

Thema | 임베디드 커패시터

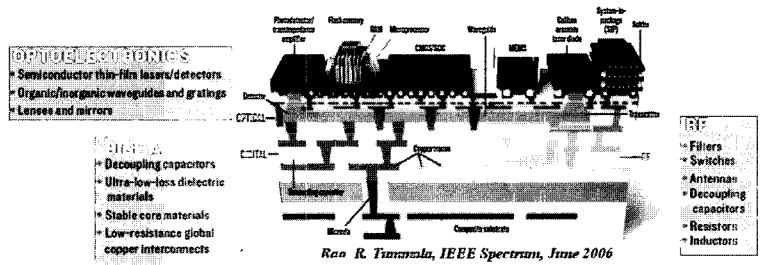
윤순길 교수
(충남대 나노공학부)

안준구 박사과정
(충남대 대학원 나노공학부)

1. 서론

마이크로시스템(Microsystem)이 고속화 및 소형화됨에 따라, 전자부품 및 소자의 요구조건이 지속적으로 증가하고 있으며, 이러한 전자부품과 소자들은 성능유지 또는 성능향상과 더불어 소형화되어야 한다. 소형화는 특히, 오늘날의 휴대용기기의 발전요구에 따라 매우 중요해지고 있다.

임베디드 PCB(Printed Circuit Boards)란 기판 표면 위에 실장하던 커패시터, 저항, 인덕터 등의 수동부품을 그림 1과 같이 PCB 내층에 삽입해 PCB 내부차체에서 이와 같은 역할을 수행할 수 있도록 고안된 것이다. 이 방법을 이용하면 PCB 기판표면 위에 수동소자가 차지하던 면적을 줄일 수 있어 상대적으로 PCB 기판에 많은 양의 칩을 실장 할 수 있다. 또 수동소자와 수동소자간의 접속 길이가 짧아져 인덕턴스 성분의 감소에 따른 전기적 성능향상을 기할 수 있고, 납땀 수의 감소의 의해 PCB 기판 실장 신뢰성의 향상을 기대할 수 있다. 향후 제품크기의 축소 한계 및 개별부품의 SMT실장의 기술적 한계에 부딪혀 임베디드 PCB가 지닌 여러 장점 때



Embedded Thin-Film Components Developed for **System-on-Package**

그림 1. System-on-package Test Bed.

문에 활발히 연구 개발이 이루어지고 있다[1].

전형적인 전기적 회로에서는 전자 부품의 80 %가 그림 2에서 나타난 바와 같은 Passive Component (Capacitors, Resistors and Inductors)이고, 수동부품은 Printed Wiring Board의 50 %까지 차지한다. Embedding Passive에 의해 소형화뿐만 아니라, Signal Path를 상당히 감소시키고, 결과적으로 고주파 소자들의 전체성능의 향상에 기여하는 Parasitic Noise을 최소화할 수 있다.

Embedded Passive Component 사이에서, Capacitor는 부품의 수와 크기 측면에 있어서 주요 부품이며, Resistor와 Inductor에 비해 좀 더 복잡한 구조로서 Embedded의 어려움 때문에 가장 폭 넓게 연구되어진다. Kingon 등은 Spin Coating에 의하여 Copper Foil 위에 형성한 강유전체 Lead Zirconate 박막의 Capacitance Density가 약 300 nF/cm² 정도로 보고하였다[2-3]. 그러나, 그것은 보통 550 °C 이상인 높은 공정 온도 때문에 PCB 적용에는 실용적이지 못하다. 다른 SiO₂(ε~3.9), Al₂O₃(ε~9)와 Ta₂O₅(ε~25)와 같은 일반적인 산화물은 낮은 온도에서 제작이 가능하나, 낮은 유전율로 인하여 소형 MIM Capacitor를 실현하기 위해서는 한계가 있다[4-5]. 따라서, 새로운 저온 고유전체 재료에 대한 활발한 연구가 필요한 실정이다.

PCB Embedded Capacitor의 실현의 있어서 두 가지의 고려 사항으로, 첫 번째, Polymer -based

CCL(Copper Clad Laminates) 기판을 사용하는 경우 공정온도는 250 °C이하로 제한된다. 이러한 이유로 PCB에 적용 가능한 온도에서 결정화되기 어려운 PZT, BT, BST 등과 같은 결정화 High-k 강유전체 재료들의 적용이 제한된다. 그러므로 충분한 Capacitance Density에 도달하기 위해서는 알맞은 유전상수를 보여주는 비정질 유전막을 가능한 한 얇게 제작해야 한다. 둘째, CCL 기판은 일반적으로 Polymer Core 위에 Cu를 전기도금하기 때문에 표면이 비교적 거칠다($R_a > 0.5 \mu\text{m}$). Wafer를 기반으로 하는 반도체 공정구조와 유사한 PCB-embedded Capacitor에 대해 이 기판의 거칠기는 Si-wafer와는 완전히 다른 환경을 제공한다.

2. 임베디드 커패시터를 위한 재료

2.1 Bismuth를 기반으로 하는 Pyrochlore와 Fluorite 재료

Bismuth를 기반으로 하는 재료들의 Pyrochlore와 Fluorite 구조를 그림 3에 나타내었다. 특히 Pyrochlore 구조를 가지는 커패시터들은 표 1에서 볼 수 있듯이 높은 유전율과 낮은 유전손실량을 나타내고 있어서 차세대 임베디드 커패시터로의 응용에 주목을 받고 있는 재료들이다.

다양한 Bismuth 기반의 커패시터 물질들을

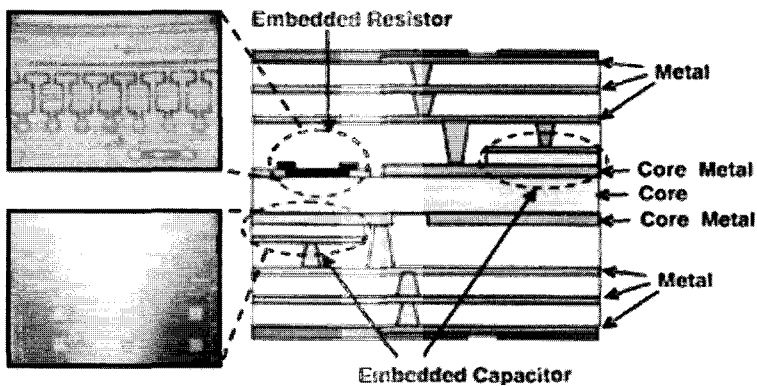


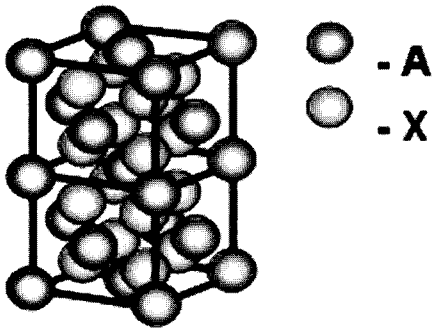
그림 2. Embedded components composed of resistor and capacitor.

PLD(Pulsed Laser Deposition)법으로 하여 상온에서 Cu/Si 기판위에 증착 실험한 뒤 Pt(Sized by 100 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$)를 상부전극으로 하여 MIM(Metal(100 nm)/Insulator(200 nm)/Metal(100 nm))구조로 제작한 뒤 인가전압에 따른 누설전류량을 그림 4에 나타내었다. PCB에 커패시터로서의 응용을 위해서는 낮은 누설전류특성($10^{-6} \text{ A/cm}^2 @ 3 \text{ V}$)을 요구하는데 그림 4에서 보는 바와 같이 모든 재료에서 3 V의 인가전압 시 10^{-6} A/cm^2 이하의 누설전류특성을 보여주었으며, 특히 BMN 박막의 경우 가장 낮은 값($10^{-8} \text{ A/cm}^2 @ 3 \text{ V}$)을 나타내었다. 표 2는 다양한

Bismuth 기반의 커패시터 물질들을 MIM 구조로 제작한 뒤 여러 가지 특성들을 평가하여 나타낸 것이다.

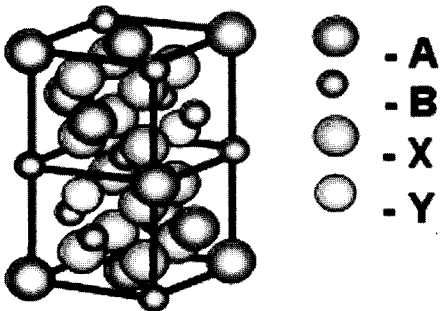
이들 Bismuth 기반의 재료들의 유전특성은 유전율이 40~49의 비교적 높은 값을 나타내고 있으며, Dissipation Factor도 1~0.6 %의 낮은 범위 내에서 변화하고 있다. Breakdown Voltage(BDV)는 소자에서 10^{-6} A/cm^2 의 누설전류량을 넘어섰을 때로 판단하였을 때 약 7~10 V로 높은 값을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

Fluorite structure (AX_2)



(a)

Pyrochlore structure ($\text{A}_2\text{B}_2\text{X}_6\text{Y}_1$)



(b)

그림 3. Bismuth-based (a) Pyrochlore and Fluorite Structure for (b) Embedded Capacitors on PCB.

표 1. Room Temperature Dielectric Data for Pyrochlore Compositions Measured at 1 MHz.

Composition	ϵ'	$\tan \delta$
$\text{Bi}_2\text{Zn}_{2/3}\text{Nb}_{4/3}\text{O}_7$	143	0.00025
$\text{Bi}_2\text{Zn}_{2/3}\text{Ta}_{4/3}\text{O}_7$	67	0.0001
$\text{Bi}_{2/3}\text{Zn}_{2/3}\text{Nb}_{4/3}\text{O}_7$	210	0.0003
$\text{Bi}_2\text{Mg}_{2/3}\text{Ta}_{4/3}\text{O}_7$	80	0.0001
$\text{Bi}_2\text{Ni}_{2/3}\text{Nb}_{4/3}\text{O}_7$	122	0.0001
$\text{Bi}_2\text{ScNbO}_7$	174	0.008
$\text{Bi}_2\text{ScTaO}_7$	143	0.0053
$\text{Bi}_2\text{InNbO}_7$	142	0.0024
$\text{Bi}_2\text{InTaO}_7$	89	0.0008
$\text{Bi}_2\text{Cu}_{2/3}\text{Nb}_{4/3}\text{O}_7$	250	0.08

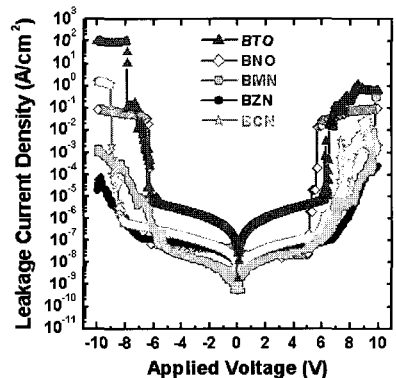


그림 4. I-V Curves of Various Bismuth-based Thin Films Deposited by PLD for Embedded Capacitors on PCB.

표 2. Dielectrics Properties of Various Bismuth-based Thin Films Deposited by PLD for Embedded Capacitors on PCB.

	C (pF) (@100kHz)	ϵ_r (@100kHz)	Capacity density (nF/cm ²)	Dissipation factor	Real thickness (nm)	Leakage current (@ 3V A/cm ²)	BDV (V)
$\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{1.0}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_7$	21.31	40.67	213.1	0.00652	169	2.34E-8	8.40
$\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$	21.70	41.43	217.0	0.01114	169	1.05E-7	5.35
Bi_3NbO_7	22.81	49.46	228.1	0.01072	192	2.48E-8	5.10
$\text{Bi}_2\text{Cu}_{2/3}\text{Nb}_{4/3}\text{O}_7$	21.47	42.93	214.7	0.00721	177	2.40E-8	9.70
$\text{Bi}_2\text{Mg}_{2/3}\text{Nb}_{4/3}\text{O}_7$	20.94	39.98	209.4	0.00739	169	1.7E-8	7.20

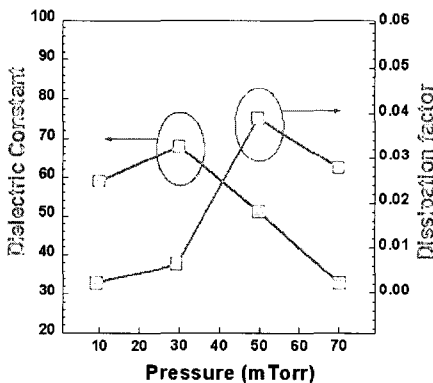


그림 5. Dielectric Constant and Dissipation Factor as a Function of Working Pressure of BZN Thin Films Deposited by PLD System.

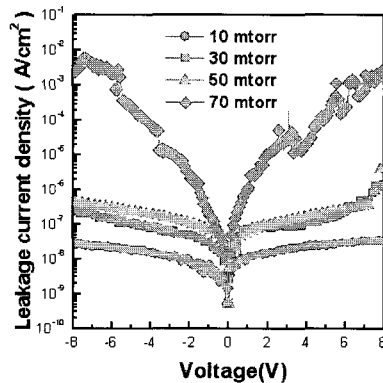


그림 6. I-V Curves as a Function of Working Pressure of BZN Thin Films Deposited by PLD System.

2.2 BZN 커패시터

Bismuth Zinc Niobate($\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{1.0}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_7$, BZN) 커패시터는 일반적으로 Pyrochlore 구조이며, 높은 유전상수(170~220)와 낮은 손실률(7×10^{-4})을 갖는 재료로 알려져 있다[6]. BZN 박막은 Metal Organic Deposition과 RF Sputtering, Pulsed Laser Deposition(PLD) 등을 통하여 다양한 방법으로 제조가 가능하지만, 결정구조는 단지 높은 온도에서만 실현시킬 수 있다. 하지만, PCB 기판위에 임베디드 하기 위해 낮은 공정온도를 유지하는 것이 필요하다. BZN 박막을 PLD법으로 하여 상온에서 증착

후 Pt(Area Sized by $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$)를 상부전극으로 하여 MIM(Metal(100 nm)/Insulator(400 nm)/Metal(100 nm)) 구조를 구성하였다. 그림 5와 그림 6은 PLD 법으로 제조된 BZN 박막의 유전율과 누설전류특성을 증착 시 산소분압에 따라서 나타내고 있다. 산소분압이 10 mTorr 일때 상온에서 증착된 BZN박막의 유전상수는 약 60을 나타내었으며 이때 Dissipation Factor 또한 0.2 % 이하의 낮은 값을 나타내었고, 누설전류특성에서도 10^{-8} A/cm^2 의 낮은 값과 함께 10 V 이상의 BDV 특성을 나타내었다.

2.3 BMN 커패시터

$\text{Bi}_2\text{Mg}_{2/3}\text{Nb}_{4/3}\text{O}_7$ (BMN) 커패시터는 PCB에 유전체로서 주목받고 있는 물질로서 210의 유전상수와 0.3%의 낮은 손실률을 가지는 재료이다. BMN 박막은 Sputtering법으로 하여 상온에서 CCL(Copper Clad Laminates)위에 증착되었다. 이렇게 제조된 BMN 박막은 Pt(Sized by 1 mm x 1 mm)의 비교적 큰 면적을 가지는 상부전극을 이용하여 MIM (Metal(100 nm)/Insulator(100 nm)/Metal(100 nm)) 구조를 구성하였다. 그림 7은 하부 전극으로 사용된 CCL 기판의 단면도이다.

그림 9와 그림 10은 이렇게 구성된 MIM 구조를 가지고 BMN 재료의 유전특성을 살펴보았다. 유전체 재료의 물리적 특성($C \propto 1/d$; C = Capacitance, d = 유전체의 두께)에서 예측되는 바와 같이 BMN 박막의 두께가 증가할수록 커패시턴스의 값이 감소하는 것을 알 수 있다. 100 nm의 두께를 가지는 BMN 박막은 약 300 nF/cm²의 커패시턴스를 나타내었으며, 그림 8에서 보는 바와 같이 표면 거칠기가 비교적 큰 CCL 기판으로 인해 그 위에 증착된 BMN의 표면 거칠기 또한 다른 Si Wafer 기반의 Cu 하부 전극위에 증착된 BMN보다 크게 나타났다. 이러한 이유로 인해 그림 10에서 보듯이 100 nm 두께를 가지는 CCL 기판위에 제작된 BMN 박막의 누설전류 특성은 10⁻⁵ A/cm² @ 3 kV/cm 정도로 비교적 높게 나타났다[8].

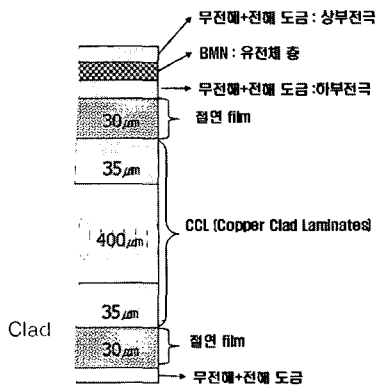
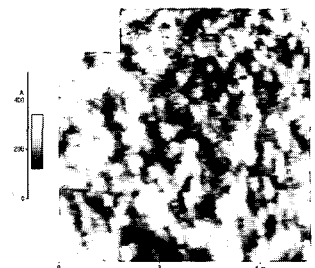
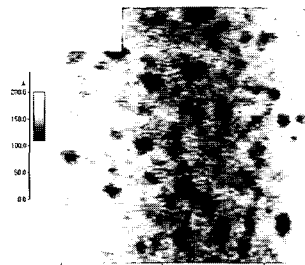


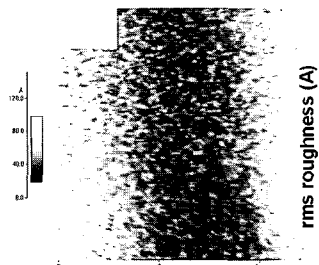
그림 7. CCL(Copper Clad Laminates) Substrate.



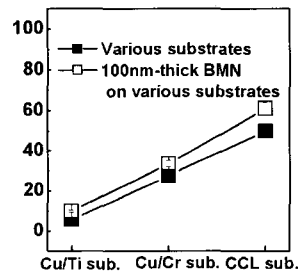
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. AFM Images of (a) CCL Substrate (b) Cu/Cr Substrate (c) Cu/Ti Substrate and (d) Surface Roughness(rms) of Substrates and BMN Thin Films Deposited on Various Substrates.

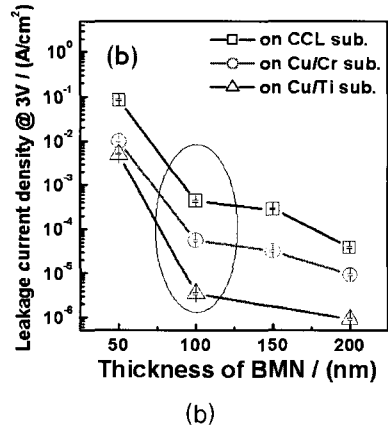
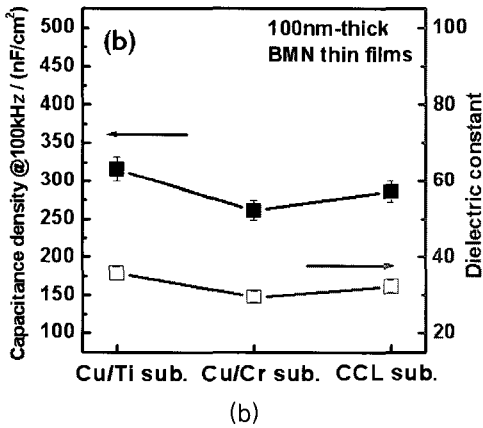
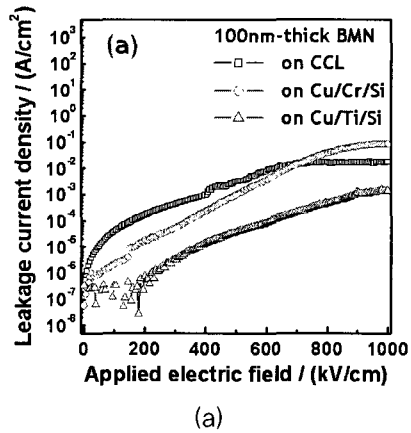
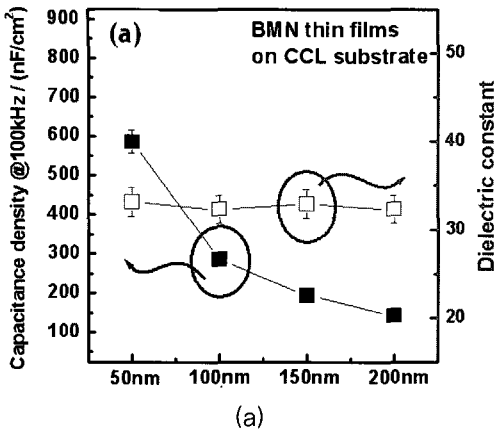


그림 9. Capacitance Density and Dielectrics (a) at 100 kHz as a Function of Thickness of BMN Thin Films Deposited on CCL Substrates, (b) on Various Substrates with 100 nm-thick BMN Thin Film.

그림 10. (a) I-V Curves of 100 nm-thick BMN Thin Films Deposited on Various Substrate, (b) Leakage Current Density as a Function of Thickness of BMN Thin Films Deposited on Various Substrates by Sputtering System.

3 임베디드 커패시터 시장전망과 동향

3.1 임베디드 커패시터 시장전망

임베디드 PCB는 수동부품이 내장됐기 때문에 전기적 특성이 좋고 PCB 크기를 획기적으로 줄일 수 있어 세계 주요 PCB 업체도 개발에 박차를 가하고 있으며, 전자산업의 급속한 디지털화·네트워크화로 PCB 기술도 급진전을 거듭하고 있다. 세트업체

들이 고주파대(2.4 GHz)와 고속신호처리속도의 규격을 요구하면서 이에 대응하는 초박막과 미세회로 선폭의 설계를 가능케 하는 새로운 첨단 가공기술들이 필요해졌기 때문이다. 4~5년 전만해도 PCB의 회로 선폭이나 층간 두께는 200 μm 내외였다. 그러나 최근에는 회로선폭과 층간 두께가 100 μm 이하대로 줄어들며 나노시대를 앞당기고 있다.

산업자원부는 2005년에 10대 전략 부품·소재의 원천기술 개발을 위해 민·관 공동으로 향후 5년간

5000억 원을 투자할 계획이며 매년 50개 내외의 시장수요형 부품·소재 품목을 발굴·지원할 것이라고 밝혔다. 또한 국내에서 개발이 어려운 품목에 대해서는 기술도입과 맞춤형 외국인 투자를 유치해 2010년까지 핵심부품·소재의 세계적인 공급기지로 발전시킨다는 전략을 발표했다. 이번 10대 핵심 전략 부품·소재 원천 기술 개발사업 가운데 인쇄회로기판(PCB) 주관 업체로 선정된 삼성전기는 PCB 사업에서 2004년 8500억 원 이상의 매출을 기록했으며 고밀도 인쇄회로 기판(HDI), 볼그리드어레이(BGA) 뿐만 아니라 플립칩 BGA 및 자사 경연성 PCB 브랜드인 셈브리드(SEMBrid) 등 다양한 고부가 기판을 생산하고 있다.

임베디드 PCB는 현재 산업용·군사용 등에 주로 이용되는 고부가가치 PCB 기판이지만 토판 NEC·야마모토 제작소·산미나·소렉트론·모토로라 등 일본과 미국 업체가 세계 70%의 시장 점유율을 갖고 있다. 임베디드 PCB는 세계적으로 시스코시스템즈·썬마이크로시스템·HP 등의 네트워크 장비나 서버업체에 공급되고 있으며 전체 물량의 30% 정도가 휴대폰용으로 사용되고 있다. 삼성전기 측은 휴대폰 시장이 급속히 확대될 것으로 판단하고 휴대폰에 적합한 PCB 소재의 개발이 필요한 시점이라고 설명했다. 삼성전기의 한 관계자는 "히다찌·모토로라·3M·듀폰 등 유명 소재 업체들의 개발이 집중되고 있어 소재분야의 연구를 통한 원천특허·소재 확보가 시급하다"고 말했다. 이어 "향후 휴대폰 등에 임베디드 PCB가 본격 채용되는 2008년에 원천특허 및 소재를 확보하지 못하는 경우 켈컴에 CDMA 칩을 독점 당하고 있는 이상으로 휴대폰 분야의 지배력에 손실을 입을 수 있다"고 덧붙였다.

일본의 시장조사기관인 후지카메라가 내놓은 2005년 유망전자부품재료 조사총람에 따르면 2004년 임베디드 PCB 시장은 2000억 원 규모이며 휴대폰 등 응용 시장의 확대를 중심으로 2010년까지 매년 200% 이상 성장해 2010년 약 2조 5000억 원의 규모를 형성할 것으로 예측된다. 또한 최근까지 나온 임베디드 PCB는 수동부품 한 종류를 넣는데 그치고 있지만 그 수가 2개 이상으로 늘어나면 수요가 급증할 전망이다.

3.2 임베디드 커패시터 국내 동향

삼성전기(대표 강호문)는 인덕터와 콘덴서, 저항이 모두 들어가 있는 임베디드 PCB를 개발 중이다. 또한 2010년 세계 임베디드 PCB 시장에서 점유율 30%를 목표로 소형화·경량화·고집적화·저가격화·다기능화 및 우수한 주파수특성 등을 만족하는 차세대 이동통신용 소자 부품의 핵심 소재 및 원천 기술을 확보해 나갈 방침이다. 이를 위해 초고집적 리지드 플렉서블 임베디드 PCB의 수동소자 제조 및 관련 공정기술 개발에 적극 나서면서 해당 분야에서의 전문 인력도 양성할 예정이다. 한편 삼성전기는 임베디드 PCB 기술 개발을 통해 차세대 이동통신용 부품의 기능 복합화를 실현해 스마트 소자, 지능형 로보틱스 및 유비쿼터스 센서 모듈 등 다양한 응용 분야로의 확대 적용도 시도할 계획이다.

LG전자(대표 김쌍수)는 현재 저항이 내장된 임베디드 PCB를 생산하고 있는데 여기에 콘덴서까지 넣는 작업을 진행 중이며, 현재 두 종류의 수동부품이 들어가 있는 임베디드 PCB는 시제품 단계에 접어들었다. LG전자는 지난 2003년부터 기술제휴를 통해 커패시터를 내장한 통신장비용 임베디드 PCB를 양산해왔으며 이미 자체 기술로 휴대폰 단말용 PCB를 개발하고 있다. LG전자는 지난해 저항을 PCB 패턴으로 구현한 휴대폰 단말용 PCB를 개발해 초콜릿 폰에서 일부 테스트를 거쳤으며 최근에는 커패시터까지 구현한 임베디드 PCB를 개발 중이다. LG전자는 이전에는 일본의 재료를 사용해 수동부품 기능을 구현했으나 국내 재료업체와 공동으로 재료개발에도 착수한 상태다. LG전자의 한 관계자는 "임베디드 PCB의 경우 원재료 업체와 세트업체와의 공동개발이 필수"라며 상용화 수준의 임베디드 PCB 개발의 중요성을 밝혔다.

이수그룹 계열사인 이수페타시스가 차세대 임베디드 PCB를 2005년도 5월부터 본격 양산했다. 이수페타시스는 임베디드 PCB를 양산하기 위해 미국 산미나(Sanmina) SCI와 PCB의 수동부품 내장공법인 'ZBC-2000'에 관한 특허계약을 체결하는 한편 설비보완 및 해외마케팅을 강화하기로 했다. 이수페타시스가 양산할 임베디드 PCB는 커패시터 수동부품

을 PCB안에 내장한 것으로, 외장형에 비해 기판의 면적을 크게 줄일 수 있고 능동부품과의 최단거리 배선이 가능해 신뢰도와 전기적 특성이 향상된 차세대 제품이다. 보조장치 등이 내장돼 있어 MP3 휴대폰과 같은 초소형 제품, 네트워크 장비와 같이 고기능이 요구되는 정밀정보통신기에 적합하다. 이수페타시스 김용균 사장은 "양산초기에는 임베디드 PCB를 MLB(Multi-layer Board-고다층 PCB)중심으로 생산, 이수페타시스 생산품의 최대 수요처인 미국시장 중심으로 마케팅을 할 계획"이라고 말했다.

코리아씨키트(대표 이성주)는 무전해팔라듐골드(ENPIG)를 이용한 임베디드 PCB 기술을 개발했다. 코리아씨키트는 이 기술 개발로 그동안 도금선 때문에 겪었던 디자인 문제를 해결할 수 있을 것이라고 설명했다.

뉴프렉스(대표 임우현)도 한 종류의 수동부품을 넣은 임베디드 PCB 개발을 마치고 그 수를 늘리는 작업에 착수했다. 이 회사는 앞으로 3년 동안 임베디드 PCB에서만 1500억 원 정도의 매출을 기대하고 있다.

이밖에 심텍도 제품 개발이 막바지 단계에 접어들었지만 아직 확실한 수요처를 확보한 상태는 아니어서 서두르지는 않을 방침이다. 심텍 관계자는 임베디드 PCB가 주는 장점이 소형화와 고성능인 만큼 크기에 민감한 휴대폰 업체를 중심으로 시장이 형성될 것으로 전망하고 있다. 심텍은 서버용 빌드업보드 일부에 커패시터를 내장한 임베디드 PCB를 개발하고 테스트를 진행해왔다. 심텍은 최근 반도체·액정표시장치 검사장비 업체 파이컴과 임베디드 PCB 제조에 필요한 레이저 트리밍 장비를 공동 개발키로 하고 임베디드 PCB 양산체제를 구축키로 했다[8].

4. 결론

임베디드 PCB(Printed Circuit Boards)란 기판 표면 위에 실장하던 커패시터, 저항, 인덕터 등의 수동부품을 PCB 내층에 삽입해 PCB 내부자체에서 이와 같은 역할을 수행할 수 있도록 고안된 것이다. 따라서 PCB 자체에 수동부품 기능을 구현해 노이즈 감

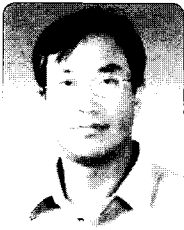
소는 물론 부품 장착 개수를 줄여 제품 사이즈까지 줄일 수 있는 차세대 기술로 내년부터 시장 성장이 본격화될 것으로 예상된다. 이러한 임베디드 시장에 있어서 리지드 플렉서블 임베디드 PCB는 반도체·수동부품을 내장한 고다층 기판으로 고밀도화·고기능화·고주파·부품 신뢰성 향상을 특징으로 하는 제품으로 차세대 기판 및 시스템 모듈용 핵심 부품이다. 이러한 임베디드 PCB에 있어서 가장 중요하며 많은 부분을 차지하고 있는 수동부품이 커패시터인데 Bismuth를 기반으로 하는 재료들은 상온에서 증착되어도 높은 유전율특성과 낮은 누설전류특성을 나타내고 있어서 차후 임베디드 시장에서 PCB 기판위에 커패시터로서의 응용이 기대되어 진다.

참고 문헌

- [1] M. A. Kakimoto, A. Takahashi, T. A. Tsurumi, J. H. L. Li, R. Kikuchi, T. Miwa, T. Oono, and S. Yamada, "Polymer-ceramic nanocomposites based on new concepts for embedded capacitor", *Materials Science & Engineering B (in English)* Vol. 132, p.74-78, 2006.
- [2] T. Kim, A. I. Kingon, J. P. Maria and R. T. Crosswell, "Ca-doped lead zirconate titanate thin film capacitors on base metal nickel on copper foil" *J. Mater. Res (in English)* Vol. 19, No. 10, p. 2841, 2004.
- [3] J. P. Maria, K. Cheek, S. Streiffer, S. H. Kim, G. Dunn, A. I. Kingon, "lead zirconate titanate thin films on base-metal foils : an approach for embedded high-permittivity passive components" *J. of the American Ceramic Society (in English)* Vol. 84, No. 10, p. 2436-2438, 2001.
- [4] J. H. Park, C. J. Xian, N. J. Seong, and S. G. Yoon, "Bismuth-based pyrochlore thin films deposited at low temperatures for embedded capacitor applications", *Japanese J. of Applied Physics (in English)* Vol. 45, No. 9B, p. 7325-7328, 2006.
- [5] J. H. Park, C. J. Xian, N. J. Seong, and S. G. Yoon, "Realization of a high capacitance density in Bi₂Mg_{2/3}Nb_{4/3}O₇ pyrochlore thin films deposited directly on polymer substrates for embedded capacitor applications", *Applied Physics (in*

- English) Vol. 89, No. 232910, p. 1-3, 2006.
- [6] J. L. S, Stemmer, " Low-loss, tunable bismuth zinc niobate films deposited by rf magnetron sputtering", Applied Physics Letters (in English) Vol. 83, No. 12, p.2411-2413, 2003.
- [7] Y.-P. Zhao, G.-C. Wang, T.-M. Lu, G. Palasantzas and J. Th. M. De Hosson, "Surface-roughness effect on capacitance and leakage current of an insulating film", Physical review B (in English) Vol. 60, No. 12, p. 9157-9164, 1999.
- [8] Electronic Times and Digital Times 2004~2007.

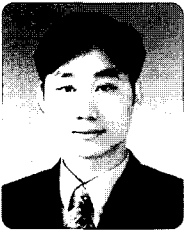
저자약력



성명 : 윤순길

- ◆ 학력
- 1982년 연세대 금속공학과 공학사
- 1985년 한국과학기술대 재료공학과 공학 석사
- 1988년 한국과학기술대 재료공학과 공학 박사

- ◆ 경력
- 1985년 - 1989년 금성전기(주) 소재부품연구소 선임연구원
- 1989년 - 현재 충남대 나노공학부 정교수
- 2007년 1월 - 현재 한국전기전자재료학회 편집위원장



성명 : 안준구

- ◆ 학력
- 2003년 충남대 재료공학과 공학사
- 2005년 충남대 대학원 재료공학과 공학 석사

- ◆ 경력
- 2006년 -2007년 충남대 고기능성자성재료센터 전임연구원
- 현재 충남대 대학원 나노공학부 박사과정

