УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ С ПОМОЩЬЮ ВНЕШНИХ ПОЛЕЙ

Скачков Сергей Сергеевич

Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского

Физико-технический институт

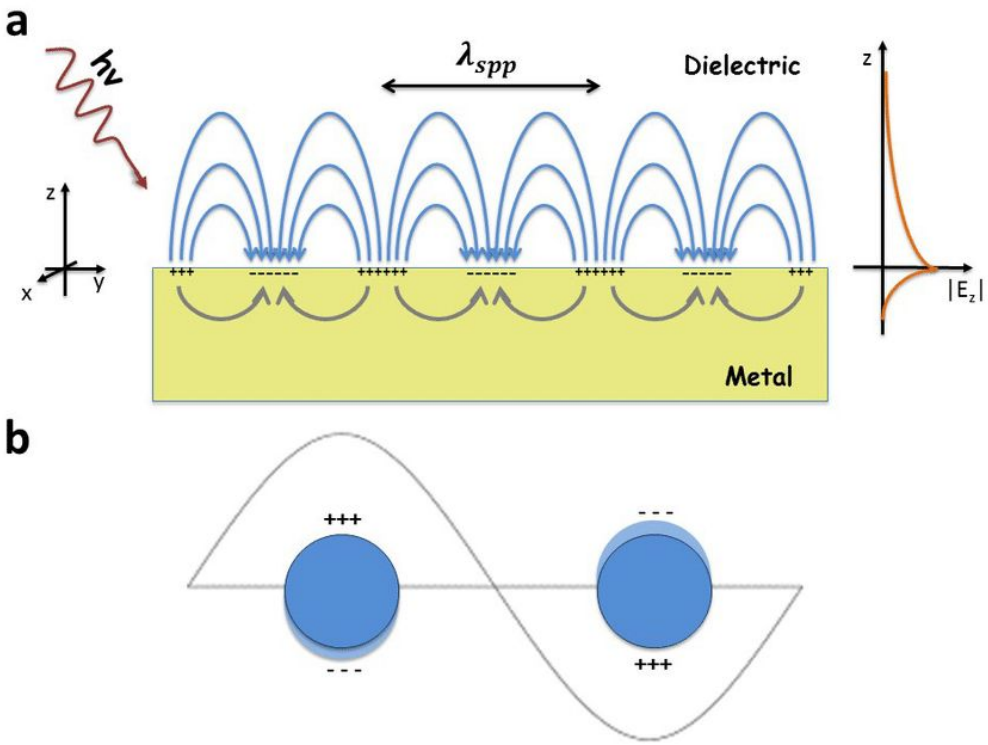
Кафедра экспериментальной физики

Научный руководитель
Дзедолик Игорь Викторович,
профессор, д. ф.-м. н.

Введение

Цель работы: компьютерное моделирование наноразмерных плазмонных устройств, принцип действия которых основан на управлении потоком поверхностных плазмон-поляритонов

Поверхностные плазмон-поляритоны (ППП) генерируются в результате взаимодействия фотонов, фононов и плазмонов при распространении электромагнитной волны вдоль границы раздела диэлектрической среды и металла



Граничные условия для ППП для ТМ-моды

$$H_{y2} = H_{y1} \qquad E_{z2} = E_{z1} \qquad \Rightarrow -\frac{\alpha_2}{\varepsilon_2} = \frac{\alpha_1}{\varepsilon_1}$$

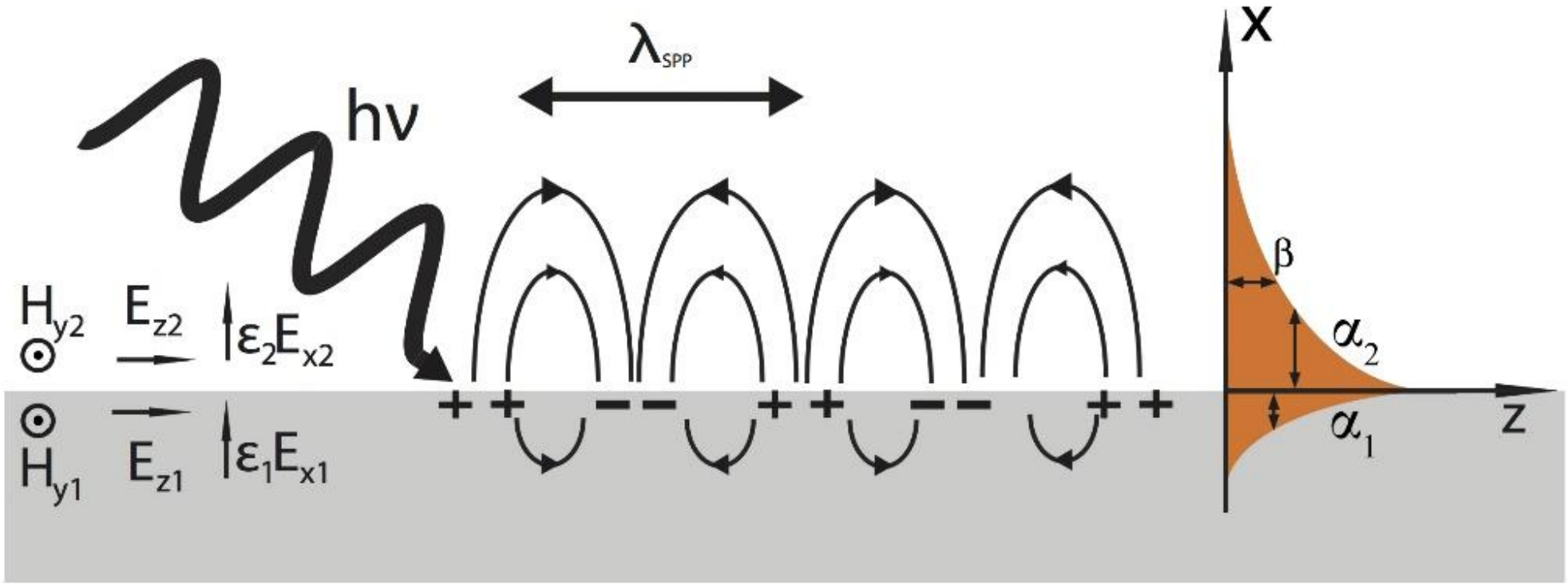
β – волновой вектор ППП

α_1 – коэффициент затухания в среде 1

α_2 – коэффициент затухания в среде 2

Длина волны и постоянная распространения ППП:

$$\lambda_{SPP} = \frac{2\pi c}{\omega\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \qquad \beta = \frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon_{eff}} \qquad \varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_2\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}$$



Условия возбуждения ППП

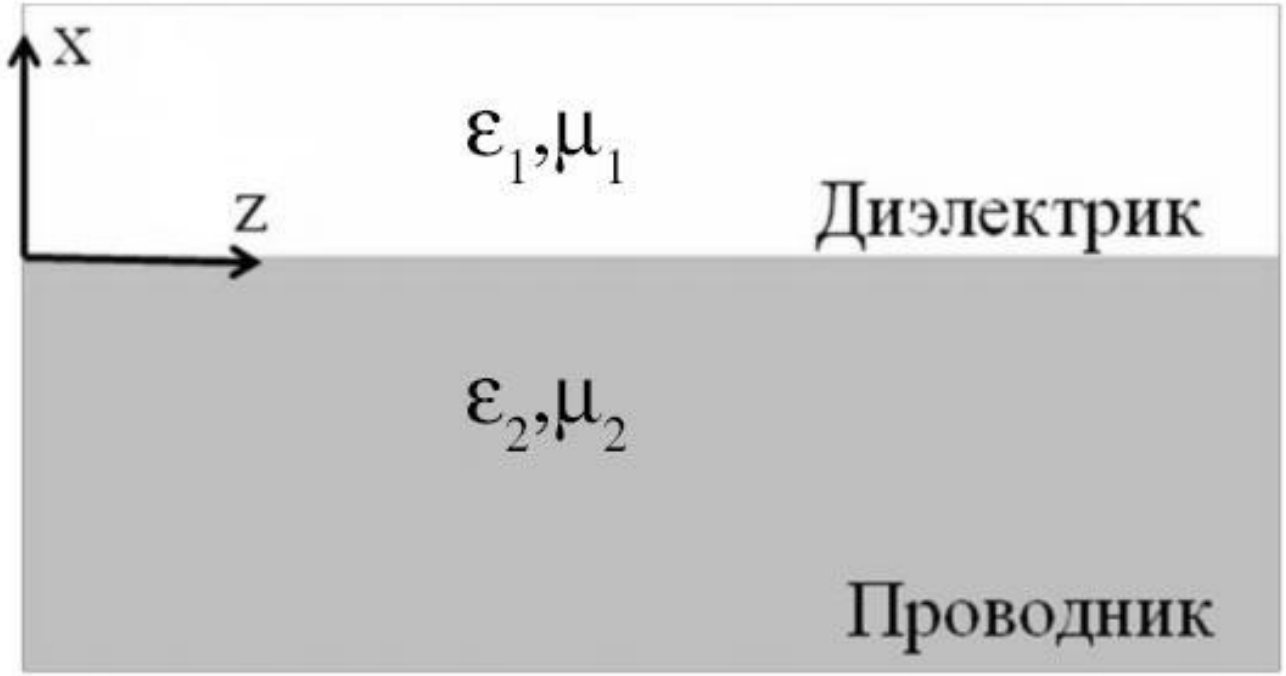
$\varepsilon_1(\omega) = \varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1$ - диэлектрическая проницаемость металла

ε_2 - диэлектрическая проницаемость диэлектрика

1) Действительная часть $\varepsilon_1(\omega)$ должна быть отрицательной $\Rightarrow \varepsilon'_1 < 0$

2) ε'_1 по модулю должна быть больше чем ε_2 $\Rightarrow |\varepsilon'_1| > \varepsilon_2$

$$\beta = \frac{\omega}{c}\sqrt{\frac{\varepsilon_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}}$$



$\mu_1 = \mu_2 = 1$

Распределение потока плотности энергии в системе металл-диэлектрик

Плазмонная волна экспоненциально затухает в металле и в диэлектрике вдоль нормальной оси к границе раздела

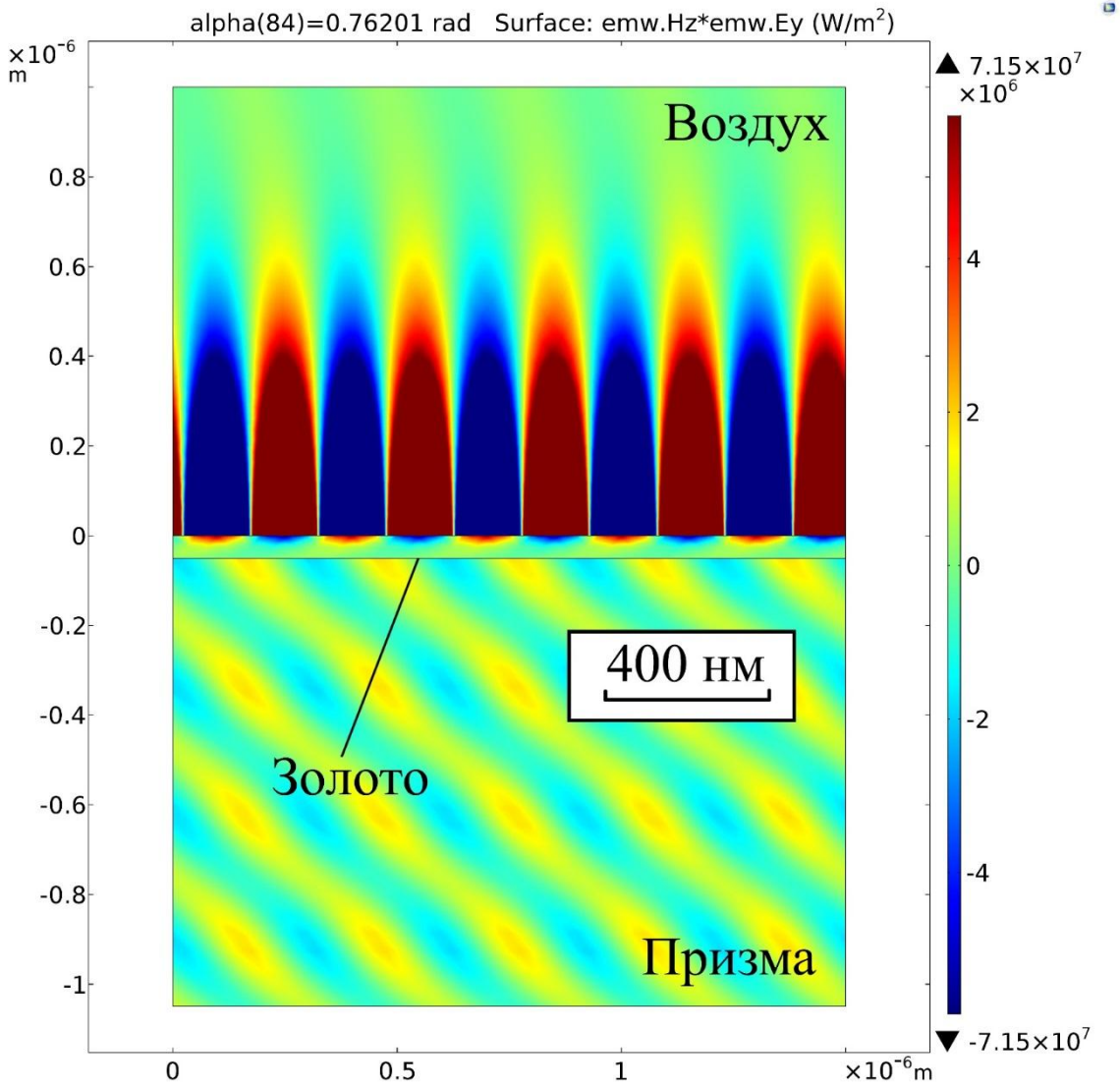
$$\lambda_0 = 633 нм$$

$$\varepsilon_{air} = 1$$

$$Re(\varepsilon_{Au}) = -11.6$$

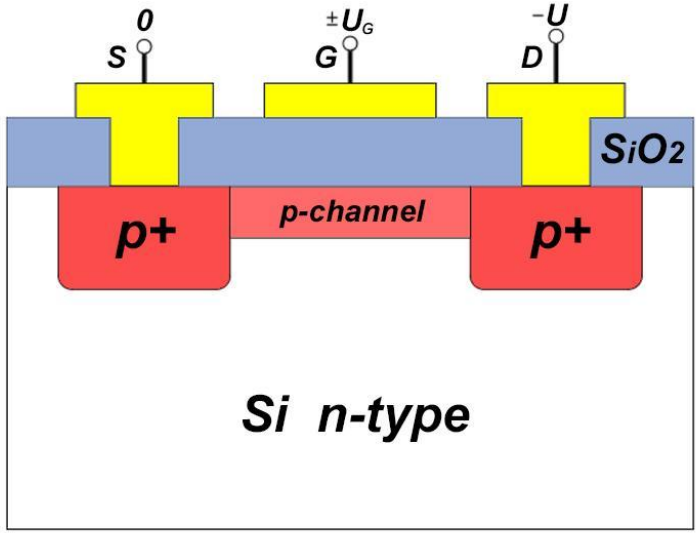
Постоянная распространения ППП на поверхности полоскового волновода

$$\beta = k_0 \left(\varepsilon_{Air} \frac{\varepsilon_{Au} - \varepsilon_{Air}}{\varepsilon_{Au} + \varepsilon_{Air}} \right)^{1/2}$$

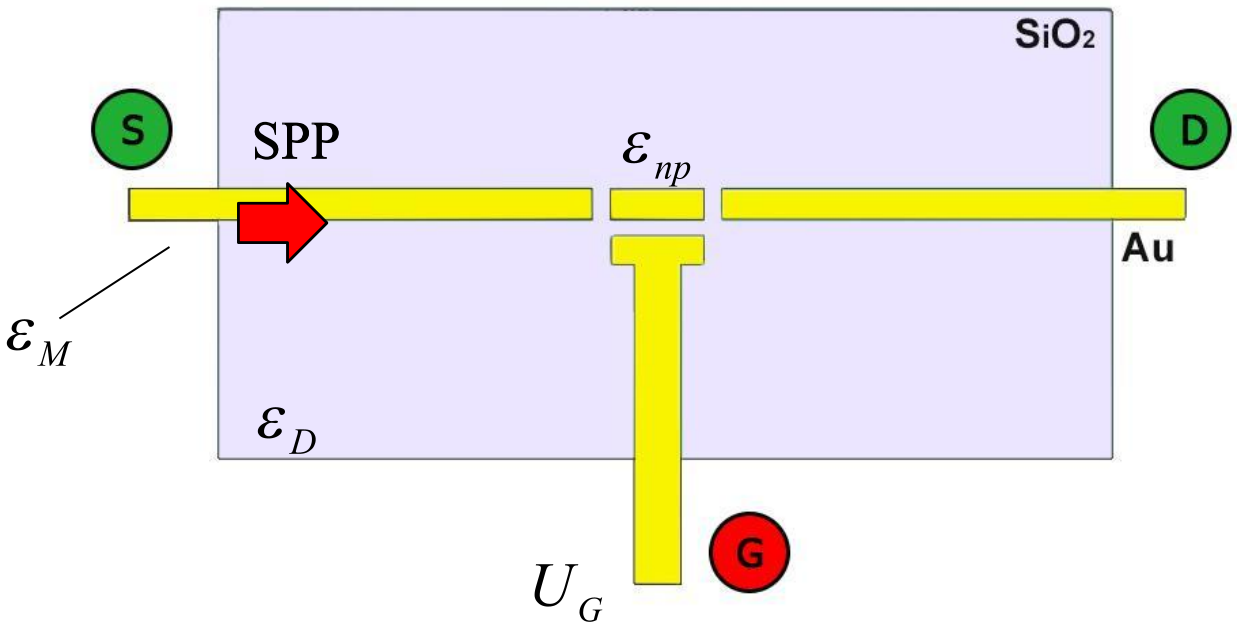


Плазмонный полевой транзистор, действующий по принципу полупроводникового полевого транзистора со встроенным каналом

(а)

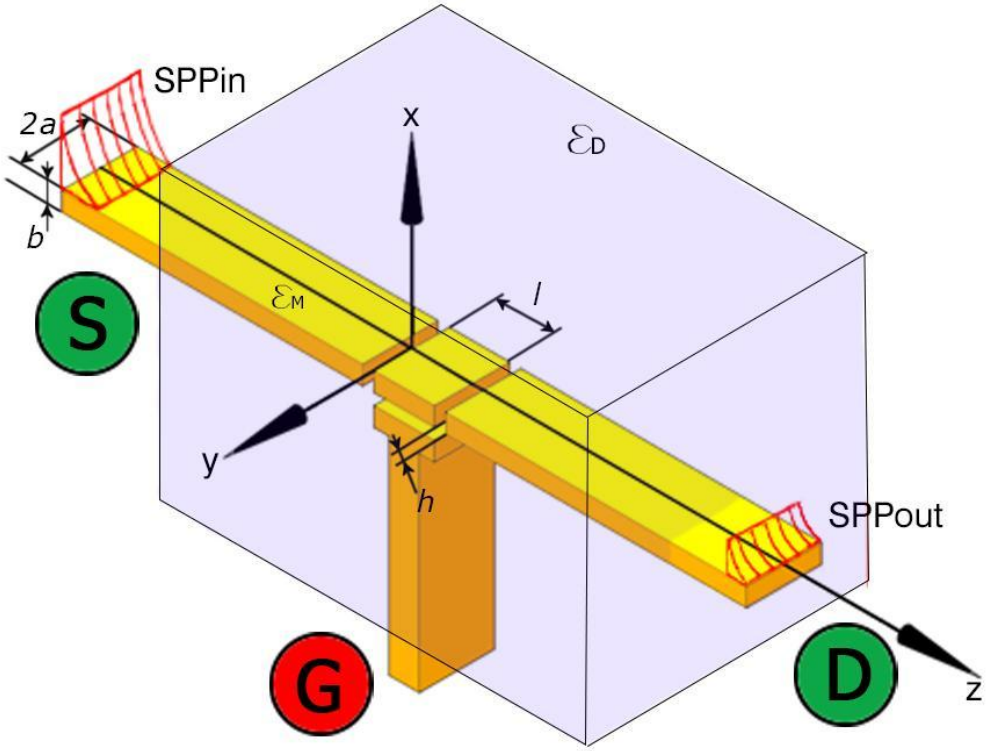


(б)



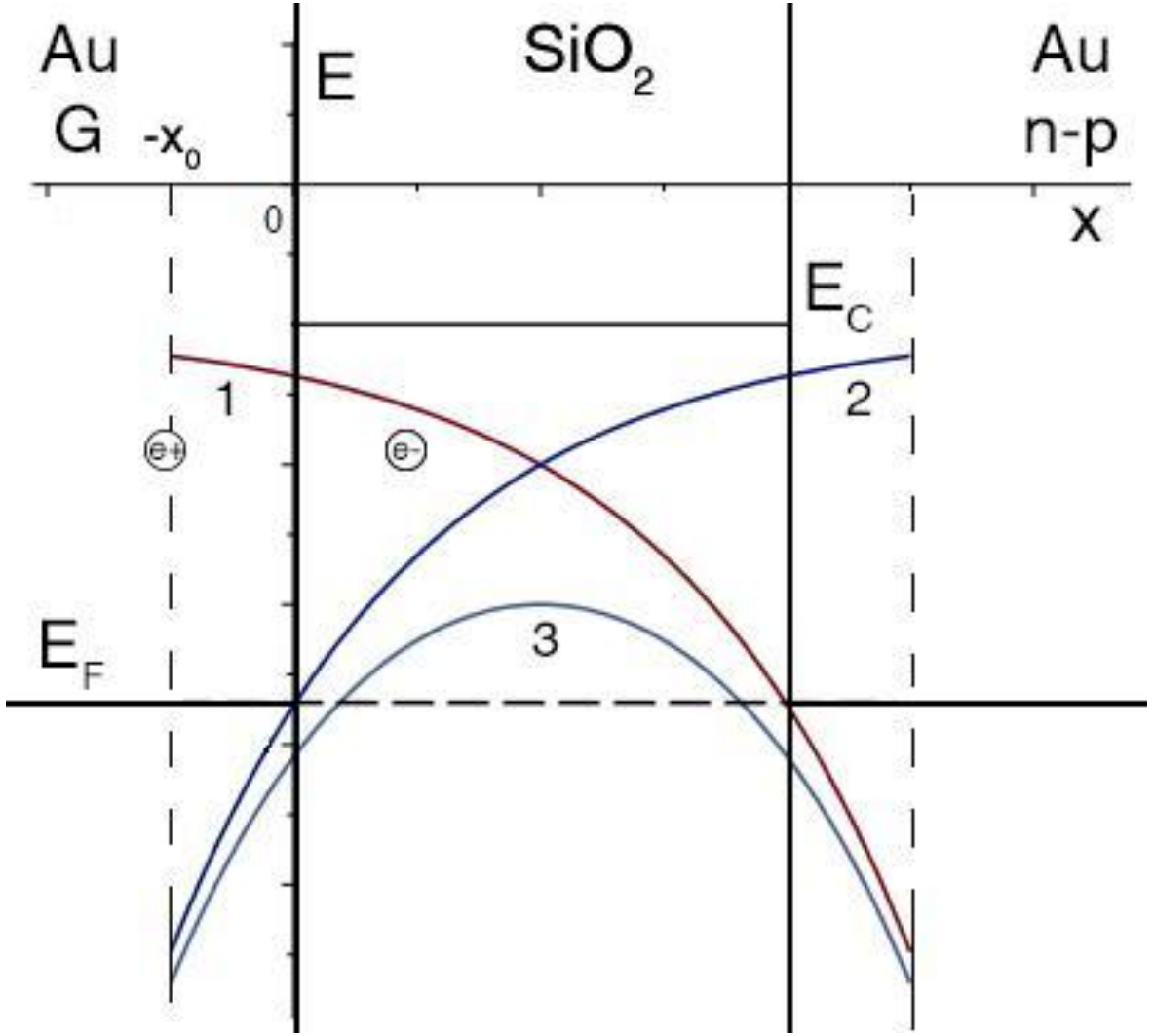
Полевой транзистор со встроенным каналом (а);
Металлический полосковый волновод (вид в разрезе) (б).
Роль тока в плазмонном полевом транзисторе (ППТ) выполняет поток ППП.
ε_{np} – диэлектрическая проницаемость нано-пластины.

Модель плазмонного полевого транзистора



Металлический полосковый волновод длиной L, шириной 2a, толщиной b, встроенный в диэлектрик. Нано-пластинка имеет ширину l. Затвор G с плоским торцом расположен на расстоянии h под нижней поверхностью нано-пластинки, от которой он изолирован тонким слоем диэлектрика.

Энергетические уровни в системе $Au/SiO_2/Au$

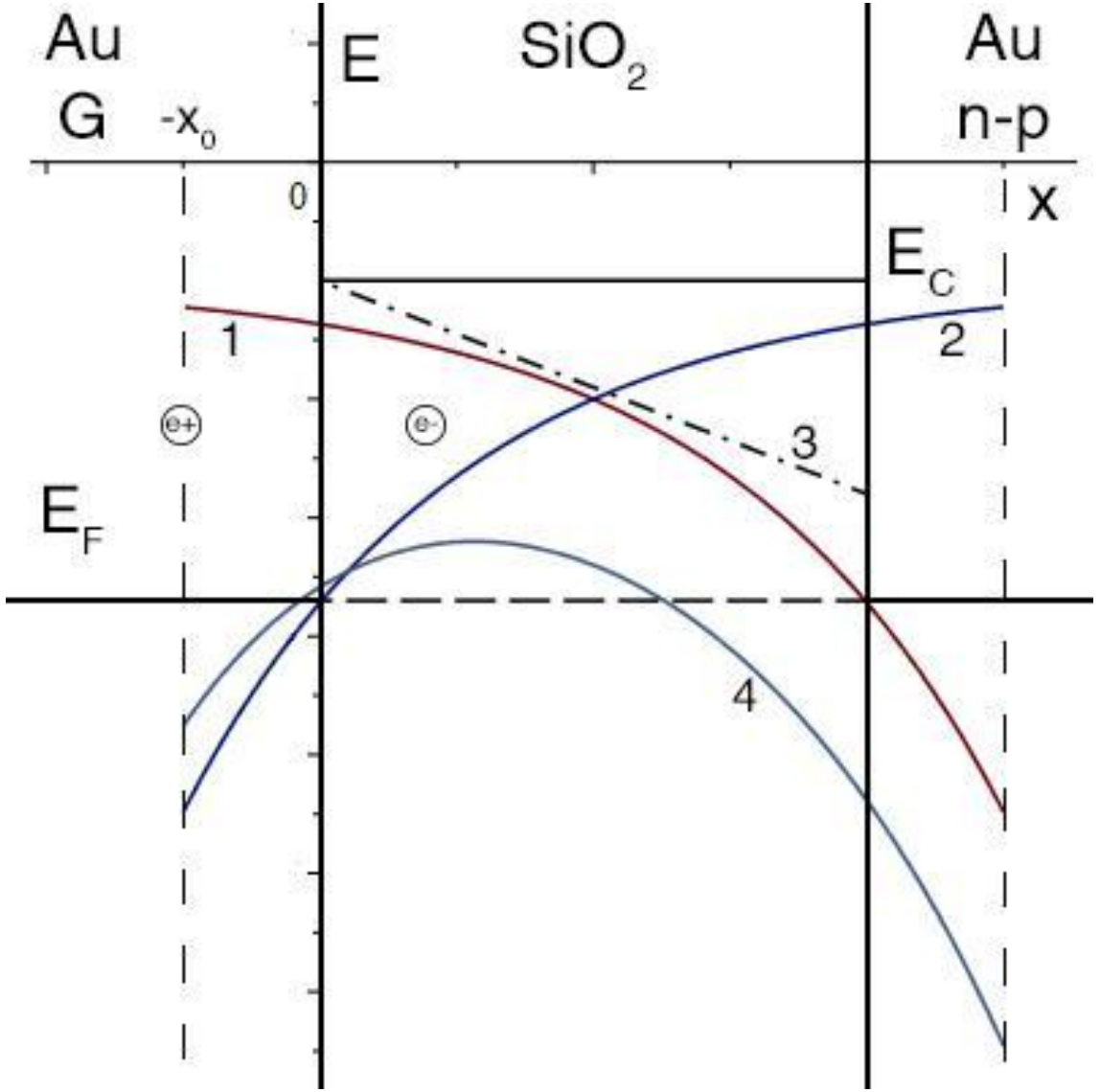


E_F – уровень Ферми Au (5.1 эВ)
E_C – уровень ферми SiO_2 (~8 эВ).

G – gate (затвор)
n-p – nano-plate (нано-пластинка)

1 – потенциальная кривая электронов с n-p
2 – потенциальная кривая электронов с G
3 – потенциальный барьер при суперпозиции потенциалов 1 и 2

Энергетические уровни в системе $Au/SiO_2/Au$ с включённым полем на затворе



E_F – уровень Ферми Au (5.1 эВ)
E_C – уровень Ферми SiO_2 (~8 эВ).

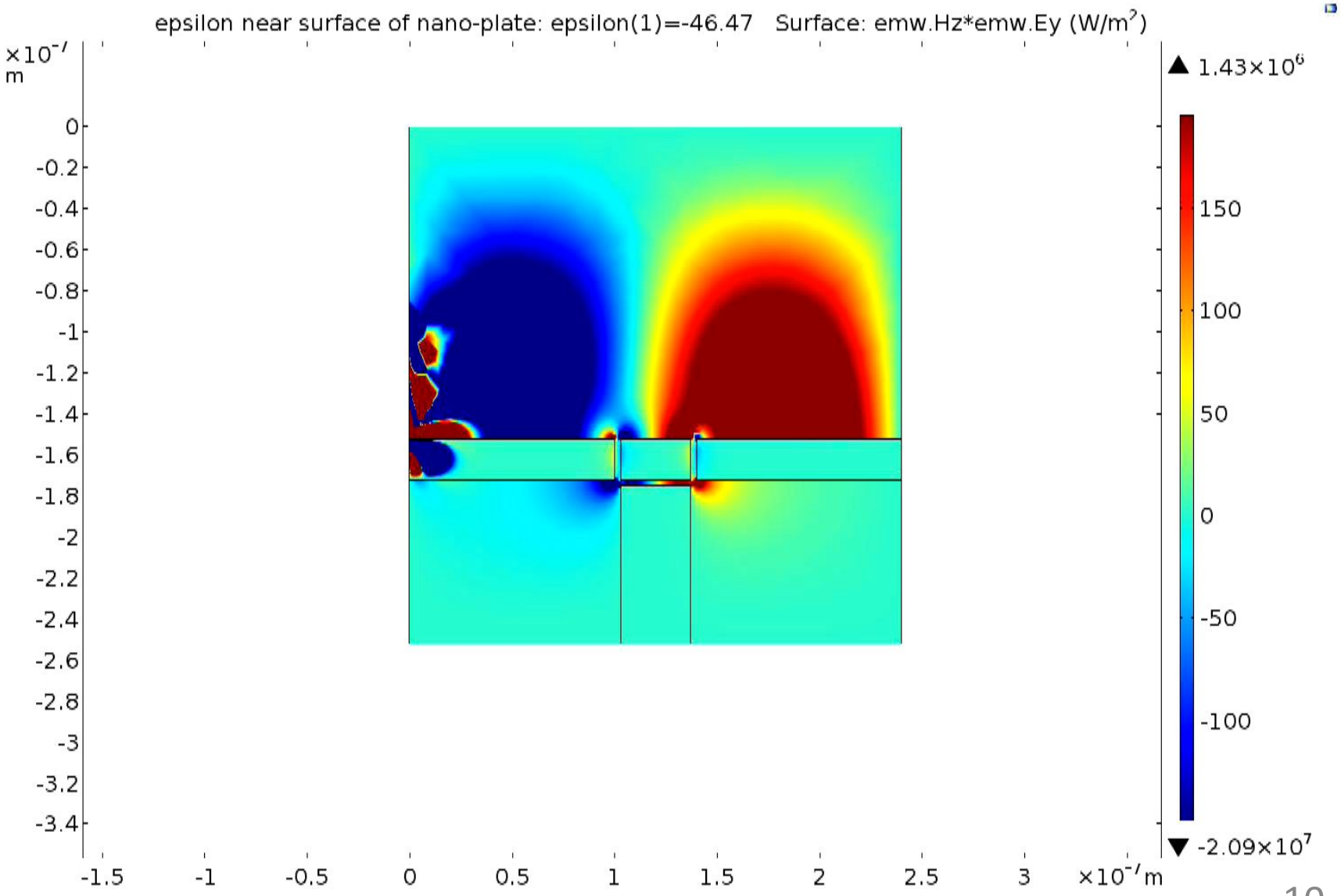
1 – потенциальная кривая электронов с n-p.
2 – потенциальная кривая электронов с G.
3 – потенциал образованный при включении поля на G.
4 – потенциальный барьер при суперпозиции потенциалов 1, 2 и 3.

Влияние управляющего поля на вектор Пойнтинга

$$\lambda_0 = 1.06\,\mu m$$

$$\varepsilon_M = -46.47 + i\,3.60$$

$$\varepsilon_D = 2.10$$



Выводы

Аналитический анализ и компьютерное моделирование позволяют сделать следующие выводы:

- ППП на границе раздела металл-диэлектрик могут существовать только в области частот, в которой диэлектрическая проницаемость одной из сред отрицательна.
- Плазмонная волна является сильно локализованной вблизи границы раздела сред. Пространственная локализация ППП является основой для применений в наноразмерных структурах.
- Диэлектрическую проницаемость металло-диэлектрической наноструктуры можно локально менять изменяя амплитуду ППП-сигнала, подаваемого на управляющий электрод ППТ. При этом можно модулировать плотность потока энергии ППП, распространяющегося по поверхности плазмонного полоскового волновода.
- Способ управления ППП-сигналами с помощью внешних полей является весьма эффективным для применения в наноплазмонных устройствах .
- На основе управления ППП-сигналами может быть реализован ППТ с рабочей частотой порядка десятков терагерц. ППТ может быть применен в интегральных микросхемах для вычислительных устройств, работающих на оптических частотах.

Спасибо за внимание