

# Антипересечение поверхностных плазмон-поляритонов и вибрационных мод в слоистых плазмонных структурах

Р.А. Павелкин<sup>1</sup>, Д.В. Нестеренко<sup>1,2</sup>, В.А. Сойфер<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

<sup>2</sup>Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

## Аннотация

В данной работе изучается отклик системы, поддерживающей распространение поверхностных плазмон-поляритонов и возбуждение вибрационных мод молекул воды и представляющей собой планарную структуру в конфигурации Кречмана на основе одного металлического слоя. Исследуется эффект антипересечения в частотных и пространственных спектрах отражательной способности такой структуры. Результаты данной работы являются основой для дальнейшего изучения связи поверхностных плазмон-поляритонов и вибрационных мод молекул жидкой среды в планарной структуре.

## Ключевые слова

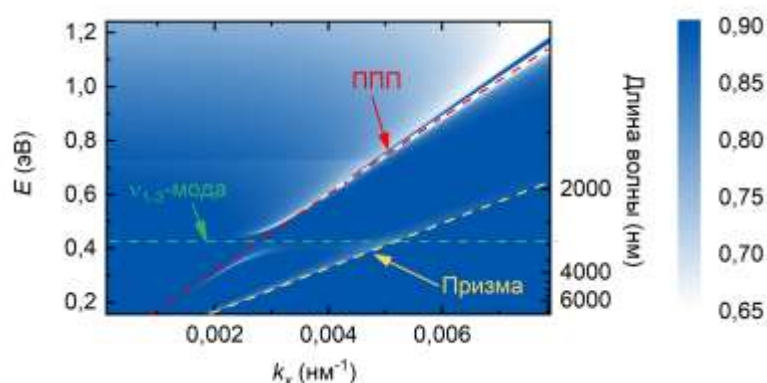
Плазмоника, металло-диэлектрические структуры, антипересечение, связные моды

## 1. Введение

Резонансные металло-диэлектрические планарные структуры, допускающие возбуждение поверхностных плазмон-поляритонов (ППП), нашли множественные применения в устройствах фотоники. Была продемонстрирована связь между ППП и вибрационными модами молекул в твердых и газовых средах [1]. Связь вибрационных мод молекул и ППП обеспечивает усиление флуоресценции молекул, реализацию стимулированного излучения электромагнитного (ЭМ) поля, модификацию химических потенциалов веществ и управление скоростями химических реакций. Это обуславливает интерес к изучению явления связи ППП с вибрационными модами молекул, проводились многочисленные теоретические и экспериментальные исследования такой связи. В данной работе исследуется спектральный отклик планарных структур в конфигурации Кречмана в инфракрасном диапазоне, в котором находятся частоты вибрационных мод воды.

## 2. Результаты и их обсуждение

В работе проводится расчет спектров нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) трехслойной структуры аналогичной исследованной в [2] в рамках строгой ЭМ теории с использованием метода передаточных матриц [3]. Отражательная способность структуры представлена на Рисунке 1 как функция энергии  $p$  - поляризованного излучения и величины проекции волнового вектора на ось  $x$ , параллельную границам раздела слоев. Показатели преломления слоев структуры были выбраны равными значениям показателя преломления селенида цинка (ZnSe), золота (Au) и воды. Расчеты производились при фиксированной толщине Au равной 21 нм в спектральном диапазоне от 1000 до 8000 нм. Вибрационная мода симметричного и асимметричного растяжения ОН связей ( $\nu_{1-3}$ -мода) молекулы воды возбуждается на длине волны 2950 нм (0,42 эВ) [4]. Для этой энергии наблюдается антипересечение дисперсионных кривых ППП и  $\nu_{1-3}$ -моды структуры ZnSe-Au-вода в области  $k_x = 0,0029 \text{ нм}^{-1}$ . Антипересечение вызвано связью ППП и  $\nu_{1-3}$ -моды. Величина расщепления Раби составляет около 0,1 эВ. Сопоставимая величина энергии расщепления Раби измерялась при изучении взаимодействия света с экситонами в твердых средах, в частности, в неорганических полупроводниках при криогенных температурах и в органических полупроводниковых материалах [1].



**Рисунок 1:** Спектр НПВО структуры ZnSe-Au-вода. Пунктирными линиями отмечены дисперсионные кривые несвязанных ППП (красная) и  $v_{1,3}$ -моды (зеленая), световая линия ZnSe (желтая)

### 3. Заключение

В работе получена оценка величины энергии расщепления Раби, свидетельствующей о сильной связи между ППП и вибрационной модой молекулы воды. Данный эффект может найти применение для характеристики процессов, происходящих в водной среде, для исследования изменения материальных характеристик жидкости при изменении термодинамических параметров среды, а также для контроля скорости химических реакций. Исследование эффекта антипересечения и связи между вибрационными модами и ППП представляет также значительный интерес для описания взаимодействий света и вещества.

### 4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (соглашение № 007-ГЗ/Ч3363/26) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант 18-29-20006).

### 5. Литература

- [1] Törmä, P. Strong coupling between surface plasmon polaritons and emitters: a review / P. Törmä, W.L. Barnes // *Reports on Progress in Physics*. – 2014. – Vol. 78(1). – P. 013901.
- [2] Nesterenko, D.V. Estimation of resonance characteristics of single-layer surface-plasmon sensors in liquid solutions using Fano's approximation in the visible and infrared regions / D.V. Nesterenko, R.A. Pavelkin, S. Hayashi // *Computer Optics*. – 2019. – Vol. 43(4). – P. 596-604. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-4-596-604.
- [3] Katsidis, C.C. General transfer-matrix method for optical multilayer systems with coherent, partially coherent, and incoherent interference / C.C. Katsidis, D.I. Siapkas // *Appl. Opt.* – 2002. – Vol. 41(19). – P. 3978-3987.
- [4] Stomp, M. Colorful niches of phototrophic microorganisms shaped by vibrations of the water molecule / M. Stomp, J. Huisman, L.J. Stal, H. Matthijs // *The ISME journal*. – 2007. – Vol. 1(4). – P. 271-282.