

論文2000-37TC-3-8

# 수직으로 전이되는 마이크로스트립의 접지용 방사형 스텐브 (Grounding Radial Stub for the Vertical Microstrip Transition)

權德圭\*, 李仲鎬\*, 李海英\*

(Duk-Kyu Kwon, Joong-Ho Lee, and Hai-Young Lee)

## 요약

본 논문에서는 고집적 3차원 초고주파 소자 및 모듈에서 발생하는 수직 전이 구조의 효과적인 연결을 위하여 방사형 스텐브 (radial stub)를 사용한 접지 방법을 제시하였다. 제안된 구조는 완전 해석법 (full-wave analysis)인 유한 요소법 (finite element method)을 이용하여 해석하였고 제작을 통하여 그 결과를 검증하였다. 해석결과, 2.5~6.3 GHz 주파수 범위에서 반사손실 (return loss) 15 dB 이상, 삽입손실 (insertion loss) 0.5 dB 이하의 특성을 가짐을 확인하였다. 본 해석 결과는 고집적, 소형화를 위한 3차원 구조를 갖는 초고주파 소자 및 모듈의 공통 접지 연결을 위해 유용하게 사용될 수 있다.

## Abstract

For the microwave high density devices and modules of the 3D configuration, we proposed radial stub for the ground connection. The proposed structure is analyzed by the full-wave analysis of finite element method (FEM) and characterized experimentally. The results show that the return loss is more than 15 dB and the insertion loss is less than 0.5 dB in the frequency range from 2.5 GHz to 6.3 GHz. The proposed grounding scheme will be useful for the ground connection for the microwave high density devices and module of 3D configuration.

## I. 서론

최근 정보 통신 기술의 발전과 대용량 통신 시스템에 대한 요구에 따라 사용되는 주파수 대역이 점차 높아지고 있다. 이러한 통신 기술 및 시스템의 발전은 다기능, 초소형 소자의 개발을 기본 전제로 하고 있다. 이에 따라 초고주파 회로에 사용되는 소자들은 소형화, 고집적화 되는 추세이며 소자의 소형화를 위해 유전상수가 높은 기판을 사용하고 소자의 크기를 줄이기 위한 여러 가지 방법들이 연구되고 있다<sup>[1]</sup>. 그러나 단일 평면 회로에서 소자를 소형화하고 고집적하는 방식

은 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 회로의 소형화를 위해 소자 사이의 거리가 가까워짐에 따라 혼신 (crosstalk)이 발생하고 소자의 크기를 줄이는데 한계가 있으므로 전체 회로의 소형화가 어렵게 된다.

최근에는 이러한 문제를 해결하기 위해 소자를 3차원으로 집적하기 위한 연구와 Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서 3차원 구조를 이용해 소자를 집적하는 기술은 능동 배열 안테나 (active array antenna)와 같이 소자의 고집적이 요구되는 구조에서는 필수적이며, 멀티 칩 모듈 (MultiChip Module)에 사용하기 위하여 연구가 이루어지고 있다<sup>[2][3]</sup>. 3차원 집적 기술은 평면상의 회로를 다층 (multilayer)으로 쌓아 제한된 공간을 최대한 효율적으로 사용함으로써 소자의 고집적화를 이룰 수 있다. 이러한 3차원 집적 구조는

\* 正會員, 亞洲大學校 電子工學部

(School of Electronics Engineering, Ajou University)

接受日字:1999年10月18日, 수정완료일:2000年3月2日

집적되어 있는 회로의 신호 전달을 위해 층간에 수직 전이 (vertical transition)를 필요로 한다<sup>[4]</sup>. 그러나 3차원 구조를 이용한 집적 방식은 수직 전이로 인한 층간의 불연속 (discontinuity)과 공통 접지 (common ground)의 연결 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 마이크로스트립 (microstrip) 대 마이크로스트립, CPW (Coplanar Waveguide) 대 CPW, CPW 대 마이크로스트립 등의 다양한 수직 전이 구조에 대한 연구가 이루어지고 있다<sup>[4][5][6]</sup>. 본 논문에서는 이러한 수직 전이 구조 중에서 공통 접지 연결에 어려움이 있는 마이크로스트립 대 마이크로스트립 구조에 대해 다루었다.

앞에서 제시한 문제 중에서 수직 전이되는 부분에서 발생하는 불연속은 기생 성분 (parasitic)으로 인한 손실을 발생시킨다. 이 기생 성분은 전계 분포 (electric field)가 수직 전이되는 부분에 집중되어 용량성 리액턴스 (capacitive reactance)가 우세하여 발생한다. 따라서 수직 전이 부분의 신호선을 종단에서 좁아지게 (tapering)하여 용량성 리액턴스를 보상함으로써 불연속 효과를 감소시킬 수 있다<sup>[7]</sup>. 다음으로 수직 전이 구조에서 층간에 공통 접지를 위하여 비아를 이용하는 방법이 있는데, 이 방법은 접지 연결을 위한 길이가 짧고 점유 면적이 작은 장점이 있지만 고주파에서 비아 라인이 유도성 리액턴스 (inductive reactance)로 등가 모델화되므로 이로 인한 손실이 발생하게 된다<sup>[8]</sup>. 또한 제작 측면에서 비아를 만들기 위한 추가 공정이 필요하게 되어 제작비용이 증가하는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 방사형 스테브 (radial stub)를 이용한 간접 접지 방식을 제안하였다. 제안된 방사형 스테브는 기존의 회로에서 임피던스 정합이나 10~20 Ω의 낮은 임피던스를 요구하는 대역 통과 여파기 (Band Pass Filter), 혼합기 (Mixer) 등에 주로 쓰이며 CPW와 마이크로스트립의 전이 (transition), on-wafer 측정을 위한 전기적 접지로서 사용되기도 한다<sup>[9]-[12]</sup>. 본 논문에서는 이러한 방사형 스테브를 층간의 공통 접지 (common ground)를 형성하기 위해 이용하였다. 방사형 스테브는 그 길이에 따라 중심 주파수 (center frequency)를 조절할 수 있으며, 본 논문에서는 Atwater에 의해 연구된 결과를 이용하여 방사형 스테브의 길이를 계산하였다<sup>[13]</sup>. 공통 접지의 특성은 방사형 스테브의 길이를 변화시켜가며 해석하였으며, 결과는 완전 수치 해석법 (full-wave

analysis)인 유한 요소법 (finite element method)을 이용하여 확인하였다. 해석 결과, 설계된 주파수 대역에서 반사손실 (return loss) 15 dB 이상, 삽입 손실 (insertion loss) 0.5 dB 이하의 특성을 관찰하였으며 제작과 측정을 통해 해석 결과와 일치함을 확인하였다. 제안된 구조는 측정과 제작상의 편의를 고려하여 FR-4 ( $\epsilon_r = 4.56$ ) 기판에 제작되었으며, 공진점에서 삽입손실 1 dB, 반사손실 40 dB의 특성을 관찰하였다. 본 해석결과를 3차원 집적 구조의 활용 증진에 기여할 수 있을 것이다.

## II. 구조 및 설계 방법

### 1. 해석 구조

3차원 집적 구조의 문제로 앞서 제시되었던 두 가지 중에 수직 전이로 인한 불연속의 문제는 기존의 평면 구조에서의 불연속에 대한 해석 결과를 이용하여 해결할 수 있으므로 본 논문에서는 공통 접지 연결의 문제만을 고려하였다. 그림 1은 수직 전이가 발생하는 간략화 된 구조를 나타낸 것이다. 주기판은 공통 접지의 특성을 해석하기 위하여 상대 유전상수 ( $\epsilon_r$ ) 10, 두께 0.635 mm를 갖는 CER-10 기판을 사용하였으며 마이크로스트립 (microstrip) 전송선은 폭을 0.61 mm로 하여 50 Ω 특성 임피던스를 유지하도록 하였다. 그림 1(a)는 방사형 스테브를 이용한 공통 접지의 구조를 도시한 것으로 방사형 스테브는 수평 기판의 신호선 양쪽에 하나씩 위치하고 있으며 접지평면과 전자기적 결합 (electromagnetic coupling)을 이용하여 접지를 형성하고 있다. 방사형 스테브의 중심각은 스테브의 임피던스를 가장 낮출 수 있는 180°로 설계하였다. 다음으로 비아를 이용한 공통 접지의 구조를 그림 1(b)에 나타내었다. 그림에 보인 비아의 크기는 직경이 1 mm이고 신호선 양쪽으로 각각 4개씩 위치하고 있다. 비아의 개수는 방사형 스테브가 공통 접지를 형성하기 위하여 점유 면적과 비슷한 면적을 갖도록 설정하였다. 그림 1(a)와 (b)를 살펴보면 수직 기판의 일부분이 식각 (etching) 되었는데 이는 불연속을 줄이면서 수평 기판의 신호선이 수직 기판의 신호선으로 전이될 수 있도록 하기 위한 것이다. 식각의 크기는 높이 0.5 mm, 폭 2 mm 갖도록 하였다. 이는 식각으로 인하여 수직 전이되는 신호와 수직 기판의 접지 평면과의 영향을 최소화하기 위한 것이다. 식각의 모양은 원형, 타원형 등도

있을 수 있지만 직사각형 모양의 식각이 가장 좋은 특성을 갖는다<sup>[4]</sup>.

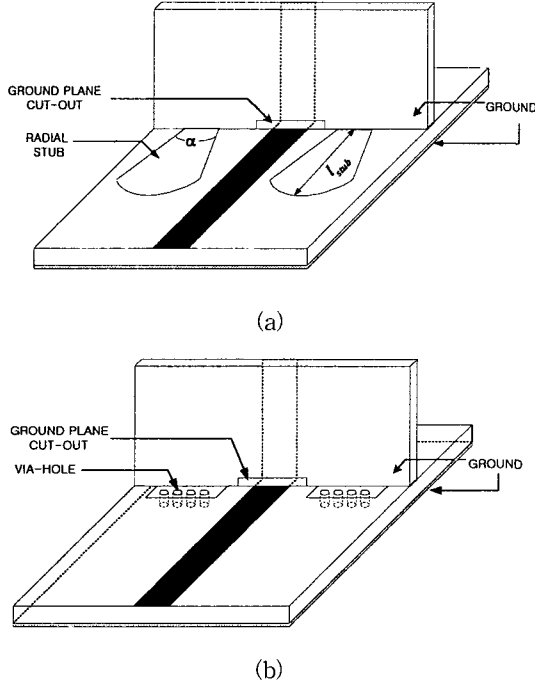


그림 1. (a) 방사형 스텐브, (b) 비아 라인을 이용한 수직 전이의 접지 구조

Fig. 1. Schematic of ground connection for the vertical microstrip transition using (a) Radial stub, (b) Via line.

## 2. 설계 방법

그림 2에 보인 구조에서 방사형 스텐브의 길이는 Atwater의 이론을 근거로 설계하였다<sup>[13]</sup>. 식 (1)은 방사형 스텐브의 리액턴스 (reactance)를 나타낸 것으로 방사형 스텐브의 모서리 부분에서 발생하는 fringing field가 없는 것으로 가정하고 얻은 것이다. 이 식에서 각각의 파라미터 (parameter)는 식 (2)~(5)를 통하여 얻을 수 있으며, 식에서  $J_i$ ,  $N_i$ 는 베셀 함수 (Bessel function)의  $i$ 번째 차수 (order)의 1종, 2종 함수이다. 따라서 공진 주파수에서  $X = 0$ 을 만족시킨다고 가정하면 방사형 스텐브의 길이는 식 (2)~(5)의 파라미터를 이용하여 식 (1)로부터 계산할 수 있다. 식 (1)에서 위 가정을 만족시키려면  $\theta_1$ 과  $\psi_2$ 가  $90^\circ$ 의 위상 차를 가져야만 하며 이러한 조건을 만족시키는 식을 (6)과 같이 얻을 수 있다. 식 (6)을 방사형 스텐브의 길이에 대

해 풀면 식 (7)과 같은 결과를 얻을 수 있다. 식 (7)은  $r_1$ 의 길이가  $r_2$ 에 비해 매우 작다는 가정에서 성립한다. 식 (1)에서 방사형 스텐브의 중심각이 증가함에 따라 리액턴스가 작아지는 것을 확인할 수 있으며, 넓은 대역에 걸쳐 낮은 리액턴스를 갖게 되므로 대역폭이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 중심각이 커지면 일반적인  $\lambda/4$  스텐브에 비해 분산 (dispersion)이 더 작아지므로 역시 대역폭이 증가하게 됨을 알 수 있다. 식 (7)에서 유효 상대 유전상수 ( $\epsilon_{re}$ )는 방사형 스텐브의 중심각이  $90^\circ$  이상으로 증가하면 유전상수 ( $\epsilon_r$ )로 근사할 수 있다. 따라서 본 논문에서 해석한 구조는 중심각이  $180^\circ$  이므로 위에서 근사한 식을 이용하여 방사형 스텐브의 길이를 계산하였다.

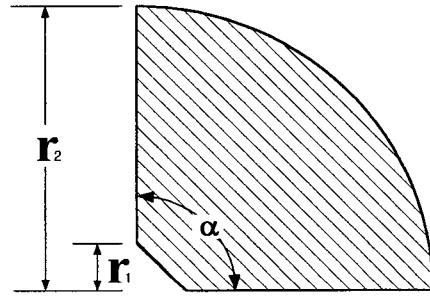


그림 2. 방사형 스텐브의 구조 및 설계변수  
Fig. 2. Structure and variable of radial stub

$$X = \frac{h}{2\pi r_1} Z_0(r_1) \frac{360}{\alpha} \frac{\cos(\theta_1 - \psi_2)}{\sin(\psi_1 - \psi_2)} \quad (1)$$

$$\tan \theta_1 = \frac{N_0(kr_1)}{J_0(kr_1)} \quad (2)$$

$$\tan \psi_i = -\frac{J_1(kr_i)}{N_1(kr_i)} \quad (i=1,2) \quad (3)$$

$$Z_0(r_1) = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{[J_0^2(kr_1) + N_0^2(kr_1)]^{1/2}}{[J_1^2(kr_1) + N_1^2(kr_1)]^{1/2}} \quad (4)$$

$$k = \frac{2\pi\sqrt{\epsilon_{re}}}{\lambda_0} \quad (5)$$

$$\frac{N_1(kr_2)}{J_1(kr_2)} = \frac{N_0(kr_1)}{J_0(kr_1)} \quad (6)$$

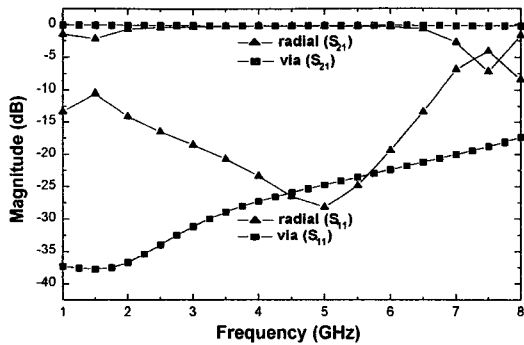
$$l_{stub} = r_2 - r_1 \cong \frac{\lambda_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (7)$$

## III. 해석 및 측정 결과

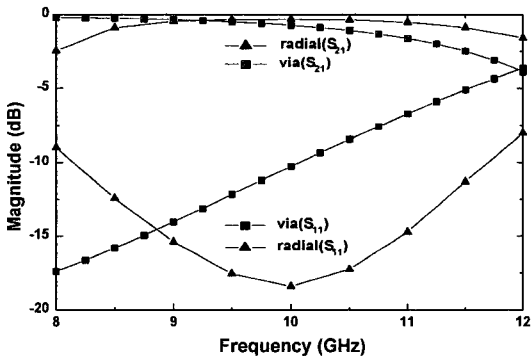
1. 수치해석 결과

비아와 각기 다른 길이를 갖는 방사형 스테브의 접지 특성을 유한 요소법을 사용하는 상용 시뮬레이터 (HFSS : High Frequency Structure Simulator)를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 순수한 접지 연결에 의한 영향만을 보기 위하여 도체와 유전체 손실은 무시하였다. 또한 입력단과 출력단을 제외한 나머지 경계면은 구조로부터 충분히 떨어진 지점에 흡수경계조건 (Absorbing Boundary Condition : ABC)을 적용하였으며 그 결과를 그림 3에 도시하였다. 각각의 결과에 대한 방사형 스테브의 구조는 스테브의 길이가 3mm, 1.5mm이고 중심각이 180° 이다. 그림에서 보면 주파수가 증가함에 따라 비아를 이용한 방식은 반사손실이 증가함을 볼 수 있다. 이는 고주파에서 비아가 유도성 리액턴스로 동작하는 것에 기인한다. 그러나

방사형 스테브를 이용한 간접 접지 방식은 설계한 주파수를 중심으로 저주파에서 중심주파수로 갈수록 반사손실이 감소하고 고주파로 갈수록 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 방사형 스테브의 공진 (resonance)에 의한 것으로 그림 3(a)의 방사형 스테브를 이용한 접지 방식은 약 2.2~6.4 GHz의 주파수 대역에서 반사손실 15 dB 이상, 삽입손실 0.5 dB 이하의 특성을 나타내었으며, 특히 4.5~5.5 GHz 부근에서는 반사손실이 25 dB 이하로 비아 방식에 비해 우수한 성능을 나타낸다. 또한 그림 3(b)를 보면 방사형 스테브를 사용한 구조는 9~11 GHz의 주파수 범위에서 우수한 특성을 나타내지만 비아를 이용한 방식은 반사손실이 거의 선형적으로 증가하여 8.8 GHz 이상에서는 좋지 않은 특성을 나타낸다. 이러한 해석 결과로부터 일정한 고주파 대역에서 수직 전이 구조의 공통 접지 연결은 비아를 이용하는 것 보다 방사형 스테브를 이용하는 것이 더 유리함을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 스테브 길이 3 mm (b) 스테브 길이 1.5 mm를 갖는 방사형 스테브와 비아 라인을 이용한 접지의 특성

Fig. 3. Simulated results of ground using via line and radial stub with (a) stub length 3 mm, (b) radial stub length 1.5 mm.

2. 제작 및 측정

수직 전이 구조의 실제 제작은 시뮬레이션에서 사용한 CER-10 기판 대신에 FR-4 기판을 사용하였다. CER-10 기판은 유전상수가 높으므로 패턴의 크기가 매우 작아 제작에 어려움이 있을 뿐만 아니라 제작상의 오차가 전체 특성에 크게 영향을 미치기 때문에 FR-4를 이용하여 제작하였다. 사용된 FR-4 기판은 유전상수 ( $\epsilon_r$ ) 4.56, 기판 두께 1.26 mm를 갖는다. 측정은 1~5 GHz 범위에서 벡터 회로망 측정기 (Vector Network Analyzer : VNA)를 이용하여 수행하였다. 제작 구조는 방사형 스테브의 길이가 7.45 mm 즉 중심주파수가 3 GHz이고, 중심각은 180° 를 갖도록 설계하였다. 그림 4는 해석 결과와 측정 결과를 비교한 것으로 공진이 발생하는 중심주파수가 2.5 GHz로 0.5 GHz 정도 이동한 것을 알 수 있다. 이는 식 (7)을 얻을 때 방사형 스테브의 모서리를 자계벽 (magnetic wall)으로 가정하였지만 실제로는 fringing field가 발생하기 때문이다. 따라서 설계시 계산한 물리적 길이 이외에 fringing field에 의한 전기적 길이가 더해져 방사형 스테브의 길이가 길어지므로 중심주파수가 저주파로 이동하게 된다.

그림 5에 제작된 방사형 스테브와 비아를 이용한 공통 접지의 특성을 비교한 그래프를 도시하였다. 제작된 비아의 크기는 직경이 1 mm를 갖도록 하였으며, 전송

선로 양쪽으로 각각 6개씩 위치시켰다. 그림에서 알 수 있듯이 방사형 스테브를 이용한 방식은 2.5 GHz 부근에서 반사손실 40 dB, 삽입손실 1 dB의 특성을 나타낸다. 이에 비해 비아를 이용한 방식은 비아 인덕턴스로 인해 반사 손실 특성이 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이 결과를 통해 제작된 구조는 해석 결과와 실험을 통한 측정값이 거의 일치함을 확인할 수 있었으며 공정이 어려운 비아를 사용하지 않고 그와 유사한 특성을 얻을 수 있음을 확인하였다. 실험 결과를 통해 방사형 스테브를 사용한 공통 접지 연결 방식이 3차원 집적 회로에 효과적으로 사용 가능함을 알 수 있다.

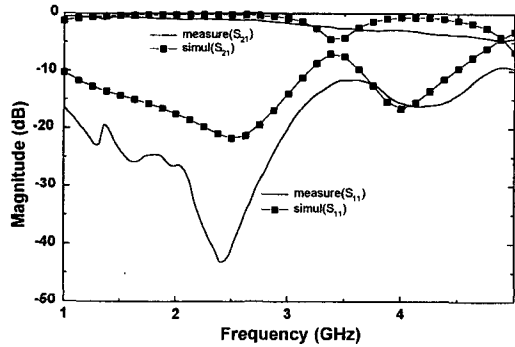


그림 4. 방사형 스테브의 해석 및 측정 결과  
Fig. 4. Simulated and measured results of grounding using radial stub.

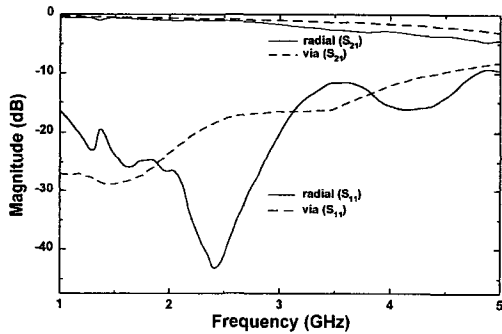


그림 5. 방사형 스테브와 비아의 접지 특성 비교  
Fig. 5. Measured results of grounding using radial stub and via line.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 수직으로 전이되는 마이크로스트립의 효

과적인 접지 연결을 위하여 전자기적 결합을 이용한 방사형 스테브 방식을 제안하였다. 제안된 방사형 스테브 방식의 수직 전이 구조는 스테브의 길이를 변화시키며 해석하였다. 해석 결과, 설계한 중심 주파수에서 공진이 발생함을 확인할 수 있었으며, 2 GHz 이상의 대역폭 범위에서 반사손실 15 dB 이상, 삽입손실 0.5 dB 이하의 특성을 나타내었다. 또한 비아를 이용한 방식과 비교하여 일정한 주파수 범위에서는 보다 더 우수한 특성을 갖는 것을 확인하였다. 따라서 방사형 스테브를 이용한 방식이 비아를 이용한 방식에 비해 좁은 대역 특성을 갖는 단점이 있지만, 방사형 스테브의 길이를 조절함으로써 필요로 하는 주파수 대역에서 사용할 수 있으므로 보다 더 효과적으로 사용할 수 있다.

방사형 스테브를 이용한 간접 접지 방식은 전기적 성능에 있어서도 우수하며, 비아 제작을 위한 별도의 공정이 필요하지 않으므로 비용 측면에서도 매우 효율적이다. 따라서 본 논문에서 제시한 방사형 스테브를 이용한 3차원 집적 구조의 공통 접지 방식은 고집적, 저비용을 위한 수직으로 전이되는 마이크로스트립의 접지 연결을 위하여 적합하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Katherine J. Herrick, Jong-Gwan Yook and Linda P. B. Katehi, "Microtechnology in the development of three-dimensional circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-46, No. 11, pp. 1832-1844, Nov. 1993.
- [2] Wooldridge J., "High density microwave packaging for T/R modules," *IEEE MTT-S Dig.*, pp.181-184, 1995.
- [3] J. A. Costello, M. Kline, F. Kuss, W. Marsh, R. Kam, B. Fasano, M. Berry and N. Koopman, "The westinghouse high density microwave packaging program," *IEEE MTT-S Dig.*, pp.177-180, 1995.
- [4] L.Hyden, S. Hagelin, P. Starski and Klas Yhland, "Analysis and design of a vertical CPW transition between microstrip planes," *IEEE MTT-S Dig.*, pp. 727-730, 1997.
- [5] P. Monfraix, A. Coello Vera, O. Llopis, P.

- Ulian, S. George, C. Drevon, C. Tronche and F. Graffeuil, "New 3D low loss, wide band microwave interconnection," *IEEE MTT-S Dig.*, pp. 1551-1554, 1997.
- [6] A. Contolatis and V. Sokolov, "90° RF vertical interconnect," *Microwave Journal*, vol.36, No.6, pp. 102-104, June 1993.
- [7] K. C. Gupta, Ramesh Garg, Inder Bahl, Prakash Bhartia, *Microstrip Lines and Slotlines*, 2nd ed. Artech House, 1996.
- [8] Qizheng Gu, Y. Eric Yang and M. Ali Tassoudji, "Modeling and analysis of vias in multilayered integrated circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-41, No. 2, pp. 206-214, Feb. 1993.
- [9] Franco Giannini, Robert Sorrentino and Jan Vrba "Planar circuit analysis of microstrip radial stub," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-32, No. 12, pp. 1652-1655, Dec. 1984.
- [10] Gildas P. Gauthier, Linda P. Katehi and Gabriel M. Rebeiz, "W-band finite ground coplanar waveguide (FGCPW) to microstrip line transition," *IEEE MTT-S Dig.*, pp. 727-730, 1998.
- [11] Georg Strauß Peter Ehret and Wolfgang Menzel, "On-wafer measurement of microstrip-based MIMICs without via holes," *IEEE MTT-S Dig.*, pp. 1399-1402, 1996.
- [12] Dylan F. Williams and Tom H. Miers, "A coplanar probe to microstrip transition," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-36, No. 7, pp. 1219-1223, July 1988.
- [13] Harry A. Atwater, "Microstrip reactive circuit elements," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-31, pp. 488-491, June 1983.

---

 저 자 소 개
 

---



權 德 圭(正會員)

1976년 12월 1일생. 1999년 아주대학교 전파공학과 졸업(공학사). 현재 아주대학교 전자공학부 석사과정. 주관심 분야는 초고주파 수동 소자 및 초고주파 패키징 기법 등

李 仲 鎬(正會員) 第 35卷 D編 第8號 參照

현재 한국 전자 종합연구소 연구원

李 海 英(正會員) 第 35卷 D編 第11號 參照

현재 아주대학교 전자공학부 부교수