

Подавление паразитного рассеяния при прохождении поверхностного плазмон-поляритона через прямоугольную ступеньку

Е.А. Безус^{1,2}, Е.А. Кадомина¹, Л.Л. Досколович^{1,2}

¹Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

Аннотация

В настоящей работе исследуется «паразитное» рассеяние поверхностного плазмон-поляритона (ППП) при прохождении его через прямоугольную ступеньку, расположенную на поверхности металла. Предложен метод, позволяющий полностью устранить потери на «паразитное» рассеяние, основанный на наклонном падении ППП при углах, превышающих некоторый «критический» угол.

Ключевые слова

Поверхностный плазмон-поляритон, плазмоника, подавление рассеяния, нанофотоника

1. Введение

Плазмоника, исследующая поверхностные плазмон-поляритоны (ППП) — поверхностные электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль границ раздела металла и диэлектрика, является одним из перспективных направлений нанофотоники. Для управления распространением ППП актуальна разработка различных оптических элементов, в частности, диэлектрических призм [1], линз [2] и зеркал [3]. Основными недостатками плазмонных структур являются потери на поглощение в металле и потери на «паразитное» рассеяние, возникающие на границах оптических элементов.

В настоящей работе исследуется паразитное рассеяние ППП при прохождении через прямоугольную ступеньку на поверхности металла. Предложен метод подавления паразитного рассеяния, аналогичный методу подавления рассеяния в диэлектрических плоскопараллельных волноводах [4]. Предложенный метод позволяет полностью устранить паразитное рассеяние при углах падения ППП, превышающих некоторый «критический» угол.

2. Геометрия задачи и результаты численного моделирования

Геометрия задачи показана на рисунке 1. На поверхности металла с диэлектрической проницаемостью ϵ_m расположена ступенька высотой h , через которую ППП проходит «сверху вниз». Над структурой находится среда с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{sup}=1$ (воздух).

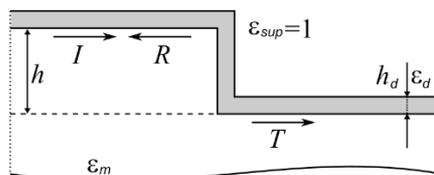


Рисунок 1: Геометрия задачи дифракции ППП на ступеньке

Аналогично работе [4], в которой была рассмотрена похожая структура для мод плоскопараллельного диэлектрического волновода, «критический» угол падения, при превышении которого устраняется рассеяние в воздух, можно рассчитать по формуле $\theta_{\text{sup}} = \arcsin\left(\sqrt{\varepsilon_{\text{sup}}/n_{\text{eff,ППП}}}\right)$, где $n_{\text{eff,ППП}}$ – эффективный показатель преломления ППП. На границе металл/воздух эффективный показатель преломления ППП близок к единице, следовательно, критический угол будет близок к 90° , что фактически делает невозможным практическое использование этого эффекта. Величину эффективного показателя преломления ППП можно увеличить, если на металл нанести слой диэлектрика с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_d > \varepsilon_{\text{sup}}$ и толщиной h_d (рисунок 1).

Рассмотрим пример прохождения ППП через ступеньку со следующими параметрами: длина волны в свободном пространстве $\lambda = 1550$ нм, $\varepsilon_m = -115,11$ (золото «без потерь»), $\varepsilon_d = 2,085$ (диоксид кремния), $h_d = 250$ нм, $h = 1250$ нм. В этом случае эффективный показатель преломления ППП равен $n_{\text{eff,ППП}} = 1,2027$, а «критический» угол составляет $\theta_{\text{sup}} = 56,25^\circ$. На рисунке 2 приведены графики, показывающие полное подавление паразитного рассеяния ППП при углах падения $\theta > \theta_{\text{sup}}$. Моделирование дифракции ППП на ступеньке проводилось в рамках строгой электромагнитной теории дифракции с помощью собственного программного обеспечения, реализующего метод фурье-мод (англ. Fourier modal method), адаптированный для задач интегральной оптики [5].

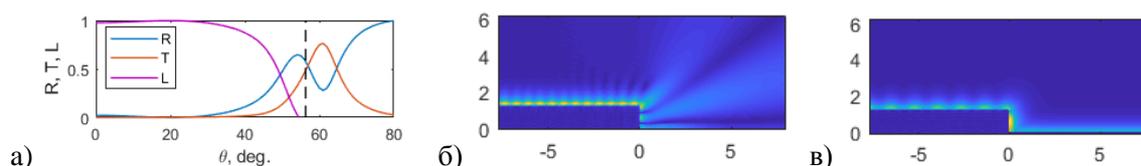


Рисунок 2: Прохождение ППП через ступеньку «сверху вниз». Зависимости коэффициентов отражения (R), пропускания (T) и потерь (L) от угла падения, вертикальной штриховой линией отмечен «критический» угол (а). Поле в структуре для двух значений $\theta = 0^\circ$ (б) и $\theta = 60^\circ$ (в)

3. Заключение

В работе исследован механизм подавления паразитного рассеяния при прохождении ППП через металлическую ступеньку. Показано, что при превышении некоторого «критического» угла падения потери на паразитное рассеяние могут быть полностью устранены. Полученный результат может найти применение при создании новых интегральных структур плазмоники.

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-19-00514; исследование дифракции ППП на ступеньке) и Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по гос. заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (соглашение № 007-ГЗ/Ч3363/26; реализация моделирующего программного обеспечения).

5. Литература

- [1] Griesing, S. Refractive and reflective behavior of polymer prisms used for surface plasmon guidance / S. Griesing, A. Englisch, U. Hartmann // Opt. Lett. – 2008. – Vol. 33(6). – P. 575-577.
- [2] Hohenau, A. Dielectric optical elements for surface plasmons / A. Hohenau, J. R. Krenn, A. L. Stepanov, A. Drezet, H. Ditlbacher, B. Steinberger, A. Leitner, F. R. Aussenegg // Opt. Lett. – 2005. – Vol. 30(8). – P. 893-895.

- [3] González, M.U. Analysis of the angular acceptance of surface plasmon Bragg mirrors/ M.U. González, A.L. Stepanov, J.C. Weeber, A. Hohenau, A. Dereux, R. Quidant, J.R. Krenn // *Opt. Lett.* – 2007. – Vol. 32(18). – P. 2704-2706.
- [4] Hammer, M. How planar optical waves can be made to climb dielectric steps / M. Hammer, A. Hildebrandt, J. Forstner // *Opt. Lett.* – 2015. – Vol. 40(16). – P. 3711-3714.
- [5] Silberstein, E. Use of grating theories in integrated optics/ E. Silberstein, P. Lalanne, J.P. Hugonin, Q. Cao // *J. Opt. Soc. Am. A.* – 2001. – Vol. 18(11). – P. 2865-2875.