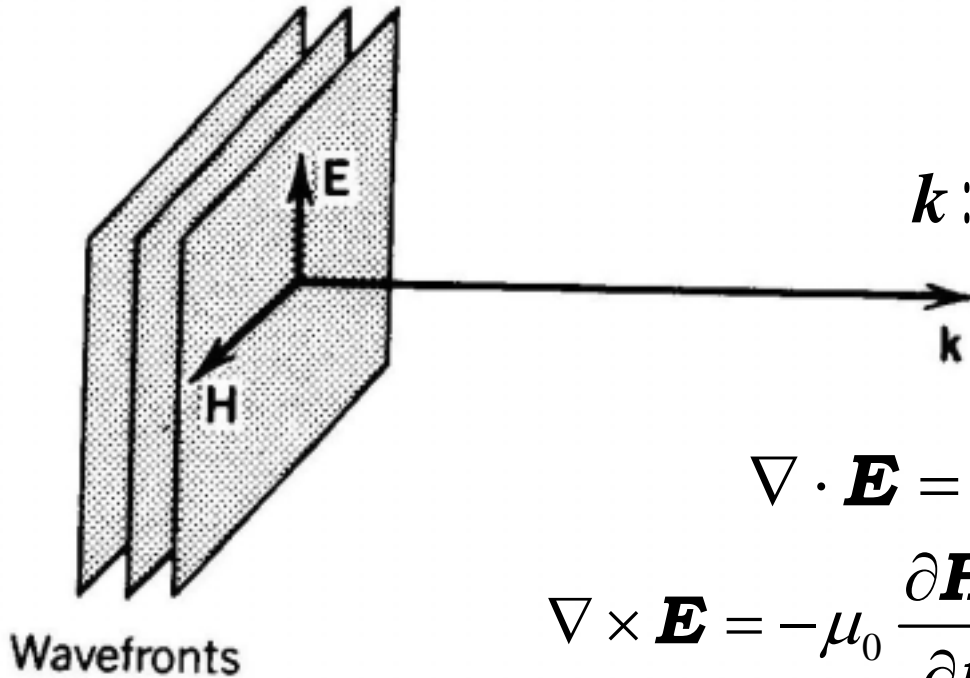


E, H, k の関係



k : 波数ベクトル (wave vector)

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \text{ より } \mathbf{k} \cdot \mathbf{E} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \text{ より } \mathbf{k} \times \mathbf{E} = \mu_0 \omega \mathbf{H}$$

したがって、 $\mathbf{k} \perp \mathbf{E} \perp \mathbf{H}$ $\sqrt{\varepsilon} E_0 = \sqrt{\mu_0} H_0$
覚えると便利!

TEM (Transverse Electromagnetic) wave

誘電率の異なる誘電体間の境界条件

分極がある媒質中の
マクスウェル方程式

 ε_1 ε_2

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = 0$$

D の垂直成分は連続

$$D_{1n} = D_{2n} \Leftrightarrow \varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$$

E の水平成分は連続

$$E_{1t} = E_{2t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

$H(B)$ の水平成分は連続

$$H_{1t} = H_{2t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0$$

$H(B)$ の垂直成分は連続

$$H_{1n} = H_{2n}$$

入射波、屈折波、反射波

反射波

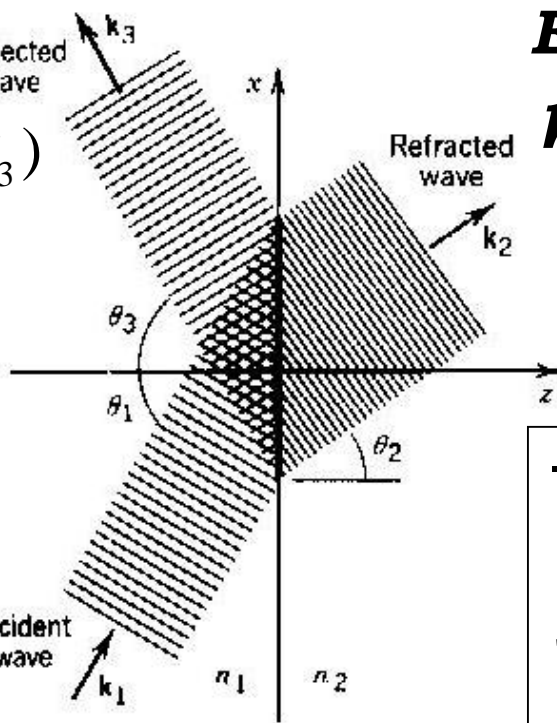
$$\mathbf{E}_3(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_3 e^{i(\mathbf{k}_3 \cdot \mathbf{r} - \omega t)}$$

$$\mathbf{k}_3 = k_3 (\sin \theta_3, 0, -\cos \theta_3)$$

屈折波 (透過波)

$$\mathbf{E}_2(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_2 e^{i(\mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r} - \omega t)}$$

$$\mathbf{k}_2 = k_2 (\sin \theta_2, 0, \cos \theta_2)$$



入射波

$$\mathbf{E}_1(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_1 e^{i(\mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r} - \omega t)}$$

$$\mathbf{k}_1 = k_1 (\sin \theta_1, 0, \cos \theta_1)$$

一般に

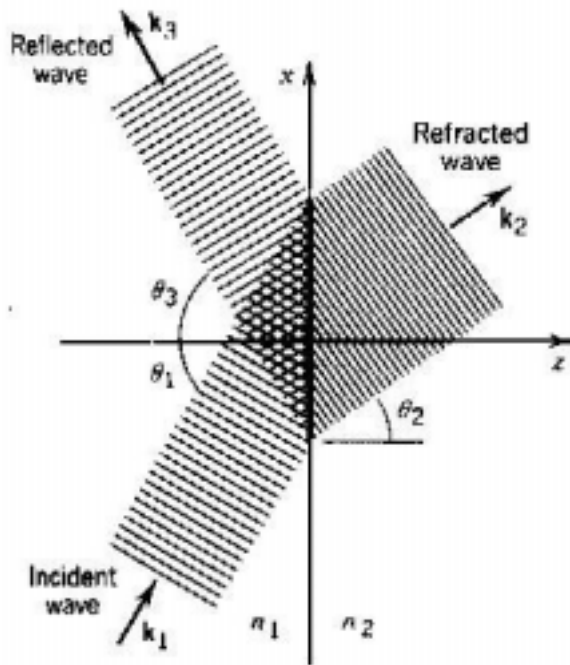
$$k_i = \frac{\omega}{c_0} n_i$$

であるから

$$k_1 = k_3, \quad k_2 = \frac{n_2}{n_1} k_1$$

境界面での境界条件

境界条件(電場、磁場の連続性)を満たすには、まず第一に境界面での入射波、反射波、屈折波の位相が一致していなければならない。つまり、 $\mathbf{r} = (x, y, 0)$ において $\mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r} = \mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r} = \mathbf{k}_3 \cdot \mathbf{r}$ 。ゆえに、



$$k_1 \sin \theta_1 = k_2 \sin \theta_2 = k_3 \sin \theta_3$$

$$\rightarrow \sin \theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin \theta_2 = \sin \theta_3$$

したがって

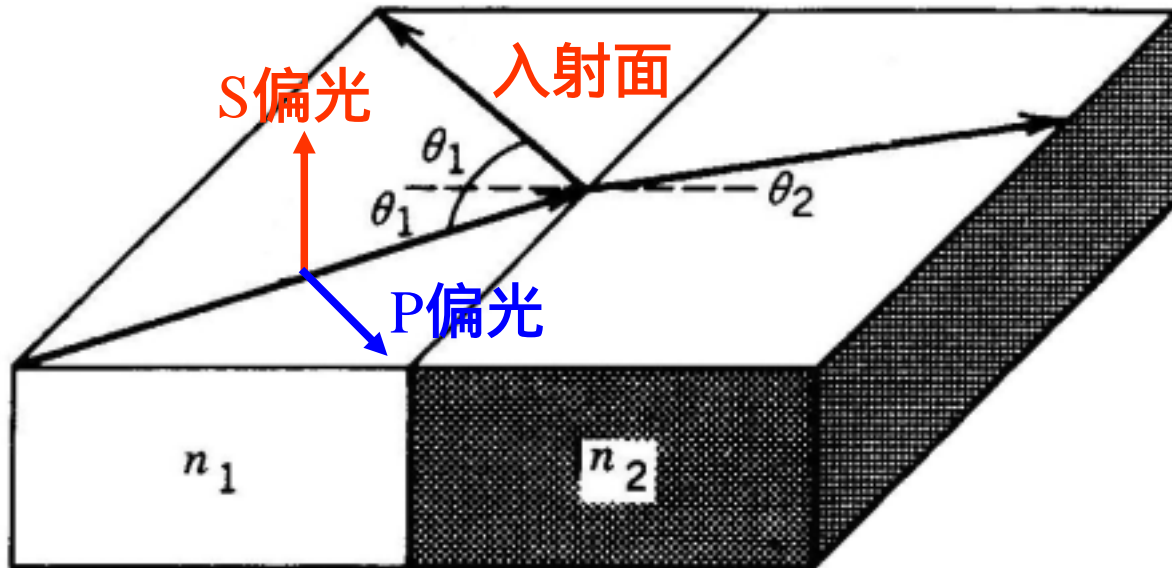
$$\theta_1 = \theta_3 \quad (\text{鏡面反射})$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{Snell's law})$$

P偏光とS偏光

入射面と電場が垂直 (Transverse Electric): TE偏光、S偏光
(ドイツ語 senkrecht = perpendicular)

入射面と磁場が垂直 (Transverse Magnetic): TM偏光、P偏光
(parallel)



フレネル (Fresnel) の式

$$r_s = \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} = -\frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

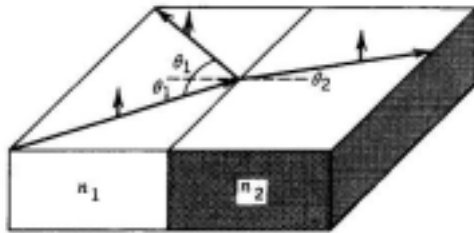
$$t_s = 1 + r_s = \frac{2 \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$r_p = \frac{n_2 \cos \theta_1 - n_1 \cos \theta_2}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2} = \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)}$$

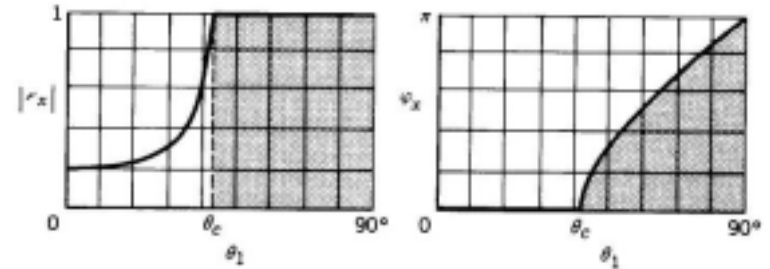
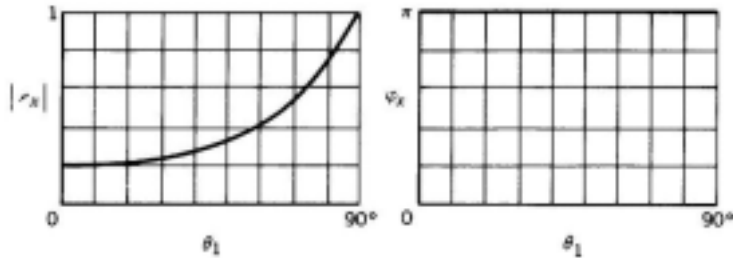
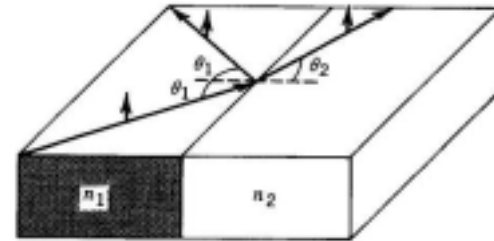
$$t_p = \frac{n_1}{n_2} (1 + r_p) = \frac{2 \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2) \cos(\theta_1 - \theta_2)}$$

TE偏光 (S偏光) の光の反射率と位相

External Reflection ($n_1 < n_2$)



Internal Reflection ($n_1 > n_2$)



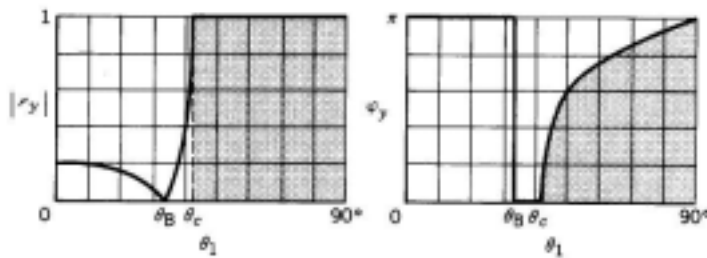
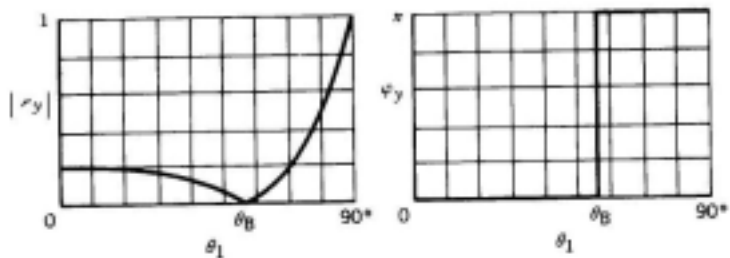
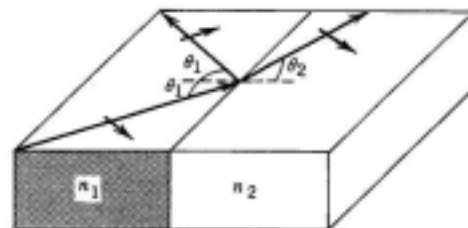
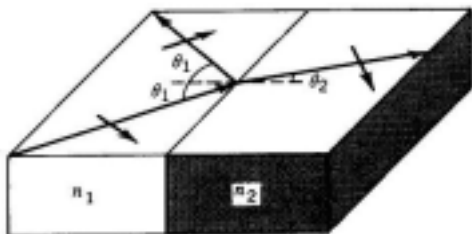
全反射 (Total Internal Reflection)

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

TM偏光 (P偏光) の光の反射率と位相

External Reflection ($n_1 < n_2$)

Internal Reflection ($n_1 > n_2$)



ブリュースター角 (Brewster angle)

$$\theta_B = \tan^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

エバネッセント波 (Evanescent wave)

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \equiv \frac{1}{n_{12}} < 1 \quad \text{と定義すると、スネルの法則より、}$$

$$\sin \theta_2 = n_{12} \sin \theta_1 > 1 \quad \cos \theta_2 = i\sqrt{n_{12}^2 \sin^2 \theta_1 - 1}$$

$$\mathbf{E}_2(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_2 e^{i(\mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r} - \omega t)} = \mathbf{E}_2 e^{i[k_2(x \sin \theta_2 + z \cos \theta_2) - \omega t]}$$

$$= \mathbf{E}_2 e^{i\left[k_2\left(x n_{12} \sin \theta_1 + iz\sqrt{n_{12}^2 \sin^2 \theta_1 - 1}\right) - \omega t\right]}$$

$$= \mathbf{E}_2 e^{-\frac{z}{z_0}} e^{i(k_2 x n_{12} \sin \theta_1 - \omega t)} \left(z_0 = \frac{1}{k_2 \sqrt{n_{12}^2 \sin^2 \theta_1 - 1}} \right)$$

エバネッセント波(つづき)

ところで、 $k_2 = \frac{n_2}{n_1} k_1 \Leftrightarrow k_2 n_{12} = k_1$ であるから、

$$\mathbf{E}_2(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_2 e^{-\frac{z}{z_0}} e^{i(k_2 x n_{12} \sin \theta_1 - \omega t)} = \mathbf{E}_2 e^{-\frac{z}{z_0}} e^{i(k_1 x \sin \theta_1 - \omega t)}$$
$$\left(z_0 = \frac{1}{k_1 \sqrt{\sin^2 \theta_1 - \sin^2 \theta_C}} \right)$$

x 軸方向の波数: $k_1 \sin \theta_1 (> k_2)$

z 軸方向へのしみ出し: $z_0 = \frac{\lambda_1}{2\pi \sqrt{\sin^2 \theta_1 - \sin^2 \theta_C}}$

色々なエバネッセント波

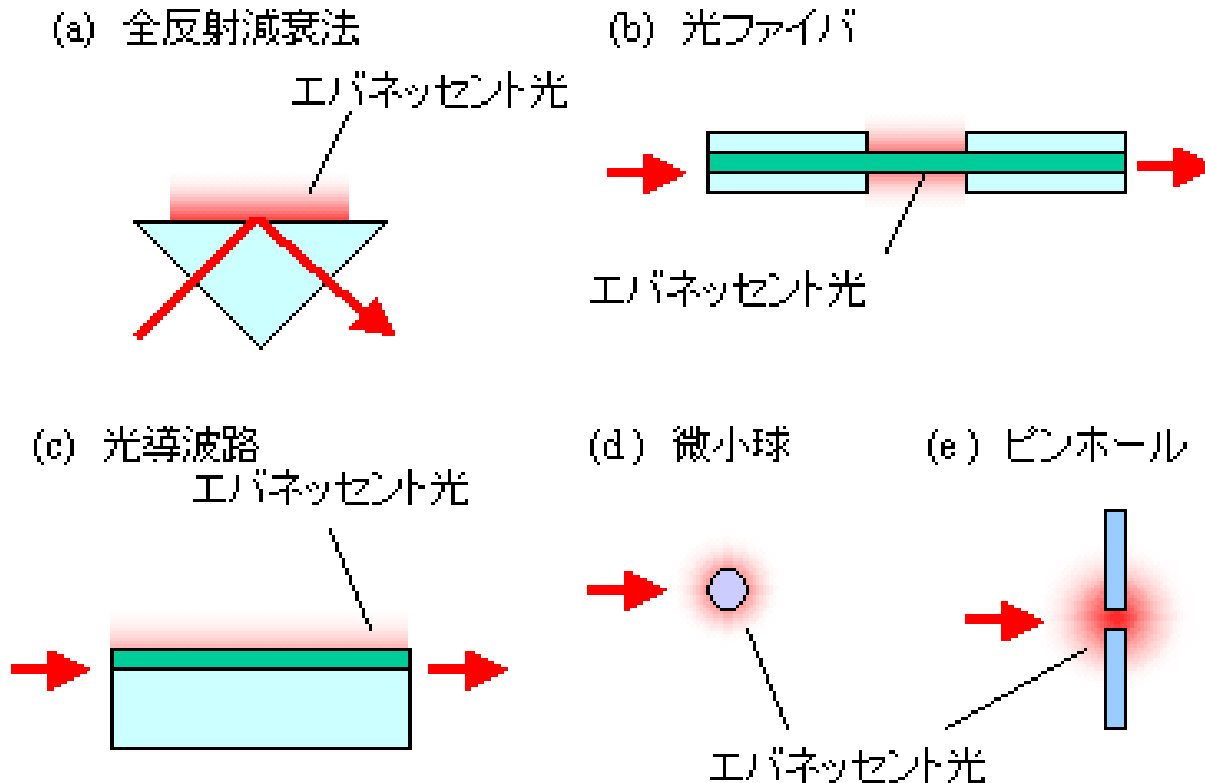
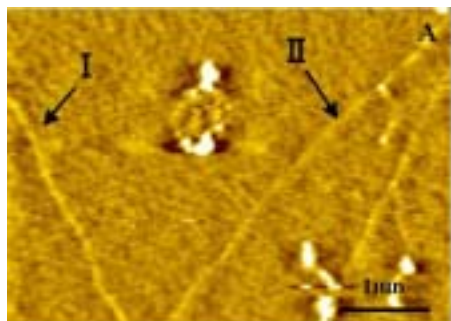
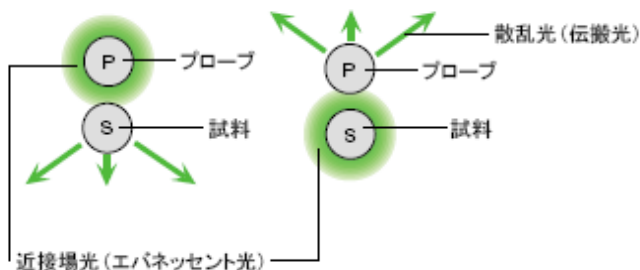
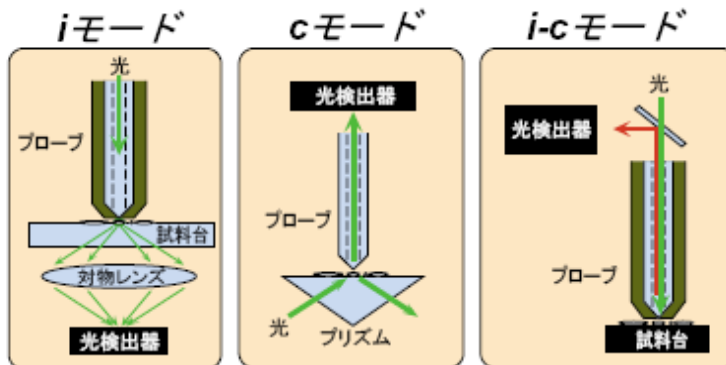


図1 エバネッセント波の励起

走査型近接場光学顕微鏡 (SNOM)



iモード

プローブに光を注入し、プローブ先端からしみ出したエバネッセント光を、試料により散乱させ外部受光する方法。市販近接場光学顕微鏡で主に用いられ、開口数の大きい光学系での集光が可能のため高感度受光が得られます。加工や蛍光観測に用いられています。

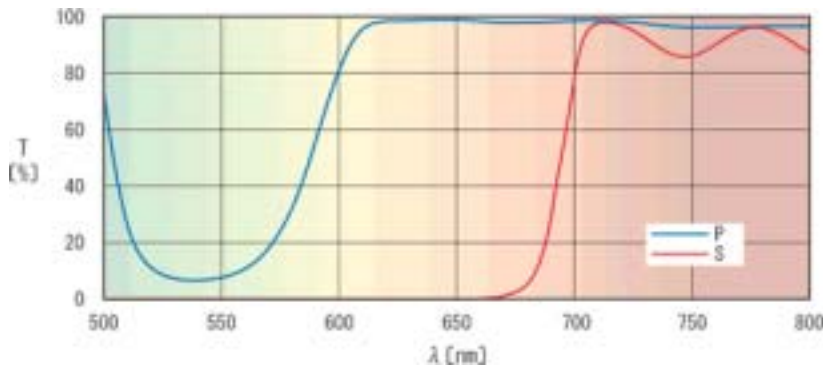
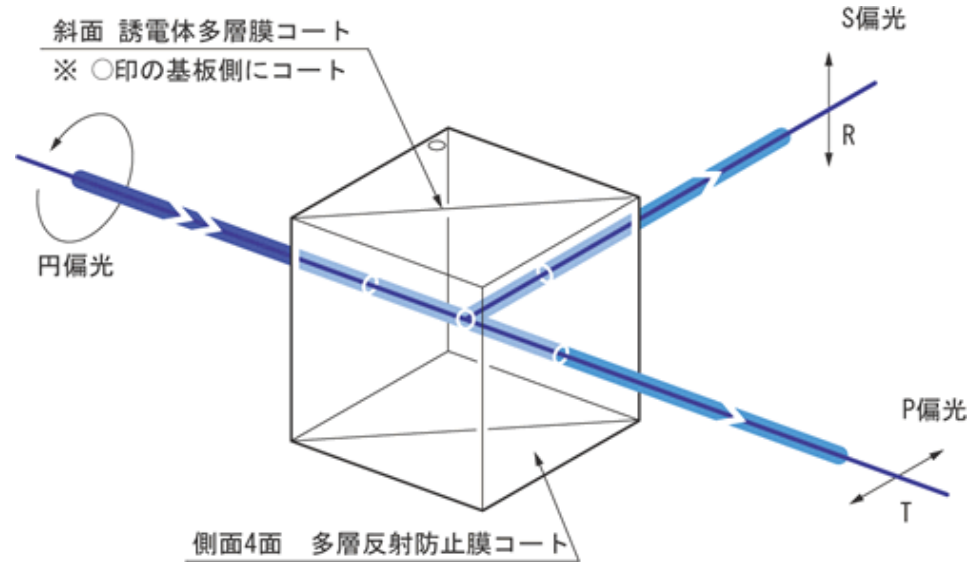
cモード

全反射で試料を照射して、サンプル上で生じたエバネッセント光をプローブで散乱させ、その散乱光を検出する方法。散乱光成分が少なく純度の高いエバネッセントのみを検出することが可能で高いコントラストが得られます。生体系観測に用いられています。

i-cモード

光ファイバプローブを通してエバネッセント光をしみ出し、試料により散乱させ、プローブで検出する方法。試料台(基板等)が不透明なものの分光に用いられています。

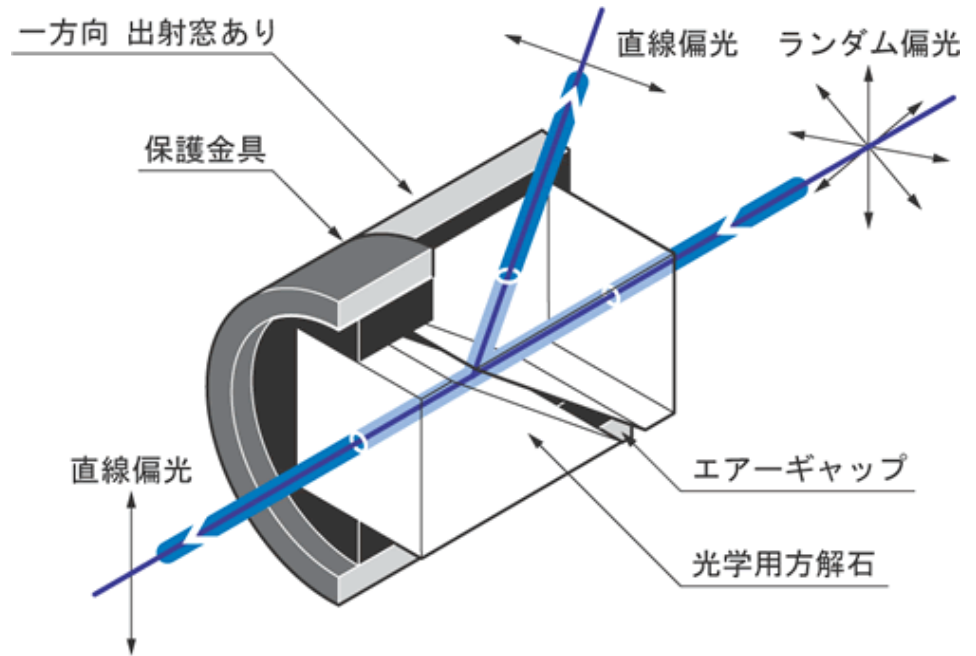
偏光ビームスプリッター (PBS: Polarizing Beam Splitter)



消光比 (extinction ratio):
p偏光とs偏光の透過率の比
良い物 1,000:1
悪い物 10:1

گرانテラープリズム

複屈折性および臨界角の屈折率依存性を利用



消光比 (extinction ratio):
100,000:1