

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ОСОБЕННОСТИ В СПЕКТРЕ ВОЛНОВОДНЫХ МОД
В УСЛОВИЯХ РЕЗОНАНСА
С ДИПОЛЬНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ СЛОЯ

А. И. Воронко, Г. А. Немова, Г. Н. Шкердин

Исследование многослойных планарных структур перспективно для электродинамики и применений в интегральной оптике [1, 2]. Варьируя количеством слоев структуры и величинами их диэлектрических проницаемостей, можно добиться желаемых характеристик волноводных мод (ВМ) исследуемой структуры, влияя на область их существования.

В данной работе сообщается о специфических аномалиях в спектре ВМ, распространяющихся в пятислойной структуре, диэлектрическая проницаемость которой зависит от поперечной координаты и имеет следующий вид: $\varepsilon(z < 0) = 8.01$ (сигал — подложка), $\varepsilon(0 < z < a) = 9$ (поликор — волноводный слой), $\varepsilon(a < z < a+b) = 8.01$ (сигал — буфер), $\varepsilon(a+b < z < a+b+d) = \varepsilon_1(\omega, k)$ (резонансный слой), $\varepsilon(z > a+b+d) = 1$ (вакуум — покровный слой), где $\varepsilon_1(\omega, k) = \varepsilon_\infty (\omega_L^2 - \omega^2 + \beta k^2) (\omega_T^2 - \omega^2 + \beta k^2)^{-1}$. $\beta = 0$ соответствует фоновой области спектра, $\beta \neq 0$ — экситонной области спектра, где для резонансного слоя взят ZnSe ($\omega_L = 2.804$, $\omega_T = 2.802$ эВ, $\varepsilon_\infty = 8.7$, $\beta = 5 \cdot 10^{-6}$). Частоты дипольных колебаний ω_T и ω_L лежат в области ВМ.

Электромагнитное излучение, распространяющееся по гармоническому закону вдоль волновода, как и для любой планарной структуры, представляет собой моды двух поляризаций: TE и TM . При феноменологическом подходе в результате точного решения уравнений Максвелла с надлежащими граничными условиями получены дисперсионные уравнения исследуемой структуры для TM - и TE -поляризаций

$$\exp(-2k_5 b) AB - CD = 0, \quad (1)$$

$$(A, C) = \varepsilon_2 k_2 (\varepsilon_4 k_5 \mp \varepsilon_5 k_4) \cos(k_2 a) + (\varepsilon_3^2 k_4 k_5 \pm \varepsilon_4 \varepsilon_5 k_3^2) \sin(k_2 a), \quad (2)$$

$$(B, D) = \exp(-2k_1 d) (\varepsilon_1 k_5 \pm \varepsilon_5 k_1) (\varepsilon_1 k_3 - \varepsilon_3 k_1) - (\varepsilon_1 k_5 \pm \varepsilon_5 k_1) (\varepsilon_1 k_3 + \varepsilon_3 k_1). \quad (3)$$

В случае двойного знака верхний знак относится к первой букве в скобке, нижний знак — ко второй. Дисперсионное уравнение для TE -поляризации получается из (1)–(3) при формальной подстановке $\varepsilon_5 = \varepsilon_4 = \varepsilon_3 = \varepsilon_2 = \varepsilon_1 = 1$. В результате численного решения на ЭВМ дисперсионных уравнений для TM - и TE -поляризаций получены следующие особенности в спектрах ВМ. Для TM -поляризации обнаружены щели в областях ω_T и ω_L (рис. 1). В области ω_L щель сдвинута в сторону $\omega < \omega_L$. Ширина щели слабо уменьшается при увеличении толщины буфера. Так, ширина щели при $b = 1$ мкм составляет $\Delta\omega_L \approx 2.24$ см⁻¹, а при увеличении толщины буфера в 10 раз ширина щели уменьшается до $\Delta\omega_L \approx 1.24$ см⁻¹ (рис. 2), что связано с уменьшением взаимодействия ВМ с дипольными колебаниями резонансного слоя. Ширина щели сильно зависит от толщины резонансного слоя d . При увеличении d ширина щели увеличивается, достигая для структуры (рис. 2) максимального значения $\Delta\omega_L \approx 2.24$ см⁻¹ при $d \approx 3$ мкм; далее, при увели-

чении d , ширина щели резко уменьшается, и при $d \approx 30$ мкм щель пропадает. Это явление, как и сдвиг верхнего края щели в область $\omega < \omega_L$ (рис. 2), можно объяснить усилением экранирующего действия резонансного слоя при увеличении его толщины и возможностью прохождения поля через резонансный слой при малых его толщинах. Ширина щели вблизи ω_L всегда превосходит ширину щели вблизи ω_T . Так, например, для структуры (рис. 1) щель вблизи ω_T составляет $\Delta\omega_T \approx 0.99$ см⁻¹, а вблизи ω_L — $\Delta\omega_L \approx 1.5$ см⁻¹. Ширина щели в окрестности ω_T , так же как и в окрестности ω_L , слабо уменьшается при увеличении толщины буфера. Увеличение толщины резонансного слоя приводит к многомодовости вблизи ω_T , так как резонансный слой начинает играть роль волноведущего. Для TE -поляризации щель возникает лишь в окрестности ω_T . Ширина щели $\Delta\omega_T \approx 0.5$ см⁻¹ для структуры (рис. 1).

В экситонной области спектра результаты исследований отличаются от

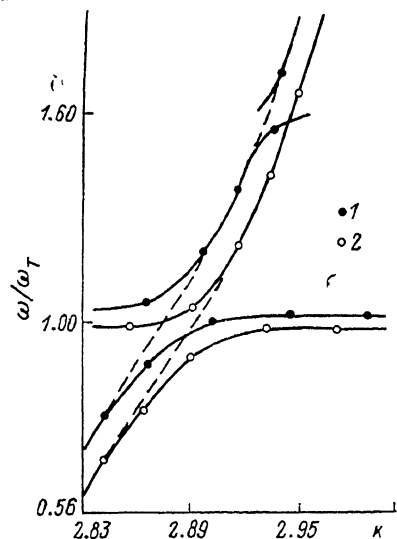


Рис. 1. Закон дисперсии пятислоного волновода с резонансным слоем из NaCl. $\omega_L = 263$, $\omega_T = 164$ см⁻¹, $\epsilon_\infty = 2.3$, $a = 150$ мкм, $b = 1$ мкм, $\alpha = 3$ мкм. 1 — TM -поляризация, 2 — TE -поляризация. Штриховая линия соответствует закону дисперсии для трехслойного волновода ($a = 150$ мкм, поликор — волноведущий слой, ситал — подложка, вакуум — покровный слой).

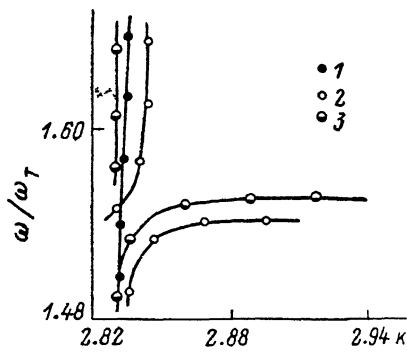


Рис. 2. Закон дисперсии пятислоного волновода (TM -поляризация) с резонансным слоем из NaCl для ряда структур.

a (мкм), ϵ (мкм), α (мкм): 1 — 60, 1, 30; 2 — 60, 10, 3; 3 — 60, 1, 3.

результатов исследований в фоновой области только тем, что не всегда ширина щели вблизи ω_L больше ширины щели вблизи ω_T ; в остальном результаты аналогичны. Приведем некоторые результаты исследований в экситонной области спектра: для структуры $a = 1756$ Å, $d = 40$ Å, $b = 0$ возникают щели шириной $\Delta\omega_T \approx 5.6 \cdot 10^{-5}$, $\Delta\omega_L \approx 2.8 \cdot 10^{-5}$ эВ для TM -поляризации и $\Delta\omega_T \approx 2.8 \cdot 10^{-5}$ эВ для TE -поляризации. Для структуры $a = 1756$ Å, $d = 100$ Å, $b = 0$ имеются щели $\Delta\omega_T \approx 8.4 \cdot 10^{-5}$ эВ, $\Delta\omega_L \approx 2.8 \times 10^{-5}$ эВ для TM -поляризации и $\Delta\omega_T \approx 5.6 \cdot 10^{-5}$ эВ для TE -поляризации.

Исследования в фоновой и экситонной областях спектра, когда для резонансного слоя брались другие кристаллы, привели к аналогичным результатам, что позволяет говорить об общности полученных результатов.

Список литературы

- [1] Поверхностные поляритоны / Под ред. В. М. Аграновича, Д. Л. Милса. М.: Наука, 1985. 525 с.
- [2] Золотов Е. М., Киселев В. А., Сычугов В. А. // УФН. 1974. Т. 112. № 2. С. 231—273.