

有機物 薄膜에서의 光導波 現象 (Optical Waveguiding in the Polymerized Organic Films)

朴 鴻 濬*, 權 寧 世**

(Hong June Park and Young Se Kwon)

要 約

슬라이드 글라스와 위에 $1\mu\text{m}$ 가량의 酸化膜을 입힌 실리콘 웨이퍼 위에, 폴리우레탄이나 에폭시 등의 有機物質을 스핀너(spinner)로 코우팅시켜서 平板形 誘電體 導波管(dielectric slab waveguide)을 제작하고, 프리즘으로 빛을 커플링(coupling)시켜서 光導波 現象을 확인했다.

실리콘 웨이퍼나 슬라이드 글라스 위에다 알루미늄이나 銀(Ag)을 진공증착시킨 것을 기판으로 사용하여 金屬板 導波管(metal clad waveguide)을 제작하고, 프리즘 2개로 커플링(coupling), 디커플링(de-coupling)시켜서 모우드 라인(mode line)을 관찰했다.

포토리지스트 K. P. R.의 굴절율이 폴리우레탄의 굴절율보다 큰 점을 이용하여 2층 구조의 薄膜 프리즘을 제작하고 빛이 꺾이는 현상을 확인했다.

Abstract

The dielectric slab waveguide is fabricated on the slide glass or oxidized silicon wafer, by spin coating polyurethane, epoxy or photoresist, and the phenomenon of dielectric waveguiding is observed.

Using the fact that the refractive index of K. P. R. is larger than that of polyurethane, thin film prism with two layered structure is fabricated, and the refraction of light is observed.

I. 序 論

1970년대 초반에, 低 損失 光纖維와 室温(room temperature)에서 연속 동작할 수 있는 半導體 레이저가 발명됨에 따라 光通信이 급속도로 개발되어 이미 실용 단계에 접어들었다.

이에 따라 光通信 시스템에 쓰이는 광원, 변조기, 중계기, 검출기 등의 여러 장치를 반도체 기술을 이용하여 小形 集積化 시키려는 연구가 현재 활발하게 진행되고 있다.

이러한 光集積回路(integrated optics)장치에서 빛을 導波(guiding)시키기 위해서는 誘電體 導波管(dielectric waveguide)을 사용해야 한다.

또한, 光纖維 自體도 일종의 誘電體 導波管이고, 광통신에서 광원으로 쓰이는 반도체·레이저도 양쪽에 캐비티(cavity) 구조를 가진 誘電體 導波管이므로 이러한 장치들의 원리를 이해하기 위해서는 먼저 誘電體 導波管에 대한 이해가 필수적이다.

誘電體 導波管은 크게, 납작한 면위에서 일차원적으로만 導波되는 平板形 導波管과, 어떤 경로를 따라 導波되는 채널形 導波管으로 나눌 수 있다.

本 論文에서는 보다 간단한 형태인 平板形 導波管(그림 1)에 대해서 이론적인 고찰과 실험에 의해서 몇 가지 성질들을 알아보고, 이를 응용하여 金屬板 導波管(metal clad waveguide), 薄膜 프리즘(thin film prism) 등을 제작했다.

*正會員, 韓國電子技術研究所
(Korea Institute of Electronics Technology)

**正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科
(Dept. of Electrical Engineering, KAIST)

接受日: 1982年 3月 12日

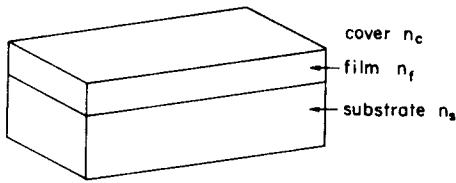


그림1. 誘電體 導波管(n_c , n_f , n_s 는 각각 커버, 필름, 기판의 굴절율이다.)

Fig. 1. Dielectric waveguide (n_c , n_f , n_s are refractive indices of cover, film and substrate, respectively).

II. 誘電體 導波管의 理論

誘電體 導波管에서 빛이 導波되는 原理를 精確하게 이해하려면 맥스웰 방정식을 풀어야 한다.

또한, 電位 障壁 모델 (potential well model)이나 zigzag wave model로도 導波되는 원리를 이해할 수 있는데, 이 셋이 모두 같은 결론을 준다.¹⁾

맥스웰 방정식을 誘電體 導波管에 적용하면 b-V 圖表를 구할 수 있는데, 이 圖表로 부터 誘電體 導波管의 여러 가지 유용한 성질들을 알아낼 수 있다.¹⁾

맥스웰 방정식에 의한 방법은 많은 문헌에서 언급되었으므로,^{1, 2)} 本 論文에서는 보다 직관적인 電位 障壁 모델로 설명한다.

1. 電位 障壁 모델

波動 現象을 기술하는 해름홀츠 방정식과 電子 現象을 기술하는 슈뢰딩거 방정식이 같은 2계 미분방정식(second order differential equation)이고 경계 조건이 類似하다는 사실에서 다음과 같은 對應 關係(analogy)를 유도할 수 있다.¹⁾

$$(n_i^2 - n_f^2) \longleftrightarrow (-V_i) \quad (1. a)$$

$$(n_f^2 - N^2) \longleftrightarrow (E) \quad (1. b)$$

여기서 V_i 는 i 번째 영역의 電位이고, E 는 電子의 에너지이고, N 은 等價 屈折率이다.

이 대응관계를 그림 2에서 보았다.

빛이 薄膜속에서 모이기 위해서는 薄膜의 電位가 기판이나 커버(cover)의 電位보다 낮아야 하므로, $n_f > n_s$, $n_f > n_c$ 이어야 하는데, 이것은 全 反射 條件과 일치한다.

또 에너지 E 는 薄膜 電位보다 커야 하고 電位 障壁을 넘치지 않아야 하므로 $n_f > n_s > n_c$ 인 구조에서

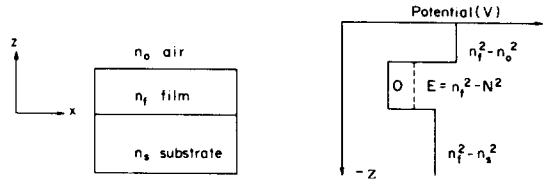


그림2. 誘電體 導波管의 電位障壁 모델

Fig. 2. Potential well model of dielectric waveguide.

$n_s < N < n_f$ 이어야 한다.

電位 障壁에서의 경계치 조건은, 波動函數를 Ψ 라고 할 때, Ψ 값과 $\frac{d\Psi}{dz}$ 값이 연속이고 $\Psi(\pm\infty) = 0$ 이므로 非磁性 物質로 이루어진 導波管에서의 TE 導波 모우드의 電界(E field)에 대한 경계치 조건과 완전히 일치한다.

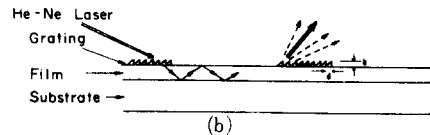
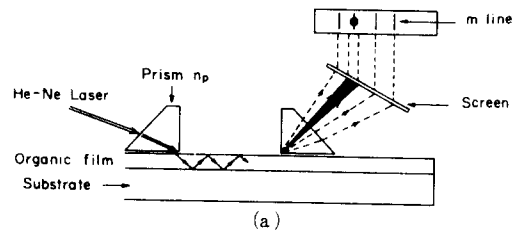


그림3. 프리즘 커플러와 그레이팅 커플러

Fig. 3. Prism coupler and grating coupler.

電位 障壁에서 이 경계치 조건때문에 電子가 가질 수 있는 에너지가 量子化 되어 있다. 따라서 식(1.b)의 대응관계에 의해서 등가 굴절율 N 도 量子化됨을 알 수 있다. N 은 薄膜속에서의 전파상수 β 와 眞空속에서의 전파상수의 比와 같으므로, 곧 전파상수 β 가 量子化 됨을 의미하고, 進行하는 각도가 量子化 됨을 의미한다.

2. 프리즘 커플러와 그레이팅 커플러

빛을 誘電體 導波管 內에 커플링시키기 위해서는, 導波管 薄膜 위에도 빛을 막바로 비춰서는 안되고, 프리즘이나 그레이팅을 사용해야 한다.

그림 3 (a)에 프리즘 커플러가 그려져 있는데, 레이어 光線을 프리즘의 직각진 부분에 닿도록 쏘아 주

고, 입사광선의 입사방향을 서서히 변화시키면 어떤 각도에서 커플링이 일어나서 薄膜속으로 빛이 진행하게 된다. 말하자면 프리즘과 薄膜사이에 있는 얇은 空氣 間隔을 통하여 光 터널링(optical tunnelling)이 일어나서 薄膜에 導波 모우드가 발생된 것이다. 空氣 間隔(air gap)은 되도록 작을수록 좋은데, 이를 위해서 프리즘과 導波管 面이 접촉이 잘 되게 보폭한 나사못등으로 눌러 주어야 하는데 대체로 간격이 0.1 μm 정도만 되면 커플링이 일어난다고 알려져 있다.^[1]

커플링이 되기 위해서는 우선 프리즘의 굴절율이 薄膜의 굴절율보다 커야 한다. 한 매질에서 다른 매질로 빛을 커플링 시키기 위해서는 경계면을 따라서 양 매질에서의 빛의 전파속도(위상속도)가 같아야만 한다. 여기서 다음과 같은 커플링 조건을 구할 수 있다.

$$n_p \sin \theta_p = n_f \sin \theta_f \quad (2)$$

여기서 n_p 는 프리즘의 굴절율이다.

θ_f 는 薄膜의 導波 모우드에 따라 정해 지므로, 이에 따라 導波되기 위한 θ_p 도 정해진다.

그림 3 (b)에서처럼 그레이팅 커플러를 사용하여 도 프리즘 커플러와 같은 기능을 얻을 수 있는 데, 지금 週期가 d 인 사인파 그레이팅을 생각하면, 그레이팅에 의한 섭동(perturbation) 때문에 그레이팅 면을 따라서 전파상수가 $k \cdot \sin \theta_i + m \cdot \frac{2\pi}{d}$ (k : 眞空中에서의 전파상수, m : 整數)인 성분들이 생겨 나는데, 입사각 θ_i 를 적당히 조절하여 導波 모우드를 발생시킬 수 있다.

III. 導波管의 제작 및 導波 實驗

誘電體 導波管의 제작 방식에는 확산, 진공 증착, 이온 주입, 이온 전이, 용액 도포, 개스 방전에 의한 중합체 형성, 에피택시나 화학 식각 등의 여러 가지가 있으나, 본 논문에서는 손쉽게 구할 수 있는 重合體 有機物質을 이용한 용액 도포(solution deposition) 방법으로 제작했다. 이 방법은 R. Ulrich 등에 의해 구체적으로 잘 발표되어 있다.

몇 가지 重合體 有機物質의 펄스 네온 레이저 파장 6328Å에서의 屈折率이 표 1에 나와 있다. 이 중에서 포토리지스트, 에폭시, 폴리우레탄, 폴리스틸렌, 아크릴수지 등을 슬라이드 글라스나 위에 酸化膜을 기른 실리콘 웨이퍼 위에 스핀너로 코우팅시키고 적외선 램프로 말린 후 導波 實驗을 했는데, 다섯 물질 다 導波가 잘 되는 것을 확인했다.

스핀너로 코우팅시키는 방법은 용액중에 담겼다 꺼내는 방법(dipping)에 비해 스핀 속도를 조절함으로써

표 1. 실험에 사용된 각 물질의 굴절율

Table.1. Refractive indices of materials used in the experiment.

Material	Refractive Index (at 6328 Å)
Photoresist (K. P. R.)	1.61
Slide Glass	1.51
SiO ₂ (Thermal Oxide on Si)	1.45
ZnS	2.34
VTMS	1.53
Polyurethane	1.56
Epoxy	1.58
Polyacrylonitrile	1.52
Polystyrene	1.59

써 두께를 조절할 수 있고 두께가 매우 균일한 薄膜을 얻을 수 있다.

誘電體 導波管 제작에 많이 쓰이는 포토리지스트, 폴리우레탄, 에폭시 등의 특징은 다음과 같다.

포토리지스트는 반도체 공정의 포토리소그래피(photolithography) 기법에 사용되어 도포 기술등이 잘 발달되어 있고 정밀하고도 정확한 패턴들을 쉽게 제작할 수 있으므로, 여러 형태의 도파관을 제작할 수 있으나, 포토리지스트 속에 들어 있는 감광소(photo sensitizer) 때문에 可視光線 領域에서 손실이 큰 단점이 있다. 그러나 파장이 적외선 쪽으로 나아가면 손실이 훨씬 줄어들어 좋은 導波管으로 사용될 수 있으리라고 예상된다. 실제로 두께가 1.5 μm 인 K. P. R. 導波管이 0.6328 μm 의 파장에서 7 dB/cm, 1.064 μm 의 파장에서 1.0 dB/cm의 손실을 가진다고 보고되어 있다.^[3]

폴리우레탄은 화학공장에서 많이 쓰이는 것으로 여러 종류가 있는데 그중 도로용에 쓰이는 투명한 것을 사용했다. 성분은 레진과 하드너로 되어 있는데 重合體로 만들기 위해서는 이 둘을 같은 비율로 섞어야 한다.

폴리우레탄은 쉽게 구할 수 있고 도포시키기가 쉽고, 손실이 작다는 점등의 여러 가지 장점때문에 光 集積 回路(integrated optics) 실험에 널리 쓰이고 있다.

에폭시도 레진과 하드너를 같은 비율로 섞어서 重合體로 만드는 데, 폴리우레탄에 비해 점성이 매우 크다.

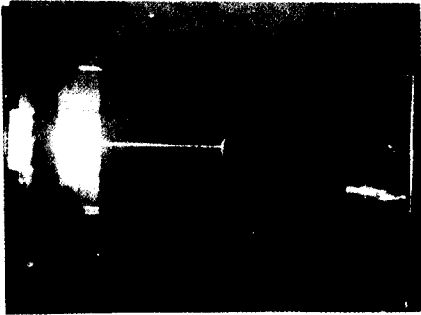
제작 과정은 먼저 기관으로 사용할 물질을 세척한다. 슬라이드 글라스는 초음파 세척기로 세척했고 실

리콘 웨이퍼는 위에 $1\mu\text{m}$ 가량의 산화막을 기른 후, IC 공정에 쓰이는 정구 세척 과정으로 세척했다.

세척 후 물기를 잘 말린 다음, 폴리우레탄등의有機物質을 스핀너로 코우팅시키고 적외선 램프로 말린다.

프리즘 커플러로 헬륨 네온 레이저 출력을 커플링시켰더니 導波現象을 관찰할 수 있었다. 면도칼로 薄膜을 잘랐더니 빛이 그 곳에서 딱 끊어져서 실제로 薄膜속으로만 導波되는 것을 확인할 수 있었다.

(사진 1, 2)



사 진 1. 誘電體 導波管 (1×3 인치 슬라이드 글라스 위에다 폴리우레탄을 입혔음.) 왼쪽에 있는 프리즘을 통해서 헬륨 네온 레이저 빛이 커플링 되어서 오른쪽으로 도파되고 있는 것이 보인다.

Photo 1. Dielectric waveguide (polyurethane on slideglass ($1''\times 3''$)). He-Ne laser beam is coupled with the prism at the left. Waveguiding toward the right is observed.



사 진 2. 誘電體 導波管 (산화막을 입힌 실리콘 웨이퍼 ($\frac{1}{2}\times 2$ 인치 직경) 위에다 폴리우레탄을 입혔음.) 다른 것들은 사진 1과 같음

Photo 2. Dielectric waveguide (polyurethane on Si wafer ($2''\text{D}$)).

실리콘 웨이퍼를 기관으로 사용할 경우 산화막의 두께가 두꺼울수록 導波 損失이 줄어 든다.¹⁾

IV. 金屬板 導波管

金屬板 導波管 (metal clad waveguide)은 기관 위에 얇은 金屬膜을 입히고 그 위에 導波 物質이 될有機物質을 코우팅시킨 것을 말한다.

표 2에서 보는 것처럼 金屬의 굴절율은 虛數成分이 매우 크기 때문에 金屬板 위에서는 전혀 導波가 되지

표 2. 각 금속과 반도체의 파장 6328\AA 에서의 굴절율

Table 2. Refractive indices of metals and semiconductors. (λ ; 6328\AA)

	N_s	N_s^2
Silver	$0.065 + i4.0$	$-15.996 + i0.520$
Gold	$0.15 + i3.2$	$-10.218 + i0.96$
Aluminum	$1.2 + i7.0$	$-47.56 + i16.8$
Silicon	$3.75 + i0.018$	$+14.06 + i0.135$
Germanium	$4.65 + i1.56$	$+19.19 + i14.51$
GaAs	$3.7 + i0.2$	$+13.65 + i1.48$

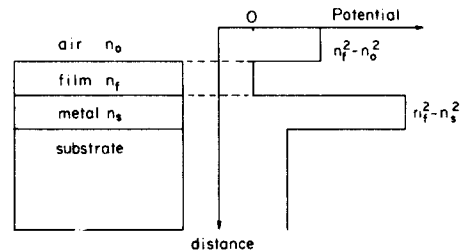


그림 4. 金屬板 導波管의 電位障壁 모델

Fig. 4. Potential wall model of metal clad waveguide

않으리라고 생각하기 쉽지만 이 허수 성분이 크다는 것은 빛이 金屬 속에서 진행할 때의 손실이 이렇게 크다는 것을 나타낼 뿐이지, 빛이 金屬板 위에 있는有機物質 薄膜 속에서 導波될 때의 손실이 크다는 것을 나타내는 것은 아니다. 실제로 誘電體 導波管에서 導波現象을 좌우하는 要素는 금속 기관의 굴절율 n_s 가 아니고 굴절율의 제곱 n_s^2 이다.¹¹⁾

표 2에서 보는 것처럼 금속의 n_s^2 은 큰 음수의 실수 성분을 가진다.

銀(silver)의 경우 n_s^2 의 허수 성분이 실수 성분에 비해 매우 작으므로 이를 무시하여 그림 4와 같이 電位 障壁 모델을 적용할 수 있다.

n_s^2 이 매우 큰 음수 값을 가지므로, 金屬板의 電位가 有機物質 薄膜의 電位보다 매우 작아서 導波가 잘 되리라는 것을 알 수 있다.

표 2에서, Si, Ge, GaAs 등의 반도체 물질에 대해서는 n_s^2 의 실수 성분이 매우 큰 양수 값을 가지므로, 이런 반도체 물질 바로 위에서는 導波 시키기가 매우 힘들리라는 것을 알 수 있다.

金屬板 導波管의 용도로는 光集積 回路에서 반도체 물질같은 굴절률이 높은 기관 위에다 導波시킬 필요가 있을 때에 사용된다.¹⁵⁾

실제로 실리콘 웨이퍼와 슬라이드 글라스 위에다 각각 알루미늄과 銀(Ag)을 진공 증착시키고, 그 위에 에폭시를 스펀너로 두껍게 코우팅시켜서 金屬板 導波管을 제작했다.



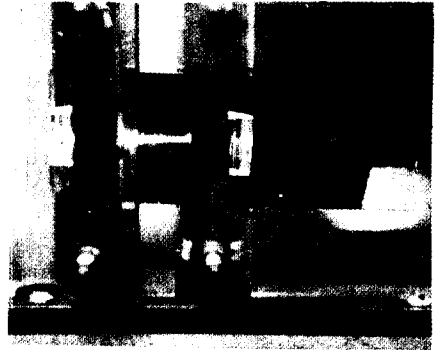
사 진 3. 金屬板 導波管(실리콘 웨이퍼 위에 알루미늄을 진공 증착시키고, 그 위에 에폭시를 코우팅 시켰음.)

Photo 3. Metal clad waveguide (epoxy on Al layer, which is evaporated on Si wafer).

사진 3은 산화막을 입히지 않은 $\frac{1}{2} \times 2$ 인치 실리콘 웨이퍼 위에다 알루미늄을 $1 \mu\text{m}$ 가량 진공 증착시키고 그 위에 에폭시 용액을 스펀너로 코우팅 시킨 다음 프리즘 커플러로 헬륨 네온 레이저 출력을 커플링시킨 것인데, 약 4 cm 가량 導波되었다.

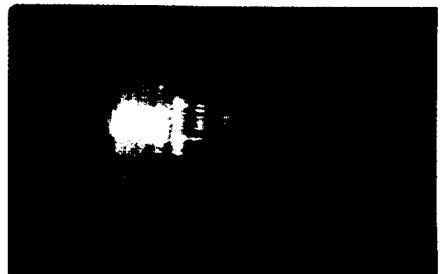
먼도칼로 에폭시 薄膜을 잘라서 실제로 빛이 에폭시 薄膜 속으로만 전파하는 것을 확인할 수 있었다.

1 × 3 인치 슬라이드 글라스 위에다 銀(Ag)을 진공 증착시키고 에폭시 용액을 스펀너로 코우팅 시킨



사 진 4. 金屬板 導波管(銀을 진공 증착시킨 슬라이드 글라스 위에 에폭시를 입혔음) 왼쪽에 있는 것이 커플링 프리즘이고 오른쪽에 있는 것이 디커플링 프리즘이다.

Photo 4. Metal clad waveguide (epoxy on silver layer, which is evaporated on slide glass) The prism on the left is the coupling prism, and the one on the right is the decoupling prism.



사 진 5. 사진 4의 모우드 라인
Photo 5. Mode line in photo 4.

다음, 프리즘으로 헬륨 네온 레이저 출력을 커플링시켰더니 5 cm 이상 전파하였다.

빛이 지나가는 경로에 커플링 프리즘과 반대 방향으로 디커플링(decoupling) 프리즘을 두었더니 진행하던 빛이 거의 다 디커플링되어서 밖으로 빠져나오고 더 이상 薄膜 속으로 진행하지 않았다. (사진 4)

사진 4에서 보이는 디커플링 프리즘의 넓은 면과 평행하게 스크린을 두었더니 사진 5에서 보이는 것처럼 여러 개의 모우드 라인이 나타났다.

지금 11개의 평행한 직선이 보이는데 제일 오른쪽에 있는 것이 基本 모우드(fundamental mode)이고 왼쪽으로 갈수록 높은 次數의 모우드가 나타나 있다.

낮은 次數의 모우드 쪽으로 갈수록 가운데가 밝아지는데, 이는 에너지가 주로 낮은 次數의 모우드 쪽에 집중되어서 진행되고 있음을 나타낸다. 또 높은 次數의 모우드 쪽으로 갈수록 그 간격이 점차 커지는 데, 이 사실로부터, 薄膜의 굴절율이 균일한 계단형 도파관(step index waveguide)의 성질을 확인할 수 있다.

슬라이드 위에 폴리우레탄 薄膜을 입힌 보통의 平板形誘電體導波管에서는 매우 선명한 모우드 라인(mode line)을 얻을 수 있었다.

V. 薄膜 프리즘

테이퍼 변환(tapered transition)이란 파장에 비해 그 두께나 조성 변화가 서서히 일어나는 것으로서, 빛의 파장이 짧기 때문에 보통 工程 과정에서 저절로 일어나는 데, 이런 테이퍼 변환을 사용하면 薄膜 프리즘 렌즈 등을 제작할 수 있다.^[1]

그림 5에는 薄膜의 두께가 서로 다른 부분이 있고 그 중간에 두께를 서서히 변화시켜 테이퍼 변환을 이루게 한 것이다. 한 모우드에 대해서는 薄膜의 두께가 두꺼울수록

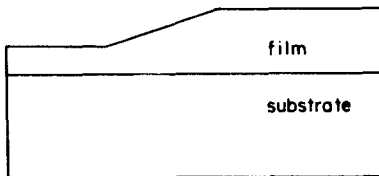
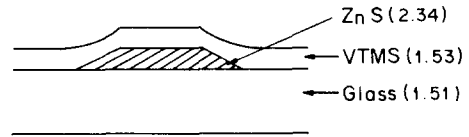


그림5. 테이퍼 변환
Fig. 5. Tapered transition.

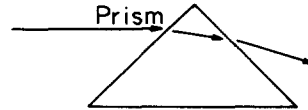
등가 굴절율이 커지므로,^[1] 이런 구조를 이용하면 린形導波管(rib waveguide)이나 薄膜 프리즘, 렌즈 등을 제작할 수 있다.

실제로 이런 구조를 이용해서, 薄膜 렌즈를 제작하여 레이저 출력을 集光시켜서 광섬유내에 커플링시키는 방법이 이미 발표되어 있다.

그림 6 (a)는 P. K. Tien이 유리 기판 위에, 굴절율이 서로 다른 ZnS와 V. T. M. S.의 2층 구조를 진공 증착을 이용한 테이퍼(taper) 형태로 만들어서, 薄膜 프리즘등을 제작한 것인데, 그 원리는 다음과 같다. 6328Å의 파장에서 ZnS의 굴절율은 2.34이고 V. T. M. S.의 굴절율은 1.53이므로, V. T. M. S.만 있는 부분에서는 빛이 V. T. M. S. 층으로 진행하고 ZnS와



(a) Cross-sectional view



(b) Top view

그림6. 薄膜 프리즘 (P. K. Tien 1974)

Fig. 6. Thin film prism (P. K. Tien 1974).

V. T. M. S.의 2층 구조 부분에서는 빛이 ZnS 층으로 진행하게 된다.

따라서 V. T. M. S.만 있는 부분에 비해 ZnS와 V. T. M. S.의 2층 구조 부분에서 등가굴절율이 더 커지게 되므로 薄膜 프리즘, 렌즈로 동작할 수 있다.

그림 6 (b)에 薄膜 프리즘에 대한 平面圖가 나타나 있다. 실제로 한국과학기술원 광전자 실험실에서 가능한 방식으로 薄膜 프리즘등을 제작하기 위해서 반도체 공정의 光蝕刻(photolithography) 기법을 이용하여 그림 6 (a)의 ZnS 대신 K. P. R.을 사용하고 V. T. M. S. 대신 폴리우레탄을 사용했다. K. P. R.과 폴리우레탄의 파장 6328Å에서의 굴절율은 각각 1.61, 1.56 이다.

K. P. R. 패턴은 그림 7 (a)에서와 같이, 光蝕刻技法에 의해, 삼각형으로 제작했고, 기관으로는 1μm가량의 산화막(파장 6328Å에서의 굴절율 1.45)을 기른 실리콘 웨이퍼를 사용했다.

포토리지스트는 열을 받으면 녹아 내리는 성질이 있으므로, 폴리우레탄 박막등의 열처리 과정에서 K. P. R. 패턴이 저절로 테이퍼(taper) 형태가 된다.

제작후 헬륨 네온 레이저 출력을 프리즘으로 커플링시켰더니 실제로 빛이 꺾이는 현상을 관찰할 수 있었다. 그림 7 (a)에서처럼 빛을 삼각형의 꼭지점에 당도록 보였을 때 빛이 두 갈래로 갈라져서 진행했다(사진 6). 삼각형 패턴에 빛이 닿는 위치를 변화시키면서 각각에 대해 굴절각을 조사했다(그림 7 (b), (c)). $\sin \theta_2 / \sin \theta_1$ 이 0.974 ~ 0.975 정도로서 K. P. R.과 폴리우레탄의 굴절율의 비 1.56 / 1.61 = 0.969와 대체로 근사한 값을 갖는다.

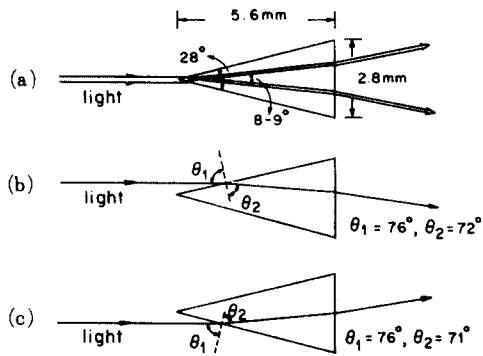
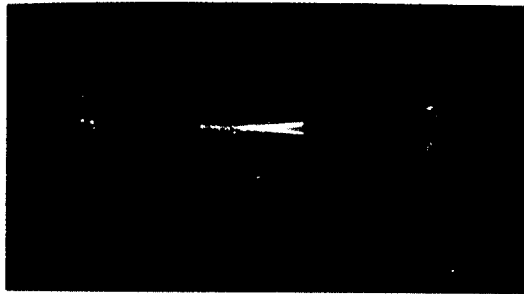


그림 7. 薄膜 프리즘 (산화막을 입힌 실리콘 웨이퍼 위에다 K. P. R. 과 폴리우레탄의 2 층 구조를 올렸음.)

Fig. 7. Thin film prism with two layered structure of K. P. R. and polyurethane on oxidized Si wafer.



사 진 6. 薄膜 프리즘 (산화막을 입힌 실리콘 웨이퍼 위에다 K. P. R. 과 폴리우레탄의 2 층 구조를 올렸음, 그림 7 (a) 참조)

Photo. 6. Thin film prism with two layered structure of K. P. R. and polyurethane on oxidized Si wafer.

VI. 結 論

誘電體 導波 現象 (dielectric waveguiding) 을 電位 障壁 모델 (potential wall model) 로써 이해하고, 실제로 슬라이드 글라스나 산화막을 입힌 실리콘 웨이퍼 위에다, 폴리우레탄, 에폭시, 포토리지스트 등의 重合體 有機 物質을 스핀너로 코팅시켜서 平板形 誘電體 導波管 (dielectric slab waveguide) 을 제작하고 프

리즘으로 헬륨 네온 레이저 光線을 커플링시켜서, 빛이 薄膜 속으로 導波되는 것을 확인했다.

또 알루미늄과 銀 (Ag) 을 이용하여 金屬板 導波管 (metal clad waveguide) 을 제작하고, 두 개의 프리즘으로 커플링, 디커플링을 시켜서 모우드 라인 (mode line) 을 관찰할 수 있었다. 또 높은 次數의 모우드 쪽으로 갈수록 모우드 라인 의 간격이 점차 벌어지는 계단형 도파관 (step index waveguide) 특징을 확인할 수 있었다.

K. P. R. 과 폴리우레탄의 굴절율이 서로 다른 점을 이용하여, 산화막을 입힌 실리콘 웨이퍼 위에, 薄膜 프리즘을 제작하고, 실제로 빛이 꺾이는 현상을 관찰했다.

參 考 文 獻

- [1] P. K. Tien, "Integrated optics and new wave phenomena in optical waveguides," *Review of Modern Physics*, vol. 149, no. 2, pp. 361~420, April 1977.
- [2] H. Kogelnik, "Theory of dielectric waveguides" in *Integrated Optics*, Editor; T. Tamir 1975 Springer-Verlag.
- [3] R. Ulrich and H. P. Weber, "Solution deposited thin films as passive and active light guides", *Applied Optics*, vol. 11, no. 2, pp. 428 ~ 434, Feb. 1972.
- [4] D. B. Ostrowsky et. al., "Integrated optical photodetector," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 22, no. 9, pp. 463~464, 1 May 1973.
- [5] P. K. Tien et. al., "Novel metal clad optical components and method of isolating high index substrates for forming integrated optical circuits", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 27, no. 4, pp. 251~253, 15 Aug. 1975.
- [6] L. P. Boivin, "Thin-film laser-to-fiber coupler", *Applied Optics*, vol. 13, no. 2, pp. 391 ~ 395, Feb. 1974.
- [7] P. K. Tien et. al., "Two layered construction of integrated optical circuits and formation of thin film prism, lens, and reflector", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 24, no. 11, pp. 547~549, 1 June 1974.