

논문 2006-43SD-11-2

PCB 기판을 이용한 RF용 SAW 필터 개발

(Development of the RF SAW filters based on PCB substrate)

이 영 진*, 임 중 인*

(Young Jin Lee and Jong In Im)

요 약

최근 RF용 탄성표면파 필터는 HTCC 패키지를 이용한 칩스케일 패키지 공법으로 제작되고 있다. 본 연구에서는 HTCC 패키지를 이용하는 대신에 BT 레진 계열의 PCB 기판을 이용하여 1.4×1.1과 2.0×1.4mm 규격을 가지는 새로운 SAW RF 필터를 개발하였다. 본 기술을 적용하여 기존대비 약 40% 이상의 재료비 절감효과를 얻을 수 있다. 다층 PCB 기판과 LiTaO₃ 탄성표면파 기판간의 플립 본딩 조건을 최적화하였고, 적절한 PCB 재료선정을 통하여 PCB 기판 및 에폭시 라미네이팅 필름 간의 열팽창계수 차이로 인해 발생하는 응력을 최소화시켰다. 이렇게 개발된 탄성표면파 필터는 기존의 제품에 비해 신뢰성 및 전기적 특성면에서 향상된 특성을 보였다.

Abstract

Recent RF SAW filters are made using a HTCC package with a CSP(chip scale package) technology. This paper describes a development of a new 1.4×1.1 and 2.0×1.4mm RF SAW filters made by PCB substrate instead of HTCC package, and this technology can reduce the cost of materials down to 40%. We have investigated the multi-layered PCB substrate structures and raw materials to find out the optimal flip-bonding condition between the LiTaO₃ wafer and PCB substrates. Also the optimal materials and processing conditions of epoxy laminating film were found out through the experiments which can reduce the bending moment caused by the difference of the thermal expansion between the PCB substrate and laminating film. The new PCB SAW filter shows good electrical and reliability performances with respect to the present SAW filters.

Keywords : PCB, Surface Acoustic Wave, SAW, Chip Scale Package, CSP

I. 서 론

SAW 필터 크기는 패키지의 소형화 및 제작공정을 단축시키는 여러 가지 기술개발 결과로 급속하게 소형화 및 저가화 되었다. 표면실장형(SMD, surface mounted device) 패키지가 SAW 필터의 패키지에 도입된 이후 SAW 필터의 소형화가 급속히 이루어졌고, 와이어 본딩(wire bonding) 구조에서 플립 본딩(flip bonding) 구조로, 최근에는 기본적으로 플립 본딩 구조를 가지면서 칩스케일 패키지(CSP, chip scale package) 형태의 SAW 필터 구조로 발전하였다. 캐비

티(cavity)형 패키지를 기본으로 하는 플립 본딩형 SAW 필터는 SAW 제조업체마다 대부분 비슷한 구조를 하고 있었으나, 시트(sheet)형 패키지를 기본으로 하는 CSP형 SAW 필터 패키지는 제조 회사별로 조금씩 다른 구조를 가지고 있다. 이러한 각각의 패키징 방식은 제작단가, 공정난이도, 신뢰성 등에 관점에서 각각 장단점을 가지고 있다.^[1]

현 시점에서 SAW 필터의 개발은 얼마나 작고 싸게 그리고 외부 환경에 잘 견디는 제품을 생산할 수 있는냐가 관건이다. 제품의 원가절감을 위해서는 저렴한 재료 및 저렴한 공정, 공정 축소 등에 대한 개발이 이루어져야 하고, 소형화 및 외부환경에 잘 견디는 제품을 만들기 위해서는 적절한 재료 선정 및 구조 최적화에 대한 연구가 필수적이다.^[2] 이에 가격이 비싼 세라믹 패키

* 정회원, 요업(세라믹)기술원

(Korea Institute of Ceramic Eng. & Tech)

접수일자: 2006년5월8일, 수정완료일: 2006년10월11일

지를 대체하기 위한 연구들이 SAW 제조업체를 위주로 진행 중이며, 그 중 플라스틱 패키지를 이용한 SAW 필터가 일본의 NRS에서 유일하게 적용하고 있으나, 캐비티형 패키지에 플라스틱 몰딩을 취하는 구조로 기존의 세라믹 패키지에 비해 재료비, 공정비 등에서 큰 차이가 없다.^[3]

본 연구에서는 BT 레진(Bismaleimide Triazine resin) 계열의 인쇄회로기판(PCB, printed circuit board)를 기판으로 하는 새로운 칩 스케일 패키지형 SAW 필터를 개발하고자 하였다. 세라믹 패키지를 이용하는 기존의 SAW 필터와는 달리 PCB를 사용함으로써 다음과 같은 여러 가지 장점이 얻을 수 있다. 첫째, 세라믹 패키지에 비해서 PCB는 그 비용이 매우 저렴하여 SAW 필터 재료비 전체를 비교하여도 40% 이상의 재료비 절감효과를 기대할 수 있다. 둘째, PCB는 세라믹 패키지에 비해서 4배 이상 빠르게 절단이 가능하고 또한 다이싱 면적 및 오차를 줄일 수 있어, 시트 단위로 작업이 이루어지는 칩 스케일 패키지 제작공정에서 최소 400% 이상의 생산성 향상이 기대된다. 또한 다이싱 블레이드(dicing blade)의 마모가 심한 세라믹 패키지보다 다이싱 공정비용을 상당히 절감할 수 있다. 셋째, 세라믹 패키지의 고질적인 불량인 열충격에 의한 오픈(open) 불량 및 크랙(crack) 불량을 최소화하여 품질불량의 개선이 기대된다.^[4] 넷째, 세라믹 패키지에 비해서 개발제작비가 훨씬 저렴하고, 개발 리드 타임도 훨씬 더 짧기 때문에 양산기종 개발대응에 대한 순발력이 증가하고, 개발 실패 시 부여되는 실패비용에 대한 부담이 줄어드는 효과도 기대할 수 있다. 그 이외에 SAW 듀플렉서(duplexer)나 SAW 모듈(module)과 같은 제품에 적용하여 동일한 효과를 기대할 수 있다.

II. CSP SAW 패키지

1. 패키지 구조

SAW 필터의 칩 스케일 패키지는 지금까지 여러 가지의 구조가 개발되었다. 범프 볼(bump ball)의 형성방법이 스크린 프린트 및 고온 열처리로 형성되는 솔더 범프인 경우와 초음파 본딩으로 형성되는 스타드 범프(stud bump)인 경우로 나뉜다. 외부로부터의 수분침투 등을 방어하기 위한 기밀밀봉 방식은 칩 가장자리에 금속패턴을 형성하고 패키지에 부착하는 방식이 있고, 칩의 바깥쪽을 금속막이나 수분침투가 어려운 실리콘계열의 수지로 포장하는 방식 또는 바깥쪽을 아예 두꺼운

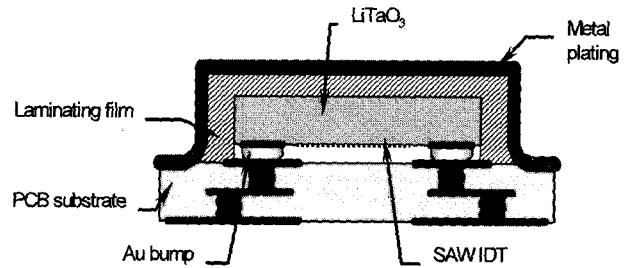


그림 1. CSP SAW 패키지 구조
Fig. 1. Structure of the CSP SAW package.

금속 벽으로 둘러싸는 방식 등이 있다.^[5] 외관은 금속 또는 EMC 몰딩(epoxy molded compound molding)으로 처리한다. 이러한 CSP 패키지는 두 종류 이상의 재료가 서로 접하는 구조이기 때문에 열팽창 계수의 차이로 인해 기본적으로 구조적인 취약점을 가진다.^[1,4,6] 본 연구에서 적용한 SAW 필터의 칩 스케일 패키지 구조는 그림 1과 같은 기본 구조를 가지고 있다.

2. 제작 공정

칩 스케일 패키지의 제작공정은 그림 2와 같다. 시트(sheet) 형태의 배열기판에 IDT 패턴과 금속 범프(bump)가 형성된 압전단결정 베어칩(bare chip)을 플립 본딩(flip bonding)한 후, 시트의 상부에 에폭시나 폴리이미드 계열의 라미네이팅 필름을 도포하여 열압착법을 이용하여 패키지의 외관을 형성한다. 그 다음 각각의

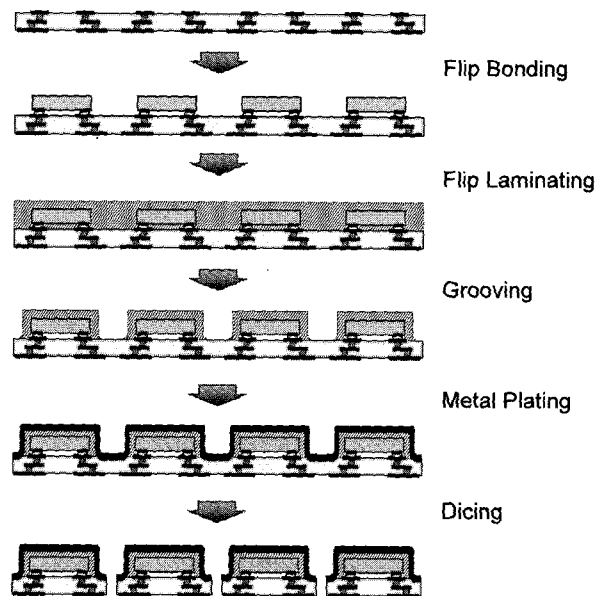


그림 2. CSP SAW 패키지 제조공정
Fig. 2. Manufacturing process of the CSP SAW package.

칩들 사이에 적정 간격으로 레이저를 이용하여 그루빙(grooving) 공정을 행한다. 이때 원하는 부분의 라미네이팅 필름을 깨끗이 제거하는 것이 중요하다. 그 다음 스퍼터링(sputtering)와 전해도금법을 이용하여 금속도금을 행하는데 이는 SAW필터의 전자기장 차폐(shielding) 효과를 가지게 할 뿐만 아니라, 외부의 수분 침투로부터의 방어막 역할을 해준다. 마지막으로 다이싱을 거치면 제작이 완성된다.

3. PCB CSP SAW 패키지

에폭시 계의 폴리머 재료를 기본으로 하는 PCB 기판은 세라믹 패키지와 비교하여 내습 신뢰성에서 수분침투에 다소 취약함이 예상된다. 수분침투가 발생하지 않게 하기 위해서, 2층 구조의 경우에는 구멍 메꿈법(plugging process)을 이용하여 비아홀(via hole)을 처리하여 PCB 재료와 금속 비아홀 간의 계면을 통한 수분 침투가 이루어지지 못하게 하였고, 4층 구조의 경우에는 각 층의 금속 전극 및 비아홀의 구조와 PCB 재료 간의 계면경로를 최대화하여 수분침투가 이루어지지 못하도록 하였다.

또한 에폭시 필름과 PCB 기판과의 밀착력 향상을 위해 그림 3과 같이 PCB 상부면 가장자리에 150um 정도의 비교적 폭이 넓은 금속 라인을 환상형으로 추가함으로써 도금공정시 도금막의 접착을 통해 계면접착력을 개선할 수 있다.

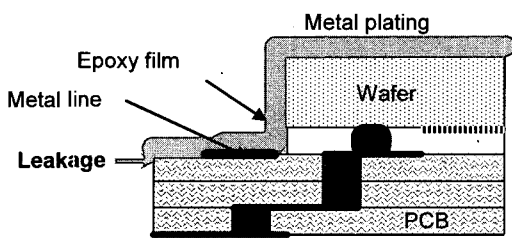
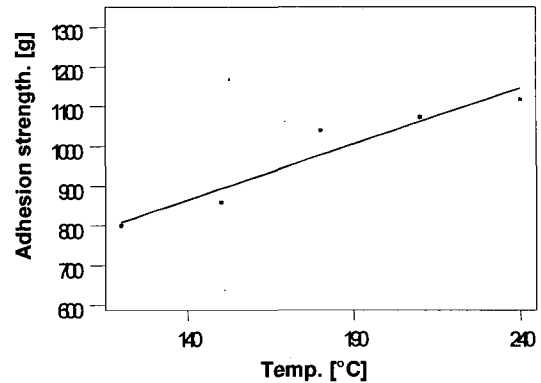


그림 3. 수분침투 방지 패턴 추가
Fig. 3. Enhancement of the humidity proof metal line.

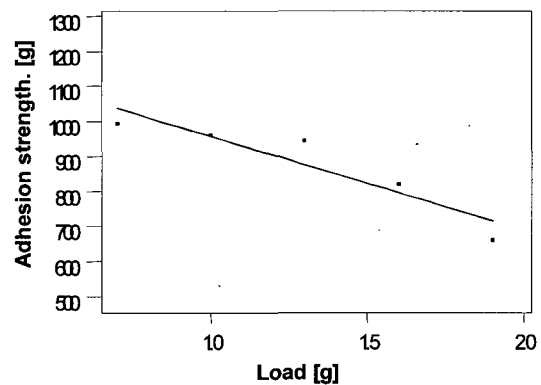
III. 공정조건 최적화 및 결과

1. 플립본딩 조건 최적화

먼저 PCB 상에 SAW 베어칩의 플립본딩을 하기 위한 최적의 조건을 도출하였다. 플립본딩 최적조건을 결정하는 주요 인자는 작업시 예열온도, 베어칩에 가해지는 압력, 초음파 본딩의 파워로 나눌 수 있다. 그림 4는 플립본딩의 조건에 따른 SAW 베어칩의 부착력을 실험



(a) Adhesion strength vs. Temp



(b) Adhesion strength vs. Load

그림 4. 실험조건별 플립 본딩 부착력

Fig. 4. Adhesive strength of flip-chip bonding according to the experimental condition.

적으로 경향 분석한 결과이다. 실험결과, 최적 플립본딩 조건은 예열온도 129 °C, 압력0.5MPa, 초음파 본딩 파워 2.2watt 이고, 이 때 플립본딩 부착력은 880g으로 기존 세라믹 패키지의 경우와 비교하여 동등 이상의 결과를 나타내었다.

2. 라미네이팅 필름 공정 개선

칩 스케일 패키지의 공정조건 중 열처리 조건은 완성된 제품의 내습 신뢰성에 매우 큰 영향을 미친다. CSP 공정 중에서 가장 높은 온도로 열이 가해지는 단계는 필름 라미네이팅 후 180 °C 이상의 온도로 장시간 열처리를 하여 필름을 경화시키는 공정으로, 경화중 필름의 열수축 현상이 발생하게 되고 이로 인해 패키지 내부응력이 증가하여 신뢰성 문제가 발생하게 된다. 열팽창계수는 HTCC 계열은 7.5(ppm/K), LTCC 계열은 5 이하의 값을 가지지만 에폭시 필름은 무려 250 이상의 값으로, 열처리 단계마다 패키지 내부 응력 증가에 따른 휨 문제가 큰 문제가 된다. 이에 비해 본 연구에서 적용한 BT 계열의 PCB 기판의 경우 열팽창계수가 15 이하의

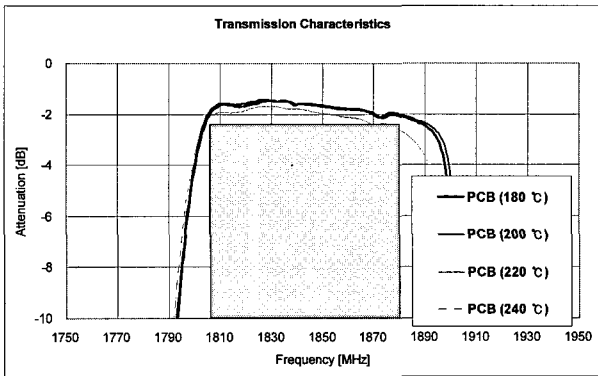


그림 5. 열경화 온도에 따른 내습 신뢰성 실험결과 비교
Fig. 5. Comparison of the humidity proof test result according to the film hardening temperature.

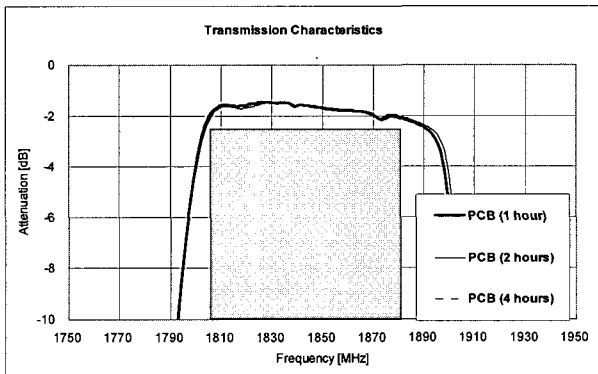


그림 6. 열경화 시간에 따른 내습 신뢰성 실험결과 비교
Fig. 6. Comparison of the humidity proof test result according to the film hardening time.

값으로 세라믹 패키지에 비해 향상된 특성을 기대할 수 있다.

필름 경화온도를 180 °C에서 240 °C까지 변화시켜 각각 PCB SAW 필터를 내습 신뢰성시험인 증기가압시험을 실시하여 신뢰성 개선도를 조사하였다. 그 결과 그림 5에서 보는 바와 같이 열경화 온도가 200°C 에서 SAW 필터의 주파수 특성이 가장 우수한 특성을 나타내었다. 통과대역 오른쪽 부분의 열화는 수분침투에 기인한다.

그림 6은 라미네이팅 필름의 열처리 온도를 200 °C로 일정하게 두고 열처리 시간을 1시간에서 4시간까지 단계별로 변화시킨 경우에 대한 증기가압 실험결과로서 열처리 시간에는 크게 의존하지 않음을 알 수 있었으나 2시간의 공정조건에서 최상의 결과를 얻을 수 있었다.

3. 기존 SAW 필터와의 특성비교

PCB 패키지와 기존 세라믹 패키지형 SAW 필터와의 특성을 비교하기 위해서, 동일한 설계구조를 가지는

DCS Rx SAW 필터 베어칩을 PCB 기판과 세라믹 패키지에 각각 조립하여 두 종류의 SAW 필터를 제작하고, 그 특성을 비교해 보았다.

먼저 두 SAW 필터의 전기적 특성은 그림 7에서 보는 바와 같이 거의 동일한 특성을 보였다.

SAW 필터의 신뢰성 시험 항목 중에서 휴대기기의 세트나 모듈에 장착하기 위하여 외부 온도변화에 대한 수준을 평가하는 열충격 시험과, 기밀밀봉(hermetic sealing)의 수준을 평가하는 고온고습 시험 또는 증기가압시험(PCT)이 가장 중요한 항목이다.

열충격 신뢰성 실험조건은 -65~150 °C, 100회로 양산품에 적용되는 SAW 필터의 신뢰성 조건보다 가혹한 조건에서 실험을 실시하였으며, 그 결과 세라믹 패키지형 SAW 필터의 경우 그림 8(a)와 같이 열충격으로 인한 전기적 특성불량이 발생하였으며, 이는 금속 범프볼의 분리에 의한 불량으로 확인되었다. 반면에 PCB 패키지형 SAW 필터는 그림 8(b)와 같이 전기적 특성 불량이 전혀 발생하지 않아서, 세라믹 패키지형 SAW 필터에 비해서 PCB 패키지형 SAW 필터가 열충격 신뢰성에서 우수한 특성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

또한 본 연구에서는 증기가압 실험으로 테스트를 진행하였는데, 실험조건은 121 °C, 100 % 습도, 2 기압에서 4 시간 동안 방치하는 실험을 실시하였다. PCB 패키지형 SAW 필터가 내습 신뢰성에 잘 견디기 위해서는 적합한 PCB 재료의 선정이 중요하다. PCB 재료는 세라믹 패키지와는 달리 폴리머 재질을 기본으로 하고 있기 때문에 재료 조직 자체가 그다지 치밀하지 못해서 수분 흡수가 발생한다. 따라서 SAW 필터용 패키지로 사용하기 위해서는 조직이 치밀하고 흡습률이 낮은 재료를 선정하는 것이 좋다. 이러한 재료에 따른 신뢰성

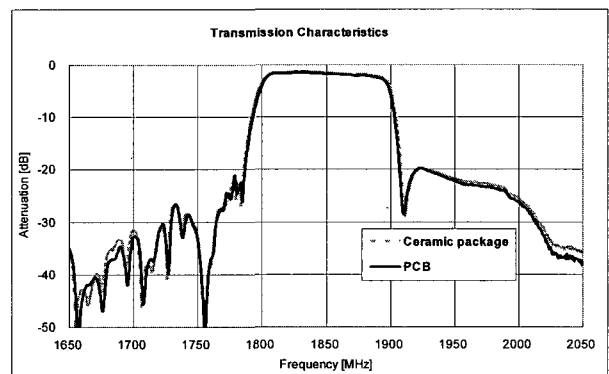
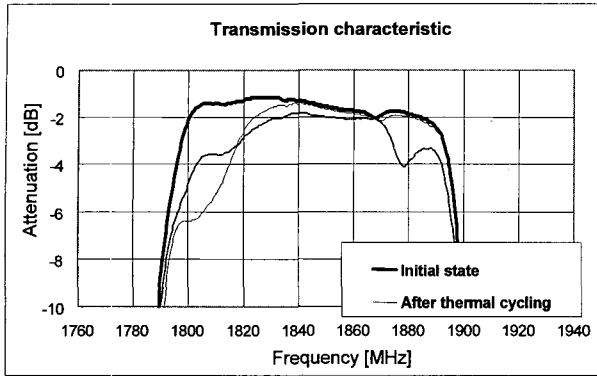
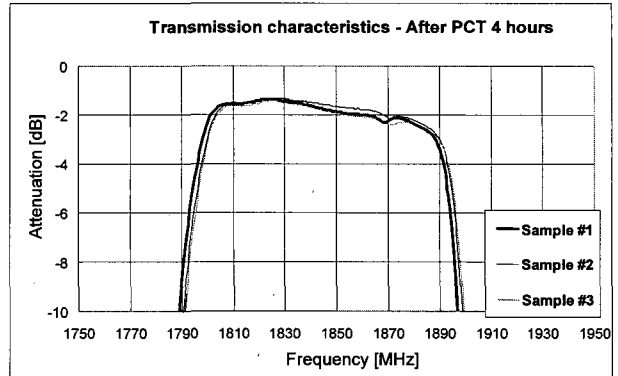


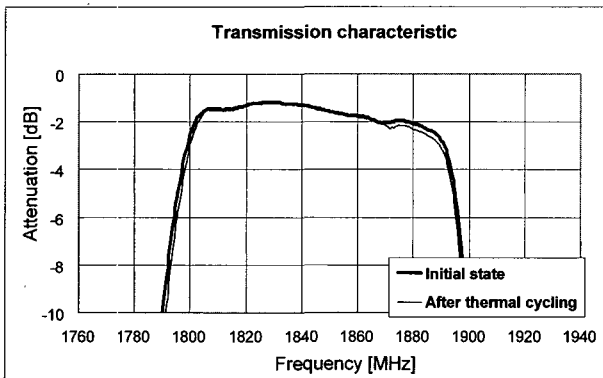
그림 7. 세라믹 및 PCB 패키지의 전기적 특성 비교
Fig. 7. Comparison of the electrical performance between ceramic and PCB packages.



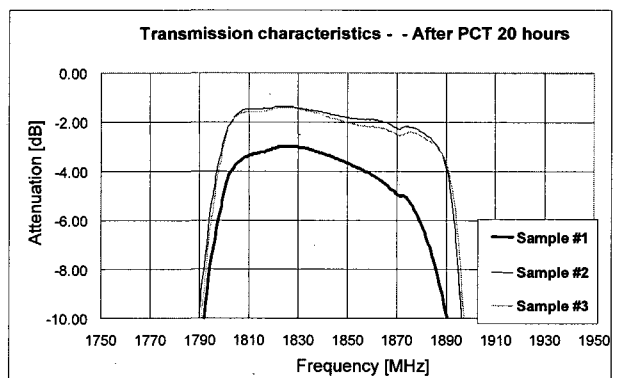
(a) Ceramic package



(a) After PCT 4 hr



(b) PCB



(b) After PCT 20 hr

그림 8. 세라믹 및 PCB 패키지의 열충격 시험결과
Fig. 8. Thermal shock test result of ceramic and PCB packages.

그림 9. PCB 재료에 따른 내습 결과
Fig. 9. Humidity proof test results according to PCB materials.

표 1. 내습용 PCB 재료
Table 1. Humidity proof PCB materials.

PCB 재료	유리전이 온도	열분해 온도	흡습율 (증기가압 실험조건)	
			50℃, 1hr, 건조 시료	200℃, 1hr, 건조 시료
1번 시료	230 ℃	330 ℃	0.17 %	0.29 %
2번 시료	270 ℃	337 ℃	0.23 %	0.24 %
3번 시료	300 ℃	345 ℃	0.23 %	0.29 %

특성을 실험하기 위해서 표 1과 같은 물성을 가지는 세 가지 재료를 선정하여 SAW 필터를 제작하고, 이를 가지고 내습 신뢰성 실험을 실시하였다. 표 1에 나타난 재료들의 열분해온도는 TGA-DAT 분석을 통하여 측정하였고, 흡습율을 실측하였다.

공정 중 라미네이팅 필름의 열처리 경화조건은 200 ℃, 1 시간으로 하였고, 신뢰성 조건은 증기가압시험 4 시간, 20 시간으로 하였다. 그 실험결과를 그림 9에 나타내었다. 결과를 보면 유리전이 온도가 비교적 높으며

200 ℃에서 열처리한 후에도 흡습율이 가장 낮은 2번 시료의 경우가 가장 내습 신뢰성에서 강한 특성을 보였다.

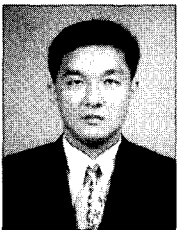
IV. 결 론

본 연구에서는 RF SAW 필터의 일반적인 제작 공법인 세라믹 패키지를 이용한 칩스케일 패키지 공법 대신, BT 레진 계열의 PCB 기판을 이용한 새로운 패키지 구조 및 제작공법을 개발하여 약 40 %의 재료비 절감 효과를 얻을 수 있었다. 다층 PCB 기판과 LiTaO₃ 탄성표면파 기판간의 플립 본딩 조건을 최적화하였고, 적절한 PCB 재료선정을 통하여 PCB 기판 및 에폭시 라미네이팅 필름 간의 열팽창계수 차이로 인해 발생하는 응력을 최소화시켰다. 이렇게 개발된 탄성표면파 필터는 기존의 제품에 비해 신뢰성 및 전기적 특성면에서 향상된 특성을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] P. Selmeier, R. Grunwald, A. Przadka, H. Kruger, G. Feiertag and C. Ruppel, "Recent and Advances in SAW Packaging", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 283-292, 2001.
- [2] R. E. Jones, C. Ramiah, T. Kamgaing, S. K. Banerjee, C. Tsai, H. G. Hughes, A. P. De Silva, J. Drye, L. Li, W. Blood, Q.Li, C. R. Vaughan, R. Miglore, D. Penunuri, R. Lucero, D. R. Frear, and M. F. Miller, "System-in-a-Package Integration of SAW RF Rx Filter Stacked on a Transceiver Chip", IEEE trans. on Advanced Packaging, Vol. 28, No. 2, pp. 310-319, 2005.
- [3] S. Yoshimoto, Y. Yamamoto, Y. Takahashi and E. Otsuka, "Multi-Band RF SAW Filter for Mobile Phone using Surface Mount Plastic Package", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 113-118, 2002.
- [4] M. Kosho, M. Kawase, Y. Kuroda, N. Mishima, T. Takagi, K. Salanada, Y. Ebata and S. Kimura, "Small-sized Dual-band SAW Filters using Flip-chip Bonding Technology", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 341-342, 1999.
- [5] M. L. Ha, J. S. Lee and Y. S. Kwon, "Chip Scale Package for SAW Filter on the Oxidized Porous Silicon using Flip-chip Bonding and Cu Plated Metal Wall", IEEE Electronic Components and Technology Conference, pp. 372-377, 2002.
- [6] M. Goetz and C. Jones, "Chip Scale Packaging Technology for RF SAW Devices", IEEE Semi Tech / IEMT Symp. pp. 63-66, 2002.

저 자 소 개



이 영 진(정회원)
 1995년 경북대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1997년 경북대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2001년 경북대학교 센서공학과
 박사 졸업.

2001~2003 대구과학대학 정보통신계열 전임강사
 2003~2005 삼성전기 RF사업부 책임연구원
 2005~현재 요업(세라믹)기술원 전자부품팀
 선임연구원

<주관심분야 : 초음파응용, 음향센서, 표면탄성파
 필터>



임 종 인(정회원)
 1986년 한양대학교 무기재료
 공학과 학사 졸업.
 1989년 KAIST 재료공학과
 석사 졸업.
 1999년 경북대학교 센서공학과
 박사 졸업.

<주관심분야 : 세라믹응용소자 시뮬레이션, 압전
 재료응용>