

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕНГМЮР-БЛОДЖЕТТ ПЛЕНОК С ПОМОЩЬЮ УГЛОВЫХ И ЧАСТОТНО-УГЛОВЫХ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОННЫХ ПОЛЯРИТОНОВ

С.И. Валянский, Т.М. Конфоркина, В.В. Савранский

Проведены экспериментальные исследования свойств Ленгмюр-Блоджетт пленки арахисовой кислоты методом нарушенного полного внутреннего отражения по изменению угловых и частотно-угловых спектров поглощения поверхностных плазмонных поляритонов в среде.

В последнее время внимание исследователей привлечено к возможности создания чувствительных и высокоселективных сенсоров для определения загрязнения внешней среды на основе приборов, чувствительная часть которых — это создаваемые на поверхности воды ориентированные монослои органических молекул, перенесенные затем на твердую подложку, называемые Ленгмюр-Блоджетт (ЛБ) пленками /1/. Изменение физического состояния молекул ЛБ пленок из-за взаимодействия с загрязнителем контролируется с помощью какого-нибудь физического метода. Одним из наиболее чувствительных методов может быть анализ изменения дисперсии поверхностных плазмонных поляритонов (ППП), которая весьма чувствительна к состоянию поверхности, так как ППП — это электромагнитная волна, которая локализована в узкой приповерхностной области. На условия ее распространения влияют параметры границы поверхности. Дисперсия ППП имеет вид /2/: $k^2 = (\omega/c)^2 \epsilon_1 \epsilon_2 / (\epsilon_1 + \epsilon_2)$, где ω — частота плазмона; k — волновой вектор; ϵ_1 — диэлектрическая проницаемость металла; ϵ_2 — диэлектрическая проницаемость среды, прилегающей к металлу.

Для эксперимента использовалась установка, блок-схема которой показана на рис. 1. Свет от источника 1 (в качестве которого использовалась либо лампа накаливания для получения частотно-угловых спектров, либо лазер для получения угловых спектров) падал на стеклянную призму 2 с показателем преломления $n = 1,533$. На эту призму наносился слой серебра 4 толщиной ~ 30 нм. На часть металлического покрытия была нанесена ЛБ пленка арахисовой кислоты 3, перенесенная с поверхности воды на твердую подложку при величине поверхностного давления равной 25 мН/м, частично — в виде монослоя, частично — в виде двойного слоя. При этом был оставлен участок с чистым металлом. Отраженный от основания призмы свет фокусировался призмой 5 на входную щель спектрометра 6. (При получении угловых спектров линза 5 и

спектрометр 6 отсутствовали.) После спектрометра спектр пропусклся через поляризатор и попадал на регистрирующую систему 8. Призма 2 подстраивалась для наблюдения эффекта нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) за счет генерации ППП. В случае фиксированной частоты возбуждения ППП зависимость интенсивности отраженного света от угла падения света дает угловой спектр ППП. В случае, если полихромный пучок света попадает на призму 2, а потом на спектрометр, частотно-угловая дисперсия которого перпендикулярна частотно-угловой дисперсии призмы, можно получить двумерную спектрограмму, представляющую собой дисперсионную кривую ППП. (Подобная оптическая схема применяется для регистрации частотно-угловых спектров комбинационного рассеяния света на объемных фононных поляритонах /3/.)

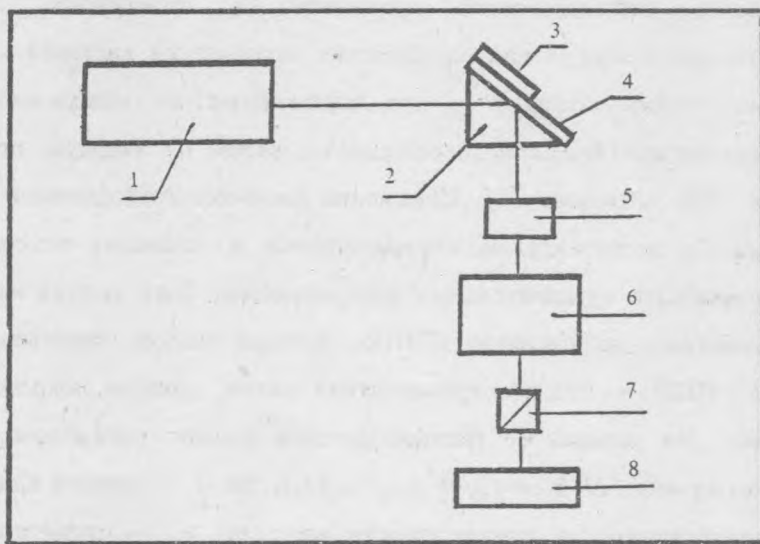


Рис. 1. Блок-схема установки для получения угловых и частотно-угловых спектров ППП.

На рис. 2 представлены угловые спектры ППП серебряной пленки и нанесенных на нее монослоев арахиновой кислоты. На рис. 3 представлены частотно-угловые спектры ППП серебра и нанесенных на него монослоев арахиновой кислоты. Используя методику расчета параметров тонких пленок, описанную в работе /4/, из представленных на рисунках результатов можно найти диэлектрическую проницаемость серебряной пленки на длине волны $0,6328 \text{ мкм}$, а также изменение волнового вектора поверхностных плазмонов за счет того, что на ней имеется монослойная пленка арахиновой кислоты. Для серебра $\epsilon = (-28,25 \pm 0,1) + i(0,49 \pm 0,2)$. Для арахиновой кислоты $\epsilon \sim (2,6 \pm 0,3)$. Толщина монослоя $d \sim (2,3 \pm 0,5) \text{ нм}$. Изменение волнового

вектора ППП за счет монослоя арахидиновой кислоты $\text{Re}\Delta k/k = (5,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$, $\text{Im}\Delta k/k = (4,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$

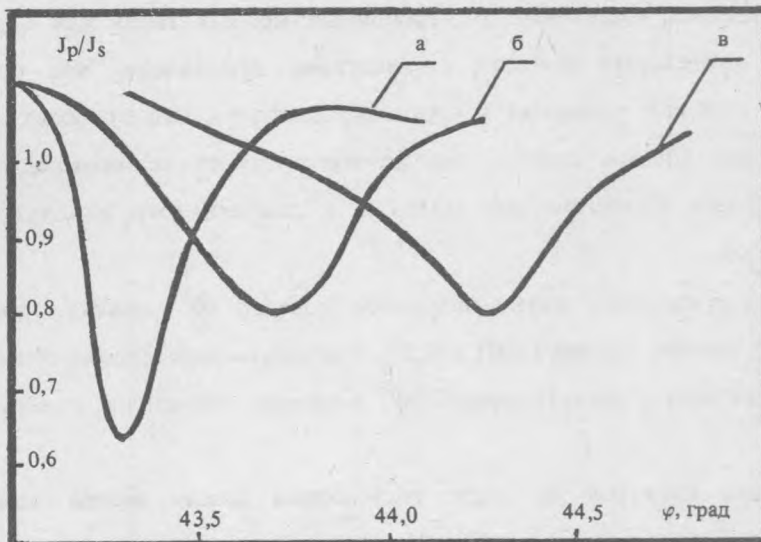


Рис. 2. Угловые спектры ППП: тонкой серебряной пленки (а); серебряной пленки и нанесенного на нее одного монослоя арахидиновой кислоты (б); серебряной пленки с двумя монослоями арахидиновой кислоты (в); J_p и J_s — интенсивности отраженного света соответственно р- и s- поляризации.

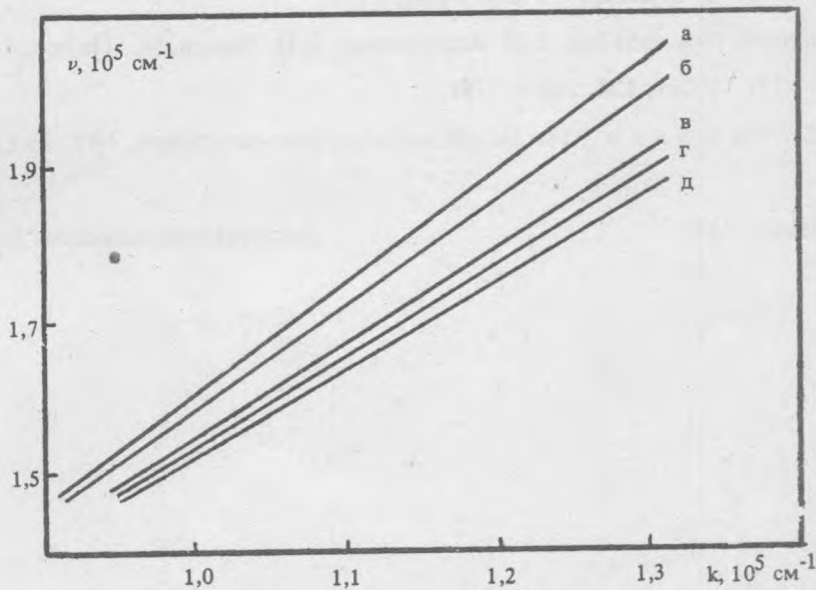


Рис. 3. Частотно-угловой спектр ППП: свет в вакууме, $\nu = k/2\pi$, (а); серебряная пленка в вакууме (б); серебряная пленка после месяца нахождения в воздухе (в); серебряная пленка с одним монослоем арахидиновой кислоты (г); серебряная пленка с двумя монослоями арахидиновой кислоты (д).

Проведенные исследования показывают, что наличие монослоя на поверхности серебряной пленки приводит к заметным изменениям положения и формы угловых спектров ППП, а также и частотно-угловых спектров. Сравнение дисперсионных кривых ППП для серебра в вакууме и серебра, имевшего длительный контакт с воздухом, показывает, что поверхность серебра покрывается тонкой пленкой толщиной в несколько ангстрем, что приводит к незначительному изменению параметров пленки серебра, но не препятствует ее применению для нанесения мономолекулярных слоев биологических молекул и дальнейшему использованию в качестве биологических сенсоров.

Если учесть, что в световом пятне находится порядка 10^{11} молекул арахидоновой кислоты, дающих сдвиг дисперсионной кривой ППП в $0,5^\circ$, а точность определения этого сдвига составляет $0,05^\circ$, то такой датчик может регистрировать 10^{10} молекул, что вполне приемлемо для успешной его работы.

Уширение угловых спектров по мере уменьшения длины волны возбуждающего света показывает, что наиболее оптимальными являются красный и инфракрасный источники возбуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fifth Int. Conf. on Langmuir—Blodgett Films. Parig, 1991.
2. Поверхностные поляритоны, под ред. В.М. Аграновича, Д.П. Милса. М., Наука, 1985.
3. Поливанов Ю.Н. УФН, 126, 185 (1978).
4. Никитин А.К., Тищенко А.А. Зарубежная радиоэлектроника, №3, 38 (1983).

Институт общей физики РАН

Поступила в редакцию 11 февраля 1992 г.