Министерство образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет)"

Физтех-школа фундаментальной и прикладной физики

Факультет проблем физики и энергетики

Кафедра электродинамики сложных систем и нанофотоники

Исследование свойств оптических волокон с брэгговскими решётками для сенсорных применений

Выпускная квалификационная работа
(бакалаврская работа)

Направление подготовки: 03.03.01 Прикладные математика и физика

Работу выполнил:
студент 685 группы ______________ Барсегян Сергей Симонович

Научный руководитель:
д.ф.-м.н., член-корр. РАН ______________ Дорофеенко Александр Викторович

Москва, 2020

Содержание

Введение **2**

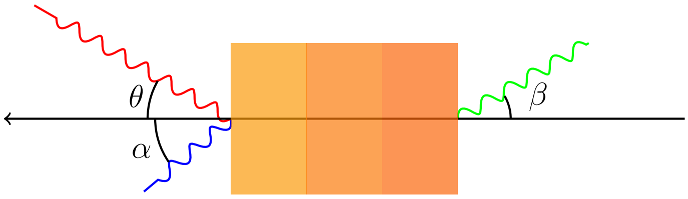
1 Эффекти Кречмана **3**

2 Моды волновода **5**

Список литературы **6**

Введение

1 Эффекти Кречмана



Рассмотрим падение света на слоистую среду под углом θ_1 с коэффицентами диэлектрическими проницаемостями $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ соответственно. На границе каждой среды можно записать закон Снеллиуса.

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{n_2}{n_1} = \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}$$

$$\frac{\sin\theta_3}{\sin\theta_2} = \frac{n_3}{n_2} = \sqrt{\frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_2}}$$

Наша цель посчитать коэфиценты отражение и прохождения для такой слоистой системы. В это задаче очень полезен метод T-матриц. Обозначим коэффицент отражения через r , f коэффицент прохождения через t.

Тогда на матричном языке можно задать взаимосвязь между этими величинами. А именно распишем амплитуды волн слева и справа.

$$\vec{E} = \vec{E}(x)e^{i(\omega t - \beta z)}$$

$$E(x) = \begin{cases} E_1 e^{ik_1 x} + E_1' e^{-ik_1 x}, x < 0 \\ E_2 e^{ik_{2x} x} + E_2' e^{-ik_{2} x_{2} x}, 0 < x < d \\ E_3 e^{ik_3 (x-d)} + E_3' e^{-ik_3 (x-d)}, x > d \end{cases}$$

$$P_2 = \begin{pmatrix} e^{ik_{2x} d} & 0 \\ 0 & e^{-ik_{2x} d} \end{pmatrix}$$

$$S_{21} = \frac{1}{2Z_2} \begin{pmatrix} Z_2 + Z_1 & Z_2 - Z_1 \\ Z_2 - Z_1 & Z_2 + Z_1 \end{pmatrix}$$

$$S_{32} = \frac{1}{2Z_3} \begin{pmatrix} Z_3 + Z_2 & Z_3 - Z_2 \\ Z_3 - Z_2 & Z_3 + Z_2 \end{pmatrix}$$

Где $Z_i = \frac{k_{zi}}{k_0}$ для s - поляризации и $Z_i = \frac{k_{zi}}{\varepsilon_i k_0}$ для p - поляризации

$$k_{zi} = \sqrt{k_0^2 \epsilon_i - k_x^2)}$$

$$k_x = k_0 \sin\theta$$

$S_{32} P_2 S_{21} \begin{pmatrix} 1 \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t \\ 0 \end{pmatrix}$

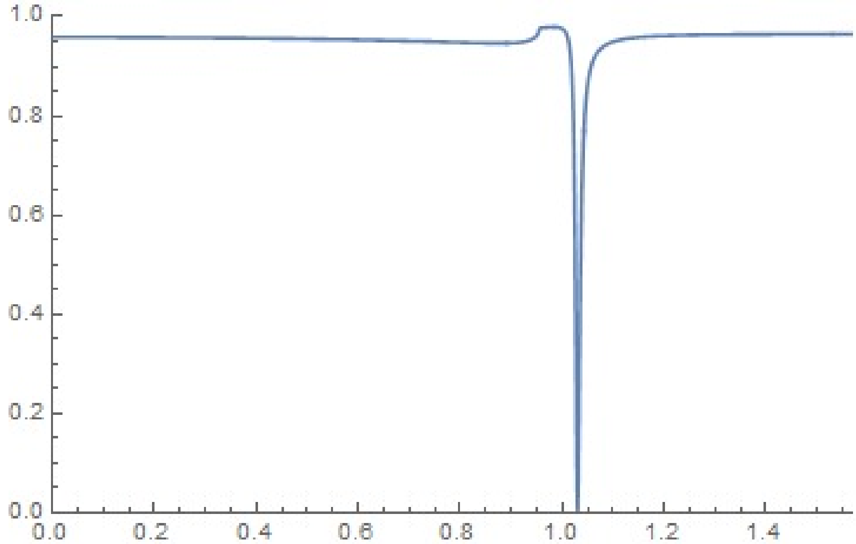
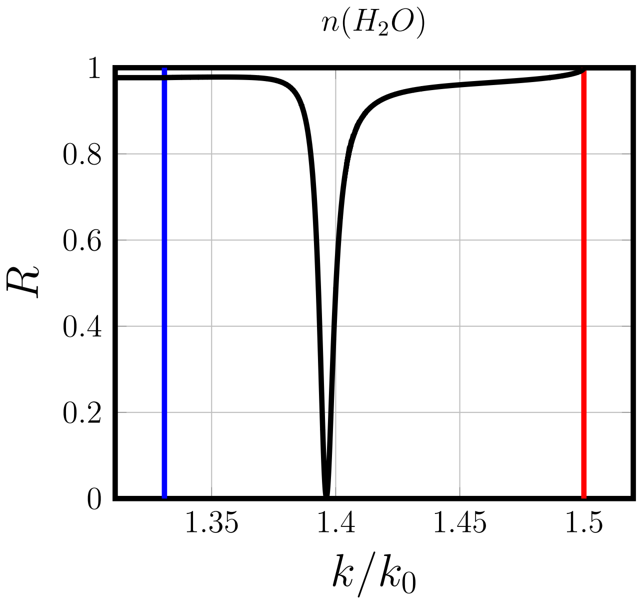
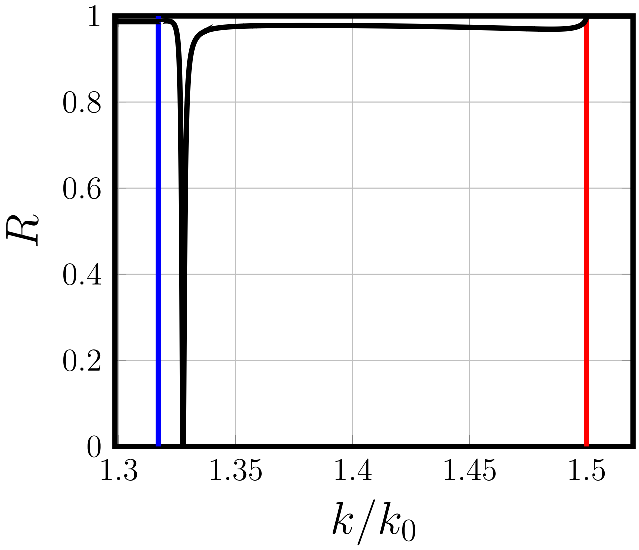

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4

Рис. 1:


$n(H_2O)$
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
R
1.35
1.4
1.45
1.5
k/k_0


1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
R
1.3
1.35
1.4
1.45
1.5
k/k_0

2 Моды волновода

Klir

$$\operatorname{rot}\mathbf{H} = \frac{\partial D}{\partial t}, \quad \operatorname{rot}\ \mathbf{E} = -\frac{\partial B}{\partial t} \tag{1}$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial H_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial H_\varphi}{\partial z} = -i\omega\varepsilon E_r \tag{2}$$

$$\frac{\partial H_r}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial r} = -i\omega\varepsilon E_\varphi \tag{3}$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rH_\varphi\right) - \frac{1}{r}\frac{\partial H_r}{\partial \varphi} = -i\omega\varepsilon E_z \tag{4}$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial E_\varphi}{\partial z} = i\omega\mu H_r, \quad \frac{\partial E_r}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial r} = i\omega\mu H_\varphi \tag{5}$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rE_\varphi\right) - \frac{1}{r}\frac{\partial E_r}{\partial \varphi} = i\omega\mu H_z \tag{6}$$

$$E_r = \frac{1}{k^2 - h^2}\left(\text{ ih }\frac{\partial E_z}{\partial r} + \frac{i\omega\mu}{r}\frac{\partial H_3}{\partial \varphi}\right) \tag{7}$$

$$E_\varphi = \frac{1}{k^2 - h^2}\left(\frac{ih}{r}\frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - i\omega\mu\frac{\partial H_z}{\partial r}\right) \tag{8}$$

$$H_r = \frac{1}{k^2 - h^2}\left(\text{ ih }\frac{\partial H_{\mathrm{z}}}{\partial r} - \frac{i\omega e}{r}\frac{\partial E_z}{\partial \varphi}\right) \tag{9}$$

$$H_\varphi = \frac{1}{k^2 - h^2}\left(\frac{ih}{r}\frac{\partial H_z}{\partial \varphi} + i\omega e\frac{\partial E_z}{\partial r}\right) \tag{10}$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} + \left(k^2 - h^2\right)U = 0 \tag{11}$$

$$U = F(r)e^{im\varphi} \tag{12}$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial F}{\partial r} + \left(u^2 - \frac{m^2}{r^2}\right)F = 0 \tag{13}$$

$$\begin{aligned} E_z^{(1)} &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m J_m(ur)\cos m\varphi \exp(ihz - i\omega t) \\ H_z^{(1)} &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} B_m J_m(ur)\cos\left(m\varphi + \beta_m\right)\exp(ihz - i\omega t) \end{aligned} \tag{14}$$

$$E_z^{(2)} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} C_m K_m(vr)\cos m\varphi \exp(thz - i\omega t) \tag{15}$$

$$H_z^{(2)} = \sum_{m=0}^{\infty} D_m K_m(vr)\cos\left(m\varphi + \beta_m\right)\exp(ihz - i\omega t) \tag{16}$$

$$v = \sqrt{h^2 - k_2^2}, k_3 \leqslant h \leqslant k_1 \tag{17}$$

$$E_\varphi^{(1)} = -\sum_{m=-\infty}^{\infty}\left[A_m \frac{imh}{u^2 r} J_m(ur)\sin m\varphi - \right. \\ \left. -B_m \frac{i\omega\mu}{u} J'_m(ur)\cos\left(m\varphi+\beta_m\right)\right] \tag{18}$$

$$H_\varphi^{(1)} = -\sum_{m=-\infty}^{\infty}\left[B_m \frac{imh}{u^2 r} J_m(ur)\sin\left(m\varphi+\beta_m\right) + \right. \\ \left. +A_m \frac{i\omega e_1}{u} J_m(ur)\cos m\varphi\Big)\right] \tag{19}$$

$$E_\varphi^{(2)} = \textstyle\sum_{m=-\infty}^{\infty}\left[C_m \frac{imh}{v^2 r} K_m(vr)\sin\left(m\varphi+\beta_m\right) - \right. \\ \left. -D_m \frac{i\omega\varepsilon_2}{v} K'_m(vr)\cos m\varphi\right] \tag{20}$$

$$H_\varphi^{(2)} = \sum_{m=-\infty}^{\infty}\left[D_m \frac{imh}{v^2 r} K_m\left(v^2 r\right)\sin\left(m\varphi+\beta_m\right) - \right. \\ \left. -C_m \frac{i\omega\varepsilon_2}{v} K'_m(vr)\cos m\varphi\right] \tag{21}$$

$$-A_m \frac{mh}{p^2} J_m(p)\sin m\varphi - B_m \frac{\omega\mu}{p} J'_m(p)\cos\left(m\varphi+\beta_m\right) = \tag{22}$$

$$= C_m \tfrac{mh}{q^2} K_m(q)\sin m\varphi + D_m \tfrac{\omega\mu}{q} K'_m(q)\cos\left(m\varphi+\beta_m\right) \\ A_m J_m(p) = C_m K_m(q) \tag{23}$$

$$-B_m \tfrac{mh}{p^2} J_m(p)\sin\left(m\varphi+\beta_m\right) + A_m \tfrac{\omega e_1}{p} J'_m(p)\cos m\varphi \\ = D_m \tfrac{mh}{q^2} K_m\left(q_1\right)\sin\left(m\varphi+\beta_m\right) - C_m \tfrac{\omega e_9}{q} K'_m(q)\cos m\varphi \\ B_m J_m(p) = D_m K_m(q) \tag{24}$$

$$\left[f_m(p)+g_m(q)\right]\left[\tfrac{\varepsilon_1}{e_s} f_m(p) + g_m(q)\right] \\ \tfrac{m^2 b^2}{k_2^2}\left(\tfrac{1}{p^2}+\tfrac{1}{q^2}\right) \\ = \tfrac{\sin m\varphi \sin(m\varphi+\beta_m)}{\cos m\varphi \cos(m\varphi+\beta_m)} \tag{25}$$

$$f_m = \frac{J'_m(p)}{pJ_m(p)}, \quad g_m(q) = \frac{K'_m(q)}{qR_m(q)} \tag{26}$$

$$p^2 + q^2 = a^2\left(k_1^2 - k_2^2\right) \tag{27}$$

$$\left[f_m(p)+g_m(q)\right]\left[\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} f_m(p) + g_m(q)\right] = \frac{m^2 h^2}{k_2^2}\left(\frac{1}{p^2}+\frac{1}{q^2}\right)^2 \tag{28}$$

Список литературы