

05.2; 12

© 1992

ЧАСТОТНО-УГЛОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОННЫХ ПОЛЯРИТОНОВ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ В ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ

С.И. В а л я н с к и й, С.В. В и н о г р а д о в,
В.В. С а в р а н с к и й

Для успешного развития исследований в области экологии необходимо иметь набор высокоселективных и высокочувствительных датчиков по определению загрязнений. Одним из решений этой задачи могут стать датчики, чувствительная часть которых – ориентированные монослои различных органических молекул, активных селективно к различным загрязнителям. Такие монослои можно создавать и наносить на твердые подложки методом Ленгмюра–Блоджетт (ЛБ) или Ленгмюра–Шеффера (ЛШ). Регистрировать состояние молекул (провазимодействовали они с загрязнителем или нет) можно по изменению дисперсии поверхностных плазмонных поляритонных (ППП) волн, возбуждаемых в тонких металлических пленках, на которые наносятся монослои биологических молекул [1].

Высокая чувствительность дисперсии PPP волн связана с тем, что сами волны локализованы в тонкой приповерхностной части металлической пленки и на характер их распространения влияют свойства ближайших к поверхности металла молекул внешней среды. Дисперсия PPP волн описывается следующим выражением:

$$k^2 = (\omega/c)^2 \epsilon_1 \epsilon_2 / (\epsilon_1 + \epsilon_2),$$

где k и ω , соответственно, модуль волнового вектора и частота PPP волн, c – скорость света, ϵ_1 – диэлектрическая проницаемость металлической пленки, а ϵ_2 – диэлектрическая проницаемость среды, прилегающей к ней.

PPP волны можно возбудить следующим образом. Так как $\text{Re} \epsilon_1 < 0$ и $|\text{Re} \epsilon_1| > \epsilon_2$, металлическую пленку следует нанести на основание треугольной призмы и через нее подать на пленку свет. Причем, угол падения подбирается так, чтобы проекция волнового вектора падающего света совпала с волновым вектором PPP волны. Зарегистрировать возбуждение PPP волн можно по резкому падению интенсивности отраженного света. А так как этот угол больше угла полного внутреннего отражения, такой метод возбуждения PPP волн называется методом нарушенного полного внутреннего отражения (способ Кретчмана) [2]. Для правильного выбора металлической пленки и частоты возбуждения PPP волн в биологических датчиках необходимо знать дисперсионные кривые этих волн

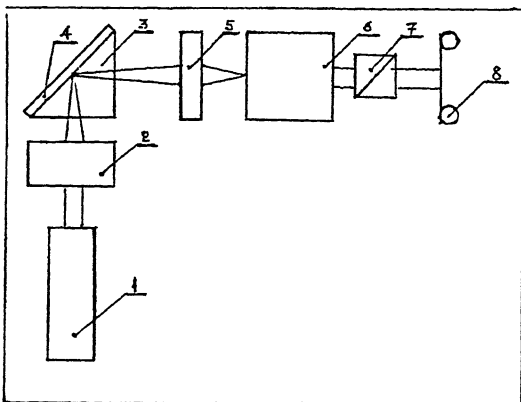


Рис. 1. Блок-схема установки.

в области возможных частот возбуждения. Для решения этой задачи была собрана установка, показанная на рис. 1. Схема аналогична установке для измерения дисперсии объемных плазмонов [3]. В этих схемах дисперсия плазмонов скрещена с дисперсией спектрального прибора. Наша установка работает следующим образом. Свет от источника (1) через формирующую оптическую систему (2) попадает на стеклянную призму (3), имеющую показатель преломления $n \sim 1.53$, на основание которой напылена тонкая металлическая пленка (4). Отраженный свет фокусируется с помощью устройства (5) на входную щель спектрометра (6) и, пройдя через него и поляризатор (7), попадает на систему регистрации (8), в качестве которой использовалась фотопленка либо фотоматрица.

Из металлов были выбраны такие, которые достаточно легко напыляются и, вместе с тем, обладают малым угловым размытием дисперсионных кривых. В качестве таковых были выбраны медь, золото, серебро и алюминий. Полученные спектры представлены на рис. 2. Плазменные частоты для меди и золота оказались очень низкими, вследствие этого низкой оказалась и граница существования предельной частоты ППП волн. Это обстоятельство накладывает ограничения на использование серебра и золота в тех случаях, когда необходимо проводить измерения в более высокочастотной области спектра возбуждения. Что касается алюминия, то из-за того, что на его поверхности образуется толстая оксидная пленка, его дисперсионная кривая претерпевает очень сильное угловое уширение. Оно приблизительно в 6 раз шире, чем на серебре, и в три раза шире, чем на меди или золоте (т.е. широкому использованию алюминиевых пленок препятствует их плохой угловой контраст). Не лишена недостатков и серебряная пленка. Со временем и она покрывается окисной пленкой, но процесс этот медленный. Приблизительно за полгода серебряная пленка окисляется так, что наблюдать на ней возбуждение ППП волн не удастся. Не препятствует во многих

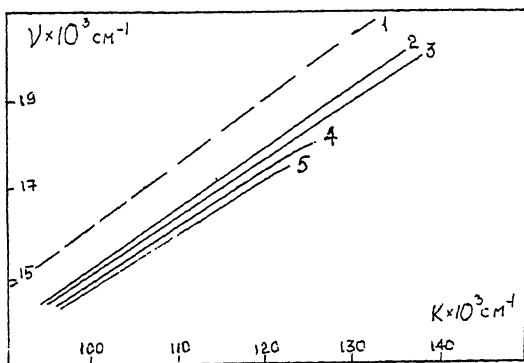


Рис. 2. Дисперсионные кривые ППП волн: 1 - света в вакууме, 2 - в серебряной пленке, 3 - в алюминиевой пленке, 4 - в золотой пленке, 5 - в медной пленке.

случаях этому процессу и покрытие серебряных пленок ЛБ слоями. Кроме того, следует учитывать, что для всех металлических пленок, по мере увеличения частоты возбуждения ППП волн, увеличивается и угловая размытость дисперсионных кривых. Так, для серебра угловая размытость дисперсионной кривой в красной и синей области различаются, приблизительно в три раза (при $\lambda \sim 630$ нм угловое размытие по полуширине составляет 0.35° , а при $\lambda \sim 450$ нм - 1.25°). Это обстоятельство также следует учитывать при выборе частоты возбуждения ППП волн. Кроме того, из дисперсионных кривых можно получить информацию о диэлектрической проницаемости и толщине различных металлических пленок в разных спектральных диапазонах, согласно методике, описанной в работе [2]. В качестве примера мы приводим значения толщин и диэлектрических проницаемостей для четырех различных металлических пленок при длине волны возбуждения 630 нм.

Для серебряной пленки толщиной 30 нм $\epsilon = (-18.25 \pm 0.1) + i(0.49 \pm 0.2)$.

Для алюминиевой пленки толщиной 25 нм $\epsilon = (-7.7 \pm 0.1) + i(4.03 \pm 0.2)$.

Для золотой пленки толщиной 50 нм $\epsilon = (-8.75 \pm 0.1) + i(0.91 \pm 0.2)$.

Для медной пленки толщиной 50 нм $\epsilon = (-8.15 \pm 0.1) + i(0.15 \pm 0.2)$.

Полученные результаты позволяют подбирать соответствующую металлическую пленку и частоту возбуждения ППП волн для оптимизации создаваемых на их основе биодатчиков.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А л е к с е е в А.С., В а л я н с к и й С.И. и др. // Изв. АН СССР (сер. физическая). 1990. Т. 54. С. 1915.
- [2] Н и к и т и н А.К., Т и ш е н к о А.А. // Зарубежная радиоэлектроника. 1983. № 3. С. 38.
- [3] П о л и в а н о в Ю.Н. // УФН. Т. 126. С. 185.

Институт общей
физики РАН,
Москва

Поступило в Редакцию
18 февраля 1992 г.