

이동통신용 SAW filter의 국내외 기술동향

김 지 수*

(*삼성전기(주) SAW 제조그룹)

1. 개 요

탄성표면파(Surface Acoustic Wave, SAW) 디바이스는 고속, 고밀도, 무조정, 초소형의 주파수제어, 선택 및 신호처리를 위한 독자적인 기능과 뛰어난 특성을 갖고 있다. 따라서 현재 전자, 정보통신 시스템의 고도화에 큰 역할을 다하고 있으며 앞으로도 새로운 연구, 개발이 강력히 요망되고 있는 실정이다.

구체적으로 이들 특징을 살린 탄성표면파 디바이스의 연구개발을 위해서는 다음과 같은 사항들이 요구된다. 즉, 큰 전기기계결합계수와 큰 SAW 속도를 가지고 있는 압전 단결정 및 압전 단결정 박막재료에 대한 연구개발이 필수적이다. 또한 이들 재료 속을 전파하는 선형, 비선형 탄성과 동에 대한 규명 및 그 파동을 이용한 고성능 디바이스 연구도 요구되고 있다. 탄성표면파와 광파의 상호작용을 이용하여 빛의 편향, 변조, 주파수변환, 주파수선택, mixing 등의 기능을 갖고 있는 고성능 광 디바이스를 연구하는 것, 그리고 박막반도체와 탄성표면파의 상호작용을 이용한 스펙트럼 확산통신의 핵심 디바이스인 고효율 convolver¹⁾의 개발 역시 강력히 요구되고 있다.

다가오는 21세기의 고도 글로벌 정보화사회를 향해 탄성표면파 디바이스는 이동통신, 광통신 시스템에서의 고속, 고밀도, 초소형의 주파수제어, 선택 및 신호처리를 위한 디바이스로서 미래의 전자, 정보통신 시스템의 고도화에 큰 역할을 다할 것으로 생각되며, 향후 더욱 더 발전하게 될 것으로 기대된다. 이 원고에서는 탄성표면파 디바이스의 최신 기술동향과 국내외 SAW 필터 제조업계의 동향을 소개하고자 한다.

2. SAW DEVICE의 최신 기술동향

2.1 이동통신 시스템과 탄성표면파 디바이스

제 1세대인 아날로그 이동통신시스템에 이은 제 2세대

의 디지털 이동통신시스템은 지역에 따라 그 방식이 각각색이다. 그렇기 때문에 제 3세대에서는 세계적으로 통일된 이동통신 시스템을 추진할 것이 요청된다. 이에 따라 ITU-R(국제연합의 하부기관, 국제전기통신 연합무선sector)의 TG8/1(Task Group 8/1)이 조직되어 그 검토에 들어갔다. 표준화를 위한 안으로서 과거에는 2000년을 그 실행의 목표로 정했기 때문에 FPLMS(Future Public Land Mobile Telecommunication System)이라는 명칭으로 진행되었다. 그렇지만 실제로 2000년이 목전에 다가왔기 때문에 Future라는 단어에는 위화감이 있어 IMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000)으로 개명하여 계속적으로 표준화를 진행하고 있다 (2000의 의미는 최초 2000년에 실현예정이었다는 점과 2,000MHz대를 이용한다는 것에서 붙여진 명칭으로 추정한다).

IMT-2000에서는 무선규격으로서 미국독자의 cdma2000 방식을 추천하는 미국의 켈컴사와 일본, 유럽의 합동안인 W-CDMA 방식을 주장하는 Sweden Ericsson(社)의 사이에서 서로의 주장이 대립하여 난항하고 있다. 특히 양사는 각각 몇 가지 무선규격의 특허를 주장하고 있다. 켈컴사는 W-CDMA와 cdma2000의 완전한 단일화를, Ericsson은 W-CDMA와 cdma2000의 복합 service화를 요구한다. 그 후, 99년 6월부터 새로운 표준화가 제안됐다. 특허문제는 양자가 무상으로 사용을 개방한 뒤에 우선 (a) Chip rate로서 FDD, TDD에서는 W-CDMA, cdma2000 어느 쪽과도 다른 중간의 3.84Mcps가 제안되었으며, multi캐리어에 대해서는 3.68964Mpcs(cdma2000 대역의 3배)가 제안됐다. (b) 기지국간 동기, 비동기의 차이는 양쪽 모두 인정한다. (c) Pilot channel의 신설을 요구한다. 특히 IMT-2000은 일본에서는 2001년 봄, 세계 최초로 서비스를 시작하는 것으로, 한국에서는 2002년 봄 최초 서비스가 시작될 것으로 예상된다.

탄성표면파 필터는 이들 이동통신 시스템에 있어서 필수 불가결한 요소로서 그림 1과 같이 다음 부분에서 사용되고 있다. 뿐만 아니라 습도, 온도, 비틀림에 대한 센서, 자이로 센서로 폭 넓게 응용할 수 있어 현재 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

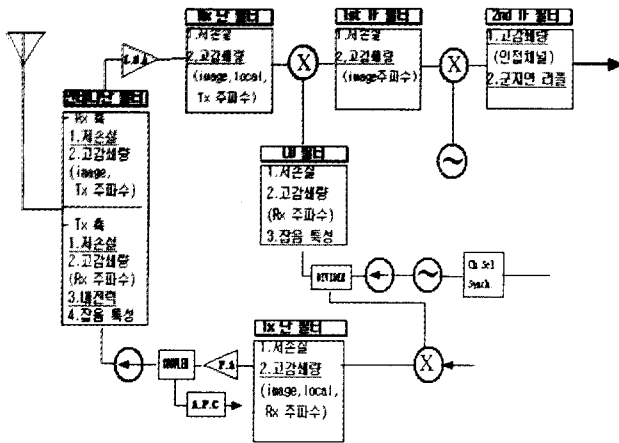


그림 1. 이동통신 단말기에서 사용되는 SAW 디바이스
 (1) RF 필터(Rx/Tx 단 필터), (2) 중간주파수 필터,
 (3) 국부발진기용 필터, (4) 안테나 듀플렉서

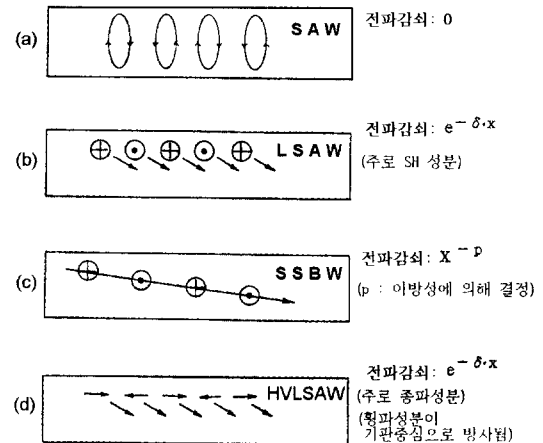


그림 2. (a) Rayleigh파, (b) 유사탄성 표면파, (c) SSBW, (d) HVLSAW의 주된 변위 및 기판속으로의 방사

2.2 탄성표면파 device를 위한 파동과 기판재료

압전체 기판 상의 탄성표면파는 Rayleigh wave 유형의 표면파뿐만 아니라 그밖에도 성질이 다른 표면파가 몇 가지 존재한다. 즉 반무한 기판에는 (1) Rayleigh wave 유형의 표면파(Surface Acoustic Wave, SAW)이외에 (2) 유사탄성 표면파(Leaky Surface Wave, LSAW), (3) 표면집중형 SH파(Surface Skimming Bulk Wave, SSBW) 및 자유표면의 경우에는 표면집중도가 나쁘지만 표면 단락일 때는 1과장 이내에 변위가 집중되는 BGS파가 있다. 또한 층상구조 기판에서는 (4) Love파, (5) Sezawa wave파, (6) Stoneley 파 등을 들 수 있다. 최근 고주파화에 적합한 (2)의 LSAW는 횡파의 SH성분을 주변위로 한다. 이에 비해서 기판표면의 주 전파성분이 종파성분을 가지며, 종파속도에 가까운 종파 leaky 표면파(High Velocity Leaky Surface Wave, HVLSAW)가 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 단결정의 Euler각($0^\circ, 47.3^\circ, 90^\circ$)에서 음속 6700m/s, 전기기계 결합계수 $k^2=1.2\%$ 를 발견하였다.²³⁾ 이 종파 leaky파의 응용에 있어서는 HVLSAW보다 전파속도가 느린 기판 중에 발생하는 SH성분이 될 수 있는 한 발생하지 않도록 전파로 및 송·수신 전극을 연구하는 것이 중요하다.

그림 2는 (a) Rayleigh파, (b) 유사탄성 표면파, (c) SSBW 및 (d) HVLSAW의 주요 변위 및 깊이 방향의 전파감쇠 특성을 나타낸다.

탄성표면파 device의 특성은 이용하는 압전기판에 의해 크게 좌우되기 때문에 기판재료의 선택이 중요하다. 바람직한 기판재료의 조건은 전기신호와 탄성표면파와의 변환능력인 전기기계결합계수 K^2 (V_f : 자유표면상의 SAW 전파속도, V_m : 표면단락시 SAW 전파속도)가 커야 한다는 점을 들 수 있다.

$$K^2=2(V_f - V_m)/V_f \quad (1)$$

대단히 큰 비선형 광학특성을 갖고 있기 때문에 고효율의 고차 고조파를 발생하는 광학 단결정으로서 주목받고 있는 KNbO_3 단결정은 동시에 대단히 큰 압전성을 나타내는 단결정이다.¹⁵⁾ 탄성표면파 재료로서 이론적인 해석을 한 결과, 지금까지는 없었던 대단히 큰 전기기계결합계수 ($k^2=0.53$)를 나타내는 기판이라는 사실이 해석과 실험에 의해 확인되었다. 그림 3은 rotated Y-cut X propagation KNbO_3 의 회전각에 대해 자유표면파와 표면단락의 경우에 대한 음속의 변화 및 k^2 를 나타낸다.

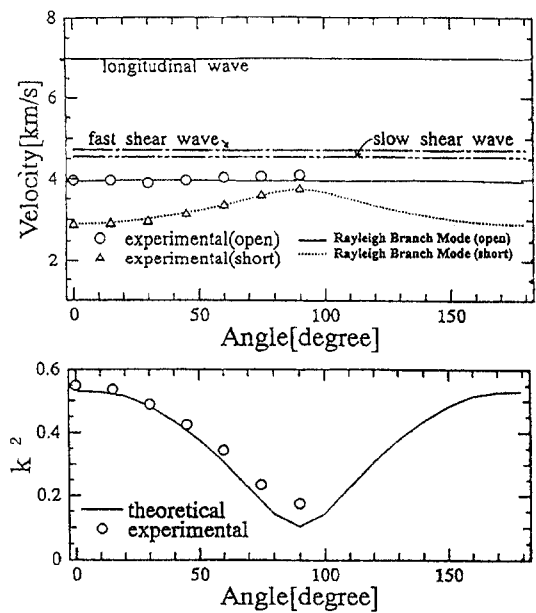


그림 3. KNbO_3 단결정 기판의 속도 및 k^2

지연 온도계수(Temperature Coefficient of Delay, TCD)가 zero에 가까워야 한다는 점도 탄성표면파 기판의 중요한

요소이다. ST-cut 수정이 널리 이용되고 있지만, 최근 Langasite 단결정 기관(La₃Ga₅SiO₁₄, LGS)이 ST-cut 수정의 약 2.5배의 전기기계결합계수 k^2 를 가지면서 상온부근에서 0 온도특성을 가지고 있는 기관으로서 주목받고 있다. LGS의 0 온도특성 실험은 사토에 의해서 최초로 시행됐다. 그 후, 많은 연구자에 의해 leaky 표면파도 함께 연구되고 있다.⁶⁷⁾

한편 LGS의 1차 온도계수는 탄성상수 및 압전상수가 거의 바이너스이므로 0 온도특성의 기관을 얻을 수 없을 것으로 추정된다. 유일한 LGS의 특징은 열팽창계수가 약 16ppm/°C 정도인 LiNbO₃에 비해서 약 5ppm/°C로 작다는 것을 들 수 있다. 이 특징을 검토함으로써 선행장계수가 작은 기관에 LiNbO₃, LiTaO₃와 같이 큰 전기기계결합계수를 갖고 있는 기관을 원자간 힘을 이용한 직접접착으로 온도특성을 개선한 기관 연구가 이루어지고 있다.⁶⁸⁾ 또한 비선형 상수를 이용한 복합기관의 이론적 해석과 상온에서 접착가능한 자외선 경화제를 이용한 온도특성을 개선한 기관이 연구되고 있다.

Spurious mode 억압의 연구로는 자유표면에서의 전파에 관한 128° Y-X LiNbO₃가 최초의 연구로 알려지고 있다. 그렇지만 표면에 금속박막이 존재하는 경우, 128° Y-X LiNbO₃에서는 cut면을 미세하게 바꿈으로써 spurious 억압이 가능하다는 점을 알게 됐다.¹¹⁰⁾ 또한 36° Y-X LiTaO₃에서는 cut면을 40~12°로 한 번이 최적이라는 사실을 밝혀내었고¹¹⁾ 일본의 Fujitsu사에서 ladder형 RF filter에 응용하여 제품을 생산하고 있는 실정이다. 또한 GHz대 이상의 탄성표면파 device에 적합한 고속의 SAW 속도 기관으로서 ZnO, AlN/sapphire¹²⁾, diamond¹³¹⁾ 기관과 같은 박막기관 및 새로운 압전 박막으로서 KNbO₃ 박막기관¹³⁾, Ta₂O₅ 박막기관이 연구되고 있다.

또한 탄성표면파 기관에 요구되는 조건으로서 회절효과나 beam steering 효과가 작고, 전파손실이 작아야 한다는 점을 들 수 있다.

2.3 초고주파 탄성표면파 변환기와 전파손실

탄성표면파 회로소자로 주로 이용되고 있는 변환기(전기적 신호→기계적 진동)는 기관의 압전효과를 이용한 interdigital transducer(IDT)이고, 장래의 초고주파화를 위해서는 미세 가공기술의 향상이 반드시 필요하다. 예를 들어 탄성표면파 속도가 4km/s, 전극과 전극사이의 공간과 전극 폭과의 비가 1:1인 IDT에서는, 10GHz의 주파수에서 파장(λ_0)이 0.4 μ m가 되기 때문에 0.1 μ m의 전극 폭($h=\lambda_0/4$)이 필요하다.

광 lithography에서는 최소치수가 전사광의 파장과 거의 같은 정도가 된다. 그것을 위해서는 더욱 짧은 파장의 빛을 이용하는 기술이나 파장한계를 증가하는 초해상도 기술의 검토가 필요하다. 또한 X선 sole광이나 전자선 lithography 기술에서도 고throughput화가 요구되고 있다. 현재 얻을 수 있는 여러 가지 photo lithography에 대한 최소 선폭을 표 1에 나타내었다.

표 1. 여러 가지 lithography 기술과 최소 선폭

Lithographic technique	Minimum line width(μ m)
Conventional photo	0.5
Ultra-violet photo	0.25
X-ray	0.1
SOR-ray	0.07
Electron beam	0.03

탄성표면파에서는 미세가공에서의 치수제어는 0.05 μ m 즉, 50Å 정도만 있으면 충분하고 20GHz대의 송·수신이 가능하다. 또한 새로운 register의 연구개발에 의해 lift off etching법을 이용한 미소 gap IDT가 용이하게 제작되면 40GHz대의 SAW 송·수신이 가능해진다. 또한 탄성과 디바이스 기술에 있어서도 탄성과동과 빛·전자과의 새로운 상호작용의 연구, 이들을 위한 재료를 찾아낼 필요가 있다.¹⁶⁾

탄성표면파의 GHz대에서의 전파손실은 thermal phonon에 의한 산란 결정의 불완전성 이외에 표면의 요철이나 가공중 air loading 효과 등을 고려할 수 있다. 128° Y-X LiNbO₃의 경우 10GHz에서 100 λ 파장에 대하여 1.4dB로 그 정도로 크지 않다는 것을 알 수 있다. 또한 10GHz대의 filter에 있어서는 100 λ 파장 정도만 있으면 송·수신 사이의 전자적 결합에 의한 직달파는 50dB 이상 억압할 수 있다. 따라서 10GHz 이상이라도 전파손실은 제품에 응용시 문제가 없을 것으로 추정되므로 IDT에 의한 전극저항의 변환손실을 어떻게 줄일 것인가가 관건이다. 새로운 탄성파의 수신 진극(예를 들어 주기구조, 압전 단결정·박막이나 분극반전 압전성의 재료)이나 신기능 재료를 개발하는 연구를 진행시킴으로써 새로운 수십GHz대의 탄성파 기능소자를 얻을 수 있을 것으로 예측된다.

또한 IDT 즉, 탄성표면파 변환기의 해석법으로서는 등가 회로법, mode결합 이론(Coupled of Mode theory, COM)에 의한 해석, 유한요소법(finite element method, FEM)의 고속화와 CAD system 등이 발표되어 있다.

2.4 단방향성 IDT

통상적인 IDT는 SAW가 양방향으로 전파하기 때문에 송·수신시 6dB의 삽입손실이 발생한다. 또한 양방향 IDT의 삽입손실을 작게 하려면 TTE(Trippl Transit Echo: 송수간 IDT의 다중반사 현상)가 발생하므로 중심주파수 부근에 ripple이 나타나 양호한 필터 특성을 얻을 수 없다. 이것을 방지하기 위해서는 IDT를 단방향성으로 하면 된다.

단방향성 IDT(UDT)는 크게 3 위상형, 2 위상형, 단 위상형으로 나누어진다. 특히 최근 단 위상형의 단방향성 변환기(Single Phase Unidirectional Transducer, SPUDT)의 연구가 활발히 추진되고 있다.¹⁷⁾¹⁸⁾ 구조가 간단하고 고주파화가 용이한 SPUDT는 UHF 저손실 filter의 요구가 높아지고 있는 가운데 이제부터 중요하게 연구되어야 할 소자이다. 단 위상형은 그 동작특성에 의해 (1) 내부반사 질량부하 효과를 이용한 단방향성 변환기, (2) 부유진극에 의한 반사를



이용한 단방향성 변환기, (3) 압전결정의 이방성을 이용한 단방향성 변환기가 있다.

단방향성 변환기는 저삽입손실화와 TTE에 의한 ripple의 감소에 유효하다. 특히 GHz대에서는 저항손실을 경감하기 위해서 전극의 막두께 H에 대한 파장 λ 의 비, H/λ 를 크게 할 필요가 있으므로 TTE가 증대한다. 그렇지만 단방향성 변환기에서는 전극에 의한 반사파를 단방향성으로 이용하기 때문에 전극 막두께를 크게 할 수 있고, 전극저항에 의한 손실을 경감할 수 있다.

지금까지 개발된 단방향성 변환기의 특성으로서 1GHz대에서 1.9dB, 2GHz대에서 3.9dB, 3.1GHz에서 5.8dB, 4GHz대에서 6dB, 8.2GHz대에서 11dB의 삽입손실을 갖는 필터를 얻을 수 있다. 또한 IDT에 초전도 Nb금속막을 이용한 5GHz대의 실험에 의해 임계 온도이하에서 삽입손실이 급격히 작아진다는 것을 실험에 통해 알려져 있다.¹⁹⁾

2.5 탄성표면파 필터

IDT의 주파수특성을 이용한 것이 SAW 필터로, 전기회로에서의 transversal filter와 원리적으로 같은 것이다. Transversal filter는 진폭과 위상특성을 독립적으로 제어할 수 있기 때문에 통상적인 LCR filter나 재귀형 digital filter로는 실현이 곤란한 선형 위상 특성을 용이하게 얻을 수 있다.

SAW filter의 설계법으로는 Fourier법, 비선형 계획법, FIR법 등이 있다. 전극 형성에는 전극갯수, 무게부여, 주기를 바꾸는 방법 등이 이용된다. 최근 많은 신호처리 device가 요구되고 있는 가운데 탄성표면파 디바이스는 위에서 언급했던 것처럼 종래의 LC회로에는 없는 특징을 갖고 있다. Filter로는 이미 50MHz대 칼라 텔레비전 수상기의 영상 중간주파수용 필터(PIF), 100MHz대 비디오통신 신호원, 300MHz대의 비상무선 호출기(삐삐)용 필터, 600MHz대의 필터 및 신호원, 900MHz대 및 1800MHz대에서의 이동전화 등에 응용되고 있다. 향후에는 더욱 광대역폭, 저삽입손실, 고성능이며 또한 준microwave 대역(3GHz대 이상)에서의 필터가 필요하다.

저삽입손실(2~4dB 이하), 광대역(30MHz 이상)의 filter로서는 이동체 통신의 front-end 필터를 들 수 있다. 중심에 송신전극, 양측에 수신전극을 배치한 3전극 구조(DMS 구조)를 더욱 집적화한 IDT형(IIDT) filter 및 탄성표면파 공진기를 LC회로로 이용한 0.9GHz대 및 1.8GHz대의 ladder형 필터가 이동체 통신에 널리 이용되고 있다.²⁰⁾ 또한 10GHz대의 저손실 ladder형 필터가 연구되고 있다.²¹⁾ GHz대의 패키지로서 flip chip 패키지를 채용함으로써²²⁾, 소형, 경량, 저손실의 필터가 실용화되어 있다.

3. 국내외 SAW 필터 제조업계의 동향

3.1 이동통신용 SAW 필터의 전망

곧 상용화될 IMT-2000 및 bluetooth 등 새로운 통신 서

비스의 지속적인 시장 창출에 의해서 향후 이동통신 단말기 시장은 약 5년간 30% 이상의 고성장을 기대되고 있다. 또한 여러 가지 통신 서비스를 통합하는 현상들에 의한, 예를 들면 미주에서 사용하는 dual mode 휴대폰(한국의 경우 PCS와 CDMA 서비스 사업자가 다르지만, 미국의 경우는 한 서비스 사업자가 두가지 혹은 세가지 서비스(AMPS, CDMA, PCS)를 한 단말기로 해결)의 경우, SAW 필터가 약 8~10개가 탑재되므로 이동통신용 단말기내의 핵심부품으로서의 위상을 정립하고 있다. 또한 단말기의 소형, 경량화, 다기능화에 따른 SAW 필터의 소형, 경량화 추세가 이어지고 있으며, 특히 RF 필터의 경우 flip chip 패키지의 상용화, IF 필터의 경우 새로운 설계 기법 및 압전기판의 개발을 통한 소형화로 대응하고 있는 실정이다.

3.2 국외 SAW 필터 제조업계의 동향

현재, 국외 SAW 필터 제조업계의 경향은 한마디로 요약하면, 소형화 및 다기능화이다. 우선 소형화에 관련해서는 GHz 대역 필터의 경우 세라믹 패키지를 이용한 제품 실장시 크기의 한계(3.0×3.0mm²)를 극복하기 위해서 flip chip 방식의 제조기술 개발로 크기의 한계(2.5×2.0mm²)를 극복하고, 현재 단말기 제조업체에 적극적으로 홍보 및 샘플 제출을 하고 있는 상황이다. 중간 주파수 대역 필터는 낮은 주파수 및 다양한 특성 만족을 위해 제품의 크기가 커서 소형경량화 추세에 있는 이동통신용 단말기에 문제가 되었으나, 새로운 설계 기법 및 압전기판의 개발(LBO, LGS 등)을 통한 소형화 추세에 있으며, 심지어는 무라다에서 개발한 GSM IF 필터의 경우 3.8×3.8mm² 크기를 실현하여 양산하고 있는 실정이다.

또 다른 경향성의 하나인 다기능화의 예로서, 수신 필터와 국부 발진기용 필터를 하나의 패키지로 구현하거나, 각각 다른 서비스에 필요한 수신 및 송신 필터를 하나의 패키지로 구현하는 dual 필터와 이동통신용 단말기 내에 내전력이 필요한 안테나단 필터 - 기존에는 유전체 듀플렉서를 채용하였으나, 유전체 듀플렉서는 단말기의 소형, 경량화에 부응하지 못하는 문제, 특히 높이를 낮출수 없는 치명적인 문제가 있다 -를 구현하기 위해서 IDT 전극을 합금막으로 강화시킨 SAW 듀플렉서 등이 있다. 이미 이러한 제품들은 개발이 완료되어 생산 및 판매가 되고 있는 상황이다.

이동통신용 단말기의 추세에 따라 SAW 필터 제조업체도 소형화, 다기능화를 따르지 못하면 현재 고성장 중인 시장에서 도태될 수 밖에 없을 것으로 생각된다.

3.3 국내 SAW 필터 제조업계의 동향(삼성전기)

국내 SAW 필터 제조업계의 동향은 필자가 관련된 삼성전기(주)를 기준으로 기술하고자 한다. 1995년 연구소에서 사업부로 SAW 사업과제를 이관하면서부터 지금까지 제품군의 다변화를 꾀하였으며, 재료비 및 인건비 절감을 위해 해외공장으로 조립공정을 이관하여 현재, 해외공장 2곳(중

국 천진 및 필리핀), 본사에서 생산하고 있으며, 2000년 6월 기준으로 생산량 약 1,600만개/월, 매출액 약 100억/월의 규모로 생산하고 있다. 생산하고 있는 제품군은 Pager군, CTV군, 무선전화기군, 휴대전화기군으로 나뉘어져 있고, 생산량의 약 70%는 휴대전화기용 SAW 필터로 구성되어 있다. 주된 공급업체는 휴대전화기용 SAW 필터의 경우, 삼성 전자, 모토로라, 등이고, 무선전화기용 SAW 필터의 경우는 Uniden, Lucent 등이다.

RF 필터의 경우 1GHz 대역 이하의 SAW 필터는 거의 양산을 하고 있으며, 사용자측 요구에 따른 다양한 특성의 SAW 필터를 구현할 수 있다(현재 양산중인 기종: CDMA, GSM/EGSM). IF 필터의 경우는 CDMA, GSM/EGSM, PCS용 필터를 생산하고 있다.

현재 양산 준비중인 1~2GHz 대역의 SAW 필터로는 PCS, DCS1800 RF용 SAW 필터 등이 있으며, 현재 개발중인 SAW 필터는 IMT-2000, bluetooth용 RF 필터 및 IDT 전극을 합금막으로 조성하여 내전력성을 강화시킨 CDMA RF용 SAW 듀플렉서를 현재 개발 중에 있다. IF 필터는 IMT-2000 및 WLAN용 필터 및 기존 필터를 소형화하는 과제를 수행하고 있다.

국내 SAW 제조업체에서 느끼는 공통의 애로사항이라고 생각되는 것은 2GHz 대역의 RF SAW 필터 개발시 0.3 μ m의 미세 선폭 구현의 어렵고, 고가의 노광 장비 및 에칭 장비가 필요하며, CDMA RF용 SAW 필터 개발시 저손실의 내전력막 구현이 어렵고, 다층구조의 세라믹 패키지 개발의 어려움이 있다. 외부적인 요인으로는 원자재(압전기판, 세라믹 패키지)에 대한 대 일본 의존도가 심하여 수급 및 가격 경쟁력의 어려움이 있다. 당사도 이러한 문제를 해결하기 위해서 웨이퍼 및 패키지의 국산화 및 다변화를 추진하고 있다.

4. 맺음말

이상 이동통신 시스템과 탄성표면파 필터의 이동통신 시스템에의 응용 및 국내외 SAW 필터 기술 동향에 관해서 살펴보았다. 향후에는 2~5GHz대에서의 고주파화, 저손실화, 고성능화, 및 다기능화가 SAW 디바이스에 진행됨과 동시에 실용화 연구가 진전될 것으로 예측된다. 특히 장래 디바이스의 고성능화, 고기능화를 위해서는 기관재료의 연구, 탄성표면파 변환기의 연구가 필수라고 생각된다. 그러나 일본과는 달리 국내에서는 대학 내에서 기본적인 연구-압전 기관재료에 대한 연구 및 탄성표면파 변환기의 구조에 관한 연구-가 진무한 상태로, 앞으로의 SAW 디바이스의 고주파화, 저손실화, 고성능화 및 다기능화를 진전시키는데 많은 어려움이 있으리라 생각된다. 이러한 현안을 해결하기 위해서는 기업에서는 단기간의 개발목표보다는 장기적인 개발 과제를 통한 대학과의 산학협동으로 충실히 기본기를 다지면서, 우수한 인재를 길러내는 것이 보다 중요하리라 생각된다.

참고문헌

- [1] Y. Cho, N. Oota, K. Morozumi, H. Odagawa, and K. Yamanouchi, "Quantitative study on the nonlinear piezoelectric effect of KNbO₃ single crystal for super highly efficient SAW elastic convolver," IEEE Ultrason. Symp., pp.289-292, 1998.
- [2] T. Sato and H. Abe, "Propagation properties of longitudinal leaky surface waves on lithium tetraborate," IEEE Ultrason. Symp., pp.287-292, 1994.
- [3] M. Adachi, T. Shiosaki, K. Ohtsuka, and A. Kawabata, "Temperature compensated piezoelectric Lithium tetraborate crystal for high frequency surface acoustic wave and bulk wave device applications," Proc. IEEE International Freq. Contr. Symp., pp.296-300, 1994.
- [4] K. Yamanouchi, H. Odagawa, T. Kojima, and T. Matsumura, "Theoretical and experimental study of super high electromechanical coupling surface acoustic wave propagation in KNbO₃ single crystal," Electron. Lett., vol.33, no.3, pp.193-194, Jan. 1997.
- [5] H. Odagawa and K. Yamanouchi, "Super high electromechanical coupling and zero-temperature characteristics of KNbO₃ and wide band filter applications," Jpn. J. Appl. Phys., vol.37, pp.2929-2932, 1998.
- [6] H. Satoh and A. Mori, "Surface acoustics wave propagation characteristics on a langasite crystal plate," Jpn. J. Appl. Phys., vol.36, pp.3071-3073, 1997.
- [7] M. Murota and Y. Shimizu, "Theoretical investigation of Rayleigh waves on a La₃Ga₅SiO₁₄ substrate," IEEE Ultrason. Symp., pp.293-296, 1998.
- [8] H. Satoh, K. Onishi, T. Shimamura, and Y. Tomita, "Temperature stable SAW/devices using directly bonded LiTaO₃/glass substrates," IEEE Ultrason. Symp., pp.335-338, 1998.
- [9] K. Shibayama, K. Yamanouchi, H. Sato, and T. Meguro, "Optimum cut for rotated Y-cut LiNbO₃ crystal used the substrate of acoustic surface wave filters," Proc. IEEE, vol.64, np.5, pp.596-598, May 1975.
- [10] K. Yamanouchi, S. Yasukawa, T. Meguro, and Y. Wagatsuma, "New spurious suppression cut of thin film/LiNbO₃ structure for GHz-range SAW filters," IEEE Ultrason. Symp., vol.1, pp.419-422, 1992.
- [11] K. Hashimoto, M. Yamaguchi, S. Mineyoshi, O. Kawachi, M. Ueda, G. Endoh, and O. Ikata, "Optimum leaky SAW cut of LiTaO₃ for minimized insertion loss devices," IEEE Ultrason. Symp., pp.245-254, 1997.
- [12] K. Masu, Y. Nakamura, T. Yamazaki, T. Shibata, M. Takahashi, and K. Tsubouchi, "Transmission electron microscopic observation of AlN/ β -Al₂O₃ heteroepitaxial interface with initial-nitriding AlN layer," Jpn. J. Appl. Phys., 346, B9, L760-L763, 1995.



- [13] K. Yamanouchi, N. Sakurai, and Satoh, "SAW propagation characteristics and fabrication technology fo piezoelectric thin film/diamond structure," IEEE Ultrason. Symp., pp.351-354, 1989.
- [14] S. Fujii, Y. Seki, K. Yoshida, H. Nakahata, K. Higaki, H. Kitabayashi, and S. Shikata, "Diamond wafer for SAW application," IEEE Ultrason. Symp., pp.183-186, 1997.
- [15] K. Yamanouchi, H. Odagawa, T. Kojima, A. Onoe, A. Yoshida, and K. Chikuma, "Piezoelectric KNbO₃ thin film applications," Electron. Lett., 2nd, vol.34, no.7, pp.702-703, April 1998.
- [16] K. Yamanouchi, H. Odagawa, T. Meguro, Y. Wagatsuma, and K. Yamamoto, "Nano-meter electrode fabrication technology using anodic oxidation resist and application to 20GHz-Range SAW Devices," IEEE Ultrason. Symp., pp.1263-1266, 1993.
- [17] C.S. Hartmann, P.V. Wright, R.J. Kansy, and E.M. Garber, "An analysis of SAW interdigital transducers with internal reflections and the application to the single-phase unidirectional transducers," IEEE Ultrason. Symp., pp.40-45, 1982
- [18] P.V. Wright, "The natural single-phase unidirectional transducers: a new low-loss SAW transducers," IEEE Ultrason. Symp., pp.58-63, 1985.
- [19] K. Yamanouchi, H. Nakagawa, J.A. Qureshi, and H. Odagawa, "10GHz-range surface acoustic wave low loss filter measured at low temperature," Jpn. J. Appl. Phys., vol.38, pp.3270-3274, 1999.
- [20] T. Masuda, H. Uchishiba, O. Ikata, T. Nishihara, and Y. Satoh, "L and S band low-loss filters using SAW resonators," IEEE Ultrason. Symp., pp.163-167, 1997.
- [21] H. Odagawa, J.A. Qureshi, T. Meguro, and K. Yamanouchi, "10GHz range low-loss ladder type surface acoustic wave filter," Jpn. J. Appl. Phys., vol.37, pp.2927-2928, 1998
- [22] H. Yatsuda, "Modeling of parasitic effects for flip- chip SAW filters," IEEE Ultrason. Symp., pp.239-242, 1998.

저 자 소개



김지수(金志洙)

1968년 7월 27일생. 1991년 고려대 물리학과 졸업. 1994년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 물리학과 박사 수료. 1994년~현재 삼성전기(주) SAW 제조그룹(SAW 개발) 근무중