

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА СЕРЕБРЯНЫХ НАНОЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ДИФФУЗИИ В ПОЛИМЕР

Фандеев А.А., (Университет ИТМО), Гладских И.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент Старовойтов

А.А

(Университет ИТМО)

Введение. Металлические наночастицы, поддерживающие локализованный поверхностный плазмонный резонанс, нашли применение во многих областях науки и техники [1-3]. Эти частицы способны резонансно усиливать плотность электромагнитного излучения вблизи поверхности частиц за счет коллективных колебаний электронов в металле. Частицы могут осаждаться на поверхности пленок или проникать в них, в медицинских приложениях частицы могут проходить через клеточную мембрану, при этом частота и свойства резонансов сильно зависят от положения частицы. Плазмонные моды в частицах, расположенных достаточно далеко (по сравнению с длиной волны возбуждающей электромагнитной волны) от границы раздела сред, исследовались ранее в случаях различных симметрий и конфигураций [4,5], однако не было уделено достаточного внимания случаю, когда частица расположена на границе раздела различных сред, несмотря на то, что этот случай обычно имеет место на практике.

В данной работе проводится экспериментальное исследование локализованного поверхностного плазмонного резонанса в сферических наночастицах серебра при их переходе из одной диэлектрической среды в другую. Целью работы является установление частот поверхностного плазмонного резонанса и их зависимости от положения металлической наносферы относительно границы раздела.

Основная часть. Контроль изменения частоты плазмонного резонанса позволяет определять диффузию наночастицы через границу интерфейса двух сред с разной диэлектрической проницаемостью.

В качестве границы раздела двух сред была выбрана граница воздух-полистирол ввиду большой разницы в показателях преломления (и, соответственно, в значениях диэлектрической проницаемости), что способствует большему смещению частоты плазмонного резонанса металлических наночастиц при смене окружения. Гранулы полистирола были растворены в толуоле, концентрация составила 1 весовой процент. Раствор был фильтрован через мембрану политетрафторэтилена и нанесен на предметное стекло статическим спинкоутингом при вращении 4000 оборотов минуту в течение 60 секунд, с последующей просушкой образцов на воздухе в течение часа и отжига при температуре 115 градусов в течение 12 часов. Чтобы локализованный поверхностный плазмонный резонанс был легко наблюдаем, действительная часть проницаемости наносферы $\varepsilon(\omega)$ должна быть отрицательной, а ее мнимая часть должна быть мала. По этой причине серебро является предпочтительным материалом для получения хорошо детектируемых смещений в видимом диапазоне [6]. Рост пленки серебра эквивалентной толщины 0,5 нм осуществлялось по островковому механизму Волмера-Вебера, что привело к формированию на поверхности серебряных наночастиц диаметром 10-20 нм и подтверждается появлением плазмонного резонанса с максимумом на длине волны 420 нм. Изначально планировалось наносить методом спин-коатинга или накапывания наночастицы на поверхность слоя полимера из коллоидного водного раствора, полученного методом химического синтеза или лазерной абляции. Однако, из-за малой смачиваемости поверхности раствором и высокой агрегации частиц, был выбран метод физического вакуумного осаждения. Полученная конструкция в виде предметного стекла, с нанесённой пленкой и осажденными наночастицами серебра была разделена на несколько образцов, каждый из которых подвергался разной термической

обработке. Образец №1 прогревался при 70°C в течении 10 мин, что привело к увлечению пластичности полистирола и диффузии частиц в полимер. Это подтверждается смещением длины волны плазмонного резонанса на 4 нм – с 420 до 424 нм за счет изменения диэлектрической проницаемости среды вокруг частицы. Повышение температуры до 130 градусов в течении 10 минут показали, что спектр плазмонного резонанса смещается в коротковолновую область с 420 нм, до 417 нм, что объясняется отжигом металлических наночастиц. Образец №2 облучался непрерывным полупроводниковым лазером Kvant (375 нм, 40 Вт) в течении часа в полосе плазмонного резонанса, что привело к нагреву частиц, увеличению пластичности полистирола и их погружению в полимер. Пик плазмонного резонанса сместился с 420 нм до 429 нм.

Выводы. Проведён модельный эксперимент по мониторингу частоты поверхностного плазмонного резонанса в зависимости от положения металлической наночастицы относительно границы раздела. Результаты данного исследования могут быть полезны при создании плазмонной нанолинейки.

Список использованных источников:

1. Климов В.В. Наноплазмоника // Успехи физических наук. – 2008. – Т. 178. – 875–880.
2. Gorman T., Naxha S. Design and optimisation of integrated hybrid surface plasmon biosensor // Optics Communications // – 2014. – V. 325. – P. 175-178.
3. Sharma N. K., Yadav S., Sajal V. Theoretical analysis of highly sensitive prism based surface plasmon resonance sensor with indium tin oxide // Optics Communications. – 2014. – V. 318 – P. 74–78.
4. Kelly K.L., Coronado E., Zhao L.L., Schatz G.C. The Optical Properties of Metal Nanoparticles: The Influence of Size, Shape, and Dielectric Environment // The Journal of Physical Chemistry B. – 2003. – V. 107. – P. 668-677.
5. Amendola V., Bakr O.M., Stellacci F. A Study of the Surface Plasmon Resonance of Silver Nanoparticles by the Discrete Dipole Approximation Method: Effect of Shape, Size, Structure, and Assembly // Plasmonics. – 2010. – V. 5. – P. 85–97.
6. Baryshnikova K.V., Petrov M.I., Vartanyan T.A. Plasmon nanoruler for monitoring of transient interactions // Rapid Research Letters. – 2015. – V. 9(12). – P. 711–715