

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Физико-математические науки

Физика

Оптика

Брюханов В.В., доктор физико-математических наук, проректор, профессор

Слежкин В.А., кандидат химических наук, доцент

Горлов Р.В., аспирант

Самусев И.Г., кандидат физико-математических наук, доцент, начальник управления научной и инновационной деятельности

(Калининградский государственный технический университет)

ПЕРЕНОС ПЛАЗМОННОЙ ЭНЕРГИИ С ШЕРОХОВАТЫХ СЕРЕБРЯНЫХ ПЛЕНОК НА МОЛЕКУЛЫ РОДАМИНА 6Ж В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛЕНКЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Исследовано изменение интенсивности быстрой флуоресценции молекул родамина 6Ж (Р6Ж) в матрице поливинилового спирта (ПВС), нанесенной на сплошную шероховатую серебряную пленку. Обнаружена частотная и угловая зависимость процесса переноса энергии с поверхностных плазмонов (ПП).

Ключевые слова: флуоресценция, плазмонный резонанс, сплошные шероховатые электроосажденные серебряные пленки, пленки ПВС с молекулами родамина 6Ж.

TRANSFER OF PLASMON ENERGY FROM ROUGH SILVER FILMS ON MOLECULES OF RHODAMINE 6G IN THE DIELECTRIC FILM OF POLYVINYL SPIRIT

Change of intensity of quick fluorescence of rhodamine 6G (R6G) molecules in a matrix of polyvinyl spirit (PVS), coated on to the continuous rough silver film, at excitation in it of surface plasmons (sP) has been investigated. It is found frequency and angular dependence of sP energy transfer and it is establish the influence of porosity on efficiency of fluorescence emission of rhodamine 6G molecules.

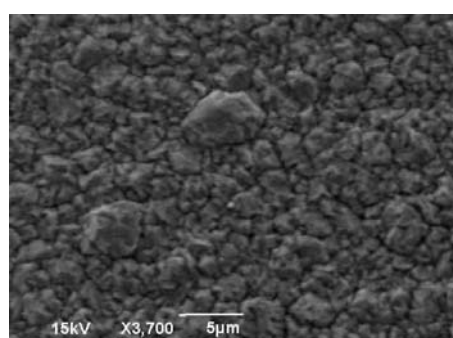
Keywords: fluorescence, plasmon resonance, continuous rough silver films, electrodeposited, chemical reduction, films of polyvinyl spirit with rhodamine 6G molecules

Введение. В последние годы усилился научный и практический интерес к металл-диэлектрическим наноструктурам, в которых возникают ПП [1–3] широко. Значительное усиление локального светового поля возникают в материалах, содержащих наночастицы золота и серебра [4], что приводит к таким явлениям как гигантское комбинационное рассеяние, люминесценция [5–6] с проявлением дистанционной зависимости $\sim r^{-10}$ [7]. В настоящей работе исследовалась быстрая флуоресценция молекул Р6Ж, внедренных в матрицу ПВС, которая создавалась на серебряных пластинах (пленках) с различной степенью шероховатости, полученных методом электроосаждения и химического восстановления.

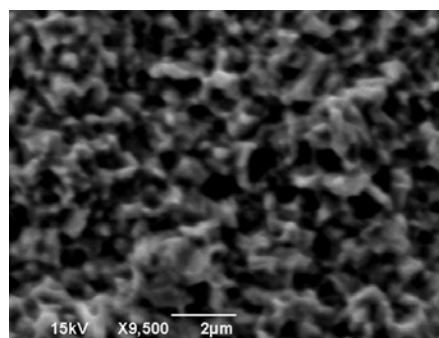
Методика эксперимента. Методика химического осаждения и анодного растворения подробно описана в работе авторов [8] и работе [9].

Спектры флуоресценции пленок ПВС с красителем исследовали на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама». Пленки с красителем имели оптическую плотность в первой полосе поглощения равную $D=0,15$ (толщина пленок ~ 25 мкм). Было показано, что при выбранных концентрациях ассоциаты красителя не образуются. Образцы в кюветном отделении располагали стандартным способом и с вариацией углов от 30° до 60° . Морфология полученных шероховатых серебряных пленок изучалась на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390 и туннельном микроскопе СММ-2000.

Результаты и их обсуждение. В первой серии экспериментов было изучена топология изготовленных серебряных пленок. На рис.1 (а, б) представлены сканы поверхности различных серебряных пленок, из которых видно, что анодное растворение к уменьшению размера зерен значительному увеличению глубины пор при анодном растворении $0,75$ мкм.



а) после электроосаждения



б) анодное растворение $0,75$ мкм

Рис.1. Сканы поверхности электроосажденных серебряных пленок, полученных на электронном микроскопе JSM-6390

На рис. 2 показана схема возбуждения пленок ПВС с красителем и серебряных пленок.

На рис. 2 схематически показано, что одновременно, с хаотически расположенными диполями молекул красителя, возможна генерация поверхностных плазменных колебаний в серебряной пленке вследствие прозрачности пленки ПВС. Эффективность появления поверхностных плазмонов зависит от угла возбуждения серебряной пленки [10] и поляризации падающей электромагнитной волны: р- поляризация или s- поляризация [5].

Наибольший интерес для решения поставленных в работе задач исследования представляло изучить изменение интенсивности флуоресценции пленок Р6Ж при возбуждении $\lambda_{\text{в}}=400$ нм. Это связано с тем, что по литературным данным на указанной длине волны в шероховатых серебряных поверхностях возникают поверхностные плазмоны, энергия которых распространяется в контактирующую диэлектрическую среду или вакуум [11]. На рис. 3 представлены спектры флуоресценции молекул Р6Ж в пленке ПВС ($C=3 \cdot 10^{-3}$ М) на стеклянных подложках и серебряных пленках с различной технологией приготовления (см. подписи под рисунком) при возбуждении с $\lambda_{\text{в}}=400$ нм. Из рисунка видно, что наибольшая интенсивность флуоресценции у пленок ПВС с молекулами Р6Ж наблюдается на серебряных пленках с матовой поверхностью. Из сравнения амплитуд флуоресценции красителя в максимуме полосы свечения видно, что пористость подложки значительно влияет на величину интенсивности красителя в пленке ПВС. Так, интенсивность флуоресценции молекул Р6Ж на матовой серебряной пленке даже больше, чем на зеркальной серебряной пленке (серебро химическое блестящее).

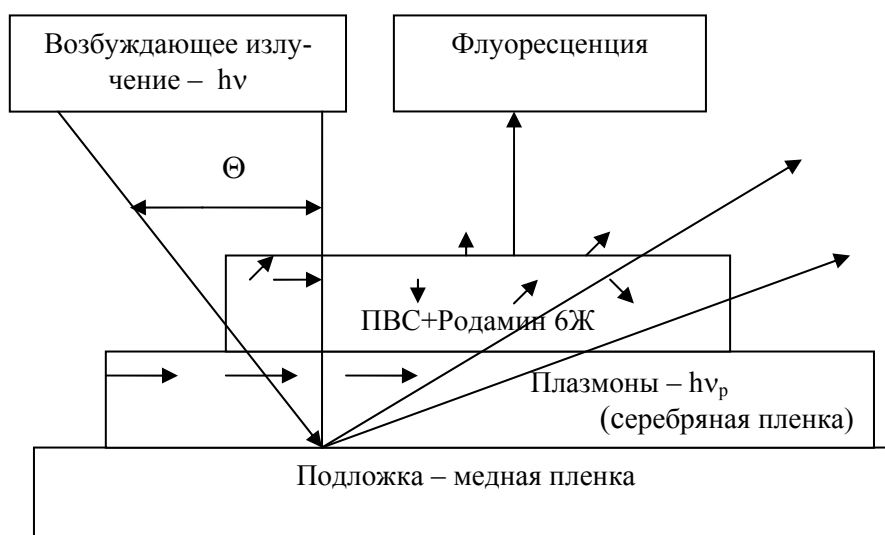


Рис. 2. Оптическая схема возбуждения ПП и переноса возбуждений с пористых пленок серебра на электронные состояния молекул Р6Ж в пленках ПВС; Θ – угол падения, ν_p – частота плазмонного излучения

На рис. 4 представлено отношение интенсивностей флуоресценции молекул Р6Ж в максимуме флуоресценции ($C = 3 \cdot 10^{-3} M$) в пленке ПВС на серебряных пленках с различным анодным растворением к интенсивности флуоресценции на матовой поверхности серебра в зависимости от длины волны возбуждения флуоресценции. Из рисунка видно, что максимальные уменьшения величины указанных отношений лежат в области спектра $\lambda_b = 400$ нм.

Полученная зависимость свидетельствует об участии поверхностных плазмонов серебряной пленки в переносе энергии на электронные состояния молекул Р6Ж вследствие резонанса плазменных колебаний и электронного перехода в молекулах Р6Ж на $\lambda = 400$ нм.

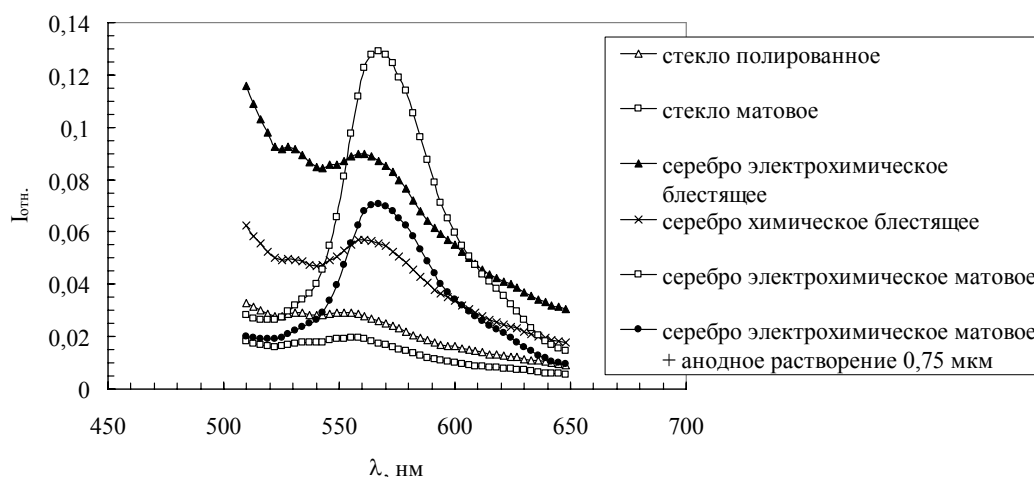


Рис.3. Спектры флуоресценции ($\lambda_p = 570$ нм) молекул родамина 6Ж ($C = 3 \cdot 10^{-3} M$) в пленке ПВС на серебряных пленках и стекле; $\lambda_b = 400$ нм

В соответствии с существованием угловой зависимости возбуждения поверхностных плазмонов [12], представляло интерес исследовать угловую зависимость усиления флуоресценции Р6Ж в нашей работе.