

TE_{01δ} 모드 유전체 공진기와 코플레나 웨이브가이드 구조들과의 결합 특성 연구

Study on Coupling Characteristics between TE_{01δ} Mode Dielectric Resonator and Coplanar Waveguide Structure

김종혁*, 김인석*

Jong-Hyuk Kim* and Ihn S. Kim*

요 약

본 논문에서는 기존 코플레나 웨이브가이드(CPW), 유한접지(FG) CPW, 그리고 접지(G) CPW와 같은 세 종류의 균일단면 구조의 CPW와 TE_{01δ} 모드 유전체공진기(DR : Dielectric Resonator)간의 결합 특성을 연구하고 마이크로스트립과 DR과의 결합과 같은 병렬 공진 특성을 보이는 CPW 와 DR간의 결합회로의 설계 방법을 제안한다. 결합 특성은 DR을 CPW의 접지와 신호선사이의 두 간격 중의 하나의 중심 상에 유전체 지지대(Support)를 이용하여 위치시키고 접지 방향으로 이동하면서 연구되었다. HFSS(High Frequency Structure Simulator : Finite Element Method Commercial Tool)의 시뮬레이션과 측정된 S-파라미터 값은 잘 일치했다. 마지막으로, 위에서 언급한 세 종류의 CPW와 DR과의 결합과 마이크로스트립라인과 DR과의 결합을 무부하 품질계수인 Q_u를 이용하여 비교하였다. 비교결과 CPW와 DR과의 결합은 마이크로스트립라인과 DR과의 결합보다 높은 Q_u 값을 나타냈고 그 중에서 GCPW와 DR과의 결합이 가장 높은 Q_u를 보여줬다.

Abstract

In this paper, we propose that three uniform coplanar waveguides(CPWs), such as a conventional, finite grounded(FG), and grounded(G) CPWs, can be coupled with a TE_{01δ} mode dielectric resonator(DR) for a parallel resonant characteristic as a microstrip line coupled with the DR. Coupling characteristics have been investigated by placing the DR on a dielectric support above the CPWs and by moving the DR away from the center of a slot of the CPWs to the ground plane. FEM simulation(HFSS) results in terms of S-parameters agree well with measurement results. Finally, unloaded Q values of the DR coupled with the three uniform CPWs are compared with those of the DR coupled with a microstrip line. The comparison shows that the DR coupled with the three CPWs has higher unloaded Qs than that coupled with a microstrip line and that the GCPW case has the highest unloaded Qs.

Key words : Conventional coplanar waveguide, CPW, finite grounded, grounded coplanar waveguide, TE_{01δ} mode, dielectric resonator, coupling

I. 서 론

마이크로웨이브 회로에서는 원통형 DR이 간단한

* 경희대학교 전자정보대학(College of Electronics and Information, KyungHee University)

· 제1저자 (First Author) : 김인석

· 접수일자 2005년 11월 3일

구조, 상업적 유용성 과 쉬운 튜닝 때문에 주파수 선택형 소자로 사용되고 있다. 그리고 DR은 높은 Q 특성, 저렴한 가격, 작은 크기, 온도 안전성, MIC(Microwave Integrated Circuit)와 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)와 같은 평면형 전송 매체의 호환성이 좋은 특성 때문에 특히 다양한 마이크로웨이브 필터(Filter)와 발진기(Oscillator)쪽에서의 응용이 지난 30년간 계속 증가해왔다[1],[2].

필터, 발진기와 기타 주파수 선택성 회로 설계 시에 평면형 전송 매체와 원통형 TE_{016} 모드 DR과의 결합은 대부분 마이크로스트립라인구조로 구현되고 있다. 왜냐하면 MIC와 MMIC 응용을 위한 DR과 마이크로스트립라인과의 결합에 대한 많은 정보가 최근까지 논문 [1]-[9]에서 많이 알려졌기 때문에 마이크로스트립라인 구조가 채택되었다.

지난 10년간 (M)MIC 평면형 회로 설계의 경향은 코플래나 웨이브가이드(CPW)의 다양한 장점 [10]-[12] 때문에 마이크로스트립에서 CPW쪽으로 옮겨가고 있다. DR과 다양한 CPW 구성에 대한 결합 정보는 회로 설계를 위해서 필요하다. 그러나 이러한 주제에 대한 연구는 제한된 수의 논문에서 찾아볼 수 있다 CPW와 DR 결합이 위스퍼링 갤러리(Whispering Gallery) 모드로 동작한다는 논문[13]과 CPW와 DR 안테나의 결합에 대한 두 편의 논문 [14],[15]이다.

또한CPW DRO (Dielectric Resonator Oscillator) 회로[16]-[18] 경우에도 주파수 안정화 특성을 위한 공진부의 전송매체를 CPW를 사용하지 않고 마이크로스트립라인과 DR의 결합을 이용했다. 그래서 [16]-[18]에서 CPW와 마이크로스트립 사이에 천이구조가 부가적으로 삽입되고 마이크로스트립라인의 회로부분에는 접지가 추가됐다. 그러므로 병렬공진 회로 제작 시에 크기와 제작의 복잡성을 감소시키기 위해 CPW와 DR의 결합의 필요성이 요구 되어 왔었다.

최근에 CPW와 DR과의 결합 특성에 관한 연구 [19]가 발표되었지만 이 연구는 CPW와 DR의 결합이 마이크로스트립의 경우처럼 병렬공진 특성을 얻기 위해 사용될 수 있다는 것과 CPW에서 DR의 위치는

마이크로스트립라인의 환경과는 다르다는 점만 보여준다. 그리고 상기 논문에서는 시존 형태의CPW 구조의 CPW와 DR과의 결합의 경우에 대해서만 연구되었다.

그렇지만 (M)MIC 회로 설계에서 FG(Finite Grounded)CPW와 G(Grounded)CPW 구조와 DR의 결합구조도 필요하다. 그래서 본 논문에서 기존CPW, FGCPW와 GCPW와 같은 세 가지 균일단면을 구조의 CPW와의 DR간의 결합 특성을 연구하고 병렬 공진 특성을 위한 결합구조의 설계 방법을 제안한다.

본 연구는 첫 번째로 HFSS(High Frequency Structure Simulator : Finite Element Method Commercial Tool)의 시뮬레이션을 이용해 DR과 세 가지 구조의 균일단면을 가지는 CPW와의 결합에 대한 전자기장 분포를 연구하고 마이크로스트립라인과 DR과의 결합에 있어서 전자기장 분포와 비교했다. DR과 세 종류의 균일단면을 가지는 CPW와의 결합시의 장 분포가 DR과 마이크로스트립라인과 DR과의 결합시의 장 분포와 같은 TE_{016} 모드를 갖는지를 확실히 하기 위해 연구했다. 그리고 DR과 세 종류의 균일단면을 가지는 CPW와의 결합 특성비교도 포함한다.

그리고 세 종류의 CPW에 TE_{016} 모드 DR이 결합되었을 때 장 분포로부터 결합특성, 이를 S-파라미터를 이용하여 조사하고 측정하였다. 그리고 시뮬레이션과 실험결과를 비교하였다. 마지막으로, 위에서 언급한 세 종류의 CPW와 DR과의 결합과 마이크로스트립라인과 DR과의 결합을 무부하 품질계수인 Q_u 를 이용하여 비교하였다.

II. 결합 구조와 모델링

결합특성 연구에 사용된 세 종류의 균일단면을 가지는 CPW와 DR의 결합은 그림 1, 2과 3에서 각각 CPW, FGCPW와 GCPW를 보여준다. 세 종류의 균일단면을 가지는 CPW에 DR이 결합될 때의 전송특성은 HFSS 시뮬레이션을 이용해 연구되었다. 결합 특성은 DR을 CPW의 접지와 신호선사이의 두 간격 중의 하나의 중심 상에 지지대(Support)를 이용하여 위치시키고 접지 방향으로 이동하면서 연구되었다.

지시대는 유전율 2.2의 유전체로 높이는 H이다. 결합 특성은 높이에 의해 영향을 받는다.

시뮬레이션 결과 세 종류의 균일단면을 가지는 CPW와 DR의 결합은 TE_{01δ} 모드를 갖는다는 것을 보여주고 그에 대한 DR 내부의 자기장 분포를 그림 4에서 보여준다. 그림 4는 세 종류의 균일 단면을 가지는 CPW와 DR과의 결합에 의한 병렬 공진 주파수에서의 DR 내부의 자기장 분포이다. 그림 4의 자기장 분포는 마이크로스트립과 DR의 결합[1]-[3]의 경우와 같은 TE_{01δ} 모드를 갖는다. DR(DRD051U E022; Murata)의 공진주파수는 10 GHz 근처이다. 기판의 상대유전율은 2.52이고 두께는 0.54 mm이다. 본 연구에서 사용된 세 종류의 균일단면을 가지는 CPW와 DR의 결합구조와 수치는 다음에서 보여준다.

2-1 기존 CPW 경우

기존 CPW와 DR과의 결합 특성은 그림 1처럼 아랫면 접지가 없는 균일단면을 가지는 구조에서 연구되었다. CPW의 중간 신호선의 폭은 3.8 mm, 접지와 신호선사이의 간격의 폭은 0.182 mm이고 표 1에 포함되어 있다. 결합 특성은 위에 설명된 과정으로 연구되었다.

2-2 FGCPW 경우

FGCPW와 DR과의 결합 특성은 그림 2처럼 윗면 접지가 유한한 폭을 갖는 구조에서 연구되었다. FGCPW의 치수는 표 1에 실려 있다. FGCPW와 DR과의 결합 특성은 위와 동일한 과정으로 연구되었다.

2-3 GCPW 경우

GCPW와 DR과의 결합 특성은 그림 3처럼 아랫면 접지 평면을 갖는 구조에서 연구되었다. GCPW의 치수는 표 1에 실려 있다. 이 구조의 경우는 표면파를 억제하기 위해서 비아를 사용했다. GCPW와 DR과의 결합 특성은 상기의 과정과 동일하게 연구되었다.

2-4모델링 경우

세 종류의 균일단면을 가지는 CPW와 DR의 결합에서 장 분포에 대한 연구가 수행됐다. 우리는 세 종류의 CPW와 DR간의 결합에서 발생된 모드가 마이크로스트립라인의 DR과의 결합에서 발생된 모드인 그림 4처럼 동일한 TE_{01δ} 모드가 DR내에 나타난다는 것을 알게 됐다. 이러한 장 분포로부터 이 구조는 그림 5의 전송선회로상에 직렬로 연결된 병렬 공진 회로로 볼 수 있다.

이 회로는 마이크로스트립라인과 DR의 결합 경우처럼 S-파라미터로 모델링될 수 있다[5].

$$S_{11} = \frac{Z_t/Z_o}{2 + Z_t/Z_o} e^{-2j\theta} \tag{1}$$

$$S_{21} = \frac{2}{2 + Z_t/Z_o} e^{-2j\theta} \tag{2}$$

여기에서 θ 는 그림 5의 CPW의 전기적 길이다.

그리고 입력 임피던스는

$$Z_i = \frac{Z_t}{1 + jX} \tag{3}$$

여기에서

$$Z_t = \omega_o Q_u \frac{L_m^2}{L_r}$$

$$X = \frac{\omega - \omega_o}{\omega_o} \tag{4}$$

ω_o 는 공진주파수, Q_u 는 무부하 품질 계수, L_m 은 상호 인덕턴스, 그리고 L_r 는 DR의 인덕턴스이다.

표 1. 세종류의 CPW 구조의 치수
Table 1. DIMENSIONAL DATA OF THE THREE UNIFORM CPW STRUCTURES (UNIT : mm).

치 수	기존CPW	FGCPW	GCPW
A	17.918	7.918	17.75
B	0.182	0.182	0.5
C	3.8	3.8	1.5

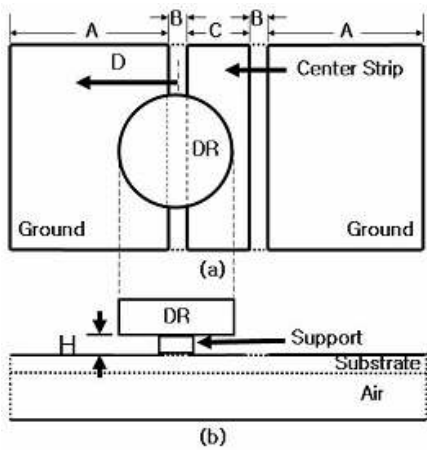


그림 1. 기존 CPW와 TE₀₁₆모드 DR의 모델 구조의 (a) 평면도와 (b) 단면도
Fig. 1. (a) A top and (b) a cross sectional structures to model coupling characteristics between a CPW and a TE₀₁₆ mode DR.

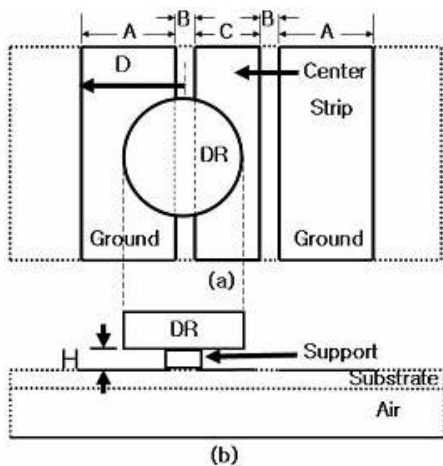


그림 2. FGCPW와 TE₀₁₆모드 DR의 모델 구조의 (a) 평면도와 (b) 단면도
Fig. 2. (a) A top and (b) a cross sectional structures to model coupling characteristics between a finite grounded CPW and a TE₀₁₆

mode DR.

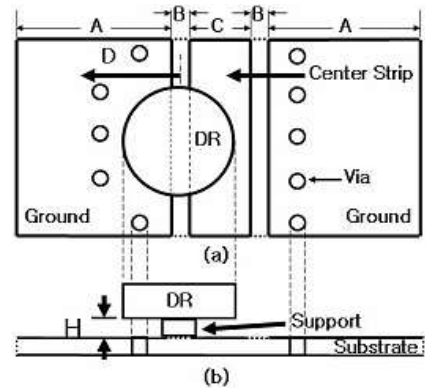


그림3. GCPW와 TE₀₁₆모드 DR의 모델 구조의 (a) 평면도와 (b) 단면도
Fig. 3. (a) A top and (b) a cross sectional structures to model coupling characteristics between a grounded CPW and a TE₀₁₆ mode DR.

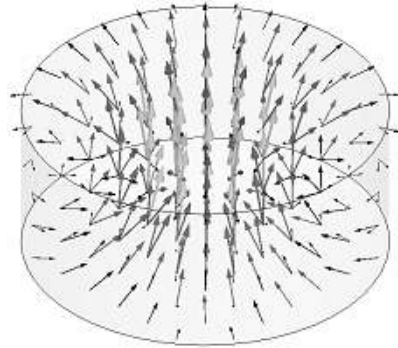


그림 4. 세 종류의 균일단면을 가지는 CPW구조와 DR의 결합 했을 때의 DR 내부의 자기장의 분포
Fig. 4. Magnetic field distribution showing the TE₀₁₆ mode in the DR coupled with either one of the three different uniform CPWs.

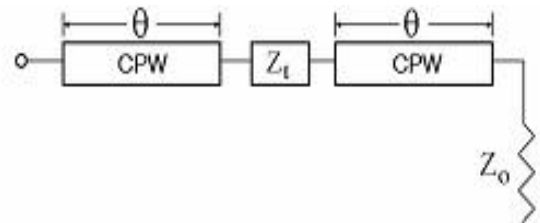


그림 5. 본 연구의 결합 구조에 대한 등가회로
Fig. 5. Equivalent circuit for the coupling structures examined in this study.

III. 시뮬레이션과 측정

세 종류의 균일단면을 가지는 CPW와 DR의 결합 구조는 HFSS를 사용해 시뮬레이션 하고 Anritsu 37269C Network Analyzer를 사용하여 측정하였다. DR은 그림 1, 2와 3에서와 같이 CPW의 접지와 신호선사이의 간격에 위치한다. 결합 특성은 DR과 CPW 사이에 지지대(Support)를 이용하여 접지와 신호선사이의 간격의 중간부터 접지 방향으로 이동시키면서 연구되었다. 그림 6는 FGCPW와 DR의 실험용 회로 사진이다.

첫 번째는 기관의 표면으로부터 높이 H를 증가하면서 결합 특성을 연구했고, 두 번째로 결합 특성은 DR을 접지와 신호선사이의 간격의 중앙으로부터 거리 D를 증가시키면서 연구했다. 거리 D는 처음에는 두 접지와 신호선사이의 간격 중에 하나의 중앙에 위치한다. 지지대의 적절한 높이는 H = 1 mm이다. |S₁₁|과 |S₂₁|의 특성은 H=1 mm일 때 거리 D를 증가시키면서 시뮬레이션과 측정을 했다. 세 종류의 CPW와 DR과의 결합에 대한 시뮬레이션과 측정된 S-파라미터 특성이 그림 7, 8, 9, 10, 11과 12에 비교되어 있다. 모든 세 종류의 CPW의 시뮬레이션 결과가 측정결과와 잘 일치했다.

3-1 기존 CPW 경우

CPW에 대한 시뮬레이션과 측정된 |S₁₁|특성이 그림 7에 비교되어있다. |S₂₁|특성은 그림 8에 보이고 D ≤ 1.5 일 때 시뮬레이션과 측정 결과에 일정한 차이가 있다. 이러한 차이는 균일단면 CPW와 신호선 근처에 DR이 놓인 CPW의 부정합 손실에 의한 것 같다. D = 1.2 mm 일 때 가장 낮은 |S₂₁|을 갖고 0 dB 반사손실 특성이 얻어진다.

3-2 FGCPW 경우

FGCPW와 DR과의 결합구조의 시뮬레이션과 측정된 S-파라미터 특성이 그림 9과 10에 보인다. 각각의 시뮬레이션 결과와 측정결과가 잘 일치한다. 시뮬레이션과 측정된 |S₁₁|과 |S₂₁|특성은 각각 그림 9, 10에서 비교된다. 그림 9과 10에서, |S₁₁|과 |S₂₁|을 D = 1.5 mm 근처에서 가장 낮은 값을 갖는다. 그 점에서

|S₂₁| 시뮬레이션 결과가 측정결과보다 약 20 dB 정도 높다.

3-3 GCPW 경우

GCPW와 DR과의 결합구조의 시뮬레이션과 측정된 S-파라미터결과가 그림 11과 12에서 각각 보인다. 시뮬레이션 결과는 측정결과와 특성의 변화 경향이 잘 일치한다. 하지만 시뮬레이션과 측정 결과에 어떠한 차이가 있다. 그림 1과 12에서 각각 D = 1.2 mm 근처에서 가장 낮은 |S₁₁|과 |S₂₁|을 갖는다. 이 점에서 |S₂₁|의 시뮬레이션결과가 측정결과보다 약 30 dB정도 높았다.

3-4 Q₀값의 비교

시뮬레이션과 측정된 결과를 토대로, Q₀ 값은 마이크로스트립라인과 세 종류의 균일단면을 가지는 CPW의 DR과 결합 구조에 대해 계산하고 비교했다. 시뮬레이션한 Q₀는 그림 13에서 비교되고 측정값은 그림 14에 비교된다. 모든 세 종류의 CPW, 즉, 기존 CPW, FGCPW, GCPW와 DR과의 결합은 마이크로스트립라인과 DR과의 경우보다 시뮬레이션과 측정 결과에서 더 높은 Q₀를 나타냈다. 그림 13와 14에서 보이는 것처럼 다른 네 종류의 경우 중에 GCPW와 DR과의 결합이 가장 높은 Q₀값을 갖는다. 병렬 공진 주파수에서 마이크로스트립라인과 DR과의 결합을 기준으로 CPW 경우는 20%, FCPW 경우는 38%, GCPW 경우는 70%의 Q₀측정값이 더 높았다.

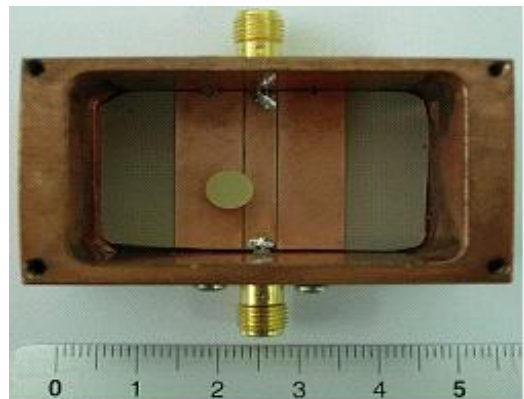


그림 6. FGCPW와 DR과의 결합구조의 사진
Fig. 6. A photograph showing the structure of the

FGCPW coupled with the DR.

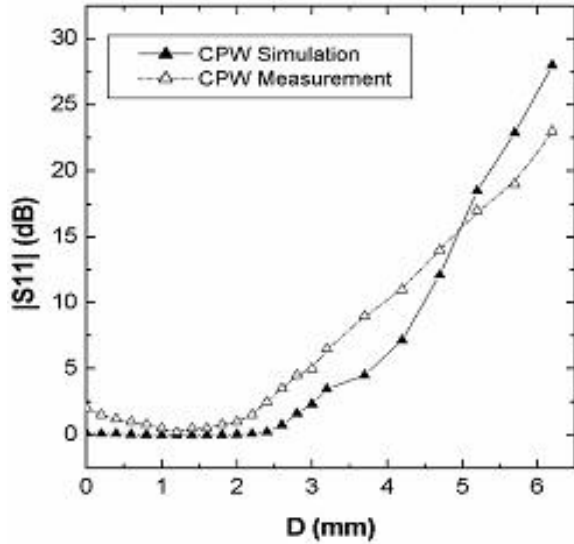


그림 7. 기존 CPW에서 H = 1 mm이고 D를 변화시키며 시뮬레이션과 측정된 $|S_{11}|$ 특성 비교

Fig. 7. Comparison of simulated and measured $|S_{11}|$ characteristics with respect to the variation of the distance D at H=1 mm for the conventional CPW case.

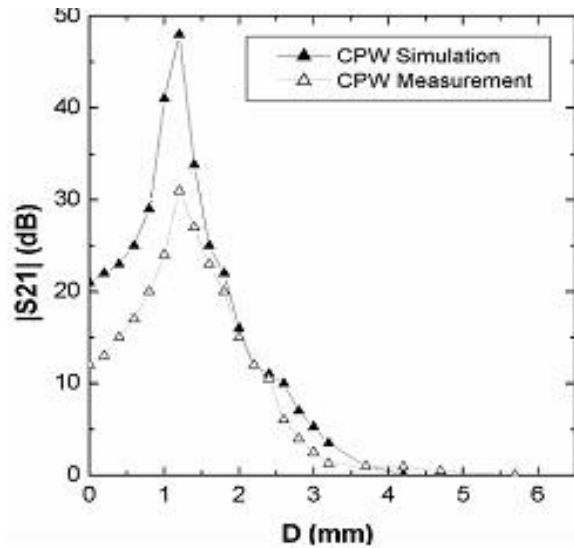


그림 8. 기존 CPW에서 H = 1 mm이고 D를 변화시키며 시뮬레이션과 측정된 $|S_{21}|$ 특성 비교

Fig. 8. Comparison of simulated and measured $|S_{21}|$ characteristics with respect to the variation of the distance D at H = 1 mm for the conventional CPW case.

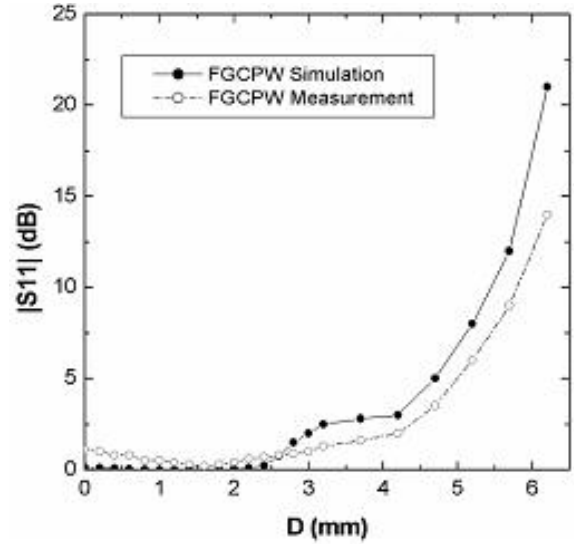


그림 9. FGCPW에서 H = 1 mm이고 D를 변화시키며 시뮬레이션과 측정된 $|S_{11}|$ 특성 비교

Fig. 9. Comparison of simulated and measured $|S_{11}|$ characteristics with respect to the variation of the distance D at H=1 mm for the FGCPW case.

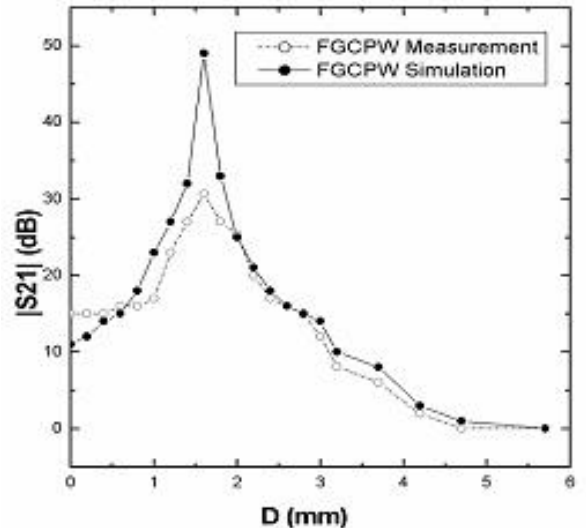


그림 10. FGCPW에서 H = 1 mm이고 D를 변화시키며 시뮬레이션과 측정된 $|S_{21}|$ 특성 비교

Fig. 10. Comparison of simulated and measured $|S_{21}|$ characteristics with respect to the variation of the distance D at H=1 mm for the FGCPW case.

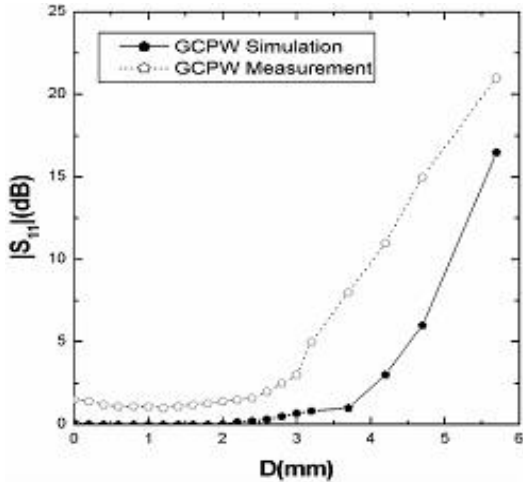


그림 11. GCPW에서 H = 1 mm이고 D를 변화시키며 시뮬레이션과 측정된 |S₁₁| 특성 비교

Fig. 11. Comparison of simulated and measured |S₁₁| characteristics with respect to the variation of the distance D at H = 1 mm for the GCPW case.

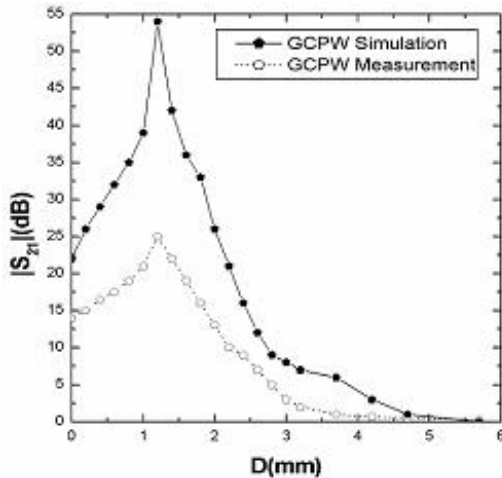


그림 12. GCPW에서 H = 1 mm이고 D를 변화시키며 시뮬레이션과 측정된 |S₂₁| 특성 비교

Fig. 12. Comparison of simulated and measured |S₂₁| characteristics with respect to the variation of the distance D at H=1 mm for the GCPW case.

IV. 결 론

세 종류의 균일단면을 가지는 CPW, 즉, 기존 CPW, FGCPW, GCPW와 TE₀₁₀ 모드 DR과의 결합 특성을 S-파라미터의 형태로 연구하였다. 시뮬레이션과 측정 결과는 모든 세 종류의 균일단면을 가지는 CPW와 DR과의 결합이 마이크로스트립라인과 DR

과의 결합처럼 병렬 공진 회로 요소로 사용될 수 있다는 것을 보여줬다. 병렬 공진 주파수에서 Q_u 값을 측정한 결과, 마이크로스트립라인과 DR과의 결합을 기준으로 CPW 경우는 20%, FCPW 경우는 38%, GCPW 경우는 70%가 더 높았다. 이 연구에서 CPW와 DR과의 결합은 마이크로스트립라인과 DR과의 결합보다 높은 Q_u 값을 나타냈다. 네 가지 다른 종류에 대한 결합 특성이 비교되었다. 비교결과는 네 가지 경우 중에 GCPW와 DR과의 결합이 가장 높은 Q_u를 보여줬다.

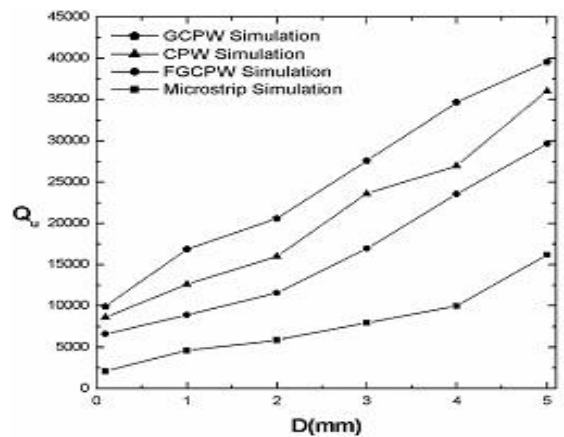


그림 13. 세 종류의 CPW와 마이크로스트립과 DR과의 결합에 대한 Qu 시뮬레이션 값의 비교

Fig. 13. Comparison of simulated unloaded Q for the coupling of the DR to microstrip and to the various CPWs.

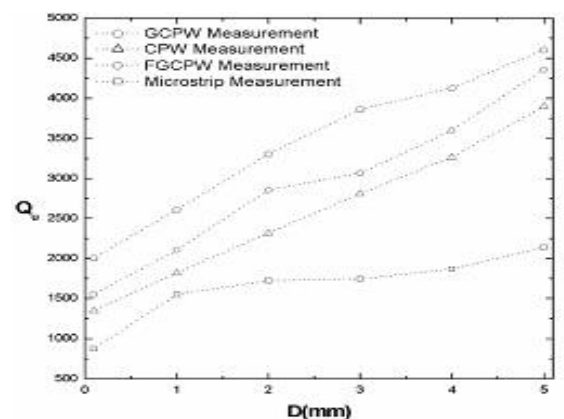


그림 14. 세 종류의 CPW와 마이크로스트립과 DR과의 결합에 대한 Qu 측정값의 비교

Fig. 14. Comparison of measured unloaded Q for the coupling of the DR to microstrip and to the various CPWs.

참 고 문 헌

- [1] D. Kajfez and P. Guillon, *Dielectric Resonators, Second Ed., Noble Publishing Co.*, Chapter 8, pp. 379-430, 1998.
- [2] S. J. Fiedziuszko and S. Holme, "Dielectric Resonators," *IEEE Microwave Magazine*, pp. 51-60, Sept. 2001.
- [3] P. Guillon and Y. Garault, "Coupling between a Microstrip Transmission Line and a Dielectric Resonator," in *1976 IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium Digest*, pp. 200-202 June 1976.
- [4] Y. Komatsu and Y. Murakami, "Coupling Coefficient between Microstrip Line and Dielectric Resonator," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 83, no. 1, pp. 34 - 40, 1983.
- [5] P. Guillon, B. Byzery and M. Chaubet, "Coupling Parameter between a Dielectric Resonator and a Microstripline," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 33, no. 3, pp. 222-226, Mar. 1985.
- [6] X. P. Peng and K. A. Zaki, "Hybrid Mode Coupling of Dielectric Resonators to Microstrip Lines," in *1990 IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium Digest*, pp. 395-398, June 1990.
- [7] D. Kajfez and J. Guo, " Precision Measurement of Coupling between Microstrip and $TE_{01\delta}$ Mode Dielectric Resonators," *Electronics Letters*, vol. 30, no.21, pp.1771-1772, Oct. 1994.
- [8] K. Hosoya, T. Inoue, M. Funabashi, and K. Ohata, "Systematic Evaluation and Analysis for 60 GHz Dielectric Resonators Coupled to a Microstrip Line on a GaAs Substrate," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 46, no. 4, pp. 352-358, April 1998.
- [9] A. M. Ghuniem, A. Mitkees, and N. T. Messiha, "Analysis of End Coupling between Microstrip Line and Cylindrical Dielectric Resonator Using the FDTD Method," *21st National Radio Science Conference(NRSC2004)*, Proceedings of the Twenty First, pp. B23-1-8, March 2004.
- [10] R. N. Simons, *Coplanar Waveguide Circuits, Components, and Systems*. Wiley Interscinc, 2001.
- [11] G. E. Ponchak, "Experimental Analysis of Reduced-sized Coplanar Waveguide Transmission Lines," *2003 IEEE MTT-S International*, vol. 2, pp.971 974, June 2003.
- [12] V. S. Mottonen, "Wideband Coplanar Waveguide-to-Rectangular Waveguide Transition Using Fin-Line Taper," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 2, pp. 119-121, Feb. 2005.
- [13] B. Guillon, D. Cros, P. Pons, K. Grenier, T. Parra, J.L. Cazaux, J.C. Lalaurie, J. Graffeuil, and R. Plana, "Design and Realization of High Q Millimeter-wave Structures Through Micromachining Techniques," in *1999 IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium Digest*, pp. 1519-1522, 4, June 1999.
- [14] Y. Guo and K. Luk, "Dual-Polarized Dielectric Resonator Antennas," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 5, pp. 1120-1123, May 2003.
- [15] Y. Guo and K. Luk, "On Improving Coupling between a Coplanar Waveguide Feed and a Dielectric Resonator Antennas," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 8, pp. 2144-2146, Aug. 2003.
- [16] R. N. Simons, and R. Q. Lee, "Planar Dielectric Resonator Stabilized HEMT Oscillator Integrated with/Aperture Coupled Patch Antenna," in *1992 IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium Digest*, Vol. 1, pp. 433-436, 1-5 June 1992.
- [17] G. Baumann, D. Hollmann, and R. Heilig, "A 29 GHz DRO in Coplanar Waveguide Configuration with an AlGaAs HEMT,"

Integrated Nonlinear Microwave and Millimeterwave Circuits, Third International Workshop, 5-7 Oct. 1994.

[18] H.C. Duran, U. Lott, H. Benedickter, and W. Bachtold, "A K-band DRO in Coplanar Layout with DRY and Wet Etched InP HEMTs," in 1998 *IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium Digest*, vol. 2, pp. 861-863, 2-6 June 1998.

[19] J.H. Kim and I.S. Kim," Coplanar Waveguide Coupled with TE_{01δ} Mode Dielectric Resonator, "in *Proc. 35th European Microwave Conference*, Paris, France, Oct. 2005, pp.181-184.

김 종 혁 (金鍾嫻)



2004년 2월 : 경희대학교 전파공학
학과(공학사)
2004년 2월~현재 : 경희대학교
전파공학과(공학석사)
관심분야 : 초고주파 발진기, 증폭
기, 단말기 Hardware

김 인 석 (金仁奭)



1974년 2월 : 경희대학교 전파공학
과(공학사)
1984년 2월 : Univ.of Ottawa 초고
주파공학(공학석사)
1990년 2월 : University of Ottawa
초고주파공학(공학박사)
1992년~현재 : 경희대학교 전파공
학과 정교수
관심분야 : 초고주파 회로, 증폭기, 레이더기술, EMI,
EMC, 휴대폰 검출기술