Journal of the Microelectronics & Packaging Society
Vol. 9, No. 2, p. 55-60. 2002

기술해설

내장형 수동소자

이호영
서울대학교 기계항공공학부

Embedded Passives

Ho-Young Lee
School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University

초 록: 전자제품의 경박단소화는 관련 부품들의 개별적인 소형화, 경량화 또는 여러 가지 부품들을 집적시켜 모듈화 시키는 것을 요구한다. 최근에는 실장밀도를 향상시키기 위하여 저항, 축전기, 인덕터 등의 수동소자들을 다층인쇄회로기판에 내장시키고자 하는 연구들이 널리 수행되고 있다. 본 고에서는 먼저 여러 가지 수동소자들의 기능을 살펴본 후, 수동소자들을 기판에 내장시키고자 하는 연구의 필요성과 이 기술을 상업화하기 위하여 앞으로 해결해야 할 문제들에 관하여 살펴보고자 한다.

Abstract: The recent trend in electronic devices has been towards light weight, low cost, high performance and improved reliability. Passive components are very important parts of microelectronic devices. The number of passive components used in hand held devices and computers continue to increase. To achieve improvements in costs, component density, performance, and reliability, embedding of these passive components into the printed circuit boards (PCBs) is required. This paper introduces the embedding of passive components, and discusses the remained challenges in the commercialization of this technique.

Keywords: Embedded passives, Integral passives, Resistors, Capacitors, Inductors

1. 서 론

노트북컴퓨터, 휴대전화, PDA (personal digital assistant) 등의 휴대용 전자기기들이 소형화, 경량화, 저가화되는 추세에 따라 관련 부품들의 소형화, 경량화가 치열하게 요구되고 있다. 이에 따라 각각의 부품을 개별적으로 소형화, 경량화 시키는 방법 이외에 여러 가지 부품들을 집적시켜 하나의 모듈(module)로 만들거나 또는 실장밀도를 향상시키기 위하여 저항(resistor, R), 축전기(capacitor, C), 인덕터(inductor, L) 등의 수동소자들을 다층인쇄회로기판(multi-layered printed circuit board)에 내장시키는 기술이 연구되고 있다.

본 고에서는 먼저 여러 가지 수동소자들의 기능을 살펴보고 이들을 보드(board)에 내장시키고자 하는 연구의 필요성 및 이 기술을 상업화하기 위하여 앞으로 해결해야 할 문제들에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 수동소자

수동소자들은 모든 전자시스템에서 매우 중요한 기능을 한다. 최근 전자기기의 소형화, 다기능화, 저가격화의 요구에 부응하여 수동소자들을 어레이(array), 네트워크(network) 그리고 최근 부상하고 있는 내장형 수동소자(embedded (integral) passives)로 만들기 위하여 많은 노력이 기울여지고 있다.

전자기기는 각각의 소자(component or device)들이 본래의 기능을 잘 수행할 수 있도록 체계적으로 연결되어 만들어진다. 회로에 전원이 들어가면 전자기기를 구성하고 있는 여러 가지 수동소자들(passive components) 또는 능동소자들(active components)은 각자 그들의 기능을 수행한다. 수동소자는 전압을 감

지(sense)하고, 감시(monitor)하며 전달(transfer)하고 감소시키거나(attenuate) 제어(control)한다. 그러나 수동소자는 양과 음의 극성(polarity)을 구별하지 못한다. 뿐만 아니라 게인(gain: 입력에 대한 출력의 비)과 증폭(amplification)의 기능을 수행하지 못한다. 게인과 증폭의 기능은 반도체(semiconductor)라고 알려진 능동소자에 의하여 수행된다. 수동소자들은 능동소자들에 의하여 공급되는 전기적 에너지를 저장(store)하거나 손실(dissipate)시키는 역할을 한다. 대표적인 소동소자에는 저항, 축전기, 인덕터가 있고 이외에도 변압기(transformer), 필터(filter), 기계적 스위치(mechanical switch), 릴레이(electro-mechanical relay) 등도 수동소자의 범주에 속한다. 이러한 수동소자들은 회로 내에서 바이어스(bias), 디커플링(decoupling), 스위칭 노이즈(noise) 억제, 필터링(filtering), 튜닝(tuning), 피드백(feedback), 터미네이션(termination)과 같은 중요한 기능을 수행한다. 일반적으로 회로에서 수동소자들이 차지하는 비중은 80% 정도이며, 소동소자들이 인쇄회로기판(printed circuit board)에서 차지하는 면적은 50% 정도가 된다. 소동소자들은 전자기기의 가격, 크기, 신뢰성에 중대한 영향을 미친다.

3. 용어의 정의

수동소자들은 개별(discrete), 통합형(integrated), 그리고 내장형(embedded (integral))의 3가지 종류로 나누어 진다. 통합형 수동소자는 패키지된 것으로써 어레이(array)와 네크워크(network)로 다시 나누어 진다. Table 1에는 개별, 통합형, 그리고 내장형에 대한 정의를 정리하여 나타내었다. Fig. 1과 2에는 수동소자들의 분류에 대한 이해를 돕기 위하여 그림으로 나타내었다. 통상적으로 "내장형 수동소자(embedded passives)"라는 용어는 "집적 수동소자(integral passives)"라는 용어보다 더 널리 사용된다.

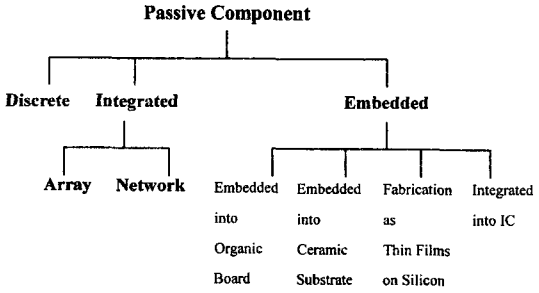


Fig. 1. Representation of passive components.

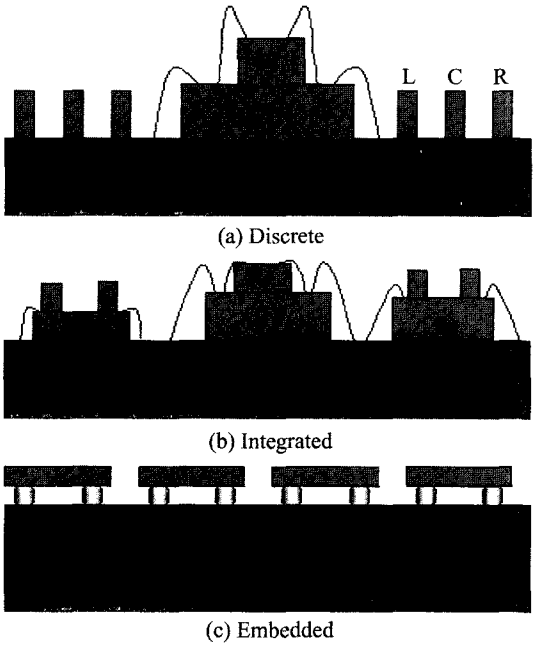
4. 소동소자의 역할

(1) 저항(resistor, R)

저항은 전하의 흐름을 억제시키는 역할을 하기 때문에 이를 이용하여 흐르는 전류의 양을 제어할 수 있다. 저항은 여러 가지 재료들로 만들 수 있지만, 반

Table 1. Passive components nomenclature

Technology	Description
Discrete	Capacitor resistor conductor 같은 개별적인 하나의 수동소자 (리드실장 또는 표면실장됨)
Array	같은 기능을 하는 수동소자들의 집합체 (예; 모두 capacitor 또는 모두 resistor)
Network	다른 기능을 하는 수동소자들의 집합체 (예; capacitors+resistors) 보통 4~12개의 소자들로 구성
IPD (Integrated Passive Device)	각기 다른 기능을 하는 수동소자들과 몇 가지 능동소자들의 집합체 (예; resistors+capacitors+diodes) 보통 20개 이상의 소자들로 구성
Embedded Passives (Integral Passives)	기판재료의 종류에 관계없이 기판 내부에 심어져 있는 수동소자들 (passive components)을 총칭함. 기판은 세라믹(ceramic) 또는 FR4 보드(board) 또는 작은 라미네이트 패키지(small laminate package) 기판일 수 있음. 소동소자들이 기판의 일부분으로 간주되는 한 이러한 수동소자들은 내장형 수동소자로 불리우고 기판은 복합기판(integral substrate)이라 불리움. 복합기판의 가장 큰 장점은 수동요소들이 기판에 실장(mount)되거나 연결(connect)될 필요가 없다는 것임.
On-Chip passives	반도체 웨이퍼(die)의 일부분으로써 능동소자들(active components)과 함께 만들어지는 수동소자들을 일컬음.



(a) Discrete

(b) Integrated

(c) Embedded

Fig. 2. Types of passive components.

드시 전류를 통할 수 있는 재료여야 한다. 저항은 회로에 공급되는 파워(power)를 소비하며 열로써 방출시킨다. 따라서 저항에 최대로 수용할 수 있는 파워가 있고 이것이 용량이 된다.

(2) 축전기(capacitor, C)

커패시터는 전하(charge, Q)를 저장할 수 있는 장치이며 두 금속층 사이에 절연층이 끼워져 있는 형태로 구성되어 있다. 축전기의 용량을 나타내는 커패시턴스(capacitance, C)는 인가되는 전압에 따라 저장되는 전하의 양으로 정의된다. 1패럿(farad, F)의 용량을 갖는 축전기의 경우 1볼트(volt)의 전압이 인가되었을 때 1 쿨롱(coulomb)의 전하량이 저장된다. 보통 전기회로에서 사용되는 축전기는 마이크로패럿(μF)의 용량을 갖는다. 축전기에 사용되는 절연재료로는 공기(air), 마이카(mica), 세라믹, 글래스, 종이(paper), 오일(oil) 그리고 금속산화물 등이 있다.

(3) 인덕터(inductor, L)

인덕터는 보통 코일(코일 내부에는 코아(core)가 있을 수도 있고 없을 수도 있다) 모양을 하고 있으며 인덕턴스(inductance)를 만들어내기 위한 소자이다. 변압기(transformer)와 유도리액터(inductive reactor)가 바로 인덕터의 범주에 속한다. 코아는 페라이트(ferrite)와 같은 투자율(permeability)이 높은 페리자성체가 보통 사용된다. 코아재료는 그들이 가지고 있

Table 2. Number and types of passive components in PCs

	Motherboard	486	Pentium 120	Pentium 200 MMX	Pentium II 333 MHz	Pentium III
Capacitors	Leaded multilayer Ceramics	58	0	0	0	0
	Surface mount Multilayer ceramic	0	151	190	300	600
	Capacitor arrays	0	0	32	140	200
	Leaded tantalum	15	1	0	37	80
	Surface mount tantalum	0	0	32	11	15
	Aluminum	0	7	3	0	0
	Feedthrough Disks	0	0	0	4	0
Total capacitors		73	159	257	492	895
Resistors	Leaded resistors	92	0	0	0	0
	SMT resistors	0	146	188	635	1000
	Resistor arrays	0	64	148	346	300
Total resistors		92	210	336	981	1300
Total passives		165	369	593	1473	2195

Table 3. Active to passive ratio for recent products

Product \	IC	PassiveComponents	Total Components	Passive/Active
Notebook Computer	53	820	900	6:1
Desktop Computer	182	1066	1285	15:1
PCS Phone	15	322	380	21:1

는 높은 투자율에 의해 인덕턴스를 증가시킨다. 코아는 막대(rod) 혹은 환상면(toroid)모양을 하고 있을 수 있다.

많은 수동소자들이 VCR, 캠코더, TV 튜너(tuner) 및 기타 통신기기 등에 이용된다. Table 2는 개인용 컴퓨터(PC)에 얼마나 많은 수의 수동소자들이 사용되고 있는지를 나타내었다.

Table 3에 컴퓨터와 휴대폰에 사용되고 있는 능동소자와 수동소자의 비를 나타내었다.

5. 수동소자 내장화의 장점

내장형 수동소자(embedded (integral) passives)는 기판의 일부분이다. VCR, 캠코더, TV 튜너 그리고 다른 통신장치들(communicate devices) 같은 전자제품들을 제조하기 위해서는 많은 수의 수동소자들이 필요하다. 이처럼 많은 수동소자들을 수용하기 위해서 지금까지 많은 개별 수동소자들을 보드(board)와 모듈(module)에 표면실장하여 제품을 제조하여 왔다. 그런데 이러한 방식의 제조는 보드면적의 증가, 제조비용증가 그리고 기생소자들(parasitics)의 도입을 유발하게 되었고, 결국 시스템의 성능을 저하시키는 결과를 초래하게 되었다.

이러한 문제점들은 수동소자들을 다른 IC칩들과 함께 MCM (multichip module) 기판에 내장시킴으로써 해결될 수 있다. 만일 칩들이 수동소자들이 내장된 기판 위에 실장될 수 있다면 보드의 크기는 감소될 수 있다. 또한 수동소자들이 표면실장되지 않기 때문에 리드(lead)가 없어지고 다른 IC칩들과 수동소자 사이의 연결길이가 짧아짐으로써 기생소자들 또한 제거될 수 있다. 이 밖에도 수동소자들을 기판에 내장시키면 다음과 같은 이점을 얻을 수 있다.

(1) 어셈블리(assembly) 단가의 감소
(2) 전기적 성능의 향상
(3) 패키징 효율의 향상
(4) 일괄제조(batch fabrication)에 의한 대량 생산 가능
(5) 파워 손실의 감소
(6) 부피의 감소
(7) 무게의 감소

그러나 기존의 기판에 수동소자들을 내장하기 위해서는 새로운 설계, 새로운 테스트 시스템, 새로운 제조공정 및 새로운 재료들이 필요하다. 게다가 HDI (high density interconnect)가 뒷받침되지 않는다면 수동소자들을 인쇄회로기판에 집적시키는 것은 사실상 불가능하다.

지금까지 MCM-C (ceramic)와 MCM-D (deposit) 기술을 가지고 내장형 수동소자를 구현하기 위하여 많은 연구가 수행되어져 왔다. 그러나 이러한 접근은 low-temperature cofired ceramics (LTCC)와 high-temperature cofired ceramics (HTCC)과 같은 고온 제조공정을 반드시 거쳐야 한다.

지금까지 표면실장형 개별소자들(저항, 축전기, 인덕터)에 대한 기술이 비교적 잘 발전하여 왔지만 이들을 인쇄회로기판에 집적시키기 위한 기술이 개발되기 시작한 것은 비교적 최근의 일이다. 몇몇 전자기기에 있어서 소동소자들의 수와 면적은 보드 또는 패키지 내의 IC칩들의 수와 면적을 모두 능가하기도 한다.

내장형 수동소자를 저가에 구현하기 위해서 모든 종류의 수동소자들(저항, 축전기, 인덕터)이 반드시 같은 기판에 집적되어야 하는데, 그렇게 하기 위해서는 반드시 그들의 제조공정들이 서로 다른 소자의 제조공정에 심각한 영향을 미치지 않아야 한다.

앞으로 저항 또는 인덕터를 갖는 축전기들을 같은 기판에 집적하기 위해서는 다음과 같은 제조상의 문제점들이 반드시 해결되어야 한다.

(1) 인쇄회로기판내에 R, L, C의 완벽한 내장
(2) 제조단가의 감소
(3) 저온 제조공정
(4) 열기계적 신뢰성
(5) 혼선(crosstalk)의 감소
(6) 패키징 크기의 감소
(7) 재료들의 적합성

Fig. 3은 표면실장(surface mounting)된 개별소자가 내장(embedded)되는 것을 도식적으로 보여주고

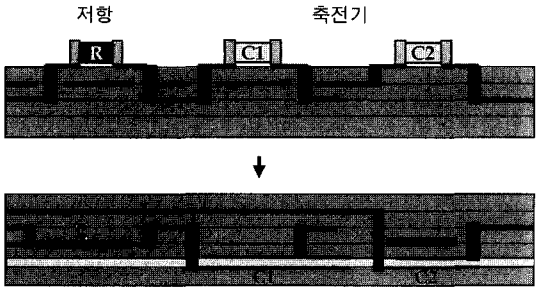


Fig. 3. Embedded concept for R and C.

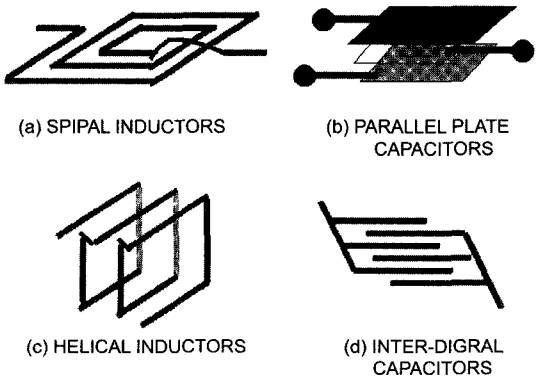


Fig. 4. Various types of embedded passives.

있다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 내장되면서 저항은 전도체의 일부분이 되고 축전기는 기판의 층(layer) 사이에 삽입된다.

Fig. 4는 내장된 수동소자들의 여러 가지 형태를 보여주고 있다.

6. 해결해야 할 문제들

기술적 한계, 단가, 공정조건, 재료, 표준화 등이 내장형 수동소자의 시장진출을 저해하고 있다. 게다가 새로운 제품이 시장에 출현하기까지의 기간(time-to-market)은 내장형 수동소자의 시장진출에 민감하게 영향을 미치는 요인이다. 새로운 전자제품이 시장에 선보이기까지의 주기(cycle time)는 분야에 따라 약간씩 다른데 보통 6개월에서 2년이다. 만약 신제품을 6개월 내에 시장에 새로이 선보일 수 있다면 많은 이익을 낼 수 있지만 그렇지 못하고 신제품의 시장진출이 1년 이상으로 지체된다면 초래되는 손해는 실로 막대할 것이다. 아직까지 내장형 수동소자에 대한 기술을 개발하는데 필요한 경험이 그다지 많이 축적되지 않았기 때문에 언제 어떠한 형태의 신제품이 출하될 지에 대하여 정확히 예측하는 것은 많은 무리가

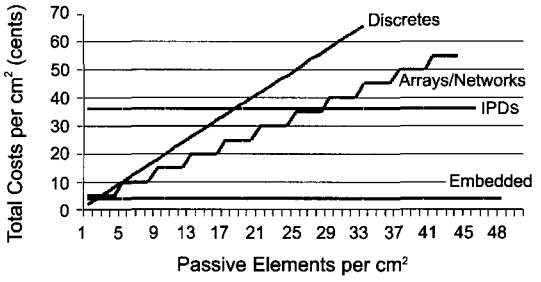


Fig. 5. Cost comparison of various technologies on a component density basis.

따른다.

내장형 수동소자는 재공정(rework)이 불가능하기 때문에 처음부터 완벽한 제품을 만드는 것이 요구된다. 따라서 내장형 수동소자기술을 제품으로 연결하기 위해서는 극단적으로 높은 수율이 반드시 유지되어야 한다. 극복해야 할 또 하나의 장벽은 제조단가의 인하이다. 여러 가지 가격 예측 모델들에 의하면 하나의 작업으로 동시에 많은 수의 수동소자들을 제조할 수 있어야만 가격경쟁력이 생긴다고 한다.

수동소자의 제조단가에 대해서는 여러 가지 인자들이 영향을 미치기 때문에 단가 모델링은 매우 복잡해지며 따라서 아직까지 내장형 수동소자의 단가 분석에 대한 일반적인 모델은 존재하지 않는다. 그래서 대부분의 산업체에서는 각 회사별로 자체적으로 개발한 모델을 이용하여 내장형 수동소자의 단가를 예측한다. 예를 들어 IBM에서는 9 inch ×12 inch의 보드에 표면실장되는 795개의 저항을 기준으로 하여 이들을 내장형으로 전환하였을 때 어느 정도의 제조비용이 필요한지를 자체 모델을 이용하여 예측하였다. 그들의 예측 모델에 의하면 지금은 비록 내장형 저항이 표면실장형 저항에 비하여 적어도 2배 이상 비싸지만 2004년경이면 내장형 저항들의 가격경쟁력이 표면실장형 저항의 가격경쟁력을 능가할 것으로 예상하였다.

Fig. 5에는 개별소자들, 어레이(arays), 네트워크(networks), IPDs 그리고 내장형 수동소자들에 대한 단가를 요소밀도에 대하여 나타내었다. 여기서 주목할만한 사실은 단위면적당의 요소(element) 수가 증가하면서 내장형 수동소자의 가격경쟁력이 비약적으로 증가한다는 것이다.

7. 맺음말

내장형 수동소자들의 제조가 실험실 차원에서 구

현되기는 했지만 이의 상업화를 위해서는 아직 해결해야 할 문제점들이 남아있다. 무엇보다도 우선 수율(yield)을 높이는 문제가 우선적으로 해결되어야 한다. 그 이유는 내장형 수동소자는 재공정(rework)이 불가능하기 때문에 기판에 내장된 많은 수동소자들 중에 하나만 불량이 발생하여도 보드 전체를 버려야 하기 때문이다. 이는 고스란히 제조단가의 상승으로 이어진다. 또 다른 문제는 전기적인 설계 및 테스트이다. 아직은 설계가 실제 제품으로 연결되는데 오랜 시간이 걸리며 테스트 비용도 비싸다. 또한 높은 소자밀도(component density)로 인하여 혼선(crosstalk)이 많이 발생하는데 이를 감소시키는 것도 해결하여야 한다. 뿐만 아니라 하루빨리 표준화를 이룩하는 것이 필요한데, 이는 제품들간에 호환성과 밀접한 관련이 있기 때문이다.

내장형 수동소자의 시장은 앞으로 비약적으로 성장할 것으로 예상된다. 1998년의 경우 550억 개의 표면실장형 축전기와 저항들이 내장형 수동소자들로 대치되었고, 11억달러의 시장이 형성되었다. 앞으로 2003년까지 3450억개의 개별 수동소자들이 내장형 수동소자로 대치될 것으로 전망되며, 범국가적인 차원에서 이에 대한 연구개발 및 투자가 절실히 요구된다.

참고문헌

1. J. Prymak, S. Bhattacharya and K. Paik, "Fundamentals of passives: discrete, integrated, and embedded", in Fundamentals of Microsystems Packaging, Ed. Rao R. Tummala, McGRAW-HILL, New York (2001).
2. L. J. Golonka, K.-J. Wolter, A. Dziedzic, J. Kita and L. Rebenklau, "Embedded passive components for MCM", Proc. 24th International Spring Seminar on Electronics Technology: Concurrent Engineering in Electronic Packaging, pp.73-77 (2001).
3. P. A. Sandborn, B. Etienne and G. Subramanian, "Application-specific economic analysis of integral passives in printed circuit boards", IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing, 24(3) 203(2001).
4. L. J. Golonka, K.-J. Wolter, A. Dziedzic, J. Kita and L. Rebenklau, "Embedded passive components for MCM", Proc. 24th International Spring Seminar on Electronics Technology: Concurrent Engineering in Electronic Packaging, pp.73-77 (2001).
5. K. D. Cornett, "A wireless R&D; perspective on RF/IF passives integration", Proc. the Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting, pp.187-190 (2000).
6. R. Tuominen and J. K. Kivilahti, "A novel IMB technology for integrating active and passive components", Proc. 4th International Conference on Adhesive Joining and Coating Technology in Electronics Manufacturing, pp.269-273 (2000).
7. J. Rector, "Economic and technical viability of integral passives", Proc. 48th IEEE Electronic Components & Technology Conference, pp.218-224 (1998).
8. T. Lenihan, L. Schaper, Y. Shi, G. Morcan and J. Parkerson, "Embedded thin film resistors, capacitors and inductors in flexible polyimide films", Proc. 46th Electronic Components and Technology Conference, pp.119-124 (1996).
9. P. Chahal, A. Haridass, A. Pham, R. R. Tummala, M. G. Allen, M. Swaminathan and J. Laskar, "Integration of thin film passive circuits using high/low dielectric constant materials", Proc. 47th Electronic Components and Technology Conference, pp.739-744 (1997).