
마이크로스트립 회로 패키징의 고차모드 차폐를 위한 하우징 설계

전중창*

Design of Housing Structure for the Suppression of Higher-Order Modes in the Microstrip Circuit Packaging

Joong-Chang Chun*

이 논문은 2003년도 포항공과대학교 전자파특화센터의 연구비를 지원받았음.

요 약

본 논문에서는, 마이크로스트립 회로의 패키징에서 고차모드 전파를 억제할 수 있는 유도성 격벽구조를 설계한다. 마이크로파 패키징은 회로를 외부의 물리적, 전기적 환경으로부터 격리·보호하기 위해 필요한 반면에, 동작 주파수가 증가함에 따라 하우징에 의한 고차모드가 발생하는 문제점을 내포하고 있다. 즉, 특성임피던스 및 실효유전율에 대한 영향을 줄이기 위해서는 패키징 크기가 가능한 커야하지만, 패키징을 통과할 수 있는 고차모드의 차단 주파수를 높이기 위해서는 패키징 크기가 가능한 작아야한다. 본 논문에서 제안된 유도성 격벽 패키지는 기존의 용량성 격벽 패키지에 비하여 고차모드 전력전달 억제계수(S_{21})가 30dB 더 개선되었으며, 고차모드의 전달을 효과적으로 억제함으로써, 송수신 모듈과 같은 마이크로파 시스템 패키지화(System-in-a-Package) 설계에 유용하게 활용될 수 있다.

ABSTRACT

Packaging structures to block the propagation of higher-order modes in the shielded microstrip lines are designed. Packaging for microwave circuits is necessary, basically, to isolate and protect circuits from outside environments both physically and electrically. The drawback of packaging is the possibility of higher-order mode propagation, similar to waveguide modes, as the operating frequency increases. One of possible choices for the higher-order mode suppression is to insert diaphragms to the housing structure. The shielding effects of diaphragms are analyzed using an FEM code. Several parameters such as dispersion, mode conversion, and higher-order mode transmission and reflection are analyzed. The effect of higher-order mode suppression is eminent as the depth or width of a diaphragm is increased in the air region of the microstrip line. It is shown that inductive diaphragm structure can lower S_{21} for the second-order mode incidence by 30 dB, comparing with the conventional capacitive diaphragm structure. Packaging structure analyzed in this paper can be applied usefully to the design of the microwave system in a package such as transmit/receive modules.

키워드

마이크로파회로 패키징, 마이크로스트립 회로, 도파관 모드, 고차 모드, 분산 특성, 유도성 격벽

*진주산업대학교 전자공학과

접수일자 : 2003. 11. 7

1. 서론

패키징(packaging)은 마이크로파 회로를 외부의 물리적 충격 및 전기적 간섭으로부터 격리·보호하는 역할을 한다. 그러나 신호의 파장이 짧아짐에 따라 표면파에 의한 선로간 상호결합 및 하우징 공진에 의한 에너지 feedback으로 회로특성 변화 또는 발진 발생, 회로모듈 transition 및 전송선로의 불연속에 의한 고차모드 발생, 커넥터 반사손실, 그리고 dc/control pin을 통한 EMI 등의 패키징 효과에 의한 문제점들이 야기된다. 특히 레이더용 위상배열 안테나 시스템의 송수신 모듈(transmit/receive module)은 위상변위기, 감쇄기, 전력증폭기, 스위치, 저잡음 증폭기, 필터 등의 여러 회로 모듈로 구성되어 있으므로, 시스템 신뢰성 확보를 위해서 패키징에 관한 많은 연구가 이루어져 왔다[1]-[3].

마이크로파 패키징의 고차모드의 발생은 능동소자 또는 수동소자에 의한 전송선로 불연속에 기인되며, 도파관 모드와 비슷한 전자계 분포로서 전파되어 회로모듈 사이에 신호간섭을 일으킨다 [4]. 패키징 설계

의 목적은 기본 마이크로스트립 모드의 전파에 영향을 주지 않으면서, 고차 모드의 전달을 억제하는 패키징 구조를 고안하는 데에 있으며, 마이크로스트립 회로 및 도파관 구조에 대한 용량성 격벽(capacitive diaphragm)의 패키징 해석 결과가 참고문헌 [4]와 [5]에 각각 발표되어 있으며, 그림 1은 참고문헌 [4]에서 해석된 용량성 격벽의 패키징 구조이다. 고차모드의 전달을 차단하는 다른 방법으로는 패키징 내부에 전파 흡수체를 코팅하거나 부착하는 방법이 있다[6],[7].

본 논문에서는 마이크로파 패키징의 고차모드 전자계 분포가 도파관 모드에 대한 것과 비슷하므로, 기본 모드에 비하여, 기관 위 부분의 공간에 대부분 존재한다는 점을 근거로 하여 유도성 격벽(inductive diaphragm)을 사용한 패키징 구조를 제시하고, 이에 의한 고차모드 전파 차폐특성을 해석하고자 한다. 그림 2는 본 연구에서 해석된 유도성 격벽의 패키징 구조이다. 먼저, 마이크로스트립 선로의 분산특성으로부터 패키징 크기를 결정하고, 용량성 격벽과 유도성 격벽에 대한 모드변환, 고차모드 투과 및 반사 등의 고차모드 전파특성을 비교 분석한다. 패키징 구조

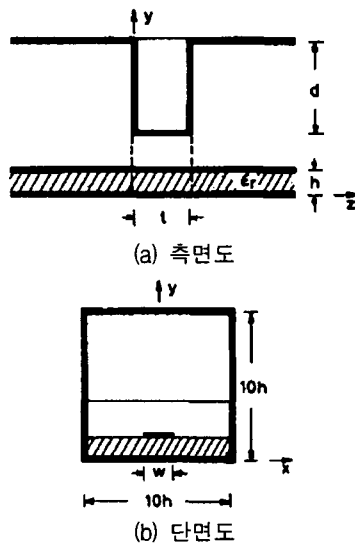


그림 1. 용량성 격벽 패키징의 구조[4]

Fig. 1 Packaging structure of a capacitive diaphragm proposed in [4].

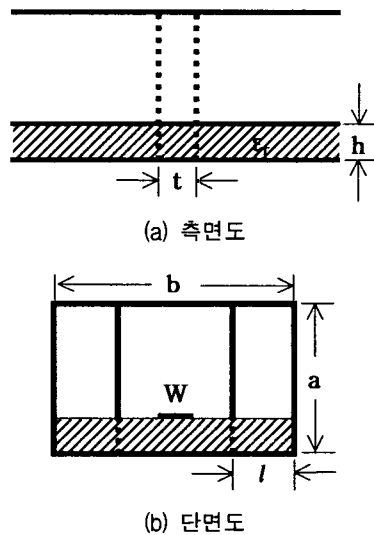


그림 2. 유도성 격벽 패키징의 구조

Fig. 2 Packaging structure of an inductive diaphragm analyzed in this paper.

의 수치해석에는 상용 FEM 소프트웨어(HFSS)를 사용하였다. 먼저 본 연구에서 사용된 시뮬레이션의 정확도를 검증하기 위해서 문헌 [4]에 제시된 구조를 해석하여 결과를 비교하도록 한다.

II. 용량성 격벽(capacitive diaphragm)을 사용한 패키징의 해석

그림 1은 용량성 격벽이 고차 하우징 모드의 전달특성에 미치는 영향을 분석하기 위한 패키징의 구조이다[4]. 기판 유전체의 비유전율 $\epsilon_r=9.7$, 기판 두께 $h=0.635\text{mm}$, 도체 스트립의 폭 $w=0.635\text{mm}$ 이며, 패키지 하우징의 크기는 $10h \times 10h$ 이다. 격벽 두께를 $t=2.1\text{mm}$ 로 고정하고, 격벽의 깊이 d 를 변화시켰을 때, S 파라미터를 계산하였다. 동작 주파수 $f=25\text{GHz}$ 에서 MOL(method of line) 기법과 모드 정합법(mode matching)을 적용하여 계산된 문헌 [4]의 결과와 HFSS 시뮬레이션 결과를 그림 3-5에 비교 도시하였다. 기판 두께 h 로 정규화된 격벽 두께 d/h 가 9인 경우는 격벽이 기판과 완전히 맞닿은 경우를 의미한다. 본 연구에서는 d/h 를 1mm 간격으로 1-8mm 범위에서 시뮬레이션 하였다. 여기서 P_{ti} 와 P_{ri} 는 i 번째 모드의 투과 및 반사 전력을, $S_{i,pq}$ 는 i =출력 포트, j =입사 포트, p =출력 모드, q =입사 모드의 산란계수로서, $S_{11,pq}$ 는 반사 특성을, $S_{21,pq}$ 는 전달 특성을 나타내며, $p=q$ 인 경우는 p 번째 모드의 산란계수를, $p \neq q$ 인 경우는 모드 사이의 에너지 변환을 의미한다. 그

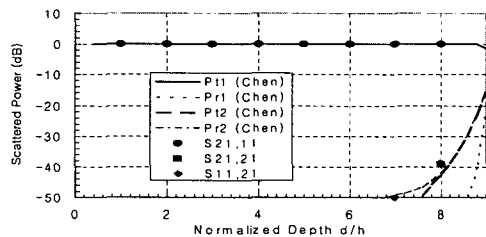


그림 3. 기본모드 입사 시의 격벽 깊이에 따른 산란 전력 변화(Chen: 참고문헌 [4], Dot: HFSS)
Fig. 3 Variation of the scattered powers for the dominant mode incidence.

림 3은 기본모드가 Port 1에 입사하였을 때의 산란계수를 나타낸 것이며, 그림 4는 제1고차 하우징 모드가 입사될 경우의, 그림 5는 제2고차 하우징 모드가 입사될 경우의 산란계수를 각각 보인 것으로서, 두 결과가 잘 일치함을 확인할 수 있다. 그림 3에서 격벽의 깊이가 깊어지더라도 기본 모드의 전달특성에는 거의 변화가 없으며, d/h 가 7.0 이상이 되면 고차 하우징 모드가 발생하기 시작한다. 그림 4와 5의 고차모드 입사 경우에는 격벽 깊이가 증가함에 따라 고차모드 투과전력이 급격히 감소되고 반사전력은 역으로 급격하게 증가됨을 볼 수 있으며, 그림 5에서 제2고차 모드의 전력 전달 계수의 감소가 특히 두드러짐을 관찰할 수 있다.

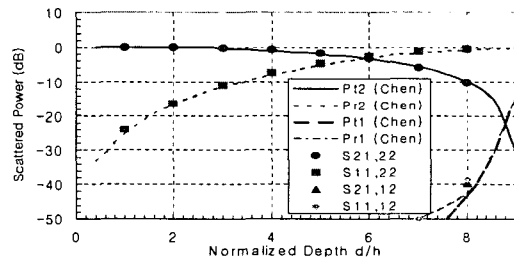


그림 4. 제1고차 모드 입사 시의 격벽 깊이에 따른 산란전력 변화(Chen: 참고문헌 [4], Dot: HFSS)
Fig. 4 Variation of the scattered powers as a function of the normalized diaphragm depth for the first higher order mode incidence.

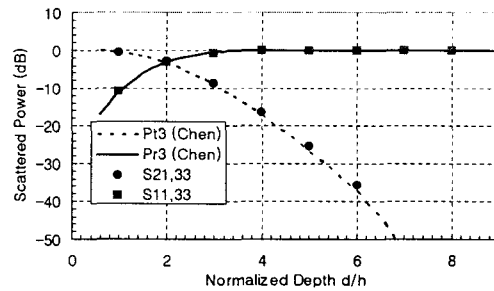
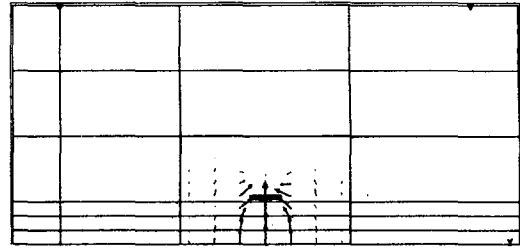


그림 5. 제2고차 모드 입사 시의 격벽 깊이에 따른 산란전력 변화 (Chen: 참고문헌 [4], Dot: HFSS)
Fig. 5 Variation of the scattered powers as a function of the normalized diaphragm depth for the second higher order mode incidence.

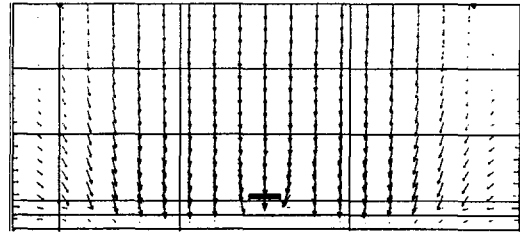
III. 마이크로스트립 패키징의 분산특성 해석

그림 2에 도시된 마이크로스트립 패키징 구조에서 고차모드의 전파를 억제하기 위해서는 일차적으로 분산곡선을 그려봄으로써 고차모드의 차단주파수를 예측하여 패키지의 크기를 설정할 수 있다. 본 절에서는 마이크로스트립 패키징 구조의 모드별 전계분포와 분산특성을 해석하도록 한다. 본 연구에서 사용된 기판은 비유전율 $\epsilon_r=10.2$, 두께 $h=0.635\text{mm}$ 이며, 도체 스트립의 폭은 $W=0.53\text{mm}$ 로서 50 Ω 의 특성임피던스를 갖는다. 기본 모드와 고차모드의 단면 전계분포는 HFSS의 포트해석으로부터 구할 수 있으며, 그림 6은 주파수 30GHz에서의 전계분포 해석 결과를 도시한 것이다. 이 그림으로부터 고차 모드의 전계는 대부분 공기 속으로 퍼져서 분포하는 것을 볼 수 있다. 그림 6에서 실효유전율은 기본 모드의 경우 7.73, 제1고차 모드 0.982, 제2고차 모드 0.42이다. 따라서 마이크로스트립 구조의 공기 부분에 도체격벽을 삽입하면, 기본 모드보다 고차모드 에너지 전파에 더 많은 영향이 미치게 된다.

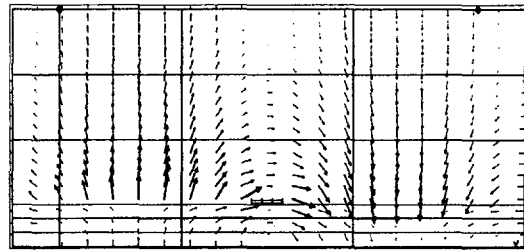
하우징의 크기에 따른 분산특성을 그림 7에 도시하였다. 그림 7(a)는 $a=3.6\text{mm}=5.7h$, $b=12.9\text{mm}=24.3W$ 로서, 하우징 효과를 무시할 수 있는 일반적인 기준보다 폭이 더 큰 치수이며, 약 11GHz부터 제1고차 모드가 전파될 수 있다. 그림 7(b)는 제1고차 모드의 차단주파수를 높이기 위해서 $a=3.6\text{mm}=5.7h$, $b=8.8\text{mm}=16.6W$ 로 패키지 단면 크기를 줄인 것이다. 이 분산곡선 해석으로부터 기본 모드의 특성에는 거의 변화가 없고 고차모드의 차단주파수가, 제1고차모드 15.295GHz, 제2고차 모드 27.430GHz로, 모두 증가된 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 동작 주파수를 10GHz로 설정하였으며, 그림 7(b)의 하우징 크기를 기준으로 하여 고차모드 전달을 억제할 수 있는 패키징 구조를 설계하도록 한다.



(a) 기본 모드(마이크로스트립 모드)의 전계 분포

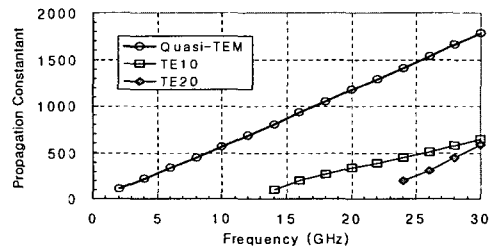


(b) 제1고차 모드(하우징 모드)의 전계 분포



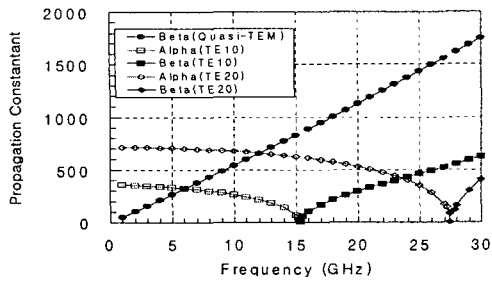
(c) 제2고차 모드(하우징 모드)의 전계 분포

그림 6. 패키징된 균일 마이크로스트립 선로의 전계분포 ($a=3.6\text{mm}$, $b=8.8\text{mm}$, 주파수 $f=30\text{GHz}$)
Fig. 6 Electric field distribution for the packaged uniform microstrip line. ($a=3.6\text{mm}$, $b=8.8\text{mm}$, frequency $f=30\text{GHz}$)



(a) $a=3.6\text{mm}$, $b=12.9\text{mm}$, $h=0.635\text{mm}$, $W=0.53\text{mm}$

그림 7. (계속)
Fig. 7 (continued)



(b) $a=3.6\text{mm}$, $b=8.8\text{mm}$, $h=0.635\text{mm}$, $W=0.53\text{mm}$
 그림 7. 패키징된 균일 마이크로스트립 선로의 분산 곡선

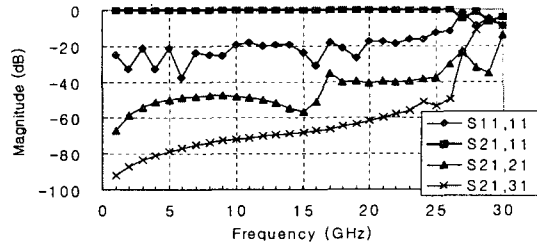
Fig. 7 Dispersion curves for the packaged uniform microstrip line.

IV. 유도성 격벽에 의한 고차모드 차단 설계

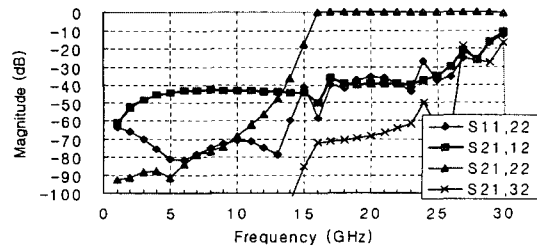
그림 2에 보인 유도성 격벽 패키징에 대하여 격벽의 폭(l)과 두께(t)의 변화에 관한 특성을 분석하고, 그림 1의 용량성 격벽과의 특성을 비교 검토 한다. 먼저, 균일 마이크로스트립 선로에 기본모드 및 고차모드가 입사하였을 때의 산란계수를 그림 8에 보였었다. 여기서 패키지 크기는 $a=3.6\text{mm}=5.7h$, $b=8.8\text{mm}=16.6W$ 이다. 기본모드가 입사할 경우, 제2고차모드의 차단주파수 이하에서는 고차모드로의 전력변환을 무시할 수 있다. 그러나 제2고차모드의 입사에 대해서는, 15GHz 이상의 영역에서, 출력 포트에 제2고차모드가 거의 감쇠 없이 전달되고 있다.

유도성 패키지의 격벽 폭 변화에 관한 영향을 살펴보기 위해서 두께 t 를 1.0mm로 고정하고 폭 l 이 2.5mm, 3.5mm일 때, 기본모드 및 고차모드가 입사한 경우의 산란계수를 해석하여 그림 9에 비교 도시하였다. 그림 7(b)에서 보듯이 제2고차모드는 30GHz 근처에서 중요하게 되며, 동작 주파수 10GHz 대역에서는 무시할 수 있다. 그림 9(a)는 모드변환 특성을 비교한 것으로, 격벽 폭 l 이 증가하면, 15GHz 이상의 주파수에서 $S_{21,21}$ 이 15-20dB 증가되며, 이것은 패키징 구조의 불연속으로 인하여 기본모드의 전력이 제1고차모드로 변환되는 비율이 증가한 것으로 해석된다. 그림 9(b)는 고차모드 억제특성을 비교한 것으로, 격벽

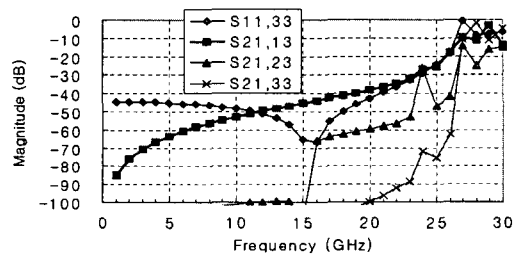
폭 l 이 증가하면, 15GHz 이상의 주파수에서 $S_{21,22}$ 가 30-40dB 감소되므로 고차모드 전파 억제특성이 더 개선되었음을 알 수 있다. 다음으로, 격벽의 두께 영향을 살펴보기 위해서 폭 l 을 3.5mm로 고정하고 t 가 2.0mm에서 5.0mm까지 1.0mm 간격으로 변할 경



(a) 기본 모드 입사에 의한 산란계수



(b) 제1고차 모드 입사에 의한 산란계수



(c) 제2고차 모드 입사에 의한 산란계수

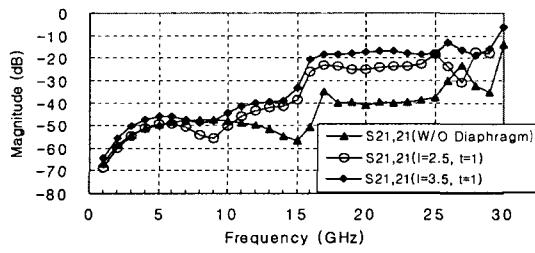
그림 8. 균일 패키지의 모드 전달 특성

Fig. 8 Modal characteristics for the uniform package without a diaphragm.

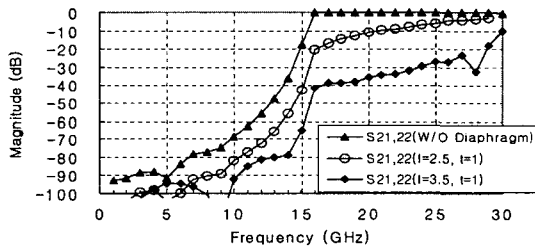
우의 산란계수를 해석하였다. 그림 10에 1.0mm에서 5.0mm까지의 t 변화에 대한 모드변환 특성 및 고차모드 전달억제 특성을 비교 도시하였으며, $t=2.0\text{mm}$ 일 때 고차모드 전달억제 특성이 가장 우수

하게 된다.

이상의 결과로부터 $l=3.5\text{mm}$, $t=2.0\text{mm}$ 일 때 최적의 패키지 조건이 되며, $S_{21,21}$ 은 -18dB 이하, $S_{21,22}$ 는 -38dB 이하의 값을 갖는다. 격벽이 없는 패키지인 그림 8(a)와 비교하면, 그림 10(a)의 기본모드 입사 시에 15GHz 이상의 주파수에서 $S_{21,21}$ 이 약 20dB 정도 증가하였다. 이는, 그림 9(a)에서와 같이, 패키징 구조의 불연속으로 인하



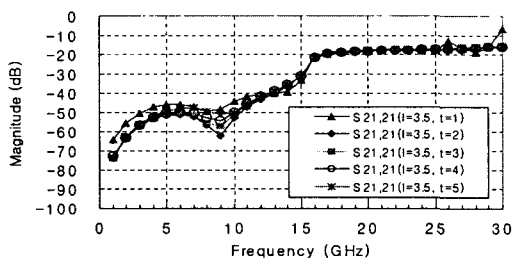
(a) 모드변환 특성 변화



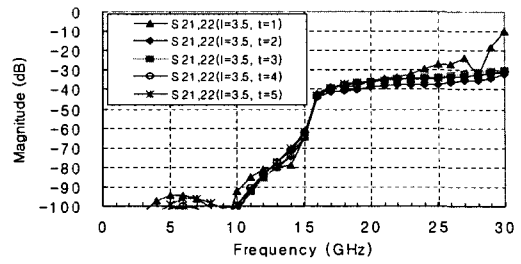
(b) 고차모드 전파억제 특성 변화

그림 9. 유도성 패키지 격벽 폭의 영향

Fig. 9 Variation of scattering parameters as a function of the diaphragm width for the inductive package.



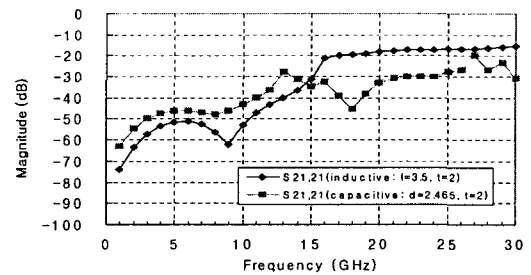
(a) 모드변환 특성 변화



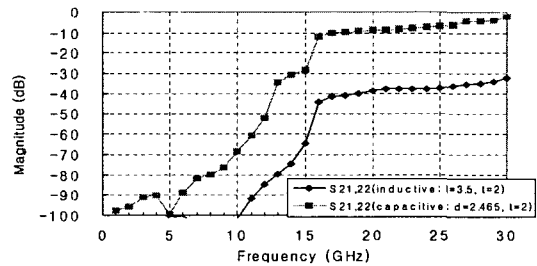
(b) 고차모드 전파억제 특성 변화

그림 10. 유도성 패키지 격벽 두께의 영향

Fig. 10 Variation of scattering parameters as a function of the diaphragm thickness.



(a) 모드변환 특성



(b) 고차모드 전파억제 특성

그림 11. 유도성 및 용량성 격벽 패키지의 특성 비교
Fig. 11 Comparison of scattering parameters between inductive and capacitive packages

여 기본모드의 전력이 제1고차모드로 변환되는 비율이 증가하는 것으로 해석되며, 기본모드 전달 특성인 $S_{21,11}$ 은 거의 동일한 결과를 보였다. 그림 10(b)에서 보인 제1고차모드가 입사에 대한 결과는 그림 8(b)와 상당한 차이를 보인다. 즉, 15GHz 근처에서 제1고차모드의 전달특성인 $S_{21,22}$ 가 0dB 에서 -40dB 정도로 감소되었으며, $S_{11,22}=0\text{dB}$ 로 고차모드 전력이 모두 반사된다. 한편 기본모드

입사에서는 격벽의 영향이 거의 나타나지 않았다. 유도성 격벽과 용량성 격벽의 패키징 효과를 비교하기 위해서 모드변환 및 고차모드 전파억제 특성 등의 해석결과를 그림 11에 비교 도시하였다. 용량성 패키지 크기는, IV절에서와 동일하게, $a=3.6\text{mm}$, $b=8.8\text{mm}$ 이며, 격벽 치수는 $d=2.465\text{mm}$, $t=2.0\text{mm}$ 이다. 기본모드 입사에 대한 결과는, 모드간 전력변환을 나타내는 $S_{21,21}$ 을 제외하고는, 유도성 격벽에 대한 것과 비슷한 결과를 보였다. 그림 11(a)에서 $S_{21,21}$ 은 유도성 격벽의 결과는 용량성 격벽에 비하여 제1고차 모드의 차단주파수인 15GHz 이하에서는 약 10dB 정도 더 낮으며, 15GHz 이상에서는 약 10dB 정도 더 높게 나타난다. 이는 두 모드가 선로 중심부에서 가장 강한 전기분포를 가진다는 점과 격벽에 의하여 개방되는 공간의 위치가 다르다는 점이 서로 관련되는 것으로 해석된다. 제1고차모드 입사에 대해서는, 그림 11(b)로부터, 15GHz 이상에서 용량성 격벽의 $S_{21,22}$ 는 -10dB 정도의 값을 가지며, 유도성 격벽에 비하여 30dB 정도 더 높은 값을 보인다. 따라서 이 그림으로부터 용량성 격벽에 비하여 유도성 격벽을 사용하는 것이 고차모드 전파 억제 측면에서 더욱 우수한 패키징 구조인 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구에서는 마이크로스트립 회로 패키징에서 고차모드 전달을 억제할 수 있는 유도성 격벽 구조를 설계하였으며, 모드변환 및 고차모드 전파억제 특성에 대하여 용량성 격벽의 패키징과 비교 분석하였다. 유도성 격벽구조는 용량성 격벽에 비하여 고차모드 전력전달 억제비율이 30dB 더 우수하게 나타났다. 반면에 기본 모드와 제1고차 모드 사이의 전력변환 비율은 제1고차 모드의 차단주파수를 전후로, 차단주파수 이하에서는 유도성 격벽구조가, 차단주파수 이상에서는 용량성 격벽구조가 약 10dB 더 우수한 결과를 각각 보였다. 시뮬레이션 소프트웨어의 정확성을 확인하기 위해 기존에 발표된 용량성 격벽 패키징 구조를 해

석하여 그 결과가 잘 일치함을 보였으며, 패키징 선로의 분산특성 해석을 통하여 패키지 크기를 결정하였다. 특성임피던스 및 실효유전율에 대한 영향을 줄이기 위해서는 패키징 크기가 가능한 커야 하지만, 패키징을 통과할 수 있는 고차모드의 차단 주파수를 높이기 위해서는 패키징 크기가 가능한 작아야 한다. 이런 관점에서 유도성 격벽을 사용하면 동일한 패키징 크기에서 고차모드의 전달을 더욱 효과적으로 억제할 수 있다. 본 연구에서 도출된 고차 하우징 모드 전파억제를 위한 패키지 설계 기법은 송수신 모듈과 같이 여러 가지 회로 모듈로 구성되는 "시스템 패키지화" (System in a Package) 개념의 마이크로파 시스템 설계에 유용하게 활용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. J. Komiak, A. K. Agrawal, "Design and performance of octave S/C-band MMIC T/R modules for multi-function phased arrays," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, MTT-39, pp. 1955-1963, Dec. 1991.
- [2] W. Diels, K. Vawsen, "Single-package integration of RF blocks for a 5 GHz WLAN application," *IEEE Trans. Advanced Packaging*, Vol. 24, No. 3, pp. 384-391, Aug. 2001.
- [3] B. A. Kopp, "Transmit/Receive modules," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, MTT-50, pp. 827-834, Mar. 2002.
- [4] H. Chen, S. Chung, "Shielding effect of a diaphragm in a packaged microstrip circuit," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 43, pp. 1082-1086, May 1995.
- [5] K. Krause, B. Spielman, "An electromagnetic technique for packaging problem analysis," *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1067-1070, 1996.
- [6] H. Chen, S. Chung, "Analysis of a partially shielded package for microstrip-line Circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 46, pp. 2124-2130, December 1998.
- [7] H. Chen, S. Chung, "A simple method for blocking parasitic modes in a waveguide-

packaged microstrip-line circuit," IEEE
Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 46,
pp. 2156-2159, December 1998.

저자 소개



전중창(Joong-Chang Chun)

1984년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1991년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과(공학석사)

1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과(공학박사)

1995년 3월~1997년 2월: 한국통신(KT) 선임연구원

1997년 3월~2003년 2월: 위덕대학교 정보통신공학과 조교수

2003년 3월~현재 : 진주산업대학교 이공학부 전자공학과 조교수

※ 관심분야 : 마이크로파 센서, 마이크로파 패키징,
마이크로파 회로 수치해석, 마이크로스트립 안테나,
능동 배열 안테나, 무선 이동통신