

《主 題》

통신부품 소재기술 현황 및 전망

이 재 신 · 최 태 구
(한국전자통신연구소 통신부품연구실)

■ 차

레 ■

- I. 서 론
- II. 고주파통신부품용 소재기술
- III. 공통신부품용 소재기술
- IV. 신소재기술 개발동향
- V. 결 론

I. 서 론

정보화 사회로의 진전이 급속히 진행됨에 따라 정보통신기술은 국가적으로 가장 중요한 위치를 점하게 되었다. 정보통신기술의 기술적 계층은 (그림 1)과 같이 나타낼 수 있으며, 관련 부품 및 소재기술은 정보통신기술 발전의 근간이다. 통신기술의 발전이 개인화, 대용량고속화, 멀티미디어화 되면서 부품 차원에서는 고주파부품, 고속고밀도 집적부품의 중요성이 더욱 부각되고 있다.^(1,3) 이들 중에서도 고속고밀도 집적부품은 여타 산업분야에서도 중요한 위치를 점하고 있지만, 고주파부품과 광부품은 주된 응용

분야가 통신분야이다. 따라서 본 고에서는 고주파통신용 부품과 광통신용 부품에 이용되는 소재기술의 현황과 전망을 중점적으로 살펴보고자 한다.

II. 고주파통신부품용 소재기술

마이크로파 통신망은 1950년대에, 그리고 위성을 이용한 통신은 1860년대에 등장하였다. 이 두가지의 주된 통신기반구조의 발전은 선진국에서 정부주도하에 이루어졌으며, 이에 따라 고주파 신호의 변조, 증폭, 발전을 위하여 고주파통신부품의 발전이 이루어졌다. 현재 이동통신의 급속한 보급으로 고주파부품은 산업적으로도 중요한 품목이 되었으며 이에 따라 부품 및 소재기술은 하루가 다르게 발전하고 있다.⁽⁴⁾ 고주파부품의 발전 방향을 정확히 설명하는 것은 어려운 일이지만 다음과 같이 정리할 수 있다.⁽⁵⁾

- 소형화 박형화, 표면실장부품(SMD : surface mounting device)화가 진행되고 있다.
- 고성능화, 고주파화, 저전압화, 저소비전력화, 저가격화가 병행되고 있다.
- 신기술, 신재료에 의한 새로운 부품이 개발되고 실용화되는 상황이다.
- 복합화, 블럭화되어 전체적으로 소형, 고기능을 추구하려한다.

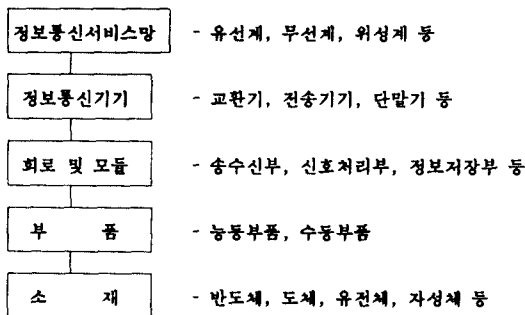


그림 1. 정보통신기술의 계층

이러한 고주파부품에 응용되는 소재는 <표 1>과 같이 반도체, 유전체, 자성체, 압전재료 등이 있다.

표 1 주요 고주파통신부품용 소재

분 류	재 료	응 용 부 품
반 도 체	Si, GaAs, III-V족 혼정화합물	혼합기, 저잡음증폭기, 전력증폭기등
마이크로 파유전체	BMT, BPNT, (Zr, Sn)TiO ₄ 등	유전체필터, 전압제어 발진자, MIC용 기판, 칩커패시터등
고주파용 자성재료	soft ferrite, YIG, GGG등	circulator, isolator, MSW 소자
압전재료	PZT, ZnO, LiNbO ₃ , LiTaO ₃ 수정등	SAW 필터, 칩필터등
도 체	Cu, Au, invar 등	stripline, 커넥터, 도파로 등

• 약어설명

- BMT : BaO-MgO-Ti₂
- BPNT : BaO-PbO-Nd₂O₃-TiO₂
- YIG : yttrium iron garnet
- GGG : gadolinium gallium garnet
- MIC : microwave integrated circuit
- MSW : magneto-static wave
- SAW : surface acoustic wave
- PZT : (Pb,Zr)TiO₃

1. 반도체기술

전자운반의 면에서 고이동도와 높은 포화속도를 나타내기 때문에 GaAs를 비롯한 III-V족 화합물 반도체는 고속고주파용 반도체 소재재료로 각광받고 있다.⁽⁴⁾ 왜냐하면 이러한 전자적 특성은 고속의 전기 신호를 증폭할 수 있기 때문이다. GaAs MESFET (metal-semiconductor field-effect transistor)는 대표적인 화합물반도체소자로 1970년대부터 전력증폭기, 저잡음증폭기, 국부발진기등에 이용되고 있다. 그러나 1980년대부터 분자층을 제어 성장할 수 있는 MOCVD(metal-organic chemical-vapor deposition), MBE(molecular beam epitaxy), ALE(atomic layer epitaxy)등의 에피성장 기술의 발전으로 초고속, 초고주파용 HEMT(high-electron mobility transistor), HBT(heterojunction bipolar transistor)등의 신소자에 대한 개발이 활발하다.

2. 마이크로파용 세라믹 유전체

마이크로파 유전체는 유전율이 20~100 정도이고, 공진주파수의 온도계수가 0에 가까운 재료로 유전체 필터, 칩형 적층 LC 필터, 전압제어발진기 (VCO : voltage-controlled oscillator) 등에 이용된다.⁽⁶⁾ 마이크로파 유전체를 이용한 필터와 발진자는 유전체 공진기의 형태를 이용하는 것이 특징인데, 지금까지 개발된 여러종류의 세라믹 유전체는 유전율이 클수록 Q값이 작은 경향을 나타낸다.⁽⁷⁾ 선진국에서는 근래 10여년간 소재개발에 큰 진전을 이루었으나, 국내에서는 이동통신단말기용 부품의 수요급증에 따라 최근에 비로소 개발이 착수되었다. 마이크로파 유전체에 요구되는 특성은 다음과 같다. 첫째, 높은 비유전율을 가질 것으로 유전율이 클수록 가질 것으로 유전율이 클수록 부품의 크기가 작아지기 때문이다. 둘째는 유전손실이 작을 것으로 부품의 전력손실이 작아야 하기 때문이다. 셋째는 공진 주파수의 온도계수가 작을 것으로 부품의 온도안정성과 직결되기 때문이다.

3. 고주파용 자성재료

페라이트는 페리자성(ferrimagnetism)을 갖는 대표적인 고주파용 자성체로 garnet, spinel, 육방정 페라이트로 일반적으로 분류한다. Garnet과 spinel은 입방정 결정구조를 가지며 1~35 GHz의 대역에서 마이크로파 신호의 진폭, 위상, 주파수, 전송경로, 주파수대역을 제어하는 여러가지 부품용 소재로 응용되고 있다.⁽⁸⁾ 구체적으로는 감쇄기, limiter, 위상변화기, YIG-tuned 발진기, 회전기, 분리기, 스위치등이 있다. 마이크로파 자성체는 포화자화를 어느 정도 변환가능한 것이 바람직하다. 이러한 목적으로 YIG의 경우 Gd, Al등의 불순물을 치환 주입하면 고주파 자기적 성질이 변화시킬 수 있다. 마이크로파에 이용되는 페라이트는 자기손실이 중요하며 재교상수 spin-wave linewidth와 관계된다. 그 선폴이 클수록 spin-wave가 안정한 범위의 높은 임계 자장을 얻을 수 있다.

4. 압전성 강유전체

강유전체(ferroelectric materials) 중에서도 압전효과가 큰 재료를 압전재료(piezoelectric materials)라고 한다. 널리 이용되는 압전재료는 PZT(PbZrTiO₃), ZnO, quartz, LiNbO₃등이다. 압전체를 이용한 고주파 통신부품의 대표적인 예는 표면탄성파(SAW : surface

acoustic wave) 필터이다. SAW 필터는 TV용 중간 주파수단 필터로 가장 많이 이용되고 있으나, 최근 무선 이동통신분야에서 급성장을 나타내고 있다. 종래의 LC필터, 유전체필터에 비하여 부피가 작고, 전력소모가 작은 것이 장점으로 이동통신단말기의 소형경량화에 큰 기여를 할 것으로 전망된다.⁽⁹⁾

Ⅲ. 광통신부품용 소재기술

통신에 있어서 전기신호를 제어하는 방법보다 광을 제어함으로써 폭증하는 정보통신 수요를 보다 효과적으로 대처할 수 있다. 광통신분야에서의 기술적인 진보는 새로운 통신변혁을 가져오고 있다. 전송기술분야에서는 광통신기술이 이미 주도적인 위치를 점하고 있으며, 다가오는 21세기에는 교환기술분야에서도 기술적으로 큰 도약이 기대되기 때문이다.⁽¹⁰⁾
 이와 같은 광통신분야의 진보는 거의 부품 및 소재기술에서 비롯된다고 해도 과언이 아니다. 광통신 분야에 이용되는 주요 소재는 <표 2>와 같다.

1. 광섬유 기술

광신호의 전송에 이용되는 광섬유는 일반섬유처럼

굵기가 머리카락정도인 가는 유리봉의 형태를 가지며, 주성분은 실리카(SiO₂)이고 비정질 상태이다. 실리카 광섬유는 현재 기술적으로 이론적인 한계에 거의 도달하였으며, 국내에서도 4개의 대기업체에서 제조되고 있으며, 상당량이 수출되고 있어서 산업적으로 성숙된 분야이다.

그러나 광섬유에 대한 연구개발은 계속되고 있다.⁽¹²⁾ 그 하나가 불화물계 광섬유로 이론적으로 실리카계 광섬유보다 전송손실이 1/100 이하이다. 불화물계 광섬유는 21세기초에는 현재의 실리카광섬유보다 전송손실면에서 10배이상 개선되어 0.01 dB/km까지 도달하여 장거리 해저전송용 케이블로 이용될 것으로 전망되고 있다. 다른 하나는 플라스틱 재질의 광섬유이다. 플라스틱 재질의 광섬유는 유리보다 신축성, 가격, 절단 등의 측면에서 유리하기 때문에 특수용도로 이용성이 높다. 이 소재에 대해서는 역학적, 광학적 특성과 신뢰성을 높이기 위한 연구가 진행되고 있다.

2. 광소자용 반도체기술

광반도체 소자는 크게 발광소자와 수광소자로 나눌 수 있다. 광통신용 발광소자로는 발광다이오드(LED: light emitting diode)와 레이저 다이오드가 대표적이며,

표 2 광통신부품용 소재의 종류

분 류	세 요	응 용 부 품
유 리	SiO ₂ , 불화물계 유리	광섬유, 광섬유소자(mechanicalsplice, 광커플러)
반도체	Ⅲ-V족 화합물반도체(GaAs, InP, AlGaAs, InGaAs, InGaAsP등) Ⅱ-VI족 화합물반도체(AnSe, CdTe, HgCdTe, HgMnTe등)	수광소자, 발광소자
전기광학재료	KDP, LiNbO ₃ , SBN, BaTiO ₃ , PLZT등	광변조소자(전기광학소자)
자기광학재료	YIG, GdIG, Li ferrite, permalloy	광변조소자(자기광학소자)
음향광학재료	LiNbO ₃ , quartz, As ₂ S ₃	광변조소자(음향광학소자)

* 약어설명

KDP : potassium diphosphate

SBN : (Sr,Ba)Nb₂O₆

PLZT : (Pb,Ln)ZrTiO₃

GdIG : gadolinium iron garnet

주로 III-V족 화합물반도체가 기본 소재로 이용되고 있다. III-V족 화합물반도체의 특징은 밴드갭을 화학적 조성의 조절로 변환할 수 있는 “에너지대폭 공학 (bandgap engineering)”이 가능하다는 점이다. 근거리 통신용으로 이용되는 광파장은 800nm, 1300nm대이며, 장거리통신용으로는 1550nm의 파장이 이용된다. GaAs기판을 이용하는 경우에는 GaAs, GaAlAs 등의 소재가 InP기판을 이용하는 경우에는 InGaAsP가 대표적인 소재이다. 최근 에피성장기술의 발전으로 양자우물구조(quantum well structure)를 이용한 광소자에 대한 연구가 활발하다.⁽¹³⁾ 수광소자로는 pin 다이오드 APD(avalanche photodiode) 등이 주로 이용되며, 소재로는 Si, Ge와 같은 단원소반도체와 III-V족, II-VI족 혼정화합물반도체가 이용되고 있다. 수광소자는 이득을 높여 출력을 향상시키고, 잡음을 줄여서 수광감도를 높이는 것이 가장 중요한 연구주제이다.

현재 광소자용 반도체 기술에서 중요한 주된 연구개발주제는 집적광전자(OEIC : optoelectronic integrated circuit)에 있다. OEIC는 수동 및 능동소자를 단일 기판상에 집적시켜 제조한 소자로 일부 실용화 성과를 보이고 있다. 광소자와 신호처리용 전자회로를 일체형으로 집적화하면 부품의 크기, 전력소모, 가격측면에서 현재의 개별소자를 이용하는 통신기기보다 월등히 유리해지기 때문이다.

3. 광변조소자용 소재기술

광신호의 진폭, 주파수, 위상, 경로등을 변조하여 전자신호처리와 유사하게 광신호처리를 하면, 정보처리면에서 지금보다 훨씬 고속화, 대용량화를 기할 수 있다. 광신호처리에 응용하기 위한 소자는 광스위치가 대표적이고, 그 외에 광컴퓨터, 광분리기, 광필터 등이 있다. 광변조소자용 소재로는 전기광학재료, 음향광학재료, 자기광학재료가 있다.⁽¹¹⁾

전기광학효과는 빛이 통과하는 매질에 전장을 가하면 광의 경로, 강도가 변화되는 효과로 매질의 굴절율이 전장에 선형적으로 변하는 Pockels 효과(1차 전기광학효과)와 전장의 제곱에 비례하는 Kerr 효과(2차 전기광학효과)가 있다. 자기광학효과는 물질의 광학적성질이 자계에 의해 변하는 현상을 말한다. 이 중에서 자계내에 놓인 물질을 광이 투과할 때 직선편광의 편파면이 회전하는 현상을 Faraday 효과라고 하고, 광의 경로에 대해 수직의 자계를 가할 때 자계에 대해서 수직방향과 수평방향의 매질의 굴절율이 달라지는 현상을 Voigt 효과라고 한다. 음향광학효과는

매질 중에 초음파를 전파시키면 밀도의 소밀파가 가능하여 매질의 굴절율이 변화되고, 이 매질에 광을 조사하면 편향되는 현상이다. 이상의 광변조소자용으로 연구되는 주요 재료들을 <표 2>에 정리하여 나타내었다.

4. 광접속부품용 소재기술

대표적인 광접속부품인 광커넥터는 두가닥의 광섬유를 광손실이 거의 없이 물리적으로 접속하는 역할을 하는 부품으로 핵심소재는 광섬유를 정렬접속시키는 ferrule이다. Ferrule용 소재로는 플라스틱, 유리, 금속, 세라믹이 이용되고 있으며, 정밀도가 보다 낮은 다중모드 광커넥터용으로는 플라스틱이나 유리 재료가 많이 이용되고, 고정밀이 요구되는 단일모드용으로는 구조세라믹인 부분안정화 지르코니아(PSZ : partially stabilized zirconia)가 이용되고 있다. 세라믹페룰의 가공정밀도는 1 μ m 이하이며, 성능과 신뢰성 면에서도 다른 소재보다 우수한 특성을 나타내고 있다.⁽¹⁴⁾ 현재 광커넥터는 국내외에서 상용화되어 있으나, 국내는 조립기술수준에 머물러 있어서, 원천 설계 및 소재기술에 대한 연구가 ETRI를 중심으로 진행되고 있다.

향후 B-ISDN이 실용화되기 위해서는 광분기결합기, 스타형 커플러등이 필수적일 것으로 전망되고 있다. 이들 부품은 광섬유형과 박막도파로형으로 구현될 수 있으며, 광섬유형은 여러 가닥의 광섬유를 정밀하게 융착하는 기술이 소요되며, 일부는 상용화되어 있다. 그러나 박막도파로형은 광섬유형에 비하여 성능면에서 개선할 여지가 많이 남아 있으나, 소형의 고집적화와 양산이 가능하므로 광대역 종합정보통신망에 유리한 기술로 전망되고 있다. 박막도파로 소재로는 광섬유와 같은 실리콘이 적합하며 실리콘 기판 위에 화염가수분해법(flame hydrolysis)과 HIPOX (high-pressure oxidation) 방법으로 연구가 진행되고 있다.⁽¹⁵⁾

IV. 신소재기술 개발동향

<표 3>에 최근 활발하게 연구되고 있는 신소재기술을 일부 정리하였다. 근래 가장 활발한 연구가 진행되었던 소재는 초전도체이다. 1986년 고온초전도체가 발견된 이후 많은 연구가 진행되었지만 당분간 가공성이 향호한 상온 초전도체는 출현하지 않을 전망이다. 그러나 초전도체를 이용하여 통신분야에 기

여하려는 연구는 국내외에서 활발하다. 초전도체를 이용한 부품으로는 초고속 논리소자 및 기억소자, 마이크로파 수동부품, 초전도 배선 등이 있다.⁽¹⁶⁾

한편 광통신분야에서 최근 주목받고 있는 소재는 전광소자(all optical devices)용 비선형광학재료이다. 아직 실현되려면 많은 과제가 남아 있지만, 전기나 자기 에 의해 광변조하는 소자보다 궁극적으로 고속동작이 가능하기 때문에 장기적인 안목을 가지고 활발하게 연구되고 있다. 이를 위한 소재로는 화학물 반도체 나중양자우물구조(multi-quantum well structure), 반도체가 도우핑된 광학유리, 실리카 유리질 광섬유, 비선형 광학 고분자재료등이 검토되고 있다.⁽¹⁷⁾

신소재 가공기술 중에서 가장 활발한 연구가 진행되는 분야가 박막가공기술이다.^(18,20) 이미 잘 알려진 강유전체와 자성재료도 양질의 박막형태로 성장할

수 있다면, 새로운 소자제조에 적용이 가능하고, 기존의 반도체 집적회로와 인체형으로 수동회로를 집적할 수 있기 때문이다.^(19,20) 특히 현재의 기술로 집적화가 어려운 필터나 안테나, 인덕터나 트랜스포머를 박막형으로 제조하기 위한 연구가 선진국에서 진행되고 있다. 이와 같은 박막형 수동부품은 고주파통신분야에서 더욱 중요한 것으로 보인다. 그 이유는 개인통신단말기에서는 수동회로의 소형경량화가 중요한 관건이기 때문이다. 그러나 다윈소의 무기재료를 박막으로 제조할 경우에 화학적 조성을 제어하기 어렵고, 넓은 면적에서 특성의 균일도를 얻기 어려우며, 결함이 쉽게 발생되어 벌크형태의 단결정이나 다결정소재보다 특성이 뒤떨어지는 문제들을 전반적으로 해결해야 한다.

표 3 신소재 기술 개발분야

소 재	개발대상부품	적용가능통신분야
초전도체	마이크로파필터 조셉슨소자	위성통신, 초고속정보처리
강유전체박막	초소형 안테나, 필터(MMIC용) 광변조소자	이동통신, 개인통신, 위성통신 광교환
Ferrite 박막	초소형 inductor, transformer, isolator등(MMIC용)	이동통신, 위성통신
전광소자용 비선형광학재료	전광교환소자	광교환, 광컴퓨터

V. 결 론

지금까지 통신부품용 소재기술을 전반적으로 간단히 살펴보았다. 엄밀하게 통신부품에 사용되는 소재는 전자재료, 광재료외에도 구조재료 등 거의 모든 소재가 이용되고 있다. 따라서 국내의 최약한 산업구조를 고려할 때 선진국과 기술경쟁을 하기 위해서는 분야를 좁혀 우선순위를 정하고 집중적으로 연구할 필요가 있다. 서론에서도 언급하였듯이 통신분야에서는 고주파부품 및 광부품과관련 소재기술이 비중이 클 것으로 전망된다. 전반적으로 현재 국내의 소재기술수준은 여타 산업분야와 마찬가지로 통신부품분야에서도 취약성을 보이고 있다. 가장 큰 원인은 소

재가 다양하므로, 소재산업의 자립기반이 취약하기 때문이다. 더욱이 통신부품은 일반전자부품보다 높은 신뢰성이 요구되고, 고난도의 기술이 요구되는 문제도 있다. 한편으로는 소재 자체의 부가가치가 작으므로, 부품화하여 부가가치를 높여야 한다. 그러나 국내의 소재업체는 부품생산능력이 부족하고, 부품업체는 까다로운 소재기술에 경험이 적고, 또한 소재산업에 투자비가 많이 소요되어 투자를 기피하고 있는 실정이다.

고주파통신부품용 소재기술 분야에 있어서는 최근 이동통신산업의 급성장으로 이동통신 단말기를 중심으로 부품 국산화를 추진함에 따라 소재의 자체개발 노력이 기업체를 중심으로 진행되고 있는 것은 다행한 일이다. 광통신용 부품의 소재기술 또한 B-ISDN

에 소요되는 광부품을 개발하기 위하여 정부출연연구소를 중심으로 학계에서도 깊은 관심을 갖고 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 아쉬운 점은 선진국에서는 통신관련 기업체 뿐만 아니라, 일반 전자업체에서도 통신부품 및 소재기술개발에 비중을 높이고 있는 실정에 비하면, 국내의 기업체의 노력은 미미한 실정이다. 시장이 성숙된 후에 기술개발이나 생산투자가 진행되면 지금과 같은 수입대체형 산업구조의 패턴은 불변할 것이므로, 국내에서도 무한한 잠재력을 가진 통신부품분야의 소재기술개발에 노력을 더욱 기울여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 한국전자통신연구소, "향후 정보통신기술의 발전 동향," 주간기술동향, 제516호, 2-17, 1991.10.
2. 한국전자통신연구소, "향우 부품기술의 발전 동향," 주간기술동향, 제522호, pp.2-18, 1991.11.
3. D. Polifko and H. Ogawa, "The Merging of Photonic and Microwave Technologies," Microwave Journal, pp.75-80, March 1992.
4. H. Abe and T. Nozaki, "High-Frequency and High-Speed Devices," NEC Res. & Develop., Vol.33, No.3, pp.263-7, July 1992.
5. 興村益作, "高周波電子部品の種類와 最新動向," 電子技術(日), pp. 10-13, 1992.9.
6. 성희경, 이재신, 김태홍, 최태구, "유전체공진기용 마이크로웨이브 세라믹스 기술," 주간기술동향, 92-34, pp.1-16, 1992.9.
7. 이재신, 성희경, 김태홍, 최태구, "유전체공진기용 마이크로웨이브 세라믹스 기술," 전자통신동향분석, Vol.6, No.2, pp.63-78, 1992.7.
8. Kai Chang, "Handbook of Microwave and Optical Components," Vol.1: Microwave Passive and Antenna Components, John Willy, N.Y., Chap.4, 1989.
9. H. Ohmori, "SAW Filters Hold Key to Creating Small, Portable Equipment," JEE, pp.63-7, May 1992.
10. 石尾手樹, "次世代 光通信技術의展 開," NTT Tech.J.(日), pp.8-12, 1992. 9.
11. Y. Miyazaki, "Reviews of Integrated Optical Devices and Circuits," 信學技術(日) NW91-169, 1991.
12. 이석규, "도래하는 광전송기술의 향방," 주간기술동향, 제557호, pp.2-12, 1992.8.
13. 문병주, "광소자기술 개발동향," 주간기술동향, 제576호, pp.2-12, 1992.12.
14. E. Sugita, "application for Optical Fiber Connector Ferrule," New Ceramics (Jap.), pp. 65-8, Jan. 1992.
15. M. Kawachi, "Tutorial Review: Silica Waveguides on silicon and Their Application to Integrated-Optical Components," Optical and Quantum Electronics, Vol.22, pp.391-416, 1990.
16. H. Hawakawa, "Future Prospects on Superconducting Technology in Electronics," 電子情報通信學會紙(日), Vol.75, No.11, pp.1223-9, 1992.11.
17. K. Kudodera, "Nonlinear Optical Devices for Optical Switching," IOOC '89 Technical Digest, pp.238-242, 1989.
18. 성건용, "펄스레이저 중착법에 의한 세라믹 박막의 제조," 요업재료의 과학과 기술, Vol. 7, No.3, pp.270-278, 1992.
19. T. Shiosaki, "Growth and Applications of Piezoelectric and Ferroelectric Thin Films," Proc. 1990 Ultrasonics Symp., pp.537-46, 1990.
20. H.L.Glass, "Ferrite Films for Microwave and Millimeter-Wave Devices," Proc. IEEE, Vol.76, No.2, Feb. 1988.
21. M. Tsutsumi, "Magnetostatic Wave and its Application to Microwave Devices," 電子情報通信學會紙(日), Vol.74, No.12, pp.1292-7, Dec. 1991.
22. S. Horwitz and C. Milton, "Application of film Bulk Acoustic Resonators," 1992 IEEE MTT-S Digest, pp. 165-8, 1992.



이 재 신

- 1982.2 : 서울대학교 요업공학과(공학사)
- 1986.8 : 한국과학기술원 재료공학과(공학박사)
- 1986.10- 현재 : 한국전자통신연구소 선임연구원



최 태 구

- 1972.2 : 고려대학교 물리과(이학사)
- 1976.2 : 고려대학교 대학원(이학박사)
- 1976.2-1977 : 고려대 강사, KIST 연구원
- 1977.12- 현재 : 한국전자통신연구소 책임연구원