

06

Низкочастотные фотодиэлектрические процессы в поликристаллических слоях Pb_3O_4

© В.Т. Аванесян, Е.П. Баранова

Российский государственный педагогический университет
им. А.И. Герцена, С.-Петербург
E-mail: avanesyan@mail.ru

Поступило в Редакцию 27 июля 2007 г.

Приведены результаты изучения фотополяризационных явлений в поликристаллических слоях Pb_3O_4 со связующим. Обнаружены положительный фотоёмкостной эффект и возрастание диэлектрических потерь при освещении. Установлена низкочастотная дисперсия диэлектрических параметров исследуемых образцов. Обсуждаются возможные механизмы релаксационных процессов в темновом и световом режимах измерения, а также природа релаксаторов.

PACS: 85.60.-q, 85.60.Dw

Фотопроводящие оксиды свинца получили широкое распространение как базовые полупроводниковые материалы оптоэлектронных структур [1]. В последнее время возрастает интерес к изучению физических характеристик свинцового сурика Pb_3O_4 в связи с обнаруженными в нем аномалиями структурных и электрических свойств [2,3]. Слои Pb_3O_4 характеризуются высокой фотоэлектрической чувствительностью, спектральное распределение которой охватывает значительную часть видимого спектра. Этот высокоомный фотопроводник, кроме того, отличает стабильность фазового состава.

Электрические и фотоэлектрические свойства слоев Pb_3O_4 достаточно детально исследованы [4], однако практически не изученными в них остаются фотополяризационные явления. Естественная разупорядоченность структуры фотопроводящего свинцового сурика, характеризующегося высокой плотностью локальных состояний, предполагает возможность существования фотодиэлектрического эффекта (ФДЭ) в данном высокоомном полупроводнике [5]. Исследование ФДЭ, как и измерение диэлектрических свойств, позволяет получить сведения

о поведении носителей заряда (НЗ) с ограниченной возможностью перемещения в фотопроводящем материале [6,7]. Кроме того, изучение данного эффекта является дополнительным информативным бесконтактным методом измерения фотопроводимости в переменных электрических полях, что является существенным при конструировании ряда элементов оптоэлектроники. В настоящей работе приведены результаты исследования влияния фотовозбуждения на диэлектрические свойства слоев Pb_3O_4 в переменном электрическом поле с целью выявления особенностей механизмов поляризации в световом режиме измерения.

Фотодиэлектрические измерения были выполнены на слоях свинцового сурика со связующим веществом — кремнийорганическим лаком, химически нейтральным по отношению к материалу фотопроводника и обладающим высокой прозрачностью (коэффициент пропускания пленок толщиной $100\ \mu\text{m}$ приближается к 100%). В диспергированных слоях фотоактивными являются зерна полупроводника, а связка (биндер) играет двойную роль: во-первых, она повышает удельное сопротивление слоя до требуемой величины ($\rho \approx 10^{12} \dots 10^{14}\ \Omega \cdot \text{cm}$), что позволяет использовать относительно низкоомные материалы; во-вторых, предохраняет исходное вещество от воздействия компонентов атмосферы, что является весьма существенным для оксидов свинца в связи с их высокой гигроскопичностью и сорбционной активностью [4].

Измерение приращений составляющих комплексной диэлектрической проницаемости $\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon''$ слоев Pb_3O_4 при световом возбуждении видимого диапазона осуществлялось с использованием измерителя иммитанса E7-20 в интервале частот $10^2 \dots 10^5\ \text{Hz}$ при температуре $T = 293\ \text{K}$ на конденсаторных структурах $\text{Al}-\text{Pb}_3\text{O}_4-\text{SnO}_2$. Освещение проводилось через прозрачный электрод — пленку SnO_2 , интенсивность освещения составляла $190\ \text{mW/m}^2$.

На рис. 1 представлены частотные зависимости изменений емкости C и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$, полученных при разных амплитудах прикладываемого напряжения. При световом возбуждении образца наблюдается увеличение емкости соответственно диэлектрической проницаемости. Максимальное влияние освещения на емкость и диэлектрические потери обнаружено в области низких частот. Полученные результаты указывают на то, что вещественная компонента комплексной диэлектрической проницаемости в исследуемом частотном интервале в темновом и световом режимах характеризуется отрицательной диэлектрической дисперсией. В области низких значений

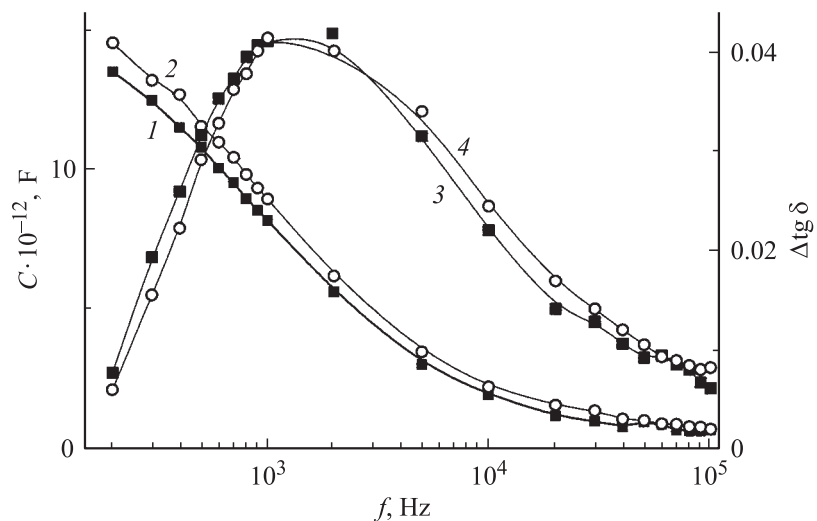


Рис. 1. Частотная зависимость емкости (1, 2) и $\text{tg } \delta$ (3, 4) слоя Pb_3O_4 для амплитуд измерительного напряжения: 1, 3 — 0.04 В, 2, 4 — 1 В; $T = 293$ К.

частот дисперсионный спад заметнее, и кривые фотоемкости хорошо разделяются с кривыми темновой емкости. С ростом частоты это различие уменьшается и практически нивелируется в высокочастотной области независимо от уровня освещенности.

Существенного влияния постоянного смещения на ДЭ и его дисперсионный спектр отмечено не было. Приведенные результаты удовлетворительно воспроизводятся при многократных циклах измерения в темновом и световом режимах. Исследуемые образцы обнаруживают диэлектрический отклик, отличный от дебаевского, при этом наблюдаемые релаксационные процессы характеризуются распределением времен релаксации вокруг одного наиболее вероятного (рис. 2).

Установленный характер частотной дисперсии диэлектрических коэффициентов на начальном этапе исследования можно объяснить поляризацией пространственного заряда, который представляет собой электрическую неоднородность, возникающую в материале и приводящую к диэлектрическим потерям. К вероятным механизмам, лежащим в основе образования пространственного заряда, могут относиться

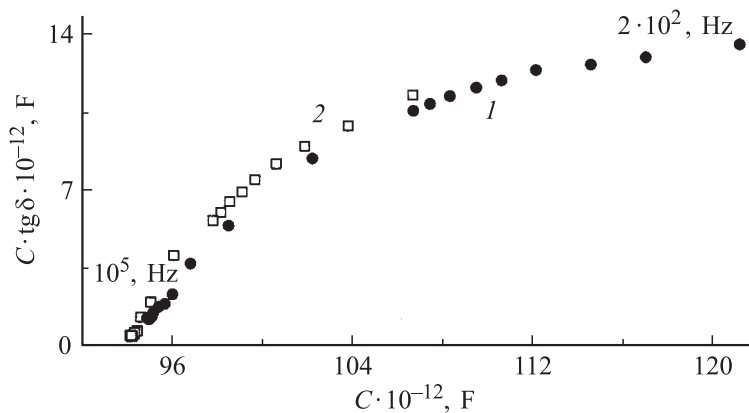


Рис. 2. Круговая диаграмма $C \cdot \text{tg } \delta = F(C)$ слоя Pb_3O_4 в темновом (1) и световом (2) режимах; $T = 293 \text{ K}$. Амплитуда измерительного напряжения $U = 0.04 \text{ V}$.

процессы поляризации равновесных и фотогенерированных НЗ под действием электрического поля, а также их инжекция из электродов.

Влияние сформированного пространственного заряда становится заметным лишь на низких частотах, когда его диэлектрический отклик отвечает одинаковой фазе изменения приложенного поля. Так как в освещенном образце наряду с равновесными присутствуют также фотоносители, то можно ожидать, что на всех частотах, где преобладает поляризация пространственного заряда, значения емкости при освещении должны быть выше соответствующих темновых значений. Кроме того, с повышением частоты пространственный заряд образуется в меньшем количестве, что приводит к уменьшению диэлектрических потерь и величины фотодобавки емкости.

Вероятным механизмом ФДЭ может также являться переход присутствующих в структуре Pb_3O_4 зарядных образований, таких, как Pb^{2+} , обладающих неподеленной электронной парой в состоянии Pb^{3+} при световом возбуждении после генерации пары носителей в результате межзонного перехода [8,9]. Длительное световое возбуждение приводит к потемнению поверхности исследуемых слоев, связанному с увеличением коэффициента поглощения. Можно предположить, что затравочным механиз-

мом фотопотемнения является вызванный светом уход электронов из связывающих состояний или из состояний неподеленной электронной пары, формирующих валентную зону [10]. Экспериментально наблюдаемое фотопотемнение, по-видимому, обусловлено характерным атомным окружением, приводящим к сохранению межцепочечных связей после облучения и уменьшению запрещенной зоны полупроводника.

Список литературы

- [1] *Brown H.E.* Lead oxide. Properties and applications. N. Y.: ILZRO, 1985.
- [2] *Avanesyan V.T., Bordovskii V.A.* // J. of Non-Crystalline Solids. 2005. V. 351. P. 2849–2852.
- [3] *Gavarrri J.R., Wegel D.* // C.R. Acad. Sci. Paris. 1972. V. 275. C. N 21. P. 1267–1270.
- [4] *Извозчиков В.А., Тимофеев О.А.* Фотопроводящие окислы свинца в электронике. Л.: Энергия, 1979. 144 с.
- [5] *Avanesyan V.T., Bordovskii V.A., Potachov S.A.* // J. of Non-Crystalline Solids. 2002. V. 305. P. 136–139.
- [6] *Pillai P.K.C., Nath R.* // Phys. Stat. Sol. 1976. V. 37 A. N 2. P. 491–498.
- [7] *Avanesyan V.T., Bordovskii G.A., Potachov S.A.* Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Online, Photodielectric effect. John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [8] *Robertson J., Warren W.L., Tuttle B.A.* // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 63. N 11. P. 1519–1521.
- [9] *Буш А.А., Каменцев К.Е., Провоторов М.В., Трушкова Т.Н.* // ФТТ. 2004. Т. 46. В. 9. С. 1668–1675.
- [10] *Kolobov A., Oyangi H., Tanaka K.* // ФТТ. 1997. Т. 39. № 1. С. 74–78.