

表面弾性波の干渉を利用した微細粒子のトラッピング

Trapping of Fine Particles by Using Interference of Surface Acoustic Waves

プロジェクト代表者：加藤 寛 (理工学研究科 人間支援・生産科学部門 教授)

Hiroshi KATO (Professor, Division of Mechanical Science and Engineering,
Graduate School of Science and Engineering)

1 緒言

近年, MEMS(Micro Electro Mechanical System)に関して多くの研究がなされているが, MEMS を構成する部品は微小であり, その加工, 製作に当たって微小物体を精密に位置制御する技術が必要となる.

現在, 微小物体の位置制御, マニピュレーション技術としては, レーザー光を用いて細胞や粒子等をトラッピングするレーザートラッピング法[1]や, 走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いた電荷トラッピング[2]などが知られている. しかし, レーザートラッピング法ではレーザー光を透過させるために透明な媒体を必要とする. また, STM 法では静電気力や電磁気力を用いるため, 磁性体や誘電体には応用できない. これに対し, 超音波の干渉を利用して微小物体の位置制御を行なうための技術の開発が進められており, これに関する報告[3]~[5]もすでになされている. これらは水中などの媒体中を伝播する超音波の重ね合わせを利用しているが, 本研究で

は, 表面弾性波の干渉により出現させた定在干渉波を利用して, 微小粒子の位置制御を行なわせるための技術の開発を目的としている. そこで, まず, 表面弾性波の重なりによる定在干渉波の発生を確認し, 次いで, 定在干渉波による微小粉末の縞状分布の観察を試みることにした.

2 実験方法

2.1 表面弾性波の発生及び減衰測定

表面弾性波の発生方法には幾つかの方法があり, 例えば, 表面弾性波発生用の接触型探触子も市販されている. また, 物体表面にくし型電気回路を描き, 直接, 表面弾性波を発生させる方法も実用的に用いられている. 本研究では, 以下の方法により表面弾性波を発生させた. すなわち, 水中にある物体の表面に, 入射角度 30° で超音波を入射させると, Snell の法則により物体表面近傍を伝播する表面弾性波が生じる. そこで, 試験片の面法線方向から 30° 傾

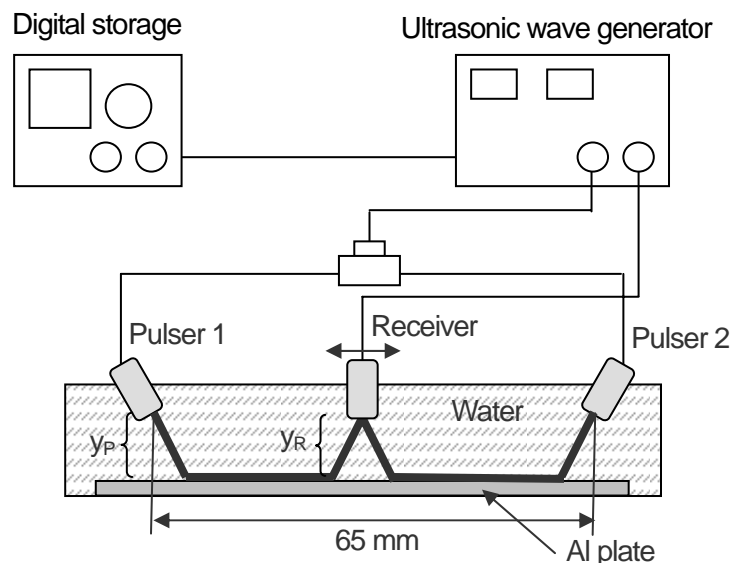


Fig. 1 Setup for generating standing interference wave.

けて発信子（発信周波数 5 MHz, 非集束型）を配置し、発信させた。これにより、試験片表面に表面弾性波が発生・伝播していった。試験片表面からの高さを変えて受信子（発信周波数 5 MHz, 非集束型）を移動して、音圧分布を測定した。なお、受信子の移動は 0.0525 mm 単位で行なった。

次いで、Fig. 1 に示すように、2 個の発信子を対向する方向に配置し、逆向きに表面弾性波を発生・伝播させて重ねあわせ、定在干渉波を生じさせ。受信子を種々の高さで移動して音圧分布を測定した。

2.2 定在干渉波に従う微小粒子の周期的分布の観察

まず、平均粒径 0.06 μm のアルミナ粒子を水中で攪拌して、ポリティ A550 で分散させたものを用意した。次いで、Fig. 2 に概要図を示すように、2 個の発信子を対向させて配置し、発信させた。定在干渉波が発生していると思われる中央部付近に、ピペットでアルミナ粒子を含む液体を注入した。この操作を実体顕微鏡の下で行い、超音波発信の前後でアルミナ粒子の分布を撮影した。

3 結果及び考察

3.1 表面弾性波の音圧分布に及ぼす測定位置の影響

Fig. 3 に、表面弾性波を干渉させた場合の、音圧分布を示す。その結果、表面弾性波が Al 合金平板上を伝播する場合の波長の半分（約 0.3mm）の周期を持つ正弦波状振幅分布を生じることが分かったが、測定位置 (Y_R) が高くなるに従って、音圧は高くなった。これは、水中を伝播する際の減衰を考慮すると、予想とは逆の結果であった。

そこで、表面弾性波の伝播に伴う音圧の変化を測定した結果、Fig. 4 に示すように、伝播距離が長くなるに従って、表面弾性波の強度は指数関数的に減衰していった。これに対し、受信子の高さを変化して音圧変化を測定した場合、測定範囲内（試験片表面～高さ 30 mm 程度）でほぼ一定となった。この結果より、表面弾性波が固体表面を伝播していく場

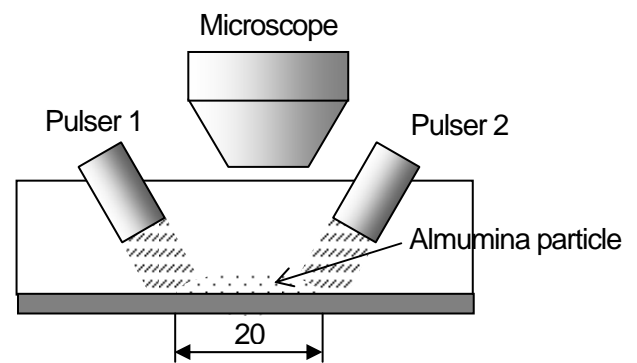


Fig. 2 Setup for distribution of alumina particles under cyclic distribution of sound pressure of SAW.

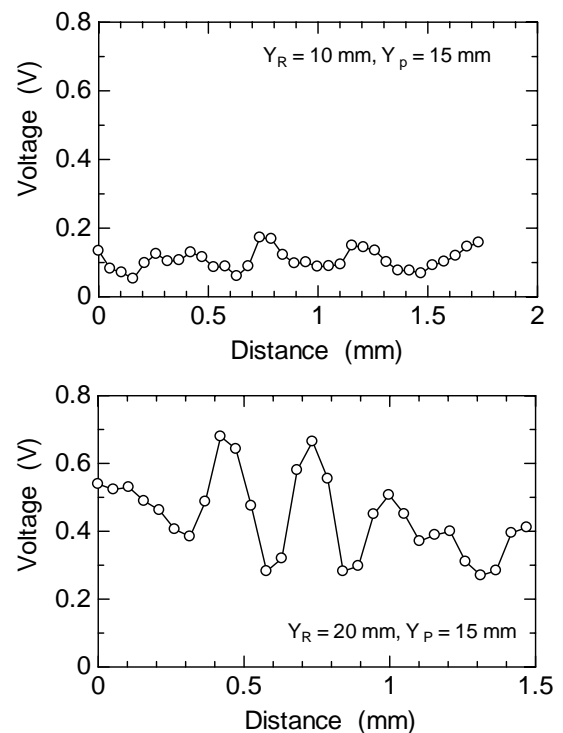


Fig. 3 Pressure distribution of SAW along specimen surface at different height Y_R .

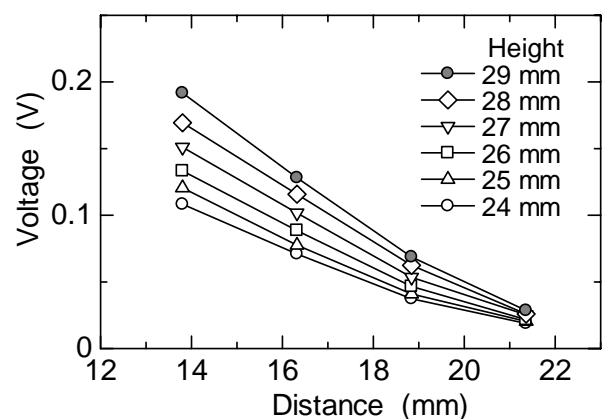


Fig. 4 Change in peak intensity of SAW with propagation distance.

合の減衰は、水中を伝播する縦波の減衰に比べて非常に大きいことがわかった。この結果を受けて、水中を伝播する縦波の減衰を無視し、表面弾性波の減衰のみを考慮して、試験片表面からの高さを変えて測定した結果を比較した結果、Fig. 5 に示すように、測定高さを変化した場合の音圧分布（図中○）は、受信子を試験片に沿って水平に移動して測定した音圧分布（図中●）とよく一致した。

以上の測定結果より、固体表面を表面弾性波として伝播する場合は、超音波が水中を伝播する場合に比べて非常に大きく減衰する事がわかった。

3.2 定在干渉波の下での微小粒子の分布

Fig. 6 (a)に、表面弾性波を干渉させて定在干渉波を生じさせた領域にアルミナ粒子を投入した場合のアルミナ粒子の分散状況を示す。分散剤を用いたにもかかわらず、アルミナ粒子は凝集して塊状となったものが多く、明確な分布が観察されなかった。そこで、超音波発信の前後の画像の差を取り、凝集していないアルミナ粒子の分布状況を観察した結果をFig. 6 (b)に示すが、やはりアルミナ粒子は明確に縞状分布を示さなかった。

表面弾性波の干渉によりアルミナ粒子の縞状分布が観察されなかったことから、超音波による音圧が不十分であったものと考え、更に音圧の高い状況で超音波干渉による微小粒子の分散を観察した。すなわち、超音波が試験片表面に入射すると、その多くは表面で反射される。そこで、相対する発信子の表面反射波を水面近傍で干渉させ、定在干渉波を生じさせ、水面に浮遊させた微小粒子の分布を観察した。微小粒子として小麦粉を用い、測定した結果をFig. 7 に示すが、小麦粉の縞状分布は観察されなかった。

以上の結果、表面弾性波並びに反射縦波を干渉させて生じさせた定在干渉波による微小粒子の縞状分布は観察されなかった。今後は、超音波探触子からの発信波を直接対向させて干渉させ、得られた定在干渉波により微小粒子が縞状分布を形成する状況を観察していく。

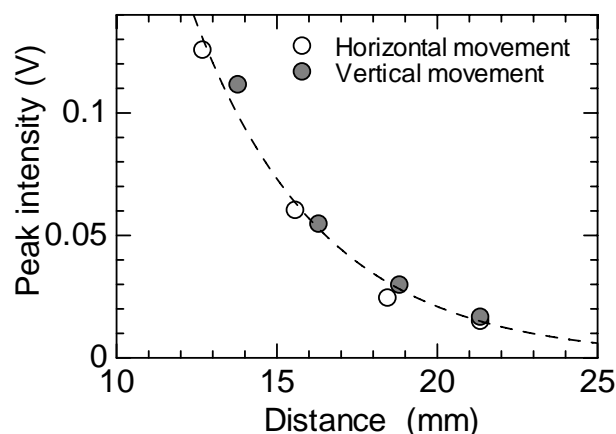


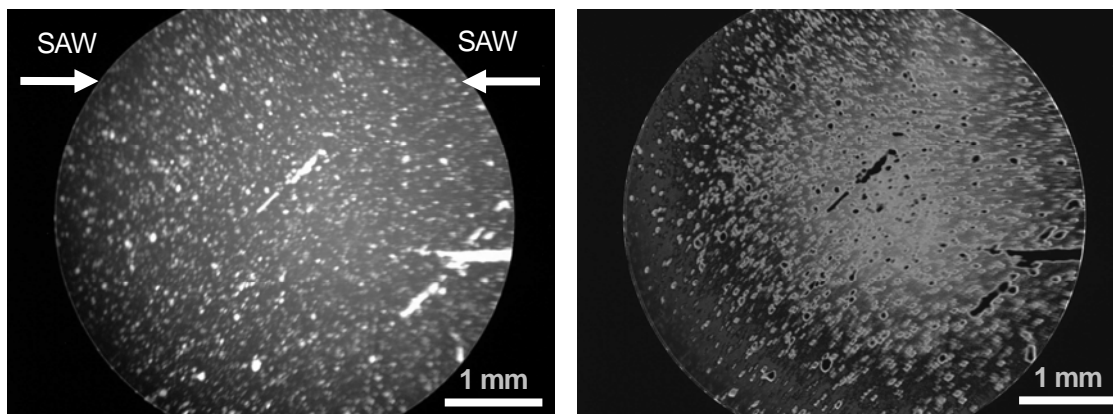
Fig. 5 Comparison of peak intensity of SAW obtained under different measurement directions.

4 結言

1. 表面弾性波が固体表面を伝播するに従って減衰していくが、この減衰は水中を伝播する縦波の減衰に比べてかなり大きいことが分かった。これらの減衰の違いを考慮した結果、種々の条件で測定された音圧分布は同一の曲線上にプロットされた。
2. 表面弾性波の干渉により生じさせた定在干渉波により、微小粒子を縞状分布させる試みを行ったが、微小粒子の縞状分布は明瞭に観測されなかった。

参考文献

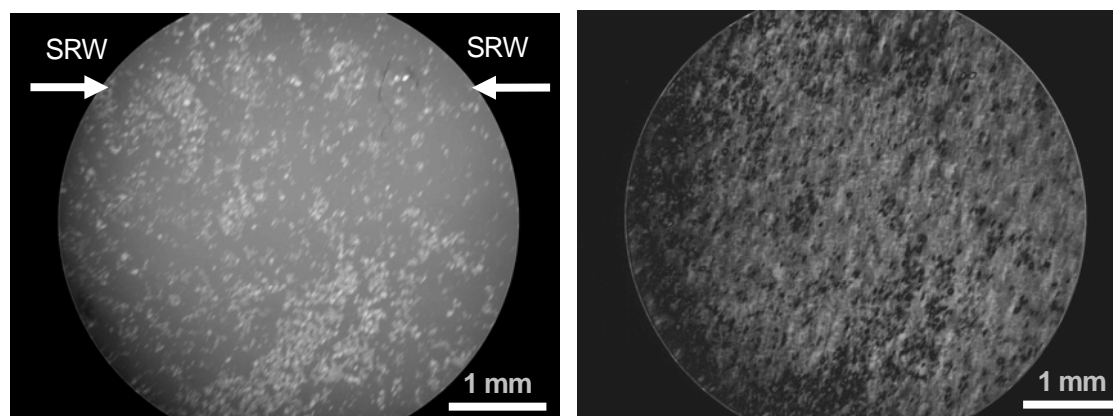
- [1] 例えば、
細川陽一郎ら：日本レーザー医学会誌, vol. 26, No. 1, pp. 45-52, 2005
池野順一：セラミックス, vol. 38, No. 11, pp. 877-879, 2003
- [2] 例えば、
S.W. Hla: J. Vac. Sci. Technol. B, vol. 23, No. 4, pp. 1351-1360, 2005
A. Kraus: Surface Interface Anal., vol. 37, No. 2, pp. 96-100, 2005
水谷 亘：精密工学会誌, vol. 68, No. 11, pp. 1411-1414, 2002



(a) Particle distribution

(b) Image difference

Fig. 6 Distribution of alumina particle under interference wave of SAW.



(a) Particle distribution

(b) Image difference

Fig. 7 Distribution of wheat powder under interference of surface reflection wave (SRW).

G Meyer: Rev. Sci. Instrum, vol. 67, No. 8, pp. 2960-2965, 1996

[3] J.F. Spengler and W.T. Coakley: AIChE J., vol. 49, No. 11, pp. 2773-2782, 2003

[4] W.T. Coakley, et. al.: Collids. Surf. B, vol. 34, No. 4, pp. 221-230, 2004

[5] 小塚晃透：日本音響学会誌, vol. 61, No. 1, pp. 154-159, 2005