

# 光導波路

- 自由空間

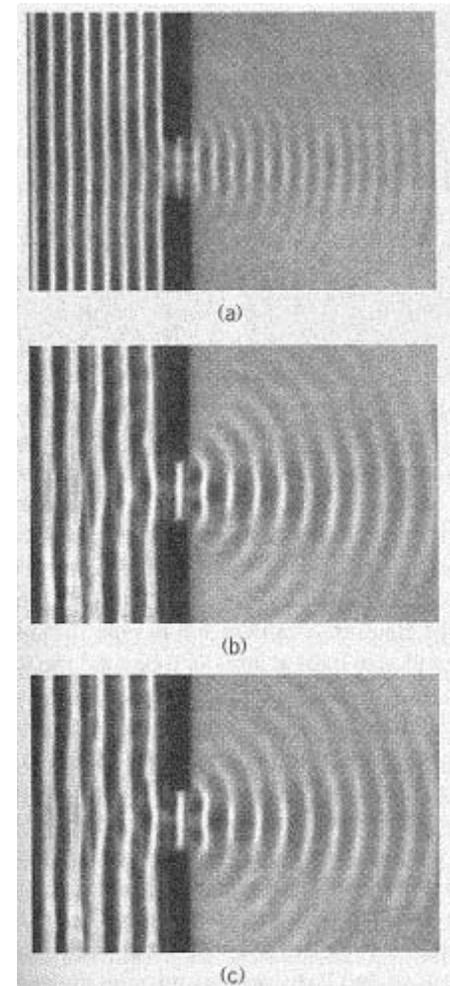
- 回折による

- ビーム広がり

$$\theta \text{ (rad)} = \lambda/d$$

- 光導波路

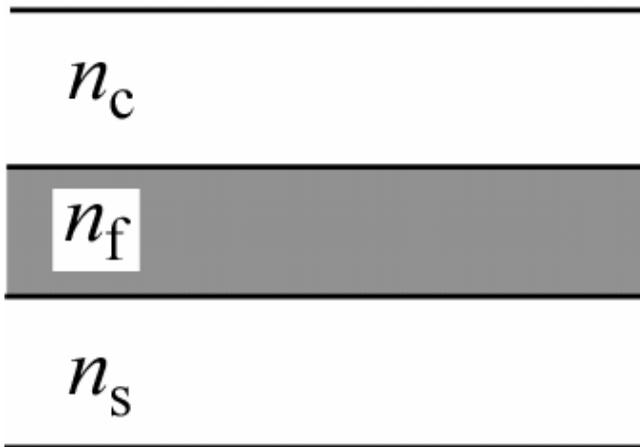
- ビームの閉じ込め



# 光導波路

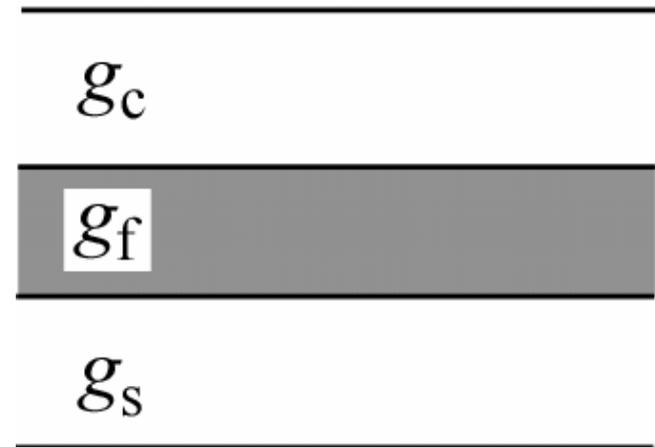
## ■ 導波の原理

$$n_f > n_c, n_s$$



屈折率導波

$$g_f > g_c, g_s$$



利得導波

# 光導波路

## ■ 屈折率と利得

複素屈折率

$$\tilde{n} = n_r - i\kappa$$

進行波

$$E = E_0 \exp[i(\omega t - k z)]$$

$$k = \frac{\tilde{n} \omega}{c} = \frac{n_r - i\kappa}{c} \omega$$

# 光導波路

## ■ 屈折率と利得

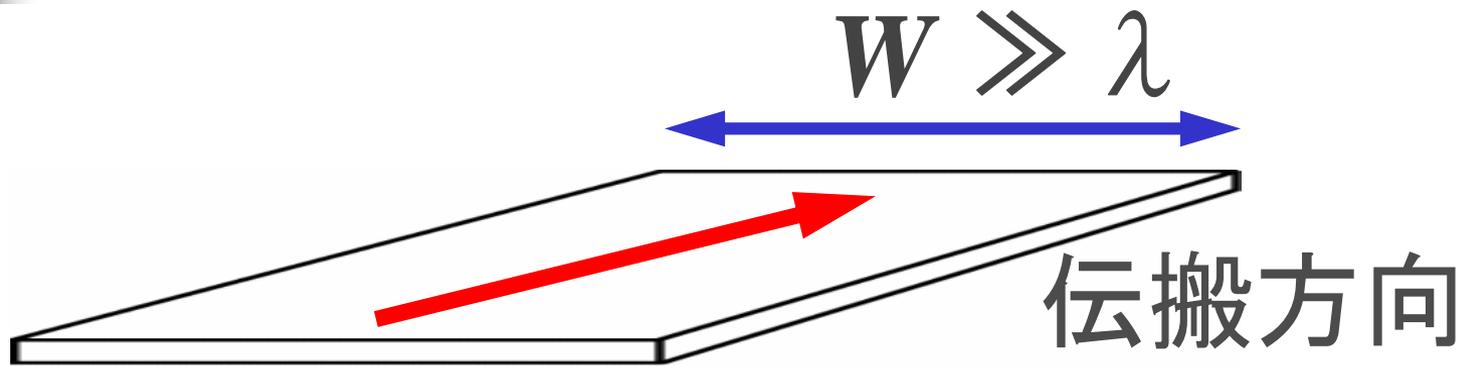
増幅, 減衰

$$E = E_0 \exp \left[ i \left( \omega t - \frac{n_r \omega}{c} z \right) \right] \exp \left( - \frac{\kappa \omega}{c} z \right)$$

振幅利得  
係数

$$g_E = - \frac{\kappa \omega}{c}$$

# 2次元光導波路



$$n_f > n_s \geq n_c$$

$$n_f - n_s \approx 10^{-3} - 10^{-1}$$

Cladding layer  $n_c$

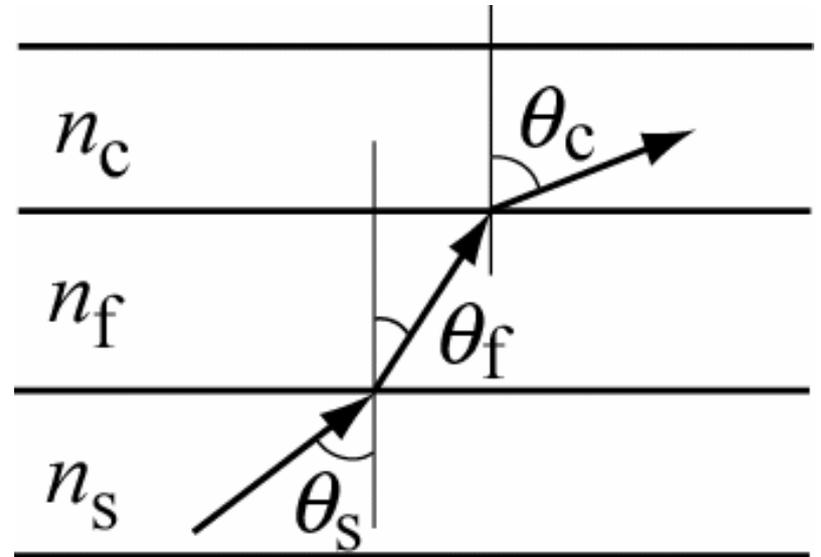
Guiding layer  $n_f$

Substrate  $n_s$

# 2次元光導波路

## ■ スネルの法則

$$\begin{aligned}n_f \sin \theta_f \\ &= n_s \sin \theta_s \\ &= n_c \sin \theta_c\end{aligned}$$

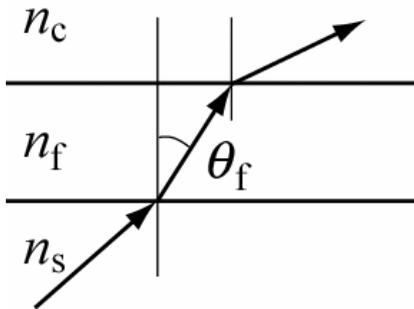


# 2次元光導波路

## ■ 伝搬モード

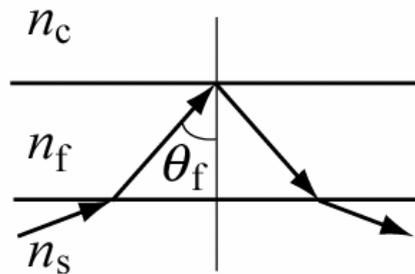
$$\theta_{fm} = \sin^{-1}(n_m/n_f)$$

$$\theta_f < \theta_{fc} \leq \theta_{fs}$$



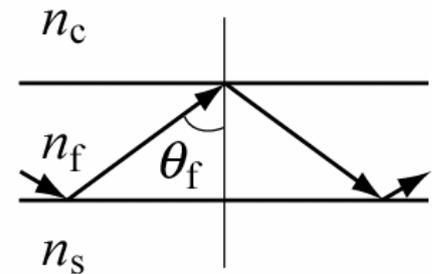
放射モード

$$\theta_{fc} < \theta_f < \theta_{fs}$$



基板放射  
モード

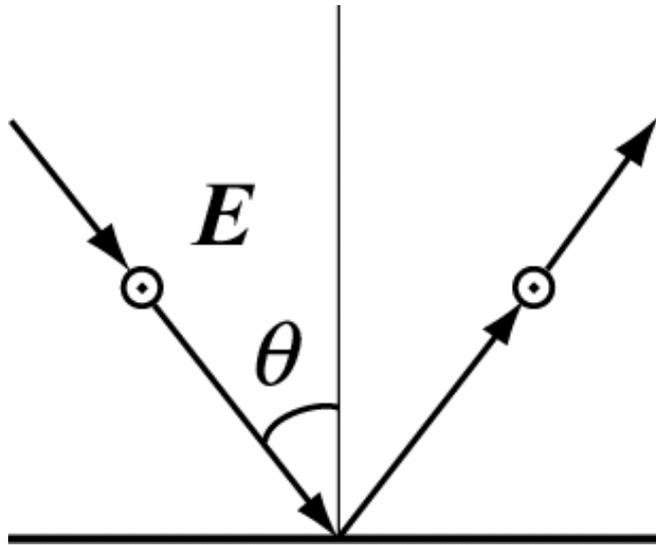
$$\theta_{fs} < \theta_f < \pi/2$$



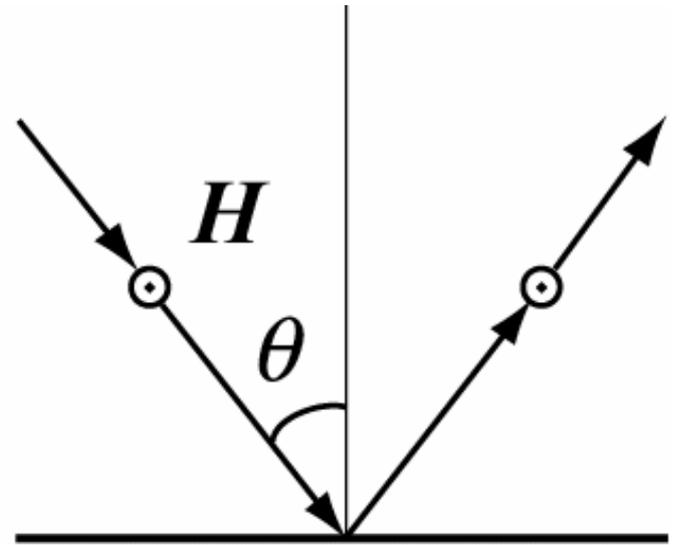
導波モード

# 2次元光導波路

## ■ 偏光



TEモード



TMモード

# 2次元光導波路

- 導波モード 全反射

振幅反射率  $r$

$$r = \exp(i2\phi)$$

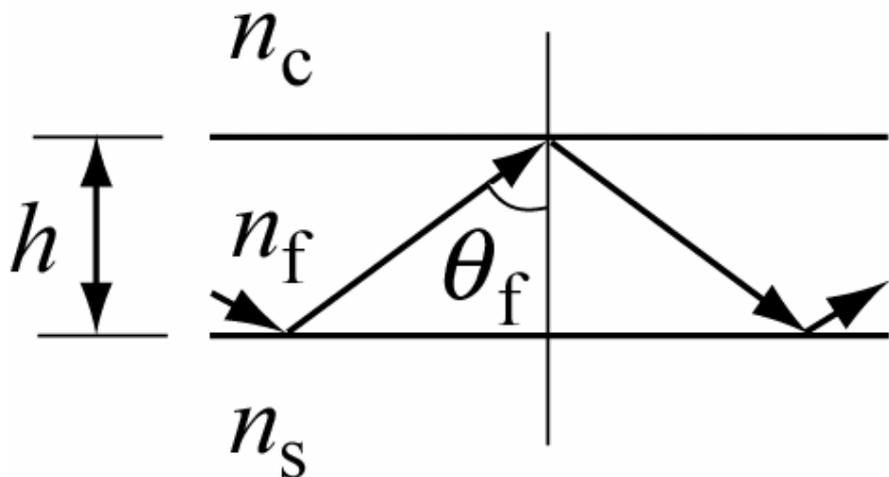
$2\phi$ : 界面での位相変化

# 2次元光導波路

## ■ 導波モード

## 位相変化

往路 復路  
界面



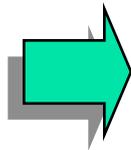
横共振条件

$$2k_0 n_f h \cos \theta_f - 2\phi_c - 2\phi_s = 2m\pi$$

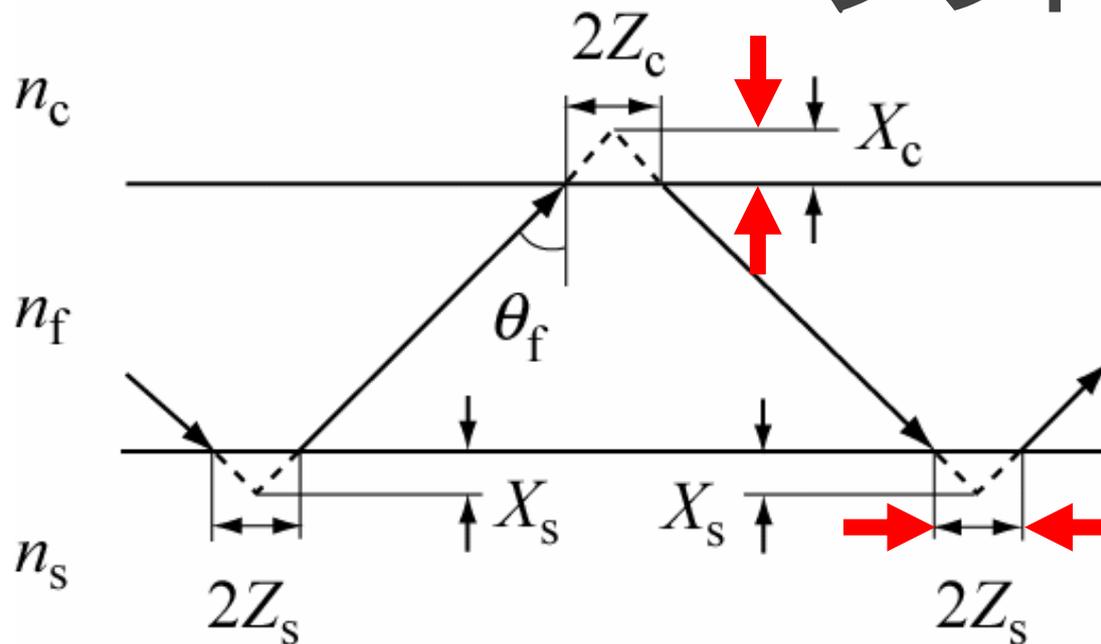
# 2次元光導波路

## ■ 導波モード

$2\phi$

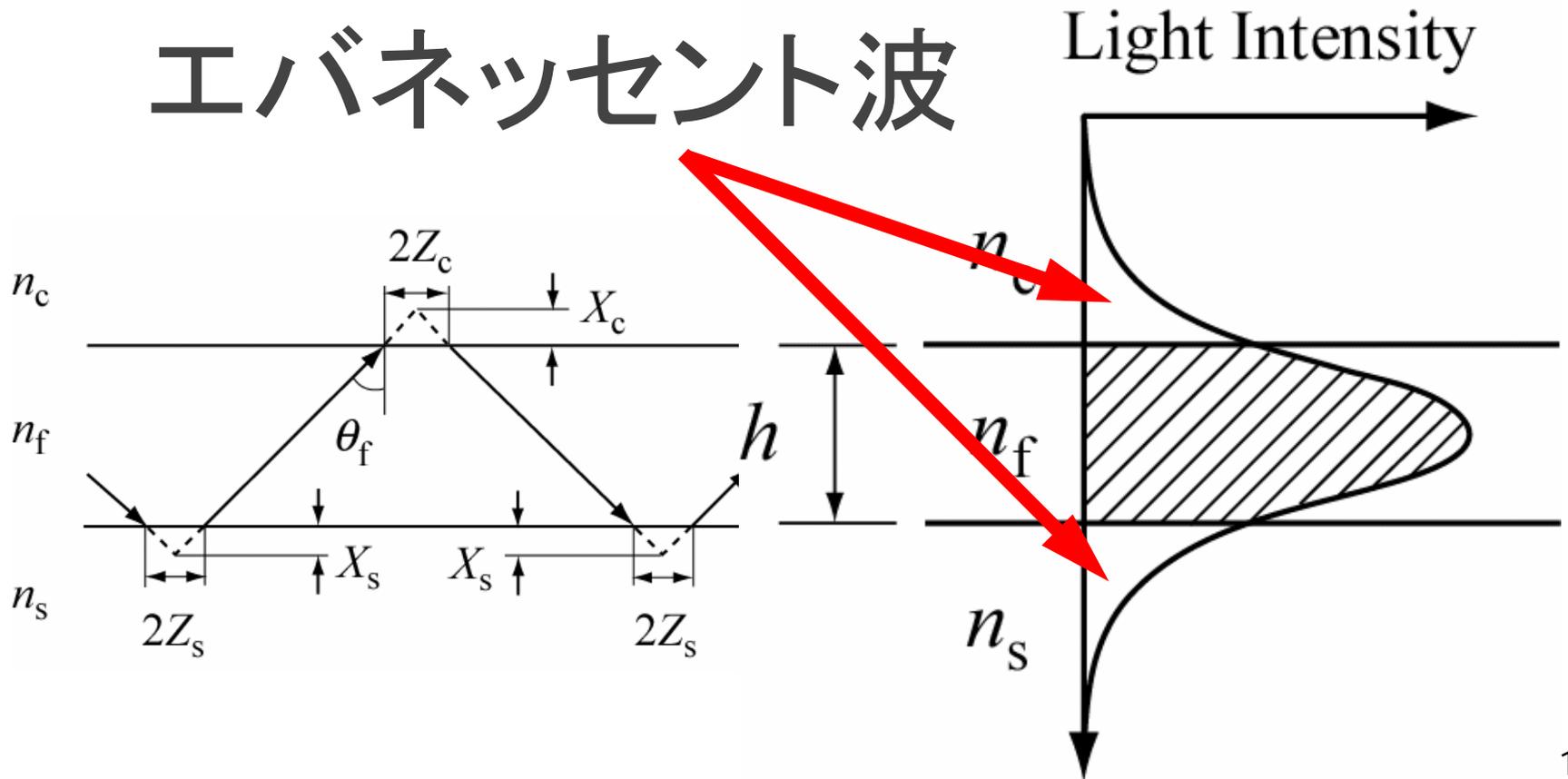


グース・ヘンヒェン  
シフト



# 2次元光導波路

- 導波モード  
エバネッセント波



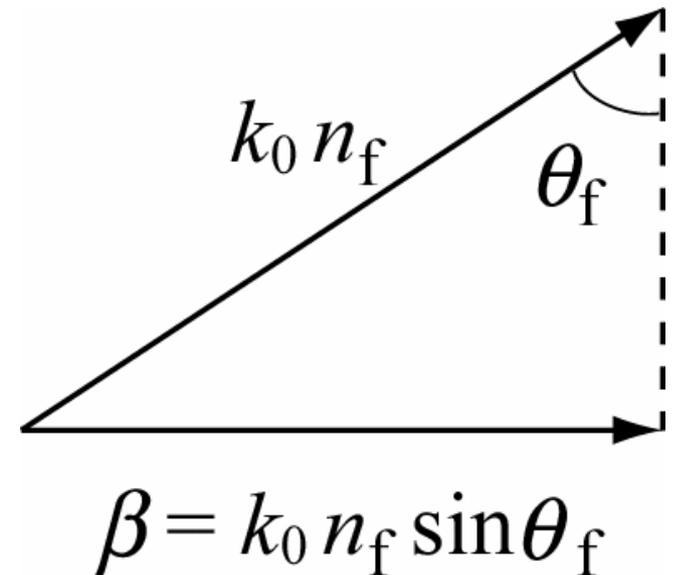
# 2次元光導波路

## ■ 導波モード

### 等価屈折率

$$N = \frac{\beta}{k_0} = n_f \sin \theta_f$$

$$n_s < N < n_f$$



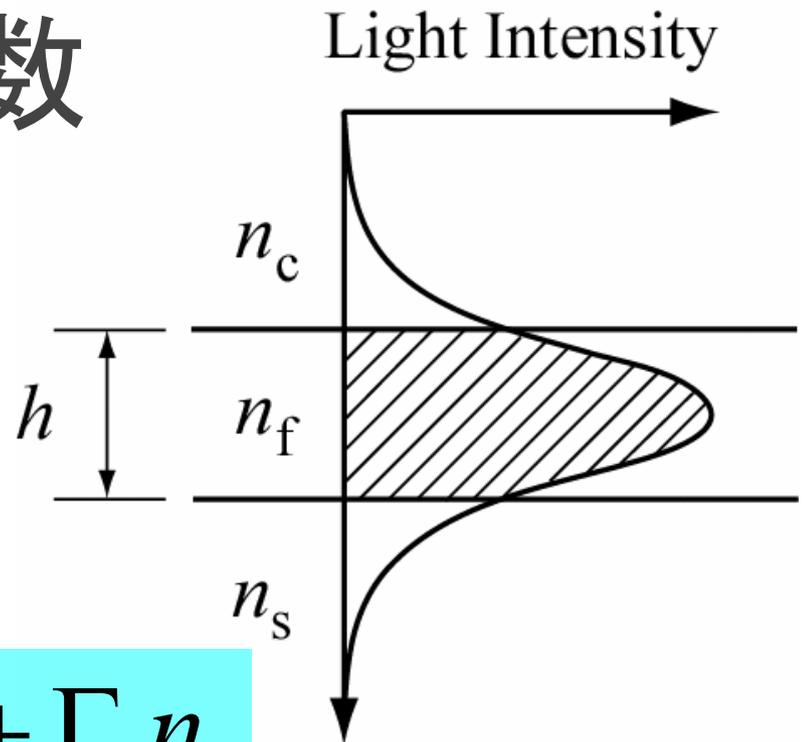
# 2次元光導波路

## ■ 導波モード

### 光閉じ込め係数

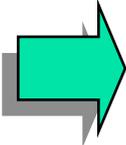
$$\Gamma_f = \frac{\int_0^h |E(x)|^2 dx}{\int_{-\infty}^{\infty} |E(x)|^2 dx}$$

$$N \approx \Gamma_s n_s + \Gamma_f n_f + \Gamma_c n_c$$



# 2次元光導波路

## ■ 導波モード

横共振条件  規格化した  
固有値方程式

$$2k_0 n_f h \cos \theta_f - 2\phi_c - 2\phi_s = 2m\pi$$

# 2次元光導波路

## ■ 導波モード

規格化周波数  
(導波層厚)

$$V = k_0 h \sqrt{n_f^2 - n_s^2}$$

規格化導波路屈折率

$$b_{\text{TE}} = \frac{N^2 - n_s^2}{n_f^2 - n_s^2}$$

非対称性の尺度

$$a_{\text{TE}} = \frac{n_s^2 - n_c^2}{n_f^2 - n_s^2}$$

# 2次元光導波路

## ■ 導波モード

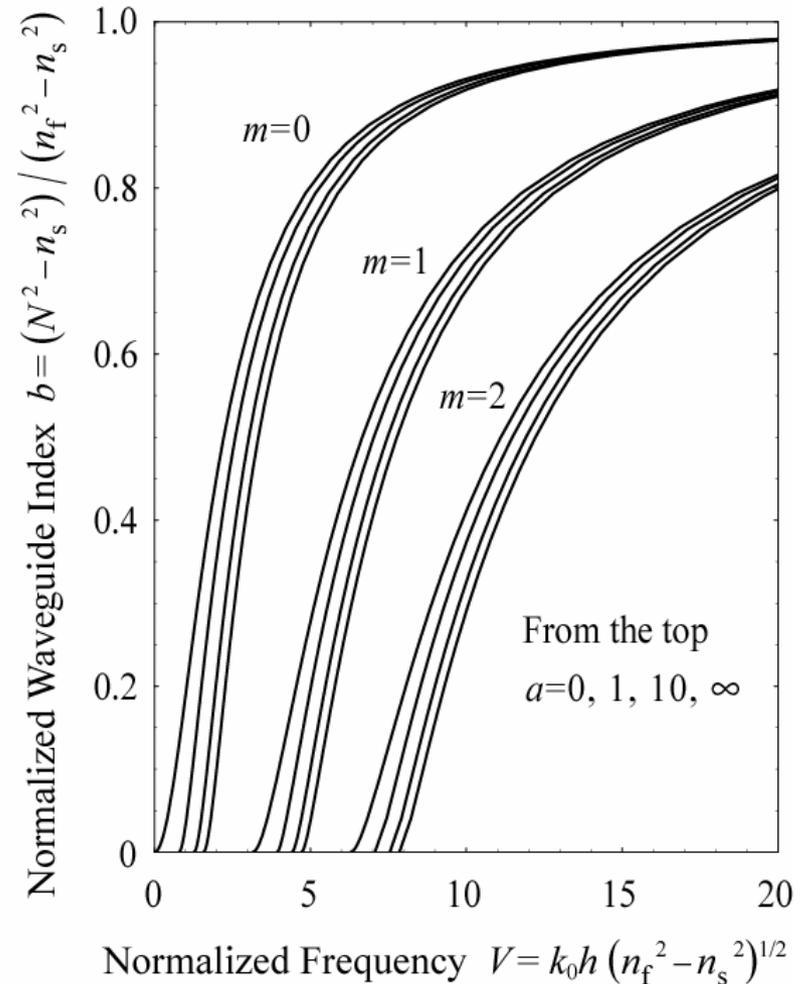
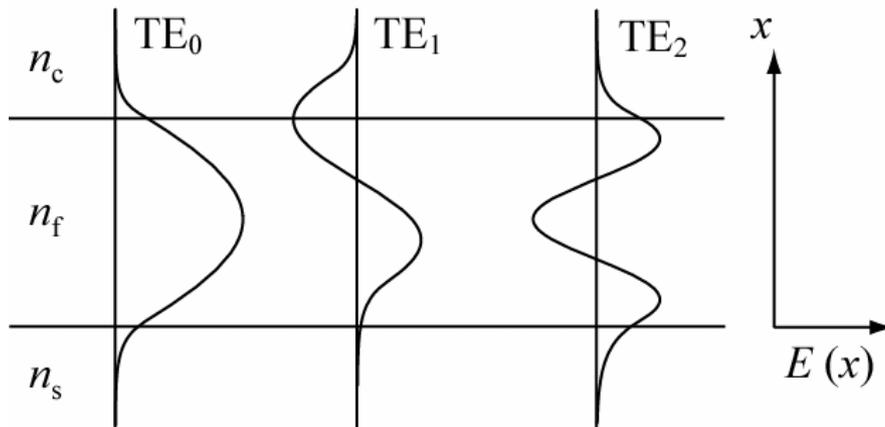
### 規格化した固有値方程式

$$V\sqrt{1-b_{\text{TE}}} = m\pi + \tan^{-1} \sqrt{\frac{b_{\text{TE}}}{1-b_{\text{TE}}}} + \tan^{-1} \sqrt{\frac{a_{\text{TE}} + b_{\text{TE}}}{1-b_{\text{TE}}}}$$

# 2次元光導波路

## ■ 導波モード

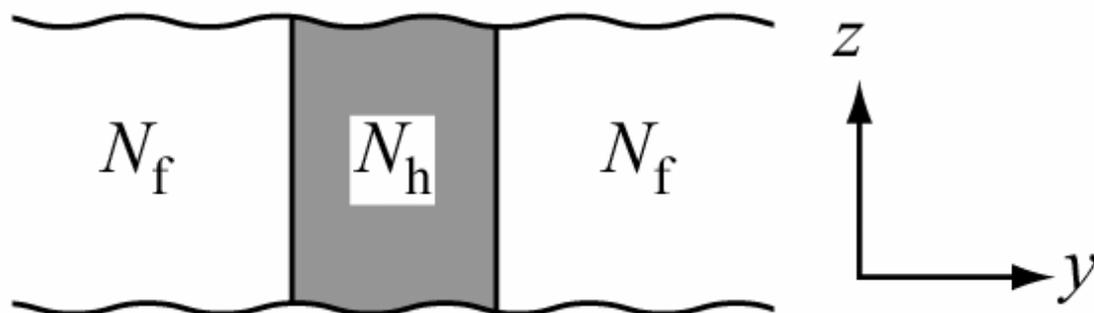
規格化した  
固有値方程式



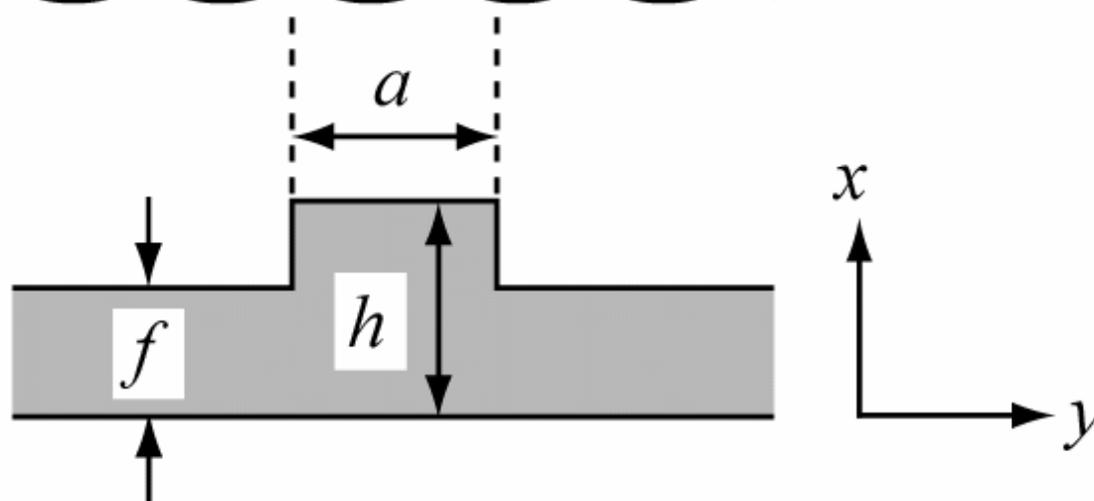
# 3次元光導波路

## ■ 等価屈折率法

上面図



断面図



# 3次元光導波路

## ■ マーカティリの方法

