

LTCC 기술을 이용한 밀리미터파 대역 세라믹 패키지 설계

서재옥 · 김진양 · 박성대* · 이우성* · 강남기* · 이해영
아주대학교 전자공학부, *전자부품연구원 고주파재료연구센터

Millimeter-wave Ceramic Package Design using LTCC Technology

Jae-Ok Seo, Jin-Yang Kim, Seong-Dae Park*, Woo-Sung Lee*, Nam-Kee Kang* and Hai-Young Lee

Department of Electronics Engineering, Ajou University

*High Frequency Material Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI)

초 록: 패키지는 전기적인 특성에 있어서 적은 삽입손실과 반사손실 특성이 요구된다. 따라서 이러한 고주파 전송 특성이 우수한 패키지를 설계하기 위하여 본 논문에서는 LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) 기술을 이용한 세라믹 패키지를 설계하였고, 유한요소법(FEM: Finite Element Method)을 이용하여 DC~30 GHz에서 해석하였다. 해석 결과, 설계된 패키지 급전구조는 30 GHz까지 삽입손실과 반사손실이 각각 0.32 dB, 16.8 dB 이내의 양호한 특성을 얻었다. 따라서 본 논문에서 설계된 세라믹 패키지는 MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 모듈 개발에 효과적으로 활용될 수 있으리라 기대된다.

Abstract: High performance packages must have a minimum insertion loss and return loss. In this paper, we design a millimeter-wave ceramic package using LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) technology to satisfy excellent transmission characteristics and characterize in a frequency range from DC to 30 GHz using the FEM (Finite Element Method) calculation. From these calculation results, the designed feed-through structure achieved 0.32 dB, 16.8 dB of the insertion loss and the return loss at 30 GHz respectively. This designed ceramic package will be useful for MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) modules.

Key words: ceramic package, LTCC, feed-through, millimeter-wave

1. 서 론

최근 초고주파 및 밀리미터파 시스템의 발달과 함께 MMIC를 실장하기 위한 패키지 개발의 중요성이 증대되고 있다. 이러한 패키지는 칩과 시스템 사이의 전기적, 열적인 통로로서의 기능과 함께 외부환경으로부터 내부 회로를 보호해야 한다. 특히, 전기적인 특성에 있어서 패키지는 최소 간섭(minimum interference)을 위한 전자기적 차폐(electromagnetic shielding) 기능뿐만 아니라 적은 삽입손실과 반사손실 특성이 요구된다.^{1,3)} 따라서 이러한 요구조건들을 충족시키기 위하여 최근에 고주파에서 손실 특성이 우수한 LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) 기술을

이용한 세라믹 패키지에 대한 연구 개발이 활발하게 진행되어 지고 있다.^{4,7)} 이러한 세라믹 패키지는 사용되는 접속선(interconnection) 기술에 따라 패키지 구조가 달라지게 된다.

패키지의 급전선로(feed-through)와 칩을 연결하기 위한 밀리미터파 대역 접속선 기술은 일반적으로 본드와이어 연결 구조와 플립칩 기술을 사용하게 된다. 플립칩 기술은 실장밀도가 높고 전기적인 특성이 우수하나, Coplanar 구조에만 유용하며 열문제와 신뢰성이 떨어져서 가격 경쟁력에 문제점이 있다.⁸⁾ 그러나 본드와이어는 고주파에서 기생 인덕턴스의 영향으로 전송특성이 저하되는 단점이 있기는 하지만, 그 공정의 신뢰성과 저가생산이 가능하기 때문에 칩 실

장시의 접속선으로써 매우 광범위하게 사용되어져 왔다.⁸⁾

본 논문에서는 본드와이어 접속선 구조를 가지는 밀리미터파 대역용 세라믹 패키지를 설계하였고, 세라믹 패키지의 상용 주파수 대역인 DC-30 GHz에서 해석하였다. 설계된 세라믹 패키지의 전기적 해석을 위하여 완전 수치 해석법(full-wave analysis)인 유한요소법을 이용하였으며, 패키지 급전선로를 해석한 결과 30 GHz까지 삽입손실과 반사손실이 각각 0.32 dB, 16.8 dB 이내의 양호한 특성을 나타내었다.

2. 구조 및 해석 방법

1. 해석 구조 및 방법

(1) 패키지 급전선로 해석 구조

Fig. 1(a)는 설계된 세라믹 패키지 급전구조를 나타

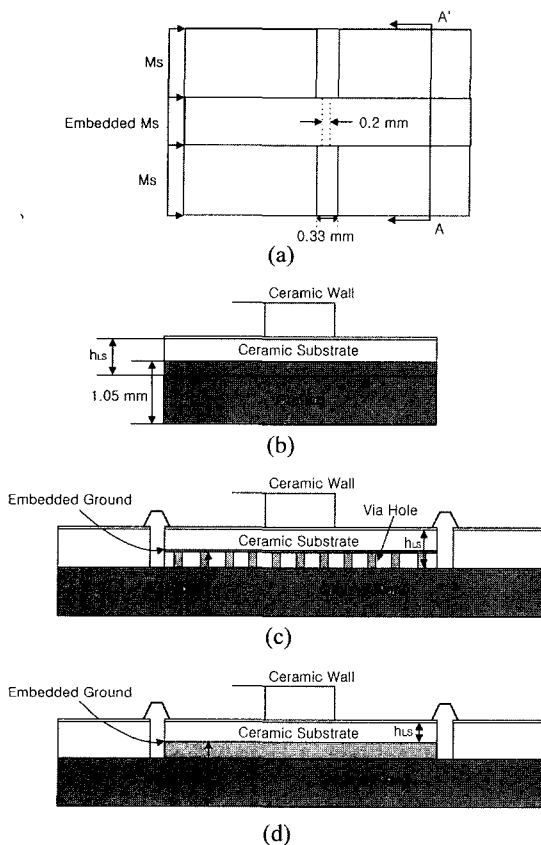


Fig. 1. (a) Top view of ceramic package feed-through; (b) Side view A-A' of ceramic package feed-through; (c) Side view of ceramic package feed-through with via ground; (d) Side view of ceramic package feed-through structure with solid ground.

낸 것이다. Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 패키지의 급전선로 부분은 Microstrip-embedded Microstrip-Microstrip 구조로 구성되어 있다. Fig. 1에서 아래와 윗 부분의 세라믹은 유전율(ϵ)과 손실($\tan\delta$)이 각각 7.8, 0.005인 상용되고 있는 듀폰의 951 테일을 고려하여 설계되었다. 또한 50Ω 선폭을 맞추기 위해서 Microstrip 선로와 embedded Microstrip 선로의 선폭을 각각 330 μm, 200 μm로 설계하였으며 브레이징 기법을 고려하여 400 μm 두께의 세라믹 기판을 이용하였다. 그러나 선로 폭이 넓어질수록 고주파의 분산 효과(dispersion effect)가 증가하기 때문에 Fig. 1(c)에서처럼 50Ω 선폭을 줄이기 위해 접지면으로부터 150 μm 위에 금속판을 삽입하고 비아를 이용하여 아래 접지면과 연결되도록 설계하였다. 비아의 직경은 170 μm이며, 비아와 비아사이의 간격은 340 μm로 설정하였다. 그러나 이러한 비아를 이용한 접지 구조는 많은 해석 시간을 요구하기 때문에 본 논문에서는 해석 시간을 줄이기 위하여 Fig. 1(d)와 같이 비아로 연결된 접지면을 하나의 공통 접지면으로 설정하여 해

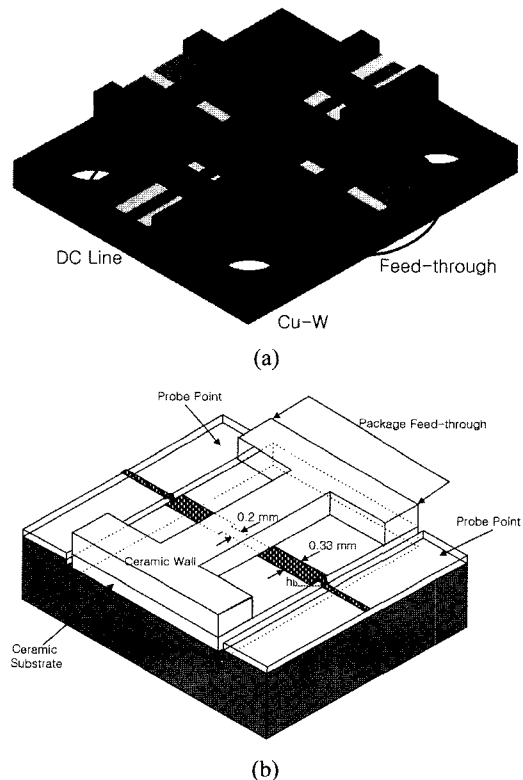


Fig. 2. (a) Total ceramic package feed-through structure; (b) Analysis structure for ceramic package feed-through measurement.

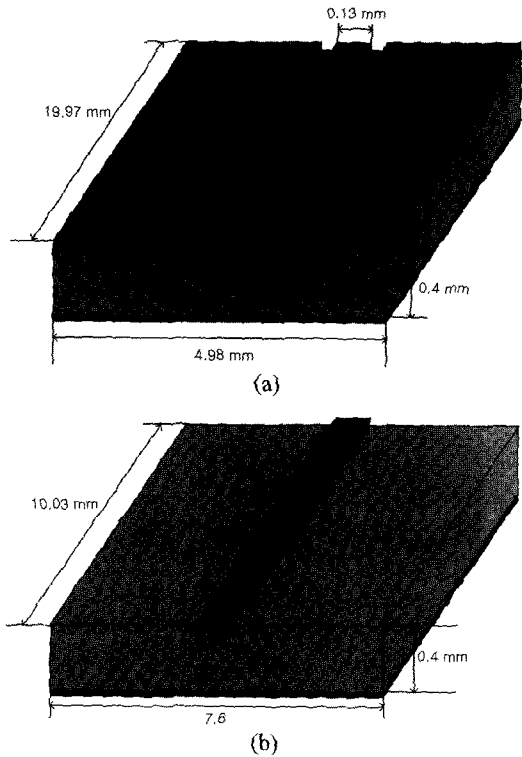


Fig. 3. (a) Test pattern structure of CBCPW(Conductor-backed coplanar waveguide); (b) Test pattern structure of microstrip line.

석을 수행하였다. 또한 이러한 간략화된 집지구조에 대한 해석의 신뢰성을 확인하기 위하여 Fig. 1(c)와 (d)에 비교 해석하기 위한 구조를 제시하였다.

Fig. 2(a)는 본 논문에서 설계한 전체 세라믹 패키지 구조를 나타낸다. 이러한 세라믹 패키지의 특성을 평가하기 위하여 패키지 급전선로와 probe point를 양단에 이중 본드와이어 연결한 구조를 도시하였다. 본드와이어의 높이(hb)는 80 μm이며 본드와이어간의 사잇각은 40 μm로 설정하였다. 또한 패키지의 급전선로와 probe point까지의 간격은 일반적인 밀리미터파 대역의 실장을 고려하여 100 μm로 가정하였다.⁹⁾

(2) 샘플 측정 구조

Fig. 3은 앞으로 전개되는 패키지 급전부 해석의 신뢰성을 확보하기 위하여, 듀폰의 951테이프($\epsilon_r=7.8$, $\tan\delta=0.005@10\text{ GHz}$)를 기판(substrate) 재료로 사용한 CBCPW (Conductor-backed coplanar waveguide), 마이크로스트립 테스트 패턴과 유한요소법을 이용한 해석결과와의 비교를 위해 제작되고 측정된 구조이다.

2.2 해석 방법 및 측정 방법

마이크로파 및 밀리미터파 대역에서의 정확한 광대역 해석을 위하여 유한 요소법을 사용하는 상용 시뮬레이션 툴을 사용하였다.¹⁰⁾ 본 논문에서는 전체 산란계수 크기의 변화율이 3%이내에 수렴하도록 유한 요소 mesh생성을 반복 수행하였으며, 입력단과 출력단을 제외한 경계면에서의 방사효과를 고려하기 위해 기판 두께의 약 5배 이상 떨어진 지점에 흡수경계조건(ABC : Absorbing Boundary Condition)을 적용하여 실제 현상과 근접한 경계조건이 되도록 설정하였다. 또한 해석시 사용되는 물질 값들과 패키지 급전부 구조는 실제 공정 가능한 조건과 파라미터로 설정하였다. 테스트 패턴 측정은 벡터 회로망 측정기와 UTF를 사용하였으며 Calibration은 고주파 대역에서 정확성이 매우 우수한 TRL(Thru-Reflect-Line) calibration 방법을 사용하였다.¹¹⁾ Fig. 4는 이러한 해석 및 측정 방법을 이용한 결과를 비교한 것이다. CBCPW와 마이크로스트립 테스트 패턴에 대하여 해

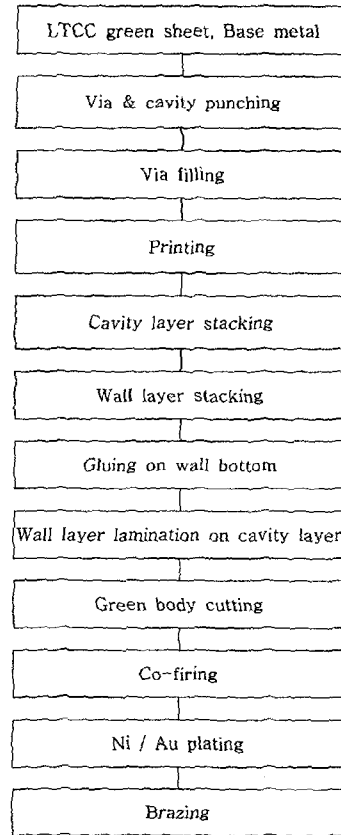


Table 1. Ceramic package manufacturing process

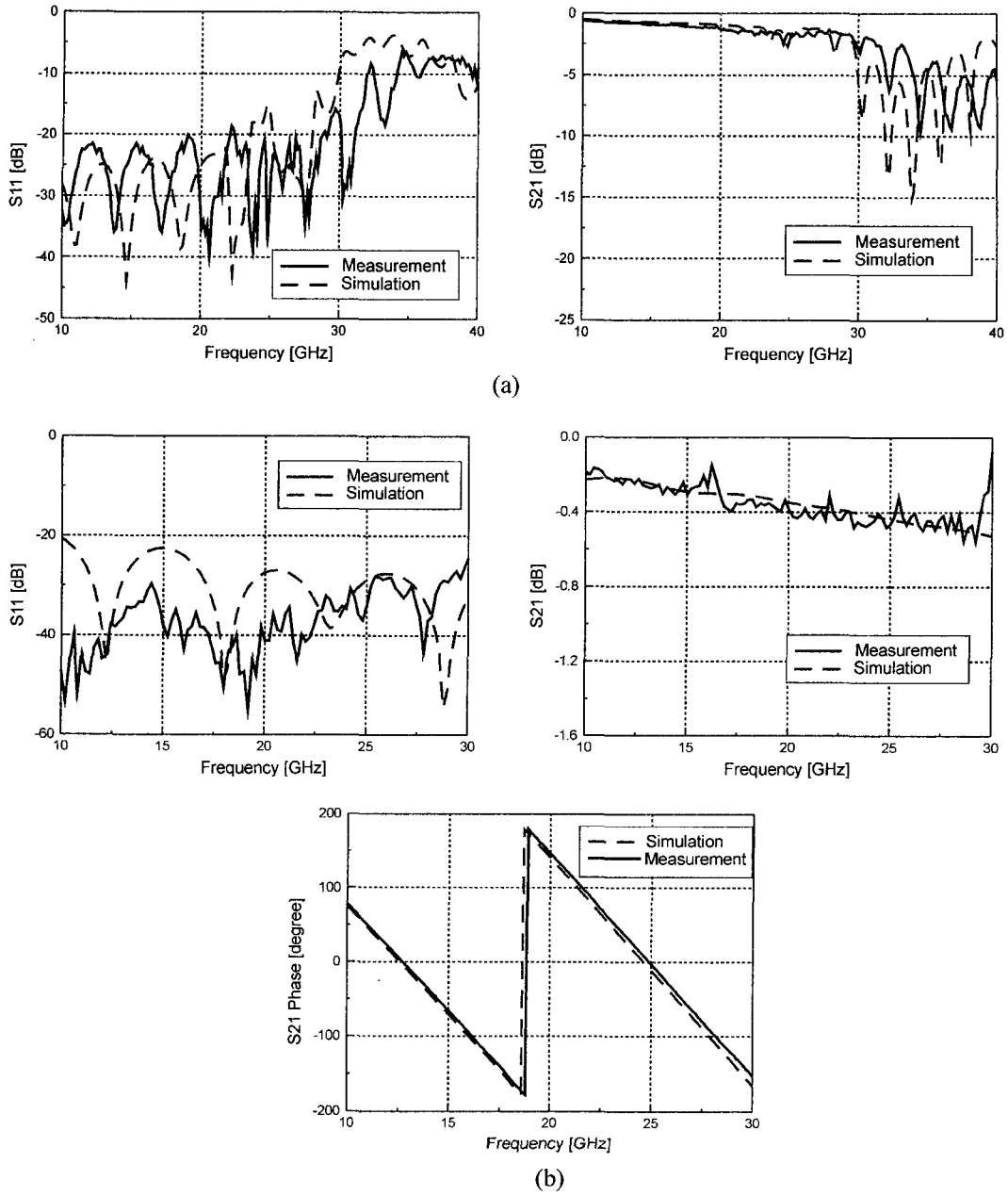


Fig. 4. (a) Measurement and simulation result of CBCPW (Conductor-backed coplanar waveguide) test pat-tern; (b) Measurement and simulation result of microstrip line test pattern.

석결과와 측정결과가 오차범위 내에서 일치함을 확인할 수 있으며, 이러한 결과는 패키지 금전부에 대한 해석의 신뢰성을 제공한다.

2.3 제작 공정

밀리미터파 대역용 세라믹 패키지를 만들기 위한

제조공정은 Table 1과 같다. 먼저 15Cu-85W 합금으로, 열전도율이 200 W/m.K에 달하는 열방출 특성이 좋은 Base metal을 원하는 치수로 가공하고, 표면을 Ni, Au로 도금하여 향후 세라믹 구조체와 접합될 수 있도록 준비한다.

패키지용 세라믹 구조체를 제작하기 위해서는

LTCC 그린시트(green sheet)가 필요하다. 먼저, glass-ceramic 분말과 유기용매, 결합제, 분산제 등을 볼밀링하여 슬러리를 제작한 후, 이를 tape caster를 통과시켜 carrier film 위에 세라믹 그린시트가 형성되게 한다. 이를 공정에 적절한 사이즈인 4"×4"로 절단한 후, 펀처를 이용하여 접지 비아와 캐비티(cavity), wall 구조를 이룰 수 있도록 그린시트를 펀칭한다. 그린시트 두께와 각 구조층의 최종두께를 고려하여 필요한 수만큼 펀칭하고, 접지 비아는 도전성 페이스트로 비아를 채운다. 또한 전송선로와 내부, 외부 접지 패턴을 도전성 페이스트(Ag)를 이용하여 스크린 인쇄한다. 그리고 페이스트 건조후 접지 비아층과 전송선로 구조층을 먼저 적층하는데, 적층시 캐비티 형상이 찌그러지지 않도록, 3.5톤의 저압을 가하여 적층한다. Wall 구조층도 같은 조건으로 적층하고, 아래면에 glue를 입히며 이를 전송선로 구조층 위에 얹고, 높은 압력을 가할 경우에는 wall 구조층과 아래 구조층의 접합면과 그 밖의 부분의 압력 불균일이 심해져 소성후 크랙이나 기판의 휨이 발생할 우려가 있기 때문에 0.5톤의 더욱 낮은 압력으로 접착시킨다. 이러한 적층체를 각각의 개별 소자들로 cutting한 후 box furnace를 이용, 850에서 25분 동안 소성하여 세라믹 구조체를 형성시킨다. 마지막으로 Base metal과의 접합과 MMIC와의 와이어본딩을 위하여 외부 접지와 전송선로를 Ni/Au로 도금한 후 brazing 기법을 통하여 앞서 준비된 base metal과 접합을 하면 MMIC를 실장하기 위한 세라믹 패키지 구조체가 완성된다.

3. 해석 결과

Fig. 5는 DC~30 GHz까지 접지구조에 따른 세라믹 패키지 급전구조(Fig. 1)의 S-파라미터를 나타낸 그림이다. 비아 접지면과 solid 접지면에 따른 패키지 급전구조의 해석결과를 비교하면 30 GHz 이하의 해석 주파수에서 삽입손실과 반사손실의 차이가 거의 없음을 확인할 수 있다. 따라서 Fig. 1(d)에서처럼 단순화된 접지 구조에 대한 해석의 신뢰성을 확인하였다.

Fig. 6은 30 GHz까지 세라믹 패키지 Feed-through 구조(Fig. 1(a))에 대한 S-파라미터를 나타낸 그림이다. Fig. 6을 살펴보면, 30 GHz 이하의 해석한 전체 주파수에서 삽입손실과 반사손실이 각각 0.32 dB, 17.5 dB 이내의 특성을 얻을 수 있었다.

Fig. 7은 세라믹 패키지 Feed-through 측정을 위한 구

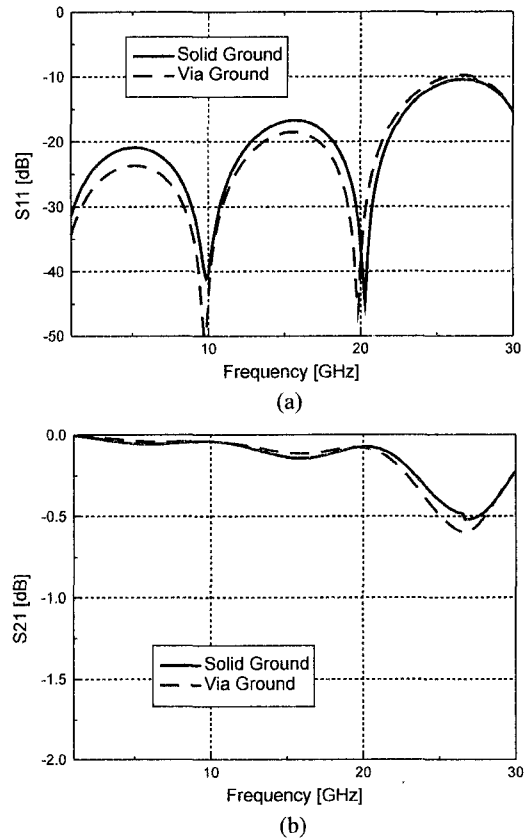


Fig. 5. S-parameter of ceramic package feed-through according to ground structure (fig.1); (a) Return loss; (b) Insertion loss.

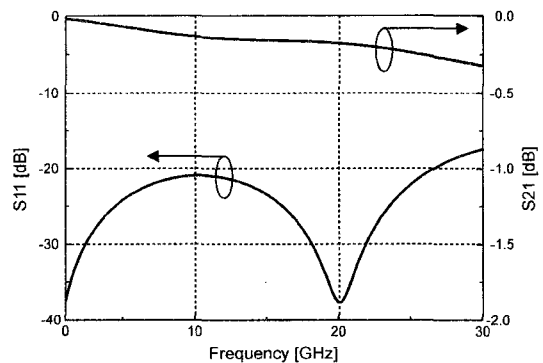


Fig. 6. Simulation result of ceramic package feed-through (fig.1(a)).

조(Fig. 2)에 대해서 해석한 결과를 나타낸 그림이다. 해석결과 30 GHz까지 삽입손실과 반사손실이 각각 0.32 dB, 16.8 dB 이내의 우수한 특성을 나타내고 있다.

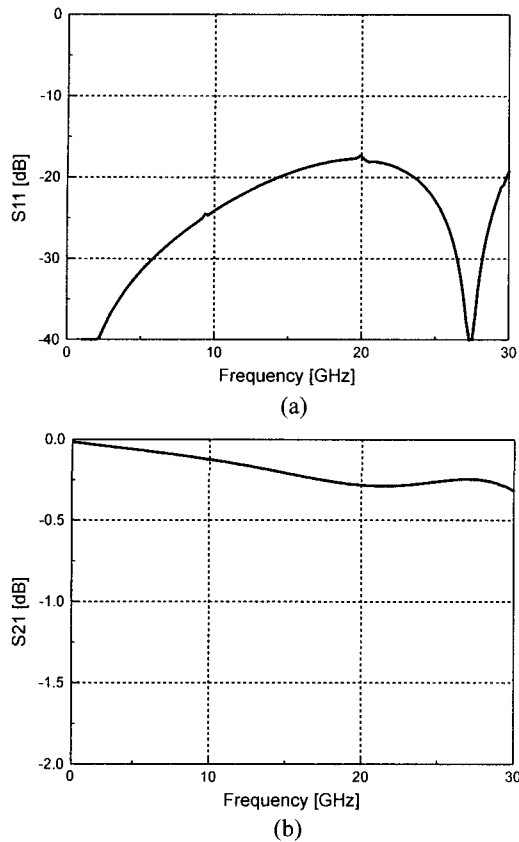


Fig. 7. Analysis result of ceramic package measurement structure; (a) Return loss; (b) Insertion loss.

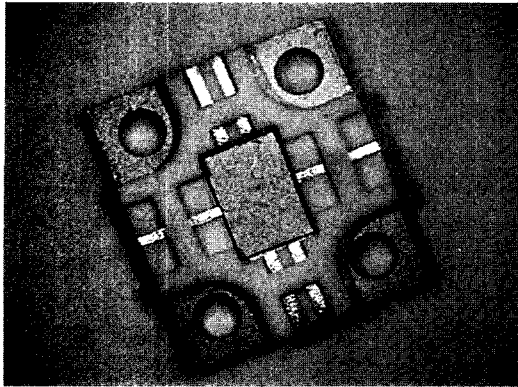


Fig. 8. Millimeter-wave ceramic package under manufacturing process.

4. 결 론

본 논문에서는 본드와이어 접속선 구조를 가지는

밀리미터파 대역용 세라믹 패키지를 설계하였고 세라믹 패키지의 상용 주파수 대역인 DC-30 GHz에서 해석하였다. 해석 결과 probe point 양단의 본드와이어 특성을 포함한 패키지 급전선로는 30 GHz까지 삽입손실과 반사손실이 각각 0.32 dB, 16.8 dB 이내의 양호한 특성을 얻었다. 따라서 본 논문에서 설계한 세라믹 패키지는 밀리미터파 대역 MMIC 모듈 개발에 효과적으로 활용될 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

1. I. D. Robertson, *MMIC Design*, IEEE, London, UK, 1995.
2. L. P. B. Katehi, "The role of EM modeling in integrated packaging", *IEEE AP-S Dig.*, pp. 1005-1008, July, 1993.
3. Hao-Hui Chen and Shyh-Jong Chung, "Analysis of a Partially Sealed Package for Microstrip-Line Circuits", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 46, No. 12, pp.2124-2130, DEC. 1998.
4. Deborah S. Wein, "Advanced Ceramic Packaging for Microwave and Millimeter Wave Application", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 43, No. 9, pp940-948, SEP. 1995.
5. Tsang-Der Ni, James DeMarco, Dana Sturzebecher, and Mike Cummings, "High Frequency Hermetic Packages using LTCC", *IEEE MTT-S Digest*, Vol. 3, pp. 1627-1630, 1996.
6. M. Ito, K. Maruhashi, K. Ikuina, N. Senba, N. Takahashi and K. Ohata, "Low Cost Multi-Layer Ceramic Package for Flip-Chip MMIC up to W-Band", *IEEE MTT-S Digest*, Vol. 1, pp. 57-64, 2000.
7. Kenji Kitazawa, Shinichi Koriyama, Hidehiro Minamiue, Mikio Fujii, "77-GHz-Band Surface Mountable Ceramic Package", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 48, No. 9, pp.1488-1491, SEP. 2000.
8. F. Alimenti, P. Mezzanotte, L. Roselli and R. Sorrentino, "Multi-wire Microstrip Interconnections: a Systematic Analysis for the Extraction of an Equivalent Circuit", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1929-1932, 1998.
9. S. Nelson, M. Youngblood, J. Pavio, B. Larson, R. Kottman, "Optimum microstrip interconnects", *Proc. IEEE MTT-s Dig.*, Boston, MA, pp. 1071-1074, 1991.
10. HFSS (High Frequency Structure Simulator), ver 7.0, Ansoft.
11. David M. Pozar, *Microwave Engineering*, New York: John Wiley & Sons, Inc., pp.217-221, 1998