

論文95-32A-1-10

# 수평형 p-i-n 광다이오드의 제작, 특성 측정 및 광제어 스텐브 장착 위상기의 설계

## (Fabrication and Characterization of Lateral p-i-n Photodiodes and Design of Stub Mounted Optically Controlled Phase Shifter)

韓 承 燁 \* , 鄭 相 九 \*\*

(Seung Youp Han and Sang Koo Chung)

### 요 약

수평형 p-i-n 광다이오드를 제작하여 전기적, 광학적 측정을 하고, 이를 광여기 초고주파 감쇄기 및 반사형 위상기 같은 광제어 초고주파 제어회로에 사용하였다. 손실이 있는 p-i-n 광다이오드를 부하로 하는 광제어 부하선로방식 위상기의 회로설계 절차와 스텐브 집속방식 위상기의 두 위상 상태에서 똑같은 삽입손실을 갖게 하는 동일 손실 부하방식을 처음으로 제안하였다. 제작된 p-i-n 광다이오드를 동일손실 부하방식 위상기에 사용하는 경우 2GHz에서 11GHz의 초고주파 영역에서 위상변화량이 11.25° 일 때 삽입손실은 약 3dB였고, 5.625° 일 때는 약 2dB였다.

### Abstract

Lateral p-i-n photodiodes have been fabricated, electrically and optically tested, and incorporated into microwave control circuits such as an optically excited microwave attenuator and reflection type phase shifter. Circuit design procedures for the loaded-line phase shifter with the optically controlled p-i-n photodiode are presented. The equal loss loading mode presented for the first time for the phase shifter circuits with lossy load allows an equal insertion loss of the phase shifter in both of its phase states. It is found that the insertion loss of the equal loss loading mode phase shifter constructed with the fabricated p-i-n photodiode load are about 3dB for 11.25° bit and 1dB for 5.625° bit for the frequency range of 2GHz to 11GHz.

\* 準會員, \*\* 正會員, 亞州大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng., College of Eng., Ajou Univ.)

※ 본 연구는 한국과학재단의 지원(1992년)에 의하여 수행되었음.

接受日字 : 1994년 5월 21일

### I. 서 론

p-i-n 다이오드는 GaAs MESFET와 함께 초고주파에서 제어회로에 사용되는 대표적인 반도체 소자로서 역방향 및 순방향 바이어스의 바이어스제어(bias control)에 따라 손실성분은 무시될 정도로 작으나 리

액턴스의 변화가 크므로 이를 이용하여 초고주파용 스위치, 감쇄기 및 위상기에 광범위하게 사용되고 있다<sup>11)</sup>.

한편 초고주파 집적회로의 발전과 함께 최근에는 초고주파 소자의 광제어(optical control) 방식<sup>12)</sup>이 주목을 받고 있는데, 이는 광제어 방식이 종래의 바이어스 제어방식보다 고속화, 효율화 및 소형화가 가능하며 또 전자파 방해를 전혀 받지 않기 때문에 종래의 방식에서 필수적인 안정화회로가 필요 없어 가격 면에서도 훨씬 유리하기 때문이다.

그러나 광제어 방식을 효율적으로 수행하기 위해서는 보통 상용되고 있는 수직구조의 p-i-n 광다이오드보다는 수광층으로 사용하는 i층에 입사광이 직접 조사될 수 있도록 한 수평형 p-i-n 구조가 필수적이다. 그림 1(a)에 수평형 p-i-n 광다이오드의 단면구조를 나타냈다.

본 논문에서는 진성영역폭 i층 폭을 달리한 수평구조의 p-i-n 광다이오드를 설계, 제작하여 그 전기적 및 광학적 특성을 조사하고, 이 제작된 p-i-n 광다이오드의 i층에 입사되는 LED 광의 유무, 즉 LED의 on 및 off에 따른 광다이오드의 임피던스 변화를 2~11GHz 영역에서 측정하고, 이를 이용한 광제어 감쇄기 및 위상기의 특성을 조사하였다. 마지막으로 위상변화량이 45° 이하에서 가장 광범위하게 응용되는 스테브 장착 위상기를 광제어 방식으로 설계할 경우, 다이오드 부하의 두 상태에서 같은 값의 손실을 고려한 새로운 설계 방식을 제안하고, 또 제작한 p-i-n 광다이오드를 부하로 사용할 때 나타나는 광제어 위상기의 특성을 보고자 한다.

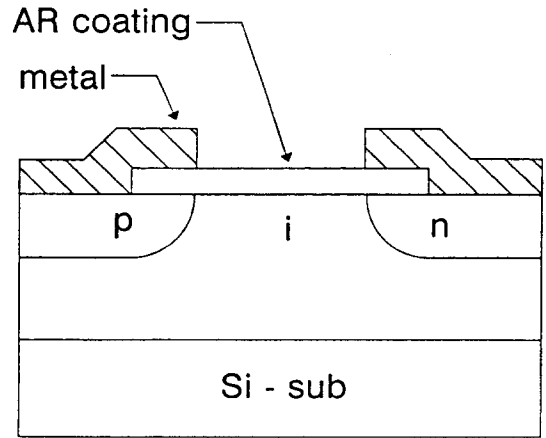
## II. p-i-n 광다이오드의 설계, 제작 및 특성측정

### 1. 소자 제작

먼저 비저항(resistivity)이 3000~7000 Ω-cm이며 방향이 (111)인 n형 Si 기판을 사용하였으며, 열확산은 1100°C에서 80분으로 산화막의 두께가 0.8μm였다. p+ 확산은 BN1100 solid source를 사용하여 1050°C에서 30분을 확산하였으며 이때 p' 접합깊이는 약 0.63μm였고, n' 확산은 PH1000 solid source로 1000°C에서 30분간 확산하였다. 반사방지막은 1100°C에서 dry O2로 90분간 산화시켜 산화막의 두께가 0.16μm가 되도록 하였으며, 이때의 p' 접합깊이는 5.3μm, n' 접합깊이는 5.4μm였으며, 금속공정은 열증착기를 사용하여 Al을 1μm로 증착하였다.

p-i-n 수광부의 폭은 20μm, 30μm, 40μm, 50μm, 60

μm의 기본적인 형태와 300μm의 interdigitated 형태로 제작하였다. 그림 1(b)는 i층의 폭이 30μm인 동심원 형태의 금속패턴을 나타낸 것이다.



(a)



(b)

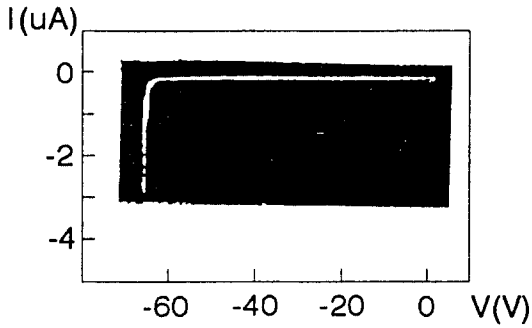
그림 1. (a) 수평형 p-i-n 광다이오드의 단면도 (b) 금속 패턴

Fig. 1. (a) Cross section of lateral p-i-n photodiode.

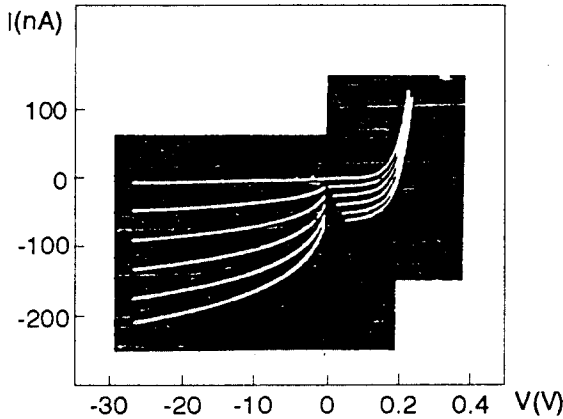
(b) Metal Pattern.

### 2. 전기적 특성 및 광특성

그림 2(a)는 i층의 폭이 30μm인 p-i-n 광다이오드에서 항복전압을 측정한 것으로 항복전압은 약 65V이며, 그림 2(b)는 입사광의 세기를 150μW 씩 변화시키면서 입사광의 광학적 세기에 따른 전류-전압 특성곡선의 변화를 940nm의 파장을 갖는 LED를 광원으로 사용하여 Tectronix사의 curve tracer로 측정한 것이다. 이 그림에서 전류-전압 특성이 트랜지스터의 특성과 유사하며, 다만 게이트 전압이나 베이스 전류 대신에 입사광의 세기  $P_{in}$ 에 의하여 제어되는 광제어 전류원인을 나타내고 있다.



(a)



(b)

그림 2. (a) 항복전압 특성  
(b) 입사광 세기의 변화에 따른 I-V 특성  
Fig. 2. (a) Breakdown voltage characteristics.  
(b) I-V characteristics with optical power as a parameter.

그림 3은 p-i-n 광다이오드에 바이어스 전압을 인가하지 않았을 때 입사광의 세기를 0mW에서 1mW까지 변화시키면서 interdigitated형 소자의 정전용량과 콘덕턴스의 변화를 측정주파수 1MHz에서 측정한 그림이다. 여기서 p-i-n 광다이오드 정전용량 및 콘덕턴스는 입사광의 세기에 따라 선형적으로 증가하는 현상을 볼 수가 있다. 이는 i층의 공핍층 영역에서 흡수된 광자에 의한 전자 및 정공의 생성과 공핍층 전계에 의한 드리프트 전류에 의한 것이다.

### III. 초고주파 제어회로 특성

제작된 interdigitated형 p-i-n 광다이오드 소자의 i층에 파장이 940nm이고, 입사광의 세기가 1mW인

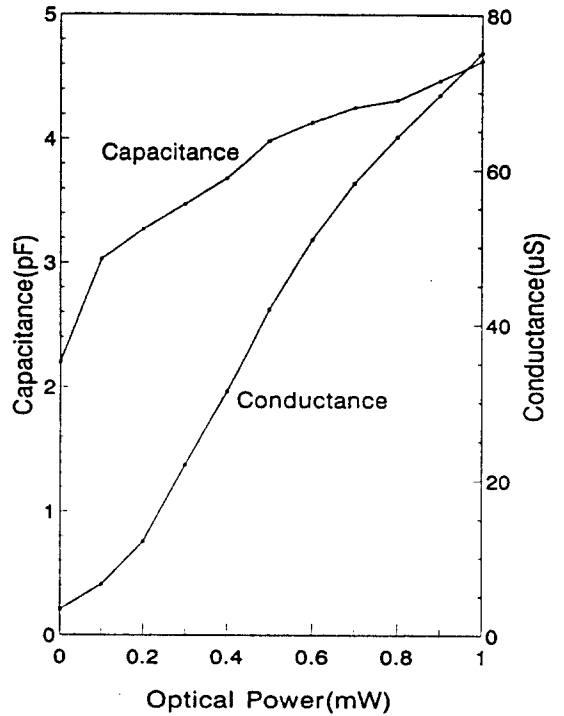


그림 3. 입사광 세기의 변화에 따른 Conductance와 Capacitance의 변화  
Fig. 3. Variation of conductance and capacitance vs. optical power.

LED를 결합시켜, 이 LED 광에 의하여 제작된 p-i-n 광다이오드가 초고주파 스위치 혹은 감쇄기 및 반사형 위상기로 사용 가능한가를 조사하였다.

#### 1. 광제어 반사형 위상기

제작된 수평형 p-i-n 광다이오드를 50Ω 전송선의 부하로 하면 광제어 초고주파 반사형 위상기가 된다. HP 8510B Network Analyzer와 Cascade M/S probe가 달린 EG probe station을 사용하여 이 회로의 반사계수를 2~11GHz 영역에서 측정하여 그림 4에 나타냈다.

입사광이 있을 때의 반사손실은 입사광이 없을 때의 반사손실보다 약 3dB 증가하지만 주파수에 따라서는 큰 변화가 없다. 위상변화는 입사광의 두 상태에서 모두 주파수와 함께 선형적으로 증가하지만 입사광 제어에 의하여 주파수 11GHz에서 30° 정도의 위상차가 있음을 알 수 있다. 입사광의 세기가 더 클 경우 더 큰 위상차를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 한편 반사계수  $\Gamma$ 와 전송선 특성 임피던스  $Z_0=50\Omega$ 의

로 정규화된 p-i-n 광다이오드의 임피던스  $z_L = r + jx$ 와의 관계는

$$\Gamma = \alpha + j\beta = \frac{r-1+jx}{r+1+jx} \quad (1)$$

이므로, 위의 식으로부터

$$1 + \Gamma = \frac{2(1-\alpha)}{(1-\alpha)^2 + \beta^2}, \quad x = \frac{2\beta}{(1-\alpha)^2 + \beta^2} \quad (2)$$

의 관계식을 얻을 수 있다.

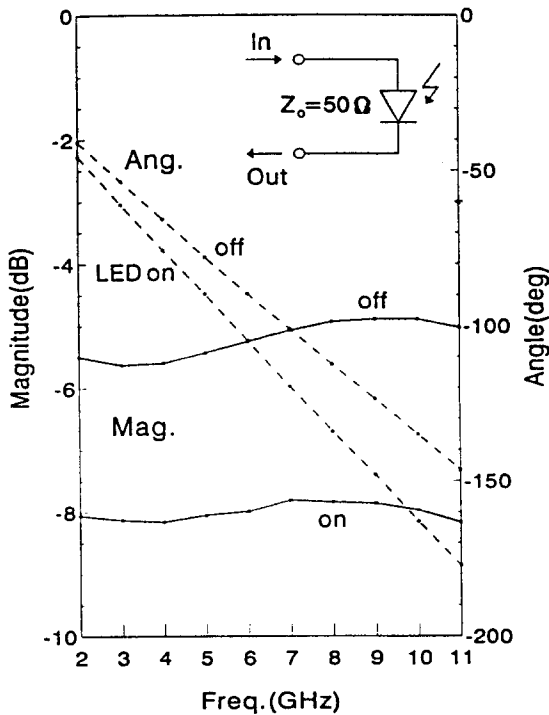


그림 4. 제작된 p-i-n 광다이오드의 반사계수 ( $S_{11}$ )

Fig. 4. Reflection coefficient ( $S_{11}$ ) of the fabricated p-i-n photodiode.

측정된 반사계수로부터 위의 식에 의하여  $r$  및  $x$  값을 표 1에 나타냈다. 표에서 첨자 1은 LED의 off 상태를, 2는 LED의 on 상태를 나타낸다.

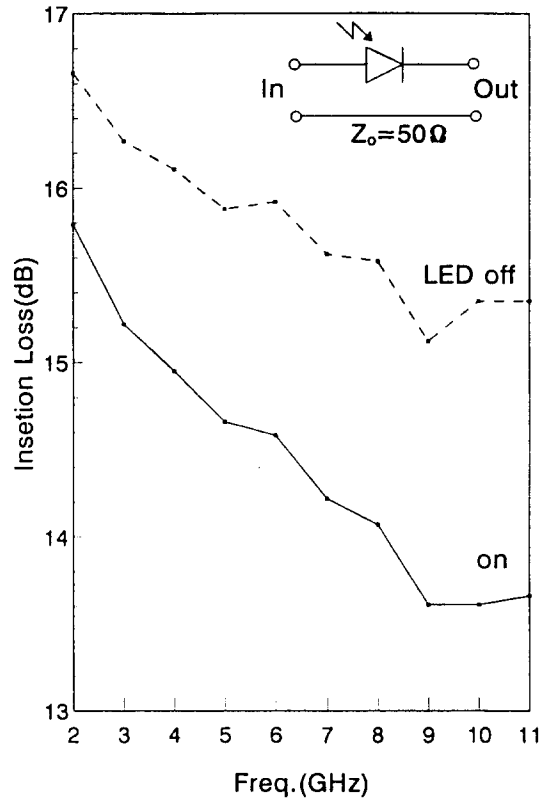


그림 5. 제작된 p-i-n 광다이오드의 감쇄기 특성  
Fig. 5. Attenuator characteristics of the fabricated p-i-n photodiode.

2. 광제어 스위치 및 감쇄기

수평형 p-i-n 광다이오드를 50Ω 전송선과 직렬로 연결하면 광제어 스위치 및 감쇄기가 된다. 2~11GHz

표 1. 50Ω으로 정규화한 p-i-n 광다이오드의 임피던스의 주파수에 따른 변화 (첨자 1은 LED OFF, 2는 LED ON 상태임)

Table 1. Variation of nomalized impedance of p-i-n photo diode vs. frequency. (Subscript 1 is LED OFF, 2 is LED ON)

f(GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$r_1$	1.502	1.12	0.862	0.674	0.544	0.453	0.387	0.346	0.317	0.305
$x_1$	-1.451	-1.293	-1.137	-0.988	-0.848	-0.72	-0.598	-0.485	-0.377	-0.275
$r_2$	1.404	1.096	0.885	0.733	0.618	0.533	0.484	0.452	0.437	0.437
$x_2$	-0.937	-0.887	-0.791	-0.688	-0.566	-0.452	-0.338	-0.232	-0.121	-0.019

영역에서 측정된 삽입손실을 그림 5에 나타냈다. 1mW 입사광에서의 삽입손실은 입사광이 없을 때보다 약 2dB 정도 증가하였으며, 주파수의 증가와 함께 삽입손실은 감소한다. 따라서 광제어에 의하여 2dB 감쇄기는 가능함을 알 수 있다.

이 경우 p-i-n 광다이오드의 정규화된 임피던스를  $z_L = r + jx$ 로 놓으면 삽입손실은 p-i-n 광다이오드가 이상적인 경우, 즉  $z_L = 0$ 일 때와  $z_L = r + jx$ 일 때의 부하전압의 비의 제곱이므로

$$IL = \frac{(2+r)^2 + x^2}{4} \quad (3)$$

이 되며, 이로써 그림 5의 특성은 전송선과 직렬로 연결된 p-i-n 광다이오드의 정전용량의 영향으로 즉  $x = 1/(-\omega C)$ 이므로 주파수의 증가와 함께 삽입손실은 감소하며 입사광에 의하여도 삽입손실이 감소함을 알 수 있다.

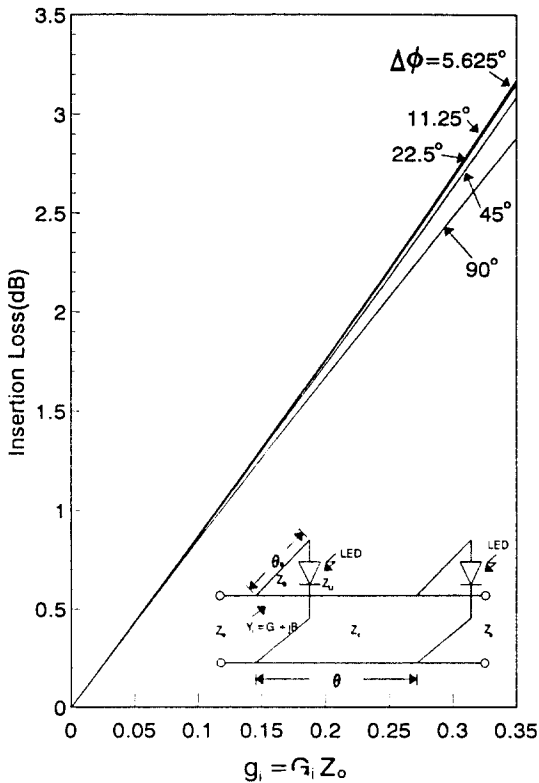


그림 6. 정규화된 스테브의 입력 컨덕턴스  $g_i = G_i Z_0$ 에 따른 스테브 장착 위상기의 삽입손실

Fig. 6. Insertion loss of the stub mounted phase shifter vs. normalized input conductance of the stub.

#### IV. 스테브 장착 위상기의 설계

그림 6에 부하선로 방식의 위상기<sup>[3]</sup>를 나타내었다. 이 부하선로 위상기는 주선로에 전기적 길이(electrical length)  $\theta (= \beta l)$ 의 간격에 두개의 임피던스를 병렬로 연결하여 어드미턴스(admittance:  $Y_i$ )의 변화에 따라 위상차를 얻는 방식으로, 이때의 어드미턴스의 변화는 p-i-n 광다이오드에 입사하는 LED 광의 유무에 의하여 얻게 된다.

이 부하선로 방식 위상기의 ABCD행렬은

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y_i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & jZ_c \sin \theta \\ jY_c \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y_i & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

로 나타내며<sup>[4]</sup>, 여기서 스테브의 입력 어드미턴스는  $Y_i = G_i + jB_i$ 이고,  $i=1$  및 2로서 각각 p-i-n 광다이오드에 입사광이 없을 때와 입사광이 있을 때를 나타낸다.

식 (4)의 ABCD 행렬로부터 산란행렬(Scattering matrix)로 변환시켜서  $S_{11}$ 을 계산하면 손실이 있는 경우, 즉  $G_i \neq 0$ 의 경우에는 입력측의 반사파를 없애기 위한 정합조건,  $S_{11} = 0$ 의 조건은 만족시킬 수 없기 때문에 완전한 정합은 불가능함을 알 수 있다. 그러나 손실이 아주 작은 경우, 즉  $g_i = G_i Z_0 \ll 1$ 인 경우를 의사입력 정합 조건(quasi-input-matched condition)이라고 하며, 이 경우에  $S_{11} \approx 0$ 이며 또  $S_{21}$ 은 다음 식으로 주어진다.<sup>[5]</sup>

$$S_{21} = \frac{\cos \phi + j \sin \phi}{(1 + G_i Z_0) \sqrt{1 + G_i^2 Z_c^2 \sin^2 \theta}} \quad (5)$$

여기서

$$\cos \phi = \frac{\cos \theta - B_i Z_c \sin \theta}{\sqrt{1 + G_i^2 Z_c^2 \sin^2 \theta}} \quad (6)$$

$$\sin \phi = \frac{Z_c Y_c \sin \theta}{\sqrt{1 + G_i^2 Z_c^2 \sin^2 \theta}} \quad (7)$$

이다. 여기서  $\phi$ 는  $S_{21}$ 의 위상각이며, 부하의 두상태에 따라  $\phi = 90^\circ \pm (\Delta\phi/2)$ 의 값을 갖게 된다. 이 관계식을 식(6) 및 (7)에 대입하고,  $z_c = Z_c / Z_0$ ,  $b_i = B_i Z_0$  그리고  $g_i = G_i Z_0$ 을 사용하면

$$z_c = \frac{\cos(\Delta\phi/2)}{\sin \theta} \left( 1 - g_i^2 \cos^2 \frac{\Delta\phi}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$b_i = \frac{\cos \theta}{\cos(\Delta\phi/2)} \left( 1 - g_i^2 \cos^2 \frac{\Delta\phi}{2} \right)^{\frac{1}{2}} + \tan \frac{\Delta\phi}{2} \quad (9)$$

을 얻을 수 있다.

또 이로부터 삽입손실은 다음 식으로 주어진다.

$$IL = -20 \left[ \log(1 + g_i) - \frac{1}{2} \log \left\{ 1 - \left( g_i \cos \frac{\Delta\phi}{2} \right)^2 \right\} \right] \quad (10)$$

그림 6은 위 식으로 계산된 삽입손실 IL과 스텐브의 정규화한 입력 콘덕턴스  $g_i$ 의 관계를 위상변화량  $\Delta\phi$ 를 파라미터로 하여 나타낸 것이다. 삽입손실을 3dB 이하로 하기 위해서는  $g_i \leq 0.35$  이어야 함을 알 수 있다.

광제어 방식에서는 p-i-n 광다이오드의 임피던스가 표 1에서  $r_i > 0$ 이므로 손실을 고려하지 않으면 안되며 따라서 저손실 위상기의 설계를 우선 목표로 하였다.

1. 동일 손실 부하장착 방식

스텐브에 p-i-n 광다이오드 소자를 부하로 사용하였을 때 스텐브의 특성 입력 임피던스  $Z_B$ 로 정규화한 입력 어드미턴스  $y_i'$ 는

$$y_i = Y_i Z_B = g_i' + jb_i' = \frac{1 + jz_{Li} \tan \theta_B}{z_{Li} + j \tan \theta_B} \quad (11)$$

이며, 여기서  $z_{Li}$ 는  $Z_B$ 로 정규화한 부하의 임피던스, 그리고  $\theta_B$ 는 스텐브의 전기적 길이이다.

식 (11)로부터 다음의 관계식을 얻을 수 있다.

$$g_i' = \frac{r_i(1 + \tan^2 \theta_B)}{r_i^2 + (x_i + \tan \theta_B)^2} \quad (12)$$

$$b_i' = \frac{r_i^2 \tan \theta_B - (x_i + \tan \theta_B)(1 - x_i \tan \theta_B)}{r_i^2 + (x_i + \tan \theta_B)^2} \quad (13)$$

입사광의 유무에 관계없이 삽입손실을 일정하게 유지하려면 식(12)에서  $g_i' = g_1' = g_2'$ 로 하는 스텐브의 길이는 다음식을 만족해야한다.

$$\tan \theta_B = \frac{(r_2 x_1 - r_1 x_2) \pm (r_1 r_2)^{\frac{1}{2}} \left[ (r_1 - r_2)^2 + (x_1 - x_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{r_1 - r_2} \quad (14)$$

또 이때  $g'(\theta_B)$  및  $b_i'(\theta_B)$  값은 식(12)와 (13)으로부터 주어진다.

제작된 p-i-n 광다이오드의 측정된 임피던스로부터 계산된 표 1의  $r_i$  및  $x_i$ 의 값들을 식(14)에 넣어 구한  $\theta_B$  값을 그림 7에 나타냈으며, 부하의 두 상태에서 동일한 손실을 얻기 위한 스텐브의 전기적 길이  $\theta_B$ 는 주

파수의 증가에 따라 점점 감소함을 알 수 있다.

2. 광제어 스텐브 장착 위상기 설계

제작된 p-i-n 광다이오드를 스텐브의 부하로 하여 입사광의 유무에 따라 주선로의 위상변화량을 제어하는 스텐브 접속 위상기를 중심 주파수에 따라 위상변화량을 일정하게 하는 디지털 위상기로 설계하고 스텐브의 특성에 의한 위상기의 특성을 조사하고자 한다.

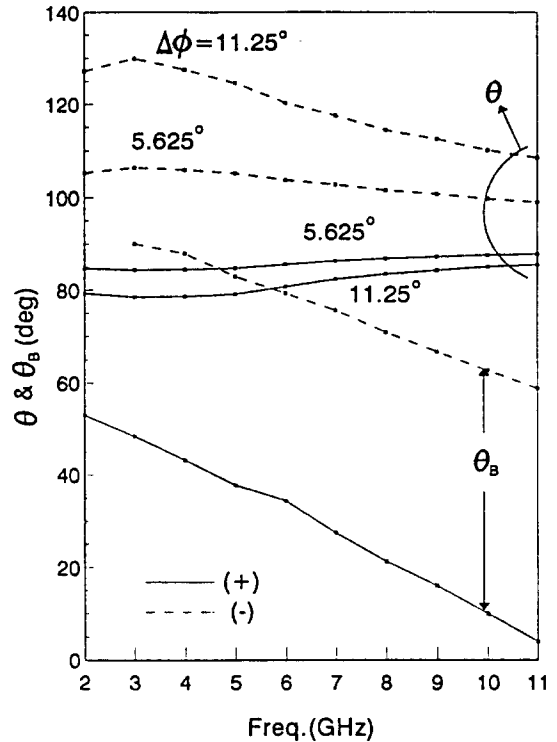


그림 7. 동일손실 위상기의 스텐브와 주선로의 전기적 길이의 주파수 변화  
Fig. 7. Electrical lengths of the stub and mainline for the equal loss phase shifter vs. frequency.

위상기의 삽입손실이 부하 상태에 관계없이 일정하게 유지되는 동일손실 부하장착 방식에서는 식 (14)에 의한 스텐브의 길이와 식 (12) 및 (13)에 의한  $b_i'$ , 그리고  $g'$ 값으로부터 식 (8)~(10)의 기본식을 이용하여 다음의 위상기에 대한 관계식을 얻을 수 있다.

$$z_B = \frac{|b_1 - b_2|}{2 \tan \frac{\Delta\phi}{2}} \quad (15)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[ \frac{1}{z_B} \left( \frac{b_2 + b_1}{2} \right) \cos \frac{\Delta\phi}{2} \left( 1 - \left( \frac{g}{z_B} \right)^2 \cos^2 \frac{\Delta\phi}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \right] \quad (16)$$

$$z_c = \left[ \frac{b_2 + b_1}{2z_B} \tan\theta \right]^{-1} \quad (17)$$

그리고 삽입손실 IL은 식 (10)에  $g_i = g'/z_B$ 를 대입하여 얻을 수 있으며, 따라서 위상변화량  $\Delta\phi$ 가 클수록  $z_B$ 는 작아지고 반대로  $g_i$ 는 커지므로 삽입손실이 커진다.

)로 큰 값을 갖지만, -를 택한 경우는  $z_B \approx 4$  ( $\Delta\phi = 5.625^\circ$ ) 및  $z_B \approx 2$  ( $\Delta\phi = 11.25^\circ$ )로 비교적 일정한 값이 요구된다. 한편  $z_c$ 는  $\Delta\phi = 5.625^\circ$  및  $11.25^\circ$  모두  $z_c \approx 1.0$  부근이지만 식(14)에서 -를 택한 경우  $\Delta\phi = 11.25^\circ$  일때는  $z_c = 1.5$ 에서 1.1까지 주파수와 함께 감소함을 알 수 있다.

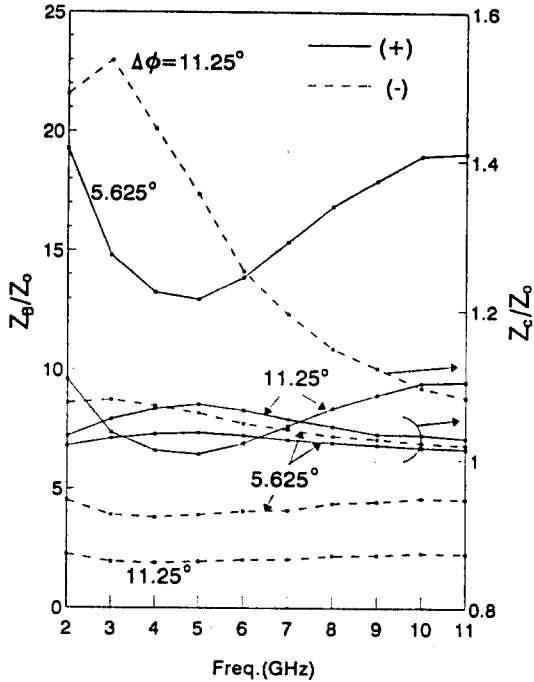


그림 8. 동일손실 위상기의 정규화된 스텐브의 특성임피던스와 주선로의 특성임피던스의 주파수 변화

Fig. 8. Normalized characteristic impedance of the stub and characteristic impedance of the main line for the equal loss phase shifter vs. frequency.

저 삽입손실은 위하여  $\Delta\phi = 11.25^\circ$  및  $5.625^\circ$ 의 일정 위상변화량을 갖는 디지털 위상기를 고려하였을 때, 주어진  $b_i$  및  $g_i$  값을 이용하여 식 (15)~(17) 및 식 (10)으로부터 계산한  $\theta$ ,  $z_B$ ,  $z_c$  및 IL을 그림 7~9까지에 나타냈다. 그림 8에서 위상변화량  $\Delta\phi$ 가 클수록 스텐브의 정규화한 특성임피던스  $z_B$ 는 작아지지만 반대로 주선로의 특성임피던스  $z_c$ 는 커짐을 알 수 있다. 그리고 식(14)에서 +를 택한 경우는  $z_B = 13 \sim 19$  ( $\Delta\phi = 5.625^\circ$ ) 및  $z_B \approx 7 \sim 10$  ( $\Delta\phi = 11.25^\circ$ )

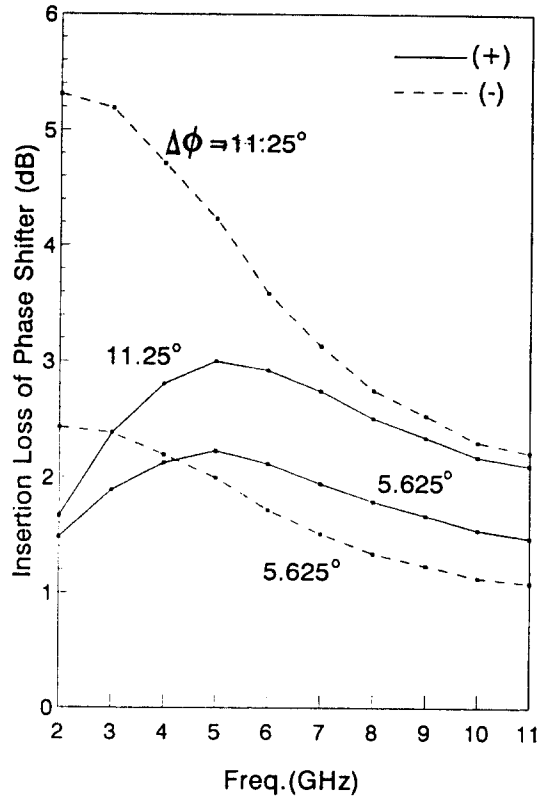


그림 9. 광제어 위상기 삽입손실의 주파수 변화  
Fig. 9. Insertion loss of the optically controlled phase shifter vs. frequency.

한편 주선로의 전기적 길이  $\theta$ 는 그림 7에서 식(14)의 +를 택한 경우는  $80^\circ$  부근에서 일정하지만 -를 택한 경우는  $\Delta\phi = 5.625^\circ$  에서  $\theta = 100^\circ \sim 105^\circ$ , 그리고  $\Delta\phi = 11.25^\circ$ 에서는  $120^\circ \sim 110^\circ$ 에 있으며, 한편 삽입손실은 그림 9에서  $\Delta\phi = 5.625^\circ$ 에서 2dB 미만이지만  $\Delta\phi = 11.25^\circ$ 의 경우 3dB 이하의 손실을 갖도록 할 수 있음을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 수평구조의 p-i-n 광다이오드를 진성

영역의 폭 별로 설계·제작하여 전기적, 광학적 그리고 초고주파 특성을 조사하였다.

제작된 광다이오드를 50Ω 전송선의 부하로 사용하여 2~11GHz 영역에서 반사계수를 측정하였으며, 이로부터 초고주파에서의 광다이오드의 임피던스를 결정하였다. 그 결과, p-i-n 광다이오드의 저항성분과 리액턴스 성분은 비슷한 크기를 가지며 입사광에 의해서는 리액턴스 성분은 감소하고 저항성분은 3GHz까지는 조금 감소하다가 그 후에는 오히려 조금씩 증가하지만 규격화한 다이오드의 저항값이  $0.3 \leq r \leq 1.5$ 의 큰 값을 유지하여 광제어 다이오드의 손실은 무시할 수 없음을 알았다.

그러나 이 경우에도 두 위상 상태에서 똑 같은 손실을 얻을 수 있는 스테브 부하장착 위상기 설계방법을 처음으로 제안하고, 제작된 p-i-n 광다이오드를 이용하여 이러한 광제어 위상기를 설계한 결과 위상변화량 11.25° 이하의 디지털 위상기는 2~11GHz의 초고주파 영역에서 삽입손실이 3dB 이하로 위상기 설계가 가능함을 알 수 있었다. 이에 반하여 바이어스 제어 위상기에서 부하 다이오드의 저항성분은 순방향 및 역방향 바이어스에서 모두 무시할 수 있기 때문에 다이오드는 손실이 없는 부하로 취급할 수 있고, 따라서 삽입손실도 위상변화량이 45° 에서 0.3dB이내로 가능해진다. 따라서 안정화 회로가 필요없이 소형화 및 고속화가 가능한 광제어방식 위상기의 장점에도 불구하고 부하로서 p-i-n 광다이오드의 손실이 큰 것이 위상기의 삽입손실을 크게 하는 원인이므로 이 문제점만 개선된

다면 삽입손실이 더 작은 광제어 위상기가 충분히 가능함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] I. J. Bahl and P. Bhartia, Microwave Solid State Circuit Design, Wiley, New York, p. 409, 1988.  
 [2] P. R. Herczfeld, A. S. Daryoush, A. Rosen, P. Stabile, and V. M. Contarino, "Optically controlled microwave devices and circuit," RCA Review, vol. 46, pp. 528, Dec. 1985.  
 [3] I. J. Bahl and K. C. Gupta, "Design of loaded-line p-i-n diode phase shifter circuits," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-28, no. 3, pp. 219, 1980.  
 [4] G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice-Hall, Inc., p. 24, 1984.  
 [5] H. A. Atwater, "Circuit design of the load-line phase shifter," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-33, no. 7, pp. 626, 1985.

저 자 소 개

韓承燁(準會員)

1963年 6月 5日生. 1990年 2月  
 아주대 공대 전자공학과 졸업.  
 1992年 2月 아주대 대학원 전자  
 공학과 석사. 1993年 3月~현재  
 아주대 대학원 전자공학과 박사  
 과정. 주관심 분야는 TFT LCD



및 전력반도체 소자 등임.

鄭相九(正會員) 第29卷 第12號 參照.

현재 아주대 공대 전자공학과 교수