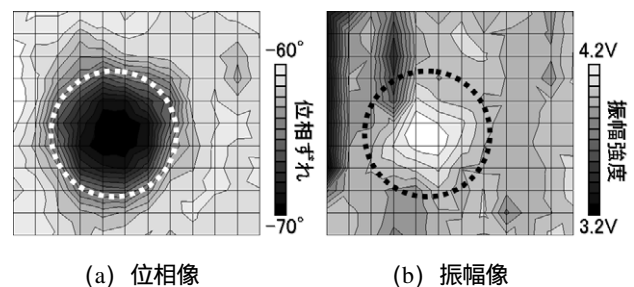


図8 照射光径拡大の効果

さが照射光径程度のフィラーが混在するモールド樹脂のような材質の空隙の SPAM 像は、レーザ光照射径をフィラーより拡大することで、より明瞭にできることが分かった。

3.2 最大検知距離

ここでは、検知可能な最大の疑似空隙までの距離を調べるため、空隙までの距離を変化させて SPAM 像を観察することによって実験的に調べるとともに、熱拡散長をシミュレーションすることによって検知可能な空隙までの距離を理論的に調べる。

3.2.1 SPAM 像による推定

検知可能な最大の疑似空隙までの距離を調べるため、空隙直径を 1mm に固定し、空隙までの距離を 0.2, 0.3, 0.5mm に変化させ、変調周波数 5Hz, 測定間隔 0.2mm で測定したときの SPAM 像を図 9 に示す。空隙までの距離が 0.5mm までの疑似空隙が位相像において検知できたと考えられる。

3.2.2 検知可能距離シミュレーション

光音響顕微鏡において、検知可能な疑似空隙までの距離は、光を吸収して発生した熱が試料内を伝搬する距離に関係すると考えられる⁵⁾。光音響顕微鏡で検知可能な空隙までの距離を次式の熱拡散長(μ)から計算した。

$$\mu = \sqrt{2k/(\rho \times c)/2\pi f} \quad \dots (1)$$

ここで、 μ : 熱拡散長(m), k : 熱伝導率(W/(m·K)), ρ : 密度(kg/m³), c : 比熱(J/(kg·K)), f : 変調周波数(Hz)である。式(1)から変調周波数が小さいほど、熱拡散長が大きくなることが分かる。計算にもちいた物性値を表 2 に示す。密度 ρ 、並びに比熱 c は、表 3 に示す各材料の物性値をもちいてモールド樹脂の一般的な組成である、フィラー 7:樹脂 3の体積比⁶⁾で計算した。熱拡散長の周波数依存性をシミュレーションした結果を図 10 に示す。縦軸は熱拡散長(mm)、横軸は変調周波数(Hz)である。熱伝導率 k の値には幅があるので、 $k=2$ と $k=4$ の場合を計算した。

図 10 には、実験による検知結果を表示した。○は検知可能だった条件、●は検知できなかった条件である。シミュレーション曲線より、短い距離であれば検知しやすいということになる。測定結果との比較から図 10 では、 $k=4$ をもちいたシミュレーション曲線付近を検知可

表2 モールド樹脂の物性値(推定)

	モールド樹脂 (フィラー 7:樹脂 3) ⁶⁾
(kg/m ³)	1730
c (J/(kg·K))	820
k (W/(m·K))	2~4 ⁷⁾

表3 フィラーと樹脂の物性値

	フィラー(シリカ)	エポキシ樹脂
(kg/m ³)	2210	1150
c (J/(kg·K))	720	1046

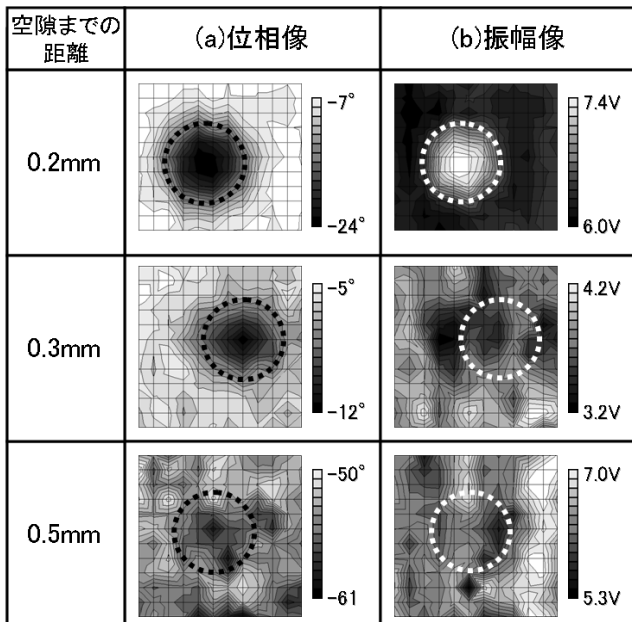


図9 空隙までの距離を変化させたときのSPAM像

空隙条件: 1mm
測定条件: 周波数 5Hz, 間隔 0.2mm

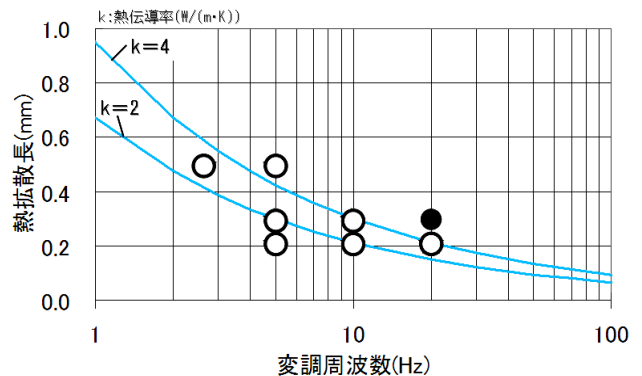
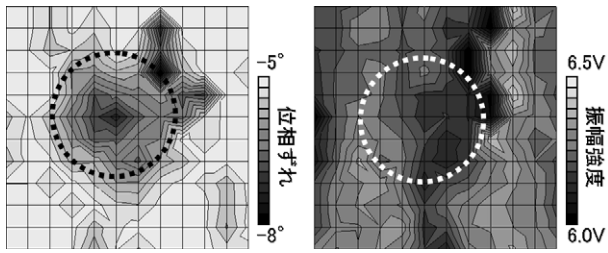


図10 熱拡散長の推算と実験結果

(○: 検知可能, ●: 検知不可)



(a) 位相像 (b) 振幅像
 図 11 変調周波数 2.5Hz のときの SPAM 像
 (空隙条件: 1mm, 距離 0.5mm)
 (測定条件: 周波数 2.5Hz, 間隔 0.2mm)

能限界とするのが妥当と考えられる。図 11 に変調周波数 2.5Hz で空隙までの距離 0.5mm の疑似空隙試料を測定間隔 0.2mm で測定したときの SPAM 像を示す。位相像において、図 9 の空隙までの距離 0.5mm のときの位相像よりも疑似空隙がはっきりと検知できている。このことから、さらに変調周波数を下げることができれば、検知距離は長くなると考えられる。

3.3 分解能

空隙までの距離と分解能の関係を知るため、加工可能な最小の直径 0.2mm, 空隙までの距離 0.2, 0.3, 0.5mm の疑似空隙試料において、変調周波数 4Hz, 測定間隔 0.1mm で測定したときの SPAM 像を図 12 に示す。最小直径疑似空隙を位相像において空隙までの距離が 0.3mm まで検知できた。加工能力の制限から直径 0.2mm 未満の疑似空隙の測定は実施していないが、この結果から本装置の分解能は 0.2mm 以下であると考えられる。

3.4 測定時間短縮シミュレーション

実際の利用では、これまで示したような空隙の形状を知る必要はなく、空隙の有無が判断できれば良い。レーザー光照射径を拡大しても空隙が検知可能だったことから、さらにレーザー光照射径を拡大することで、測定点を減らして短時間に空隙を検知できる可能性について、これまでの測定データの値(空隙までの距離 0.2mm, 空隙直径 1mm, 変調周波数 10Hz, 測定間隔 0.2mm の疑似空隙測定結果)を基にシミュレーションをおこなった。測定点のうち、近接する 4 個, 9 個, 16 個のデータのベクトル和から平均値をもとめ、照射光拡大時の各測定点における光音響信号の位相ずれ, 振幅強度を算出し, SPAM 像を表示した。シミュレーションした結果を図 13 に示す。同図の最上段は実験における測定結果である。近接する

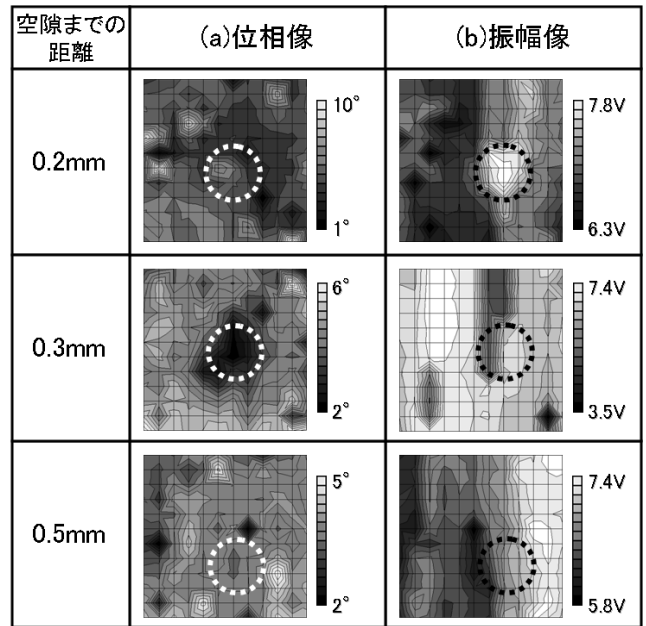


図 12 空隙までの距離を変化させたときの SPAM 像
 (空隙条件: 0.2mm)
 (測定条件: 周波数 4Hz, 間隔 0.1mm)

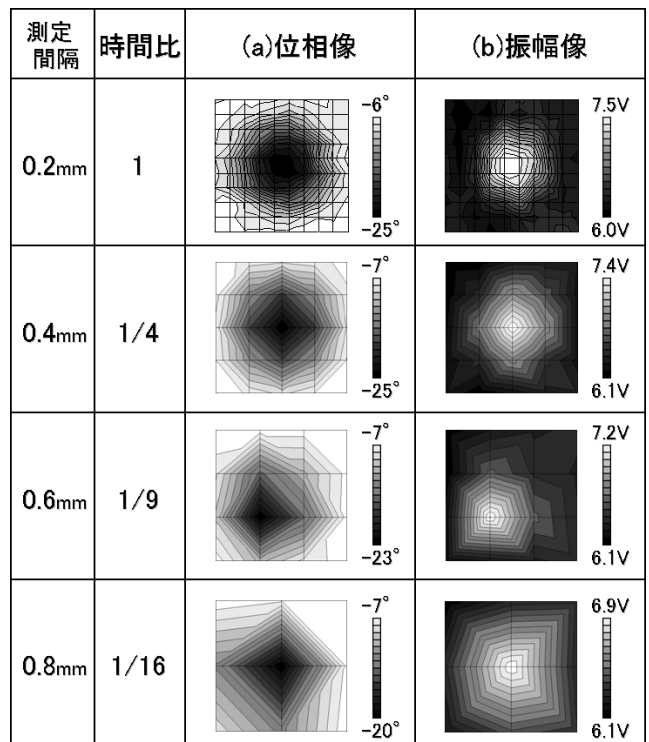


図 13 測定時間短縮シミュレーション
 (空隙条件: 1mm, 距離 0.2mm)
 (測定条件: 周波数 10Hz)

データを 4 個, 9 個, 16 個もちいてシミュレーションすることで、測定間隔は、0.2mm から、それぞれ 0.4mm, 0.6mm, 0.8mm に広げたことになると考えられる。実際

の実験における測定時間を 1 として、レーザ光照射径を拡大したときの測定時間短縮比、並びに測定点を減らした場合のシミュレーションによるそれぞれの SPAM 像を同図に示す。レーザ光照射径をさらに拡大しても、空隙が検知可能であることから、測定時間が短縮できる可能性が示されたと考えられる。また、レーザ光は円形だけでなく、ラインレーザに変更することでも短縮化が可能であると考えられる。

4. 結 言

モールド樹脂の空隙を検知する方法として光音響顕微鏡の利用について検討し、以下の結論を得た。

(1) 樹脂と異なる特性のフィラーが存在するモールド樹脂のような材質の空隙の SPAM 像は、レーザ光照射径をフィラーより拡大することで、より明瞭にできることが分かった。

(2) 本装置による検知可能な疑似空隙は、測定面からの最大距離が 0.5mm であり、分解能は 0.2mm 以下であった。また、熱拡散長による検知可能距離シミュレーションと実験結果に矛盾はなかった。

周波数をさらに下げることさらに深い位置の空隙を検知できると考えられる。

(3) レーザ光照射径拡大による測定時間の短縮化をシミュレーションした結果、その有効性が確認できた。

謝 辞

本研究に御協力いただいた金沢工業大学工学部教授得永嘉昭氏、並びに得永研究室の諸氏に感謝します。

参考文献

- 1) 沢田嗣郎. 日本分光学会測定シリーズ 1 光音響分光法とその応用 - PAS. (株)学会出版センター. 1982, p182.
- 2) A.G.Bell. Am.J.Sci., 20. 305. 1880.
- 3) A.Rosencwaig and A.Gersho. J.Appl.Phys. 47. 1976. p64
- 4) 南出章幸. 簡易型光音響顕微鏡システムの開発とその物質工学への応用. 博士学位論文. 2001, p132-138.
- 5) 南出章幸. 簡易型光音響顕微鏡システムの開発とその物質工学への応用. 博士学位論文. 2001, p27-33.
- 6) エレクトロニクス実装技術 2008.5 no.276. 技術調査会, 2008.
- 7) 京セラケミカル(株). パワーデバイス用モールド樹脂. 2005.