

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

МАТЕРІАЛИ  
XXV МІЖНАРОДНОГО МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ  
РАДІОЕЛЕКТРОНІКА  
ТА МОЛОДЬ  
У ХХІ СТОЛІТТІ



**Том 7/10**

**Харків 2021**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

МАТЕРІАЛИ 25-го МІЖНАРОДНОГО  
МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ

**«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА І МОЛОДЬ  
У ХХІ СТОЛІТТІ»**

**20-22 квітня 2021 р.**  
том 7,10

**КОНФЕРЕНЦІЯ  
«СУЧАСНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ»**

**КОНФЕРЕНЦІЯ  
«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОНОМІЧНОЇ  
КІБЕРНЕТИКИ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ»**

Харків 2021

УДК 004.932+330.46+005.934](06)

25-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 7, 10. Харків: ХНУРЕ. 2021. 208 с.

В збірник включені матеріали 25-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті».

Видання підготовлено  
факультетом інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту  
Харківського національного університету радіоелектроніки

61166 Україна, Харків, просп. Науки, 14  
тел.: (057) 7021397  
факс: (057) 7021515

E-mail: mref21@nure.ua

© Харківський  
національний університет  
радіоелектроніки (ХНУРЕ), 2021

# ПЛАЗМОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСТРУКТУРАХ

Орлова Д.А.

Научные руководители – стар. преп. Бутенко Н.С.,  
к.ф.-м.н., доц. Стогний Н.П.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
61166, Харьков, просп. Науки, 14, каф. высшей математики,  
тел. (057) 702-13-72, e-mail: [nadiia.stohnii@nure.ua](mailto:nadiia.stohnii@nure.ua)

Metallic nanostructures are of great importance in modern research both from the point of view of fundamental science and from the applied side. Interest has been observed precisely in recent years, which is caused by tremendous technological progress in the production of nanoscale structures. Along with passive plasmonic devices, there is growing interest in active systems that can be realized if the plasmonic nanostructure hybridizes with a material whose properties can be controlled over time.

Характерной особенностью взаимодействия света с металлическими наноструктурами является существование плазмонов – волн, которые возникают вблизи поверхности металлов в результате коллективных колебаний электронов. Например, в [1] поверхностными плазмонами называются коллективные флуктуации электронной плотности на границе обычного диэлектрика с положительной диэлектрической проницаемостью и металла с отрицательной диэлектрической проницаемостью. Поверхностные плазмоны существуют только вдоль границы металла с диэлектриком с выполнением условия, которое требует, чтобы диэлектрическая проницаемость одной из сред  $\varepsilon_1$  была отрицательной, а ее модуль превышал значение диэлектрической проницаемости другой среды  $\varepsilon_2$ :  $\varepsilon_1(\omega) + \varepsilon_2(\omega) < 0$ ,  $\varepsilon_1(\omega) \cdot \varepsilon_2(\omega) < 0$ .

Поскольку металлы, и, особенно, благородные металлы, имеют малую мнимую часть комплексной диэлектрической проницаемости и большую по модулю отрицательную действительную часть, то именно на границе такого металла и диэлектрика существуют сильно локализованные поверхностные волны (плазмоны). В наночастицах возбуждаются локализованные поверхностные плазмонные резонансы.

Спектр поверхностных резонансов наночастиц и соотношения между их эффективностями поглощения и рассеяния зависит от выбора металла, а также от размера, формы и структуры частиц. В приложениях, до недавнего времени, использовались коллоидные смеси химических веществ с золотыми наночастицами сферической формы. Но интенсивное развитие технологий синтеза наночастиц за последние несколько лет предоставило для исследования широкий спектр всевозможных форм наночастиц и наноструктур, таких как наностержни, нанопровода, нанооболочки, нанорис, нанозвезды, наноожерелья, наноклетки.

Элементарное описание поверхностного резонанса малой металлической сферы состоит в следующем: электрическое поле электромагнитной световой волны смещает свободные электроны и создает нескомпенсированные заряды вблизи поверхности частицы. Возникает связанный с этими колебаниями поверхностный локальный резонанс. Электрическое поле внутри частицы изменяется так, что с повышением порядка моды оно все сильнее локализуется вблизи границы раздела сред.

Оптические свойства наностержней детально исследованы в [2]. В отличие от сферических частиц, в наностержнях появляется два резонанса, соответствующих колебаниям электронов поперек и вдоль оси симметрии поля. Наностержни, продольный размер которых в сотни раз превышает поперечный, называют нанонитями (нанопроводами).

Свойства золотых наноболочек и методы их получения описаны в [3]. Поверхностный резонанс частиц таких размеров более чем на порядок превышает рассеяние обычных золотых коллоидных частиц с типичными размерами в диапазоне 10 – 50 нм. Оптические свойства наноболочек в виде двухслойного шара с диэлектрическим ядром могут быть легко рассчитаны с помощью различных способов, например, с помощью решения Ми. Положение пика плазмонного резонанса определяется отношением толщины оболочки к диаметру ядра, диэлектрическими проницаемостями окружающей среды.

Кроме отдельных частиц, большой интерес представляет коллективное поведение взаимодействующих наночастиц с поверхностным резонансом. Если наночастицы или нанонити расположены на таком расстоянии, что их поля взаимодействуют, то плазмонные резонансы можно рассматривать как результат гибридизации плазмонов уединенных частиц, а их частоты и амплитуды могут существенно варьироваться. Более того, если составляющие наноэлементы образуют некоторую упорядоченную структуру, например, периодическую, то в дополнение к плазмонным резонансам возбуждаются еще и решеточные резонансы, более высокодобротные, чем плазмонные.

Следует отметить, что у более сложных структур резонансный спектр, как правило, богаче, а локальные поля в зазорах или в точках контакта различных частиц значительно сильнее.

#### **Список использованных источников:**

1. Kreibig U. Optical properties of metal clusters / Kreibig U., Vollmer M. // Springer series in materials science. 1995. Vol. 25. P. 535.
2. Noguez C. Surface plasmons on metal nanoparticles: the influence of shape and physical environment // Journal Physical Chemistry C. 2007. Vol. 111. P. 3806-3819.
3. Kalele S. Nanoshell particles: synthesis, properties and applications / Kalele S., Gosavi S. W., Urban J., Kulkarnil S. K. // Current Science. – 2006. – Vol. 91, N. 8. - P. 1038-1052.