

## 彈性表面波의 電子工學에의 應用

朴 松 培

### 1. 序 論

탄성물질내부를 통하여 전파하는 소위 彈性體波(elastic bulk wave)는 종래 발전소자, 여파기, 遲延線등으로 많이 이용되어 왔는데 최근에 와서 탄성체표면에 따라 전파하는 彈性表面波(elastic 또는 acoustic surface wave)가 전자공학자의 주목을 끌어 불과 5, 6년간의 활발한 연구결과로 지연선, 대역여파기, coder, decoder 등의 각종 신호처리장치가 출현하기에 이르렀으므로 여기서 최근의 해외 학술지를 참고하여 탄성표면파의 전파특성, 전기적신호와 탄성파에너지의 상호변환, 증폭, 導波, 非線型効果등의 기본현상과 몇가지 신호처리에의 응용을 해설하고자 한다.

탄성표면파(이하 표면파라고 약칭)가 최근에 갑자기 전자, 통신공학자의 관심을 끌게된다는 몇가지 원인이 있다. 첫째로 표면파의 전파속도가 電磁波의  $10^5$ 분의 1 정도이므로 표면파를 이용한 공진회로, 여파기, 지연선등의 회로소자가 전자파를 이용한 대응소자에 비하여  $10^5$ 분의 1 정도의 소형으로된다는 것이다. 둘째로 외부로부터 표면파의 전파경로(표면)에 접근하기 쉬우므로 신호의 sampling, 변환, 신호와의 상호작용 등의 조작이 매우 용이하다는 것이며 이것은 표면파의 가장 유리한 점이다. 셋째로 마이크로웨이브와 탄성체파에 관해서 축적된 지식으로 말미암아 표면파의 현상이해와 장치고안이 용이하다는 것이다. 넷째로 이미 발달된 IC 기술로 표면파 장치의 제작이 용이해 졌다는 것이다. 다섯째로 1波長當감쇠가 전자파에 비해서 매우 적다는 것이다.(0. 1dB/λ정도)

### 2. 傳播特性

탄성파의 傳播특성은 境界조건을 만족하는 파

동방정식의 解로부터 구명할 수 있다. 體波의 경우에는 고체粒子的 운동이 전파방향과 平行한 경우(縱波)와 이에 垂直인 경우(橫波)가 존재한다. 그러나 표면파의 경우, 표면입자의 운동은  $90^\circ$  相差를 갖는 종파와 횡파의 합성 즉 타원운동을 하는 소위 Rayleigh 波가 전파된다.(그림 1) 표면입자는 내부입자보다 拘束이 적으므로(즉 탄성 stiffness가 작으므로) 표면파는 체파보다 속도가 작다(속도= $\sqrt{\text{stiffness}/\text{매질밀도}}$ ). 따라서 표면파는 고체내부로 進入하기 어렵고 깊이에 따라 대체로 指數函數적으로 감쇠되며 1파장의 깊이에서는 거의 무시할 수 있을 정도로 된다.(전자파 역시 속도가 느린 매질로부터 빠른 매질로 진입하기 어려우며 이 일반적 현상은 後述할 導波방법에 이용된다). 표면파매질로서 가장 흔히 쓰이는 壓電材料의 경우, 압전결합으로 인하여 有效 stiffness가 증가하며 또 입자운동에 수반하는 電界가 표면외부로 뻗치는데 그 크기는 上方 거리에 따라 역시 대체로 지수함수적으로 감쇠하며 半파장 上方에서는 거의 무시할 수 있을 정도로 된다(이 현상은 後述할 표면파증폭장치를 설명하는데 필요하다).

표면파는 체파와 마찬가지로 마이크로 웨이브 주파수에 이르기 까지 位相속도가 일정하나(즉 non-dispersive wave), 어떤 基板에 입힌 異質 薄膜에 의하여 전파하는 표면파는 기판의 침투가 주파수에 따라 다르므로 위상속도도 주파수에 따라 변하며(즉 dispersive wave), 또 이 경우 Rayleigh 波이외에 Love wave라 불리우는 종파가 전파할 수도 있다. 전파속도의 온도 의존성은 지연선, 발전자등에서 실제적 중요성을 가지는데 異方性결정체에서는 전파속도와 그 온도계수가 방향에 따라 다르다. 특히 水晶에서는 속도의 온도계수가 0인 방향이 존재함이 알려져 있다.

\* 正會員, KIST. 電子回路研究室長

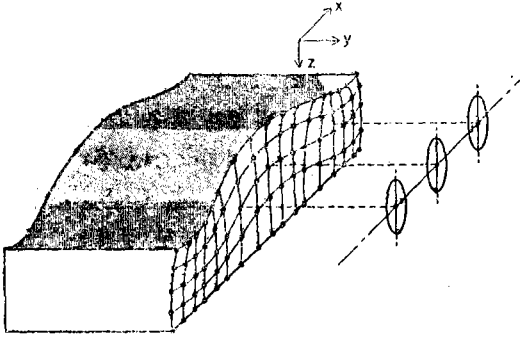


그림 1, Rayleigh 波에서의 표면입자의 운동

표면파의 감쇠는 여러가지 원인으로 생기는데 일반적으로 주파수가 높을수록 증가한다. 예컨대  $\alpha$ -水晶에서의 감쇠는 316MHz에서 1.1dB/cm, 1000MHz에서 7.0dB/cm이다. 波長當감쇠가 導波된 전자파의 100분의 1 정도이므로 마이크로 주파수 범위에서도 有用한 표면파 장치를 실현할 수 있다.

### 3. Interdigital-Transducer

전기적신호로써 탄성표면파를 발생시킨다던지 또는 그 반대의 변환을 시키는 transducer(이후 TRD라 略記)에는 각종형식이 있으나 가장 중요한 것은 그림 2에 표시한 interdigital TRD이다. 壓電材料의 표면에 그림과 같이 여러개의 finger가 달린 빗(櫛)모양의 금속박막전극 한 쌍을 서로 이물도록 薄膜技術을 써서 蒸着시킨 것을 入力 및 出力 TRD로 사용한다. 압전재료의 결정축은 표면파의 특성과 중요한 관계가 있으며 보통은 최대압전결합을 주는(즉 표면파의 單位電力當電界가 최대가 되도록) 결정축을 선택하며, 또 표면은 표면파의 散亂에 의한 손실을 줄이기 위하여 매우 平滑하게 갈아야 한다. 隣接 finger 간

의 거리는 동작주파수에서  $\lambda/2$ 가 되도록 한다. 일례로  $\text{LiNbO}_3$ (전파속도는 3.5km/s)표면에 알미늄 finger를 증착시킨 100MHz用 TRD에서는 finger의 幅이  $9\mu\text{m}$ , finger 간의 空隙이  $9\mu\text{m}$ , 박막두께는  $0.2\mu\text{m}$  정도다. 지금 入力 전극양단에 RF 신호를 인가하면 壓電效果에 의하여 각 쌍의 finger 사이에 탄성파가 발생하고 이것이 양쪽으로  $\lambda/2$ 만큼 전파하여 인접 쌍의 finger까지 가는 동안에 RF 전압의 위상이 바뀌어지므로 이때 새로 생기는 波는 첫째 파와 同相이 되어 相加한다. 이리하여 이 특정주파수로 동작시킬 때 入力 TRD 전체에서 강한 표면파가 양쪽으로 발생된다. 그러나 入力주파수가 이 특정주파수에서 멀어질수록 각쌍의 finger에서 발생한 波들의 위상이 맞지 않아 에너지변환이 잘 안 된다. 즉 이와 같은 interdigital TRD는 기본적으로 帶域通過의 특성을 가진다. 1966년 발표된 上記構造의 TRD는 활발한 표면파장치 연구의 門戶를 열어준 것이었다.

이런 TRD는 可逆性을 가지고 있고 出力 TRD에서도 같은 변환특성이 얻어진다. 入力 TRD에서 半의 에너지가 원치 않는 방향으로 전파하기 때문에 변환손실은 최소 3dB, 또 出力 TRD에서 탄성파에너지가 전기적 신호로 변환할 때의 손실도 최소 3dB, 도합 최소 6dB의 손실이 있게 마련이다. 원치 않는 방향으로 전파하는 탄성파 에너지는 그쪽 표면에 wax, teflon, tape와 같은 흡수재료를 부쳐서 끝에서의 반사를 막을 수 있다. 한편 單一方向으로 전파되는 TRD를 얻으려면(이 경우 이론적으로 변환손실은 0) 두개의 동일 TRD를  $(n + \frac{1}{4})\lambda$  ( $n$ : 整數,  $\lambda$ : 파장)만큼 격리시켜 서로  $90^\circ$  相差를 갖는 신호로 勵振하면 된다. 그러면 두 TRD에서 발생한 파가 한쪽방

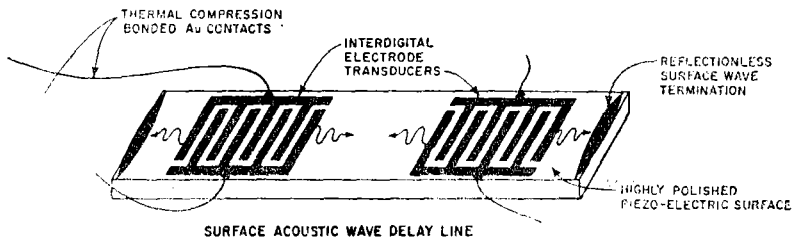


그림 2. Interdigital transducer의 구조

향으로는 相加하나 다른쪽 방향으로는 相殺하기 때문이다. 그림 3과 같은 單向 TRD 에서는 한개의 信號源을 한쪽 array 에 인가하고 다른쪽 array 에 연결한 인다터에 의하여 동작주파수에서 array 카파시턴스와 공진시켜 그 array 에서의 반사가 최대가 되도록 한다. 이 경우 帶幅은 좁아지나 雙向 TRD 에 비해서 우측에서 오는 파를 덜 반사시키므로 triple transit suppression(TTS, 入力 TRD 에서 출발한 波가 出力 TRD 에 반사되어 되돌아 온 것이 다시 入力측에서 반사되어 出力측으로 가는 요망되지 않는 echo 信號의 억제)이 향상된다.

표면파재료로서는 CdS, ZnO, Bi<sub>2</sub>GeO<sub>20</sub>, YIG 등도 연구되고 있으나 가장 흔히 쓰이는 것은 水晶결정, PZT(lead zirconate titanate) 및 LiNbO<sub>3</sub>의 三者다. 後二者는 압전결합이 크다. PZT는 安價하나 유전체손실과 多結晶性때문에 50MHz 이하에서 사용된다. 수정은 압전결합이 작으나 이것은 다수의 finger 를 갖는 복잡한 TRD 를 쓸 때에 유용하다. 수정은 또 특수한 결정축을 택할 때 전파속도의 온도계수를 매우 적게 할 수 있음은 既述한 바와 같다.

표면파장치의 사용주파수의 下限은 장치가 커진다는 것으로 제한될 뿐이고, 上限은 finger 의 제작공란으로 제한된다. 600MHz 까지는 보통의 Photolithography 기술로 만들 수 있지만 그 이상

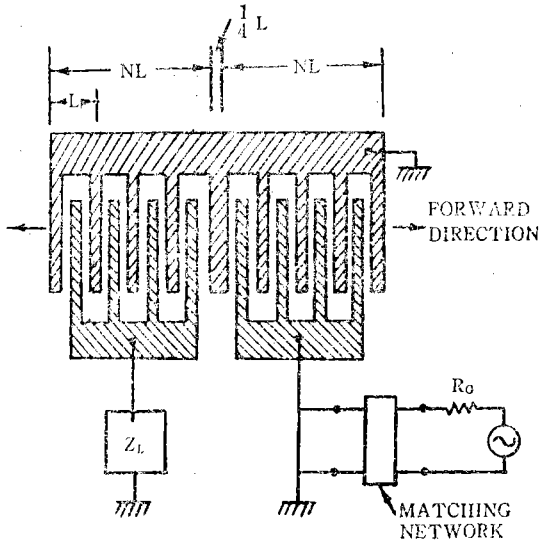


그림 3. 單向 transducer

에서는 전자비임을 사용해야 하며 이런 방법으로 3.5GHz 用 TRD 도 제작되고 있다.

#### 4. Interdigital array 의 解析과 應用

Interdigital 전극은 그림 2와 같은 均一구조를 가진 것 뿐 아니라, 목적에 따라 array 간격 및 서로 重疊되는 부분의 공간적 분포를 불균일하게 한다 (그림 5, 11, 14). 電極의 適當한 설계는 표면파 장치의 중심문제이므로 이하 그 解析방법 두가지를 개술하겠다.

하나는 入力 TRD 에 전기적신호가 가해질 때 압전결합이 약하다는 가정하에 운동방정식에서 전기적변수와 탄성파변수와의 상호작용을 무시하고, 또 탄성파의 驅動力이 되는 finger 주위의 電界傾도가 finger 線端에서 최대가 된다는 사실에 주목하여 근사적으로 그림 4와 같이 각 finger 의 線端에  $\delta$ -함수의 탄성파源을 가정한다. 이 각 파원에서 발생, 전파된 탄성파를 出力 TRD 의 각 finger 에서 합하면 이 장치에 대한 傳達函數  $H(f)$  가 얻어진다. 그림 5와 같이 finger 의 重첩부분이 不均一할 때는 그림 6과 같이 finger 를 다수의 平行區間으로 구분하여 각 구간에 대하여 위와 같은 조작을 하여 합하면 된다. 물리적으로도 이해하기 쉬운 한가지 중요한 결과는 한쪽 TRD 가 수개의 finger 만으로 된 그림 2와 같은 均일

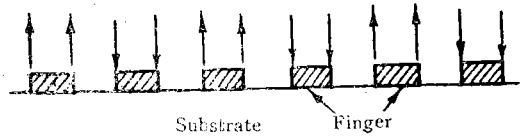


그림 4. 각 finger 兩線端에 가정한  $\delta$ -함수의 탄성파源

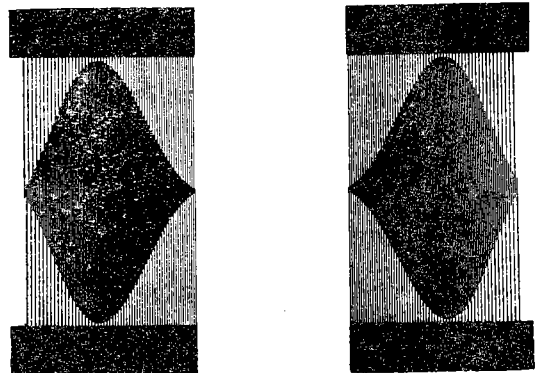


그림 5. 불균일 transducer

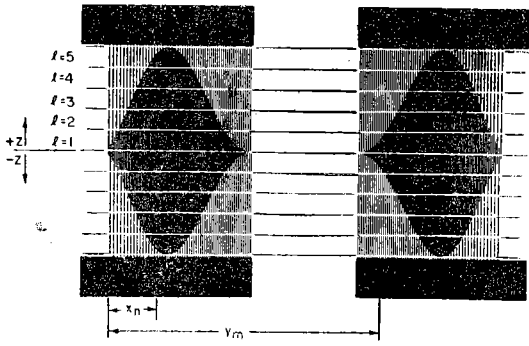
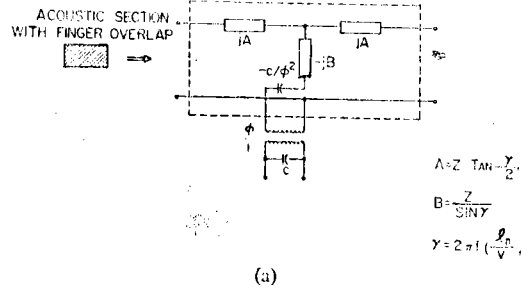


그림 6. 不均一-transducer의 解析을 위한 다수의 가상적 平行區間

TRD(廣帶域특성을 가질)인 경우, 다른 쪽의 TRD의 중첩부분의 finger 간격을 일정히 하면(그림 11은 그 一例) 중첩부분의 공간적 분포와 임펄스應答이 동일한 함수형식을 갖는다는 것이다. 즉 前者가  $f(x)$ 라면 후자는  $f(ax)$ 가 된다. 그러므로 구조로서 요망되는 임펄스응답 또는 주파수특성(前者의 Fourier 변환으로 얻어짐)을 실현하는 것은 비교적 용이하다.

TRD의 좀 더 정밀한 해석은 壓電장치에서의 전기적량과 탄성파와의 상호작용을 고려에 넣은 등가회로로 부터 얻어진다. 이 결합으로 인하여



$$A = Z \tan \frac{\gamma}{2}$$

$$B = -\frac{Z}{\sin \gamma}$$

$$\gamma = 2\pi l \left( \frac{f}{v} \right)$$

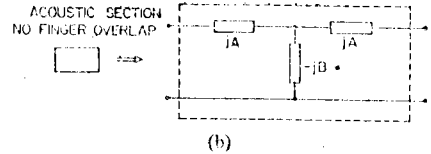


그림 7. finger가 중첩되는 부분과 안되는 부분에 대한 등가회로

탄성파매질은 入力 TRD의 한쌍의 finger 端子에 대하여 抵抗成分과 리액티스成分을 갖는 負荷로서 작용한다. 따라서 그림 7(a)와 같은 등가회로를 생각할 수 있다. 여기서  $l_n$ 은 인접 finger간의 간격,  $C$ 는 finger간의 카파시턴스,  $Z$ 는 매질의 음향특성임피던스,  $\phi$ 는 압전결합계수  $k$ 에 관계되는 捲線比이다. Finger가 중첩되지 않는

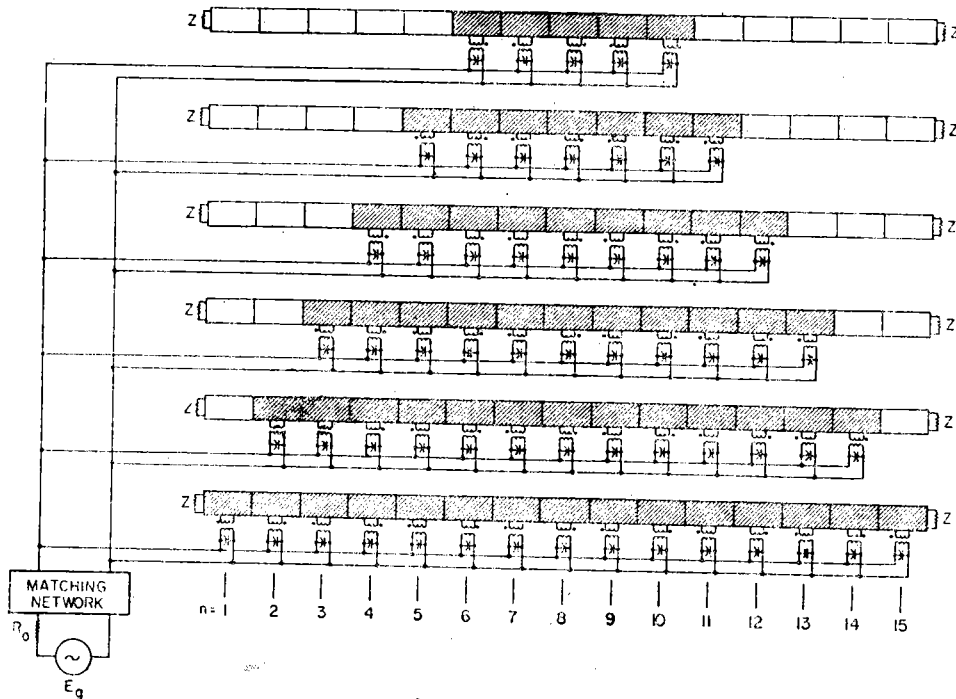


그림 8. 불균일 transducer의 등가회로

부분에 대해서는 同圖(b)와 같은 등가회로로 대체한다. 그림 8은 그림 7과 같은 불균일 入力 TRD를 그림 6과 같이 생각하여 대표한 등가회로다. 出力 TRD도 마찬가지로 대표시키면 컴퓨터 계산에 의하여 入出力간의 挿入손실, 위상응답, 入力 또는 出力임피던스등을 구할 수 있다.

이 모델에서 필요한 파라미터는  $k$ 와  $C$ 인데 이것들은 수개의 finger로 된 균일 TRD에 대하여 共振時(외부에 인덕터를 넣어 조절함)의 入力컨덕턴스와 공진에서 멀리 떨어진 주파수에서의 서셉턴스를 측정하여 다음 이론식으로 부터 계산한다.

$$G_0 = \frac{4}{\pi} k^2 \omega_0 C r N$$

$$B_0 = \omega_0 C r$$

여기서  $N$ 은 finger雙의 개수이고,  $C r = 2NC$ 이다.

여기서 附言할 것은 균일 TRD에서는  $N^2 \sim \pi / 4k^2$ 일 때 최대의 대폭과 최소의 변환손실이 얻어진다는 것이다.  $\text{LiNbO}_3$ 의  $k^2$ 는 最適상태에서

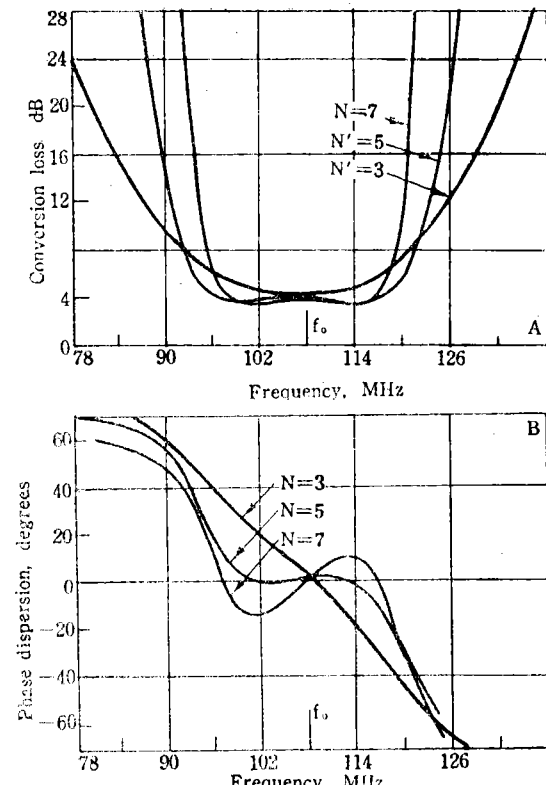


그림 9. 均一 transducer에서의 finger雙의 수에 따른 특성의 변화(LiNbO<sub>3</sub> 표면에 만든것)

0.05이므로 finger雙의 최적수는 5이다. 그림 9는 이것을 나타내며  $N$ 이 최적수보다 큼에 따라 대폭이 좁아짐을 볼 수 있다.

이하 특수하게 구성된 Interdigital 전극의 응용例 몇가지를 들겠다.

(1) **Dipersive 遲延線** 이것은 펄스통신회로등에서 위상보상에 유용하며, 앞에서 든 그림 5의 TRD는 50~70MHz에서 일정한 진폭을 가지고 群速度가 주파수에 따라 직선적으로 감소하는 것을 얻기 위한 것이다. 그림 10은 이 지연선에 대해서  $\delta$ -함수 모델, 등가회로 모델, 實測值에 의한 특성을 비교한 것이다. 예상대로 등가회로 모델이 더 정확한 결과를 준다. 군속도가 주파수에 따라 감소되는 것은 그림 5에서 finger 간격이 우측으로 감에 따라 入力 TRD에서는 점점 좁아지거나 出力 TRD에서는 점점 넓어지기 때문이다. 즉 높은(낮은) 주파수는 주로 finger 간격이 좁은(넓은) 入力 TRD의 右端(左端)에서 발생하는데 이것이 出力 TRD의 左端(右端)에서 검출될 때까지 시간이 덜(더) 걸린다.(만일 한쪽 TRD가 다른쪽 TRD를 平行移動시킨 것과 같은 배치라

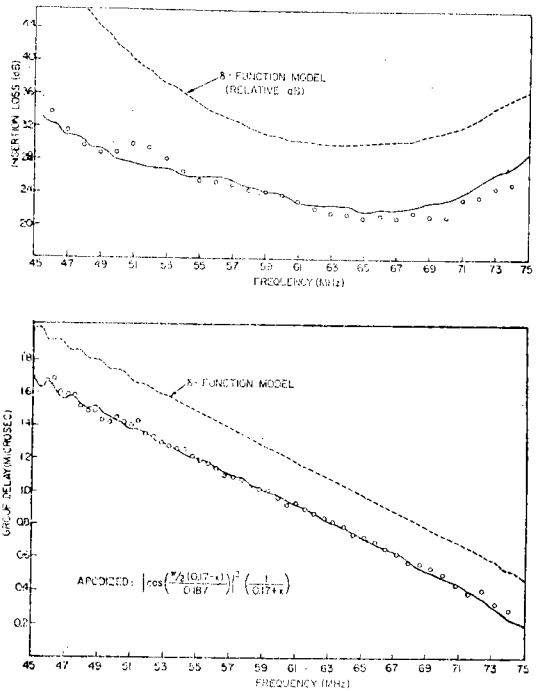
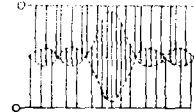


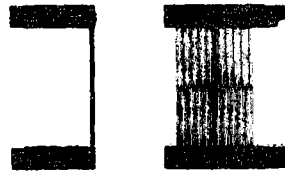
그림 10. LiNbO<sub>3</sub> 표면에 만든 그림 5의 장치의 주파수 응답

면 군속도가 일정하게 될 것이다). 이 지연선은 finger의 길이를 조절하여 등가회로의 병렬어드mitt턴스의 실수부가 전원임피던스에 정합되도록 했으나, 入出力 TDR의 단자의부에 인덕터를 삽입하여 리액턴스분을 상쇄하면 삽입손실을 3dB 정도 더 내릴 수 있다.

(2) 帶域通過여파기 임펄스응답이  $\sin(\omega t)/t$ 인 회로는 그 Fourier 변환으로 부터 良好한 대역 통과특성을 가짐을 알 수 있다. 그러므로 그림 11과 같이 入力측에 廣대역均一 TRD를 쓰고 出力측에  $\sin x/x$ 의 중첩 분포를 가진 등간격 TRD를 쓰면(同圖(a)에 그 細部구조를 그렸는데 특히 零點에서 finger 결선을 반전시켜  $180^\circ$  위상차를 갖게 함에 주목하라) 그림 12와 같이 넓은 대역에



(a)



(b)

그림 11. 廣帶域 入力 transducer와  $\sin x/x$ 의 중첩분포를 가진 出力 transducer로 된 B.P. 여파기

서 손실과 군속도가 대체로 일정한 B.P. 특성이 얻어진다. 임피던스정합으로 삽입손실을 20dB

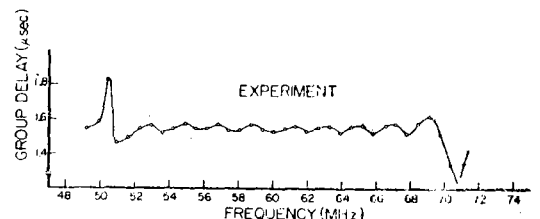
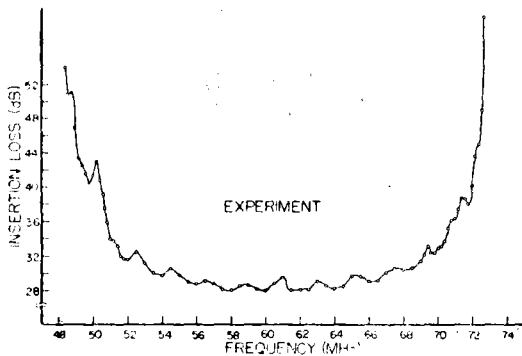
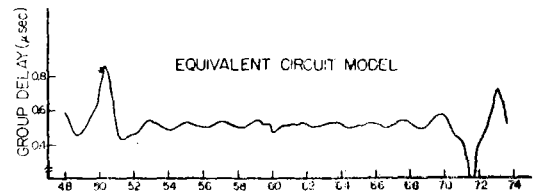
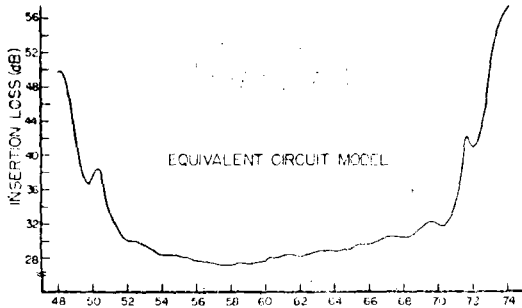
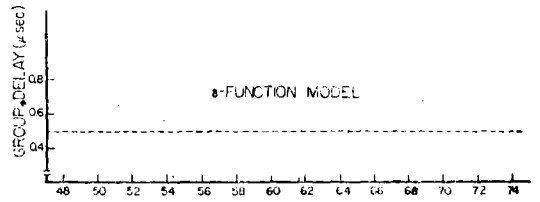
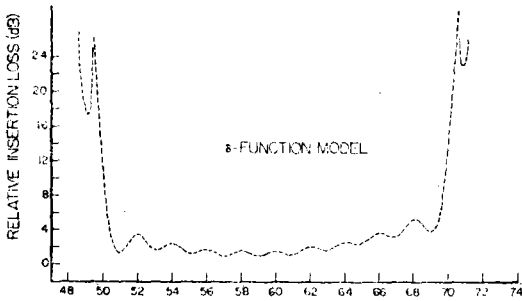


그림 12. LiNO<sub>3</sub> 표면에 만든 그림 11의 장치의 주파수응답

이하로 줄일 수 있다.

(3) 칼라 TV 用 IF 여파기 그림 13은 Zenith 社에서 개발한 칼라 TV 用 IF 여파기다. 직경 1.5 인치의 PZT 기판에 약 30개의 여파기가 들어있는데 각 여파기는 중앙에 위치한 한개의 interdigital 入力 TRD, 양편에 있는 서로 연결된 두 出力 TRD, 또 이 兩者 사이에 있는 TTS 을 위한 雙의 Finger(접지되어 있음)로 구성되고 있다.

(4) 整合여파기 符號化된 파형은 레이더 및 통신제동에 많이 쓰이는데 표면과장치는 이런 파형의 처리에 매우 적당하다. 一例로 linear FM 레이더에서는 그림 14(b)와 같은 직선적으로 FM 된 펄스波를 송신하는데 이것을 발생시키려면 同

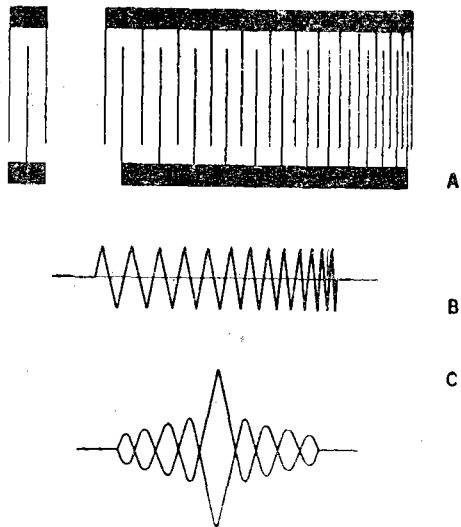


그림 14. Linear FM 레이더用 펄스壓縮여파기. 出力 파형 (c)는 펄스의 중심주파수가  $\sin at/t$ 에 의하여 진폭변조된 것.

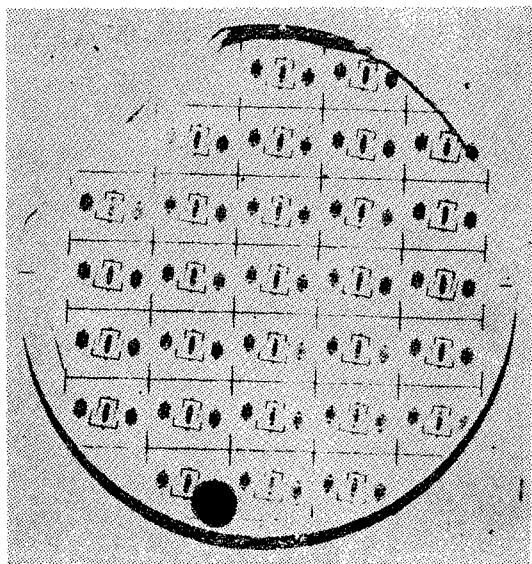
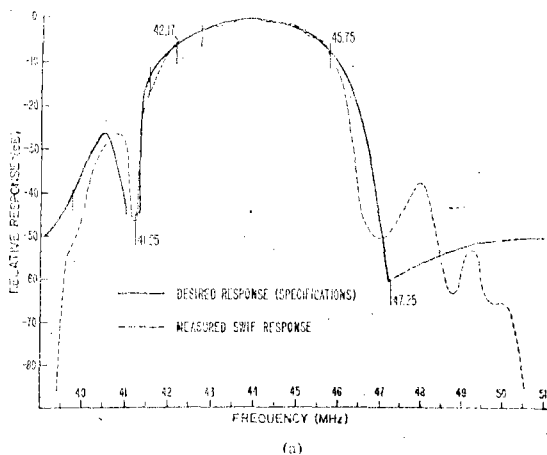


그림 13. 칼라 TV IF 여파기. (a)에서 실선 및 점선은 각각 설계 및 실측특성을 나타냄.

圖(a)의 左側 TRD 에 좁은 임펄스(균일한 주파수成分을 가짐)를 가하고 中央 TRD 에서 出力을 뽑으면 된다. 임펄스波가 지남에 따라 각 finger 간격에 대응하는 주파수成分이 順次로 出力에 나타나기 때문이다. 또 목표물에서 반사된 echo 신호를 좌측 TRD 에 인가하면 (b)의 탄성펄스파가 우측으로 진행하여 파형이 TRD 의 각 finger 에 꼭 들어맞는 순간에는 큰 出力이 나오고, 그 전 후에는 비교적 약한 出力이 나온다(그림 c). 즉 入力신호가 압축되어 짧은 시간에 큰 펄스가 얻어지므로 解像도와 S/N 가 증가된다. 出力 TDR 을 잘 설계하면 중앙펄스와 side lobe 의 진폭비가 100:1 이상이 되게 할 수 있다.

그림 15(a)는 레이더등에서 정확한 同期를 위하여 흔히 사용하는 Barker code 라는 것이다. RF 5사이클이 1 bit 를 구성하고 正의 3 bit 다음에 위상이 반전되어 負의 2 bit, 다음에 正의 1 bit, 負의 1 bit 의 순서로 되어 있다. 이런 phase-coded digital 신호는 同圖(b)와 같은 다수의 탭을 가진 전극 array 에 의해서 발생 또는 검출할 수 있다. 여기서 5雙의 finger 가 1 bit 에 대응하며, 공동단자와 上下전극사이에 平衡회로를 연결하여 RF 半 사이클의 전압을 인가하면, 7 bit(+ + + - - + -)의 Barker code 波가 좌우로 발사하므로 이것을

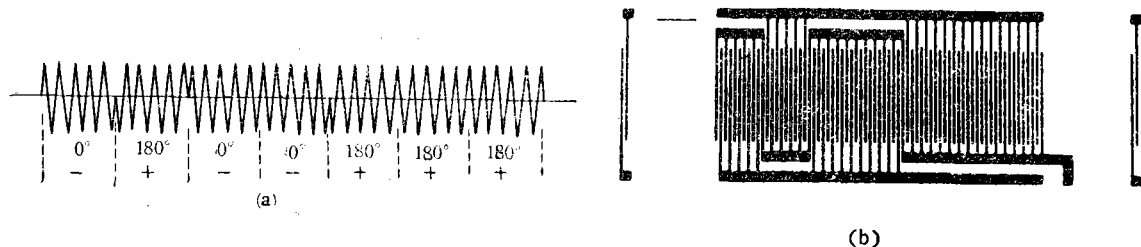


그림 15. Barker code 와 그 發生 및 檢出裝置

좌우단의 광대역 TRD 에서 뽑아 낼수 있다. 반대로 이와 같은 신호를 좌측 TRD 에 인가할때 파가 우측으로 진행하여 중앙 array 와 꼭 들어 맞는 순간에는 평형회로에 큰 출력이 나타나나 그 전후에서는(또 다른 부호의 파에 대해서는) 위상이 맞지 않아 出力이 매우 작아진다.

5. 增幅

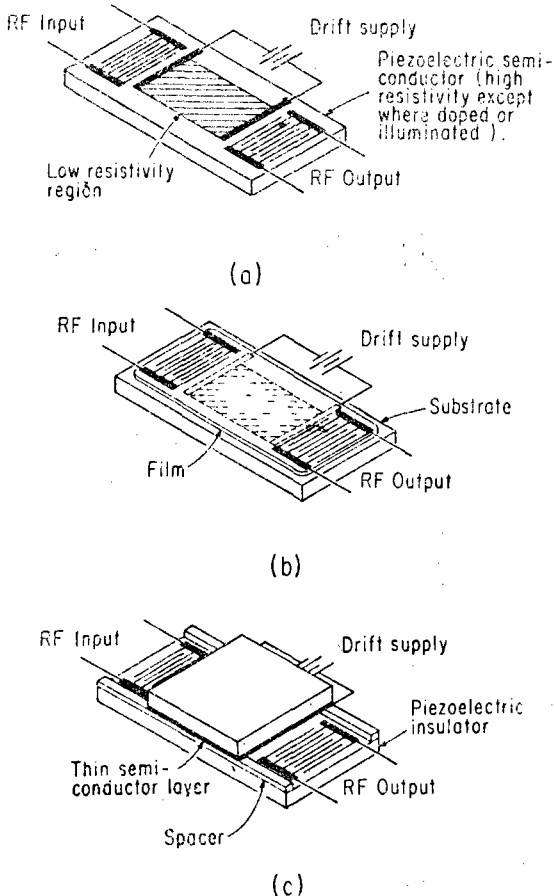


그림 16. 각종 표면파증폭기

표면파내부에서 표면파를 증폭한다는 것은 단순한 증폭이외에 여러가지로 필요하다. 긴遲延線에서는 손실을 보상하기 위해서 도중에서 증폭이 필요하고, TTS 을 위해서는 非可逆의 증폭이 필요하고 또 系의 dynamic range 를 증가하기 위해서는 내부에서의 증폭이 필요하다. 여러가지 구조중 壓電半導體를 쓴 그림 16과 같은 구조가 가장 주목을 끌고 있다. 그림 (a)는 Monolithic 구조이며 斜線部分은 光으로 照射하던지(CdS 와 같이 壓電半導體인 동시에 光電導성질을 가진 경우), 또는 dope 시킨 부분이다. 증폭작용은 直流高電壓에 의한 drift 電荷의 속도가 탄성파에 수반하는 壓電電界의 속도보다 더 클 때 이어나며, 이것은 進行波管에서 전자비임의 속도가 helix 에 沿한 電界속도보다 클 때 前者에서 後자로 에너지가 전달되어 증폭작용이 일어나는 것과 흡사하다. CdS, CdSe, ZnO 등이 이 목적에 적당한 재료이다. 그림(b)에서는 基板과 薄膜中 한쪽이 壓電體이고 다른 쪽이 半도체이며 서로 독립적으로 재료를 선택할 수 있다는 점에서 유리하다. 그림(c)는 압전재료와 半도체 薄膜을 분리시킨 것으로서 양자간의 空隙을 통하여 電界가 필름內의 drift 電荷와 상호 작용한다. 이 電界는 표면으로부터의 거리에 따라 지수함수적으로 감쇠하므로 electronic gain 은 空隙 h가 작을 수록 크며, 일정한 h에 대해서는  $2\pi h/\lambda_R = \epsilon_0/\epsilon_P(\lambda_R : \text{탄성파의 파장}, \epsilon_P : \text{탄성과 매질의 실효유전율})$  을 만족하는 주파수에서 최대利得이 얻어진다.  $\text{LiNbO}_3$  에서는  $\epsilon_P = 50\epsilon_0$  이므로 200MHz 에서 최대이득을 주는 h는 500Å 이다. 한편 잡음과 電力飽和는 반도체에서 일어나므로 이 점에서는 h가 클수록 유리하다. 현재 雜音指數 5dB, 포화전력 1w 까지 얻을 수 있으며, 效率은 비교적 낮은 잡음지수에



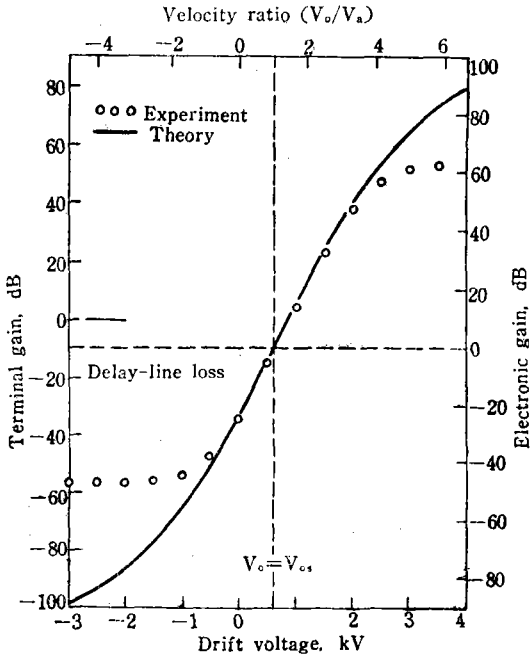


그림 17. 그림 16(c)와 같은 표면파 증폭기의 증폭특성.  $V_0$ =電子 drift 속도,  $V_c$ =Rayleigh 波의 속도

서 10%가 얻어지고 있다. 그림 17은 drift 전압의 크기와 electronic gain 과의 관계의 일례이다. drift 전압이 낮던지 극성이 반대가 되면 전계로부터 drift 전하에 에너지변환이 이어나서 전계 따라서 탄성파가 감쇠됨을 볼 수 있다. 따라서 逆方向으로 전파하는 파는 증폭기에서 큰 감쇠를 받고 TTS는 크게 증가된다.

6. 導波, 收斂, 反射

표면의 任意經路에 따라 표면파를 導波시키는 것은 여러 점에서 필요하다. 제한된 크기의 결정체로서 긴 遲延線을 얻으려면 경로를 몇 번이고 屈曲시켜야 하며, 전자파의 마이크로웨이브素子에 대응하는 方向結合器, 共振器, 여파기 등의 구성에서도 導波가 필요하다. 그림 18에 표시한 각종 도파방법은 보다 波가 늘인 속도의 매질에서 빠른 속도의 매질로 진입하기 어렵다는 원리를 이용한 것이다. (a)~(c)에서는 모서리나 등에서의 波速이 늘어난다는 것을 이용했고 거기서는 粒子拘束이 적어 彈性 stiffness가 작음), (d)~(g)에서는 속도가 늘인 것과 빠른 두 매질을 썼다. 그림 19는 각종 導波素子다. (a)는 電力分割器, (b)는 方向結合器, (c)는 位相속도의 周期的의 변화를 이용한 여파기, (d)는 주파수

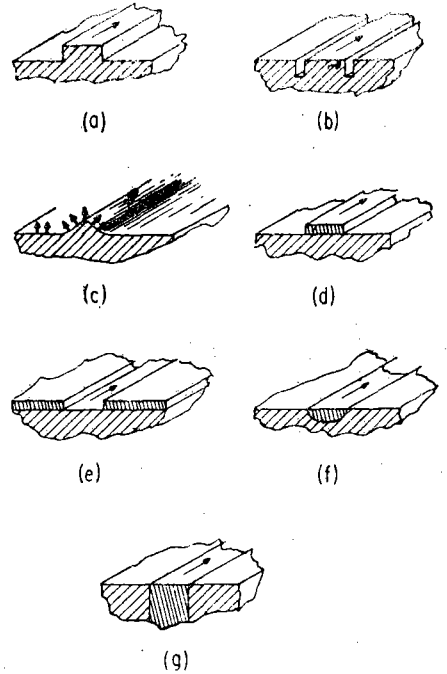


그림 18. 표면파의 導波方法

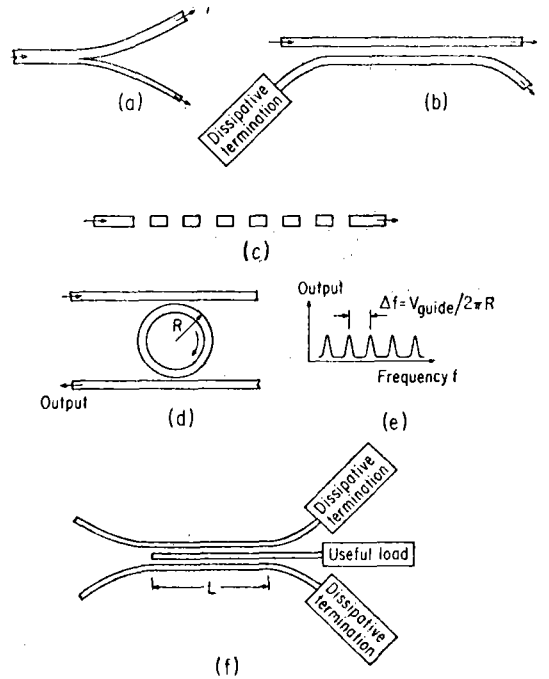


그림 19. 각종 導波素子

선택성 방향결합기, (f)는 論理素子다.

표면파의 收斂은 표면파강도를 크게하여 後述할 非線型效果나 큰 應答을 얻고자 할 때 또는

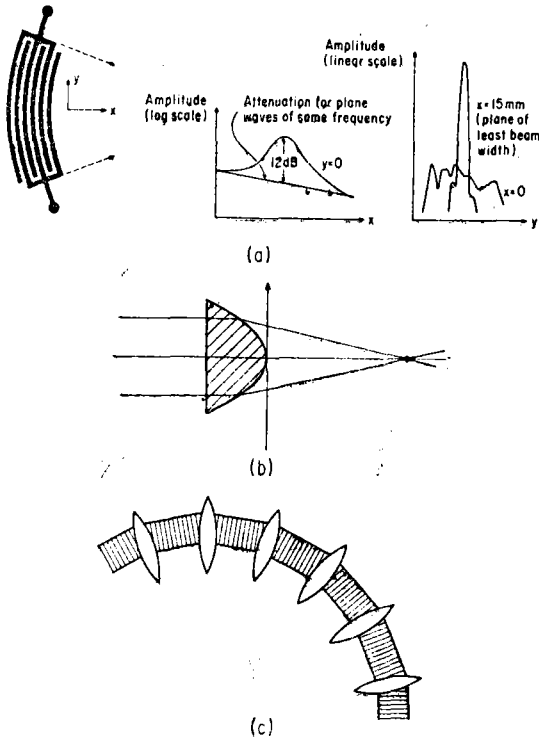


그림 20. 표면파의 收斂

導波의 한 방법으로 필요하다. 그림 20에서 (a)는灣曲된 TDR 구조를 쓴 것, (b)는 壓電固體上에 렌즈모양의 導電電極을 배치한 것, (c)는 다수의 렌즈로서 波를 굽히는 것이다.

표면파가 표면의 기하학적 불연속 또는 波速의 불연속점에 부딪치면 반사되는데 이것을 여러가지로 이용할 수 있다. 그림 21은 긴 遲延線을 얻

기 위하여 네 구석에 slot을 파서 그 線端에서 波를 반사시킨 것이다. 여기에는 波의 감쇠를 보상하기 위한 증폭기, 도중에서 신호를 샘플하기 위한 tap들이 있다.

7. 非線型效果

波의 강도가 커서 매질에서 應力-變形 관계가 비선형으로 되는 현상(1w 정도 이상에서 일어남)은 高調波 발생, 주파수混合, 變調, 振幅制限, 實時間相關器 등에 이용할 수 있다. 예컨대 壓電材料 표면上 양쪽에 廣帶域電極을 또 중앙에 넓은 면적을 가진 하나의 전극 또는 interdigital 전극을 배치하고 양쪽 TRD에 두 신호를 인가하면 混合결과로 中央 TDR에서는 두 波의 差 또는 和의 신호가 검출될 것이다. 時間領域에서 이것을 보면 反對方向으로 진행하는 두 波의 積의 時間積分(波가 中央전극을 완전히 통과할 때까지의)이므로 두 波의 convolutin이 얻어진다. 또 한쪽 파형을 적당한 방법으로 反轉시키면 두 波의 correlation이 얻어진다.

8. 結 論

이상에서 여러가지 표면파장치를 기술했는데 이것은 현재 연구되고 있는 것의 극히 일부에 불과하다. 개발도중에 있는 매우 흥미 있는 것은 TV의 한 frame에 들어있는 情報을 완전히 축적할 수 있는 긴 遲延線(16 ms의 지연시간이 필요)을 만드는 것이다. 연속되는 두 frame의 差는 보통 약간의 정보밖에 포함하고 있지 않으므로

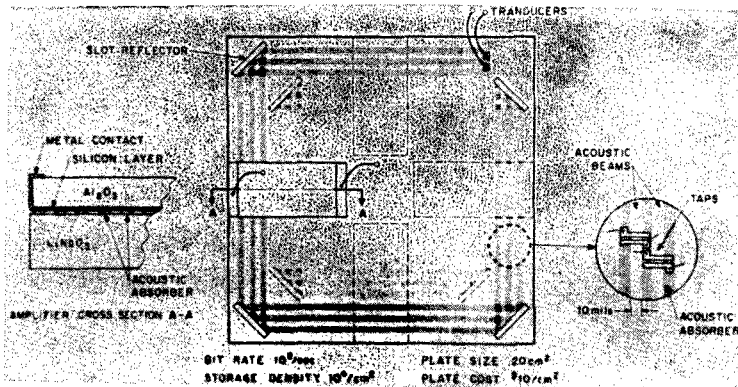


그림 21. Slot에서의 反射를 이용한 긴 遲延線路

실제로 송신에 필요한 정보는 매우 적고 따라서 요구되는 帶幅도 현재의 10분의 1로 足하리라는 것이다. 표면파는 또 高速 데이터 處理을 위한 컴퓨터應用에 유망하다고하며 이 方面도 많이 연구되고 있다.

보다 우수한 특성을 얻기 위한 새로운 材料 개발이 요구되고 있다. TRD를 위한 강한 結合을 갖는 재료, 속도의 온도계수가 작은 재료, 波長 當利得이 높은 증폭용 재료의 개발, 安價한 非壓電材料위에 壓電材料의 薄膜을 입힌 구조에서 더 큰 結合을 얻기 위한 방법, 증폭과 信號처리를 동일기판위에서 할 수 있는 monolithic 구조의 연구, 다른 방법에 의한 HF用 TRD의 개발등이 요구되고 있다. 또 導波, 반사, 不연속점에서의 mode 변환, 損失 機構 등에 대한 더깊은 이론적연구도 요구되고 있다.

불과 5, 6년의 본격적 연구의 역사를 가진 표면파장치는 앞으로 계속 활발히 연구될 것이며 레이더, 통신계통에 많이 이용될 것으로 기대된다.

## 6. 參考文獻

1) G. S. Kino and H. Matthews: Signal pro-

- cessing in acoustic surface-wave devices, IEEE Spectrum, pp. 22—35, August 1971.
- 2) R. M. White: Surface elastic waves, IEEE Proc., pp. 1238—1276, August 1970.
- 3) R. H. Tancrell and M. G. Holland: Acoustic surface wave filters, IEEE Proc., pp. 393—409, March 1971.
- 4) Special Issue on Microwave Acoustics, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Nov. 1969.
- 5) J. H. Collins and P. J. Hagan: Tapping microwave acoustics for better signal processing, Electronics, pp. 94—103, Nov. 10, 1969.
- 6) J. H. Collins and P. J. Hagan: Amplifying acoustic surface waves, Electronics, pp. 102—111, Dec. 8, 1969.
- 7) J. H. Collins and P. J. Hagan: Surface wave delay delay lines promise filters for radar, flat tubes for television, and faster computers, Electronics, pp. 110—122 Jan. 19, 1970.