

ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ЛЕНГМЮР-БЛОДЖЕТТ ПЛЕНКАХ КОРБАТИНА НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ

© С.А.Комолов, К.Шамбург, Н.Б.Герасимова, А.О.Морозов

Научно-исследовательский институт физики
Санкт-Петербургского государственного университета
(Поступило в Редакцию 16 июня 1995 г.)

Введение

Электронные и фотоэлектрические свойства различных тонких органических пленок на металлических и полупроводниковых подложках являются предметом пристальных исследований, что обусловлено широкими возможностями их применения в различных областях науки и техники [1-4]. Среди применяемых органических пленок особо следует выделить функциональные, самоорганизующиеся тонкие пленки, приготовленные методом Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ) [5-8]. В этой работе мы представим результаты исследований фотовольтаических свойств ЛБ пленок корбатина, недавно синтезированных в Центре изучения молекулярных взаимодействий (Копенгагенский университет, Дания).

Описание эксперимента

Поперечный фотовольтаический эффект в наших экспериментах был исследован с применением методики спектроскопии полного тока (СПТ) [9,10]. В СПТ осуществляется непосредственный контакт низкоэнергетического электронного пучка с исследуемой поверхностью. Такая методика не требует предварительного нанесения металлических контактов на исследуемую поверхность. Параллельный пучок медленных электронов направляется по нормали к исследуемой поверхности и регистрируется полный ток, проходящий через образец, как функция энергии падающих на поверхность электронов. Энергия электронов варьируется в пределах 0-10 эВ. Для более уверенного выявления особенностей энергетической структуры в спектроскопии ПТ измеряют производную по энергии от полного тока, используя методику синхронного детектирования. Резкое увеличение проходящего тока при условии совпадения потенциала поверхности с потенциалом катода электронной пушки регистрируется в спектре ПТ как первичный максимум, энергетическая локализация которого соответствует потенциалу поверхности. Изменение потенциала поверхности вследствие внешних воздействий (например, фотовольтаический эффект) сопровождается смещением первичного максимума по шкале энергий. Такие измерения подобны методикам задерживающего потенциала и фотомодулированного тока [11,12]. Наша аппаратура позволяет регистрировать изменения поверхностного потенциала на уровне 10^{-3} В.

Объектом исследования служили ЛБ пленки корбатина различной толщины (2Y- и 38Y-слоев) на поверхности аморфного кремния. Макромолекула корбатина состоит из ароматической группы, включающей в себя 2 атома серы, и углеводородной цепочки, между которыми включена аминогруппа. Химическое название и формула: октадециламинометилдегидрокорбатин ($C_{18}H_{37}NHCH_2C_{26}S_2H_{11}$). Кремнивая подложка предварительно очищалась от окисла по стандартной схеме. Осаждение пленки корбатина осуществлялось в лентгмюровской ванне (KSV-500-3).

Обсуждаемый в работе спектр оптического поглощения был измерен на 38Y-пленке корбатина, осажденной на поверхности полированного стекла с применением абсорбционного спектрометра Ламбда 9-UV-VIS-NIR (Rakin Elmer).

Результаты и обсуждение

Пленка корбатина после установки в высоковакуумную камеру ($P < 10^{-7}$ Па) характеризовалась стабильным значением величины потенциала поверхности в течение всего периода измерений в условиях комнатной температуры. Было установлено, что продолжительное воздействие на поверхность низкоэнергетического ($E < 50$ эВ) электронного пучка с плотностью тока $j < 10^{-9}$ А · см⁻² не изменяет электрофизические характеристики пленки корбатина. Использование плотности тока 10^{-9} А · см⁻² позволило практически исключить влияние эффекта зарядки пленки проходящим током на результаты измерения фотопотенциала. Заметим, что при работе с плотностью тока 10^{-6} А · см⁻² падение напряжения на пленке вследствие зарядки проходящим током для 38Y-пленки, толщина которой 76 нм, составляло 0.5 В, что позволило оценить величину удельного сопротивления поперек пленки $p_1 = 0.7 \cdot 10^{11}$ Ом · см.

Освещение пленки корбатина на кремниевой подложке в видимой области спектра сопровождалось фотостимулированным изменением потенциала поверхности, которое соответствовало уменьшению работы выхода поверхности.

Была исследована зависимость величины фотопотенциала U_{ph} от интенсивности освещения поверхности излучением He-Ne лазера ($h\nu = 1.96$ эВ) в диапазоне интенсивностей $P = 0-300 \cdot 10^{-6}$ Вт · см⁻².

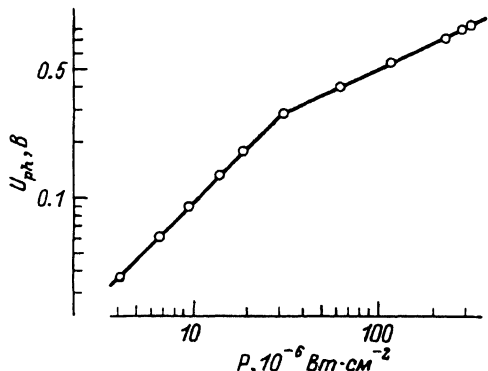


Рис. 1. Логарифмическая зависимость фотопотенциала U_{ph} от интенсивности света ($h\nu = 1.96$ эВ).

На рис. 1 показана полученная зависимость в логарифмическом масштабе для 38У-пленки корбатина. Выявляются два линейных участка: в области низких интенсивностей $0 < P < 30 \cdot 10^{-6} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ с угловым коэффициентом 1 и в области высоких интенсивностей $P > 30 \cdot 10^{-6} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ с угловым коэффициентом 0.5. Таким образом, фотопотенциал 0.1 В возбуждается при интенсивности освещения $10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$, что соответствует фоточувствительности исследуемой системы в области линейной характеристики $10^4 \text{ В} \cdot \text{Вт}^{-1} \cdot \text{см}^2$. В области высокой интенсивности величина фотопотенциала достигает 0.8 В.

Фотопотенциал исследуемой системы характеризуется зависимостью от энергии кванта (длины волны) возбуждающего света. Полученная спектральная характеристика фотопотенциала показана на рис. 2: кривая 1 — для 38У-пленки, кривая 2 — для 2У-пленки (толщина пленок 76 нм и 3.8 нм соответственно). Все точки измерены при средней интенсивности света $15 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/см}^2$. Приведенные данные скорректированы на спектральное распределение источника света с монохроматором и приведены к одинаковой интенсивности освещения. На рисунке кривые нормированы на низкоэнергетический максимум. В спектральных распределениях фотопотенциала прослеживаются два максимума. Первый расположен в диапазоне энергий квантов 1.2–1.5 эВ, второй — в диапазоне 1.8–2.2 эВ. Следует отметить, что второй (высокоэнергетический) максимум сильно ослабляется при переходе к тонкой (2У-слоя) пленке корбатина. Такое поведение указывает на связь этого максимума с процессами фотовозбуждения непосредственно в пленке корбатина. В нижней части рис. 2 приведена спектральная характеристика оптического поглощения в пленке корбатина (кривая 3) в сравнении с разностной кривой фотопотенциалов (кривая 4), она получена путем вычитания кривой 2 из кривой 1. Оптическое поглощение в пленке корбатина характеризуется двухкомпонентным максимумом, расположенным в диапазоне 1.8–2.2 эВ. Хорошее соответствие кривых 3 и 4 свидетельствует о том, что высокоэнергетический максимум в спектральном распределении фотопотенциала обусловлен процессами фотовозбуждения в пленке. Зная величину коэффициента поглощения в максимуме ($K = 2.6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$), можно оценить, какая часть излучения поглощается в пленке, а какая часть в подложке.

Пленка толщиной 76 нм поглощает 19% излучения, а пленка толщиной 3.8 нм поглощает 0.5% излучения. Остальное излучение поглощается в приповерхностной области кремниевой подложки. При этом следует отметить, что низкоэнергетический максимум спектрального распределения фотопотенциала расположен вблизи края фундаментального поглощения в кремнии (1.15 эВ) и соответствует области высокой фотопроводимости и фотопотенциала в образцах кремния [12,13].

Сопоставляя полученные экспериментальные данные, можно предложить следующую физическую модель наблюдаемого фотовольтаического эффекта. В силу донорных свойств молекул корбатина первый слой пленки, находящийся в контакте с поверхностью кремния, приобретает положительный заряд, отрицательный заряд аккумулируется в поверхностных состояниях кремния, что обуславливает сильный приповерхностный загиб зон в кремнии. С другой стороны, на границе раздела пленка/вакуум инициируется отрицательный заряд,

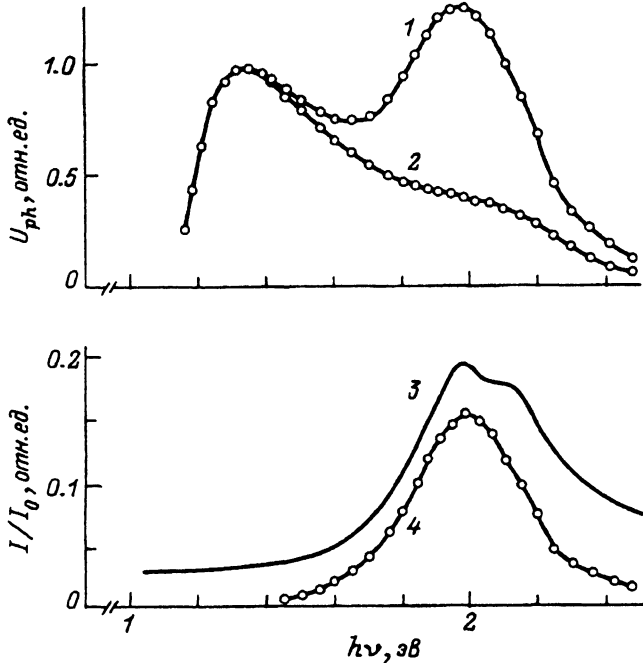


Рис. 2. Спектральное распределение фотопотенциала для пленок разной толщины.

1 — 76 нм, 2 — 3,8 нм, 3 — спектральное распределение $I/I_0(h_0)$ оптического поглощения в пленке корбатина, 4 — разностная кривая фотопотенциалов.

создавая дополнительное падение напряжения поперек пленки. Поглощение квантов света в пленке (высокоэнергетический максимум) сопровождается созданием в ней носителей заряда, появление которых компенсирует исходный заряд на пленке. Возникающее при этом изменение потенциала поверхности регистрируется как поверхностный фотопотенциал. Для излучения низкоэнергетического диапазона пленка корбатина практически прозрачна, кванты света поглощаются в приповерхностной области кремния, генерируя электронно-дырочные пары. Фотоиндуцированное увеличение концентрации носителей сопровождается компенсацией объемного заряда, а также и заряда в поверхностных состояниях, что приводит к уменьшению загиба зон, которое также дает вклад в измеряемую величину фотопотенциала.

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют, что ЛБ пленки корбатина на поверхности кремния оказались устойчивыми в вакууме под действием низкоэнергетического электронного пучка ($E = 50$ эВ, $j = 10^{-9}$ А · см $^{-2}$) и характеризуются относительно высокой фотovoltaической чувствительностью = 10^4 В · Вт $^{-1}$ · см 2 . В спектральной характеристике фотопотенциала обнаружены два максимума: высокоэнергетический, расположенный в области сильного оптического поглощения пленки корбатина, и низкоэнергетический, расположенный в области фундаментального поглощения кремния. Наблюдаемый

фотопотенциальный эффект рассматривается как результат суммирования фотопотенциалов, возникающих как на границе раздела кремний/пленка, так и на границе раздела пленка/вакуум. Представленные данные являются результатом совместных исследований, выполняемых в Санкт-Петербургском и Копенгагенском (Дания) университетах.

Список литературы

- [1] *Dahlberg S.C.* // Appl. Surf. Sci. 1983. Vol. 14. P. 47.
- [2] *Dahlberg S.C., Musser M.E.* // Appl. Surf. Sci. 1980. Vol. 91. P. L23.
- [3] *Hatta A., Inoue T.* Surf. Sci. 1991. Vol. 51. P. 193.
- [4] *Nishikata Y., Fukui S., Kakimoto M.* // Thin Solid Films. 1992. Vol. 210/211. P. 296.
- [5] *Naito R., Minra A.* // J. Am. Chem. Soc. 1993. Vol. 115. P. 5185.
- [6] *Sun F., Grainger D.W., Castner D.G.* // J. Vac. Sci. Technol. 1994. Vol. A12. P. 2499.
- [7] *Porter M.D., Bright T.B., Allare D.L.* // J. Am. Chem. Soc. 1987. Vol. 109. P. 3559.
- [8] *King D.E., Czandevna A.W., Spanlding D.* // J. Vac. Sci. Technol. 1993. Vol. A11. P. 180.
- [9] *Комолов С.А., Быкова Т.Т., Лазнева Э.Ф.* // Письма в ЖТФ. 1975. Т. 1. С. 92.
- [10] *Комолов С.А.* // Поверхность. 1985. № 5. С. 5.
- [11] *Haas G.A., Skin A., Thomas K.E.* // Appl. Surf. Sci. 1977. Vol. 1. P. 59.
- [12] *Dahlberg S.C.* // Surf. Sci. 1979. Vol. 83. P. 343.
- [13] *Goldstam B., Szostan D.L.* // Surf. Sci. 1980. Vol. 99. P. 235.

01;10

Журнал технической физики, т. 66, в. 7, 1996

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЯПРОЛЕТНАЯ ФОКУСИРОВКА ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ТРАНСАКСИАЛЬНЫХ ЗЕРКАЛАХ

© Л.Г.Гликман, Ю.В.Голоскоков, С.П.Карецкая

Институт ядерной физики АН Казахстана,
480082 Алма-Ата, Казахстан
(Поступило в Редакцию 19 июня 1995 г.)

Пространственная фокусировка пучков заряженных частиц с криволинейной осевой траекторией в электростатических трансаксиальных системах исследовалась ранее в работах [1,2]. Здесь получена новая информация о свойствах пространственной и времяпролетной фокусировки в трансаксиальных зеркалах. Используются результаты работы [1], а также результаты исследования [3], относящегося к произвольной электронно-оптической системе со средней плоскостью.

Обратимся к соотношениям (20), (22), (23) работы [3]. Преобразуем их, заменив коэффициенты разложений по канонически сопряженным переменным на коэффициенты традиционно используемых разложений,

$$x = K_{\alpha}x'_0 + K_x x_0 + K_{\epsilon} \epsilon_0 + K_{\alpha\alpha} x_0'^2 + K_{\alpha x} x'_0 x_0 + K_{xx} x_0^2 + K_{\beta\beta} y_0'^2 + \\ + K_{\beta y} y_0' y_0 + K_{yy} y_0^2 + K_{\alpha\epsilon} x'_0 \epsilon_0 + K_{x\epsilon} x_0 \epsilon_0 + K_{\epsilon\epsilon} \epsilon_0^2,$$