

技術解説

탄성표면파 (SAW) 신호처리 소자 Surface Acoustic Wave Signal Processing Devices

황금찬, 이동욱

(Keum-Chan Whang, Dong-Wook Lee)
(연세대학교 전자공학과)

1. 서 론

탄성표면파(Surface Acoustic Wave) 소자는 1970년 대 부터 아날로그 신호 처리 소자로 연구되기 시작하였으며¹⁾ 현재는 일반 통신용 제품에서 부터 위성 통신과 군용 통신 장비 등 특수 통신 분야의 신호 처리 분야에 이르기까지 널리 사용되는 소자이다.

탄성표면파 소자가 이와 같이 널리 사용되는 이유는 우선 가변고 크기가 작기 때문에 경제성 면에서 잇점이 있고, 평판형 구조로 제작하기 간편하며, 고주파에서 특성이 안정되어 있기 때문이다. 그러나 이러한 이유 외에도, 탄성표면파 소자는 transversal 필터의 범주에 속하므로 현재 많이 연구되는 신호 처리 이론을 수행하는데 용이한 소자이기 때문이다.

본 소고에서는 이와 같은 탄성표면파 소자의 동작 원리와 설계 이론들을 간단히 살펴보고, 현재 사용되는 탄성표면파 소자와 그의 응용 분야, 그리고 연구 방향에 대하여 소개한다.

2. 탄성표면파와 변환기

2.1. 탄성표면파 및 압전 재료

탄성표면파는 고체의 표면을 진행하는 파로써 1885년 Rayleigh²⁾에 의하여 처음 발표되었다. 이와 같은 탄성표면파를 압전 물질에 적용한 것은 그로부터

80년 후인 1965년³⁾에 와서이다.

탄성표면파 용 압전 재료는 소자의 용도에 따라 기성, 특성 등을 고려하여 선택한다. 많이 사용되는 압전 재료는 LiNbO₃, LiTaO₃와 quartz이다. LiNbO₃는 전기기계 결합계수(K²)가 상대적으로 커서 손실이 적지만 TCD (Temperature Coefficient of Delay : 온도에 따른 SAW 지연 시간 특성 ppm / °C)가 크므로, 온도에 따른 중립 수파수의 이동이 소자의 특성에 크게 영향을 미치지 않는 광대역 수파수 특성을 갖는 데 사용하고, quartz는 반대로 횡내역 수파수 특성을 필요로 하는 데 사용한다. 최근에는, 단결정의 단점인 가격이 비싸고, 만들기 어려운 점을 개선하기 위하여 다결정 기판에 대한 연구가 진행중에 있으며⁴⁾, 또 반도체와 결합하기 쉬운 GaAs를 이용하기 위한 연구는 하고있다.⁵⁾

표 1은 많이 사용되는 탄성표면파 용 압전 재료의 종류와 그 특징을 나타내었다.

2.2. 탄성표면파의 여기와 검출

탄성표면파 소자는, 입출력 전극을 이용하여, 압전 재료의 표면에 표면파를 여기, 검출하는 과정을 통하여 신호를 처리하는 소자이다. 입력 전극은 입력 전기신호에 의하여 압전 물질의 표면에 표면파를 여기시킨다. 이 표면파는 압전 물질의 표면을 통하여 압력 전극에서 부터 양 방향으로 전파하며, 출력 전극에 표면파가 도달하면 출력 전극에 의해 다시 전기 신호로 출력된다. 그림 1은 가장 간단한 탄성표

표 1. 탄성표면파 합성 재료의 특성.

소재	탄성표면파 속도(m/sec)	K_2 (%)	TCD (ppm/°C)	특징
ST-X quartz	3158	0.14	0	"
Y-Z LiNbO ₃	3488	4.8	94	High Bulk Wave Emission ⁶⁹
128° rotated Y-X LiNbO ₃	3992	5.3	75	Low Bulk Wave Emission ⁶⁹
SiO ₂ on 128° Y-X LiNbO ₃	≈3800	≈8.0	≈0	Large K ²⁰⁰
Bi ₂ GeO ₅	1681	1.4	~130	(001)prop., (110)cut ⁶⁹
	1708	1.64	-	(111), (110) ⁶⁹
	1624	0.64	-	(110), (001) ⁶⁹
GaAs	<2841	<0.06	35	(110), <100>
Rotated-Y cut Z'-prop. LiTaO ₃	3254	0.72	35	Minimum Diffraction cut ⁶⁹
X-cut 112° Y-prop. LiTaO ₃	3288	0.6	18	Low Bulk wave Emission
X-Z Li ₂ Bi ₄ O ₇	3562	≈1	6.2	Can dissolve in Water and Acids ¹¹⁰
ZnO / AlN / Glass	5840	4.3	21	Uses Sezawa mode of Rayleigh Wave ¹²⁰
PSS-PZT+0.4wt% MnO +0.1wt% Cr ₂ O ₃	2423	2.3	0	polycrystal ⁶⁹

면파 소자인 탄성표면파 지연선에서의 탄성표면파의 여기와 검출 과정을 나타낸다.

압전 물질 표면에 표면파를 여기서시키거나, 표면파를 검출하기 위한 임펄스 전극으로 IDT(Interdigital Transducer)를 주로 사용한다. 표면파를 여기하는 방법으로는 IDT를 사용하는 방법 이외에도 Current-Excited Electromagnetic Acoustic Transducers나 laser를 이용하는 방법도 있지만, 이와 같은 방법은 탄성표면파 소자, 또는 재료의 특성 측정에 주로 사용된다. 또한 탄성표면파 convolver와 같이 특별한 형태의 출력 전극을 사용하는 소자도 있다.

입력 IDT의 전극에서 여기되는 탄성표면파의 크기와 위상은 각 전극의 겹친 길이와 겹친 전극의 극성에 의해 결정되어 여기되며, 출력 IDT에서 검출할 때는 각 전극의 겹친 길이와 극성에 따라 상대적인 크기와 위상을 갖는 전자기 전극에 유도된다. 그림 2와 같이 임펄스 전원에 의하여 입력 IDT에서 여기되는 탄성표면파의 상대적 크기와 위상이 $h_1(t)$ 이고, 임펄스 표면파에 의해 출력 IDT에 유도된 전압

의 상대적 크기와 위상이 $h_2(t)$ 이면, 이 탄성표면파 소자의 전체 임펄스 응답, $h(t)$ 와 주파수 전달 함수, $H(\omega)$ 는 각각 $h_1(t) * h_2(t)$, $H_1(\omega) \cdot H_2(\omega)$ 이다. 여기서 $H_1(\omega)$, $H_2(\omega)$ 는 각각 $h_1(t)$, $h_2(t)$ 의 주파수 응답이다.

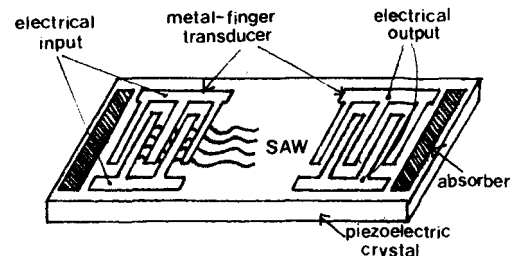


그림 1. 탄성표면파 지연선에서의 탄성표면파의 여기와 검출

그림 2에서 사용한 IDT는 가장 간단한 형태의 IDT로써 single electrode IDT라 한다. 전극의 폭은 탄성표면파 1/4 파장이며, 전극의 주기가 한 파장이 되도록 설계한다. 이와 같은 한 주기에 2개의 전극을

설치하는 간단한 형태의 IDT 외에도 그림 3(b)과 같이 일정한 중심 주파수에 있어서의 탄성표면파의 방사각이 작고 손실이 적은 구조에 대한 전극을 배열하는 split-electrode IDT도 많이 사용하고 있다.¹⁵⁾

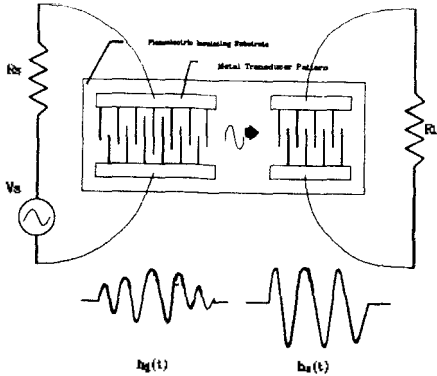


그림 2. IDT의 구조와 그 IDT의 임펄스 응답¹⁴⁾

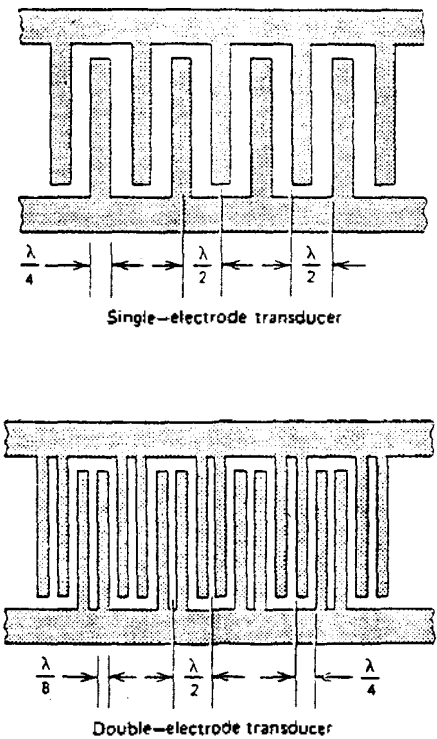


그림 3.(a) Single-electrode IDT의 (b) Split electrode IDT¹⁵⁾

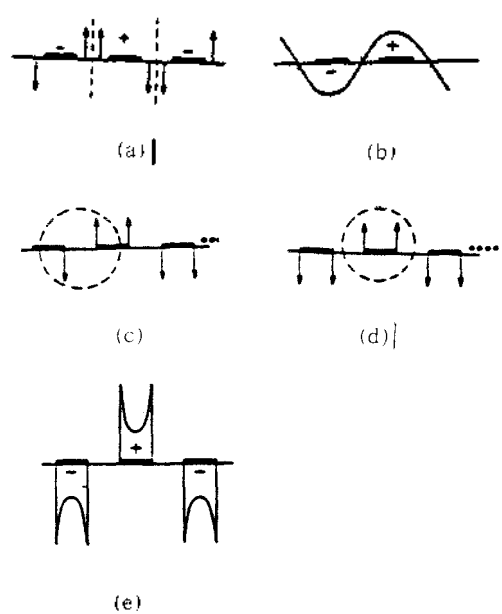
2.3. 탄성표면파 필터의 주파수 특성

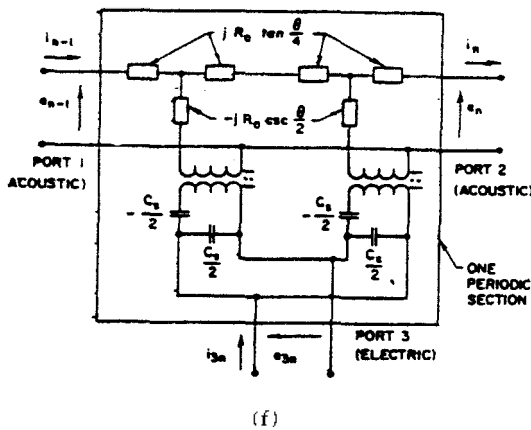
탄성표면파 필터의 특성을 해석하는 방법은 크게

IDT를 모델링하는 방법과 Green 함수를 사용하는 방법¹⁶⁾으로 나눌 수 있다. IDT의 모델링 방법은 고차 유한 차분기, 임펄스 응답 모델¹⁷⁾, spectral weighting model¹⁸⁾, crossed field 모델¹⁹⁾ 등이 있으며, 2차 효과를 예측하기 위한 방법들도 많이 연구되었다. 그림 4는 IDT의 모델들이다.

델타 함수 모델(그림 4(a),(c),(d))은 가장 간단한 모델로서 각 전극을 걸친 길이에 비례한 크기를 갖는 델타 함수로 모델링하여 DFT를 이용한 주파수 응답을 알아낸다. 이와 달리 임펄스 응답 모델(그림 4(b))은 IDT의 weighting 함수를 sinusoidal 함수로 주파수 이동시킨 형태로 모델링하는 방법이다. Spectral weighting 모델(그림 4(e))은 각 전극에서의 전하 분포를 모델링하는 방법이며, 각 IDT의 선극을 그림 4(f)와 같이 3-port Mason 등가 회로를 이용하여 입출력 IDT의 등가 어드미턴스를 얻는 방법도 있다.

이와 같은 방법 이외에도 spectral weighting model과 Mason 등가 회로를 이용하여 고조파 특성을 해석하는 방법²⁰⁾도 연구되었다. 이 방법은 IDT의 weighting 함수가 급히 변하는 함수인 경우는 정확한 특성을 얻을 수 없으나, 정규형 IDT나 dispersive IDT 등에는 고조파 특성을 상당히 정확하게 얻을 수 있다.





(f)

그림 4. IDT의 여러가지 모델
 (a) Impulse model (Equi. ckt.), (b) impulse model (sine),
 (c) delta function model, (d) Modified delta function model,
 (e) spectral weighting model [이와⁽¹⁶⁾], (f) Mason equivalent circuit⁽¹⁸⁾.

2.4. 2차 효과 및 그 대책

탄성표면파 소자는 전 소절에서 설명한 모델에 의한 이상적인 특성이외에도 2차 효과에 의한 왜곡된 특성을 갖게된다. 이와 같은 2차 효과에는 전극에 의한 mass loading effect, bulk wave에 의한 왜곡, 입출력 IDT 사이에서 일어나는 탄성표면파 반사에 의한 TTE(Triple Transit Echo), 탄성표면파의 회절 현상, 입출력 IDT 사이에서 일어나는 electromagnetic feed through 현상 등이 있다.

Mass loading effect는 전극이 있는 부분에서 탄성표면파의 속도가 느려지는 현상으로, 탄성표면파 필터의 중심주파수가 저주파 쪽으로 이동하게된다. 이 현상에 의한 영향은 설계 시에 탄성표면파 속도를 보상함으로써 없앨 수 있다.

Bulk wave는 탄성표면파 압전 물질의 내부에 존재하는 파로써, 탄성표면파 보다 속도가 빨라 통과 대역의 주파수 특성에 영향을 미치게 된다. 이의 영향을 줄이기 위해 압전 물질의 뒷면은 표면파의 진행을 위해 거울 같이 처리를 하지만 밑면은 bulk wave가 반사되어 산란하도록 거칠게 처리한다. 이와 같은 방법 이외에도 그림 5와 같이 MSC(Multistrip Coupler)를 사용하여 탄성표면파의 진행로를 바꾸는 방법도 사용한다.⁽¹⁹⁾ 그러나 이방법은 소자의 크기가 커지므로, bulk wave가 적은 방향으로 표면파가 진행하도록 압전 재료의 cut 방향을 정하는 방법을

사용한다. Bulk wave에 의한 영향을 정확히 나타낼 수 있는 해석 방법은 spectral weighting 모델과 Green 함수를 이용한다.⁽¹⁸⁾ 이 방법은 임펄스 응답까지 정확하게 예측할 수 있다.

탄성표면파가 입력 IDT에서 여기되어 출력 IDT에 도달하게 되면 전극이 존재하는 부분과 존재하지 않는 자유 표면 사이의 임피던스 차 때문에 탄성표면파가 반사되어 다시 입력 IDT로 돌아가게되고, 입력 IDT에서도 마찬가지로 다시 반사되어 출력 IDT에서 검출된다. 이를 TTE라 한다. 이 현상이 일어나게되면 주파수 전체에 걸쳐 탄성표면파 필터의 주파수 특성에 리플이 생기게된다. 이 현상은 외부 회로의 임피던스를 조절하여, 압전 재료의 자유 표면과 전극이 압착된 표면과의 임피던스를 정합시켜 없앨 수 있다. 그러나 이 방법은 전극과 외부 회로 사이의 임피던스가 정합되지 않아 필터의 손실이 커지는 단점이 있다. 이 방법 이외에도 그림 6과 같이 한 개의 입력 IDT와 두개의 출력 IDT를 사용하여 TTE를 억제하는 방법도 사용한다. 이 방법은 중앙의 입력 IDT의 외부 회로의 임피던스를 변화시켜, 반대편 출력 IDT에서 반사된 표면파가 투과될 때와 입력 IDT에서 재 반사될 때 크기는 같고 위상이 반대되어, 반대편 출력 단자에 도달되어 서로 상쇄되도록 정합한다. 이 방법은 두 방향에서 출력 신호를 얻으므로 손실이 적다는 장점이 있다.

빛의 회절 현상과 마찬가지로 탄성표면파의 전파에서도 회절 현상이 나타난다. 이와 같은 회절 현상에 의하여, 탄성표면파가 출력 IDT에 도달하였을 때 한 전극에서 검출되는 탄성표면파의 위상은 검출되는 위치에 따라 다르므로 서로 간섭을 하게된다. 그 결과 대역 통과 필터의 trap 점이 흐려지는 현상이 나타난다. 이와 같은 현상을 고려하여 탄성표면파 필터의 특성을 해석하는 방법은 위의 spectral weighting 모델과 Green 함수를 이용하는 해석 방법에 탄성표면파가 전파하는 모양(beam profile)을 계산하여 첨가하는 방법이다.⁽²⁰⁾ 이 해석 방법은 정확하지만 압전 물질의 각 방향에 대한 속도를 정확히 알아야 하며, 또 계산하는 시간이 오래걸리는 단점이 있어 이를 해결하려는 연구가 진행되고 있다.⁽²⁰⁾ 이와 같은 현상을 보상하여 원하는 특성을 얻기위하여

IDT의 폭을 크세하는 방법이 있지만, 경제적인 이유로 이와 같은 방법은 사용하지 않고 IDT의 weighting 함수를 바꾸어 보상하는 algorithm을 사용한다.²⁴⁴⁾ 그림 7은 필터 특성에 미치는 회절 현상의 영향과 보상 알고리즘에 의해 영향을 줄인 주파수 특성이 다.

입출력 IDT 사이에 생기는 feed through 현상은 입력 IDT에 가한 신호 일부가 탄성표면파로 변환되지 않고 바로 출력 IDT에서 검출되는 현상이다. 이와 같은 현상은, 입출력 IDT가 안테나의 역할을 하여 생기는 현상으로, 고주파일수록 심하게 나타난다. 입력 신호는 주파수 대역보다 넓으므로 이러한 현상이 일어나면 필터의 주파수 특성에 넓게 ripple이 생기게 된다. 이와 같은 현상을 줄이기 위해서는 입출력 IDT와 외부회로의 임피던스를 정합시켜주고²⁴⁵⁾, packaging을 철저히 하며, 입출력 IDT 사이에

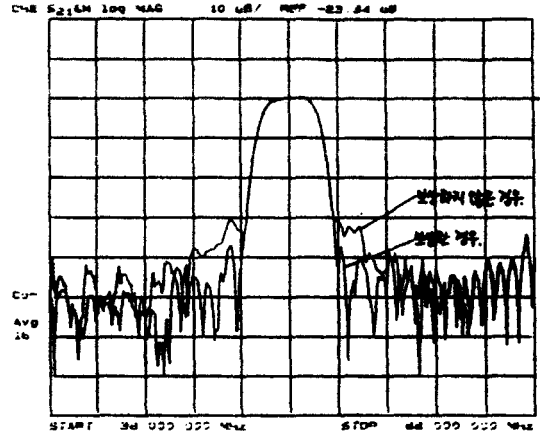


그림 7. 탄성표면파 필터의 주파수 특성에 미치는 회절 현상의 영향과 보상된 주파수 특성 측정치²⁴⁶⁾.

접지 loop를 만들지 말아야 한다.

3. 탄성표면파 소자의 종류와 그 응용

3.1. 탄성표면파 필터

탄성표면파 필터는 통신 시스템의 IF, RF 단에 사용되는 신호 처리 소자로서 각 단의 특성에 따라 IF 단에는 큰 신호를 다루므로 손실이 15~40[dB] 정도인 일반적인 탄성표면파 필터를 사용하고, RF 단에서는 작은 크기의 신호를 다루므로 손실이 3 [dB] 정도인 특별히 설계된 저 손실 탄성표면파 필터를 사용한다.

일반적인 IF 필터링을 위한 탄성표면파 필터는 TV IF 필터와 HDTV용 three IDT를 이용한 UIF (UHF IF) 필터²⁴⁷⁾가 있으며, 탄성표면파 지연선은 FM 변별기²⁴⁸⁾와 recirculating 저장 소자^{249,250)}, Oscillator²⁵¹⁾, 각종 센서²⁵²⁾등으로 사용된다. 저 손실 탄성표면파 소자는 mobile cellular radio의 RF 단 대역 통과 필터에 사용된다. 사용주파수는 VHF 대역에서 11GHz까지 다양하다.²⁵³⁾

또 탄성표면파 필터의 임펄스 응답을 이용하여, 입력으로 PSK나 임펄스 열을 가하고 출력으로 다른 소자로 만들기 어려운 MSK²⁵⁴⁾, SFSK²⁵⁵⁾, AWQPSK²⁵⁶⁾ 신호를 얻을 수 있는 변조기로도 많이 사용한다. 그림 8은 대역 통과 필터 특성의 한 예이다.

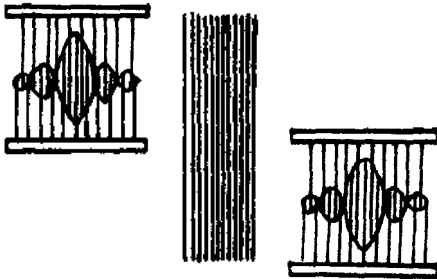


그림 5. Multistrip coupler를 이용한 탄성표면파 필터의 구조.

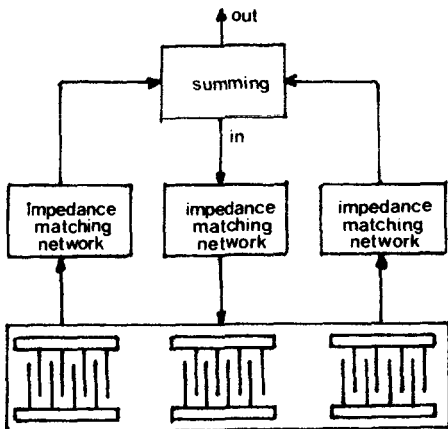


그림 6. Three IDT를 이용한 탄성표면파 필터의 구조²⁴⁷⁾.

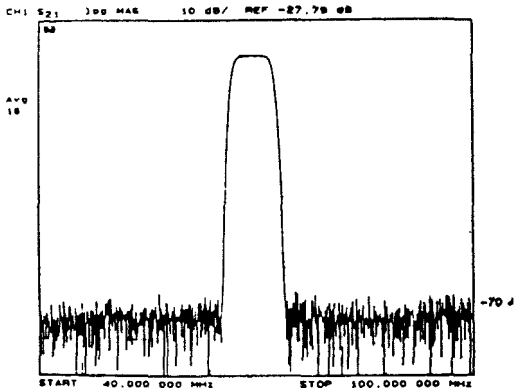


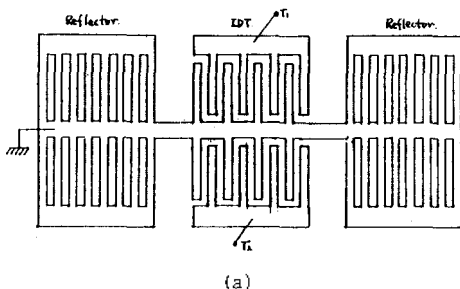
그림 8. 대역 통과 필터 특성의 예 (Courtesy of Crystal Technology, Inc., Palo Alto, CA.)

3.2. 탄성표면파 공진기

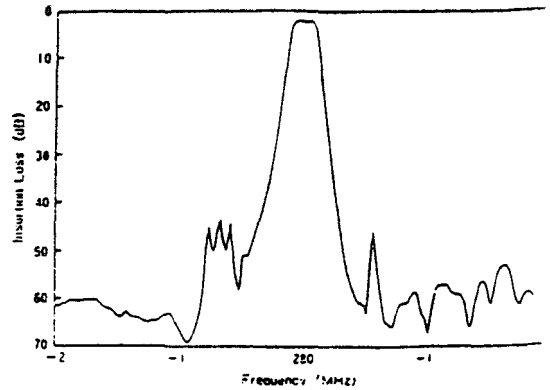
탄성표면파 공진기는 입출력 IDT 양 옆에 반사기 를 설치하여 특정 주파수에서는 모든 에너지가 IDT 를 통해 검출되도록 하는 구조이다. 탄성표면파 공진 기는 paging 시스템, 무선 전화기, 카본 등의 협대역 통과필터와 협대역 제지 필터로 사용하며, 주파수가 안정된 oscillator에 이용한다.

최근에는 공진기 사이의 acoustic coupling을 이용 하여 사이드 로브를 더 억제한 다중모드 결합형 공진기가 사용되고 있다³⁹⁾. 그림 9는 double mode 결합형 공진기의 구조와 그 주파수 특성의 한 예이 다.

이들 탄성표면파 공진기의 설계는 IDT 사이의 거리와 IDT와 반사기 사이의 거리, 그리고 IDT와 반사기 중심주파수 등을 잘 고려하여 설계하여야 한다. 특히 IDT의 전극수나 반사기의 수가 상당히 많으므로 내부에서의 탄성표면파의 반사현상의 영향 등을 잘 고려하여야 한다⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾.



(a)



(b)

그림 9.(a) 탄성표면파 double mode 공진기의 구조와 (b) 주파수 특성⁽³⁹⁾.

3.3. 탄성표면파 chirp 필터

탄성표면파 chirp 필터는 선형 FM 신호를 임펄스 응답으로 갖는 소자로써, 그 구조는 그림 10과 같 다.

탄성표면파 chirp 필터는 chirp radar용 신호 처리 소자로 사용되었다. 그러나 최근에는 spectrum analyzer의 Fourier transformer⁽³⁹⁾와 협대역 감음 제거용 소자⁽⁴⁰⁾로 사용하고 있다. 또 선형 광대역 통과 필터로도 사용되고 있다.

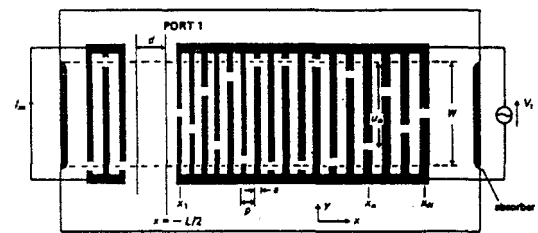


그림 10. Chirp 필터의 구조⁽⁴⁵⁾

3.4. 탄성표면파 콘벌버

탄성표면파 콘벌버는 압전물질의 비선형성⁽⁴¹⁾을 이용하는 소자이다. 그림 11은 광대역 탄성표면파 콘벌버의 개략도이다. 그림에서와 같이 탄성표면파 콘벌버는 양 쪽 IDT에서 입력 신호가 가해지고, 가운데 출력 단자(wave guide)에서 출력 신호를 얻는다. 출력 단자 내에서의 1차 성분인 두신호의 합은 출력 단자에서의 공간 적분에 의하여 없어지

이러한 신호의 큰 성분 양의 집분뢰에 실는다. 이러한 신호 반전된 두 신호의 음의 성분은 결국 두 신호의 waveforms 가역된다.

탄성표면파 콘벌버는 음향 전기(acoustoelectric) 콘벌버와 탄성(elastic) 콘벌버가 있다. 음향 전기 콘벌버는 출력 단자의 비선형성을 크게하기 위하여 출력단자 위에 Si를 엮은 것으로 손실은 있지만 구조가 복잡하다. 탄성 콘벌버는 압전 물질 위에 전극만 있는 것으로 비선형성이 작아 입력 IDT에서 여기되는 표면파를 모아서 출력단자에 입력된다. 이와 같이 표면파를 모으는 역할을 하는 것을 beam compressor라 한다. Beam compressor는 MSC⁽⁴³⁾, Parabolic horn⁽⁴⁴⁾등이 있으나, 모두 구조가 복잡하고 소자 크기의 대부분을 차지해, 그림 11과 같은 focused IDT를 이용한다. 입력 IDT는 광대역 신호를 처리하기 위하여 chirp IDT를 사용한다.

출력단자가 긴 경우($\lambda_{\text{elect}}, 2$ 이상)는 출력 단자 위에 분포된 양 신호 음에 의한 선하가 더해질 때 위상 차에 의해 신호가 왜곡되거나 이를 long line effect⁽⁴⁵⁾라 한다. 이를 줄이기 위하여 출력 단자를 분할하여 그림 12와 같은 구조의 회로를 통하여 출력을 얻는다.⁽⁴⁶⁾

탄성표면파 콘벌버는 프로그램 가능한 정합 필터로써 DS/SS(Direct Sequence Spread Spectrum)을 이용한 통신 시스템에 사용하며, SS radar와 과학 위성에서의 ranging 시스템에 많이 사용한다.^(47,48) 그 외에 화상 처리 시스템에서의 콘벌부선 연산을 위한 아날로그 프로세서⁽⁴⁹⁾로도 사용한다.

3.5. 탄성표면파 탭 지연선과 Acoustic Charge Transport (ACT) 소자

탄성표면파 탭 지연선은 transversal filter와 같은 원리로 동작한다. 초기의 탄성표면파 탭 지연선은 압전 소자에 고정된 임펄스 응답을 갖는 DS/SS용 PN(Pseudo-Noise) 정합 필터 정합 필터로 많이 사용하였다.⁽⁴²⁾ 그러나 탄성표면파 소자와 반도체 소자의 hybrid 기법을 통하여 각 탭의 크기는 고정하고 그 극성만을 digital 신호로 조정할 수 있는 프로그램 가능한 DS 용 PN 정합 필터⁽⁵⁰⁾가 가능해졌다. 이 소자는 그림 13과 같이 정합 필터 코드의

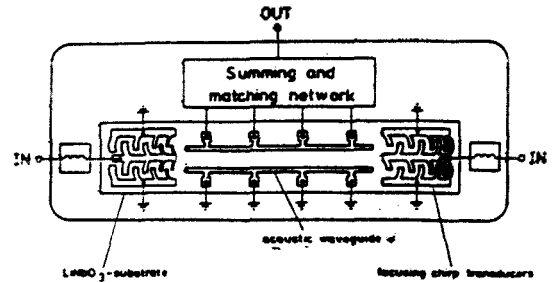


그림 11. 광대역 탄성표면파 콘벌버의 구조⁽⁴²⁾

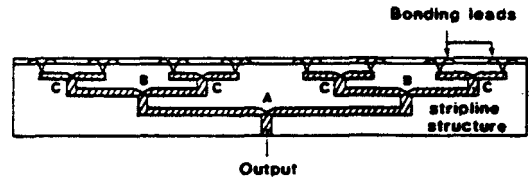


그림 12. 탄성표면파 콘벌버의 출력 회로⁽⁴⁶⁾

극성을 외부에서 shift register(SR)를 통해 입력하면, latch는 DS 데이터 1 bit 마다 SR 각 단의 값을 병렬로 받아 탄성표면파 탭 지연선 각 탭의 출력의 극성을 결정하는 RF SW를 조정한다. 이와 같은 방법으로 DS 데이터 1bit 마다 정합필터의 임펄스 응답이 변하게 된다.

프로그램 가능한 transversal 필터⁽⁵⁰⁾는 그림 14와 같이 탭 지연선의 각 탭에도 Amp를 설치하여 각 탭의 출력 크기도 제어할 수 있도록 한 소자이다. 이와 같은 소자는 그 자체가 적응 신호 처리 이론을 그대로 사용할 수 있어 앞으로 널리 사용될 전망이다. 이와 더불어 반도체와 결합을 쉽게 하고 처리 대역폭도 넓은 ACT가 연구 중에 있다⁽⁵¹⁾. 이 소자는 위의 경우와 같이 압전 물질과 반도체 소자를 hybrid 기법으로 결합하는 것이 양되고, 그림 15와 같이 탄성표면파 임진 기법으로 GaAs를 사용하여 바로 반도체 소자와 같은 기관 위에서 동작할 수 있다는 장점이 있다. 기능은 탄성표면파 소자와 CCD를 합친 기능을 한다. IDT에 가해진 CW(continuous Wave)에 의해 탄성표면파가 여기되어 진행하며(이 탄성표면파는 반사기에 의해 한 방향으로만 전파함), 이 탄성표면파가 입력 신호를 sampling하며 전하를 다음 tap으로 전달한다. 출력 tap은 입력에 비례한 크기의 탄성표면파를 검출하고, 반도체 제어

회로에 의해 다른 tap 출력과 상대적 크기와 극성으로 출력된다. 이 소자는 신호처리 대역폭이 SAW-FET 결합 소자가 100[MHz]인데 비하여 180[MHz]⁽⁵⁶⁾이나 되어 앞으로 적응 신호 처리 분야에 응용하기 위하여 집중 연구될 것이다.

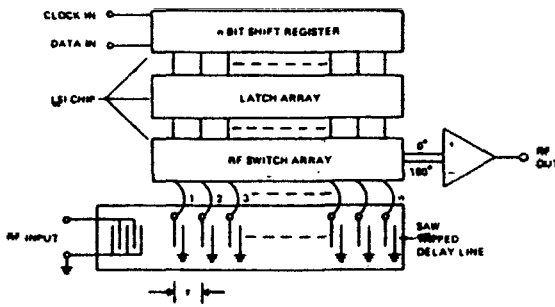


그림 13. 프로그램 가능한 PN 결합 필터의 개략도⁽⁵³⁾

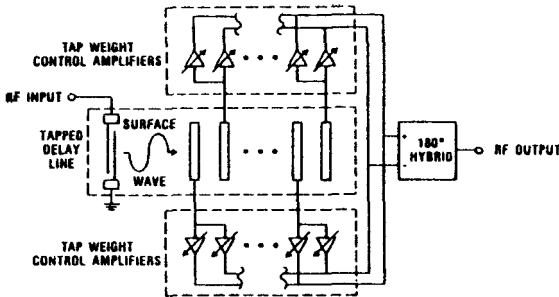


그림 14. 프로그램 가능한 transversal 필터의 개략도⁽⁵⁴⁾

ACT PTDL Device

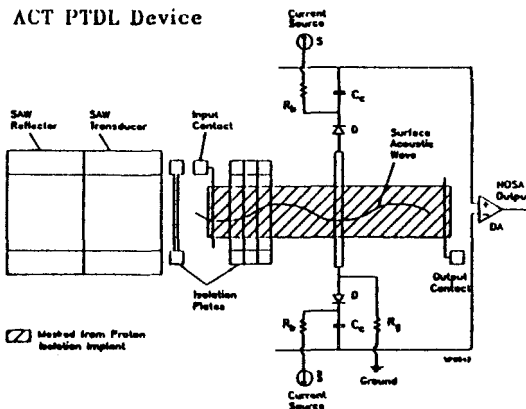


그림 15. ACT 소자의 개략도⁽⁵⁵⁾

표 2. PMF, PTF, CTD의 성능 비교⁽⁵⁶⁾

PMF : Programmable Matched Filter
 PTF : Programmable Transversal Filter
 CTD : Charge Transfer Device
 HPTF : Hybrid Programmable Transversal Filter⁽⁵⁷⁾

	SAW			CTD		DIGITAL
	SAW / FET	HPTF	PMF	CCD	ACT	VHSIC
BANDWIDTH (MHz)	100	100	12.5	25	180	10
DURATION (psec)	1.5	0.08	10.2	5.1	0.7	128
TBP	15	8	128	128	128	128
TOTAL TAPS	350	16	128	128	128	129
WEIGHTS	COMPLEX	COMPLEX	BINARY	BINARY	BIPOLAR	BINARY
SIGNAL	IF	IF	IF	VIDEO	IF / VIDEO	4-BIT
TDR(dB)	75	85	50(75)	50	40	20
SFDR(dB)	-	60	-	-	-	18
ACCURACY(%)	3	0.1	-	-	3	-

TBP : Time Bandwidth Product, TDR : Thermal Dynamic Range
 SFDR : Spurious Free Dynamic Range

4. 결 론

본 소고는 현재 선진 각국에서 연구하거나, 사용하고 있는 탄성표면파 소자와 그 응용 분야, 기본적인 탄성표면파 소자의 특성과 그 설계 방법, 2차 효과와 그 대책등에 대하여 간단히 소개하였다.

앞서 설명한 바와 같이 탄성표면파 소자는 그 크기가 소형이고, 제작이 편하며, 고주파 대역에서 안정된 특성을 갖는다. 이와 같은 특성과 경제성 등으로 일반 무선 통신(paging system, 무선 전화기, 카폰)에서의 RF 대역 통과 필터와 TV 관련 기기(HDTV, CATV, 일반 color TV)의 IF 필터로 각광을 받고 있으며, 위성 통신에서도 각종 대역 통과 필터로 많이 이용하고 있다. 더욱이 신호 처리 분야에서는, 광대역 RF 신호를 직접 처리할 수 있어, DS/SS 신호 처리용 정합 필터로 많이 사용되고 있으며, 최근 반도체 소자와의 결합을 통하여 적응 신호 처리 소자로 각광 받게 될 전망이다.

현재, 우리나라에서도 늦음 감은 있지만, 탄성표면파 소자에 대한 관심이 고조되어 TV 용 탄성표면파 IF 필터의 국산화와, 이동 무선 통신 시스템에서 협대역 필터로 사용하기 위한 탄성표면파 공진기의 개발에 힘쓰고 있다.

앞으로, 통신과 신호 처리 분야의 발전과 함께, 특히 무선 통신의 다양성으로 인하여 소자의 필요성은 더욱 커질 것이다. 그러므로 현재의 연구 결과와 통신 분야와 소자류 더욱 광범위한 영역에 적용하기 위한 연구로 계속 발전 시키어 할 것이다.

참고문헌

1. R.C. Williamson, "Case Studies of Successful Surface-Acoustic-Wave Devices," in Proc. 1977 Ultrason. Symp., pp.460-468, 1977.
2. L.Rayleigh, "On Waves Propagating along the Plane Surface of an Elastic Solid," in Proc. London Math. Soc., vol. 7, pp.4-11, Nov. 1885.
3. R.M. White and F.W. Voltmer, "Direct Piezoelectric Coupling to Surface Elastic Waves," Appl.Phys.Lett., vol. 17, pp.314-316, 1965.
4. 박창엽, "탄성표면파 소자용 압전 세라믹 기판의 개발," 과학기술원 연구보고서, 연세대학교, 1990.
5. Y.Etaba and H.Satoh, "Current Applications and Future Trends for SAW in Asia," in Proc. 1988 Ultrason. Symp., pp.195-202, 1988.
6. M.J. Hoskins and B.J.Hunsinger, "Recent Developments in Acoustic Charge Transport Devices, in Proc. 1986 Ultrason. Symp., pp.439-450, 1986.
7. M.F. Lewis et al, "Recent Developments in SAW Devices," in IEE Proc. UK, vol.131, pt. A, pp.186-212, June 1984.
8. Bulletin of Cristal Technology Inc., Palo Alto, CA, "Surface Wave Crystals".
9. K. Yamanouchi and S.Hayama, "SAW Properties of SiO₂ / 128° y-x LiNbO₃ structure Fabricated by Magnetron Sputtering Technique," IEEE Trans Sonics Ultrason., vol.SU-31, pp.51-57, Jan. 1984.
10. A.J. Slobodnik, Jr. et al, "Lithium Tantalate SAW Substrate Minimal Diffraction Cuts," IEEE Trans Sonics Ultrason., vol.SU-25, pp.92-97, Mar. 1978.
11. W.S. Ishak, C.Flory, and B.A. Auld, "Acoustic Modes in Lithium Tetraborate," in Proc. 1987 IEEE Ultrason. Symp., pp.241-245, 1987.
12. T.Shiosaki et al, "High-coupling and High velocity SAW Using ZnO and AlN Films on a Glass Substrate," IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec. Freq. Contr., vol. UFFC-33, pp.324-330, May 1986.
13. J.D. Maines and E.G.S. Paige, "Surface-Acoustic Wave Devices for Signal Processing Applications," Proc. of the IEEE, vol. 64, pp.639-652, May 1976.

14. R.M. Hays and C.S. Hartmann, "Surface-Acoustic Wave Devices for Communications," Proc. of the IEEE, vol.64, pp.657-671, May 1976.
15. H. Matthews, Surface Wave Filters, John Wiley & Sons, 1977.
16. D.P. Morgan, "Quasi-Static Analysis of Generalized SAW Transducers Using the Green's Function Method," IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol.SU-27, pp.111-123, May 1980.
17. T.L. Szabo et al, "Interdigital Transducer Models: Their Impact on Filter Synthesis," IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol.SU-26, pp.321-333, Sep. 1979.
18. W.R. Smith et al, "Analysis of Interdigital Surface Wave Transducers by Use of an Equivalent Circuit Model," IEEE Trans. MTT, vol.MTT-17, pp.856-864, 1969.
19. 안재영, 박용서, 황금찬, "다중 스트림 결합기를 이용한 탄성표면파 필터 제작 방법," 한국음향학회 논문지, 제3권 2호, pp.23-29, 1984.
20. W.R. Smith and W.F. Peedler, "Fundamental- and Harmonic-Frequency Circuit Model Analysis of Interdigital Transducers with Arbitrary Metallization Ratios and Polarity Sequences," IEEE Trans. MTT., vol.MTT 23, Nov. 1975.
21. K.Setsune and K.Wasa, "Use of Three-Idt SAW Devices in High-Definition Satellite TV Receivers," IEEE Trans. sonics Ultrason., vol.SU 31, pp.652-657, Nov. 1984.
22. E.B. Savage, "Compensation for Nonideal Effects in Surface Acoustic Wave Interdigital Transducers," in Ph. D. Thesis in Elec. Eng., University of California, Santa Barbara, USA, June 1980.
23. M.Tan and C.Flory, "Fast Computation of SAW Diffraction by Asymptotic Techniques," IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec. Freq. Contr., vol.UFFC-34, pp. 93-104, Jan. 1987.
24. 황금찬, "탄성표면파 소자 기술 개발에 관한 연구," 한국전자통신연구소 연구보고서, 연세대학교, 1990.
25. M.R. Mader et al, "Universal Method for Compensation of SAW Diffraction and Other Second Order Effects," in Proc. 1982 IEEE Ultrason. Symp., pp. 23-34., 1982.
26. 황금찬, "광대역 고속 통신 소자," 한국과학기술원 연구보고서, 연세대학교, 1989.
27. C.K. Campbell, "Applications of Surface Acoustic and Shallow Bulk Acoustic Wave Devices," Proc. of the IEEE, vol. 77, pp.1453-1484, Oct. 1989.
28. W.C. Fifer and F.J. Bruno, "The Low Cost Packet

- Radio," Proc. of the IEEE, vol. 75, pp.33-42, Jan. 1987.
29. 박용석, 임재영, 아태천, 황금찬, "직접 확산 방식 스펙트럼 확산 통신의 고속 동기 시스템," 한국통신학회논문지, 제13권, pp.400-410, 1988.
 30. T.E. Parker and M.B. Schulz, "Stability of SAW controlled Oscillators," in Proc. 1975 IEEE Ultrason. Symp., pp.261-263, 1975.
 31. T.M. Roedes et al, "SAW Oscillator Pressure Sensors," in Proc. 1975 IEEE Ultrason. Symp., pp.263-268, 1975.
 32. K. Yamanouchi et al, "SHF-Range Surface Acoustic Wave Inter-Digital Transducers Using Electron Beam Exposure," in Proc. 1988 Ultrason. Symp., pp.115-118, 1988.
 33. 이동욱, 이재경, 황금찬, "탄성표면파 PSK-MSK 변조기," 한국음향학회논문지, 제9권, pp.53-60, 1990.
 34. 이윤일, 박용서, 황금찬, "탄성표면파 SFSK 변조기," 대한전기공학회 추계학술 발표대회논문집, pp.220-221, 1985.
 35. 하준호, 김근목, 황금찬, "탄성표면파 직렬형 AWQ PSK 변조기," 한국음향학회논문지, 제6권, pp.44-50, 1987.
 36. Y.Koyamada and S. Yoshikawa, "Coupled Mode Analysis of a Long IDT," Rev. of the Elec. Comm. Lab., vol. 27, pp.432-444, May-June 1979.
 37. 이동욱, 김근목, 황금찬, "결함브드이론에 의한 2-port 형 탄성표면파 공진기의 설계," 대한전기학회논문지, 제36권 1호, pp.36-42, 1987.
 38. P.V. Wright, "Analysis and Design of Low-Loss SAW Devices with Internal Reflections Using Coupling-of-Modes Theory," in Proc. 1989 Ultrason. Symp., pp.141-152, 1989.
 39. H. Gautier and C. Maerfeld, "Current Applications and Trends of SAW Components in France," in Proc. 1988 IEEE Ultrason. Symp., pp.67-75, 1988.
 40. L.B. Milstein, "Interference Suppression to Aid Acquisition in Direct-Sequence Spread-Spectrum Communications," IEEE Trans. Comm., vol.36, pp 1200-1207, Nov. 1988.
 41. C.Quate and R.B. Thompson, "Convolution and Correlation in Real Time with Nonlinear Acoustics," J.Appl. Phys., vol.16, pp.494-496, 1970.
 42. H.P. Grassl and H.Engan, "Small-Aperture Focusing Chirp IDT Transducers vs. Diffraction Compensated Beam Compressors in Elastic Convolvers," IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol.SU-32, pp.675-684, Sept. 1985.
 43. A.Ronneckleiv, "Diffraction Compensated SAW Multistrip Beam Compressors," in Proc. 1983 IEEE Ultrason. Symp., pp.410-414, 1983.
 44. I.Yao, "High Performance Elastic Convolver with Parabolic Horns," in Proc. 1980 IEEE Ultrason. Symp., pp. 37-42, 1980.
 45. E.L. Adler, "Electromagnetic Long-Line Effects in Surface Wave Convolvers," in Proc. 1980 Ultrason. Symp., pp.82-87, 1980.
 46. H.Engan et al, "On the Design of High Performance Planar Surface Acoustic Wave Convolvers," IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol.SU-31, pp.175-184, May 1984.
 47. M.Kowatch et al, "An Application of SAW Convolvers to Spread Spectrum Transmission of Packet Voice, IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol.SU-32, pp. 771-777, Sep. 1985.
 48. J.H. Fischer et al, "Wide-Band Packet Radio for Multipath Environments," IEEE Trans. Comm., vol. 36, pp.564-576, May 1988.
 49. 박병훈, 이동욱, 황금찬, "탄성표면파 콘벌버를 이용한 스펙트럼 확산 통신의 고속동기에 관한 연구," 한국통신학회 추계학술발표대회논문집, pp.213-217, 1989.
 50. K. Tsubouchi et al, "An Asynchronous Spread Spectrum Wireless-Modem Using a SAW Convolver," in Proc. 1988 IEEE Ultrason. Symp., pp.213-218, 1988.
 51. J.Becker and H.P. Grassl, Application of a SAW Convolver as a Fast Special Processor in a Multiprocessor-System, in Proc. 1986 Ultrason. Symp., pp-169-172, 1986.
 52. S.T. Costanza et al, "Analog Matched filter Using Tapped Acoustic Surface Wave Delay Line," IEEE Trans. MTT, vol.MTT-17, pp.1042-1043, Nov. 1969.
 53. J.Lattanza et al, "240MHz Wideband Programmable SAW Matched Filter," in Proc. 1983 IEEE Ultrason. Symp., pp.143-150 1983.
 54. C.M. Panasik et al, "A 32 Tap digitally Controlled Programmable Transversal Filter," in Proc. 1988 Ultrason. Symp., pp.151-154, 1988.
 55. M.J. Hoskins and B.J. Hunsinger, "Recent Developments in a Acoustic Charge Transport Devices," in Proc. 1986 IEEE Ultrason. Symp., pp.439-450, 1986.
 56. J.H. Cafarella, "Programmable Transversal Filters: Applications and Capability," in Proc. 1987 IEEE Ultrason. Symp., pp.31-42, 1987.

57. C.M. Faurst et al. (Eds.), "A Desktop Hybrid Programmable Transversal Filter Using Monolithic GaAs Dual Gate FET Array," in Proc. 1985 IEEE Ultrason. Symp., pp.130-136, 1985.

58. F.Gardini, "Performance of Acoustic Charge Transport Programmable Tapped Delay Line," in Proc. 1987 IEEE Ultrason. Symp., pp.11-14, 1987.

59. S.M. Richie, "SAW Filter Computer Aided Design Workstation," in Proc. 1980 IEEE Ultrason. Symp., pp.85-90, 1980.

60. J.Rendel et al, "CAD of Precise SAW Convolver and Long Delay Lines," in Proc. 1987 IEEE Ultrason. Symp., pp.85-90, 1987.

61. S.M. Richie et al, "Methods of Computer Aided Analysis and Design for Surface Wave Devices," in Proc. 1988 IEEE Ultrason. Symp., pp.11-15, 1988.

62. S.M. Richie et al, "A First Generation CAD Computer for Surface Wave Acoustic Wave Filters Using Isomorphical Transducers," in Proc. 1989 IEEE Ultrason. Symp., pp.173-178, 1989.

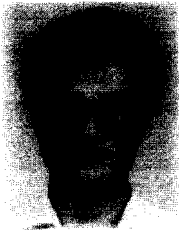
63. 李東旭, "Optical Imaging Scanning Using P-N Diode Memory Correlator," 현대대학교 졸업논문(석사) 논문집, 제13권, pp.27-31, 1981.

64. J.C. Chung and J.Y. Jui, "Mathematical Modeling of Two Dimensional Diffraction Analysis in Anisotropic Media," J.Acoust.Soc. in Korea, vol.7, pp. 86-97, Aug. 1988.

65. M.Farka et al, "Narrow Bandpass Filter Using Double Mode SAW Resonators on Quartz," in Proc. 58th Annual Freq. Control Symp., pp.286-293, 1984.

筆者紹介

▲李東旭



1962년 1월 8일생
 1984년 2월 : 연세대학교 전기공학사
 1980년 2월 : 연세대학교 석사학위
 전기공학(공학석사)
 1987년 9월 ~ 현재 : 연세대학교
 대학원 전기공학과
 학사과정

▲黃金燦



1944년 7월 18일생
 1967년 2월 : 연세대학교 전기공
 학사(공학사)
 1975년 6월 : Polytechnic Insti-
 tute of New York
 공학석사
 1979년 6월 : Polytechnic Insti-
 tute of New York
 공학박사

1979년 6월 ~ 1980년 9월 : 국방과학연구소 선임연구원
 1980년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 전기공학과 교수