

요 약

현재의 LTCC 필터는 주파수 대역이나 서비스의 종류에 따라서 다르지만 대개 LPF, BPF, x-plexer 등 단품에서 Balun, Antenna, Coupler, RF-IC Chip, Matching 회로 등과의 복합부품화, 복합모듈화의 형태로 진행되고 있다. LTCC 기술을 간단히 요약하고 LTCC 필터 설계의 주요 측면을 살펴본 후, 휴대 단말기 분야뿐 아니라 최근의 2.4 GHz, 5.2 GHz, 5.8 GHz의 WLAN의 LTCC 필터, Waveguide형 LTCC 필터, Module화 등의 예를 보인다. 최신의 시장 예측기관의 조사 자료도 같이 살펴보고 향후 전망을 해 본다.

I. 서 론

LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramics)는 10여 년 전 개발 당시와는 달리 수지 다층기판이나 HTCC(High Temperature Co-fired Ceramics) 등의 유사 기술보다 보다 많이 거론되고 다양한 용도에서의 개발·보급이 진행되거나 기대되고 있다. 이는 근래 이동통신시장이 폭발적으로 확대됨에 따라 고주파 아날로그회로의 소형화, 저가격화, 고기능화를 실현해내는 한 강력한 수단으로써 LTCC 기판, 부품, 모듈이 폭넓게 활용되는 측면이 있다. 향후에도 이러한 LTCC 제품들은 Wireless 기술을 중심으로 다양한 고부가가치 상품과 범용상품에서의 다양한 수요를 창출할 것으로 예상된다. 그러나, 전체 무선 통신 산업의 활성화 정도와 SAW, Fbar, Multi-layer

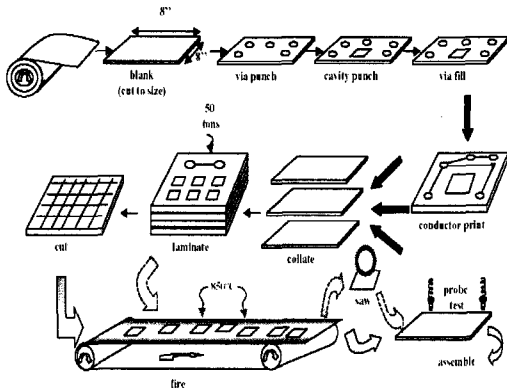
PCB^[1] 등의 대체 기술들의 동향도 중요한 요소가 된다.

그 동안 기존의 LPF, BPF, Diplexer, Duplexer 등의 필터, 안테나, 커플러, Balun 등의 단품 부품 중심의 양산을 지나 몇 개의 단일 부품을 묶는 부품의 복합화와, ASM, FEM, PAM, VCO, Mixer, Doubler 등의 모듈제품이 속속 일반화^{[1]-[7]}되고 있는 가운데, 더 나아가 Zero-IF, Low-IF 등의 기술, RF-IC 기술의 발달과 함께 SOC(System On a Chip), SOP(System On a Package)의 연구 개발로 나아가고 있다. 이는 LTCC의 대량 양산성이 초소형, 초경량화, 저가격 대중화라는 방향과 맞아 떨어지면서 이러한 추세는 빠르게 진행되고 있다.

이러한 추세 속에서 단품으로 또는 모듈의 한 부분으로 존재하는 LTCC 적층필터의 최근 동향과 향후 진행의 향방을 간단히 짚어보기 위해, LTCC 적층 필터를 위한 LTCC 기술의 대략, LTCC 필터의 적용분야와 적용형태 그리고 시장동향 및 전망을 살펴보고 앞으로 진행될 사항들을 점검해 본다.

II. LTCC 기술

LTCC 세라믹 기술은 저손실, 고밀도 집적, 고속, 고신뢰성을 갖는 회로 및 부품의 대량 양산 대응을 위하여, Ag, Cu, Pd 등의 전도성이 높은 도체를 내부전극으로 사용하고, 이러한 전극과 동시 소성이 가능한 온도인 약 950℃ 이하의 온도에서 소성이 가능한 다양한 유전율의 세라믹 소재를 sheet로 가공하고, R, L, C 수동소자를 3차원 배열하여 모듈화



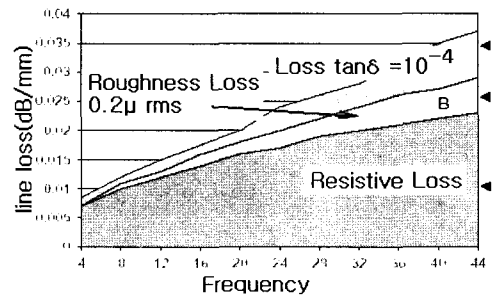
[그림 1] LTCC 제조 공정 (Plextek.LTD^[9])

하는 低溫同時塑性(LTCC) 기술이라 할 수 있다. LTCC기술의 Core Technologies는 크게 재료기술(Material Technology), 공정기술(Processing Technology), Packaging 기술, 설계기술(Design Technology)등의 네 가지로 분류할 수 있다. LTCC 기술은 우선 다양한 High Q, High ϵ , Low Tf의 유전재료를 사용할 수 있으며, 유전율도 5~수천(대개의 경우 수십까지)까지 다양한 재료를 사용할 수 있고, 고적층(100층 이상)까지 가능하다. 재료 취급회사는 DuPont, Ferro, Heraeus, CeramTec, Electro-Science Laboratories(ESL), Kyocera, Nikko 등이 있다^[8]. 공정의 안정성과 측정 기술이 확보된다면 LTCC 설계자는 수동소자의 embedding이 가능하고 능동소자 및 chip들을 바로 연결할 수 있는 다층구조(multiplayer architecture)로 집적하여 적층화 할 수 있는 광범위하고 다양한 설계의 자유도(Design of freedom)를 갖는다.

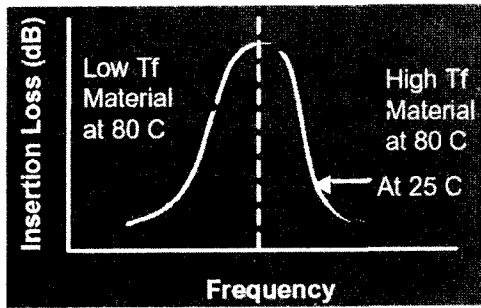
재료기술(Material Technology)에서는 Glass-Ceramic 합성기술, Green sheet의 binder 재료기술, 공정 기술(Processing Technology)에는 미세패턴 인쇄, printing, micro via punching, 고밀도 적층기술, Munti-cavity 구조 형성 기술, 이중 접합재료 기술, 도금기술 등의 요소기술이 요구되고 [그림 1]과 같은 Green Sheet

에서부터 Firing 및 측정까지의 일괄된 공정이 필요하다. 공정을 거친 LTCC 제품은 CSP(Chip Size Packaging)기술, Wire Bonding, Hermetic sealing 등의 고난이도의 Package기술과 측정 기술을 거쳐 하나의 제품이 완성될 수 있다. 이러한 기술들을 바탕으로 다양한 Schematic 및 2D, 2.5D, 3D의 회로설계 기술 및 library 구축 등이 주요한 설계 기술이 된다.

[그림 2]는 LTCC 부품의 각 요소가 삽입손실에 미치는 영향을 분석한 예로서 유전체 손실보다는 내부 전극에 의한 Resistive Loss가 가장 큰 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다. 따라서 Ag, Cu, Pd 등의 내부 전극의 선정은 손실과 공정 안정성 측면에서 아주 중요한 고려 요소가 된다. [그림 3]은 BPF에서의 Tf영향을 정성적으로 보여주는 것으로서 설계 및 재료 선정에 중요한 요소를 차지한다. 공정 과정의 xyz 수축율에 따른 변화도 중요한데, [그림 3]과 비슷한 결과를 얻을 수 있고 공정 변수의 control에 지표로 삼아야 한다, 기타 설계치와 측정치의 일치를 위해서는 공정상의 전극의 두께, Roughness, Layer간 Air층의 생성 정도, 외부 전극의 형상, 측정 방법과 Calibration 등 많은 고려사항들이 있을 수 있다. 이러한 여러 요소를 보다 다양하게 검토하고 Monte Carlo Simulation 등을 수행하는 것은 높은 수율(Yield)을 얻는데 필수요소로 인식된다.



[그림 2] LTCC line loss 기여도(Heraeus CMD^[10])



[그림 3] BPF에서의 Tf의 영향 (Heraeus CMD^[10])

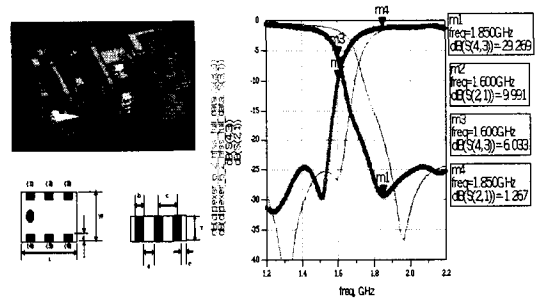
Ⅲ. LTCC 기술의 응용 분야

1990년대 중반전까지만 해도 LTCC 기술은 일부 소규모의 군사용 및 특수 응용에 국한되었지만 지금은 양산성을 바탕으로 상업적 목적의 생활가전 부문과 특히 무선통신 분야에서 급속히 응용의 범위를 넓혀가, 휴대폰 부품, 블루투스나 무선 LAN을 포함한 wireless interfacing 분야와 automotive engineering application, optical application 등 다양한 분야에 응용된다. 마이크로웨이브 주파수에서 동작할 수 있는 고집적화된 모듈의 구성 등 무선통신 시스템의 설계 분야는 LTCC 시장의 성장을 주도하고 있으며, 이외에도 자동차, 의료용 기계 등 여러 분야에서 사용되고 있다^{[16],[17]}. 2.3 GHz, 2.45 GHz, 5.2 GHz, 5.8 GHz 대역에서 동작하는 무선 인터넷, Bluetooth 및 Wireless LAN 등의 출현은 LTCC 기술의 응용범위를 더 한층 넓혀준 계기가 되었으며, 송수신기의 RF Front End에 사용되는 일련의 수동부품의 LTCC 모듈화 움직임이 활발히 전개되고 있다.

3-1 집중소자(Lumped Element)형 LC Filter

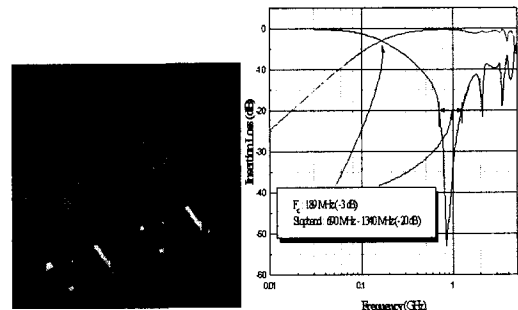
[그림 4]는 2012사이즈의 Cellular-PCS Diplexer의 예(Amotech^[11])이다. Cellular, PCS, GPS, IMT200, 2.3 GHz 무선 인터넷, 2.4 GHz IMS, 5.2 GHz, 5.8

GHz Wireless Lan 등 다양한 서비스 대역을 2가지 이상 동시에 사용할 때 사용되어질 수 있는 다양한 제품이 개발되어 선보이고 있다. 주로 LPF, Diplexer, Triplexer등의 형태로 단말기 분야의 여타기술에 비해 경쟁력을 가지나 2 GHz 이하의 경우 현재 Diplexer를 지나 Triplexer의 제품 또는 FEM 등에 함께 묶여 들어가고 있다. BPF, Duplexer등은 이 대역에서 SAW에 비해 경쟁력이 다소 떨어지는 추세다. 설계 유형은 주로 lumped element를 기반으로 하고 비유전율 10이하의 저유전율의 Green Sheet이 사용되어지고 있다. [그림 5]와 같은 EMI Filter의 경우는 비유전율 80~수천의 고유전율이 사용되어지고 구조상 LPF의 특성을 갖는데, 최근의 EMI, EMC분야의 성장과 함께 관심이 고조되고 있다.



[그림 4] 2012사이즈 Cellular-PCS Diplexer의

예(Amotech^[11])



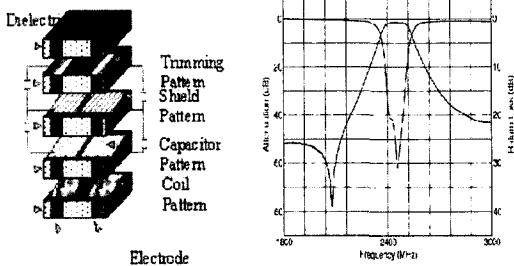
[그림 5] 고유전체의 EMI Filter(Kyocera^[12])

3-2 분포소자(Distributed Element)형 BPF

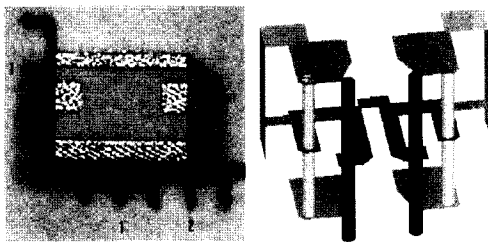
2 GHz 이상에서는 주로 비유전율 10 이상의 고유전율의 재료를 사용하여 주로 분포소자(Distributed Element)형의 Comb-line filter가 주로 사용된다. 이 대역에서는 SAW 필터의 추적이 있으나, 주파수가 높을수록 보다 큰 경쟁력을 가지고 있다. [그림 6]은 Murata의 2.45 GHz WLAN용 3-pole BPF의 예를 나타냈다. Set 업체의 소형화 요구에 맞추어 Soshin 등을 필두로 3225, 2520에 이어 2012 사이즈로 빠르게 진행되어가고 있다. [그림 7]에 국내 전자부품 연구소의 2012사이즈의 개발 예를 보였다.

3-3 도파관 필터(Waveguide Filters)

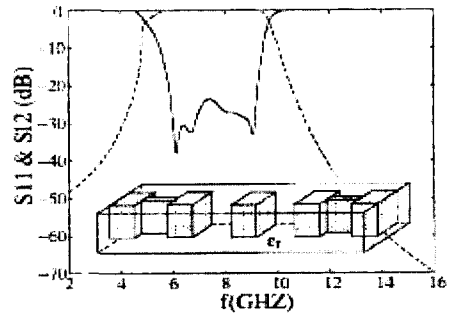
LTCC에 의해 구현되는 도파관 구조물이 기존의



[그림 6] 무라타 LTCC 적층 필터의 예^[13]



[그림 7] 2012사이즈 2.4 GHz 대역 BPF
(전자부품연구원^[14])

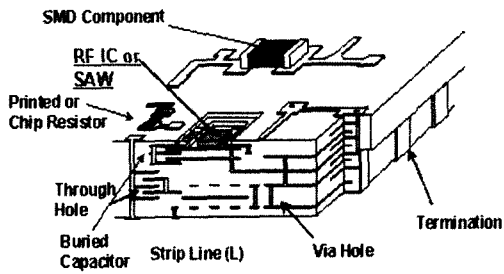


[그림 8] Wide band five-pole Ridge Waveguide
BPF($\epsilon_r=5.9$, $a=0.180$ Inch, $b=0.073$ Inch)^[18]

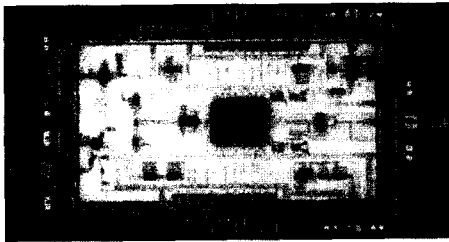
Microstrip이나 Strip Line에 비해 Cross-talk나 삽입 손실이 측면에서는 뛰어나고 기존의 Microstrip이나 Strip Line 등과의 interface도 원활하다. 예로서, [그림 8]에 Ridge Waveguide를 이용한 LTCC 도파관 필터의 구조가 나타나 있는데, 0.18×0.073 인치의 크기를 가지며 LTCC 기판 내에 구현될 수 있다. 5.8 GHz 이상의 높은 주파수에서 시도되고 있다.

3-4 수동부품의 집적화 또는 모듈화

LTCC 기술의 발전 방향은 그 응용분야에서 단일 부품이 아닌 system 전체적인 차원에서의 접근이 이루어지는 듯하다. 저항기, 커패시터 및 인덕터 Filter, Coupler, Balun 등의 수동소자를 다른 능동기능의 소자와 함께 집적하여 하나의 기능성 모듈이나 시스템을 제작하는 것이다. 여러 개의 수동부품과 chip을 LTCC 적층 구조의 모듈에 집적시킬 경우 상호연결의 임피던스 정합의 문제를 해소할 수 있고 소형 고성능 고기능화 되면서, 대량 양산에 힘입어 제조비용은 오히려 감소하는 등의 이득이 있다. [그림 9]는 Murata의 LTCC 집적구조의 개념도를 나타낸다. 다양한 Passive 소자들은 LTCC내부에 Embedding되고, SMD Chip이나 RF-IC 등은 상단에 위치하는 구조로 되어 있다. [그림 10]은 26~28 GHz 대역의 Point-to-Multipoint(LMDS) Module을



[그림 9] Murata LTCC Integration Structure의 예^[13]



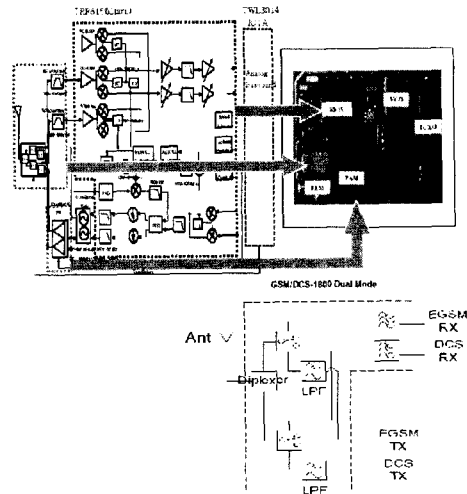
[그림 10] Point-to-Multipoint(LMDS) Module for 26 GHz^[8]

한 개의 LTCC모듈로 구현한 예이다. [그림 11]은 휴대단말기의 FEM, ASM 등의 개념을 보여주고 있다.

크기가 일정 이상 커지면 LTCC가 갖는 우수한 열전도 특성^[1]보다 가격적인 측면에서 Multi-layer PCB 형태의 가능해지는데, 이는 PAM, Coupler 등에서 그 예를 찾아 볼 수 있고 LTCC Integration의 극복해야할 과제의 하나가 된다.

IV. LTCC 필터시장 및 전망^{[16],[17]}

LTCC 적용은 Cellular시장뿐 아니라 PDA, WirelessLAN등 다양한 시장에 관심이 모아지고 있다. Bluetooth, WirelessLAN 등의 근거리 무선의 등장은 전자기기간의 Cordless화를 실현하는 것으로 그 성장 속도의 예측치는 <표 1>과 같이 연간 100~150%의 고속 성장이 기대되어 향후 이동통신시장은



[그림 11] 휴대단말기의 FEM(삼성전기^[15])

커다란 변화가 있을 것으로 예상된다.

그 용도별 수요량은 <표 2>와 같이 Cellular, 자동차 뿐만 아니라 PC 및 PC 주변기기, 게임기 및 가전제품 전반에 걸친 Home networking, Ubiquitous 등과 맞물려 폭넓게 늘어날 것으로 예상된다. 2003년까지는 수요금액이나 수요량 측면 모두에서 휴대단말기가 가장 큰 부분을 차지(그림 12, 그림 13)할 것으로 예상된다. 그러나, Bluetooth와 무선 LAN (2.45/5.2 GHz) 탑재기기 대수는 2003년부터 2004년에 걸쳐 휴대전화의 생산대수를 넘어서고 2005년의 생산규모는 휴대전화가 6억 2천만대, Bluetooth 탑재기기가 10억 6천 9백만대, 무선 LAN 탑재기기가

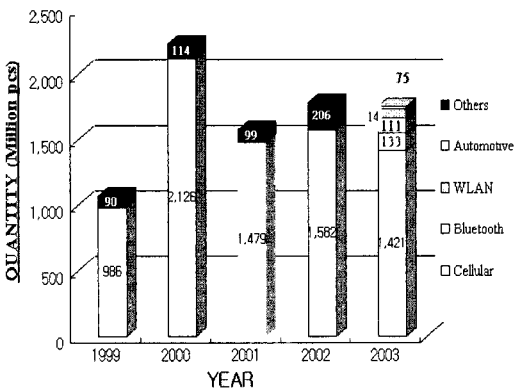
<표 1> 각 Service의 성장 예측치^[17] [단위 : 백만개]

Application	2000	2001	2002	2003	2004	2005	01~0 평균성장률
Cellular	410	380	470	520	570	620	13.0 %
Bluetooth	2	25	70	350	700	1,069	155.7 %
W L A (2.45/5.2 GHz)	6	15	40	100	170	265	105.0 %
TOTAL	418	420	580	970	1,440	1,954	46.9 %

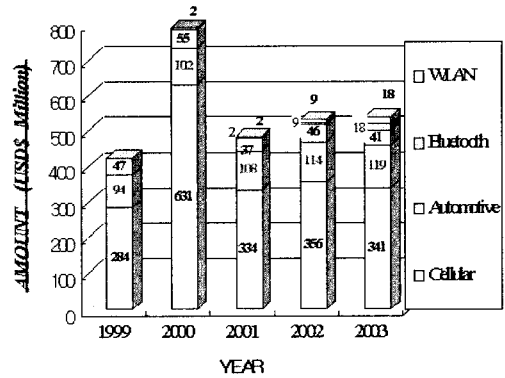
<표 2> 근거리 wireless interface 용도별 수요 예측^[17]

Application		2000	2005	Blue-tooth	WLAN
Cellular	본체	414	620	500	0
	Bluetooth handset	0	150	150	0
PC	Desktop	105	180	27	100
	Notebook	30	60	30	40
PC 주변기기 (마우스/키보드)		252	432	40	0
Printer		87	140	54	15
PC monitor		120	210	0	20
PDA		13	80	80	10
TV		120	140	10	20
VTR/DVD		60	80	5	20
Portable VTR		11	20	5	5
Audio	가정용	120	150	15	15
	휴대용	60	100	20	0
Game	가정용	35	50	20	20
	휴대용	18	32	25	0
Digital still camera		12	60	30	0
Automotive		55	60	10	0
Cordless phone		55	75	45	0
TOTAL		1,567	2,664	1,066	265

가 2억 6천 5백만 대로 예측되고 있다. 이와 같이 LTCC의 주목되는 성장분야는 휴대단말기의 RF-FEM 분야뿐 아니라 WLAN, Bluetooth, Automotive 분야라고 전망되고 단기(1~3년내)의 큰 중심축의



[그림 12] 년도별 분야별 LTCC 제품 수요량^[16]

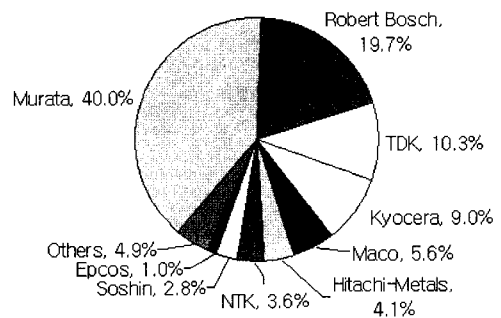


[그림 13] 년도별 분야별 LTCC 제품 수요금액^[16]

이동 변화가 예상된다.

그 외 주요 제조사들의 Share는 2002년도 기준으로 [그림 14]와 같이 Murata 40%, Bosch가 약 20%, TDK, Kyocera가 각각 약 10%씩으로 전체의 60%를 차지하고 있다. 국내에서 LTCC 필터를 개발하는 회사들은 광성전자, 삼성전기, 쌍신전기, 아모텍, LG 이노텍, 필코전자, 한원(가나다순) 등이 있다. 그러나 세계적으로 IT 산업의 침체가 완전히 회복되는데는 다소 시간이 걸릴 것으로 예상하고 WLAN 서비스에 대한 수요 확대 등으로 인해 이동통신 사업자가 수익을 올릴 수 있게 되기까지는 5년에서 7년 정도의 시간이 소요될 것으로 예상하기도 한다^[18].

2002년 LTCC Manufacture Share



[그림 14] 2002년도 LTCC Manufacture Share^[18]

V. 결 론

LTCC 적층 필터를 위한 LTCC 기술의 대략, LTCC 필터의 적용분야와 적용형태, 그리고 시장동향 및 전망을 위주로 간단히 살펴보았다. LTCC의 주목되는 성장분야는 휴대단말기의 RF-FEM 분야 뿐 아니라 WLAN, Bluetooth, Automotive 분야라고 전망되고 있다. 이에 따라 단품 혹은 모듈형태로 제공되는 LTCC 적층필터의 향방도 이에 따라 변화하리라 예상된다.

낮은 주파수대역에서의 SAW필터, Fbar 등의 경쟁 제품, PAM 모듈 등에서의 Multi-layer PCB 등의 도전과 IT산업의 회복지연, 이에 따른 새로운 통신 서비스의 지연 등은 이 분야의 성장에 있어서 극복 과제로 보여진다. 그러나, 2 GHz 이상에서의 고유전 유전체를 이용한 분포소자형 기술과 WLAN, 5 GHz 이상의 Waveguide형 필터, 다양한 복합화 모듈화 기술 등은 미래에 대한 밝은 기대를 가능하게 하는 요소들이다.

참 고 문 헌

- [1] V. A. Chiriach, T. T. LEE, "Thermal Assessment of RF Integrated LTCC Front End End Module(FEM)", *2002 Inter Society Conference on Thermal Phenomena*, pp. 520-523, 2002.
- [2] R. Hurley, G. Sloan, "An L-Band, LTCC Frequency Doubler Using Embedded Lumped Element Filters", *2002 IEEE MTT-S Digest*, pp. 1549-1553, 2002.
- [3] C. H. Lee, S. Chakraborty, A. Sutono, S. Yoo, D. Heo and J. Laskar, "Broadband Highly Integrated LTCC Front-End Module for IEEE 802.11a WLAN Application", *2002 IEEE MTT-S Digest*, pp. 1045-1048, 2002.
- [4] A. Raghavan, D. Heo, M. Maeng, A. Sutono, K. Lim and J. Laskar, "A 2.4 GHz High Efficiency SiGe HBT Power Amplifier with High-Q LTCC Harmonic Suppression Filter", *2002 IEEE MTT-S Digest*, pp. 1019-1022, 2002.
- [5] C. Tang, C. Chang, "Using buried capacitor in LTCC-MLC balun", *Electronic Letters 18th Jury 2002*, vol. 38 no. 15, pp. 801-803, 2002.
- [6] A. Sawicki, K. Sachse, "A Novel Directional Coupler for PCB and LTCC Applications", *2002 IEEE MTT-S Digest*, pp. 2255-2258, 2002.
- [7] L. Zhao, A. Pavio, B. Stengel and B. Thompson, "A 6Watt LDMOS Broadband High Efficiency Distributed Power Amplifier Fabricated Using LTCC Technology", *2002 IEEE MTT-S Digest*, pp. 897-900, 2002.
- [8] <http://www.LTCC.de>
- [9] <http://www.plextek.co.uk>
- [10] <http://www.4cmd.com/>
- [11] <http://amotech.co.kr>
- [12] <http://www.kyocera.com>
- [13] <http://www.murata-northamerica.com/>
- [14] <http://www.keti.re.kr>
- [15] <http://www.sem.samsung.co.kr>
- [16] Navian Incorporated, Navian report on LTCC 2003, May 15, 2003.
- [17] Navian Incorporated, Navian report on LTCC 2002, 2002.
- [18] Y. Rong, K. A. Zaki, J. Gipprich, M. Hageman, and D. Stevens, "LTCC Wide-Band Ridge Waveguide Bandpass Filters", *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, vol. 47, no. 9, pp. 1836-1840, Sept. 1999.
- [19] "2002년 무선 랜(WLAN) 시장 전망", Gartner Group, 2002년 1월 30일.

≡필자소개≡

황 희 용



1988년 2월: 서울대학교 생물교육과 (생물교육학사)

1992년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1995년 9월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)

2000년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)

2000년 3월: 서강대 BK 핵심연구단 계약교수

2001년 3월: University of Maryland Researcher

2002년 5월: (주) 아모텍 연구소장

2003년 3월~현재: 강원대학교 전지전자정보통신공학부 조교수

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 부품, 회로, 및 시스템