

SAW 필터 소개 및 개발 동향

기술해설

Introduction and Development Trend of SAW Filters

김지수, 박성일
(Ji-Soo Kim, Sung-Il Park)

Key Words(중요용어) : SAW Filter(SAW 필터), Surface Acoustic Wave(표면탄성파)

1. 서 론

현재는 정보가 중요한 역할을 하는 사회의 요구에 따라 상호간의 통신에 대한 진보가 무엇보다 급속히 진행되어 가고 있다. 특히 이동체 통신단말기의 보급이 급속히 진행되고 있다. "언제, 어디서, 누구와도" 통화 가능해야 한다는 모토로 옛날부터 이용되어 온 단말기의 저가격화, 경량화가 진행되고 있으며, 사용범위도 비즈니스 중심에서 개인의 요구로 점차 변화되어 급속히 보급되고 있다. 무선 호출기는 단지 상대방을 호출하는 기능 뿐만 아니라 보다 복잡한 다기능 제품이 나오고 향후 쌍방향으로의 전개가 예정되어 있다. 또한 이동체 통신에서 현재까지는 독립되어 있던 음성, 데이터, 문자, 화상을 총합한 멀티미디어 통신으로 전개되고 있다. 이처럼 이동통신기가 소형, 다기능화로 진행됨에 관련하여 가장 큰 역할을 하고 있는 것이 회로의 LSI화, 저소비전력 디바이스 개발, 전지의 소형화, 고성능화 등과 함께 소요 전자부품의 소형화이다. 그 중에서도 핵심소자로 각광을 받고 있는 것이 표면탄성파(SAW : Surface Acoustic Wave) 필터이다. SAW필터는 표면탄성파를 이용하여 신호주파수성분과 위상성분을 제어하여 인접채널신호를 제거하고 수신채널신호를 정형하는 대역통과필터(Band Pass Filter)이다.

이 글에서는 이러한 SAW 필터에 대한 개략적인 소개와 기술동향 및 국내 및 국외에서의 SAW 필터 현황을 간단하게나마 살펴보고자 한다.

2. SAW필터 개요

탄성표면파는 잔잔하게 정지된 물에 돌을 던지면 퍼지는 물결처럼 압전성 결정체에 충격을 가하였을 때 결정체의 탄성에 의하여 결정체 표면 위로만 전파하는 기계적인 변위 파동을 말한다. 여기서 압전성 결정체란 전기적인 에너지로 기계적인 변위파동, 혹은 그 역으로 기계적인 변위파동에 의

하여 전기적인 에너지를 발생시킬 수 있는 물질을 말하는데, LiNbO₃(LN), LiTaO₃(LT), PZT, ZnO, GaAs, Quartz 등이 있다.

SAW 기술의 역사적 배경은 1885년까지 거슬러 올라가는데, 처음 영국의 Rayleigh 경에 의해 발표된 표면 위를 전파하는 기계적인 변위가 정성적으로 기술되었으며 주로 지진파와 같은 지구 물리적인 관점에서 연구가 진행되었다. 1967년에 Viktorov가 결정체의 표면을 따라 전파하는 SAW의 특성에 관한 연구를 발표한 이래 전기·전자공학에 응용할 가능성을 보였고, 수 10MHz 대역에서 SAW에 대한 몇가지 실험을 통해 응용성을 입증하였다. 1969년에 미국 Stanford 대학 연구팀이 새로운 형태의 변환기(Transducer)를 압전 결정체 기판 위에 설치함으로써 전기신호를 기계신호(음향탄성표면파)로 변환가능하게 하는 방법을 발표하였고, 이러한 변환기를 IDT(Interdigital Transducer)라고 하였다. 1970년대에는 SAW소자가 처음으로 군용 레이더 장비의 광역 스펙트럼용으로 개발된 후 RF 신호처리 응용분야의 새로운 기술로 부각되기 시작하였다.

가) SAW 필터의 작동원리 및 구조

SAW 필터는 압전체 기판과 그 기판 위에 사진식각(Photo lithography) 기술을 이용하여 형성된 입력 및 출력전극(입,출력 IDT)으로 구성되며 입력 IDT에 가해진 전압에 의해 발생, 전파하는 탄성표면파를 이용한 주파수 필터이다. 입력 IDT에 전기신호가 인가되면, 압전효과에 의하여 탄성표면파가 발생하여 출력 IDT 쪽으로 전파되며 출력측에 도달한 탄성표면파는 또다시 압전효과에 의하여 전기신호로 변환된다. 이때, SAW 필터의 주파수 특성은 입,출력 전극의 패턴모양에 의해 결정된다. 그림 1은 SAW 필터의 기본적인 작동원리를 도식적으로 나타낸 그림이다.

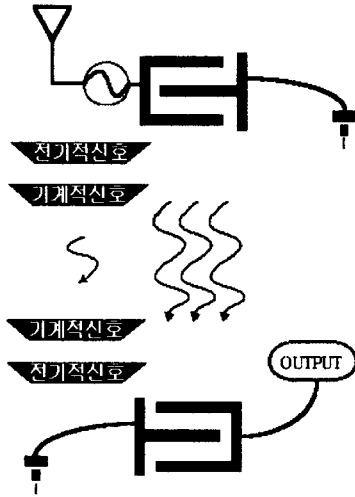


그림 1. SAW 필터의 기본작동원리
Fig. 1. Mechanism of SAW filters.

SAW 필터의 특징으로는 Planar 구조를 갖기 때문에 그 제조기술에 LSI와 같은 photo lithography 기술을 적용할 수 있고 이로 인해 양산성이 뛰어나며, SAW device의 재료로 사용되는 압전체 기판의 표면파 속도는 전자파 속도와 비교하여 약 10-5배 느리기 때문에 소자의 소형화가 가능하다. 또한 Solid state device이기 때문에 종래의 LC 등을 이용한 필터에 비해 조정이 필요없고, 경량이며, 다수의 RLC 회로를 하나의 SAW 필터로 대체할 수 있으며, 반도체 사진식각 기술로 제작하기 때문에 신뢰성이 높다는 장점이 있으나, LC 필터나 유전체 필터 등에 비해 삽입손실이 크고 초고주파에서는 적용이 어렵고 또한 박막을 이용하므로 고전력 응용이 어려운 등의 단점도 가지고 있다. 그러나 미세 패턴 가공기술의 급진장으로 통신기기의 고주파화에 발맞추어 GHz대의 SAW 필터 제조가 가능하게 되었다.

나) SAW 필터용 단결정

탄성표면파 필터용 단결정에는 LiNbO₃, LiTaO₃, SiO₂가 주류이며 그 이외에 Li₂B₄O₇, PZT계 세라믹, ZnO계 박막이 이용되고 있다. 이러한 단결정의 결정 방위에 의하여 탄성표면파 속도, 전기기계 결합계수, 지연시간, 온도계수, Power Flow 각도가 차이가 난다. 통상 LiNbO₃는 128° Y Cut X축 전파가 많이 이용되고 있으며, Y Cut, 64° , 41° Y 등을 이용하는 경우도 있다. LiTaO₃는 X Cut 112.2° Y Rotated 전파, 36° Y Rotated 전파, 36° Y Cut X축 전파 등을 많이 이용한다.

수정은 통상 ST Cut을 많이 이용한다.

LiNbO₃는 전기기계 결합계수가 높고 지연시간의 온도계수가 크다. LiTaO₃는 LiNbO₃에 비해 전기기계 결합계수가 1/10 정도이지만 온도 계수는 3배 정도 양호하다. 수정은 전기기계 결합계수가 매우 작지만 온도계수는 2차 곡선을 그려 영(zero) 온도계수를 갖는다. 이러한 단결정은 주파수나 디바이스의 비대역폭에 의해 사용범위가 구별된다. 수정은 결합계수가 작기 때문에 비대역폭이 작은 소자에 사용되고 있다. 이러한 소자로는 SAW 공진자(VCR converter, CATV converter)나 공진자형 필터(광통신, Cordless 전화 등)가 있다. 사용주파수는 50MHz에서 1GHz까지이다. LiTaO₃ 단결정은 공진자형 필터나 트랜스버설형 필터로 이용된다. LiNbO₃ 단결정은 트랜스버설형 필터로 이용된다. 또 결합계수가 크기 때문에 비대역폭이 큰 소자에 사용되고 있다.

다) SAW 필터의 설계

이러한 SAW 필터는 기본구조에 따라서 다음과 같이 IDT 전극쌍을 입출력으로 하는 트랜스버설형(transversal type) 필터와 압전기관상에 IDT전극과 리플렉터(reflector)를 합한 레조네이터 필터형으로 분류할 수 있다. 트랜스버설형 필터의 설계방식은 디지털 필터를 설계하는 방식과 동일한 방식으로 설계하고, 구조는 임펄스 응답의 퓨리에 변환이 주파수 응답이 되도록 IDT를 배열한다. 이 필터는 광대역 필터에 적합하고 삽입손실이 비교적 큰데, 이러한 문제들을 해결하기 위한 즉, 저손실을 목적으로한 다전극형과 1방향형 구조도 있다. 레조네이터 필터형은 IDT에서 발생한 표면탄성과 에너지를 공진조건으로 설계한 리플렉터에서 반사시켜 bi-directional loss가 없애는 구조로 결정의 국부영역에 효율적으로 집중시키므로 에너지의 손실이 작으며, 협대역 필터에 적합하고, 소형화가 용이하다는 장점이 있다. 리플렉터는 압전기관상에 금속박막의 grating을 형성하거나 압전기관 자체에 groove를 형성하여 표면파의 반사를 유도하고 있다. 설계는 등가회로모델(equivalent circuit model)이나 모드결합이론 등을 사용한다. 이러한 필터의 종류로는 황결합 2중 모드, 종결합 2중 모드, Ladder형 필터 등이 있다.

라) 제작 공정

위의 설계방식으로 설계가 끝나면 먼저 포토마스크를 제작하고 알루미늄 박막을 압전 단결정 기판 위에 입힌다. 포토마스크는 금속박막이 입혀진

기판에 전극모양을 patterning하는 사진식각공정에 사용된다. 보다 세밀한 공정은 그림 1을 참고로 한다. 이 공정에서 노광, 현상, 에칭 등은 중심주파수, 삽입손실, 임피던스 등 필터의 전기적 특성에 중요한 인자들로서 엄격한 공정관리가 필요하다. 웨이퍼상태에서 존재하는 칩(chip)들을 분리하기 위해서 웨이퍼 다이싱(dicing)을 한 후, 칩을 패키지에 고정시키기 위해서 칩을 다이본딩(die bonding)을 한다. 칩과 패키지 입출력단자를 연결하기 위해서는 와이어본딩(wire bonding)이 필요하고, 제품으로 완성하기 위해서 패키지 봉합-웰딩(welding)을 한 후 각 소자들의 특성을 최종 검사한다.

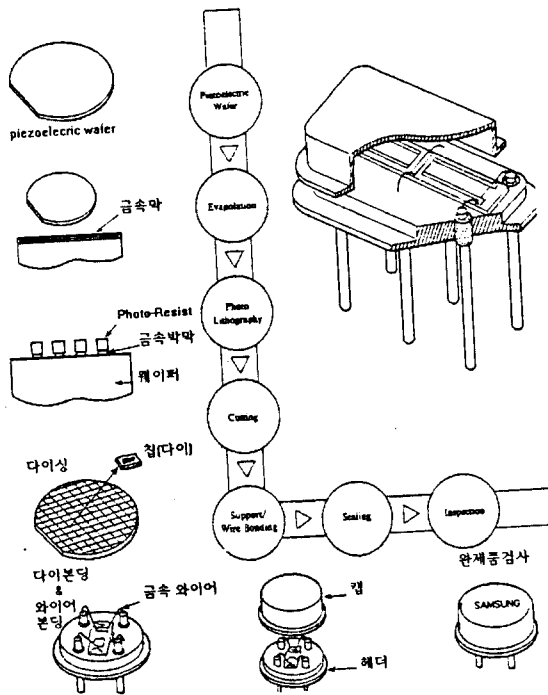


그림 2. SAW 필터의 제조공정
Fig. 2. Fabrication procedure of SAW filters.

전세계 규모로 추진되는 21세기 고도정보화 사회구축을 향해 통신 시스템의 이용범위 확대에 따라 단말기에서는 이에 따른 규격완화와 저가격화에 대한 부품수 절감이 진행되고 있는데 이에 SAW 필터는 핵심부품으로서의 다음과 같은 기술 향상이 추구하고 있다.

1. 고주파화

고주파화에 따라 고정밀 미세가공이 요구된다. 1.5GHz PDC RF SAW 필터의 경우 전극 및 전극

간 간격의 폭은 0.6~0.7 μ m, 2GHz의 경우 전극 및 전극간의 간격의 폭은 0.4~0.5 μ m가 요구된다. 이러한 서브마이크론은 주파수 정밀도만이 아니고 삽입손실, 선택도, 감쇄량, 신뢰성 등을 포함한 고성능화를 고려하면 0.35 μ m정도의 형성 기술이 불가결하다. 이에 따라 성막장치, 노광장치 등의 정밀도 향상, 공정기술 향상, 속도가 빠른 기판의 개발이 추진되고 있다.

2. 저손실화

단말기의 통화시간 향상을 위해 전단부에 RF SAW 필터의 저손실화는 계속 요구되고 있다. 이를 위해 기판검토, 전극설계기법의 개발, 박막미세가공 기술을 연관지어 응용전개 및 고도화가 추진되고 있다.

3. 내전력화

휴대전화기 등의 소형, 박형, 경량화 요구와 더불어 21세기의 멀티미디어 인텔리전스 단말기로 전개하기 위해 PCMCIA 카드와 같은 박형 무선모듈의 요구가 강해지고 있다. 박형 SAW Duplexer에 대해 빠른 상품화의 요구가 있지만, 해결해야 될 과제로 박막 미세 전극의 파괴(응력 마이그레이션)를 방지하는 전극 설계 기법, 전극형성 기술 등의 분야가 연구되고 있다.

4. Dual Band화/복합화

미국에서는 안정기에 있는 아날로그 AMPS 뿐만 아니라 ADC/PCS라고 하는 음성 이외의 부가가치를 제시하고 있으며, 유럽에서도 GSM/DCS라고 하는 유럽통일 규격으로 차세대 유럽 통합 미디어형성기에 들어가고 있다. 일본에서도 800M/15GHz PDC 가입자 증가 추세를 보면 하프 레이트를 도입하고 있다. E-AMPS+PCS라고 하는 아날로그+디지털에 덧붙여 DCS+DECT라고 하는 멀티화로 추진이 예상된다. 전극 설계는 물론 전기계결합계수, 온도특성을 고려한 기판 재료면, 전극폭, 전극박막 등 프로세스면에 연관된 요소기술의 고도화가 요구된다.

SAW 필터는 그 우수한 특성으로 앞으로 이동통신용 핵심부품으로 발전해 갈 것으로 생각된다. 이를 위해서는 고주파화, 저손실화, 고내전력화, 복합화, 듀얼밴드화 등의 과제를 확실히 해결하여 응용 기술력의 향상과 신규시장 용도로의 시기적절한 상품화가 중요하다.

3. 응용분야별 현황 및 시장

가. 시장동향

SAW 필터는 종래 민생용 전자기기(color TV

및 VTR 등의 IF(Intermediate Frequency)회로에서 특정주파수 대역의 신호만 통과시키고 나머지는 억제하는 대역통과 필터로서 널리 사용되어 왔으나, 통신기술의 발전, 특히 이동통신기술의 급속한 성장에 따라 그 적용범위가 비약적으로 확대되고 있다. 이에 따라, SAW 필터는 이동체 통신기기, 무선전화기, 휴대용 전화기(HHP) 및 무선호출기(Pager; 일명 삐삐) 등의 RF(Radio Frequency) Front-End의 RF 필터로서 적용되고 있다. 향후, 이동체통신기기의 소형, 경량화, 고주파화 및 저전력화(배터리 수명연장) 추세에 발맞추어 SAW 필터의 요구가 크게 대두되고 있다. 현재 SAW 소자가 적용되는 주파수범위는 수십 MHz에서 수 GHz 까지이며 SAW 필터로서 뿐만 아니라 레조네이터(Resonator), Convolver 및 Correlator 등과 같은 신호처리소자로서도 각광을 받고 있다.

'97년 SAW 필터의 세계 총 수요규모는 2억7천만개(1,890억 원)으로 예상하며, 휴대폰용 SAW 필터는 '97년에는 7천 1백 만개에서 2000년에는 1억 8백 만개의 수요가 있을 것으로 예측되어 수요가 급증하리라 생각되며 TV/VCR용 SAW 필터도 꾸준히 성장하리라 예측된다(표 1 참조).

표 1. SAW 필터 국내 및 세계시장 규모 예측
 Tabel 1. Estimation of SAW filter demand in home and foreign markets.

	'96	'97	'98	2000	비고
국내시장	55.0	58.0	64.0	73.0	단위 : 백만개
세계시장					
휴대폰용	62.1	71.4	82.1	108.6	
CLP용	22.3	23.6	22.5	25.3	
Pager용	15.0	14.0	14.0	13.0	단위 : 백만개
TV/VCR용	150.0	150.0	155.0	160.0	
기타	15.0	14.0	15.0	17.0	
합계	262.4	273.0	288.6	323.9	

나. 업계동향(국내)

국내에서는 '97년 현재 5천 8백 만개의 SAW 필터 시장을 가지고 있으며 금액으로는 341억 원에 해당한다. 2000년에는 7천 3백 만개(430억 원)의 시장을 가질 것으로 예상하고 있으며, 특히 이동통신 시장의 확대로 통신부품의 국산화가 시급한 실정이다. 이에 국내 제조업체들의 분발이 요구되며 현재의 동향을 살펴본다.

1. 삼성전기(주)

삼성전기에서는 지난 '91년 컬러 TV 및 VCR에 적용되는 SAW IF 필터(40MHz 대)를 국내 최초로 자체개발에 성공한 이후 20여가지 기종을 추가로 개발, 기종 다양화하는 한편, clean room 및 생산 line은 설치하여 5가지 기종을 양산하고 있다.

한편 지난 '92년 8월부터 2억 원의 연구개발비를 투입, 일본(Toyocomm, 松下, 村田 등)으로부터 전량 수입에 의존해오던 무선호출기용(제 1 사업자 및 2 사업자용) SAW RF 필터개발에 착수하여, 1차로 제 1사업자용(150MHz 대) SAW RF 필터 5기종을 '93년 8월에 개발완료했고, 추가로 제 2사업자용(320MHz 대) SAW RF 필터 2기종을 94년 11월말에 순수자체기술로 국산화 개발하는데 성공하였다.

삼성전기에서의 SAW 필터관련 사업에 대한 역혁은 4 단계로 나눌 수 있다. 첫 단계는 연구개발 단계로서 '87년 삼성종합기술원에서 연구개발과제로 선정, '89년 TV용 설계프로그램 당사에 전수받아 '91년 pilot plant 설립하였고, 2 단계는 초기양산단계로 '92년 TV용 SAW 필터 양산을 개시하였다(200K/월 CAPA). 3 단계는 본격 양산 및 기종 다양화 단계로 월 500K CAPA를 가지고 '93년 PAGER-1(S139P, S147P, S155P, S163P, S171P)을 개발완료하여 양산하였으며, '94년에는 PAGER-2(S323P, S326P, S281P, S325P)를 개발완료하고 현재 양산 중에 있고, '95년에는 900MHz 대역의 PAGER(S930P)를 개발완료하고 현재 양산 중에 있으며, '96년에는 900MHz(C914A, C959A, C886A, C931A) 대역의 CLP용 SAW 필터를 개발하여 현재 양산 중에 있다. 마지막 단계로는 기종확대 단계로서 현재 월 1150K CAPA를 가지고 있으며 이중 SMD 생산라인이 월 140K의 CAPA에 해당된다. 현재 개발항목으로는 휴대폰용(AMPS, CDMA, GSM 등) SAW 필터를 개발 및 양산 준비를 하고 있다.

현재 당사에서 생산하고 있는 기종들은 TV/VCR용 SAW 필터, PAGER용 SAW 필터, 900MHz 대의 무선전화기용 SAW 필터 등이 있고, 생산능력은 월 115만개로 F-11 패키지형태의 기종들은 월 77만개, F-712 형태의 기종들은 월 24만개, SMD 기종은 월 14만개 생산가능하다.

2. 대우전자부품(주)

1986년부터 TV용 PIF SAW필터를 생산, 판매를 시작하여, 현재 TV, VCR용으로 내수 및 수출용으로 월 1백 만개의 생산능력을 갖추고 약 50만개씩 생산, 주로 계열사인 대우전자에 공급하고 있다. 대우전자부품은 장차 SAW 필터시장이 탁월한 양산성을 바탕으로 더욱 확산될 것으로 보고 이 산업을 한층 확대할 계획으로 1백50억원 가량을 투입해 구축한 기존 주력생산라인에 약 20억원의 조립장비 등 보완설비투자를 거쳐 SAW 필터 생산

능력을 종전보다 50% 가량 늘어난 월 1백50만개 수준으로 끌어올릴 방침으로 알려져 있으며, 현재 양산중인 기종은 해외수출하고 있는 CTV용, PAGER용 SAW 필터 및 RESONATOR가 있고, 개발중인 SAW 필터는 900MHz대, CDMA IF 필터 등을 개발하고 있다.

3. 한국광전자(주)

한국광전자는 일본으로부터 박막공정이 끝난 웨이퍼 상태로 들여와 조립공정을 거쳐 제품화하였으나 현재는 PAGER용 SAW 필터를 양산하고 있으며 사내에서 사용하고 있다. 신제품으로는 PAGER용, 일본향 CLP용 SAW 필터를 개발 중에 있다.

이 밖에 LG전자부품이 97년에 SAW 필터 사업에 신규참여로 국내시장에 활기를 불어 넣을 것으로 생각한다. 그동안 국내 통신산업이 제조업의 기반없이 수요자 중심으로 성장해 오면서 대부분 도입기술에 의존, 핵심부품은 대부분 고가로 수입돼 왔으나 최근 정보통신 부품사업 참여업체들이 늘어나고 한국전자 통신연구소(ETRI), 전자부품 종합기술연구소(KETI) 등 국책연구소를 중심으로 핵심부품 개발이 활기를 띠면서 주요 부품들이 속속 국산화되고 있다. 특히 지난 96년 11월의 KETI의 CDMA용 RF 필터의 개발은 국내 이동통신 부품 국산화에 큰 공헌을 할 것으로 생각된다.

다. 업체동향(해외)

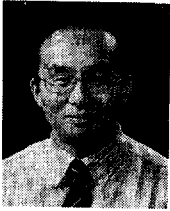
SAW 필터생산은 일본이 압도적인 우세로 세계에 공급하고 있으며, TV/VCR용 SAW 필터를 생산해오던 기존 업체들과 통신기기용 SAW 필터 생산에 참가가 이어져 약 15개 회사이상이 되고 있다. TV/VCR용이 중심이 되는 업체로는 도시바, 산요전기, 히타치 제작소 등이 있으며, 통신기기용 SAW 필터는 토요콤파 후지쓰가 선두에 있다. 특히 토요콤파는 자사의 인공수정을 재료로 한 SAW를 개발하고 있다. 현재까지도 TV와 VCR용 SAW가 전체의 90% 이상을 차지하고 있으며, 이동통신용 SAW도 점차 증가추세에 있다. 이동통신용은 TV/VCR보다 단가가 높지만 기술향상으로 가격이 인하되고 있다. 세계에서 38% 수량을 공급하고 있는 도시바는 TV/VCR용 SAW 레조네이터를 주로 생산하고 있으며, 휴대전화용, CLP용, PAGER용 SAW 필터를 생산하고 있으며 생산량(7백만개/월)의 40%를 수출하고 있다. 최근에는 세계 최소 크기(3.8x3.8mm)의 PHS용 SAW 필터를

개발하였으며, 향후 신제품으로 휴대전화용 IF 필터를 개발하고 있다. 주요 거래처가 NEC인 토요콤파는 월 1백 7십만개의 휴대전화용, CLP용, PAGER용 SAW 필터를 생산하고 있으며, 신제품으로는 GHz 대역의 고주파형 SAW 필터를 개발하고 있다. 히타치는 현재 Duplexer를 개발하여 출시하였으며 주된 생산품목은 TV/VCR용, 휴대전화용, CLP용, PAGER용 SAW 필터가 있으며 생산량(1백 3십만개/월)의 60%를 수출하고 있다. 후지쯔는 휴대전화용 RF CLP용 SAW 필터를 월 5백만개 생산하고 있으며 현재 Duplexer를 출시한 상황이다. 주요 거래처는 Motorola, Nokia, 히타찌, 후지쯔, NEC 등이며, 생산량의 60%를 수출하고 있다. 미국 SAWTEK은 기술집약형 중소기업들이 주로 주문에 의해 일부 군사용 SAW 소자를 생산하며 제품생산량의 64%를 통신용, 14%를 군용 및 우주용으로 7%를 비디오 송수신용, 5%는 데이터수신용 SAW를 생산하고 있다. 실제 라인에서 보유하고 있는 sputter를 자체 설계 제작하고 있으며 향후 개발을 high end 및 표준 제품 확대에 초점을 맞추고 있다. RFMonolithics는 저전력 와이어리스 응용, 네비게이션 시스템, CATV 컨버터용 SAW 필터 및 레조네이터를 RF hybrid products를 포함해서 월 4백만개 생산하고 있으며, 향후 high end 제품 및 휴대전화용 IF 필터를 개발할 예정으로 있다. 유럽의 경우 Siemens 등이 TV용을 많이 생산하고 있고, 현재는 이동 통신용도 생산하고 있다.

맺 음 말

고주파화로 진행되고 있는 이동통신에서 사용주파수대가 고주파화로 향해감에 따라, 시스템은 소형화, 고기능화가 요구된다. 이러한 요구상황에 SAW 필터가 부응하기 위해서는 삽입손실 개선, Submicron 전극제작기술, 소형화를 위한 먼실장기술 등이 앞으로 해결해 나아가야할 과제라고 생각된다. 이상으로 글을 맺으면서, SAW 필터는 그 우수한 특성으로 앞으로 이동통신용 핵심부품으로 발전해 갈 것으로 생각된다. 이에 발맞추어 새로운 기술 향상과 신규시장에 대응하는 시기 적절한 상품화가 주된 관건이며, 국내업체는 위에 기술한 상황에 신속한 대응이 있어야만 세계 시장경쟁에서 살아남을 수 있을 것이라 생각된다.

지시소개



김지수
고려대학교 물리학과 고체물리학전공
박사수료. 1994년 9월-현재 삼성전기
(주) SAW 개발팀 근무중.



박성일
1988년 2월 연세대학교 전기공학과 공
학석사. 1988년 3월-현재 삼성전기(주)
SAW 개발팀 근무중.

▶ 1997년도 3월호의 기술해설 제목과 저자는 다음과 같으니 많은 참고 바랍니다. ◀

題 目	著 者 및 所 屬
광 디스크 분야의 새로운 지평을 여는 DVD기술	김명룡 (LG 종합기술원 소재재료연구소)
유기 광전자 재료의 기술동향	김명룡 (LG 종합기술원 소재재료연구소)