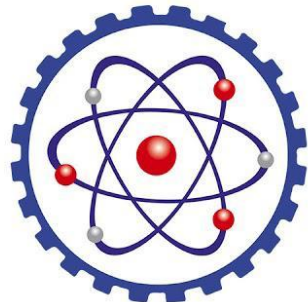


**УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКОМ  
ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-  
ПОЛЯРИТОНОВ С ПОМОЩЬЮ  
ВНЕШНИХ ПОЛЕЙ  
Сначков Сергей Сергеевич  
Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского  
Физико-технический институт  
Кафедра экспериментальной физики**

**ПОЛЯРИТОНОВ С ПОМОЩЬЮ  
ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-  
УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКОМ**

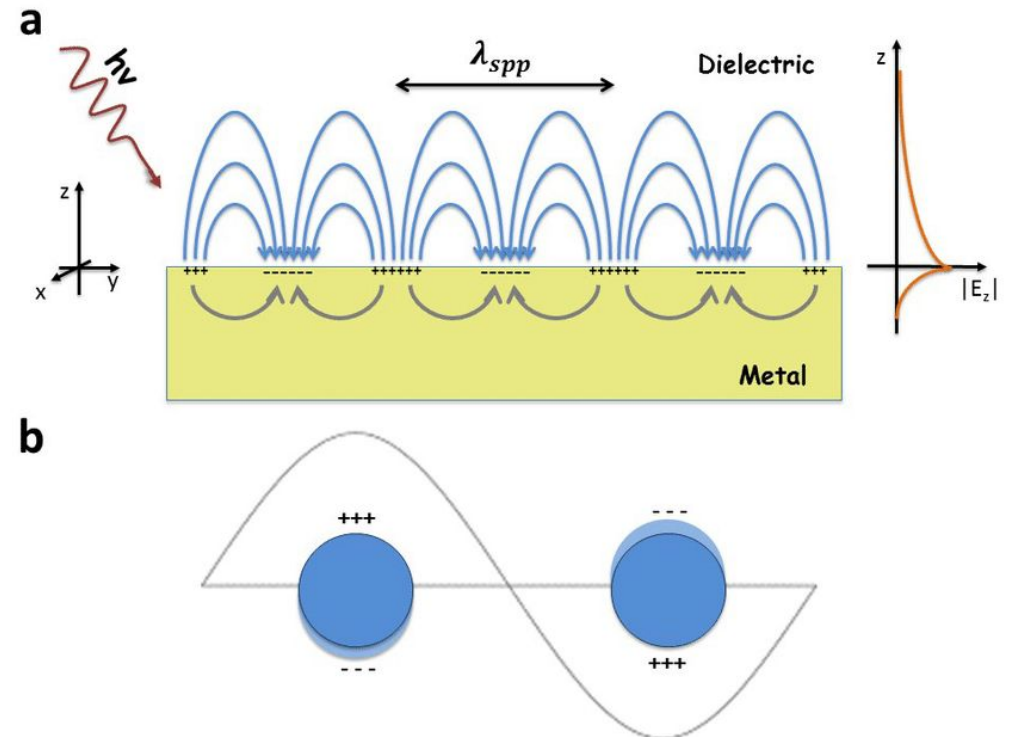


Научный руководитель  
Дзедолик Игорь Викторович,  
профессор, д. ф.-м. н.

# 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



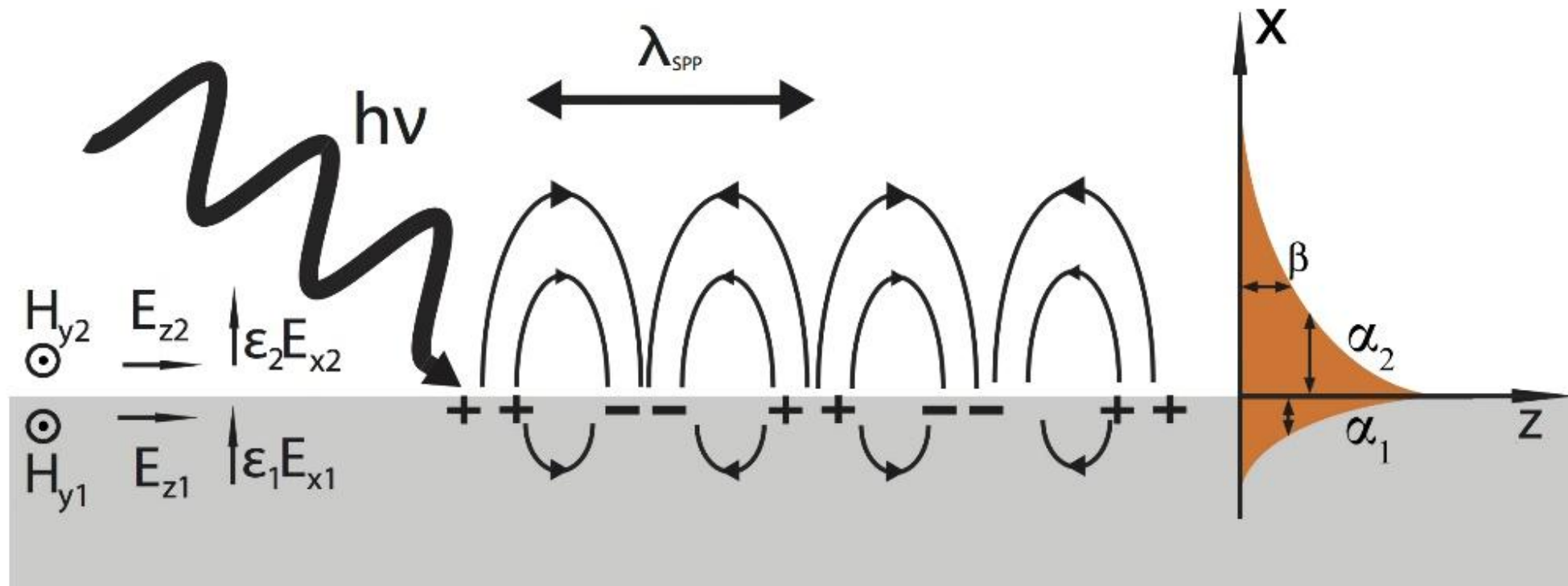
# Граничные условия для ППП для ТМ-моды

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

- $\beta$  – волновой вектор ППП
- $\alpha_1$  – коэффициент затухания в среде 1
- $\alpha_2$  – коэффициент затухания в среде 2

Длина волны и постоянная распространения ППП:

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



# Условия возбуждения ППП

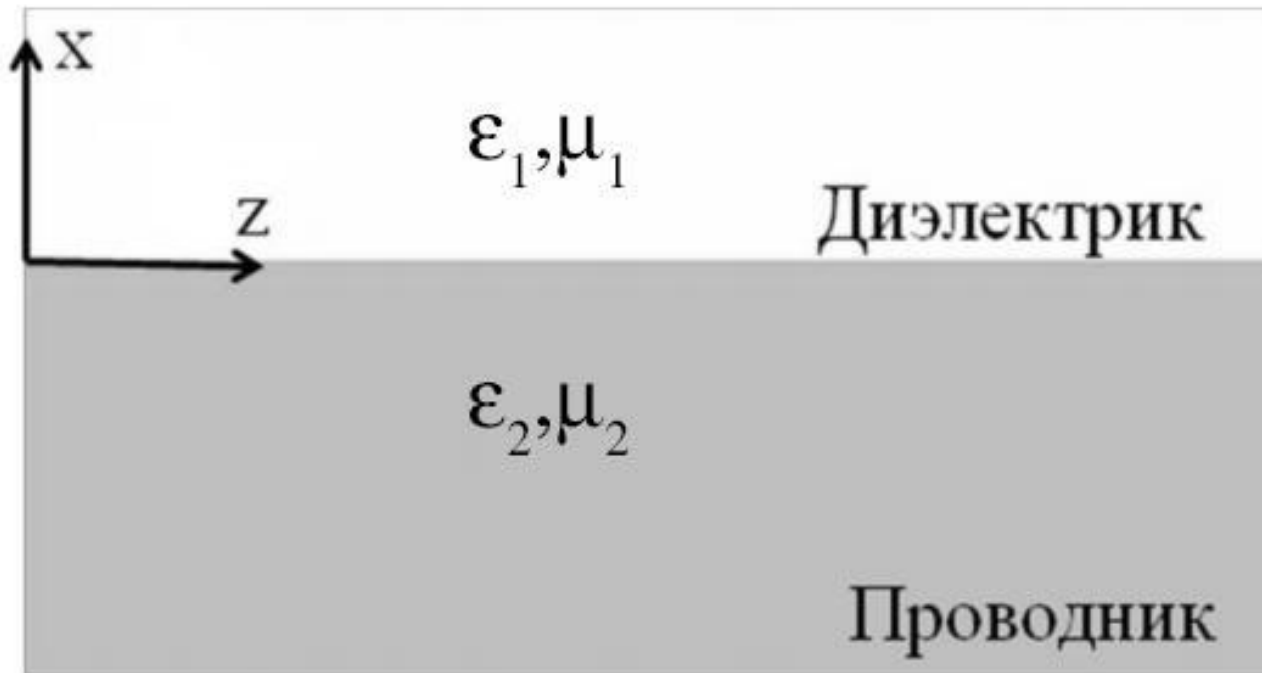
$\varepsilon_1(\omega) = \varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1$  - диэлектрическая проницаемость металла

$\varepsilon_2$  - диэлектрическая проницаемость диэлектрика

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

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

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



$$\mu_1 = \mu_2 = 1$$

# Распределение потока плотности энергии в системе металл-диэлектрик

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

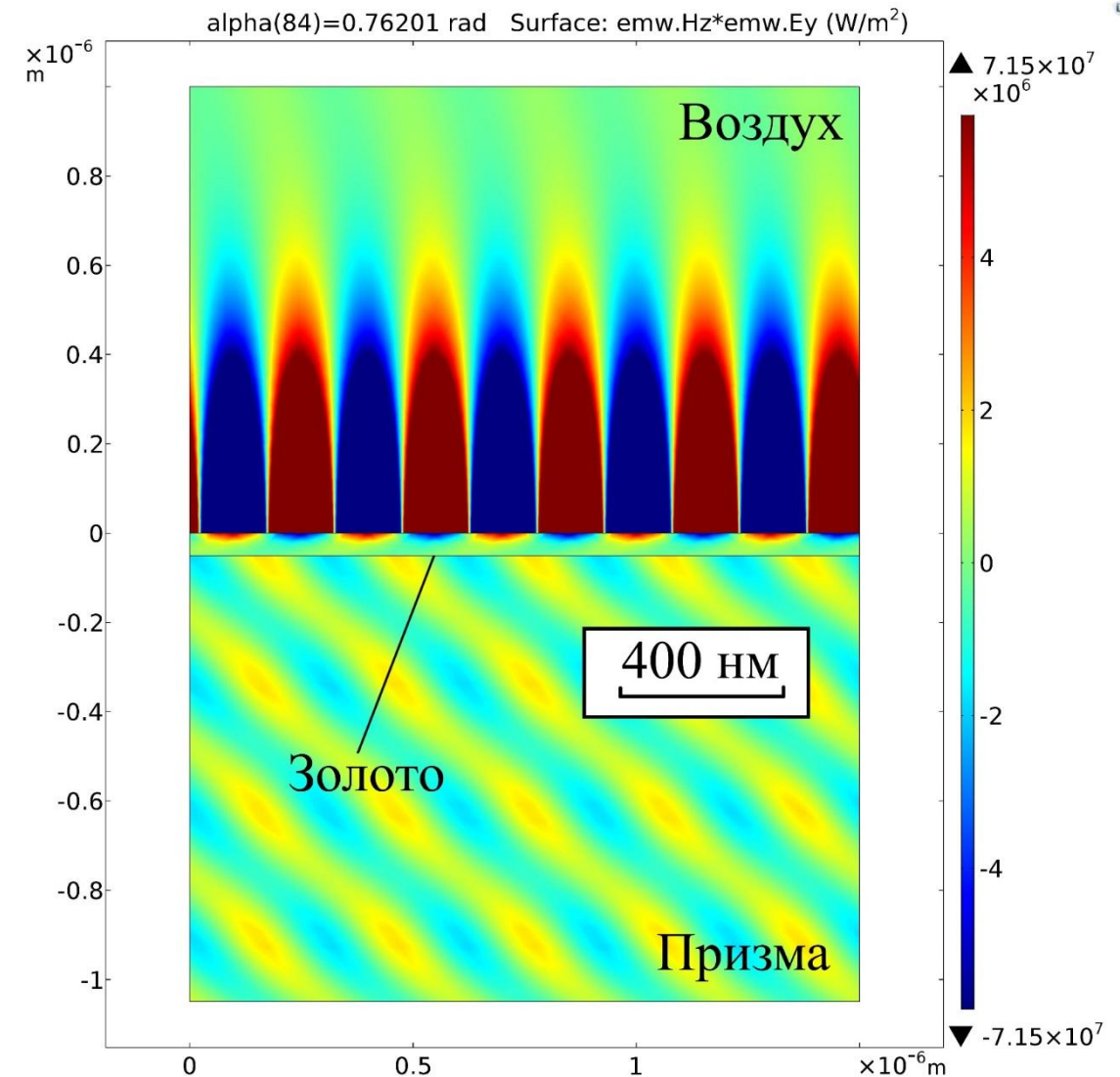
$$\lambda_0 = 633 \text{ нм}$$

$$\varepsilon_{air} = 1$$

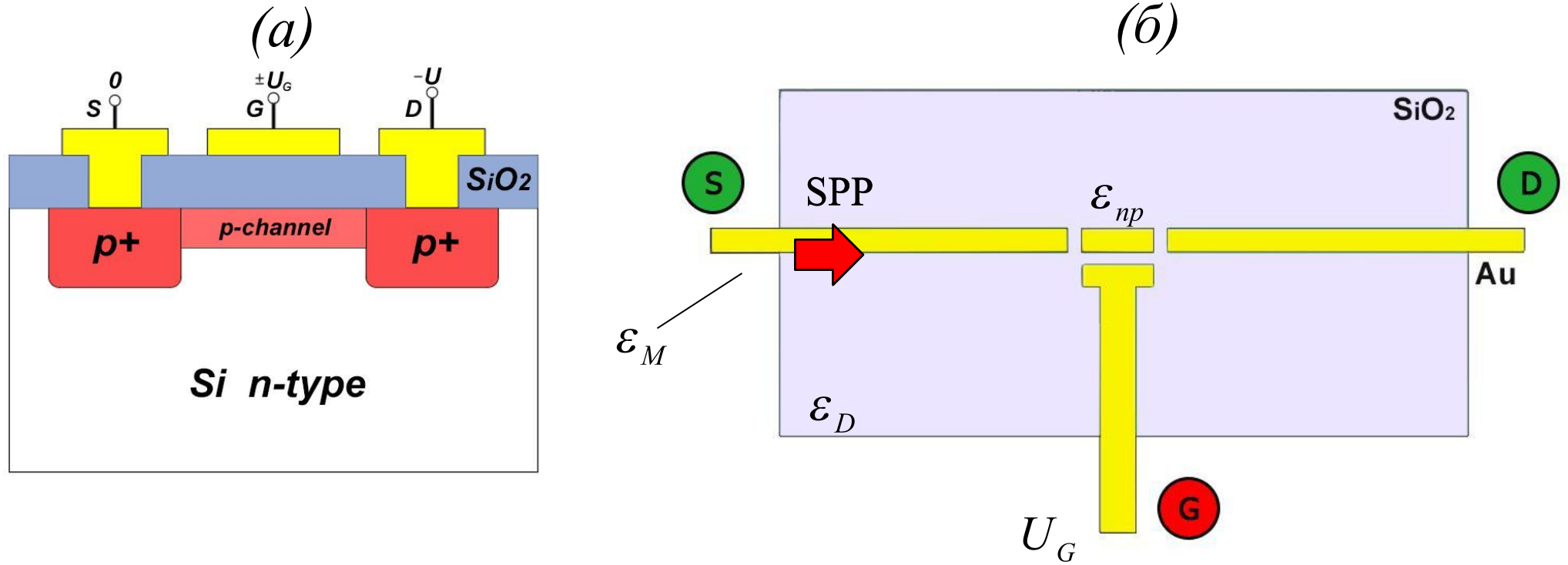
$$\text{Re}(\varepsilon_{Au}) = -11.6$$

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



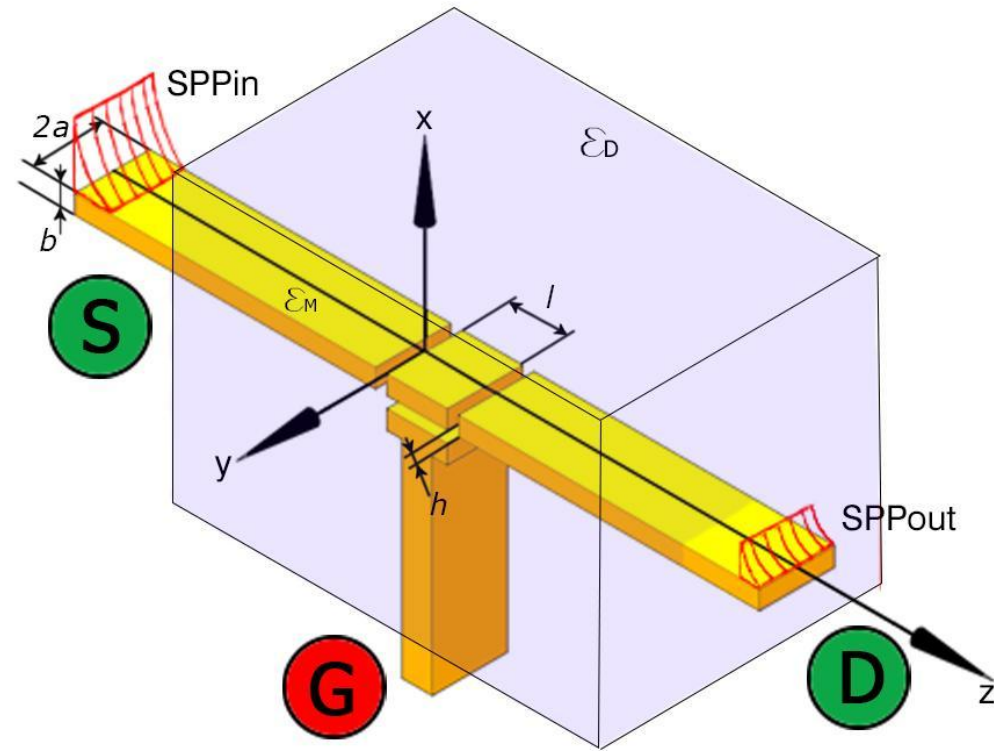
Полевой транзистор со встроенным каналом (а);

Металлический полосковый волновод (вид в разрезе) (б).

Роль тока в плазмонном полевом транзисторе (ППТ) выполняет поток ППП.

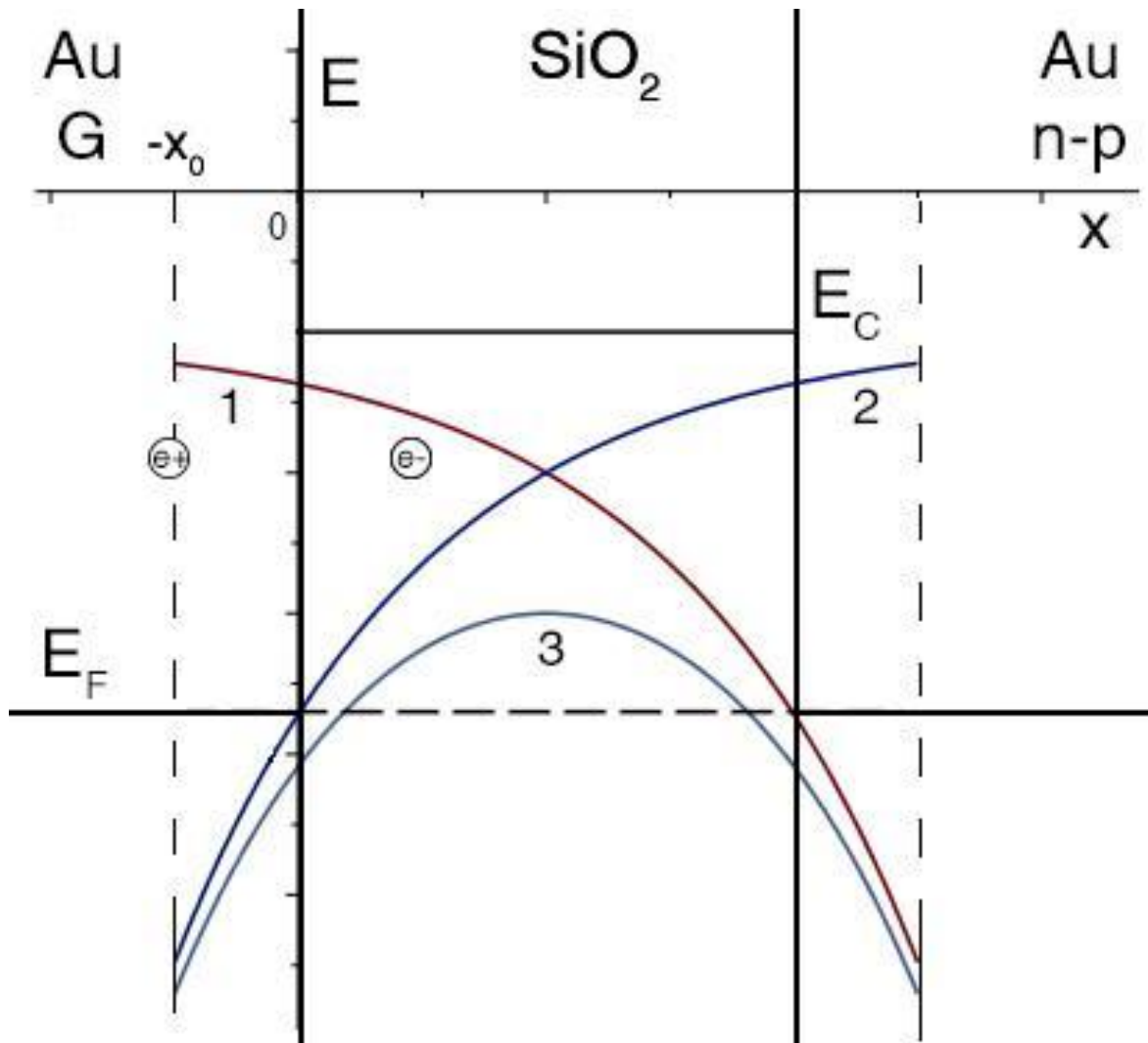
$\epsilon_{np}$  — диэлектрическая проницаемость nano-пластины.

# 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<sub>2</sub>/Au



$E_F$  – уровень Ферми Au (5.1 эВ)  
 $E_C$  – уровень ферми SiO<sub>2</sub> (~8 эВ).

G – gate (затвор)

n-p – nano-plate (нано-пластинка)

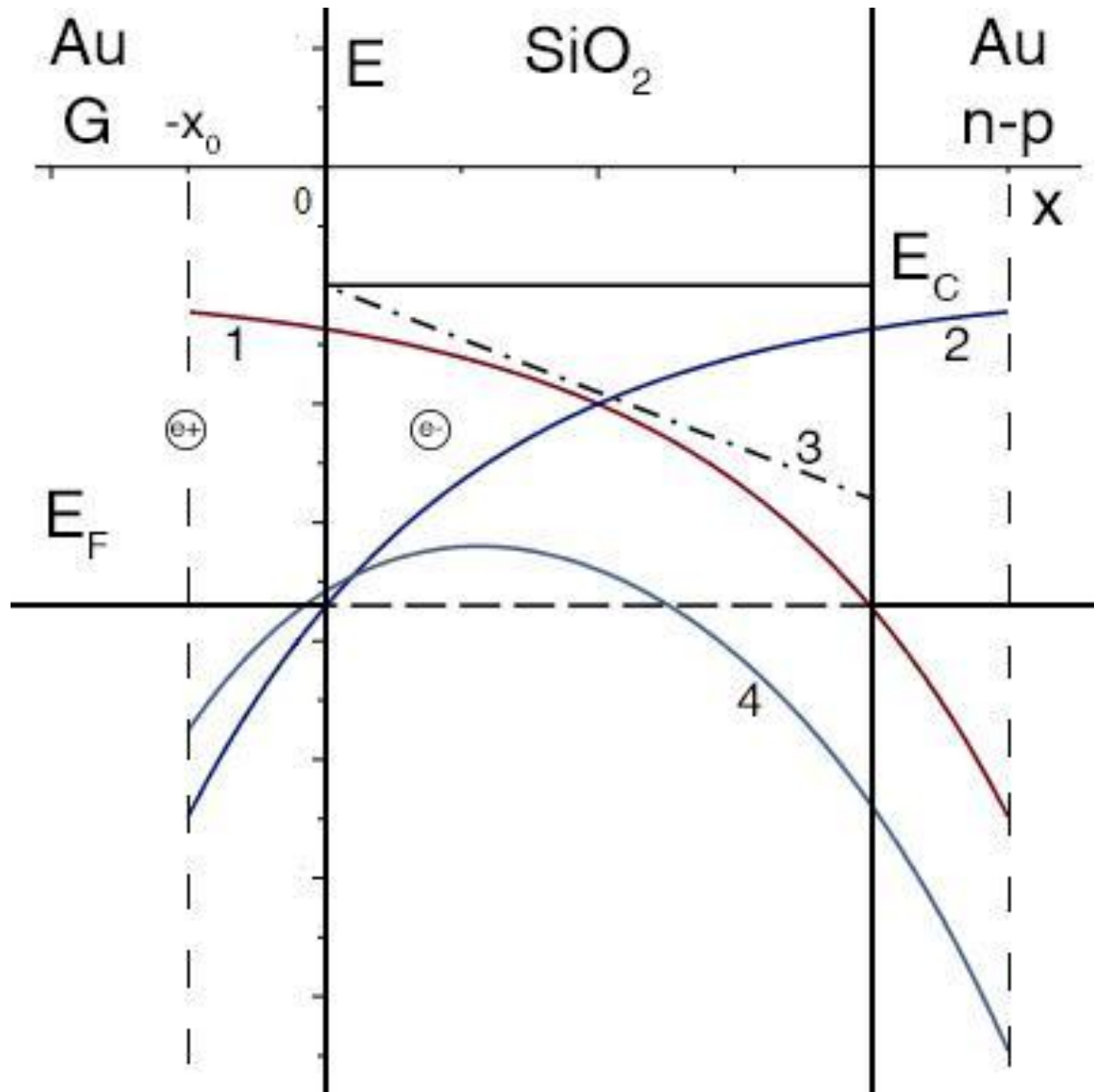
1 – потенциальная кривая электронов с n-p

2 – потенциальная кривая электронов с G

3 – потенциальный барьер при суперпозиции потенциалов 1 и 2



# Энергетические уровни в системе Au/SiO<sub>2</sub>/Au с включённым полем на затворе



$E_F$  – уровень Ферми Au (5.1 эВ)  
 $E_C$  – уровень Ферми SiO<sub>2</sub> (~8 эВ).

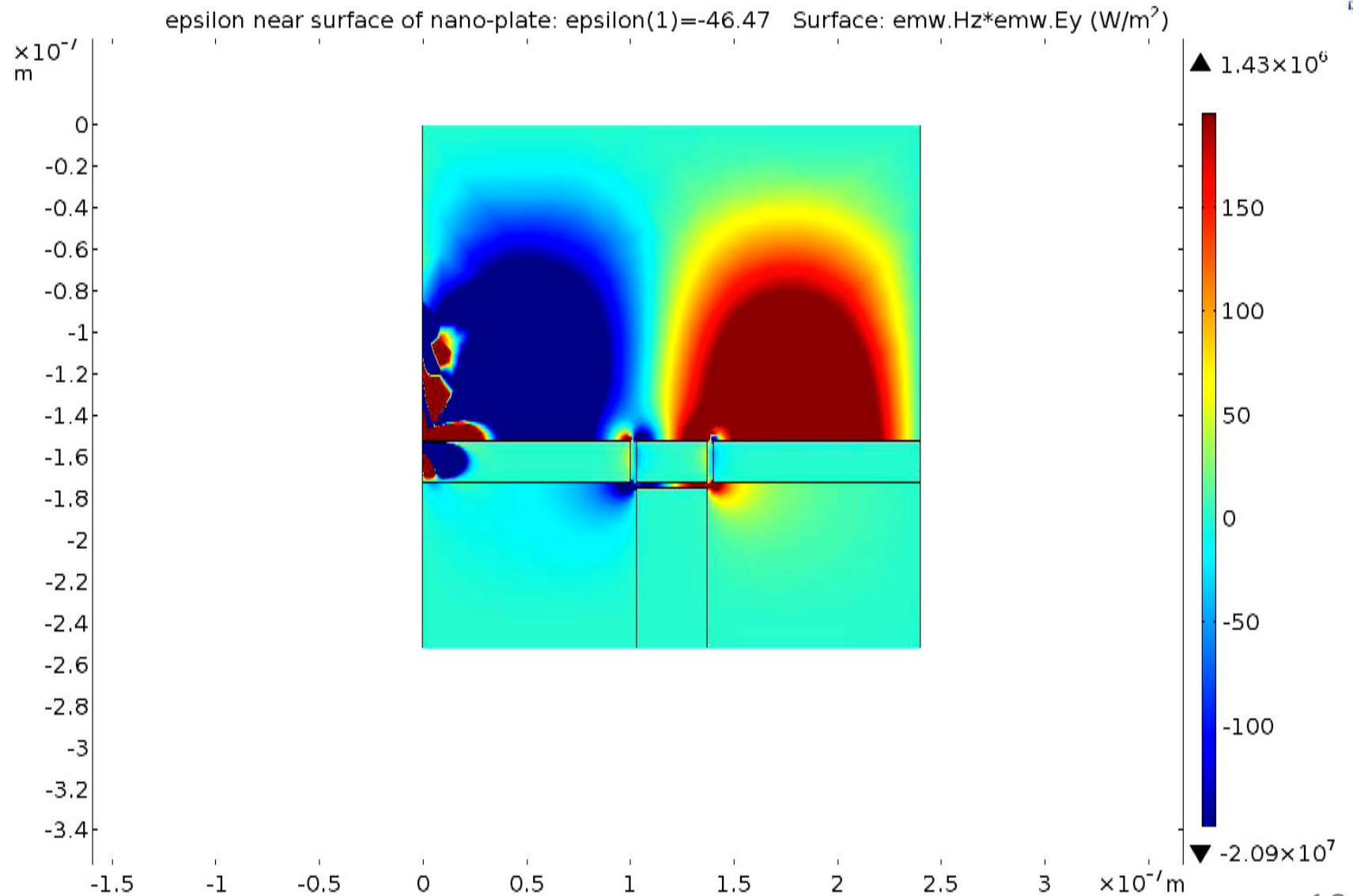
- 1 – потенциальная кривая электронов с n-p.
- 2 – потенциальная кривая электронов с G.
- 3 – потенциал образованный при включении поля на G.
- 4 – потенциальный барьер при суперпозиции потенциалов 1, 2 и 3.

# Влияние управляющего поля на вектор Пойнтинга

$$\lambda_0 = 1.06 \mu m$$

$$\varepsilon_M = -46.47 + i3.60$$

$$\varepsilon_D = 2.10$$



# 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**