

1. 周波数 1THz の電磁波に対するサファイア窓の反射ロスを低減するために、表面に反射防止膜を作りたい。サファイア窓 (単結晶) の 1THz における屈折率 (正常光) は $n=3.07$ であるとする、1THz の電磁波に対する単層の反射防止膜をサファイア窓表面に作るには、その屈折率と膜厚はどのように設計すればよいか?

回答例 :

サファイアの屈折率の平方根に一致する屈折率を持つ材料で、厚さ 1/4 波長の反射防止膜を作ればよい。すなわち

屈折率 $n_{AR}=3.07^{0.5} = 1.752$, 厚さ $h=\lambda_0/4/(n_{AR})=300\mu\text{m}/4/1.752=42.8\mu\text{m}$

2. 次の物質のうち 2 次の非線形感受率を持たないものはどれか? またその理由はなにか?

(a) GaAs 単結晶, (b) Si 単結晶, (c) ガラス, (d) 液体の水, (e) 炭酸ガス

回答例 :

結晶構造が中心対象のもの、構造が空間的、時間的にランダムで均一なものは 2 次の非線形感受率を持たない。したがって下記が 2 次の非線形感受率を持たない媒質である。

(b) Si 単結晶, (c) ガラス, (d) 液体の水, (e) 炭酸ガス

3. 図 1 のようなシリコン(Si)でできたプリズムを用いて直線偏光を円偏光に変換する、テラヘルツ帯の位相シフターを作りたい。次の問にそれぞれ答えなさい。

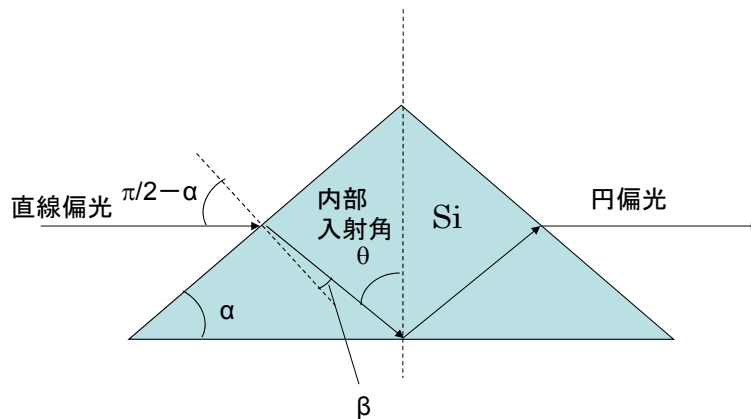


図 1. 三角プリズムへの光線の入射と内部反射の様子。光線方向とプリズム底辺は平行。

(1) 図 1 に示すように光線 (テラヘルツビーム) を三角プリズムの底面と平行に透過させる。このとき、三角プリズムの底角を α (したがって、プリズム斜面へのテラヘルツビームの入射角は $90 \text{ 度} - \alpha$)、プリズム内での屈折角を β とすると、プリズム底面への入射角 θ は α と β を用いてどのように表わされるか?

(2) Si のテラヘルツ帯の屈折率を 3.41 とする。Si プリズム底面での 1 回の全反射で p 偏光と s

偏光の位相が $\pi/2$ (90 度) ずれるようにするためには, 内部入射の角度 θ を何度にするべきか?
 また図 1 のような光線配置ではプリズムの底角 α は何度にするべきか?

解答:

41.9 度または 18.07 度。全反射プリズムとしては, 位相シフトの角度依存の少ない $\theta=41.9\text{deg}$ を利用したほうがよい。詳細は別紙の「Si プリズムの内部反射を利用した位相シフト.doc」を参照。
 また,

$\alpha + \beta = 41.9\text{度}$ $\sin(\pi/2 - \alpha) = 3.41 \sin \beta$		$\alpha = 26.71\text{度}$ $\beta = 15.19\text{度}$
--	--	--

を得る。

(3) プリズム内の全反射で $\pi/2$ の位相シフトが得られるとしても, プリズムから出射したときの p 偏光と s 偏光の振幅が等しくなければ, 光線は円偏光にはならない。プリズムから出射したときの p 偏光と s 偏光の振幅が等しくなるようにするには, 入射させる直線偏光の偏光方向をプリズム斜面への入射面 (紙面と平行な面) に対して適当な角度 (ϕ) だけ傾けなければならない。Si プリズムに光線が入る時と出て行く時の p 偏光, s 偏光の振幅透過率をそれぞれ考慮して, 円偏光を作り出すための入射光の偏光角 ϕ を求めなさい。Si 内部での反射率は 100%(全反射)で, 吸収ロスはないものとする。

解答:

空気 \rightarrow Si プリズムへの透過率振幅を t , Si プリズム \rightarrow 空気への透過率振幅を t' で各とする。

入射角を $\gamma = \pi/2 - \alpha$, 屈折角を β としてプリズム入射面での透過率振幅とプリズム出射面での透過率振幅をそれぞれフレネルの公式を用いて計算すると, s 偏光, p 偏光それぞれに対して

$$t_s = \frac{2 \sin \beta \cos \gamma}{\sin(\gamma + \beta)}, \quad t'_s = \frac{2 \sin \gamma \cos \beta}{\sin(\gamma + \beta)}$$

$$t_p = \frac{2 \sin \beta \cos \gamma}{\sin(\gamma + \beta) \cos(\gamma - \beta)}, \quad t'_p = \frac{2 \sin \gamma \cos \beta}{\sin(\gamma + \beta) \cos(\gamma - \beta)} \quad (\text{古いテキストでは } t_p \text{ の式が間違っている})$$

たので注意)

を得る。ここで入射と出射で γ と β が入れ替わることに注意する。

トータルの振幅透過率は s 偏光, p 偏光それぞれに対して

$$t_s t'_s = \frac{4 \sin \beta \sin \gamma \cos \beta \cos \gamma}{\sin^2(\gamma + \beta)},$$

$$t_p t'_p = \frac{4 \sin \beta \sin \gamma \cos \beta \cos \gamma}{\sin^2(\gamma + \beta) \cos^2(\gamma - \beta)}$$

となる。出射時に s 偏光と p 偏光の振幅は等しくなければ, 円偏光が得られないので, 入射時の s 偏光と p 偏光の振幅の比は上の透過率の逆数の比に等しくなければならない。すなわち,

$$s \text{ 偏光振幅} : p \text{ 偏光振幅} = 1 : \cos^2(\gamma - \beta) = 1 : 0.202$$

である。s 偏光 (水平偏光) からの偏光角を ϕ とすると

$$\tan \phi = 0.202$$

より

$$\phi = 11.42 \text{ 度}$$

を得る。