

ФИЗИКА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

УДК 537.226.4

РЕЛАКСАЦИЯ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКОГО И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКОВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$

**А.В. Солнышкин¹, А.С. Трошкин¹, А.А. Богомолов¹, И.П. Раевский²,
Д.Н. Санджиев², В.Ю. Шонов²**

¹Тверской государственной университет, Тверь, Россия

*²НИИ физики Южного федерального университета, Ростов-на Дону,
Россия*

Выполнены исследования электрического отклика пленок $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ на воздействие электромагнитного излучения видимого диапазона при наличии внешних электрических полей. Модулированный световой поток вызывает суммарный отклик, обусловленный существованием изменяющихся с течением времени фотоэлектрической и фотовольтаической компонент. Показано, что спонтанная поляризация оказывает влияние на характеристики электрического отклика.

Ключевые слова: *электромагнитное излучение, фотовольтаический отклик, тиогиодифосфат.*

1. Введение. Повышенный интерес к изучению кристаллов тиогиодифосфата олова ($\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$) обусловлен его ярко выраженными сегнетоэлектрическими и полупроводниковыми свойствами. Сочетание этих характеристик делает материалы типа тиогиодифосфата олова весьма перспективным в современной электронике. Наиболее вероятным является использование кристаллов $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ в виде пленочных элементов [1].

Нами ранее показано [2, 3], что в интервале температур ($20\div 80$)°С пленки сегнетоэлектрика-полупроводника $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ обнаруживают нестационарный фотовольтаический отклик под воздействием света видимого диапазона при собственном и несобственном поглощении. Нестационарность фототока заключается в его «вспышечном» характере и различном направлении при включении и выключении света [4]. При этом фотовольтаический отклик наблюдается в достаточно широком спектральном диапазоне [5]. К настоящему времени причина возникновения нестационарного фотовольтаического

отклика в пленках $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ остается невыясненной. Поэтому представляет интерес всестороннее изучение физических свойств

пленок $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$, в частности, исследование электрического отклика пленок $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ на воздействие излучения оптического диапазона при наличии внешних электрических полей.

2. Методика. Объектами исследования являлись сегнетоэлектрические плёнки $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$, полученные методом вакуумного испарения в квазизамкнутом объеме. После завершения процесса напыления пленки подвергались отжигу в этой же установке в течение 2 -3 часов при температуре 180-200°C с целью устранения возможных неоднородностей, дефектов и механических напряжений. Исследовались пленки на алюминиевой подложке с напыленными алюминиевыми электродами. Несмотря на наличие верхнего алюминиевого электрода, образцы пленок являются фоточувствительными объектами [5]. Этот материал в плёночном исполнении является удобным для эксперимента с технической точки зрения, что связано с наличием ярко выраженных сегнетоэлектрических и пьезоэлектрических свойств. Кроме того, он исключительно удобен как объект для исследования влияния электронной подсистемы на сегнетоэлектрические и диэлектрические характеристики плёночных структур. Объект позволяет изменять концентрацию неравновесных электронов в широких пределах путём освещения, так как обладает фотопроводимостью в видимой области спектра.

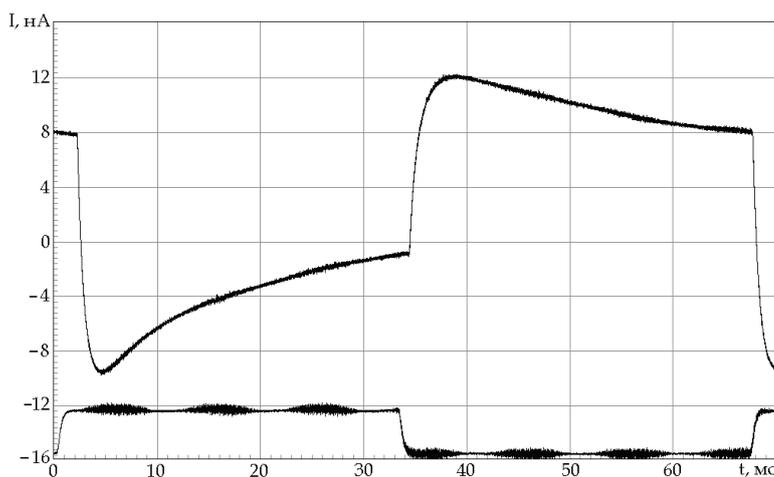
Исследования фотовольтаических свойств и фотопроводимости проводились по модуляционной методике, чувствительность фототока составляла порядка 10^{-10} А. В качестве источника излучения использовался гелий-неоновый лазер мощностью $W = 40$ мВт с длиной волны $\lambda = 6328 \text{ \AA}$. Контроль мощности светового потока осуществлялся измерителем мощности ИМО-3. Поток излучения от лазера модулировался вращающимся диском с прорезями, форма которых определяет длительность "темновых" и "световых" промежутков.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение. При воздействии излучения видимого диапазона, модулированного импульсами прямоугольной формы, наблюдается фотовольтаический отклик в отсутствие внешних электрических полей. Форма отклика представлена на рис.1. Как видно из представленного рисунка, наблюдается значительный фотоотклик, имеющий спадающую форму. Причем в световой промежуток время релаксации сигнала превосходит аналогичную величину, характерную для темнового промежутка. Анализ наблюдаемой картины фотовольтаического отклика

свидетельствует о том, что поле, обуславливающее данный эффект, направлено от верхнего электрода к подложке.

С учетом амплитудного значения фототока и мощности излучения определена чувствительность образцов на воздействие лазерного излучения. Ее величина составляет 10^{-7} А·Вт⁻¹ для лазерного излучения с длиной волны 6328 Å. Уменьшение интенсивности света ведет не только к спаду величины фотовольтаического отклика, но и к изменению его формы – последняя становится прямоугольной. Этот эффект наблюдается также при использовании модулированного излучения в широком спектральном диапазоне.

Под воздействием внешнего электрического поля происходит изменение формы сигнала и его амплитуды. В этом случае наблюдается сигнал, состоящий из двух компонент: фотовольтаической и фотоэлектрической. При приложении поля, направленного от подложки к верхнему электроду, фотоэлектрический и фотовольтаический токи направлены в противоположные стороны (рис. 2 а). Фотоэлектрический отклик, в отличие от фотовольтаического, характеризуется нарастающей формой.

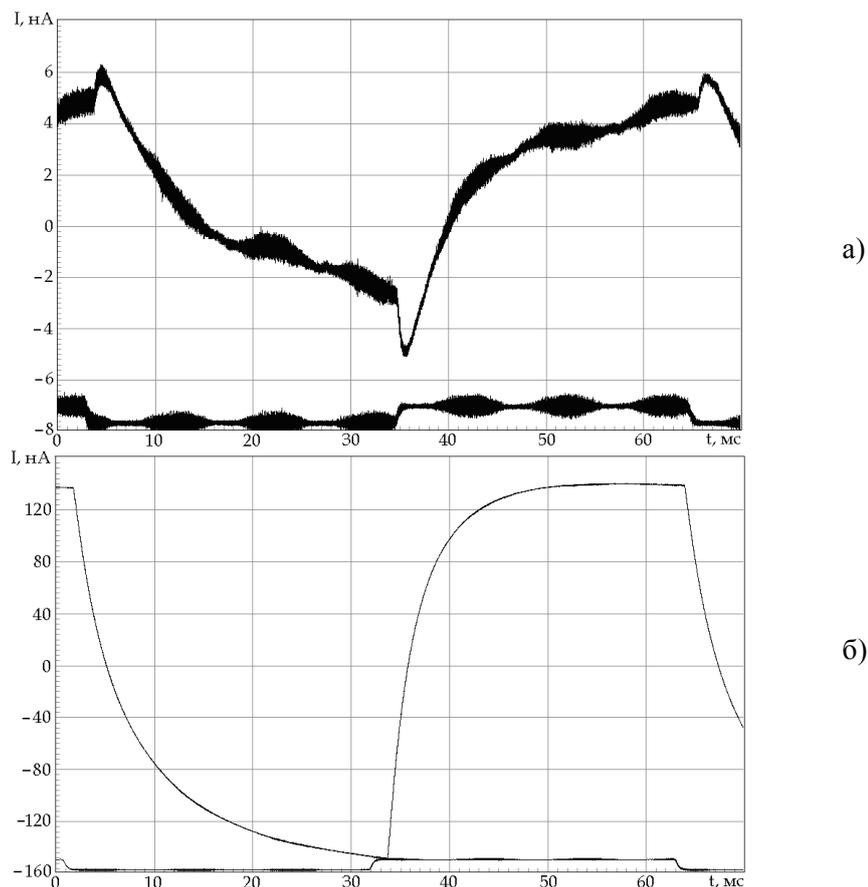


Р и с. 1. Форма фотовольтаического отклика пленок $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ при воздействии модулированного лазерного излучения. В нижней части осциллограммы приведен опорный сигнал, совпадающий по форме с модулированным световым потоком

При воздействии внешнего напряжения, превышающего 6 В, наблюдается отклик (рис. 2 б), обусловленный фотоэлектрической проводимостью, поскольку вклад последней в регистрируемый отклик значительно превышает фотовольтаическую составляющую.

Необходимо отметить, что, как и в случае фотовольтаического отклика (рис.1), релаксационные процессы при регистрации

фотоэлектрического сигнала протекают неодинаково в световом и темновом промежутках. В световой промежуток после участка нарастания наблюдается незначительный спад сигнала, в отличие от экспоненциального уменьшения отклика в темновом промежутке.



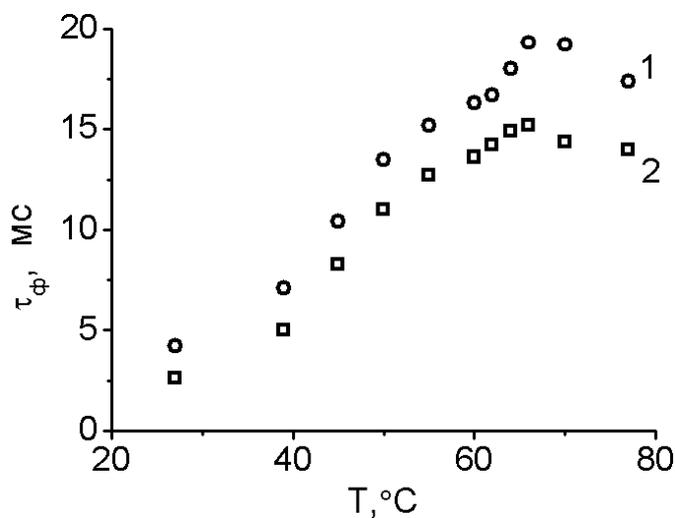
Р и с. 2. Форма суммарного фотоэлектрического и фотовольтаического отклика пленок $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ при воздействии модулированного лазерного излучения. Электрическое напряжение: а – 4 В, б – 11. Поле направлено от подложки к верхнему электроду

При изменении полярности приложенного напряжения фотоэлектрический и фотовольтаический токи совпадают по направлению, и формы суммарного отклика, характерной для поля противоположного направления (рис. 2), не наблюдается.

Ранее [4] нами исследовано температурное поведение фотовольтаического отклика пленок $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ в отсутствие внешних электрических полей. Показано, что наиболее сильные изменения

формы и амплитуды отклик от пленок испытывает в районе фазового перехода монокристалла $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$. Поведение нестационарной компоненты отклика связывается со спонтанной поляризацией. Обнаружено, что с приближением к точке фазового перехода изменяется характер релаксационных процессов, сопровождающих спад электрического отклика.

В настоящей работе также изучено поведение фотоэлектрического отклика образцов в широком интервале температур, включающем точку сегнетоэлектрического фазового перехода монокристалла $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$. Исследования выполнены при одновременном воздействии на образцы электрического поля и лазерного излучения с длиной волны 6328 \AA . ся характер релаксационных процессов, сопровождающих спад электрического отклика. Аппроксимируя временной ход, соответствующий нарастающему и спадающему участкам фотоэлектрического отклика (рис. 2 б) при воздействии модулированного лазерного излучения и внешнего электрического напряжения $8,8 \text{ В}$, определены времена релаксации фотопроводимости (τ_ϕ), отвечающие различным температурам, и построены их температурные зависимости (рис. 3).



Р и с . 3 . Температурные зависимости времен релаксации фотопроводимости, соответствующие участкам спада (кривая 1) и нарастания (кривая 2) фотоэлектрического отклика

Необходимо отметить, что время релаксации, соответствующее спаду фотоэлектрического отклика после прекращения светового

воздействия больше аналогичной величины (рис. 3, кривая 1), регистрируемой в световой промежуток (рис. 3, кривая 2). Температурный ход времен релаксации показывает, что с увеличением температуры наблюдается их рост до точки, соответствующей температуре фазового перехода монокристалла $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$. Это свидетельствует о влиянии спонтанной поляризации на фотоэлектрические характеристики исследуемых пленок.

Фотостимулированная проводимость исследуемых тонкопленочных структур в диапазоне длин волн (700 ÷ 550) нм связана с забросом носителей заряда с уровней, расположенных в запрещенной зоне и отстоящих от дна зоны проводимости, по крайней мере, на величину 1,7 эВ. Известно [6], что спектральный диапазон fotocувствительности кристаллов $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ лежит в пределах от 0,5 до 1,32 мкм. Этому условию удовлетворяют уровни энергии, обнаруженные в запрещенной зоне монокристалла $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ методами оптической и фотоэлектрической спектроскопии [7]. В спектральной области с $\lambda > 520$ нм фотоэлектрический эффект обусловлен в основном примесной фотопроводимостью. Этот вид фотопроводимости связан с оптическими переходами с уровней ловушек, локализованных в запрещенной зоне, в разрешенные зоны.

Установлено, что при включении и выключении света наблюдается долговременная релаксация фотопроводимости, а также явление остаточной фотопроводимости. Как известно, эти явления присущи неоднородным полупроводникам и связаны с наличием барьеров между кристаллитами, а в тонкопленочных гетероструктурах также с существованием барьеров вблизи интерфейсов [8].

Список литературы

1. Arnautova E., Sviridov E., Rogach E., Savchenko E., Grekov A. // *Integrated Ferroelectrics*. 1992. V. 1. P. 147.
2. Богомолов А.А., Малышкина О.В., Солнышкин А.В., Раевский И.П., Проценко Н.П., Санджиев Д.Н. // *Изв. РАН. Сер. физ.* 1997. Т. 61, N 3. С. 375.
3. Bogomolov A.A., Malyshkina O.V., Solnyshkin A.V., Raevsky I.P., Protzenko N.P., Sandjiev D.N. // *Ferroelectrics*. 1998, V. 214. P. 131.
4. Богомолов А.А., Солнышкин А.В., Киселев Д.А., Раевский И.П., Проценко Н.П., Санджиев Д.Н. // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. 2008. N 6. С. 98.

5. Богомолов А.А., Солнышкин А.В., Киселев Д.А., Раевский И.П., Проценко Н.П., Санджиев Д.Н. // ФТТ. 2006. Т. 48, N 6. С. 1121.
6. Shumelyuk A., Odoulov S., Kip D., Kratzig E. // Appl. Phys. B. 2001. V. 72. P. 707.
7. Gamernyk R.V., Gnatenko Yu.P., Bukivskij P.M., Skubenko P.A., Slivka V.Yu. // J. Phys.: Condens. Matter. 2006. V. 18. P. 5323.
8. Pintilie L., Vrejoiu I., Le Rhun G., Alexe M. // J. Appl. Phys. 2007. V. 101, 064109.

PHOTOVOLTAIC AND PHOTOELECTRIC RESPONSES RELAXATION OF $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ FERROELECTRIC FILMS

A.V. Solnyshkin^{1,*}, A.S. Troshkin¹, A.A. Bogomolov¹, I.P. Raevski²,
D.N. Sandjiev², V.Yu. Shonov², Tver State University¹

Tver State University, 170100 Tver, Russia

²Research Institute of Physics of Southern Federal University,
344090 Rostov-on-Don, Russia

The electric response of $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ films to electromagnetic radiation in the presence of external electric fields was studied in the visible. Modulated light flux causes cumulative response due to existence of photoelectric and photovoltaic components. It is shown that the spontaneous polarization has an influence on the electric response characteristics.

Keywords: *electromagnetic radiation, photovoltaic response, tiogodiphosphate*

Об авторах:

БОГОМОЛОВ Алексей Алексеевич – профессор физико-технического факультета ТвГУ, г.Тверь

СОЛНЫШКИН Александр Валентинович - профессор физико-технического факультета ТвГУ, г.Тверь.

ТРОШКИН Андрей Сергеевич – аспирант физико-технического факультета ТвГУ, г.Тверь.

РАЕВСКИЙ Игорь Павлович - зав. лаб. НИИ физики ЮФУ, профессор, д.ф-м.н., НИИ физики, Южный Федеральный Университет.

САНДЖИЕВ Давид Никитович - ст.н.с. НИИ физики ЮФУ, к.ф-м.н., НИИ физики, Южный Федеральный Университет.

ШОНОВ Владимир Юрьевич - ст.н.с. НИИ физики ЮФУ, к.ф-м.н., НИИ физики, Южный Федеральный Университет.