

論文 92-29A-8-6

진행파형 전기광학 집적소자에 대한 전극의 위상정합에 관한 연구

(A Study on Phase-Matching of Electrodes for Traveling-Wave Electrooptic Integrated Devices)

鄭 洪 植*, 李 斗 馥*, 鄭 英 植**

(Hong Sik Jung, Doo Bok Lee, and Young Sik Jung)

要 約

conformal mapping 방법으로 유도된 전극 특성들을 이용해서, 고주파 전기광학 집적소자들의 위상정합을 고려하였다. Asymmetric Coplanar Strip(ACPS)와 Coplanar Waveguide(CPW) 전극구조에 대하여, 전극두께와 완충박막의 두께를 포함한 전극제원의 해석적 함수로 전극의 특성저항, 변조파의 유효 굴절율 및 전극손실을 고려하였다. 전기도금과 ECR 식각장비를 이용해서, 5~10(μm) 두께의 Au 박막으로 ACPS 전극을 성공적으로 제작하였으며, 전극두께와 완충박막을 이용해서 진행파형 광변조기의 변조대역을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Abstract

The characteristics of traveling-wave electrodes for high-frequency electrooptic integrated devices are described from the view point of improvement of phase-matching based on the conformal mapping method. Specific calculations of the characteristic impedance, effective microwave index, and electrode loss for asymmetric coplanar strip(ACPS) and coplanar waveguide(CPW) electrode structures are presented as a function of the geometric electrode parameters including the electrode thickness and buffer layer thickness. 5~10 (μm) thick Au-ACPS electrodes were successfully fabricated by electroplating and ECR etcher. The improvement of modulation bandwidth can be theoretically observed from the combination of electrode and buffer layer thickness.

I. 서 론

앞으로 다가올 사회는 정보화시대로서, 대량의 정보를 고속으로 전송처리 및 저장하는 기술 개발이 절

실히 요구된다. 특히 광대역 종합정보 통신망(B-ISDN) 추세에 비추어 볼때, 광을 이용하는 것이 전자시스템에 비하여 월등히 유리하다는 사실은 이미 널리 알려져 있다. 정보 전송에는 이미 광통신 시스템을 채택하여 사용하고 있으며, 전송 능력을 증가시키기 위한 연구가 진행중이며, 이에 하나로서 광대역형 광변조 및 광스위칭 소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁾ 전기광학 재료인 LiNbO₃ (Lithium Niobate), LiTaO₃ (Lithium Tantalate)에 Ti 확산으로 형성된 광도파로(optical waveguide)를 이용하는 다양한 광변조 집적소자가 연구 보고 되었으며, 특히 co-

*正會員, 弘益大學校 電子電算機工學科

(Dept. of Elec. & Computer Eng., Hongik Univ.)

**正會員, 仁川大學校 電氣工學科

(Dept. of Electrical Eng., Incheon Univ.)

接受日字: 1992年 1月 21日

(※ 이 연구는 91년도 한국과학재단 연구비지원에 의한 결과임. 과제번호: 913-0809-013-1)

planar waveguide (CPW), asymmetric coplanar strip (ACPS) 과 같은 진행파형 전극과 Mach-Zehnder 간섭계 (interferometer) 및 방향성 결합기 (directional coupler) 를 이용한 경우 고능률, 광대역형 광변조기를 제작할 수 있다.^[2] 그러나 이러한 변조기의 변조대역을 제한하는 요인으로는 위상속도 부정합 (phase velocity mismatching), 분산 (dispersion), 전극손실 등에 기인되며, 특히 광도파로를 진행하는 광파 (optical wave) 의 위상속도 (phase velocity) $V_o (=C/n_o)$ 와 변조파 (modulating wave) 의 속도 $V_m (=C/n_{eff})$ 과의 차이에서 기인되는 위상속도 부정합이 가장 큰 요인으로 작용되고 있다. 즉 3-dB 광변조대역폭 (bandwidth) 은 위상속도차 $|V_o - V_m|$ 에 근사적으로 반비례하며, 변조대역과 위상변화의 관계로부터 다음과 같이 표현된다.^[3]

$$BW \propto \frac{1}{|V_o - V_m| \cdot l} = \frac{1.4c}{\pi |n_o - n_{eff}| \cdot l} \quad (1)$$

(l : 전극의 길이, c : 빛의 속도)

LiNbO₃에 제작된 진행파형 광변조기의 최대 변조대역폭은 전극의 임피던스정합, 무손실 가정하에 위상정합을 고려하지 않으면 이론적으로 $BW \cdot l \approx 6.5$ [GHz·cm]이며, 위상정합이 이루어진 경우에는 이론적으로 무한대의 변조대역을 가질 수 있으나, 전극손실, 재료 및 구조분산 등을 고려할지라도 30 [GHz] 이상의 변조대역이 가능하다. 따라서 효과적으로 위상속도 정합을 실현하기 위해서는 변조파의 유효굴절율이 도파로를 지나는 광파의 유효굴절율과 같아지도록 전극을 설계, 제작하는 것이 무엇보다 중요하다.^[4]

위상반전 주기전극 (phase reversal periodic electrode)^[5] 차폐형 (shielded) 전극구조^[6] Etched-Groove 를 이용한 전극^[7] 들은 궁극적으로 변조파의 유효 굴절율을 광파의 유효 굴절률로 근접시켜서, 위상정합을 시도한 것이다. 그러나 이러한 노력들은 비교적 복잡한 제작공정을 이용하고 있기 때문에 실용성에 많은 어려움이 예측된다. 따라서 본 연구에서는 전극 및 완충박막 (buffer layer) 두께에 따라서, 변조파의 유효굴절율이 감소하는 현상을 이용해서, 위상정합 가능성을 이론적으로 검토하였으며, 특히 ECR (electro cyclotron resonance) 식각장비를 이용해서 비교적 두꺼운 두께의 전극 제작 가능성을 검토하였다.

II. 진행파형 전극의 이론적 고찰

일반적으로 진행파형 광변조기의 구동전력 및 변조대역은 전극의 마이크로파 특성에 의존되기 때문

에, 전극설계시 특성저항, 변조파의 유효굴절율 및 감쇠 등을 고려하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 RF 변조파가 TEM 모드라는 가정하에, Schwartz-Christoffel 변환방법을 이용해서, 전극의 마이크로파 특성을 전극두께와 완충박막을 포함한 전극재원의 해석함수로 표현하고자 한다. ACPS, CPW 전극구조와 이에 대응되는 conformal mapping은 그림 1과 같다. 일반적으로 TEM형 전송선로에서는 특성저항 Z_c 는 다음과 같이 표현된다.

$$Z_c = \frac{1}{V_m \cdot C_c} = \frac{1}{c \cdot \sqrt{C_o \cdot C_c}} \quad (2)$$

여기서 c 는 빛의 속도, C_c, C_o 는 유전체 및 자유공간에서 단위길이당 전송선로의 정전용량이며, V_m 은 변조파의 위상속도로 식(2)로 부터 다음과 같은 관계식으로 표현된다.

$$\left[\frac{c}{V_m} \right]^2 = \frac{C_c}{C_o} = \epsilon_{eff} \quad (3)$$

이러한 변조파의 유효 비유전율, ϵ_{eff} 및 굴절율, n_{eff} 는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$n_{eff} = \sqrt{\epsilon_{eff}} \quad (4)$$

정전용량 C_c, C_o 는 다음과 같이 conformal mapping 방법으로 유도 될수 있으며, 각 전극구조의 mapping

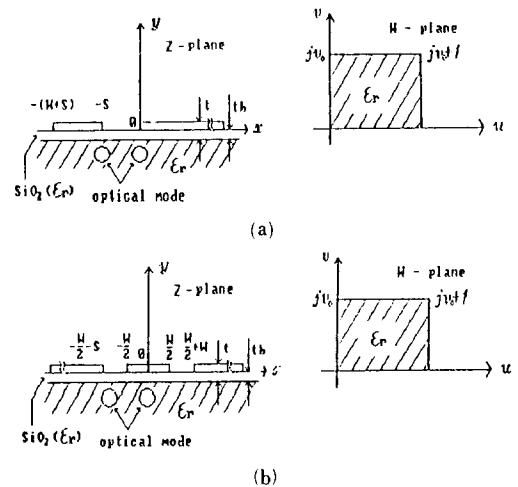


그림 1. 진행파형 전극구조 및 대응되는 Conformal mapping 변환, (a) ACPS, (b) CPW

Fig. 1. Traveling-wave electrode structures and conformal mapping transformation for (a) ACPS and (b) CPW.

함수는 아래와 같다.^[8]

$$W(z) = A \cdot \int_0^z \frac{dz}{[z(z+S)(z+W+S)]^{1/2}} + B$$

for ACPS (5a)

$$W(z) = A \cdot \int_0^z \frac{dz}{\{z^2 - (\frac{W}{2})^2\} \{z^2 - (\frac{W}{2} + S)^2\}^{1/2}} + B$$

for CPW (5b)

여기서 z는 W-plane에서 임의의 점을 나타내며, A, B는 임의의 상수이다. Complete Elliptical Integral K(k) = sn⁻¹(1, k)와 complementary K'(k)을 이용하여, W-plane에서의 ν₀를 유도하면 다음과 같다.

$$\nu_0 = K(k)/K'(k) \quad \text{for ACPS} \quad (6a)$$

$$\nu_0 = (1/2) K'(k)/K(k) \quad \text{for CWPS} \quad (6b)$$

여기서 k, k'는 전극세원의 Aspect Ratio로서 다음과 같이 정의 된다.

$$k = \left[\frac{S}{W+S} \right]^{1/2}, \quad k' = (1-k^2)^{1/2}$$

for ACPS (7a)

$$k = \left[\frac{W}{2S+W} \right], \quad k' = (1-k^2)^{1/2}$$

for CPW (7b)

K(k)/K'(k)에 대한 비는 W. Hilberg의 문헌을 이용해서 다음과 같은 식으로 비교적 정확히 참조될수 있다.^[9]

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{1}{\pi} \ln \left[2 \cdot \frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}} \right]$$

for 0.707 ≤ k < 1 (8a)

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{\pi}{\ln \left[2 \cdot \frac{1+\sqrt{k'}}{1-\sqrt{k'}} \right]} \quad \text{for } 0 \leq k < 0.707 \quad (8b)$$

이 경우에 있어서 전송선로의 단위길이당 정전용량, C_c 및 C_o는 다음과 같이 구해진다.

$$C_c = \frac{\epsilon_0(\epsilon_r+1)}{\nu_0} = \epsilon_0(1+\epsilon_r) \cdot \frac{K'(k)}{K(k)}$$

for ACPS (9a)

$$C_c = \frac{\epsilon_0(\epsilon_r+1)}{\nu_0} = 2\epsilon_0(1+\epsilon_r) \cdot \frac{K(k)}{K'(k)}$$

for CPW (9b)

$$C_o = 2 \frac{\epsilon_0}{\nu_0} = 2\epsilon_0 \cdot \frac{K'(k)}{K(k)} \quad \text{for ACPS} \quad (9c)$$

$$C_o = 2 \frac{\epsilon_0}{\nu} = 4\epsilon_0 \cdot \frac{K(k)}{K'(k)} \quad \text{for CPW} \quad (9d)$$

식(3)과 (9)로부터, 두 전극구조의 유효 비유전율 ε_{eff}는 다음과 같이 표현될 수 있으며,

$$\epsilon_{eff} = \sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}} \quad (10)$$

이방성 결정인 LiNbO₃에 대해서 ε₁₁=28, ε₃₃=44이며, ε_r=(ε₁₁·ε₃₃)^{1/2}로 표현된다. 단 z-방향으로 진행되는 소자에 대해서는 예외이다. 식(2)와 (9)로부터 특성저항 Z_c를 다음과 같이 구해진다.

$$Z_c = \frac{60\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \cdot \frac{K(k)}{K'(k)} (\Omega) \quad \text{for ACPS} \quad (11a)$$

$$Z_c = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \cdot \frac{K'(k)}{K(k)} (\Omega) \quad \text{for CPW} \quad (11b)$$

지금까지 논의된 내용은 전극의 두께와 완충박막의 효과를 포함시키지 않고 고려된 것이다. 그러나 전극금속에 의한 광파의 흡수를 막기 위해서 SiO₂ 또는 Si₃N₄와 같은 유전체를 완충박막으로, 위상정합과 전극손실을 줄이기 위해서 두꺼운 전극을 사용할 경우, 전자로부터 기인되는 용량 C_b와 후자로부터 기인되는 용량 C_t를 고려하여, C_c를 다음과 같이 수정될 수 있다. 즉 그림 2의 등가모델과 같이 기생용량 C_t는 전극의 정전용량을 증가시키며, LiNbO₃보다 작은 완충박막의 비유전율 값 때문에 C_b는 전극의 정전용량을 감소시켜서 식(9)는 아래와 같이 수정된다.

$$C_c = \epsilon_0(1+\epsilon_r) \cdot \frac{K'(k)}{K(k)} + C_t - C_b$$

for ACPS (12a)

$$C_c = 2\epsilon_0(1+\epsilon_r) \cdot \frac{K(k)}{K'(k)} + 2C_t - C_b$$

for CPW (12b)

$$C_o = 2\epsilon_0 \cdot \frac{K'(k)}{K(k)} + C_t \quad \text{for ACPS} \quad (12c)$$

$$C_o = 4\epsilon_0 \cdot \frac{K(k)}{K'(k)} + 2C_t \quad \text{for CPW} \quad (12d)$$

각 전극구조의 C_t는 평행 평판형 capacitance로 고려하여 conformal mapping 방법으로 유도된 식을 이용하였으며,^[9] C_b는 Green 함수방법으로 부터 유추해낸 해석적 표현을 이용하였다.^[10-11] 식(12)로부터 얻은 특성저항과 유효굴절율은 Mode Projecting Method (MPM), Method of Lines (MOL)으로 얻은 결과와 매우 잘 일치하였다.^[12-13] t_b=0(완충박막이 없음)에 대해서, 전극세원의 비 W/S와 normalized된 t/S의 합수로 계산된 유효굴절율과 특성저항을 그림 3과 4와 같이 얻었다. 예상한대로 전극의 두께가 증가함에 따라 변조파의 유효굴절율이 감소하며, 이에 대응해서

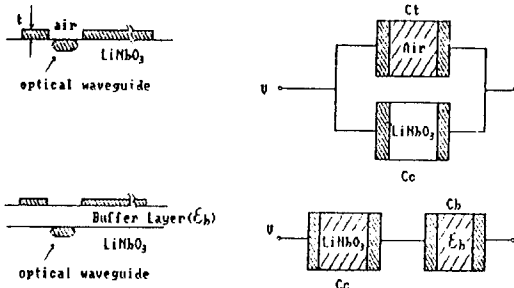


그림 2. 진행파형 전극구조의 정전용량 등가모델
Fig. 2. Capacitive equivalent model for traveling wave electrode structure.

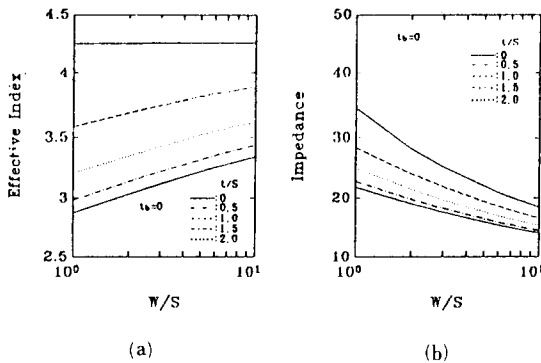


그림 3. ACPS에 대한 W/S와 t/S의 함수로 계산된
(a) 유효굴절율과 (b) 특성저항
Fig. 3. (a) Effective refractive index and
(b) characteristic impedance as a function
of W/S with t/S for ACPS.

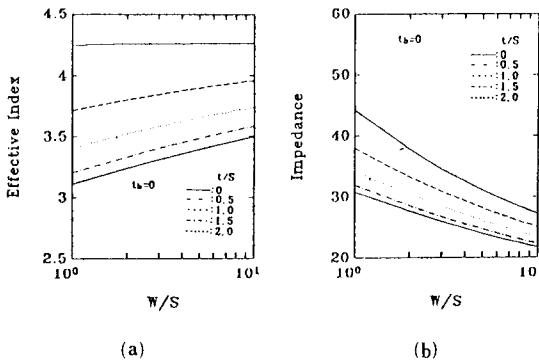


그림 4. CPW에 대한 W/S와 t/S의 함수로 계산된
(a) 유효굴절율과 (b) 특성저항
Fig. 4. (a) Effective refractive index and
(b) characteristic impedance as a function
of W/S with t/S for CPW.

특성저항도 감소됨을 알 수 있다. 특히 W/S의 비가 작을수록 전극두께의 효과가 두드러짐을 알 수 있다. 즉 전극의 두께는 전기장 분포를 변화시켜, 자유공간으로 분포된 전기장이 전극두께와 함께 증가되어, 변조파의 유효 비유전율을 감소시키게 된다.

작은 비유전율 값을 갖는 유전체를 완충박막으로 사용하는 목적은 세가지로 요약될 수 있다. 첫째는 전극금속에 의한 광파의 흡수를 막고, 둘째는 전극손실을 감소시킬 수 있으며, 세째는 변조파의 전기장 일부가 완충박막으로 진행함에 따라, 변조파의 유효굴절율이 감소되어, 위상정합을 향상시킬 수가 있다. 그림 5, 6는 전극두께 $t/S=0.5$ 에 대해서, W/S와 t_b/S 의 함수로 유도된 유효굴절율과 특성저항으로서 세 번째 목적을 뒷받침 해준다. 완충박막이 두꺼울수록 유효굴절율은 감소하며, 이와 반대로 특성저항은 증가함을 알 수 있다. 따라서 전극과 완충박막의 두께를 적절히 이용하면, 특성저항을 크게 변화시키지 않으면서, 변조파의 유효굴절율을 감소시켜 위상속도 차를 줄이면서, 변조대역을 증가시킬 수 있다.

그러나 전극두께와 완충박막이 위상정합에 미치는 영향은 아주 다르다. 전극두께는 구동전력을 증가시키지 않으면서, 변조대역을 증가시킬 수 있으나, 이와 대조적으로 완충박막은 위상정합의 향상으로 변조대역이 증가되지만, 광파에 영향을 미치는 전기장의 세기가 감소되어 구동전력을 증가시키게 된다. 따라서 변조대역을 증가시키기 위해서 완충박막을 이용할 경우 전력소모의 증가는 감수해야 된다.

변조대역을 제한하는 또다른 주요원인은 전극손실로서, 전도손실 (conduction loss)과 유전손실 (dielectric loss)로 구분되며, 후자는 전자에 비해 매우 작기

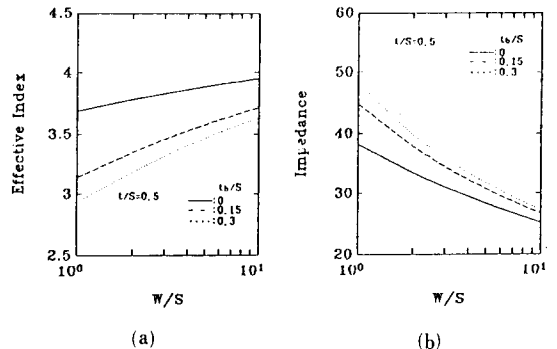


그림 5. ACPS에 대한 W/S와 t_b/S 의 함수로 계산된
(a) 유효굴절율과 (b) 특성저항
Fig. 5. (a) Effective refractive index and
(b) characteristic impedance as a function
of W/S with t_b/S for ACPS.

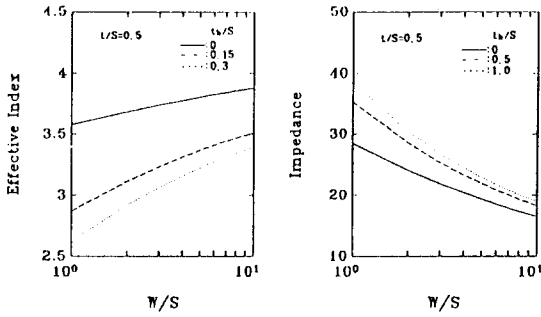


그림 6. CPW에 대한 W/S와 t_b/S 의 함수로 계산된 (a) 유효굴절율과 (b) 특성저항

Fig. 6. (a) Effective refractive index and (b) characteristic impedance as a function of W/S with t_b/S for CPW.

때문에, 고주파변조 일 경우 표피효과(skin effect)에 기인되는 전도손실만 고려하고자 한다. 평면형 전송선로의 감쇠정수, α 는 다음과 같으며,

$$\alpha = \frac{R}{2 \cdot Z_c} \quad (13)$$

R는 전극의 단위길이당 저항으로서, incremental inductance rule에 따라 아래와 같이 표현된다.¹¹⁾

$$R = \frac{2 \cdot R_s}{\epsilon_0} \left[\frac{\partial}{\partial S} - \frac{\partial}{\partial W} - \frac{\partial}{\partial t} \right] \frac{1}{C_0} \quad (14)$$

여기서 R_s 는 표면저항이며, 다음과 같다.

$$R_s = \frac{2}{\sigma \cdot \delta_e} = \left[\frac{2\omega\mu}{\sigma} \right]^{1/2} \quad (15)$$

σ, μ 는 전극의 도전율, 유자율이며, ω 는 변조파의 각주파수, t 는 전극의 두께, 그리고 $\delta_e = (2/\omega\mu\sigma)^{1/2}$ 는 표피깊이로 \sqrt{f} 에 반비례한다. 따라서 감쇠정수, α 는 궁극적으로 \sqrt{f} 에 비례하며, 변조대역이 증가할수록 변조파는 전극표면에 근접해서 진행되며, 전극표면의 불균일함은 산란(scattering)에 의해서 전극손실을 가속화 시킬수 있다. 표피깊이가 전극두께보다 훨씬 큰 저주파 영역에서는 표면저항과 전극손실은 주파수와는 무관하게 되며, 이때 표면저항 $R_s = 2/\sigma \cdot t$ 로 나타낼 수 있다. 식(14)을 이용해서 감쇠정수는 다음과 같이 해석적으로 표현할 수 있다.¹⁹⁾

$$\alpha = 17.34 \frac{R_s P'}{Z_c \pi \cdot S} (1 + W/S) \cdot \left[\frac{1.25 \cdot \ln \frac{4\pi W}{t} + 1 + \frac{1.25t}{\pi W}}{1 + 2 \frac{W}{S} + \frac{1.25t}{\pi \cdot S} \left(1 + \ln \frac{4\pi W}{t} \right)} \right]^2 \quad (dB/cm) \quad (16a)$$

for ACPS

$$\alpha = 4.88 \times 10^{-4} \cdot R_s \cdot \epsilon_{eff} Z_c \frac{P'}{\pi \cdot S} \cdot (1 - W/S) \cdot \left[\frac{1.25 \cdot \ln \frac{4\pi \cdot W}{t} + 1 + \frac{1.25t}{\pi \cdot W}}{1 + 2 \frac{W}{S} - \frac{1.25t}{\pi \cdot S} \left(1 + \ln \frac{4\pi W}{t} \right)} \right]^2 \quad (dB/cm) \quad (16b)$$

for CPW

$$P = \begin{cases} \frac{k}{(1-k')(k')^{3/2}} \cdot \frac{K(k)}{K'(k)} & \text{for } 0 \leq k < 0.707 \\ \frac{1}{(1-k) \cdot \sqrt{k'}} & \text{for } 0.707 \leq k < 1 \end{cases}$$

그림 7은 ACPS, CPW에 대해서 W/S와 t/S의 함수로 전극손실, $\alpha \cdot S/R_s$ 를 보여준다. 전극이 두꺼울수록 전극손실은 감소함을 관찰할 수 있으며, 이 효과는 W/S가 감소할수록 두드러짐을 알 수 있다. $W=20, S=5$, 즉 $W/S=4, t/S=0.5$ 인 ACPS 전극의 경우 그림 6(a)로 부터 $\alpha \cdot S/R_s = 0.065$ 이다. 전극재료가 gold인 경우 $\sigma = 4.1 \times 10^7 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 이며, 따라서 저주파 ($f < 1 \text{ GHz}$)의 경우 $\alpha = 2.6 \text{ dB/cm}$ 이며, 고주파 영역일 경우 ($f > 4 \text{ GHz}$), $\alpha = 1.3 \text{ dB/cm GHz}^{-1/2}$ 이다.

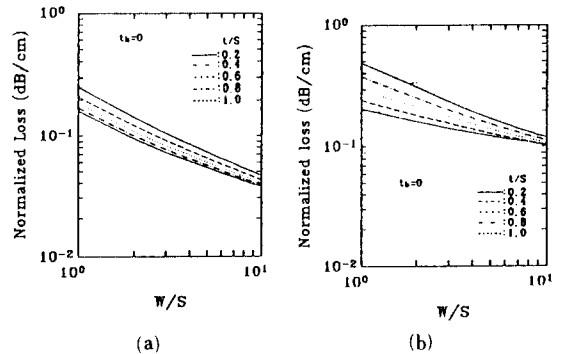


그림 7. (a) ACPS, (b) CPW에 대한 W/S와 t/S의 함수로 계산된 normalized 전극손실, $\alpha \cdot S/R_s$

Fig. 7. Normalized electrode loss $\alpha \cdot S/R_s$ as a function of W/S and t/S for (a) ACPS and (b) CPW.

III. 전극제작 및 실험적 고찰

전극두께를 이용한 위상정합이 현 제작공정기술로 가능한지 그림 8과 같은 ACPS 전극 photo-mask를 이용하여 다음과 같이 실험을 하였다. 전극재료로는 전도도가 좋은 Au를 사용하였으며, 전기도금(electro-plating)을 이용해서, 두꺼운 박막을 제작하였다. 먼저 X-cut LiNbO₃ 기판위에 약 3000Å 정도의 cr/Au를 evaporator로 증착시킨후, 전기도금으로 5~10(μm)

두께로 박막을 형성하였다. 전기도금시 전류밀도, 온도는 전극표면 및 성장률에 많은 영향을 미치므로, 여러 조건속에서 다양하게 실험한 결과, 50°C , $7(\text{mA}/\text{cm}^2)$ 에서 좋은 Au 박막을 형성할 수 있었으며, 이때 박막 성장률은 약 $3100(\text{\AA}/\text{min})$ 정도로 측정되었다. 특히 고주파 광변조기에서는 포피효과에서 기인되는 산란이 변조대역을 제한하므로, 전극표면의 균일함이 매우 중요하다.

이처럼 제작된 박막에 사진식각고정 (photolithography)과 ECR 식각장비를 이용해서 ACPS 전극을 제작하였다. 사진식각 공정시 식각율이 매우낮은 OFPR-8600 photoresist를 masking layer로 사용하였으며, 표 1과 같은 식각조건에 의해서 $5\mu\text{m}$ 두께의 ACPS 전극을 제작하였다. Au의 식각율은 약 $950\text{\AA}/\text{min}$ 으로 측정되었다.

표 1. Au 박막의 ECR 식각조건
Table 1. ECR etching conditions for Au layer.

PHOTORESIST	OFPR-8600
GAS	CHF_3
FLOW RATE	6 sccm
마이크로파 전력	400W
가속전압	800V
자기전력 전류	15.5A

제작된 전극의 마이크로파 특성을 검토하기 위해서, SMA-stripline connector를 직접 ACPS 전극의 접촉패드에 연결시키는 inplane side feed arrangement를 그림 8과 같이 제작하여서, 기생용량 및 전력손실을 최소화 하였다. HP network-analyzer를 이용해서 S_{21} parameter를 측정된 결과 그림 9와 같이 4GHz 부근의 미약한 공진현상 이외에는 10GHz 까지 큰 distortion은 관찰되지 않았다. 따라서 $10(\mu\text{m})$ 두께의 전극은 ECR 장비를 이용할 경우 큰 어려움 없이 제작 가능하며, 이러한 전극들을 Mach-Zehnder 간섭계, 방향성 결합기에 이용할 경우 매우 향상된 변조대역을 기대할 수 있으리라 예상된다.

IV. 결 론

진행파형 광집적 소자에 널리 이용되는 ACPS와 CPW 전극에 대한 전기적 특성 즉 특성저항, 변조파의 유효굴절률 및 전극손실을 전극과 완충박막의 두께를 포함한 전극제원의 해석적 함수로 유도하였으며,

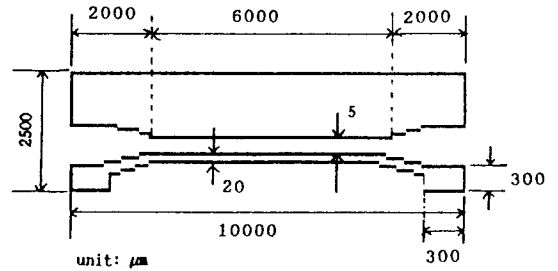


그림 8. ACPS 전극의 photo-mask
Fig. 8. Photo-mask layout of ACPS electrode.

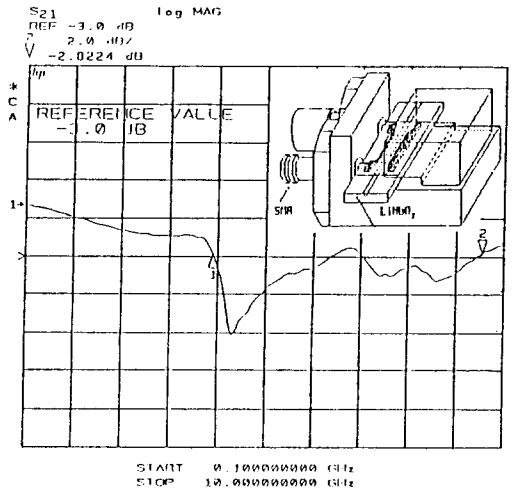


그림 9. ACPS 전극에 대한 S_{21} parameter의 측정결과
Fig. 9. The measured S_{21} parameter for ACPS.

수치해석적으로 얻어진 결과와 매우 잘 일치하였다. 전극이 두꺼울수록 변조파의 유효굴절률이 감소되어 위상정합을 향상시켜서, 변조대역을 증가시키게 된다. 완충박막 또한 변조파의 유효굴절률을 감소시키나, 전력손실을 감수해야 된다. ECR 식각장비를 이용해서 $5\sim 10(\mu\text{m})$ 두께의 ACPS 전극을 제작할 수 있으며, 이러한 제작공정은 전극과 완충박막의 두께로 비교적 수월하게 광변조기의 변조대역을 향상시킬수 있음을 뒷받침 해주었다.

參 考 文 獻

- [1] R.C.Alferness, "Guided-wave devices for optical communication", *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-17, 946, 1981.

- [2] S.K. Korotky, et al, "Optical intensity modulation to 40 GHz using a waveguide electro-optic switch," *APPL. Phys. Lett.*, 50(23), pp. 1631-1633, Jun. 1987.
- [3] Amnon Yariv, *Optical Electronics*, pp. 299-300, Holt-Saunders International Editions.
- [4] Albert C.T. wey, Julian P.G. Bristow, "Electrode optimization of high speed Mach-Zehnder Interferometer," *SPIE.*, vol. 835, pp. 238-245, 1987.
- [5] R.C. Alferness, S.K. Korotky, E. Marcetili, "Velocity-matching technique for integrated optic traveling wave switch/modulators," *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-20, no. 3, pp. 301-309, Mar. 1984.
- [6] K. Kawano, T. Kitoh, O. mitomi, T. Nozawa, H. Jumonji, "A wide-band and low-driving, power phase modulator employing a Ti:LiNbO₃ optical waveguide at 1.5 μ m wavelength," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 1, no. 2, pp. 33-34, Feb. 1989.
- [7] H. Haga M. Izutsu, T. sueta, "LiNbO₃ Traveling-wave light modulator/switch with an etched groove," *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-22, no. 6, pp. 902-906, Jun. 1986.
- [8] K. Kubota, J. Noda, O. Mikami, "Traveling wave optical modulator using a directional coupler LiNbO₃ waveguide," *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-16, no. 7, pp. 754-760, July 1980.
- [9] K.C. Gupta, R. Garg, and I.J. Buhl, *Microstrip lines and slotlines*. Dedham, MA, Artech, 1979, ch 7.
- [10] W.T. Weeks, "Calculation of coefficients of capacitance of multiconductor transmission lines in the presence of a dielectric interface," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-19, pp. 35-43, Jan. 1970.
- [11] H. Chung, William S.C. Chang, E.L. Adler, "Modeling and optimization of traveling-wave LiNbO₃ interferometric modulators," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 27, no. 3, pp. 608-617, Mar. 1991.
- [12] H. Jin, R. Vahldieck, M. Belanger, A. Jacubczyk, "A mode projecting method for the quasi-static analysis of electrooptic device electrodes considering finite metalization thickness and anisotropic and substrate," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 27, no. 10, pp. 2306-2314, Oct. 1991.
- [13] Johannes Gerdes, et al, "Full-wave analysis of traveling-wave electrodes with finite thickness for electro-optic modulators by the method of lines," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 461-467, Apr. 1991.

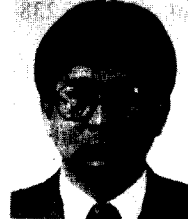
著 者 紹 介



鄭 洪 植 (正會員)

1959年 6月 25日生. 1982年 2月, 1984年 8月 서강대학교 전자공학과 및 대학원 졸업(공학사, 공학석사). 1984年 8월~1988年 12월 Texas A&M University 전기공학과 졸업(공학박사). 1989年 3월~

1990年 2월 일본 신기술사업단 연구원. 1990年 3월~현재 홍익대학교 전자전산기공학과 조교수. 주관심분야는 광집적회로소자 설계 및 제작, 고주파 광변조기 및 광통신 시스템 연구 등임.



鄭 英 植 (正會員)

1958年 2月 14日生. 1983年 인하대학교 전기공학과 졸업. 1985年 4월 미국 Univ. of pittsburgh 에서 석사학위. 1990年 8월 미국 Univ. of pittsburgh에서 졸업(공학박사). 1991年 3월~현재 인천대학교 전

기공학과 조교수. 주관심분야는 신호처리, 광신호처리 영상처리 등임.



李 斗 馥 (正會員)

1945年 5月 8日生. 1971年 2월 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1986年 2월 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1975년~1989年 홍익공업전문대학 전자과 교수. 1981년~1982年

미국 Michigan 주립대학 연구교수. 1989년~현재 홍익대학교 전자전산기공학과 부교수. 주관심분야는 컴퓨터 응용, 시뮬레이션, 자동화 및 통신시스템 등임.