

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики твердого тела

Поверхностные плазмоны инфракрасного диапазона в структурах

PtSi-Si с барьером Шоттки

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 411 группы

направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

факультета nano- и биомедицинских технологий

Мартынова Николая Ильича

Научный руководитель

профессор, д.ф.-.м.н..

В. Ф. Названов

должность, уч. степень, уч.
звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-.м.н..

Д.А.Усанов

должность, уч. степень, уч.
звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

Саратов, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Современная оптика, связанная с развитием лазеров, в последние годы была дополнена новой перспективной областью - оптикой поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ) и поверхностных плазмонов – поляритонов.

Научный интерес ПЭВ оптического диапазона связан с возможностью эффективного возбуждения ПЭВ на реальных поверхностях (металлов, полупроводников, диэлектриков) и влиянием ПЭВ на многие фотофизические процессы, протекающие на поверхности исследуемых материалов. Данный факт имеет большое практическое значение для разработок в оптической спектроскопии, нелинейной оптике, микроскопии высокого разрешения, технологии и других областях. Представляет значительный интерес использования поверхностных плазмонов – поляритонов для разработки модуляторов света и биосенсоров [1-6].

Создание оптических сенсоров с высокой чувствительностью и разрешением для обнаружения и количественного анализа химических и биологически активных веществ одна из актуальных задач, связанная с необходимостью контроля биологических процессов, анализа эффективности лекарственных средств и мониторинга окружающей среды.

Целью данной работы является компьютерное моделирование зависимости коэффициента отражения в ИК – области в структурах PtSi-Si от угла падения излучения в режиме Отто.

Для достижения этой цели необходимо обозначить несколько задач:

Анализ литературы по темам: поверхностные электромагнитные волны (ПЭВ), основные методы возбуждения, принципы работы оптических устройств на поверхностных плазмонах.

Провести компьютерное моделирование зависимости коэффициента отражения в ИК – области в структурах PtSi-Si от угла падения излучения в режиме Отто с использованием пакета программ MathCAD 14.

Обсуждение полученных результатов

Бакалаврская работа состоит из: введения, двух разделов, заключения и списка использованных источников.

Компьютерное моделирование зависимости коэффициента отражения в ИК – области в структурах PtSi-Si от угла падения излучения в режиме Отто.

Постановка задачи

Необходимо произвести компьютерное моделирование четырехслойной структуры PtSi-Si –воздух-призма, которая используется в PtSi диодах Шоттки, так же построить зависимость коэффициента отражения от угла падения, найти оптимальные значения толщины воздушного слоя, с целью повышения работы фотодиодов Шоттки.

PtSi диоды Шоттки, привлекли к себе пристальное внимание в результате их фоточувствительности в широкой области спектра, и совместимости со стандартными технологиями обработки интегральных схем.[2] Однако основным недостатком является низкая квантовая эффективность диодов в таких устройствах, где генерация фототока зависит от эмиссии горячих носителей по барьеру Шоттки. Оптическое поглощение, как правило, улучшается за счет использования антиотражающих покрытий, обратных отражателей и оптических структур резонатора. В качестве альтернативы усиление поглощения и фотоотклика может быть достигнуто путем возбуждения поверхностных плазмонов, как было недавно продемонстрировано с различными устройствами металл-полупроводник в видимой и ближней ИК-области спектра [11].

Свойства ПП были рассмотрены в 1.2.

В данной работе используется призма в конфигурации Отто см рис. 1. Для возбуждения ПП в ИК – диапазоне. в диодах Шоттки PtSi воздушный

зазор действует как оптический туннельный барьер и ПП возбуждаются на границе PtSi-воздух и с помощью эванесцентного оптического поля, распространяются до границы призма - воздух. Четырехслойная структура CaF₂-Воздух-PtSi-Si используемая в эксперименте представлена на рисунке 2.1.

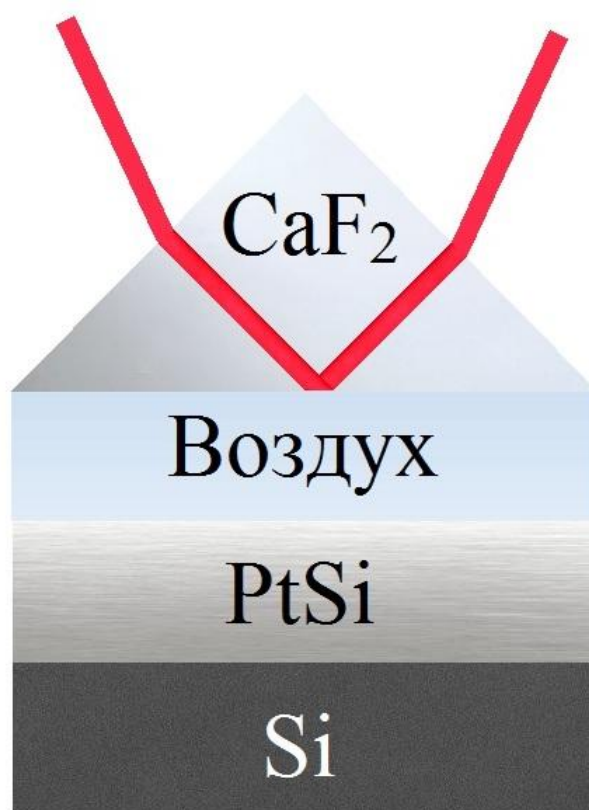


Рисунок 2.1. 4х-слойная структура иллюстрирующая технологию призмного ввода используемую для возбуждения ПП.

2.2 Метод расчета

Как известно слоистой называется среда, свойства которой постоянны на каждой плоскости, перпендикулярной к фиксированному направлению.

Многослойные системы, т.е. системы тонких плоскопараллельных пленок, включая и периодические, находят множество полезных применений в оптике (например, фильтры, поляризаторы и другие устройства).

Устройства с поверхностными плазмонами в сенсорике и фотонике также представляют собой многослойные системы.

Поэтому расчет оптических свойств таких систем является чрезвычайно важным.

К настоящему времени предложено много различных методов, которые можно разделить на две основные группы:

1) методы расчета отражения и пропускания света изотропными слоистыми структурами.

2) методы расчета отражения и пропускания света анизотропными слоистыми планарными структурами

Ряд методов второй группы можно использовать также и для изотропных систем.

В данной работе для моделирования зависимости коэффициента отражения от угла падения излучения используется метод характеристических матриц Спрокела, представленный авторами [6,12].

Для расчета необходимо записать следующие формулы.

Исходные данные:

$n_0 = 1.415$ – коэффициент преломления призмы из фторида кальция CaF₂

$n_2 = 3.076 - i11.378$ - коэффициент преломления слоя Силицида платины PtSi

$n_3 = 3.39$ - коэффициент преломления Si

$\epsilon_0 = (n_0)^2 = 2.002$ – диэлектрическая проницаемость CaF₂

$\epsilon_1 = 1$ - диэлектрическая проницаемость воздуха

$\epsilon_2 = n_2^2 = -119.997 - 69.997i$ - диэлектрическая проницаемость PtSi

$\epsilon_3 = n_3^2 = 11.492$ диэлектрическая проницаемость Si

$\theta = 30-85$ – Внешний угол падения света

$\lambda = 3392$ нм – длина волны падающего излучения

$d_1 = 1500$ нм – толщина воздушного зазора

$d_2 = 8.65$ нм – толщина слоя PtSi

Коэффициенты волновых векторов для k_1 , k_2 и k_3 из формулы Френеля в общем виде распишем как:

$$k_i(\theta) = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\varepsilon_i - \varepsilon_0 \sin^2\left(\theta - \frac{\pi}{180}\right)^2} \quad (7)$$

коэффициент отражения записывается в виде:

$$R(\theta) = \left| \frac{M(\theta)_{2,1}}{M(\theta)_{1,1}} \right|^2$$

(8)

где

$$M(\theta) = M_0(\theta) * M_1(\theta) * M_2(\theta) \quad (9)$$

величины M_i являются матрицами границ раздела и слоев соответственно и записываются как:

$$M_i(\theta) = \begin{pmatrix} \frac{u_i(\theta) + u_i(\theta)}{2 * u_i(u_i(\theta))} & \frac{u_i(\theta) - u_i(\theta)}{2 * u_i(u_i(\theta))} \\ \frac{u_i(\theta) - u_i(\theta)}{2 * u_i(u_i(\theta))} & \frac{u_i(\theta) + u_i(\theta)}{2 * u_i(u_i(\theta))} \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$M_i(\theta) = \begin{pmatrix} \frac{u_i(\theta) + u_i(\theta)}{2 * u_i(u_i(\theta))} e^{-ik_i(\theta)d_i} & \frac{u_i(\theta) - u_i(\theta)}{2 * u_i(u_i(\theta))} e^{-ik_i(\theta)d_i} \\ \frac{u_i(\theta) - u_i(\theta)}{2 * u_i(u_i(\theta))} e^{ik_i(\theta)d_i} & \frac{u_i(\theta) + u_i(\theta)}{2 * u_i(u_i(\theta))} e^{ik_i(\theta)d_i} \end{pmatrix}$$

(11)

где

$$u_i(\theta) = \frac{\varepsilon_i}{k_i(\theta)} \text{ границы раздела.}$$

В итоге, строится и анализируется зависимость коэффициента отражения от угла падения.

Результат расчета коэффициента отражения четырехслойной структуры $\text{CaF}_2 - \text{Air} - \text{PtSi} - \text{Si}$ (с указанием использованных матриц для слоев системы)

Результат компьютерного моделирования зависимости коэффициента оптического отражения в структуре с барьером Шоттки от угла падения излучения

Был исследован режим возбуждения поверхностных плазмонов в геометрии Отто в 4-слойной системе: призма из фторида кальция (CaF_2) – воздушный зазор(d) – Слой силицид платины (PtSi) - кремний (Si) в зависимости от толщины воздушного зазора (d). Результаты моделирования представлены на рисунке 2.2.

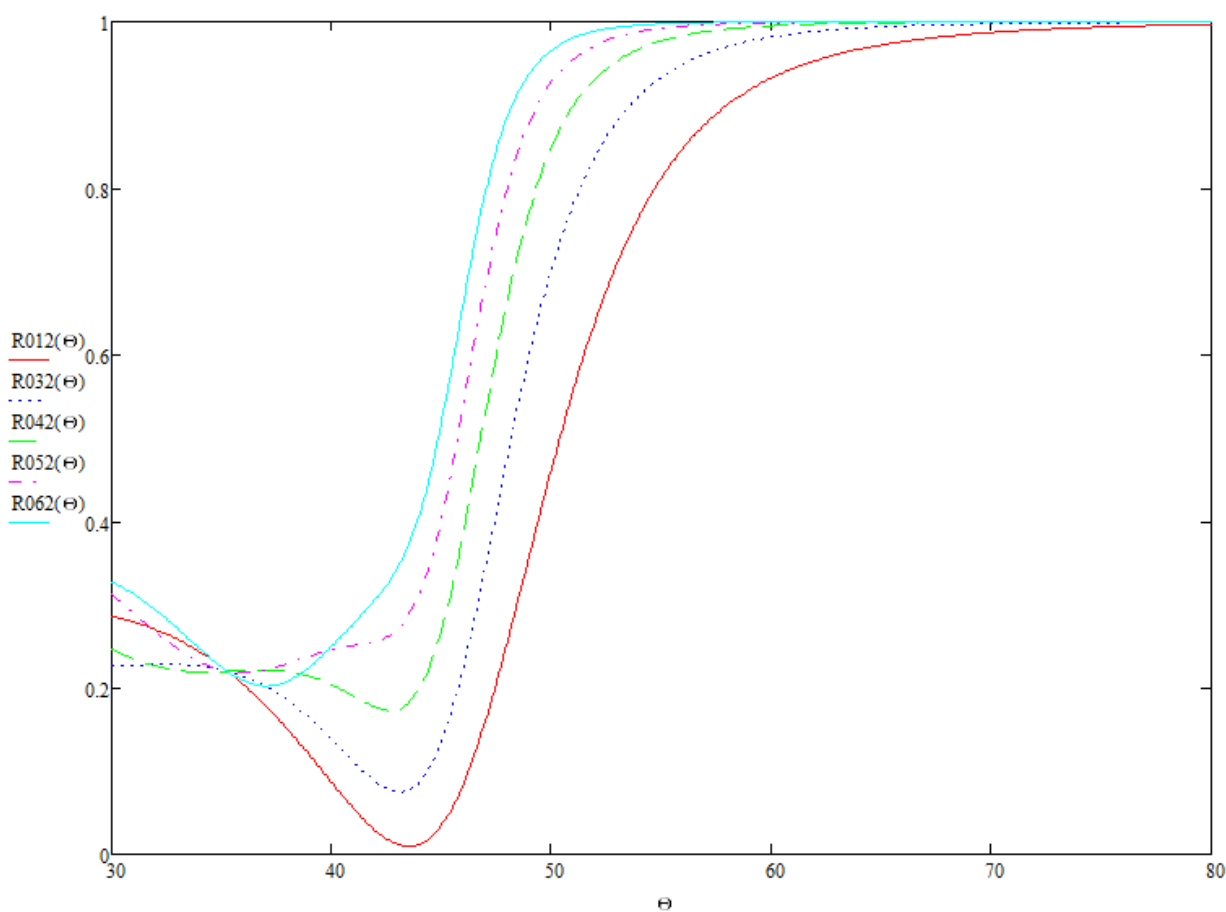


Рисунок 2.2. Результат расчета зависимости коэффициента отражения от угла падения излучения для 4-слойной системы с поверхностными плазмонами в режиме Отто с толщиной воздушного зазора (1500- 3500) нм.

Примечания

1. R012(θ) толщина воздушного зазора $d = 1500$ нм.
2. R032(θ) толщина воздушного зазора $d = 2000$ нм.
3. R042(θ) толщина воздушного зазора $d = 2500$ нм.
4. R052(θ) толщина воздушного зазора $d = 3000$ нм.
5. R062(θ) толщина воздушного зазора $d = 3500$ нм.

Как видно из рисунка минимум коэффициента отражения достигается при толщине воздушного зазора $d = 1500$ нм. и угле падающего излучения $\theta = 43.5^\circ$

Широкий провал на $43,5^\circ$ обусловлен возбуждением ПП в PtSi - воздушном интерфейсе, полученный результат совпадает с результатом эксперимента приведенного в статье [11].

Заключение. Основные результаты и выводы работы.

В ходе данной работы были получены следующие результаты:

1. Дан аналитический обзор литературы по теме.

1.1 Рассмотрены поверхностные электромагнитные волны оптического диапазона на границе раздела «металл - диэлектрик», основные свойства и особенности распространения на данной границе.

1.2 Описаны основные методы возбуждения поверхностных плазмонов.

В

частности, рассмотрен метод нарушенного полного внутреннего отражения при призмной связи по схемам Кречмана и Отто.

1.3 Рассмотрены примеры устройств на поверхностных плазмонах.

2. Произведено компьютерное моделирование четырехслойной структуры PtSi-Si –воздух-призма, которая используется в PtSi диодах Шоттки. Представлен расчет зависимости коэффициента

отражения от длины волны и угла падения излучения. В частности, основанные на известных формулах для многослойных структур, в том числе, с использованием характеристических матриц Спрокела.

2.1 Показан пример моделирования коэффициента отражения 4-х слойных систем.

2.2. Представлены программа и результат моделирования 4-х слойной

структуры в геометрии Отто, выявлено значение толщины слоя воздуха, при котором в структуре достигается наибольшая глубина кривой.

При исследовании зависимости коэффициента отражения от угла падения излучения, выявлено, что при толщине воздушного зазора $d = 1500\text{нм}$. и угле падающего излучения $\theta=43.5^\circ$ достигается наибольший минимум, что необходимо для повышения эффективности фотодиодов Шоттки

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Названов, В.Ф. Поверхностные электромагнитные волны оптического диапазона / В.Ф. Названов. 2015. Выпуск 1. Известия Саратовского университета. Серия физика. 14 с.
2. Арганович, В.М. Поверхностные поляритоны. Электромагнитные волны на поверхностях и границах раздела сред / В. М. Агранович, Д. Л. Миллс. М. : Наука, 1985. 525 с.
3. Bonch-Bruevich A. M., Libenson M. N., Makin V. S., Trubaev V. V. Surface electromagnetic waves in optics // Optical Engineering. 1992. Vol. 31, № 4. P. 730 с.
4. Либенсон, М. Н. Поверхностные электромагнитные волны оптического диапазона // Соросовский образоват. журн. 1996. № 10. 98 с.
5. Климов В. В. Наноплазмоника. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. 480 с.
6. Названов, В.Ф. «Наноплазмоника в наносенсорике и нанофотонике»: учебное пособие для вузов / В.Ф. Названов. Изд. «Новый ветер», 2015. 85 с.
7. Стефан А.Майер. Плазмоника теория и приложения. М:Ижевск, 2011. 274 с.
8. Salamon Z., Macleod H.A., Tollin G. Coupled plasmon-waveguide resonators. //Biophysical Journal, 1997, v.73, p. 97 с.

9 Голдина, Н.Д. Расчет коэффициента отражения металл - диэлектрических структур при нарушенном полном внутреннем отражении. //Автометрия, 2009, т.45, №6, 104 с.

10. Murarka S. P. «Refractory silicides for integrated circuits» Sci. Technol., 1980. 792с.

11. A. Sellai, P. Dawson, W. R. Hendren, S. H. S. Magill, H. S. Gamble «Infra-red surface plasmons on platinum silicide» Electronics letters. 1992. Vol. 28. No. 2

12. G. J. Sprokel «The Reflectivity of a liquid crystal cell in a surface plasmon experiment»// Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1981.