



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

GaAs MMIC상에서 주기적 접지구조를 가지는
결합선로의 절연특성에 관한 연구

A Study on Characteristics of Coupled Line
Employing Periodical Ground Structure on GaAs



指導教授 尹 榮

2009 年 8 月

韓國海洋大學校 大學院

電波工學科

金世浩

本 論 文 을 金 世 浩 의
工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 : 姜 仁 鎬 (印)

委 員 : 姜 錫 燁 (印)

委 員 : 尹 榮 (印)



2009 年 8 月

韓 國 海 洋 大 學 教 大 學 院

電 波 工 學 科

金 世 浩

목 차

Nomenclature

Abstract	1
제 1 장 연구 배경 및 목적	3
제 2 장 PGS 선로의 기본 구조와 특성	5
제 3 장 등가회로를 이용한 주기적 접지구조를 삽입한 결합 선로의 공진특성해석	11
제 4 장 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조의 공진특성에 의한 선로 간 절연특성 개선효과	16
제 5 장 주기적 접지구조를 삽입한 결합선로구조에 대한 등가회로 및 closed-form 수식추출	21
제 6 장 결 론	25
참고문헌	27

그림 목 차

그림 2.1 Conventional microstrip line structure	5
그림 2.2 (a) PGS structure	6
그림 2.2 (b) A cross-sectional view according to X-X direction	7
그림 2.2 (c) A cross-sectional view according to Y-Y direction	7
그림 3.1 (a) Top view of the coupled microstrip line structure employing PGS	11
그림 3.1 (b) A cross-sectional view according to X-X direction	11
그림 3.2 Equivalent circuit for a unit section of the adjacent two lines of coupled microstrip employing PGS	12
그림 3.3 Calculated isolation characteristic of the equivalent circuit for a unit section of the adjacent two lines with $T = 5 \mu\text{m}$ and $S = 20 \mu\text{m}$	15
그림 4.1 A photograph of the coupled microstrip line structure employing PGS	16

그림 4.2 Calculated isolation characteristic of the unit section of
그림 3.2 and measured isolation characteristic of the microstrip
line with 18-units section of PGS shown in 그림 4.1 17

그림 4.3 Measured isolation characteristic S12 of the coupled
microstrip line employing PGS and conventional coupled microstrip
line 17

그림 4.4 Measured isolation characteristic S12 of the coupled
microstrip line employing PGS with various values of T 18

그림 5.1 Equivalent circuit for coupled microstrip line employing
PGS with n-units sections 22

그림 5.2 Measured and calculated isolation characteristic S12 of
the coupled microstrip line employing PGS (T = 5 μ m) 23

그림 5.3 Measured and calculated isolation characteristic S12 of
the coupled microstrip line employing PGS (T = 10 μ m) 24

그림 5.4 Measured and calculated isolation characteristic S12 of
the coupled microstrip line employing PGS (T = 20 μ m) 24

표 목 차

표 2-1 GaAs MMIC 상에 제작된 마이크로스트립 선로에 대한 20 GHz
에서의 특성임피던스와 선로파장 21

Nomenclature

- C_a : Capacitance between the line and GND
- Z_0 : Characteristic Impedance
- λ_g : Guided-avelength
- L : Inductance
- f : Frequency
- C_b : Additional Capacitance between the line and PGS
- T : Spacing
- β : Phase Constant
- L : Length of the line
- C_g : Gap capacitance between the line and PGS
- L_g : Inductance of PGS per unit cell



Abstract

A Study on Characteristics of Coupled Line Employing Periodical Ground Structure on GaAs MMIC

In this study, using a periodical ground structure (PGS) on GaAs monolithic microwave integrated circuit (MMIC), transmission line with a high isolation characteristic was developed for application to compact signal/bias lines of highly integrated MMIC. And the origin of the high isolation characteristic was theoretically investigated. The high isolation characteristic was originated from a resonance between adjacent microstrip lines employing PGS. With only a spacing of 20 μm , the coupled microstrip line employing PGS showed an isolation value of -47 dB at 60 GHz. On the other hand, the conventional coupled microstrip line should be 2000 μm to obtain the same isolation characteristic with the PGS. The frequency range for high isolation was easily controlled by changing the PGS structure. Above results indicate that microstrip lines employing PGS are very useful for application to compact signal/bias lines of highly integrated MMIC requiring a high isolation characteristics between lines. In addition, equivalent circuit employing closed-form equation for the

coupled line with PGS was also extracted.



제 1 장 연구 배경 및 목적

최근 SoC (System on Chip)화에 따른 단말기의 소형화, 고집적화가 RF 단말기 시장에서 요구되고 있고, RF 단말기 시장에서의 RF 송수신단은 RF 기술의 발전과 함께 고집적의 디지털 회로와 RF 단말기 부분의 회로가 동일한 반도체 기판에 집적됨에 따라, 반도체 회로의 집적도가 높아지고 회로를 통과하는 신호의 주파수는 수~수십 GHz 단위까지 높아지고 있다.

이에 따라 거리가 가까운 소자 혹은 선로간의 커플링이 가장 큰 문제로 대두되고 있으며, 집적도가 높은 배선부분을 통과하는 신호간의 커플링에 의한 회로의 오동작이 가장 큰 문제가 되고 있다. 특히 고주파 신호가 통과하는 RF용 신호 배선에서 발생하는 인접 선로 간 커플링은 무선통신회로의 오동작을 유발하는 가장 큰 요인이다. 따라서 배선을 통과하는 신호사이의 커플링을 줄이기 위해서는 선로간격을 일정이상으로 띄워야 하며, 이는 실리콘 반도체 집적회로 칩 사이즈를 줄이는데 있어서 가장 큰 장애요인이 되고 있다[1],[2]. 예를 들어, 100 μm 두께의 GaAs 기판 상에서 20 μm 의 선로 폭을 가지는 기존의 마이크로스트립 선로의 경우[3], 60 GHz에서 -20 dB 이상의 절연특성을 얻기 위해서는 인접한 선로들 사이의 간격이 140 μm 이상이어야만 하며, 이는 RF 칩 사이즈를 크게 증가시키는 요인 중의 하나이다.

본 논문에서는 주기적 접지구조, 즉, periodical ground structure

(PGS)[4]를 이용한 높은 절연특성을 가지는 마이크로스트립 결합선로 구조를 개발하였다. 또한, PGS를 이용한 마이크로스트립 선로들 사이의 높은 절연특성의 기원을 등가 회로를 이용하여 이론상으로 분석하였다. 그리고 PGS를 이용한 마이크로스트립 선로에 대한 등가회로 및 closed-form 수식을 확립하였다.



제 2 장 PGS 선로의 기본 구조와 특성

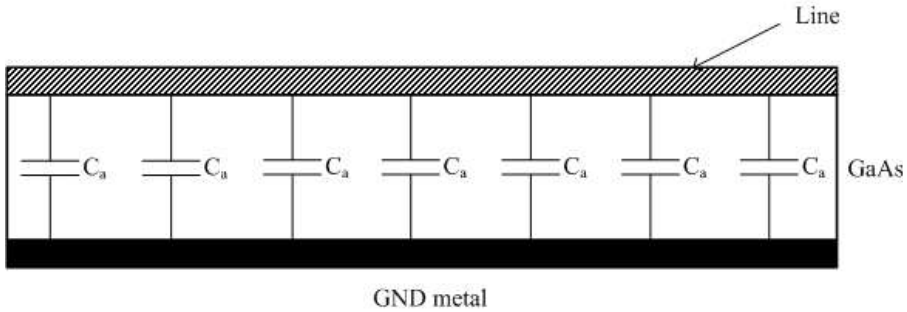


그림 2.1 Conventional microstrip line structure

그림 2.1은 종래의 마이크로스트립 선로구조를 보여준다. 그림 2.1에서 선로와 GaAs 기판의 접지금속막사이의 용량 C_a 는 단위 길이 당 용량에 해당한다. 식 (2.1) 로부터 이러한 마이크로스트립 선로를 포함한 모든 전송선로의 선로파장 λ_g 는 식 (2.2) 로 표현된다[1-4].

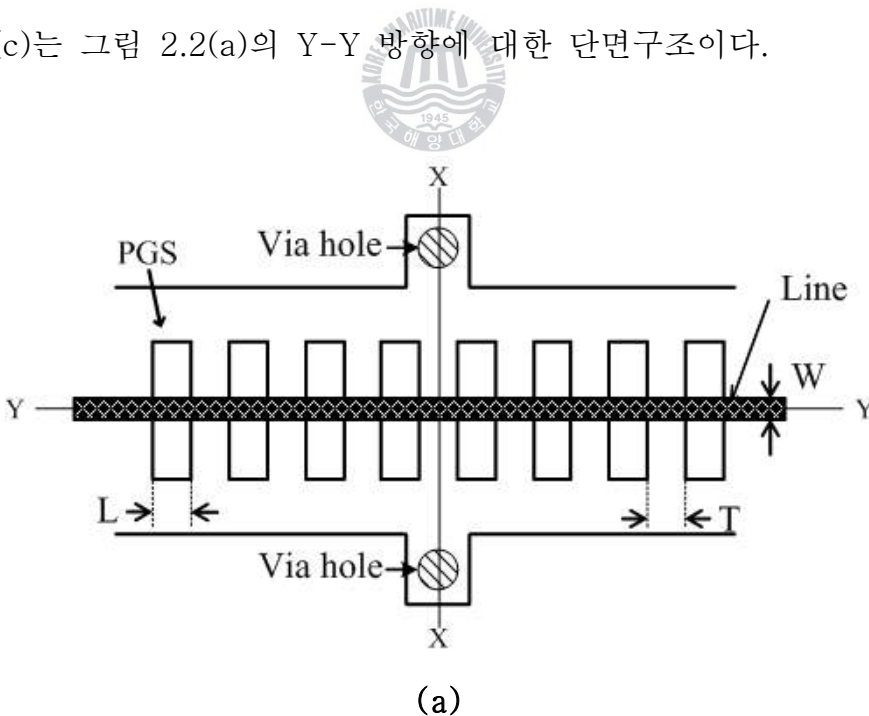
$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (2.1)$$

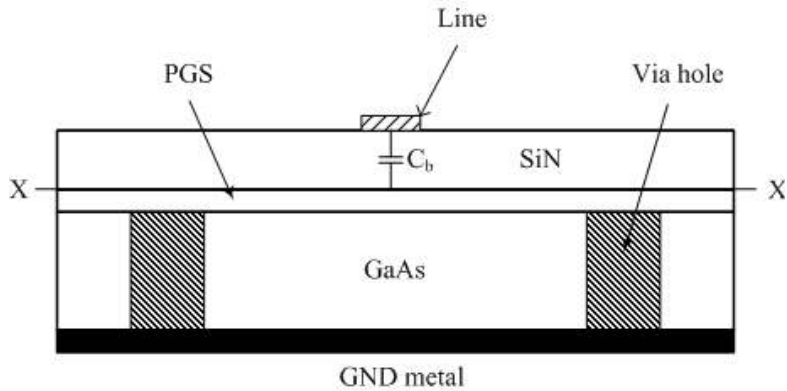
$$\lambda_g = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega \sqrt{LC}} = \frac{1}{f \sqrt{LC}} \quad (2.2)$$

상기 식 (2.2)에서 용량 C 는 그림 2.1의 종래의 선로구조에서의 C_a 에 해당하는 선로와 GaAs 기판의 접지금속막사이의 단위 길이 당 용량에 해당한다. 인덕턴스 L 은 선로의 단위 길이 당 인덕턴스

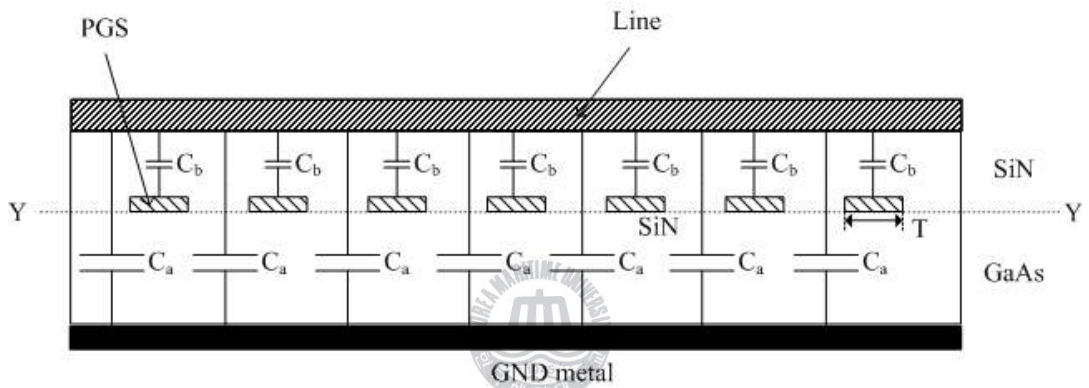
값에 해당하며, 그리고 f 는 동작주파수이다. 상기 식 (2.2)에서 선로와 접지금속막 사이의 용량 C 가 증가할수록 선로파장 λ_g 는 용량 C 에 반비례하여 감소한다. 이러한 선로파장 λ_g 와 용량 C 의 반비례 관계에 의한, 마이크로스트립 선로와 GaAs 기판 뒷면의 접지금속막 사이에 사다리형의 주기적 구조를 삽입하여 선로의 용량성분 C 를 증가시킨 새로운 형태의 전송선로가 제안되었다[4].

그림 2.2는 주기적 접지구조를 삽입한 마이크로스트립 선로구조를 보여주며, 그림 2.2(b)는 그림 2.2(a)의 X-X 방향에 대한 단면구조이다. 그림에서 보는 바와 같이 선로와 GaAs 기판의 접지금속막 사이에 주기적 접지구조를 삽입하였으며, 그리고 주기적 접지구조는 비아홀을 통해서 GaAs 기판의 접지금속막에 연결되어 접지전위를 공급한다. 주기적 접지구조와 선로사이에는 SiN 박막을 삽입하였다. 그림 2.2(c)는 그림 2.2(a)의 Y-Y 방향에 대한 단면구조이다.





(b)



(c)

그림 2.2 (a) PGS structure, (b) A cross-sectional view according to X-X direction, (c) A cross-sectional view according to Y-Y direction

그림 2.2(c)에서 나타나듯이 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조의 단위 길이 당 용량의 경우, 종래의 마이크로스트립 선로구조에서 존재하는 선로와 GaAs 기판의 접지금속막사이의 단위 길이 당 용량 C_a 뿐만 아니라 주기적 접지구조와 선로사이의 용량 C_b 가 추가적으로 존재한다. 따라서 그림 2.1의 종래의 마이크로스트립 선로구조의 경우

식 (2.2)의 용량 C 는 $C = C_a$ 이지만, 그림 2.2의 주기적 접지구조가 삽입된 마이크로스트립 선로에 대해서는 추가적으로 존재하는 용량 C_b 로 인하여 용량 C 가 $C = C_a + C_b$ 가 된다.

따라서 그림 2.1의 종래의 선로구조에 대한 선로파장 λ_g 는

$$\lambda_g = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega \sqrt{LC}} = \frac{1}{f \sqrt{LC_a}} \quad (2.3)$$

이며, 그림 2.2의 주기적 접지구조를 삽입한 선로에 대한 선로파장 λ_g 는

$$\lambda_g = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega \sqrt{LC}} = \frac{1}{f \sqrt{L(C_a + C_b)}} \quad (2.4)$$

가 되어, 주기적 접지구조를 삽입한 선로의 경우, 추가적인 용량 C_b 에 의해 선로파장이 감소하게 된다. 그림 2.2의 선로두께 T , 선로간격 L , SiN 두께를 조절하면 주기적 접지구조를 삽입한 선로사이의 용량 C_b 를 쉽게 변화시킬 수 있으며, 그 결과 λ 의 크기를 조절할 수 있다. 20 GHz 에서의 선로파장과 특성 임피던스에 대한 측정결과가 표 2-1 에 요약되어 있다. 20 GHz 에서의 측정 결과에 의하면, 선로 폭 W 가 20 μm 인 종래의 선로의 경우에는 선로파장이 5.6 mm 인 반면, 선로 폭 W 가 20 μm 인 주기적 접지구조를 삽입한 선로의 경우에는 선로파장이 2.2 mm 로 종래의 선로파장의 40 % 밖에 되지 않는다. 따라서 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조를 이용하면, 선로 파장의 감소에 의해 MMIC 외부의 프린트 기판 상에 설계 및

제작되고 있는 결합기 및 분배기, 필터 등의 대부분의 수동소자의 사이즈를 대폭 축소할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 표 2-1 에서 보는 바와 같이 주기적 접지구조를 삽입한 선로는 단파장 특성뿐만 아니라 저임피던스 특성도 보여주고 있다[3, 5].

표 2-1 GaAs MMIC 상에 제작된 마이크로스트립 선로에 대한 20 GHz 에서의 특성임피던스와 선로파장

	Z_0	λ_g
Conventional microstrip line	70 Ω	5.6 mm
PGS structure	15 Ω	2.2 mm

이는 마이크로스트립 선로의 특성 임피던스 식이 아래의 식 (2.5) 와 같이 선로의 용량에 반비례하기 때문이다.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.5)$$

따라서 그림 2.1의 종래의 선로구조에 대한 특성 임피던스 Z_0 는

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C_a}} \quad (2.6)$$

이며, 그림 2.2의 주기적 접지구조를 삽입한 선로에 대한 특성 임피던스 Z_0 는

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C_a + C_b}} \quad (2.7)$$

가 되어, 주기적 접지구조를 삽입한 선로의 경우, 추가적인 용량 C_b 에 의해 특성 임피던스 Z_0 가 감소하게 된다.

이러한 결과는 MMIC 상의 수동소자 제작에 매우 유리한 점으로 작용한다. 왜냐하면, 최근 선로자체의 파장이 축소된 형태의 단파장 전송선로의 연구가 이루어지고 있으며, 그 중 대표적인 구조로 PBG (photonic bandgap)와 DGS (Defected Ground Structure)가 있다. 하지만, 이러한 PBG나 DGS 구조의 경우는 축소된 선로파장으로 인해 소형화를 위한 전송선로로 사용가능하나, 10 GHz 이하의 낮은 공진주파수 특성으로 인해 그 이상대역에서는 필터로써 이용되어지는 문제점이 있으며, 공진구조에 의한 삽입손실이 증가하는 문제점도 존재한다[6,7]. 또한, PBG 나 DGS 구조의 경우 축소된 선로파장으로 인해 높은 특성임피던스를 가지므로 저임피던스 정합소자 및 수동소자로는 적합하지 않다는 단점을 가진다. 따라서, 그림 2.2의 주기적 접지구조를 삽입한 마이크로스트립 선로구조를 사용함으로써 저임피던스와 높은 공진주파수를 가지는 새로운 구조의 소형화된 전송선로를 이용하여 MMIC 상의 수동소자를 제작할 수 있게 되었다.

제 3 장 등가회로를 이용한 주기적 접지구조를 삽입한 결합 선로의 공진특성해석

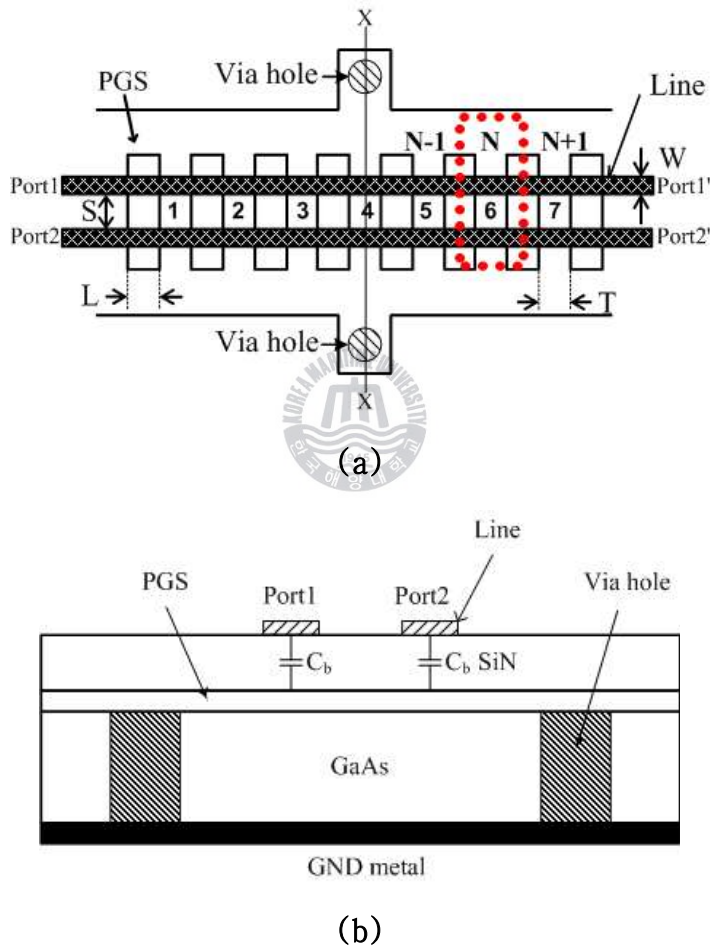


그림 3.1 (a) Top view of the coupled microstrip line structure employing PGS.

(b) A cross-sectional view according to X-X direction

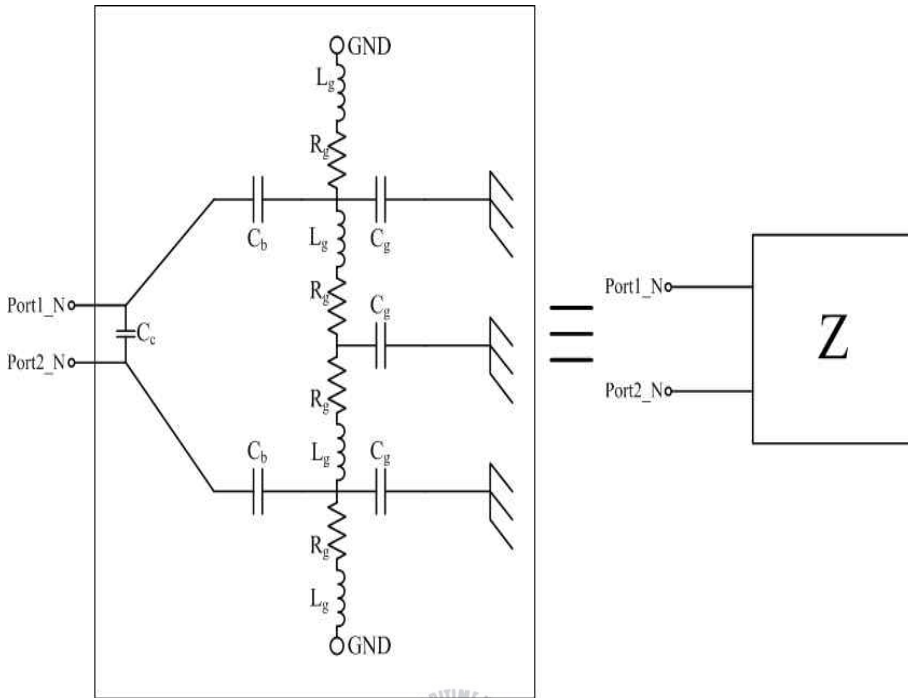


그림 3.2 Equivalent circuit for a unit section of the adjacent two lines of coupled microstrip employing PGS.

그림 3.1(a)는 주기적 접지구조를 이용한 결합 마이크로스트립 선로의 윗면을 보여준다. 그리고 그림 3.1(b)는 그림 2.1(a)의 X-X방향을 자른 단면도에 해당한다. 주기적 접지구조는 SiN 막과 GaAs 기판 사이의 경계면에 삽입되어있다. 그리고 주기적 접지구조는 비아 홀을 통해서 뒷면의 접지금속막에 전기적으로 연결되었기 때문에 그라운드면의 역할을 한다. 그림 3.2는 그림 3.1의 결합선로에 대한 등가 회로를 보여주며, 그림 3.1의 네모 박스에 둘러싸인 주기적 구조의 N 번째 구성 요소의 등가 회로이다. C_b 는 최상위 선로와 주기적 접지구조 사이의 용량과 일치한다. 이것은 그림 3.1(b)에 나타난다. 그리고 상

기용량 C_b 는 선로부분과 주기적 접지구조의 교차면적인, WT 에 비례한다(그림 3.1(a)에서 보는 것처럼 W 와 T 는 각각 최상위 선로와 주기적 접지구조의 선로 폭이다). R_g 와 L_g 는 각각 폭 T 를 가지는 주기적 접지구조의 주기적인 스트립의 손실과 전류 흐름에서 비롯된 인덕턴스이다. C_g 는 주기적 접지구조와 GaAs 기판 뒷면의 접지금속막 사이에 정전용량과 일치한다. L_p 는 비아 홀에서 비롯된 기생 인덕턴스이다. C_c 는 인접한 선로들 사이의 커플링 정전용량이다. 각각의 값들은 다음 식 (3.1)로 나타낼 수 있다. 상기 등가회로에서 알 수 있는 바와 같이 주기적 접지구조를 이용한 결합선로는 공진회로 구조를 보여주고 있으며, 이러한 공진회로구조에 의해 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조는 종래의 전송선로에 비해 매우 높은 절연특성을 가진다. 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조가 고절연 특성을 가지는 이유는 다음과 같이 해석될 수 있다. N 번째 구성요소(그림 3.2의 포트 1 $_N$ 과 포트 2 $_N$ 사이)의 인접한 두 선로사이의 임피던스 Z 는 식 (3.2)로 나타낼 수 있다.

$$Z = \frac{2}{j\omega C_c} \left\{ \frac{\frac{2L_g + L_p}{C_b} - \omega^2 L_g \cdot (L_g + L_p) \cdot \left(\frac{C_g}{C_b} + 1\right)}{\frac{2L_g + L_p}{C_{bc}} - \omega^2 L_g \cdot (L_g + L_p) \cdot \left(\frac{C_g}{C_{bc}} + 2\right)} \right\} \quad (3.1)$$

$$\frac{1}{C_{bc}} = \frac{1}{C_c} + \frac{2}{C_b}$$

위의 식으로부터 그림 3.2의 회로구조는 위의 식의 분모가 0이 되는 주파수에서 공진 특성을 보여주는 것을 알 수 있다. 그리고 공진

주파수는 다음 식으로 표현된다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{1}{L_g} + \frac{1}{L_g + L_p}\right) \cdot \frac{1}{(C_g + 2C_{bc})}} \quad (3.2)$$

$$\approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{L_g} + \frac{1}{L_g + L_p}\right) \left(\frac{1}{C_c} + \frac{2}{C_b}\right)}$$

상기 식들에서 SiN 막보다 GaAs 기판이 매우 얇으므로 C_g 가 C_{bc} 보다 매우 작으므로 C_g 는 무시되며, 저항 R_g 는 공진 주파수 근처에서 $j\omega(L_g + L_p)$ 보다 매우 작으므로 R_g 도 무시되었다. 실제로 본 논문에서 공진은 40 ~ 60 GHz 범위에서 발생하였고, R_g 는 0.5 Ω 보다 작았다. 따라서 상기 식을 만족하는 주파수에서 결합선로는 공진 특성을 보임을 알 수 있다. 그림 3.3은 $T = 5 \mu\text{m}$ 이고 $S = 20 \mu\text{m}$ 인 PGS 구조의 단일 구성요소에 대해 그림 3.2의 등가회로를 이용하여 계산한 절연특성을 보여준다. 그리고 계산된 회로의 파라미터들은 다음과 같다: $R_g = 0.5 \Omega$, $C_g = 0.00005 \text{ pF}$, $L_g = 0.031 \text{ nH}$. 예상했던 대로 60 GHz 근처에서 공진 특성을 관찰할 수 있으며, 상기 결과는 주기적 접지구조를 사용한 결합 선로는 본질적으로 공진 특성을 가짐을 보인다. 상기 결과는 주기적 접지구조를 삽입한 구조를 사용함으로써 공진특성에 기인하는 선로 간 높은 절연특성을 얻을 수 있음을 암시한다.

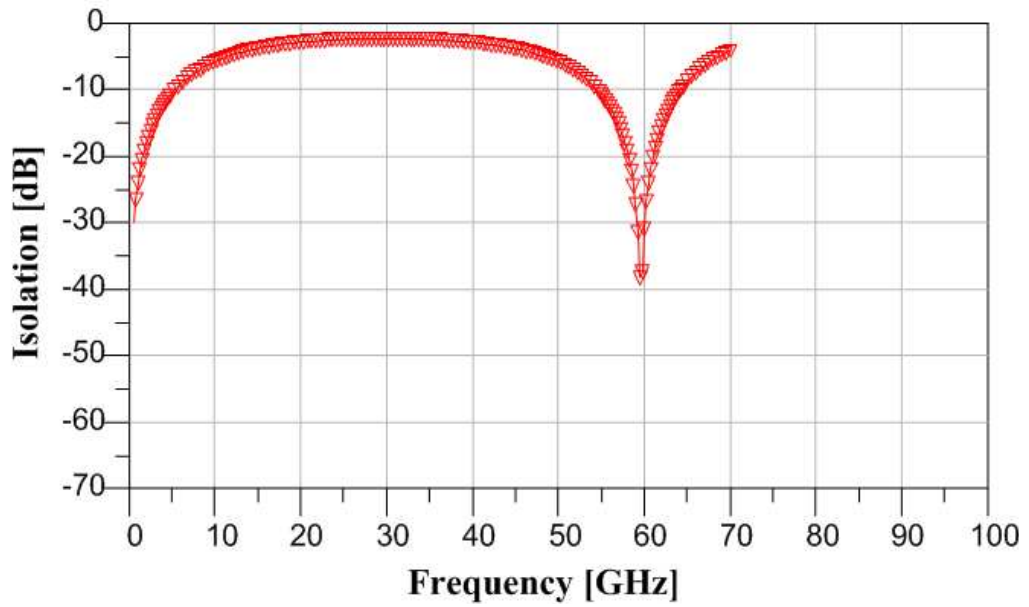


그림 3.3 Calculated isolation characteristic of the equivalent circuit for a unit section of the adjacent two lines with $T = 5 \mu\text{m}$ and $S = 20 \mu\text{m}$



제 4 장 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조의 공진특성에 의한 선로 간 절연특성 개선효과

실험적으로 공진특성에 의한 절연특성 개선효과를 입증하기 위하여 주기적 접지구조를 사용한 결합 마이크로스트립 선로를 제작하였다. 온 웨이퍼(on-wafer) 측정 기법을 사용하여 포트 1-2[그림 3.1(a)] 사이의 절연성 S_{12} 를 측정했다. 그림 4.1은 GaAs 기판 상에 제작된 주기적 접지구조를 이용한 결합선로의 사진이다.

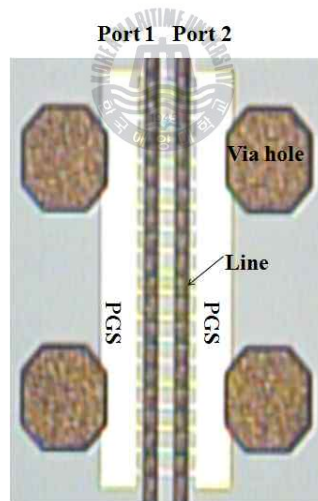


그림 4.1 A photograph of the coupled microstrip line structure employing PGS.

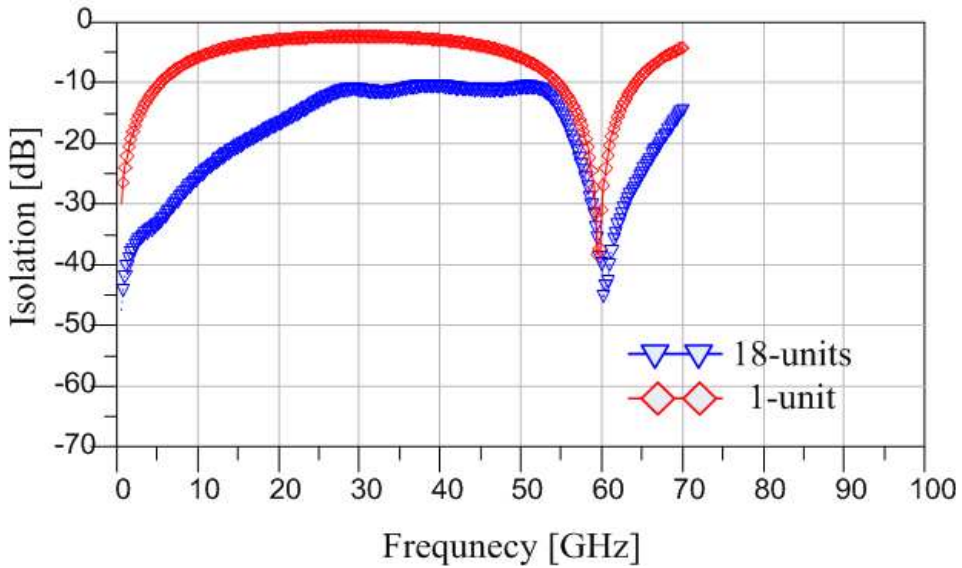


그림 4.2 Calculated isolation characteristic of the unit section of 그림 3.2 and measured isolation characteristic of the microstrip line with 18-units section of PGS shown in 그림 4.1

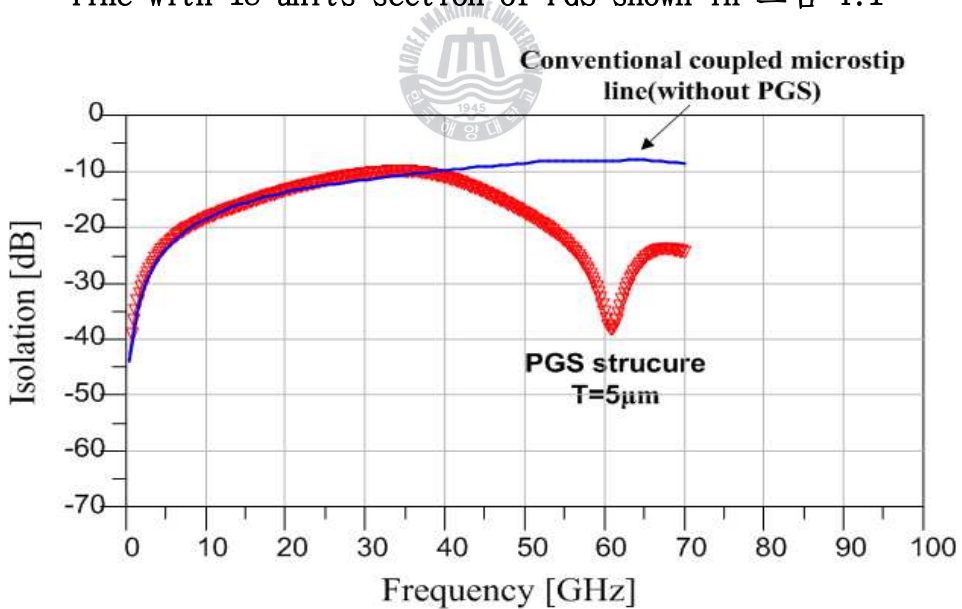


그림 4.3 Measured isolation characteristic S_{12} of the coupled microstrip line employing PGS and conventional coupled microstrip line.

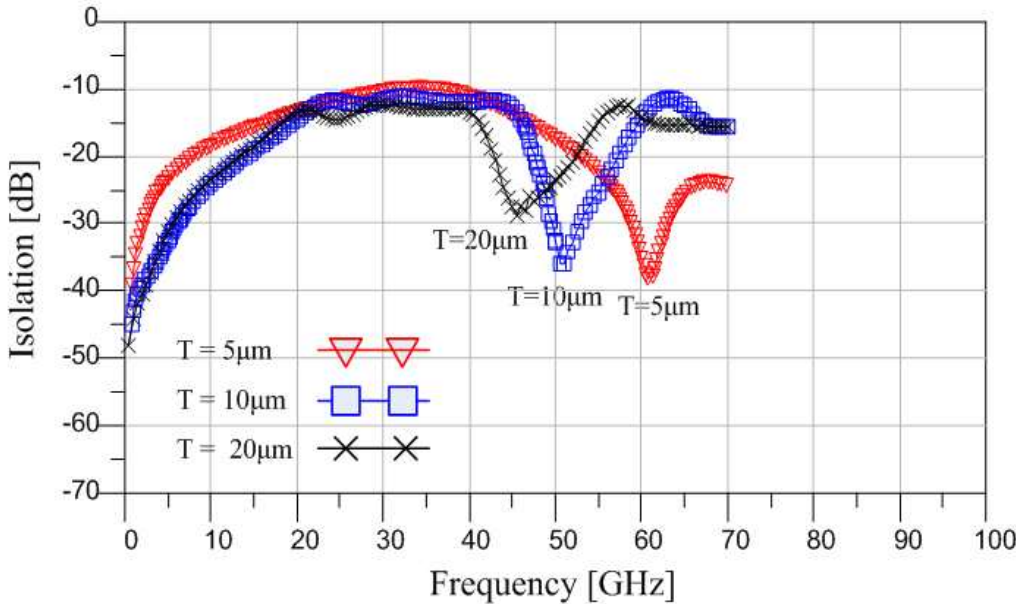


그림 4.4 Measured isolation characteristic S_{12} of the coupled microstrip line employing PGS with various values of T .

그림 3.3에서 관찰했던 공진특성이 주기적 접지구조를 삽입한 선로 구조에서 실지 발생되는지를 확인하기 위해 그림 4.1의 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조에 대한 선로 간 절연특성 S_{12} 측정하였으며, 측정결과는 그림 4.2에 나타내었다. 비교를 위해 그림 3.2의 단위 셀에 대한 해석결과, 즉 그림 3.3의 결과도 추가하였다. 측정치는 전체 단위 셀이 18개인 그림 4.1의 주기적 접지구조를 삽입한 회로구조에 해당된다. 예상했던 대로 단위 셀에서 보이는 공진특성이 18개 셀로 구성된 주기적 접지구조를 삽입한 회로구조에 그대로 반영되어 나타난다. 이 결과는 앞 절에서 설명하였던 사실, 즉 ‘주기적 접지구조를 삽입한 선로구조의 기생 LC성분은 선로 간 공진을 야기시킨다’라는 사실이 타당함을 보여준다. 주기적 접지구조가 없는 기존의 마이크로 스트립 결합 선로 간 절연특성과 주기적 접지구조를 삽입한 결합선로

구조의 선로 간 절연특성 측정결과는 그림 4.3에 나타내었다. 공진특성에 의해 주기적 접지구조를 삽입한 결합선로구조는 기존의 결합선로보다 상당히 개선된 절연특성을 보여준다. 특히, 공진주파수 부근에서 절연특성이 상당히 개선됨을 알 수 있으며, 이는 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조는 공진주파수 부근에서 최적의 절연특성을 가짐을 의미한다. 그리고 비교를 위해 다양한 단위 셀 두께 T 를 가지는 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조에 대한 절연특성 측정결과를 그림 4.4에 나타내었다. 기본 구조는 그림 4.1과 같이 18개의 단위 셀을 가지며, 단지 단위 셀 두께 T 만을 변화시켰다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 주기적 구조의 단위 셀 두께 T 가 증가할수록 공진주파수가 낮아진다. 이 결과는 식 (3.2)로부터 쉽게 알 수 있다. 즉, 앞에서 설명한 바와 같이 C_b 는 그림 3.1(a)에서 보이는 선로와 주기적 접지구조가 교차하는 면적 $\sqrt{3}T$ 에 비례하며, 따라서, T 의 증가는 C_b 의 증가를 가져온다. 그러므로 식 (3.2)로부터 T 의 증가는 공진주파수의 감소를 가져오는 것을 쉽게 추론할 수 있다. 위의 결과로부터 단위 셀 두께 T 를 변화시킴으로써 주기적 접지구조를 삽입한 결합선로구조의 공진주파수를 쉽게 조절할 수 있음을 알 수 있으며, 이는 주기적 접지구조가 고절연 선로로써 다양한 시스템에 매우 유용하게 사용될 수 있음을 의미한다. 즉, 시스템의 동작주파수가 결정되면 그 동작주파수에서 공진하도록 단위 셀 두께 T 만 조절하면, 상기 동작주파수에서 최적의 절연특성을 가지는 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조를 얻을 수 있다. 그리고 상기 결과로부터 주기적 접지구조를 삽입한 구조가 고집적 회로를 내장한 고주파 집적회로의 소형화에 매우 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있다. 즉, T 가 $5 \mu\text{m}$ 인 주기

적 접지구조의 경우, 선로간격 20 μm 만 취하여도 60 GHz에서 -47 dB 의 절연특성을 얻을 수 있으나, 기존의 결합선로의 경우 20 μm 의 선로간격에 대해 -8 dB 의 절연특성을 보여준다. 기존의 마이크로스트립 결합선로의 경우, 60 GHz에서 -47 dB 의 절연특성을 얻기 위해서는 선로간격이 2000 μm 가 되어야 한다. 따라서 상기 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조가 MMIC상의 신호/바이어스 선로로써 사용되면, 선로간격을 매우 줄일 수 있으므로 MMIC의 크기는 매우 축소될 수 있다.



제 5 장 주기적 접지구조를 삽입한 결합선로구조에 대한 등가회로 및 closed-form 수식추출

그림 4.1에서 보는 바와 같이 종래의 마이크로스트립 결합선로에 비해 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조는 매우 복잡한 형태를 취하고 있다. 따라서 공진주파수를 예측하기 위해 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조를 해석하기 위해서는 일반적으로 전자계 해석을 이용해야 한다. 그러나 전자계 해석의 경우는 많은 시간이 소요되고, 이는 전체 RF 회로설계의 효율성을 떨어뜨린다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 RLC 등가회로와 closed-form 수식을 추출하였다. 그림 5.1은 그림 3.1의 주기적 접지구조를 삽입한 결합선로구조에 대한 등가회로이며, 각각의 박스는 그림 3.2와 같은 RLC 구조의 등가회로이다. 단, 그림 3.2에서는 공진주파수만을 구하기 위해서 최상부의 결합선로를 단지 커플링 용량 C_c 로 단순화하였으나, 정확한 등가회로를 구현하기 위해서 그림 5.1에서는 C_c 를 기존의 결합 마이크로스트립 라인 모델[8]을 대체하였다. 그리고 그림 3.1에 보이는 비아 홀은 인덕터로 대체하였다. 그림 3.2에서 보이는 각각의 RLC 값은 측정값과 등가회로로부터 계산 값과의 curve-fitting으로 구하였으며 다음과 같다.

$$C_b = \left[0.019 + \left(\frac{T}{d_i} \right) \times 7 \times 10^{-5} - \left(\frac{T}{d_i} \right)^2 \times 2 \times 10^{-7} \right] (pF) \quad (5.1)$$

$$C_g = \frac{T}{d_s} \times 10^{-3} (pF) \quad (5.2)$$

$$L_g = \frac{l_s}{T} \times 1.875 \times 10^{-3} (nH) \quad (5.3)$$

$$R_g = \frac{l_s}{T} \times 3.125 \times 10^{-2} (\Omega) \quad (5.4)$$

상기 식에서 d_s , l_s 는 각각 100 nm 와 80 μm 이다.

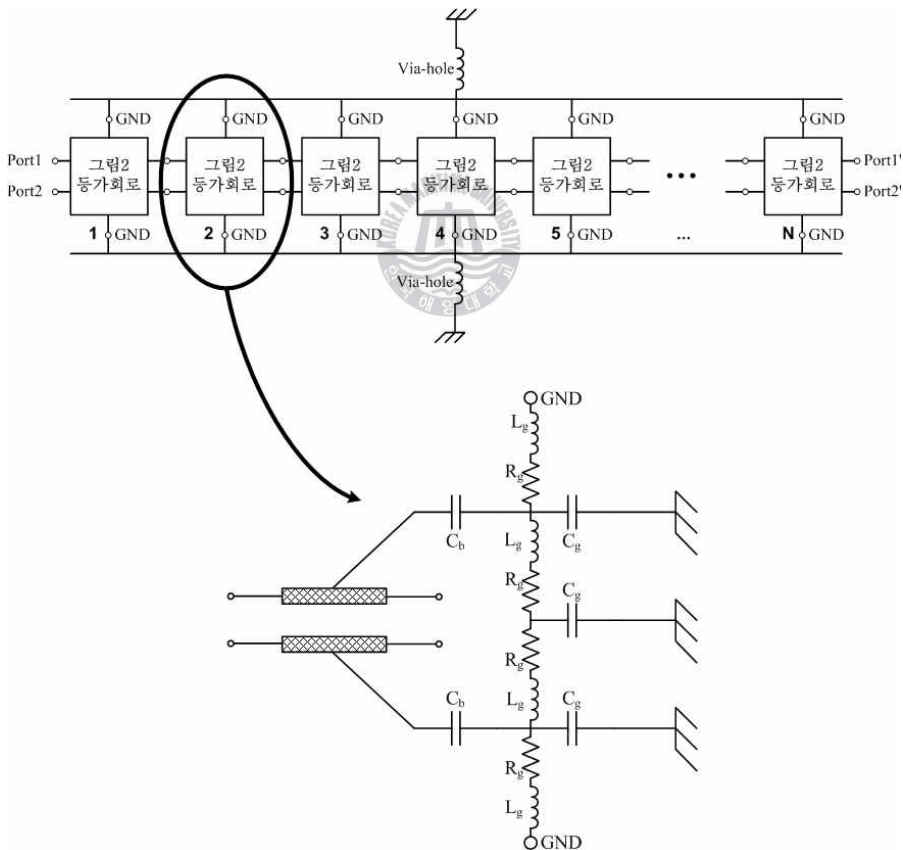


그림 5.1 Equivalent circuit for coupled microstrip line employing PGS with n-units sections.

그림 5.1에서는 주기적 접지구조를 삽입한 구조의 전체 구성요소 수만큼 등가회로를 연결하며, 그라운드 포트끼리는 서로 연결하고 실제 주기적 접지구조를 삽입한 구조의 비아 홀이 위치하는 부분에 비아 홀의 등가 인덕터를 연결한다. 그림 5.2, 5.3, 5.4는 각각 $T = 5, 10, 20 \mu\text{m}$ 인 주기적 접지구조를 삽입한 구조의 절연특성 측정결과와 그림 5.1의 등가회로와 식 (5.1)-(5.3)의 closed-form 수식을 이용한 계산결과를 비교한 그래프이다. 선로 간 간격은 $S = 20\mu\text{m}$ 로 고정되었으며, 전체 셀 수는 18개이다. 그림에서 보는 바와 같이 측정결과와 계산결과가 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다.

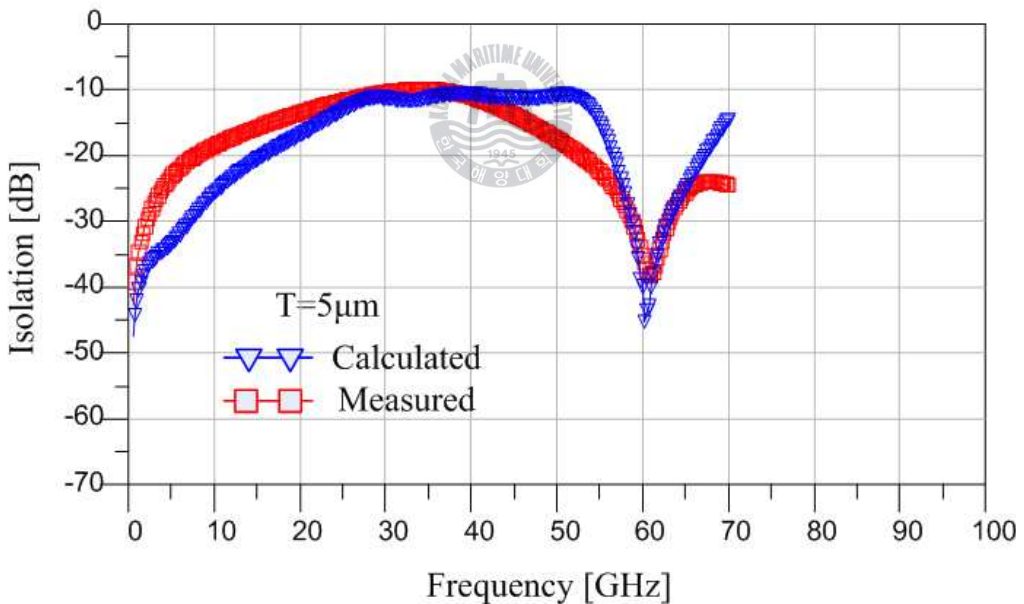


그림 5.2 Measured and calculated isolation characteristic S_{12} of the coupled microstrip line employing PGS ($T = 5 \mu\text{m}$)

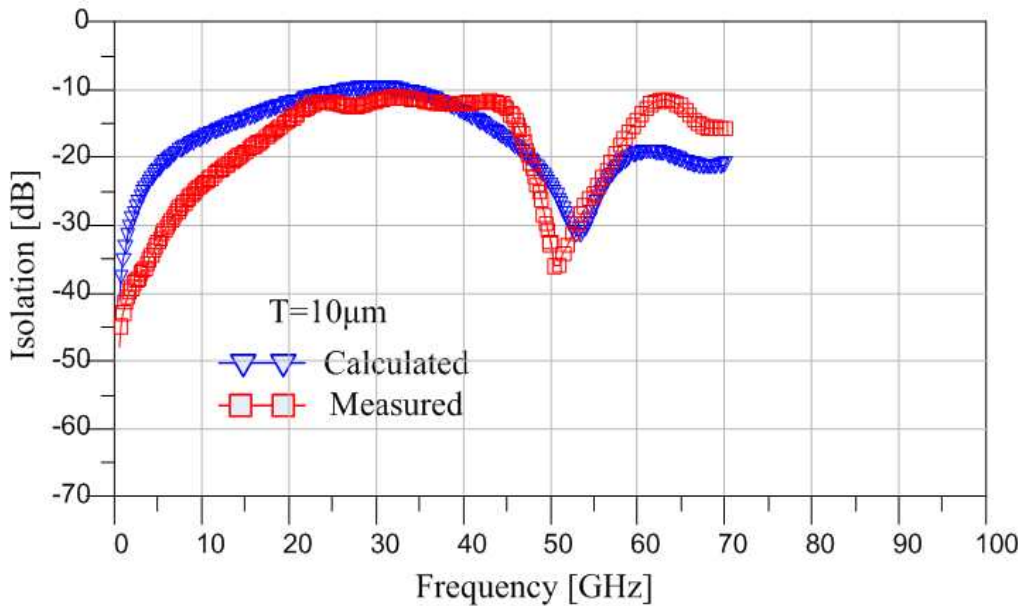


그림 5.3 Measured and calculated isolation characteristic S_{12} of the coupled microstrip line employing PGS ($T = 10 \mu\text{m}$)

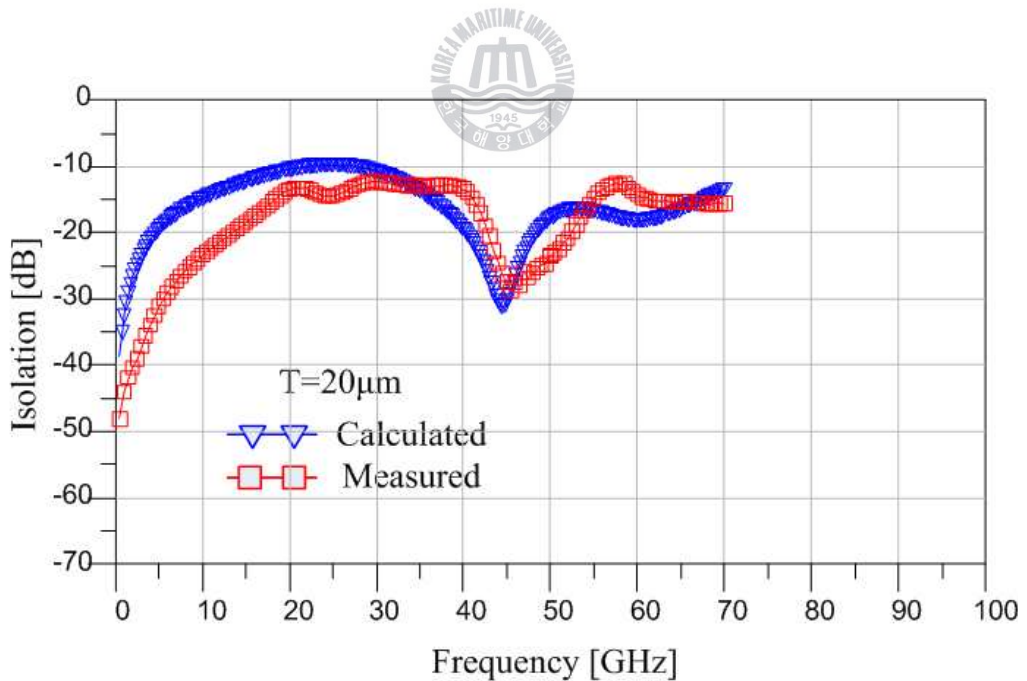


그림 5.4 Measured and calculated isolation characteristic S_{12} of the coupled microstrip line employing PGS ($T = 20 \mu\text{m}$)

제 6 장 결 론

RF 기술의 발전과 함께 고집적의 디지털 회로와 RF 단말기 부분의 회로가 동일한 반도체 기판에 집적됨에 따라, 반도체 회로의 집적도가 높아지고 회로를 통과하는 신호의 주파수는 수~수십 GHz 단위까지 높아지고 있다.

이에 따라 거리가 가까운 소자 혹은 선로간의 커플링이 가장 큰 문제로 대두되고 있으며, 집적도가 높은 배선부분을 통과하는 신호간의 커플링에 의한 회로의 오동작이 가장 큰 문제가 되고 있다. 특히 고주파 신호가 통과하는 RF용 신호 배선에서 발생하는 인접 선로 간 커플링은 무선통신회로의 오동작을 유발하는 가장 큰 요인이다. 따라서 본 논문에서는 주기적 접지구조를 사용함으로써 높은 절연특성을 가지는 마이크로스트립 선로 구조를 개발하였다. 그리고 등가회로를 통한 해석결과에 의하면 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조의 양호한 절연특성은 기생 LC성분의 공진특성에 기인하였다.

측정결과에 의하면 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조는 종래의 마이크로스트립 결합선로보다 훨씬 양호한 절연특성을 보여주었다. 구체적으로, T 가 $5\ \mu\text{m}$ 인 주기적 접지구조를 삽입한 구조의 경우, 선로간격 $20\ \mu\text{m}$ 만 취하여도 $60\ \text{GHz}$ 에서 $-47\ \text{dB}$ 의 절연특성을 얻을 수 있었으나, 기존의 결합선로의 경우 $20\ \mu\text{m}$ 의 선로간격에 대해 $-8\ \text{dB}$ 의 절연특성을 보여주었다. 기존의 마이크로스트립 결합선로

의 경우, 60 GHz에서 동일한 절연특성을 얻기 위해서는 선로간격이 2000 μm 가 되어야 함을 알 수 있었다. 그리고 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조의 공진 주파수는 오직 T 를 변화시킴으로써 쉽게 조절할 수 있었다. 상기 결과로부터 고집적 신호/바이어스 선로가 존재하는 RF 집적회로 상에 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조가 고절연 배선으로써 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있으며, 주기적 접지구조를 삽입한 선로구조를 이러한 배선에 사용하면 선로 간 간격을 매우 좁게 취할 수 있어 RF 집적회로의 사이즈가 크게 축소될 수 있음을 알 수 있다.



참 고 문 헌

- [1] John R. Long, "Passive Componets for Silicon RF and MMIC Design", IEICE Trans. Electron., Vol. E86-C, No. 6, pp. 1022-1031
- [2] Kazuya Masu, Kenichi OKADA, and Hiroyuki ITO, "RF Passive Componets Using Metal Line on Si CMOS", IEICE Trans. Electron., Vol. E89-C, No. 6, pp. 681-691
- [3] D. M. Pozar, Microwave Engineering. Reading, MA: Addison-Wesley, 1990, pp. 183-190.
- [4] Y. Yun, K. S. Lee, C. R. Kim, K. M. Kim, and J. W. Jung, "Basic RF characteristics of the microstrip line employing periodically perforated ground metal and its application to highly miniaturized on-chip passive components on GaAs MMIC", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., Vol. 54, No. 10, pp. 3805-3817, Oct. 2006.
- [5] 윤영 저, "RF 능동회로 설계이론 및 설계" 홍릉과학 출판사, Chapter [1-3], [5], 2005.
- [6] 김철수, 성정현, 길준범, 김상혁, 김호섭, 박준석, 안달, "Defected Ground Structure를 갖는 전송선로의 특성과 집중소자에 의한 특성" 한국전자과학회논문지, 제 11권, 제 6호, pp. 946-951, 2000년 9월

- [7] 김성일, “마이크로스트립 PBG 링 구조를 기초로 한 저지대역 여파기의 설계 및 구현”, 아주대학교, 2003년 6월
- [8] B. C. Wadell, Transmission Line Design Handbook. Boston, MA: Artech House, 1991, Ch. 3.

