

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОННЫЕ МОДЫ МИКРОДИСКОВЫХ РЕЗОНАТОРОВ С ОПТИЧЕСКИ ЛИНЕЙНЫМИ И НЕЛИНЕЙНЫМИ (КЕРРОВСКИМИ) СРЕДАМИ

А. В. Науменко, Н. А. Лойко, В. В. Кабанов

Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск

E-mail: anaum@dragon.bas-net.by

В работе выполнен теоретический анализ гибридных поверхностных плазмон-поляритонных мод шепчущей галереи (ППП-МШГ) в микро-дисковом резонаторе (МДР) с металлизированными элементами. Рассмотрено несколько геометрий таких резонаторов: МДР с металлизированным покрытием, МДР с металлизированной сердцевинной, МДР с металлизированной оболочкой; а также, для сравнения, традиционные МДР. Подобные гибридные структуры, содержащие металлические интерфейсы, поддерживают распространение PPP волн, что позволяет локализовать оптические поля вблизи границы металл-полупроводник [1] и, как следствие, конструировать субволновые оптические резонаторы высокой добротности [2]. Нами определены свойства собственных PPP-МШГ. Выполнено исследование модуляционного отклика МДР на инжекционный сигнал оптической частоты, приводящий к возбуждению вынужденных PPP-МШГ. Вынужденные моды рассмотрены как для случая линейной среды резонатора / металлизированного элемента, так и при наличии оптической нелинейности (мгновенная нелинейность Керра). Проанализированы характеристики собственных нелинейных поверхностных волн [3], возникающих в исследуемых МДР.

Численное решение уравнений Максвелла в указанных геометриях выполнено методом конечных разностей [4]. При исследовании модуляционного отклика, инжекционный сигнал моделировался источником гармонического тока оптической частоты. Аналитическое рассмотрение дисперсионных соотношений 3D гибридных структур проведено с использованием приближения эффективного показателя преломления, в котором показатель преломления, определяющий распространение PPP в плоскости интерфейса металл-полупроводник, брался как эффективный показатель дисперсионных соотношений бесселевых МШГ традиционного 2D МДР. Чтобы учесть влияние конечной толщины металлического слоя, использовался эффективный показатель PPP многослойной структуры.

Проанализирован модовый состав МДР: определены добротности собственных мод (как общая, так и связанная только с радиационными потерями или потерями на поглощение в металле), частоты, простран-

ственно-временные профили, степень локализации и пороговые усиления активного слоя. Найдена зависимость этих характеристик от азимутального (радиального) индекса моды, плазменной частоты металлизированного слоя и геометрических размеров резонатора (в том числе толщин металлического и полупроводникового слоёв). Из-за конкуренции радиационных потерь и потерь на поглощение в металле, зависимость полной добротности от азимутального индекса (или от плазменной частоты) может содержать максимум, что приводит к возможности селекции мод с низкими значениями азимутального индекса. При определённых толщинах слоёв аналогичный экстремум добротности можно наблюдать и по радиальному индексу. Результаты аналитического рассмотрения на основе эффективного показателя преломления хорошо согласуются с результатами численного моделирования.

При исследовании модуляционного отклика МДР определялись резонансные кривые: амплитуда вынужденных ППП-МШГ и их пространственные профили в зависимости от частоты (и амплитуды в случае нелинейной среды) инжекционного сигнала. Включение нелинейности среды приводило к сдвигу максимумов резонансных кривых от частоты собственных ППП-МШГ и к модификации формы этих кривых. Вычислялись эффективный радиус вынужденных МШГ и их объём. Обнаружены нестационарные режимы – низкочастотная самомодуляция. Также исследованы резонансные свойства МДР вблизи плазменной частоты металлизированного элемента. Здесь, в случае линейных сред при совпадении плазменной частоты с частотой моды резонатора добротность моды достигала максимального значения. При учёте нелинейности материала наблюдалось возбуждение объёмных плазмон-поляритонных волн, осуществляющих дискретный перенос радиационной энергии из МДР.

Для получения характеристик собственных нелинейных поверхностных мод в МДР наряду с аналитическими решениями, соответствующими аналогичным нелинейным волнам на плоской границе [3] и приближением эффективного показателя преломления использовались прямые (приближённые и/или численные) методы оценки профиля моды вблизи круговой границы.

1. Barnes W. L., A. Dereux A., Ebbesen T. W. // *Nature* (London) 2003. V. 424, P. 824; Min B.K., et al // *Nature* (London) 2009. V. 457, P. 455; Hill M.T., et al // *Nat. Photonics* 2007. V. 1, P. 589
2. Perahia R., et al // *Appl Phys Letters* 2009. V. 95, P. 201114; Kim M.W., et al // *Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 2009. V. 15, P. 4452.
3. Михалаке Д., Назмитдинов Р. Г., Федянин В. К. // *Физика элементарных частиц и атомного ядра* 1989. Т. 20, С. 198.
4. <http://ab-initio.mit.edu/wiki/index.php/Meep>