

ZnO 變換器를 이용한 超音波顯微鏡의 製作과 評價

장지원 · 도시홍 · 이종규

부산수산대학

(1989년 11월 30일 접수)

Scanning Acoustic Microscope System Using 200MHz ZnO Transducer

Jee Woon CHANG, Sih-Hong DON, Jong-Kyu LEE

National Fisheries University of Pusan

(Received November 30, 1989)

To the purpose of preparation for investigating aspect of material that not revealed by the light microscope and extending our knowledge in applicable field, a scanning acoustic microscope system of 200 MHz was organized and appraised its performance with experiments. Professor N.CHUBACHI in Tohoku University in Sendai, Japan provided the ZnO transducer with lens.

The system for transmitting and receiving ultrasonic pulses of 200nsec was organized with a rectangular audio wave generator for modulation of 200 MHz carrier wave, gating system for transmitting and receiving, mixer for converting intermediate frequency, a directional coupler, ZnO transducer, radio frequency amplifiers, detector and personal computer. The Scanning system was driven in micro steps with three stepping motors in the direction of x , y and z axes. The system was a reflecting type scanning acoustic microscope and the operation program processed graphics data from receiving echo intensities.

Photograph of fish scale obtained by optical microscope was compared with its image by the scanning acoustic microscope organized here. The result was satisfiable.

序 論

超音波 顯微鏡은 科學測具로서 強力한 것중의 하나가 된다는 觀點에서 볼 때 本研究은 매우 必要한 對象이 된다. 特히, 醫學이나 生物學에서 그러하다. 뿐만아니라, 電子顯微鏡에서 나타나지 않는 物質內部的 形狀의 研究, 生體의 細胞와 組織 등의 粘性, 彈性에 관한 研究, 物質의 微細균열構造나 物質應力效果에 관한 研究 등에 超音波 顯微鏡이 매우 適合하다는 점이 注目된다.

Sokolov (1936)는 壓電板上에서 電子線走査에

의해서 電位 pattern을 그리는 超音波 顯微鏡을 提案하였고, Illinois대학의 Dunn과 Fry (1959)와 New York 대학의 Ben-Zuis와 Suckling (1962)은 10MHz 程度의 超音波를 生體研究에 利用하였으며, 微小熱電堆微小容量檢出器를 써서 壓電板上에서 超音波의 強度分布를 測定하였다. 1971년, Havlice는 試料를 통과한 超音波를 利用하여 偏光laser線을 LiNbO와 같은 複掘折結晶속에서 回折시켜 畫像을 얻었다. 이 때의 사용 주파수는 860 MHz로서 10um의 精度를 얻었다. 1972년에는 Kessler 등이 100 MHz의 超音波를

물속에 있는 試料를 통과시켜 이것이 수면에 만드는 잔물결에 laser 빛을 走査하여 實時間으로 볼 수 있는 超音波 顯微鏡(scanning laser acoustic microscope)¹⁾을 개발하였다(SLAM이라고 함). 이어서 Lemons와 Quate²⁾는 1974년에 機械走査式 超音波 顯微鏡(mechanically scanned acoustic microscope)을 개발하였다(SAM이라고 함). 이것들은 그동안 여러 科學者들에 의해 改良되어 世界各國에서 現在 쓰이고 있는 形態의 超音波 顯微鏡으로 發展되었다.

本研究에서는 처음 100MHz 정도의 超音波 顯微鏡을 製作할 計劃이었으나 여기서 製作이 不可能한 超音波 變換器를 東北大學 工學部 電氣工學科 Chubachi研究室에서 製作한 것이 200MHz 變換器이므로 時間制約上 이를 이용하여 200MHz SAM을 만들기로 하였다. 超音波가 200MHz의 주파수를 가지므로 이를 發生시키기 위해서는 200MHz의 발진을 전기적으로 發生시켜야 하는 超高周波(Microwave)技術과 연관된다. 따라서, 本裝置는 精密機械技術과 超高周波技術을 兩立시켜야 하는 綜合技術이 그 基礎가 된다. 이 裝置의 構成後에 있어서의 學術的 및 技術的 活用은 앞으로의 研究課題로서 期待가 매우 크다고 생각된다.

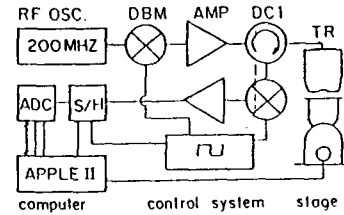
超音波 顯微鏡의 構成

超音波 送受信 system은 超高周波 發生裝置에서 電氣信號를 발진하여 이것을 變調增幅시키고, 여기서 얻은 펄스를 ZnO變換器에 보내어 超音波 펄스로 바꾸어 送波한다. 送波펄스는 試料에서 反射되어 돌아온 超音波 펄스信號를 ZnO變換器가 다시 받아 中間周波數의 信號로 바꾸어 增幅하고, 檢波한다. 檢波한 信號를 標本抽出하고 計量化하여 computer에 입력시킨다. 本超音波 顯微鏡의 Block Diagram을 Fig.1에 보인다.

1. 超音波 送受信 SYSTEM

(1) 送受信用 變換器

이 裝置는 本研究室에서 製作이 不可能하며 東北大學 工學部 電氣工學科의 Chubachi研究室에



RF OSC: Radio Frequency Oscillator
DBM: Double Balanced mixer
DC1: Directional Coupler, S/H: Sampling & Hold
TR: Transducer, ADC: Analog to Digital Conversion

Fig. 1 Block Diagram of Scanning Acoustic Microscope.

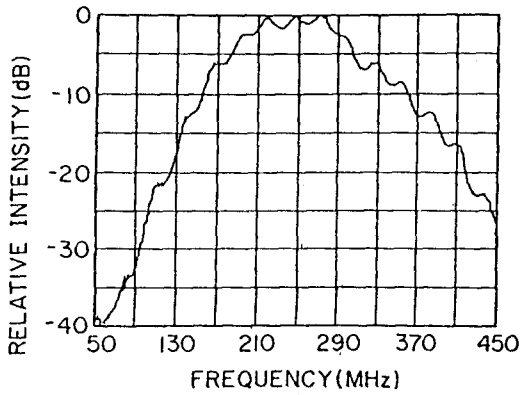
依賴하여 製作하였다. 애당초 100MHz 變換器³⁾를 이용하려 했으나 이것을 만드는데 다시 期間이 延長되어야 하는 事情으로 보내온 250MHz 變換器를 쓰기로 하였다. 이 變換器의 焦點距離⁴⁾는 0.5mm이며 220MHz~280MHz 범위가 主帶域이며, 0.3dB 정도의 出力감소를 감수하는 경우, 實驗結果 190MHz~290MHz 범위에서 使用可能하다고 판단되어 200MHz에서 쓰기로 하였다. 그 성능에 관한 特性은 Fig.2.와 같다.

(2) 發振器(Oscillator)

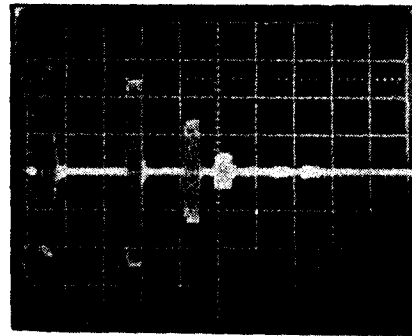
200MHz 發振器⁵⁾는 전압제어 發振器 MC1648을 이용하여 製作하였다. MC1648 집적회로(IC)는 최대 250MHz까지 발진이 可能하다고 되어 있으나 200MHz 정도가 한계인 것 같다. 200MHz를 넘으면 진폭이 감소되어 불안정하여 실용성이 없는 것 같았다. 따라서 200MHz 發振器로서 製作하였으며 그 개략도를 Fig.3.에 나타내었다.

(3) 變調器(Double Balanced Mixer)

發調器는 R&K社의 Model M10⁷⁾의 Double Balanced Mixer(D.B.M.)을 이용하였으며 入出力 impedance는 50Ω이며 最大入力電力은 500mW peak이고 最大入力電流는 100mA peak이다. 周波數特性은 1~1000MHz의 入力信號를 DC~50MHz의 中間周波數로서 펄스變調시킬 수 있다. 여기서는 200MHz의 搬送波를 1msec간격으로 50nsec에서 數usec의 펄스幅을 가지도록 펄스變調시키는데 사용하였다. 펄스變調의 개략도는 Fig.4.와 같다.



(a) Relative Intensity with Frequency



(b) Osilloscope

Fig. 2 Characteristics of the Transducer.

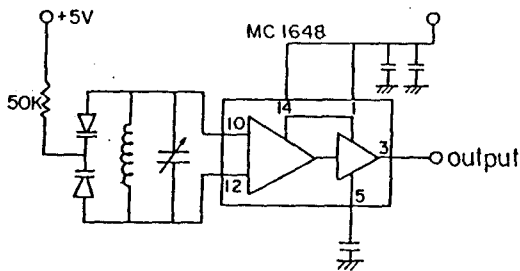


Fig. 3 Schematic Diagram of 200 MHz Oscillator.

(4) 方向結合器(Directional Coupler)

方向結合器는 R&K社의 Model DC1CA를 이용하였다. 이것은 1MHz ~ 500MHz 帶域에 이용할 수 있으며 結合度는 12.5dB이고, Impedance는 50Ω, 入力은 1Watt가 최대이다. RF-in과 RF-out端子사이는 약 -6dB減小하였다. 方向性和 周波數 및 結合度에 대한 特性曲線은 Fig. 5.에 나타내었다.

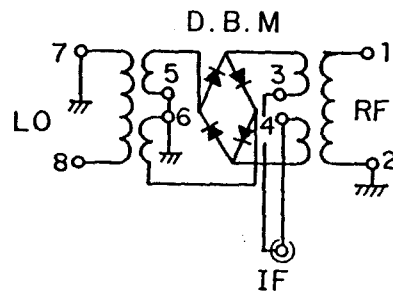
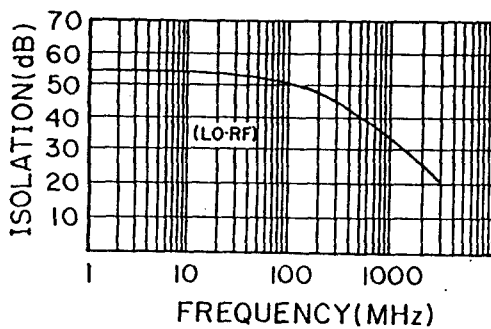


Fig. 4 Modulation of Carrier by Pulses.

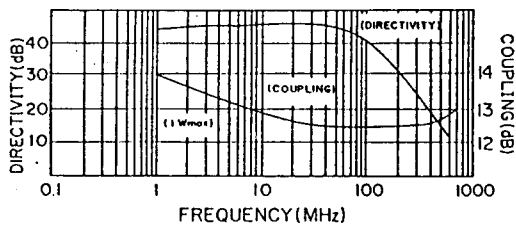


Fig. 5 Characteristic Curves of Directivity and Coupling Factor with Frequency.

(5) 增幅器(Amplifier)

高周波 增幅器는 IC化되어 여러 會社에서 製品化되어 판매되고 있으나 여기서는 R&K社의 33 dB Model식과 30dB 3 AC電源부착식의 것을 이용하였다.

두 製品의 性能은 다음과 같다.

Model	A10型	A1000-2型
周波數帶域:	800KHz~100C MHz	5 MHz~1000MHz
利 得:	30dB	33dB
坪 但 性:	+1.5dB	+1.5dB
Impedence:	-	10dB
出 力:	50	-
	2Watt	0.5 Watt

(6) 標本抽出 및 量子化(Sampling & Hold and Analog to Digital Conversion)

標本抽出은 LF398IC를 量子化는 ADC0808을 사용하여 우선 microcomputer Apple II와 PIA6821로서 연결시키기로 하였다. LF398은 gating system 에서 gate pulse의 최대값을 標本抽出하여 이것을 保存하고 있는 동안 ADC0808은 computer로 부터의 start 信號를 받아 digital 값으로 바꾸어 PIA6821을 통하여 넘겨주면 computer는 이것을 기억보관한다. 그 전체의 개략도는 Fig. 6. 과 같다.

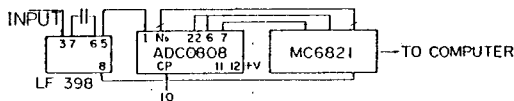


Fig. 6 Sampling and Analog to Digital Conversion

2. PULSE STAGE 微動SYSTEM

(1) Pulse Stage

微動 pulse stage는 X, Y, Z方向의 立體的 微動을 할 수 있는 것이라야 하므로 X軸方向은 Optec社의 Model PS-60-50X를 이용하였으며 Y 및 Z軸의 것은 Aluminium板 및 銅板을 절단가 공하여 pulse stage를 組立하였으며 微動장치는 10^{-3} 精度의 micrometer를 이용하였다. 驅動은 stepping motor를 사용하여 computer control로 하였다. pulse stage의 개략도는 다음의 Fig. 7. 과 같다. X軸의 移動量은 50mm이며 1pulse 移動量은 5相으로 $1\mu m/0.36$ 度이고 速度는 5mm/sec, 位置決定精度는 0.050mm이다. Y 및 Z軸은 4相으로, 移動量은 역시 50mm이며 각각 14 펄스 移動向이 $5\mu m$, 12펄스 移動量이 $5\mu m$ 이다.

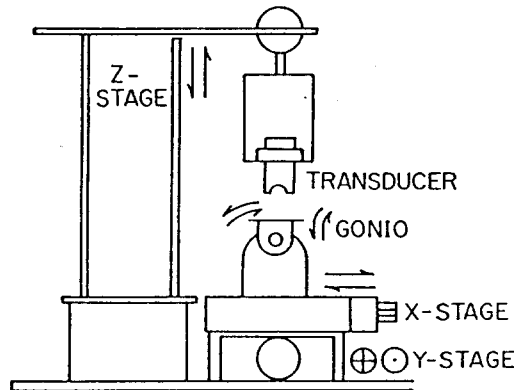


Fig. 7 Traveling Pulse Stage.

(2) Stepping Motor 制御System

Pulse stage의 驅은 手動으로도 可能한 것이나 畫像作成과 관련해서 매우 手苦스러운 作業이 되므로 自動化하기 위하여 microcomputer control system으로 하였다.

X軸 驅動用 stepping motor는 Hybrid型으로서 5相이며 step角은 0.36度(Full)이다. 相電壓은 7volts, 相電流 0.21A, 卷線 저항 33 Ω . 卷線 inductance 17mH, 靜止 torque 0.75kgcm, rotor慣性能率은 16gcm²이다. 速度TORQUE 特

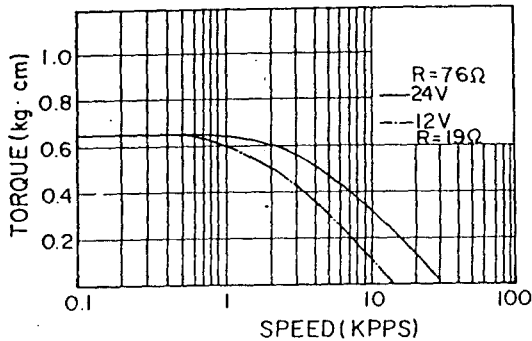


Fig. 8 Speed-Torque Characteristics of Stepping Motor Model KP 6AM2-001.

性曲線은 Fig. 8. 과 같다.

Y 및 Z軸 驅動用 stepping motor도 같이 Hybrid型이며 構造는 다같은 model KP6AM-001의 1.8度/step, 4相 motor이다. 相電壓은 12 volts, 相電流 0.6A, 出力torque 1kgcm이다. stepping motor의 驅動回路는 Fig. 9와 같으며 驅動program은 Appendix 1에 添附하였다.

3. 制御裝置 (CONTROL SYSTEM)

制御裝置는 超音波 送受信과 pulse stage의 驅動과 連結되어 物體面을 走査함에 따라 一定한

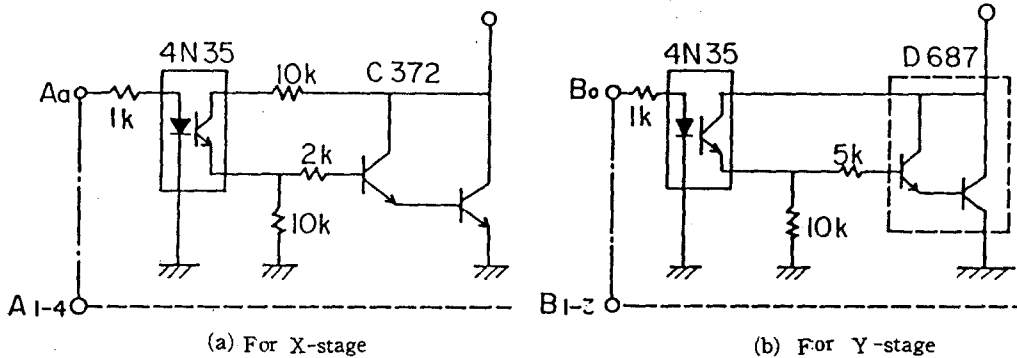
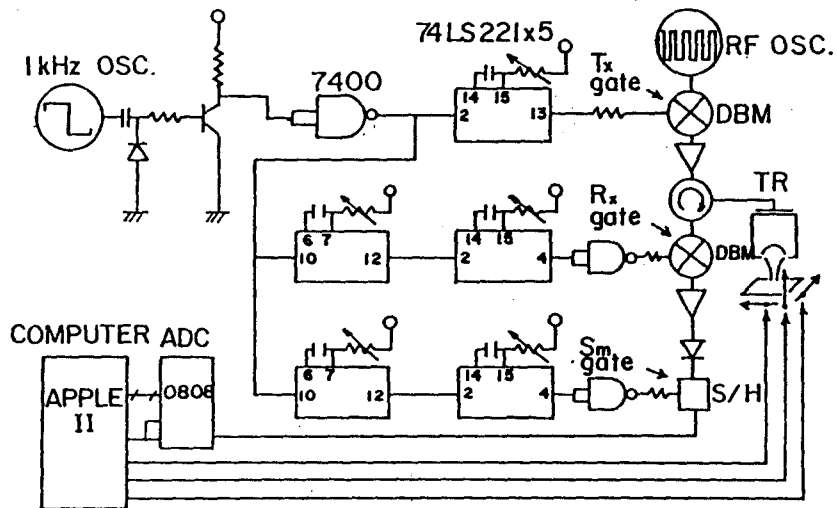


Fig. 9 Schematic Circuit for Controlling of Stepping Motor.



Tx: transmitting, Rx: receiving, Sm: sampling.

Fig. 10 Control System.

面을 읽어내고, 이것을 畫像으로 構成하는 相互有機的 關係를 갖는 computer를 中心으로 한 組織이다. 그 개략도를 보면 Fig. 10과 같다.

처음 200MHz 發振器에서 200MHz 持續信號를 발생시키고 이것을 變調器로 잘라내어 펄스화하는데, 이 때 펄스여단이 A gate가 열리고 닫으므로해서 펄스가 된다. 이것을 증폭하여 變換器에 보내고 여기서 超音波펄스가 된다. 超音波펄스는 物體에서 반사되어 되돌아 오는데 그 echo를 받아 다시 電氣信號로 바꾸어 增幅하려면 echo가 물체에 가서 돌아오는 時間만큼 늦게 받으면 正確히 受信echo信號를 잡게 된다. 이 時間만큼 지연시켜 그 時期에 受信여단을 열어주는 役割을 B gate가 담당한다. 受信된 펄스를 檢波하여 增幅한 것을 이번에는 X-stage의 微動에 맞추어 ADC가 AD변환 완료를 알리는 信號EOC를 준 후에는 stepping motor를 驅動시킨다. 音響렌즈의 焦點의 크기에 따라 驅動거리를 定하고 驅動이 끝나면 A여단이 펄스를 보내는 동작을 되풀이 하게 된다. 이 과정을 timing chart로 표시한 것이 Fig. 11이 된다.

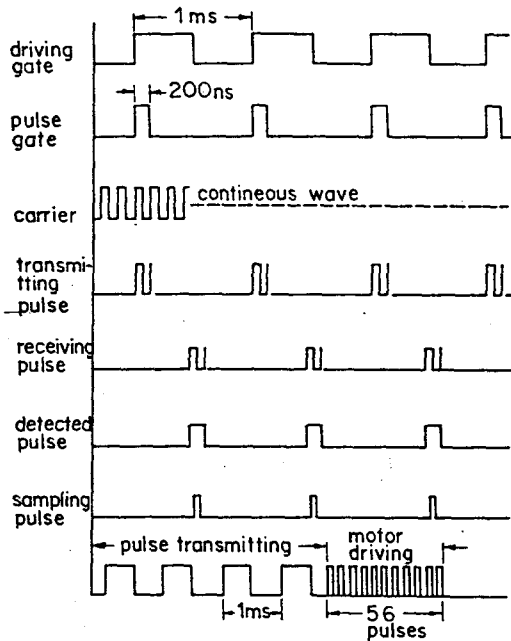


Fig. 11 Timing Chart.

方 法

1. 畫像再生

超音波 顯微鏡의 畫像을 얻는 方法은 여러가지 方法이 있으나 여기서는 pulse stage의 走査에 따라, 일정한 平面上의 범위에서 試料에 주기적으로 超音波 펄스를 보내어 되돌아 오는 echo의 強度를 측정하고, 이것을 量子化하여 computer에 기억시키고 이것을 走査過程과 같은 자리에서 얻은 echo의 強度를 再配列하여 畫像을 얻게 하였다.

X軸方向의 pulse stage는 5相으로 step당 0.36°이므로 1000펄스에 1회전된다. 1펄스의 移動量이 1um이고 移動速度는 5um/sec이므로 畫像의 分解能이 20um정도 되므로, 20펄스를 보내려면 4msec의 時間이 든다. 따라서, 1mm를 走査하는데 200msec의 時間이 들며 1mm를 走査하는데 50point를 측정하게 되므로 25mm²을 走査하는데는 250×250=62500point를 측정하게 되고 所要時間은 250sec 즉 4분 10초가 된다.

Y, Z軸方向의 pulse stage는 4相으로 step당 1.8度이므로 200펄스에 1회轉한다. micrometer와 pulse motor에 붙은 톱니의 비는 Y軸 stage는 140:20이고 Z軸 stage는 120:20이다. micrometer 1회轉에 0.5mm移動하므로 Y軸 stage는 5/14 um/pulse이고 Z軸 stage는 5/12μ mpulse이다. 分解能을 20um이므로 Y軸 stage는 한 point 移動하는데 56펄스 필요하다. X軸 stage에서는 20펄스가 所要되었다. 그런데, 黑白 monitor의 Apple II computer를 이용하기로 하였기 때문에 畫像구성이 용이하지 않다. color monitor의 경우는 音波強度에 比例하는 數値를 color로 바꾸면 쉽게 畫像을 얻을 수 있다. 黑白 monitor의 경우는 數値를 그대로 畫像의 像點에 자리잡게 해야 한다. monitor는 가로 세로 40×24문자를 쓸 수 있으므로 결국 畫面은 0.8×0.4 mm²의 면적을 덮는 정도가 고작이다. 따라서 25 mm²을 덮는 畫面을 구성하려면 65장의 畫面을 연결시켜야 한다. color monitor의 경우는 250×160點의 色點을 동시에 나타낼 수 있으므로

250×125點의 畫面으로 둘로 나누어 연결시키면 된다.

2. COMPUTER에 의한 制御

computer에 의한 制御는 hardware적으로도 構成할 수 있으나, 여기서는 초보단계이므로 모두 software적으로 制御하는 方法으로 하였다.

超音波의 送受信은 1msec마다의 펄스를 驅動시키는 1KHZ의 矩形波發振器가 制御의 기준이 되며 受信되는 1msec마다의 超音波 強度測定值는 Sample & Hold에 의해서 holding 되고 있으나 computer에서 位置를 決定했다는 通報가 가기 전에는 이것을 기억시키지 않으며 computer는 X stage에 20펄스를 보낸 후 標本抽出器(Sample & Hold)에 sampling 信號를 보내고, 이어 digital 化 start信號를 보내므로서 digital 값으로 變換되며 變換終了信號(EOC)를 받고 다시 X stage의 移動을 위하여 20펄스를 내보내는 일을 되풀이 한다. 그리고 X stage가 250point를 測定完了하면 Y stage에 56펄스를 보내고, 그 다음에 X stage는 逆回轉시켜 250회를 되풀이 한다. Y stage는 56펄스씩 250회를 보내면 走査가 完了된다. 여기서는 사진과 비교하기 위하여 1.68×1.12mm²만을 畫像化하기로 하였다.

結果 및 考察

超音波 顯微鏡의 送信과 受信이 제대로 되어 있는지 點檢해 볼 必要가 있다. Oscilloscope에

서 받은 送受信 信號를 보면 送信펄스, 受信반사 펄스, 제2반사펄스, 제3반사 등이 나타난다. 그리고 다시 stage위에 試料를 놓고 Gonio stage와 Z軸 stage로 잘 調整하면 送信펄스와 受信펄스 사이에 試料에서 반사되는 物體반사펄스가 나타난다. 이것을 보이면 Fig. 12와 같다.

製作된 超音波 顯微鏡으로 構成한 도미비늘 畫像과 이것을 光學顯微鏡으로 촬영한 사진으로 畫像을 比較하면 다음 Fig. 13, 14와 같다.

超音波 顯微鏡畫像과 光學顯微鏡 寫眞사이에는 多少의 差異가 엿보이며 超音波 顯微鏡의 像이 뚜렷하지 못하다. 그것은 物質內部의 音波가 吸收, 反射, 屈折 등 여러가지 作用에 의해서 돌아오는 echo의 強度가 光學的인 性質과는 다르기 때문이다. 그러나, 光學的인 透明인 경우에만 可能한 光學顯微鏡에 비해 超音波 顯微鏡은 不透明한 보이지 않는 곳의 內部를 그려내는 힘이 있어, 다른 方法이 侵犯할 수 없는 領域이 있어 物性を 研究하는데 크게 應用이 可能하다고 期待된다.

最近, 物質의 micro부분의 彈性的 性質을 解析하는 새로운 強力한 裝置가⁸⁾⁹⁾ 바로 超音波 顯微鏡이란 점에 注目할 때, 이 超音波 顯微鏡의 製作은 앞으로의 研究에 對備하는 點에서 큰 뜻이 있다고 생각된다.

따라서, 장치 本裝置는 보다 크고 迅速한 畫像을 얻기 위한 16bit processor의 computer system의 代替改善, software의 開發, stepping motor control은 走査에 時間이 상당히 所要되므

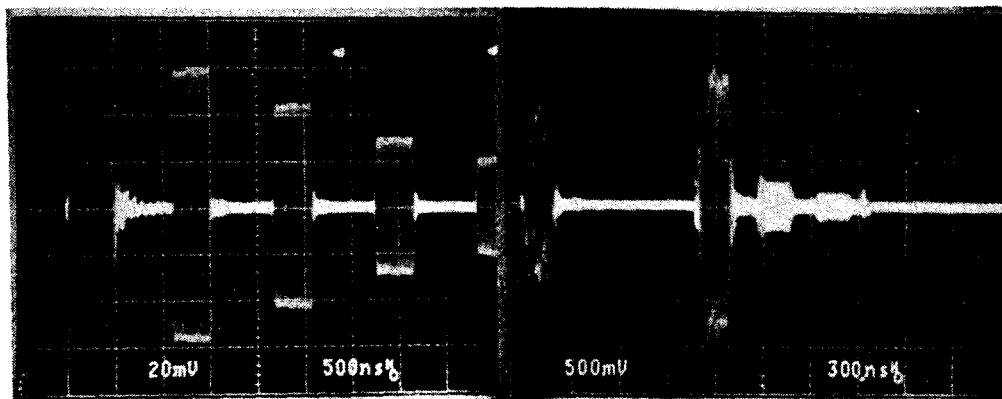


Fig.12 Oscillogram of Transmitting and Receiving Pulses.

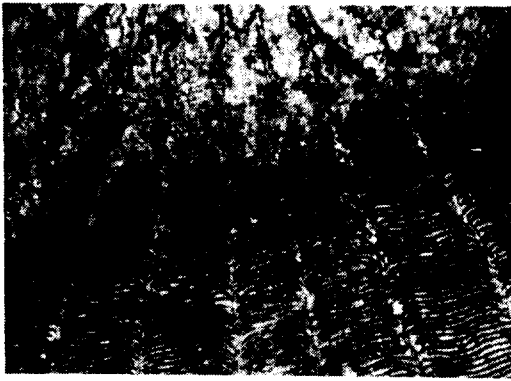


Fig. 13 光學顯微鏡寫眞 (도미비늘)
Photogram of a Scale of Fish by Optical Microscope.

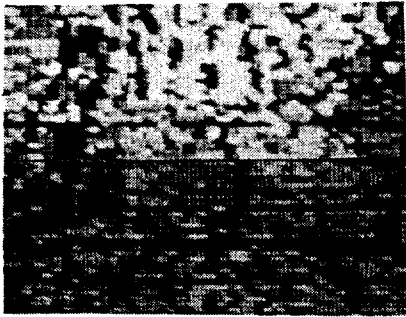


Fig. 14 超音波顯微鏡寫眞 (도미비늘)

로, 이것을 擴聲器 振動coil을 利用하는 方法등, 많은 努力이 드는 일들을 남겨 두고 있다. 改善된 後의 本裝置의 應用은 한층 發展된 것이 될 것이라 期待된다.

結 論

200MHZ ZnO變換器를 이용하여 超音波顯微鏡을 제작하여, 도미비늘을 畫像化하고 光學顯微鏡에 의한 寫眞과 比較하였다. 그 結果 光學的 反射에 의한 表面의 畫像과 超音波의 機械的 彈性的 表面下 反射에 의한 畫像에는 多少 差異가 있음을 確認하였다(Fig. 13및 14).

超音波顯微鏡은 固體材料 또는 生物組織¹⁰⁾¹²⁾ 등 여러가지 物性研究 등의 應用이 計劃되고 있으며, 특히 超音波醫學의 分野는 그 活用이 눈

부실 것으로 豫測된다. 超音波顯微鏡의 製作 그 자체보다, 이것을 道具로 하여 여러가지 學術的, 技術的 성과가 期待되기 때문에 이 分野의 基礎研究가 더욱 重要하게 생각되며 尖端産業分野에서도 非破壞檢査 超音波 micro spectroscopy(U. M. S)등과 같은 物質의 彈性的 性質을 micro scale로 計測¹¹⁾할 수 있는 등, 많은 活用이 있을 것이 豫想된다. 또 超音波顯微鏡의 方法도 여러 가지이며, 이것을 計測手段으로 一般化하는 問題도 研究할 必要가 있다. 앞으로 光學이나 電子裝置등과 함께 急速한 發展이 期待된다.

謝 辭

本研究를 위해서 研究費를 支給하여 주신 東遼學術財團의 好意에 感謝하며, 本研究의 技術的 支援을 아끼지 않았던 日本東北大學 工學部 電氣工學科 中鉢憲賢教授, 三野宮利男氏, 그리고 同博士課程 研究生 河康烈君 諸位에게 感謝드린다.

文 獻

- 1) Kessler, L.W. & D.E. Yuhas(1979): Acoustic Microscopy. proc.IEEE. 67(4), 526~536.
- 2) Lemons, R.A & Quate, C.F.(1979): Acoustic Microscopy. Physical Acoustics 14, academic Press 6. 92.
- 3) Kushibii, J. & N. Chubachi(1985): National Characterization by Line-Focus Beam Acoustic Microscope. IEEE Transact. on Sonics & Ultrasonics. su-32(2), 189~212.
- 4) 中鉢憲賢(1985)超音波顯微鏡による材料分析의 現狀と將來, 材料技術 3(1), No. 1, 3~13.
- 5) Quate, C.F.(1980): The Acoustic Microscope (A concept for Microscopy Using Waves of Sound).Stanford University, 25~32.
- 6) 車端郁編(1988)칼러 TV 技術教科書. 嘉南社, 10~204.
- 7) R & K 社(1989): R & K Catalogue.株式會社 R & K, 1~22.
- 8) 明石岡之, et al(1989): 超高周波帶における

- 體組織音響特性測定. 日音學講論 2-4-11, 759~760.
- 9) 中鉢憲賢, et al(1989): 直線集 ビーム超音波顯微鏡を用いたSAWデバイス用 壓電單結晶材料の音速測定. 日音學講論, 663~664.
- 10) 河康烈 et al(1987): 超音波顯微鏡の齒醫學分野の應用に関する基礎研究. 日音學講論, 665~666.
- 11) Faridian, F of Somekh, M.G.: Frequency Modulation Technique in Acoustic Microscopy, proc. of Ultrasonics Symposium, *IEEE*, 769~773.
- 12) Okawai et al.(1987): Two Dimensional Quantitative Display in Color Scales for Acoustic Properties of a Tissue By Using the Scanning Acoustic Microscope, *Ultra Tech. of 1987*. ed.K. Toda, 15~24.