

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕНГМЮРОВСКИХ ПЛЕНОК БАКТЕРИОРОДОПСИНА МЕТОДОМ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ

А.С. Алексеев, С.И. Валянский, В.В. Савранский

Проведены экспериментальные исследования нелинейных свойств моно- и мультислойных пленок бактериородопсина, нанесенного методом Ленгмюр-Блоджетт (ЛБ) на твердые подложки. Показано, что метод генерации второй гармоники может быть эффективно использован для анализа ориентации молекул и качества ЛБ пленок бактериородопсина.

В молекулярной электронике, ставящей одной из своих задач создание элементов с размерами молекул, большое значение имеет применение технологии ЛБ для приготовления пленок с заданной ориентацией молекул. Создание подобных пленок требует развития простых и надежных методов, дающих информацию о структуре пленок, их однородности и физических свойствах. Такими методами могут стать нелинейно-оптические, успешно применяемые для анализа поверхности твердых тел. Выбор молекулы бактериородопсина (БР) в качестве объекта исследования связан с тем, что действием света в этих молекулах можно вызвать различные обратимые физико-химические процессы, в частности, под действием импульса света БР может генерировать фотопотенциал. Это делает пленки из ориентированных молекул БР весьма перспективными для создания устройств молекулярной электроники. А достаточно большое значение нелинейных констант делает возможным использование метода генерации второй гармоники (ГВГ) для анализа ЛБ-пленок из этого материала [1].

Пленки БР получали методом ЛБ на установке KSV-2000 (Финляндия). На поверхность воды наносили небольшое количество раствора молекул БР и фосфолипида в гексане. После испарения гексана смесь на поверхности воды поджималась до образования монослоя (~ 35 дин/см). Часть образовавшейся пленки затем переносили на твердую подложку, сохраняя неизменной величину поверхностного давления. В качестве подложек использовались пластинки из оргстекла, плавленного кварца или монокристаллического кремния. Подготовка подложек и приготовление пленок с молекулами БР проводились по методике [2, 3], которая позволяла получать монослойные пленки и мультислойные структуры.

Сигнал второй гармоники (ВГ) наблюдали при отражении от ЛБ пленок или при прохождении через них (подложка прозрачная) импульсов излучения YAG:Nd³⁺ лазера с модуляцией добротности, длиной волны $\lambda = 1060$ нм, длительностью 10 нс и энергией в импульсе $E \sim 0,5$ мДж. Диаметры пятна излучения на пленке варьировались от 0,1 до 0,5 мм. Излучение ВГ с $\lambda = 532$ нм после прохождения фильтра, отсекающего излучение с $\lambda = 1060$ нм, регистрировалось на ФЭУ-79, сигнал с которого подавался на стробируемый усилитель-накопитель. Калибровка установки для ГВГ проводилась с помощью тонкой монокристаллической кварцевой пластинки.

Мощность второй гармоники P_2 , возбуждаемой при прохождении одномодового гауссова пучка света с угловой частотой ω и мощностью P_1 , описывается выражением [4]:

$$P_2 = (2\mu_0^{3/2} \epsilon_0^{1/2} \omega^2 d_{ij} P_1 l^2 / \pi W_0 n_2 n_1^2) [\sin (l\Delta k/2) / (l\Delta k/2)]^2,$$

где n_1 и n_2 — показатели преломления кристалла на частотах основного излучения и второй гармоники; W_0 — радиус основы гауссова пучка; μ_0 и ϵ_0 — магнитная и диэлектрическая проницаемости вакуума; d_{ij} — составляющая тензора нелинейной оптической восприимчивости второго порядка; l — толщина кристалла; $\Delta k = k_2 - 2k_1$ (k_1 и k_2 — волновые числа падающей волны и преобразованной во вторую гармонику). Для кварца $d_{11} \sim 3,6 \cdot 10^{-13}$ м/В. Отсюда значение $d_{БР \text{ эфф}}$ составляет $(3,3 \pm 1,4) \cdot 10^{-11}$ м/В. Под дейст-

висм возбуждающего света в БР происходит изменение показателя преломления, но величина этого изменения мала и может не учитываться при данной точности измерений /5/.

При исследовании ЛБ пленок, содержащих БР, было определено, что сигнал ГВГ слабо зависит от поляризации (Р или S) падающего излучения, а также от вращения образца вокруг оси, лежащей в плоскости падения излучения и проходящей через центр светового пятна. В то же время наблюдалась зависимость мощности ГВГ от числа слоев N: $P_2 \propto N^2 P_1^2$.

Эти эксперименты позволяют сделать следующие выводы.

1. Метод ГВГ является удобным и простым для определения однородности ЛБ пленок на основе БР. Используя значение $d_{BR \rightarrow фф}$, можно определить количество монослоев ЛБ пленки БР, начиная с одного.

2. Из отсутствия зависимости от поляризации падающего излучения следует, что главная ось молекулы БР не перпендикулярна поверхности подложки, а составляет с ней некоторый угол, близкий к 45° . Отсутствие угловой зависимости от азимутального вращения ЛБ пленок БР указывает, что пленка на подложке состоит из набора доменов, в каждом из которых молекулы ориентированы, но суммарная поляризация в доменах друг относительно друга ориентирована произвольно. Это подтверждает и тот факт, что при увеличении света на подложке зависимость интенсивности второй гармоники от угла поворота ЛБ пленки в азимутальной плоскости меньше флуктуирует и приближается к константе.

3. Большое значение $d_{BR \rightarrow фф}$ (в десять раз больше, чем у ниобата лития) делает ЛБ пленки БР весьма перспективными преобразователями света для оптоэлектроники, но только для тонких слоев, поскольку молекулы БР обладают поглощением в видимой части спектра.

ЛИТЕРАТУРА

1. А к ц и н с т р о в О. А. и др. Письма в ЖЭТФ, 37, 175 (1983).
2. S a n - B a o H w a n g et al. Biochime and Biophysica Acta, 509, 300 (1978).
3. S a n - B a o H w a n g et al. J. Membrane Biol., 36, 115 (1976).
4. S w a l e n J. D. Thin Solid Films, 160, 197 (1988).
5. С а в р а н с к и й В. В., Т к а ч е н к о Н. В., Ч у х а р о в В. И. Биологические мембраны, 4, 479 (1987).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 19 октября 1988 г.