

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВОДНЫХ РЕЖИМОВ В МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ

Стрилец Т. С.¹, Котляр В. В.^{1,2}, Налимов А. Г.^{1,2}

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет),

² Учреждение Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН

Аннотация

В работе на основе метода поперечного пропускания/отражения (TTR) разработан алгоритм расчёта констант распространения вытекающих мод для многослойной планарной структуры. Приводятся результаты моделирования и даётся сравнение постоянных распространения вытекающих мод ARROW структуры, полученных указанным методом, с известными из литературы константами. Также приводятся рассчитанные профили некоторых вытекающих мод.

Ключевые слова: многослойная структура, метод поперечного пропускания/отражения, матрица переноса, константа распространения, профиль моды.

Введение

Многослойные планарные волноводы являются важными элементами современных интегральных оптических устройств, таких как полупроводниковые лазеры, модуляторы, светофильтры, поляризаторы света. В разработке таких устройств необходима точная характеристика свойств распространения мод в волноводах. Возможные типы мод: моды малых потерь, моды с потерями на вытекание [1, 2] и моды с потерями на поглощение и рассеивание. Вытекающие моды и моды с потерями имеют комплексные константы распространения, нахождение которых можно осуществить численным методом поиска комплексных корней в задаче о собственных значениях. Вытекающая мода характеризуется потерями излучения, вызванными высоким показателем окружающего слоя или нескольких слоёв. Моды с потерями характеризуются материальными потерями на поглощение и рассеивание, которые могут быть вызваны шероховатостью поверхности.

Для получения решений мод многослойных планарных структур существуют несколько численных методов [3-8], которые разделяют на строгие и нестрогие методы. Строгие численные методы [3-6] непосредственно ищут корни в комплексной плоскости, и погрешность такого метода ограничена только численной точностью. Кроме того, считается, что эти методы – затратны по времени. Примером строгого метода является метод принципиального аргумента (АРМ) [3]. Нестрогие методы не дают точных решений, но обычно на них требуется меньше времени вычисления, а также они позволяют учитывать резонансы при поперечном освещении, которые характерны для вытекающих мод. К нестрогим методам относят метод отражения полюса (RPM), метод поперечного пропускания/отражения (TTR). Рассматриваемый в данной работе метод TTR предполагает добавление слоя с высоким показателем преломления к покрытию, не требует выбора направляющего слоя. Снятие этого ограничения позволяет применять метод TTR к произвольной многослойной волноводной структуре, и этот метод обеспечивает прямой и простой подход к определению постоянных распространения вытекающих мод и профилей мод волновода.

1. Постановка задачи

1.1. Матрица переноса

Матрица переноса даёт основу систематическому подходу к анализу многослойных структур, одной из тех, что представлена на рис. 1. На рис. 1 n_c и n_s – показатели преломления слоя покрытия и подложки, n_i – показатель преломления i -го слоя волновода.

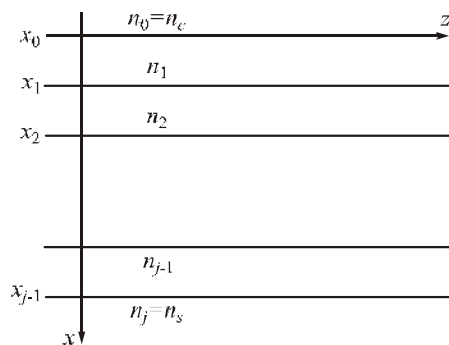


Рис. 1. Геометрия многослойной структуры

Для поперечно-электрической (ТЕ) волны, распространяющейся в направлении $+z$ на i -ом слое, ($x_{i-1} \leq x \leq x_i$) напряжённость электрического поля

$$\vec{E}_i = \vec{y} E_{yi}(x) \exp[j(\omega t - \gamma z)], \quad (1)$$

где \vec{y} – единичный вектор в направлении $+y$ и $\gamma = \beta - j\alpha$ – комплексная постоянная распространения, где β и α – фазовый коэффициент и коэффициент затухания. Эффективный показатель преломления N определяется как $N \equiv \beta / k_0$, где $k_0 = 2\pi / \lambda_0$ и λ_0 – длина волны. Напряжённость электрического поля i -го слоя, суммирующего волны, распространяющиеся от $-x$ до $+x$, может быть выражена следующим образом

$$E_{yi}(x) = A_i \exp[-\kappa_{x,i}(x - x_{i-1})] + B_i \exp[+\kappa_{x,i}(x - x_{i-1})], \quad (2)$$

где A_i и B_i являются комплексными амплитудами полей, распространяющихся в отрицательном и положительном направлениях оси x в i -ом слое, соот-

ветственно, $\kappa_{x,i} = (\gamma^2 - k_0^2 n_i^2)^{1/2}$ – поперечный волновой вектор i -ого слоя, и x_i определяет границу между i -ым и $(i+1)$ -ым слоями.

Через сравнение тангенциальных компонент электрического и магнитного полей на границе раздела комплексные амплитуды полей в слое покрытия и подложки могут быть связаны с помощью матричного уравнения

$$M_i = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \left[1 + f_i \frac{\kappa_{x,i}}{\kappa_{x,i+1}} \right] \exp(-\kappa_{x,i} d_i) & \left[1 - f_i \frac{\kappa_{x,i}}{\kappa_{x,i+1}} \right] \exp(\kappa_{x,i} d_i) \\ \left[1 - f_i \frac{\kappa_{x,i}}{\kappa_{x,i+1}} \right] \exp(-\kappa_{x,i} d_i) & \left[1 + f_i \frac{\kappa_{x,i}}{\kappa_{x,i+1}} \right] \exp(\kappa_{x,i} d_i) \end{pmatrix}, \quad i = 0, \dots, j-1, \quad (4)$$

где для ТЕ-волны $f_i = 1$, а для ТМ-волны $f_i = \frac{n_{i+1}^2}{n_i^2}$,

d_i – толщина i -ого слоя. Для ТМ-волн вместо E_{yi} в формуле (2) будет H_{yi} .

Формула (3) через коэффициент пропускания и коэффициент отражения переписывается в виде

$$\begin{pmatrix} t_s \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ r_c \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} r_s \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ t_c \end{pmatrix} \quad (6)$$

для случаев падающей плоской волны для покрытия и для подложки, соответственно [9,10].

В случае падения света на слой покрытия компонента поля в направлении $-x$ в подложке равна нулю ($B_s = 0$). В случае падения света на подложку компонента поля в направлении $+x$ в слое покрытия равна нулю ($A_c = 0$). В результате получим

$$\begin{aligned} r_c &= -\frac{m_{21}}{m_{22}}, \quad r_s = \frac{m_{12}}{m_{22}}, \\ t_c &= \frac{1}{m_{22}}, \quad t_s = \frac{m_{11}m_{22} - m_{12}m_{21}}{m_{22}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Доля энергии отражения

$$R_c = |r_c|^2, \quad R_s = |r_s|^2. \quad (8)$$

Доля энергии пропускания

$$\begin{aligned} T_c = T_s &= |t_c|^2 \frac{n_c \cos(\theta_c)}{n_s \cos(\theta_s)} = |t_s|^2 \frac{n_s \cos(\theta_s)}{n_c \cos(\theta_c)} = \\ &= |t_c t_s|, \end{aligned} \quad (9)$$

где θ_c – угол падения света на слой покрытия и θ_s – угол выхода света из подложки, и, наоборот, θ_s – угол падения света на подложку и θ_c – угол выхода света из слоя покрытия. Равенство (9) вытекает из обратимости хода лучей. Из (7) видно, что при $m_{22} = 0$ коэффициенты отражения и пропускания

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} A_s \\ B_s \end{pmatrix} &= M_{j-1} M_{j-2} \dots M_1 M_0 \begin{pmatrix} A_c \\ B_c \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_c \\ B_c \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (3)$$

где матрица переноса для i -ого слоя M_i выглядит следующим образом

становятся бесконечными. Поэтому величина γ , при которой $m_{22} = 0$ (или минимальная), будет равна константе распространения каналируемой моды (если γ вещественная) или вытекающей моды (если γ мнимая) [11].

1.2. Метод поперечного пропускания/отражения (TTR)

Из уравнений (7), t и r бесконечны, когда $m_{22} = 0$. При моделировании методом TTR доля энергии пропускания (или отражения) рассчитывается в зависимости от $\beta = \text{Re}(\gamma)$. Метод TTR основывается на приближённом расчёте доли энергии пропускания в виде рациональной функции от полюсов комплексной постоянной распространения γ_l вытекающих мод и мод с потерями [11], т.е.

$$\begin{aligned} T &= |t_c|^2 \frac{n_c \cos(\theta_c)}{n_s \cos(\theta_s)} = \left| \frac{1}{m_{22}} \right|^2 \frac{n_c \cos(\theta_c)}{n_s \cos(\theta_s)} \cong \\ &\cong S(\beta) \left| \frac{1}{\prod_{l=1}^{M_p} (\beta - \gamma_l)} \right|^2 \frac{n_c \cos(\theta_c)}{n_s \cos(\theta_s)}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $S(\beta)$ – медленно меняющаяся функция от β и M_p – число полюсов. Величине γ_l , предполагая коэффициенты пропускания бесконечными, соответствует постоянная распространения каналируемой или вытекающей моды многослойного волновода.

Метод TTR определяет все моды только в том случае, если показатели n_c и n_s больше, чем эффективный показатель N интересующих мод. Это условие достигается за счёт добавления слоя (слоёв) с показателем выше, чем эффективный показатель любой волноводной моды, к покрытию многослойной структуры. Рис. 2 показывает случай добавления слоя с показателем n'_c к слою n_c , угол падения к добавленному слою есть θ . Эффективный показатель может быть выражен как функция от θ , $N = n'_c \sin \theta$. В результате структура будет возму-

щённой версией начальной структуры с немного смещённой действительной частью постоянной распространения и чуть большим коэффициентом затухания по сравнению с постоянной распространения начальной моды. Следует отметить, что α и β , определяемые методом TTR, рассматриваются для возмущённой структуры, которая содержит добавленный слой с высоким показателем.

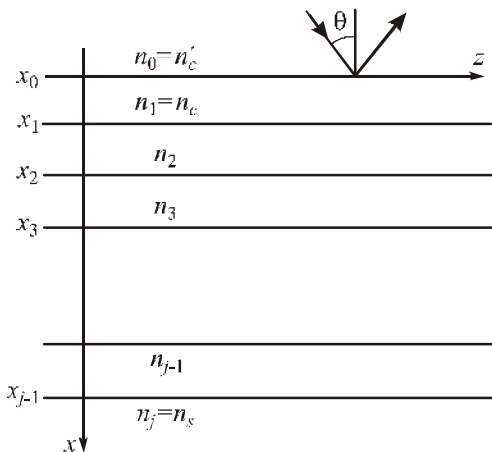


Рис. 2. Многослойная структура со слоем с высоким показателем ($n_0 = n'_c$), добавленным выше первоначального слоя

Для отыскания решений вытекающих мод волноводной структуры с добавленным слоем с высоким показателем методом TTR необходимо найти минимум m_{22} как функции от двух аргументов α и β численным методом. В данной работе для отыскания минимума был использован метод спуска по координатам [12].

Для отыскания профиля моды многослойной структуры необходимо воспользоваться матричным уравнением связи комплексных амплитуд поля в каждом слое (3).

2. Результаты моделирования мод многослойной планарной структуры

Для нахождения вытекающих мод методом TTR был произведён расчёт для структуры ARROW (anti-resonant reflecting optical waveguide). Структура ARROW представляет собой многослойный планарный оптический волновод, свойства которого определяются антирезонансным отражением от многослойной оболочки [13]. Структуры ARROW используют тонкие и с высокой отражательной способностью слои между направляемым слоем и подложкой для уменьшения потерь излучения мод.

ARROW-структуры обладают следующими свойствами: сравнительно низкими потерями, преимущественно одномодовым режимом распространения света, высокой поляризационной чувствительностью, высокой степенью локализации света [14]. ARROW-волноводы используют, например, в мощных полупроводниковых лазерах.

В данном конкретном случае была рассмотрена структура, представленная на рис. 3а, первоначально

покрытие – воздушное, поэтому слой с высоким показателем должен быть добавлен выше воздушного слоя для возбуждения вытекающих мод с эффективным показателем больше 1. В качестве показателя преломления добавляемого слоя взяли 1,46. Толщина воздушного зазора d_a выбирается $0,5\lambda$ для достижения соответствующей интенсивности. Рис. 3б показывает структуру с добавленным слоем с высоким показателем. Длина волны в свободном пространстве для этой структуры составляет $0,6328 \text{ мкм}$.

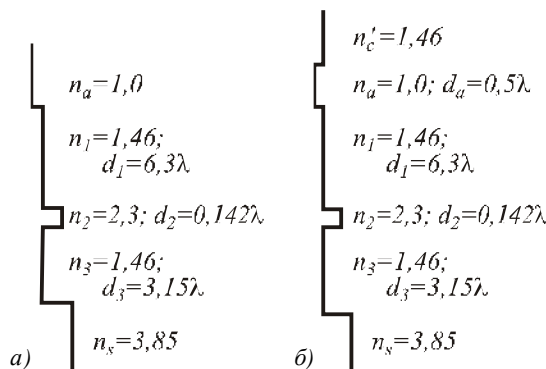


Рис. 3. Структура ARROW (а); структура ARROW с добавленным слоем с высоким показателем (б)

Рассчитанные с точностью $\epsilon = 10^{-13}$ постоянные распространения вытекающих мод для структуры, представленной на рис. 3б, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Расчёт нормированной постоянной распространения $\gamma_n / k_0 = (\beta_n - j\alpha_n) / k_0 = N_n$ вытекающей моды TE_n для структуры ARROW, представленной на рис. 3б

Мода TE_n	γ_n / k_0
TE_1	$1,4578379 - j 1,2694E-013$
TE_2	$1,45188 - j 4,96E-005$
TE_3	$1,45123 - j 1,75E-004$
TE_4	$1,44042 - j 5,2E-006$
TE_5	$1,4269 - j 1,995E-004$
TE_6	$1,424890 - j 7,036E-004$
TE_7	$1,40494 - j 3,9E-005$
TE_8	$1,381 - j 4,7E-004$
TE_9	$1,37975 - j 1,625E-005$
TE_{10}	$1,34999 - j 1,5E-004$
TE_{11}	$1,32 - j 8,6E-004$
TE_{12}	$1,314 - j 3,008E-003$
TE_{13}	$1,27316 - j 4,1E-004$
TE_{14}	$1,24 - j 1,48E-003$
TE_{15}	$1,22486 - j 5,04E-003$
TE_{16}	$1,185 - j 1,05E-003$
TE_{17}	$1,134 - j 2,4E-003$
TE_{18}	$1,10729 - j 8,33E-003$
TE_{19}	$1,0620 - j 2,64E-003$

В табл. 2 представлены результаты моделирования методом TTR структуры ARROW, описанной в работе [1]. Постоянные распространения мод из работы [1] были использованы в качестве начальных

приближений применения численного метода, что позволило сократить количество итераций. Полученные константы распространения для вытекающей моды исследуемой структуры совпадают с аналогичными константами в работе [1] с точностью 10^{-2} .

Таблица 2. Результаты моделирования TTR-методом структуры ARROW, приведённые в работе [1]

Мода TE_n	γ_n / k_0
TE_1	$\sim 1,45794$
TE_2	$1,45192 - j4,97E-005$
TE_3	$1,45122 - j1,78E-004$
TE_4	$1,44137 - j5,47E-006$
TE_5	$1,42740 - j2,02E-004$
TE_6	$1,42462 - j7,15E-004$
TE_7	$1,40769 - j3,96E-005$
TE_8	$1,38563 - j4,70E-004$
TE_9	$1,37934 - j1,64E-003$
TE_{10}	$1,35569 - j1,52E-004$
TE_{11}	$1,32505 - j8,74E-004$
TE_{12}	$1,31370 - j3,01E-003$
TE_{13}	$1,28330 - j4,31E-004$
TE_{14}	$1,24310 - j1,48E-003$
TE_{15}	$1,22474 - j5,05E-003$
TE_{16}	$1,18713 - j1,07E-003$
TE_{17}	$1,13556 - j2,46E-003$
TE_{18}	$1,10728 - j8,34E-003$
TE_{19}	$1,06138 - j2,66E-003$

Также для каждой из рассчитанных мод $TE_1 - TE_7$ из табл. 1 был найден профиль, который содержит волны, распространяющиеся от волновода в слой с высоким показателем и в подложку. Профили указанных мод представлены на рис. 4-10.

Амплитуда поля, отн.ед.

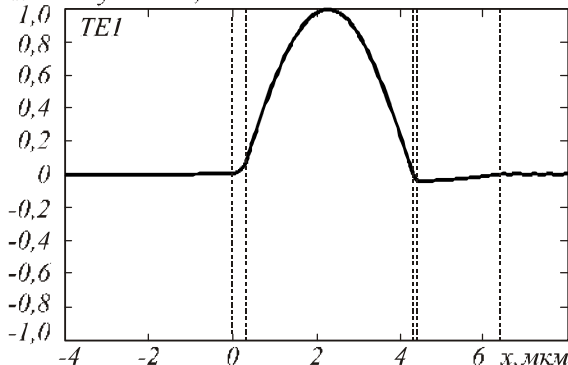


Рис. 4. Профиль моды TE_1 из табл. 1 структуры ARROW, представленной на рис. 3б

Заключение

В работе получены следующие результаты:

- в среде программирования Matlab-6.5 написана программа, реализующая TTR-метод расчёта констант распространения вытекающих мод многослойного планарного волновода; минимум функции двух переменных отыскивается методом спуска по координатам;

Амплитуда поля, отн.ед.

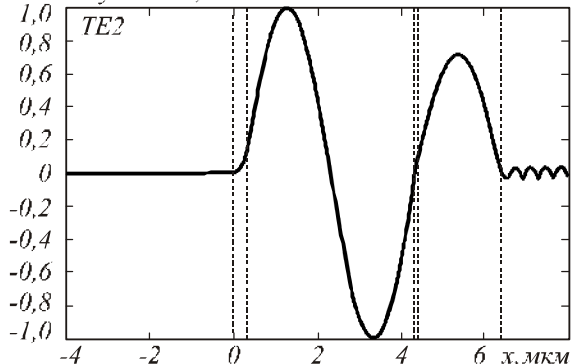


Рис. 5. Профиль моды TE_2 из табл. 1 структуры ARROW, представленной на рис. 3б

Амплитуда поля, отн.ед.

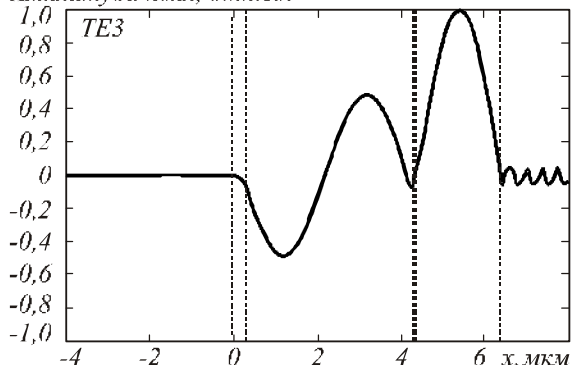


Рис. 6. Профиль моды TE_3 из табл. 1 структуры ARROW, представленной на рис. 3б

Амплитуда поля, отн.ед.

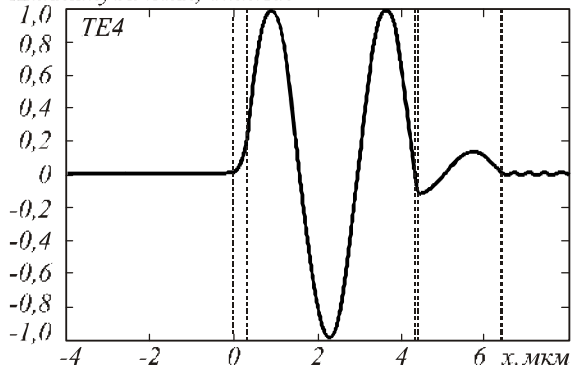


Рис. 7. Профиль моды TE_4 из табл. 1 структуры ARROW, представленной на рис. 3б

- проведено моделирование шестислойной антирезонансной отражающей структуры ARROW и рассчитаны комплексные константы распространения для 19 первых вытекающих мод; эти константы отличаются от полученных в [1] в третьем знаке после запятой (отклонение 10^{-2}) в реальной части;

- рассчитаны 7 первых вытекающих мод планарного шестислойного волновода ARROW и построены их нормированные профили; из этих 7 мод только фундаментальная мода (основная) распространяется без потерь и является каналируемой модой.

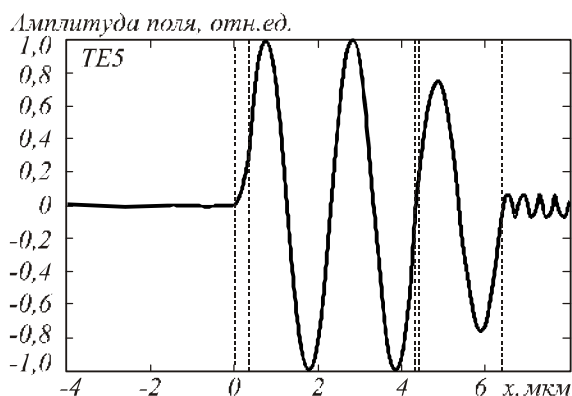


Рис. 8. Профиль моды TE_5 из табл. 1 структуры ARROW, представленной на рис. 3б

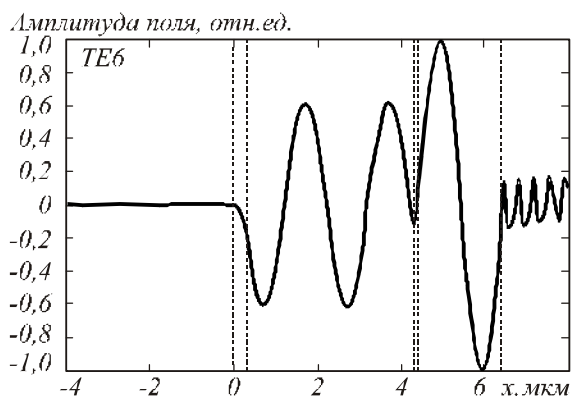


Рис. 9. Профиль моды TE_6 из табл. 1 структуры ARROW, представленной на рис. 3б

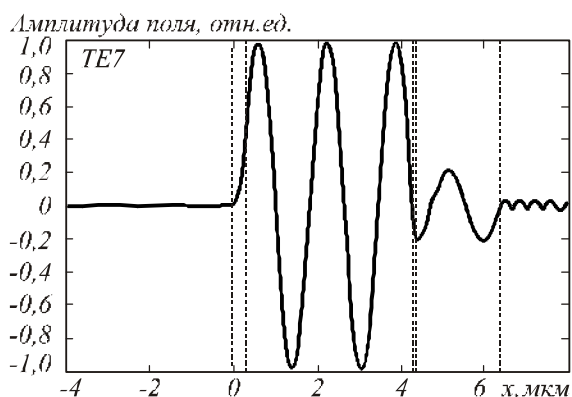


Рис. 10. Профиль моды TE_7 из табл. 1 структуры ARROW, представленной на рис. 3б

Благодарности

Работа выполнена при поддержке российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (грант CRDF PG08-014-1), гранта Президента РФ поддержки ведущих научных школ (НШ-7414.2010.9) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 г. (гос. Контракт № 14.740.11.0016).

Литература

1. **Lin, C.** Attenuation and mode profile determination of leaky/lossy modes in multilayer planar waveguides by a coupling simulation method / C. Lin, T. Gaylord // J. Appl. Opt. – 2009. – Vol. 19. – P. 3603-3613.
2. **Marcuvitz, N.** On field representations in terms of leaky modes or eigenmodes / N. Marcuvitz // IRE Trans. Antennas Propag. – 1956. – Vol. 4. – P. 192-194.
3. **Tamir, T.** Variety of leaky waves and their excitation along multilayered structures / T. Tamir, F.Y. Kou // J. Quantum Electron. – 1986. – Vol. 22. – P. 544-551.
4. **Anemogiannis, E.** Multilayer waveguide: efficient numerical analysis of general structures / E. Anemogiannis, E.N. Glytsis // J. Lightwave Technol. – 1992. – Vol. 10. – P. 1344-1351.
5. **Smith, R.E.** Leaky guiding in nontransparent waveguides / R.E. Smith, S.N. Houde-Walter // J. Opt. Soc. Am. A. – 1995. – Vol. 12. – P. 715-724.
6. **Anemogiannis, E.** Efficient solution of eigenvalue equations of optical waveguiding structures / E. Anemogiannis, E.N. Glytsis, T.K. Gaylord // J. Lightwave Technol. – 1994. – Vol. 12. – P. 2080-2084.
7. **Koshiba, M.** Finite-element solution of planar arbitrarily anisotropic diffused optical waveguide / M. Koshiba, H. Kumagami, M. Suzuki // J. Lightwave Technol. – 1985. – Vol. 3. – P. 773-778.
8. **Ghatak, A.K.** Numerical analysis of planar optical waveguides using matrix approach / A.K. Ghatak, K. Thyagarajan, M.R. Shenoy // J. Lightwave Technol. – 1987. – Vol. 5. – P. 660-667.
9. **Snyder, A.W.** Optical Waveguide Theory / A.W. Snyder, J.D. Love – Chapman, Hall, 1983.
10. **Ulrich, R.** Theory of prism-film coupler by plane-wave analysis / R. Ulrich // J. Opt. Soc. Am. – 1970. – Vol. 60. – P. 1337-1350.
11. **Azzam, R.M.** Ellipsometry and Polarized Light / R.M. Azzam, N.M. Bashara. – Elsevier, 1977.
12. **Калиткин, Н.Н.** Численные методы: учеб. пособие для вузов / Н.Н. Калиткин. – М.: Наука, 1978. – 512 с.
13. **Kersten, R.T.** The prism-film coupler as a precision instrument Part I. Accuracy and capabilities of prism coupler as instruments / R.T. Kersten // J. Opt. Acta. – 1975. – Vol. 22. – P. 503-513.
14. **Baba, T.** Dispersion and radiation loss characteristics of antiresonant reflecting optical waveguides —numerical results and analytical expressions / T. Baba, Y. Kokubun // IEEE J. Quant. Electron. – 1992. – Vol. 28. – P. 1689-1700.

References

1. **Lin, C.** Attenuation and mode profile determination of leaky/lossy modes in multilayer planar waveguides by a coupling simulation method / C. Lin, T. Gaylord // J. Appl. Opt. – 2009. – Vol. 19. – P. 3603-3613.
2. **Marcuvitz, N.** On field representations in terms of leaky modes or eigenmodes / N. Marcuvitz // IRE Trans. Antennas Propag. – 1956. – Vol. 4. – P. 192-194.
3. **Tamir, T.** Variety of leaky waves and their excitation along multilayered structures / T. Tamir, F.Y. Kou // J. Quantum Electron. – 1986. – Vol. 22. – P. 544-551.
4. **Anemogiannis, E.** Multilayer waveguide: efficient numerical analysis of general structures / E. Anemogiannis, E.N. Glytsis // J. Lightwave Technol. – 1992. – Vol. 10. – P. 1344-1351.

5. **Smith, R.E.** Leaky guiding in nontransparent waveguides / R.E. Smith, S.N. Houde-Walter // *J. Opt. Soc. Am. A.* – 1995. – Vol. 12. – P. 715-724.
6. **Anemogiannis, E.** Efficient solution of eigenvalue equations of optical waveguiding structures / E. Anemogiannis, E.N. Glytsis, T.K. Gaylord // *J. Lightwave Technol.* – 1994. – Vol. 12. – P. 2080-2084.
7. **Koshiba, M.** Finite-element solution of planar arbitrarily anisotropic diffused optical waveguide / M. Koshiba, H. Kumagami, M. Suzuki // *J. Lightwave Technol.* – 1985. – Vol. 3. – P. 773-778.
8. **Ghatak, A.K.** Numerical analysis of planar optical waveguides using matrix approach / A.K. Ghatak, K. Thyagarajan, M.R. Shenoy // *J. Lightwave Technol.* – 1987. – Vol. 5. – P. 660-667.
9. **Snyder, A.W.** *Optical Waveguide Theory* / A.W. Snyder, J.D. Love. – Chapman, Hall, 1983.
10. **Ulrich, R.** Theory of prism-film coupler by plane-wave analysis / R. Ulrich // *J. Opt. Soc. Am.* – 1970. – Vol. 60. – P. 1337-1350.
11. **Azzam, R.M.** *Ellipsometry and Polarized Light* / R.M. Azzam, N.M. Bashara. – Elsevier, 1977.
12. **Kalitkin, N.N.** Numerical methods: institute tutorial / N.N. Kalitkin – Moscow: “Science” Publisher, 1978. – 512 p. – (in Russian).
13. **Kersten, R.T.** The prism-film coupler as a precision instrument Part I. Accuracy and capabilities of prism coupler as instruments / R.T. Kersten // *J. Opt. Acta.* – 1975. – Vol. 22. – P. 503-513.
14. **Baba, T.** Dispersion and radiation loss characteristics of antiresonant reflecting optical waveguides —numerical results and analytical expressions / T. Baba, Y. Kokubun // *IEEE J. Quant. Electron.* – 1992. – Vol. 28. – P. 1689-1700.

SIMULATION OF WAVEGUIDE MODES IN MULTILAYER STRUCTURES

T. S. Strilets¹, V. V. Kotlyar², A.G. Nalimov^{1,2}

¹ *S.P. Korolyov Samara State Aerospace University,*

² *Image Processing Systems Institute of the RAS*

Abstract

In the present work, algorithm based on transverse transmission/reflection method (TTR) has been developed for calculation of propagation constants of leaky modes in multilayer planar structure. We present simulation results and give a comparison of the propagation constants of leaky modes in the ARROW structure obtained by this method with known constants from the literature. We also present the calculated profiles of some leaky modes.

Key words: multilayer structure, transverse transmission/reflection method, transfer matrix, propagation constant, mode profile.

Сведения об авторах



Стрилец Татьяна Сергеевна. Студент факультета информатики Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (СГАУ).

E-mail: tanstrl@inbox.ru

Tatyana Sergeevna Strilets. Computer science student of Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (SSAU).

Котляр Виктор Викторович, 1957 года рождения, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией лазерных измерений ИСОИ РАН и, по совместительству, профессор кафедры технической кибернетики Самарского государственного аэрокосмического университета (СГАУ). В 1979 году окончил физический факультет Куйбышевского государственного университета, в 1988 году защитил кандидатскую диссертацию в Саратовском государственном университете, а в 1992 году – докторскую диссертацию в Центральном конструкторском бюро Уникального приборостроения РАН (г. Москва). Область научных интересов: нанофотоника, дифракционная компьютерная оптика. Публикации: 300 научных трудов, 5 монографий, 7 авторских свидетельств.



E-mail: kotlyar@smr.ru

Victor Viktorovich Kotlyar is a head of Laboratory at the Image Processing Systems Institute (Samara) of the Russian Academy of Sciences and professor of Computer Science Department at Samara State Aerospace University. He received his MS, PhD and DrSc degrees in physics and mathematics from Samara State University (1979), Saratov State University (1988) and Moscow Central Design Institute of Unique Instrumentation, the Russian Academy of Sciences (1992). He is co-author of 300 scientific papers, 5 books and 7 inventions. His current interests are diffractive optics, gradient optics, nanophotonics, optical vortices.



Налимов Антон Геннадьевич, 1980 года рождения, окончил Самарский государственный аэрокосмический университет в феврале 2003 года по специальности «Физика». Поступил в очную аспирантуру СГАУ по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» в 2003 году, окончил её по специальности 01.04.05 «Оптика» в 2006 году. Работает на кафедре технической кибернетики СГАУ в должности ассистента, в Институте систем обработки изображений РАН в должности научного сотрудника. Кандидат физико-математических наук, соавтор 39 работ.

E-mail: anton@smr.ru

Anton Gennadyevich Nalimov (b. 1980), finished Samara State Aerospace University in February, 2003. Entered in postgraduate study in 2003 on speciality 05.13.18 "Mathematical modeling and program complexes", finished it in 2006 with speciality 01.04.05 "Optics". Nalimov A.G. works on technical cybernetics department in SSAU as an assistant, works as a scientist in Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences. Candidate in physics and mathematics, co-author of 39 papers.

Поступила в редакцию 17 сентября 2010 г.