

Релаксация фотодиэлектрического эффекта в слоях Pb_3O_4

© В.Т. Аванесян[¶], Е.П. Баранова

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
191186 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 25 января 2007 г. Принята к печати 5 февраля 2007 г.)

Представлены экспериментальные результаты исследования кинетики фотодиэлектрического эффекта в слоях свинцового сурика Pb_3O_4 . Фотоёмкостные свойства и диэлектрические потери в условиях светового возбуждения изучались при варьировании спектрального состава излучения в области низких частот измерительного поля. Величины изменений диэлектрических параметров устанавливаются в течение длительного времени после включения (выключения) света. Обсуждается взаимосвязь фотодиэлектрических явлений с особенностями структуры полупроводника, в частности, с наличием электронов неподеленной пары, принадлежащей катионам Pb^{2+} .

PACS: 73.50.Pz, 77.22.Gm, 81.40.Tv

1. Введение

Среди компонентов окисно-свинцового ряда свинцовый сурик Pb_3O_4 отличает стабильность фазового состава в тонких слоях, соответствие спектральной области фотоэлектрической чувствительности видимому диапазону, пирозлектрические и сегнетоэлектрические свойства [1]. Высокое удельное сопротивление наряду с большой плотностью глубоких локальных состояний обуславливает возможность применения оксида Pb_3O_4 для формирования электретной структуры.

Зарядовые процессы лежат в основе функционирования большинства приборов полупроводниковой опто- и радиоэлектроники, определяя их важнейшие эксплуатационные параметры. Предварительные исследования показывают, что электропроводность в оксиде Pb_3O_4 сопровождается протеканием значительных поляризационных процессов как в темновом режиме измерения, так и при световом возбуждении [2].

Для установления энергетической структуры и природы локальных состояний эффективным оказывается экспериментальное изучение процессов диэлектрической релаксации в условиях воздействия различных внешних факторов. Темп генерации носителей заряда с ловушечных уровней и захват на них оказывают влияние на инерционные свойства электронных приборов, формируемых на основе высокоомных материалов.

Исследование фотодиэлектрического эффекта (ФДЭ) [3] является информативным методом измерения фотопроводимости в переменных электрических полях и позволяет изучать поведение носителей заряда с ограниченной по ряду причин возможностью перемещения в фотопроводнике. В ряде исследований ФДЭ привлекается для анализа возможности определения параметров локальных состояний в запрещенной зоне полупроводника [4].

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований кинетики изменения диэлектрических параметров слоев Pb_3O_4 при их световом возбуждении.

2. Эксперимент

Измерения проводились на слоях свинцового сурика, для изготовления которых применялся порошок Pb_3O_4 марки ЧДА. Указанные слои были нанесены на стеклянные подложки с проводящим прозрачным слоем двуокиси олова SnO_2 (нижний электрод); в качестве верхнего электрода использовалась станиоловая фольга. Связующее вещество — кремнийорганический лак — обладал высокой прозрачностью и представлял собой высокоомный, нечувствительный к световому возбуждению слой между фотопроводящими зёрнами поликристаллического Pb_3O_4 . Полученные слои имели толщину порядка 50 мкм и площадь $\sim 20 \text{ см}^2$.

Определение ёмкости C и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ образцов осуществлялось в слабом переменном поле с применением измерителя иммитанса LCR-819 на фиксированной частоте $f = 10^3 \text{ Гц}$ при амплитуде измерительного напряжения 0.04 В. Точность измерений параметров составляла 0.1%.

Освещение сэндвич-структур проводилось через слой SnO_2 в продольном режиме измерения. Исследуемые слои облучались квантами света с энергией $E_0 = h\nu$, соответствующей видимому диапазону ($E_0 = 1.56\text{--}3.13 \text{ эВ}$) с постоянной интенсивностью $\Phi = 25 \text{ мВт/см}^2$, при использовании светофильтров с нормированной спектральной кривой показателя поглощения. Одновременно с этим обеспечивались предварительные изоквантовая и изоэнергетическая градуировки источника светового возбуждения. Все измерения проводились при температуре $T = 293 \text{ К}$.

3. Результаты и обсуждение

На рис. 1, 2 представлены результаты измерения кинетических кривых фотоёмкости ΔC и изменения тангенса угла диэлектрических потерь $\Delta \text{tg } \delta$, нормированных к их темновым значениям. Приведенные данные демонстрируют положительный ФДЭ в исследуемой оксидной структуре. Обнаруженный эффект проявляется без наличия смещающего поля.

[¶] E-mail: avanesyan@mail.ru

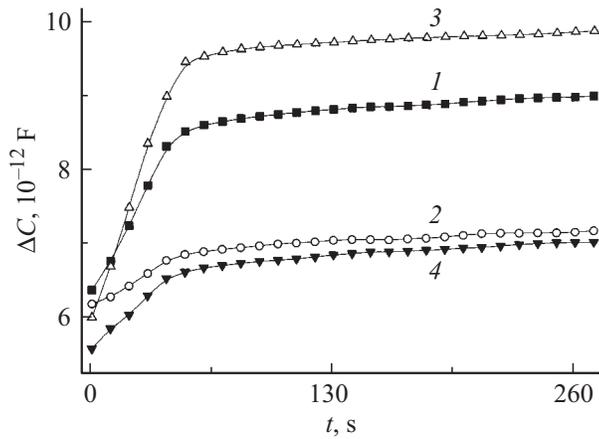


Рис. 1. Кривые релаксации фотоемкости слоя Pb_3O_4 для разных спектральных диапазонов фотовозбуждения $\Delta\lambda$, нм: 1 — 400–500, 2 — 500–600, 3 — 600–700, 4 — 700–800.

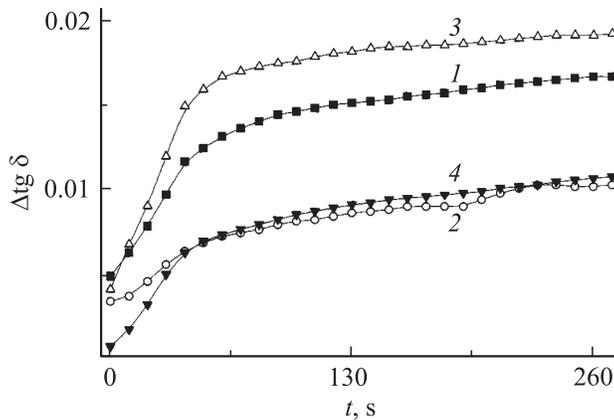


Рис. 2. Изменение тангенса угла диэлектрических потерь слоя Pb_3O_4 во времени для разных спектральных диапазонов фотовозбуждения $\Delta\lambda$, нм: 1 — 400–500, 2 — 500–600, 3 — 600–700, 4 — 700–800.

Характер кинетики ФДЭ изменяется в зависимости от спектрального состава излучения. Анализ экспериментальных результатов показывает, что процессы возрастания емкости и диэлектрических потерь образцов происходят не мгновенно, а характеризуются определенными временными зависимостями, и устанавливает наличие двух участков релаксации диэлектрических характеристик — быстрой и медленной. Особенностью наблюдаемого релаксационного процесса является то, что наибольшему изменению значений диэлектрических параметров отвечает световое возбуждение из области максимальной fotocувствительности слоя Pb_3O_4 ($\lambda \approx 650\text{--}680$ нм [5]).

Нарастание фотоемкости (рис. 1) во всей исследованной спектральной области не описывается одной экспоненциальной зависимостью. Процесс изменения значений ΔC при включении света для быстрой компоненты релаксации отвечает линейной функции вида

$\Delta C = at + b$, где параметры a и b являются постоянными для данного уровня энергии фотовозбуждения. При $t > 60$ с увеличение фотоемкости происходит по степенному закону $\Delta C = At^n$, где A — постоянная, значение которой изменяется с ростом энергии кванта, а величина показателя n варьируется в пределах $(1.4\text{--}3.4) \cdot 10^{-2}$. Временные зависимости $\Delta C(t)$ и $\Delta \text{tg } \delta(t)$ являются качественно одинаковыми, заметное отличие характера поведения этих функций наблюдается при изменении величины уровня фотовозбуждения.

Исходя из формы приведенных кинетических зависимостей можно предположить, что они определяются набором времен релаксации. Это позволяет для количественного сравнения полученных характеристик рассмотреть зависимость мгновенного времени фотоответа $\tau_i = \Delta C / (d\Delta C / dt)$ от времени. Полученные при этом результаты приведены на рис. 3. Поведение кривых $\tau_i(t)$ для разных спектральных диапазонов фотовозбуждения характеризуется ростом τ_i в течение всего релаксационного процесса.

Центры прилипания основных носителей заряда, эффективно обменивающиеся с ближайшей из разрешенных зон, оказывают сильное влияние на характеристики нестационарных процессов в полупроводниках. Наличие неэкспоненциального характера релаксации фотоемкости, как правило, связывают с присутствием значительной концентрации ловушек неравновесных носителей заряда. Плотность состояний на локальных уровнях может изменяться в процессе релаксации и быть пространственно неоднородной. В области высоких значений энергии при долговременной релаксации возможно увеличение количества переходов носителей на рекомбинационные центры, природа которых, в частности, для Pb_3O_4 может быть связана со структурными дефектами, обусловленными присутствием неподеленной электронной пары, принадлежащей катионам Pb^{2+} [6]. Ввиду естественной разупорядоченности слоистой структуры Pb_3O_4 [2] пространственное распределение дефектов является достаточно неоднородным.

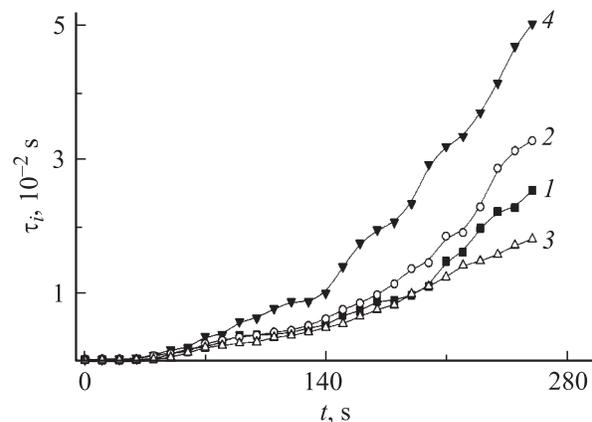


Рис. 3. Зависимости $\tau_i(t)$ для разных спектральных диапазонов фотовозбуждения $\Delta\lambda$, нм: 1 — 400–500, 2 — 500–600, 3 — 600–700, 4 — 700–800.

Неупорядоченные области между соседними кристаллитами, как уже было показано в ряде исследований по оксидам металлов, представляют собой барьеры с относительно высоким сопротивлением ($\rho \approx 10^{14} - 10^{16}$ Ом·м для Pb_3O_4) [5]. Таким образом, потенциальный рельеф поликристаллической структуры исследуемого фотопроводника обуславливает формирование объемного заряда, оказывающего существенное влияние на кинетику ФДЭ.

4. Заключение

Экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что кинетика нарастания фотодиэлектрического эффекта в слоях поликристаллического Pb_3O_4 со связующим кремнийорганическим лаком имеет неэкспоненциальный характер. Наблюдаемые закономерности релаксационных процессов определяются перераспределением носителей по локальным состояниям с учетом квазинепрерывного спектра энергетических уровней. Формирование последнего в слоях Pb_3O_4 происходит как при участии катионов Pb^{2+} , содержащих одиночную электронную пару, так и за счет образования пространственного заряда в исследуемой поликристаллической структуре, контролируемого барьерными механизмами.

Работа выполнена в рамках заказа-наряда Министерства образования РФ № 1.11.99Д.

Список литературы

- [1] V.T. Avanesyan, V.A. Bordovskii. *J. Non-Cryst. Sol.*, **351**, 2849 (2005).
- [2] V.T. Avanesyan, V.A. Bordovskii, S.A. Potachov. *J. Non-Cryst. Sol.*, **305**, 136 (2002).
- [3] V.T. Avanesyan, V.A. Bordovskii, S.A. Potachov. In: *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Online, Photo-dielectric effect* (John Wiley & Sons, Inc., 2001).
- [4] P.K.C. Pillai, R. Nath. *Phys. Status Solidi A*, **37**, 491 (1976).
- [5] В.А. Извозчиков, О.В. Тимофеев. *Фотопроводящие окислы свинца в электронике* (Л., Энергия, 1979).
- [6] Р. Гиллеспи, И. Харгитаи. *Модель отталкивания электронных пар валентной оболочки и строение молекул* (М., Мир, 1992).

Редактор Т.А. Полянская

Relaxation of photodielectric effect in Pb_3O_4 layers

V.T. Avanesyan, E.P. Baranova

Herzen State Pedagogical University of Russia,
191186 St. Petersburg, Russia

Abstract Experimental results of photodielectric effect kinetics in the minimum Pb_3O_4 layers are presented. The photoinduced phenomena has been studied with spectral structure of light excitation at low frequency of a measuring field. The relaxation character of photodielectric parameters changes after illumination has been established. The interplay of observable photodielectric effect with features of semiconductor structure, in particular, with the presence of Pb^{2+} cations lone pair electrons is discussed.