

переходит из нарастающей вертикальной в наклонную зависимость.

\*\*\*

Таким образом, показана возможность изготовления качественного фототранзистора *n-p-n*-типа на основе формирования двойной гетероструктуры "окисел-InSe-окисел".

Значительное усиление фототока в фототранзисторе имеет место лишь для толщин исходных образцов, которые сравнимы с диффузионной длиной основных носителей заряда.

Особенностью усиления фототока является переход фототранзистора из высокоомного в низкоомное состояние лишь при определенных приложенных напряжениях и уровне освещения. Чем выше уровень освещения, тем меньше напряжение такого перехода. Плотность токов через фототранзистор при таком переходе может достигать 60—100 мА/см<sup>2</sup>.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Kovalyuk Z. D., Katerynychuk V. M., Mintyanskiy I. V. et al. Gamma radiation influence on the photoelectrical properties of oxide-p-InSe heterostructure / E-MRS Spring Meeting Conference. Symposium D: Functional oxides for advanced semiconductor technologies.— Strasbourg (France).— 2004.
2. Катеринчук В. Н., Ковалюк М. З. Гетеропереходы из InSe, сформированные термическим окислением кристаллической подложки // Письма в ЖТФ.— 1992.— Т. 18, № 12.— С. 70—72.
3. Kovalyuk Z. D., Katerynychuk V. M., Savchuk A. I., Sydor O. M. Intrinsic conductive oxide — p-InSe solar cells // Materials Science and Engineering B.— 2004.— Vol. 109.— P. 252—255.
4. Landolt-Börnstein. Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. New Ser. Group III: Crystal and Solid State Physics. Vol. 17, subvol. f / Ed. by O. Madelung.— Berlin e. a.: Springer, 1983.
5. Martinez-Pastor J., Segura A., Valdes J. L., Chevy A. Electrical and photovoltaic properties of indium-tin-oxide/p-InSe/Au solar cells // J. Appl. Phys.— 1987.— Vol. 62, N 4.— P. 1477—1483.
6. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Кн. 2.— М.: Мир, 1984.

К. т. н. Н. Г. ДЖАВАДОВ

Азербайджан, г. Баку, ПО «Промавтоматика»  
E-mail: cavadov\_natig@mail.az

Дата поступления в редакцию  
09.11 2004 г.

Оппонент д. т. н. В. В. ДАНИЛОВ  
(ДонНУ, г. Донецк)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ФИЛЬТРОВЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

*Использование пленок поликристаллического кремния вместо монохроматических фильтров на основе стекла позволяет упростить конструкцию фильтровых спектральных приборов.*

Возможность дальнейшего совершенствования показателей узкополосных интерференционных световых фильтров позволяет рассматривать фильтровые спектральные приборы в качестве перспективных инструментов для дистанционных исследований малых газовых составляющих атмосферы. Например до настоящего времени для исследования озонового слоя широко применяется фильтровый озонометр типа М-83 и его модификации [1]. Обладая существенной простотой конструкции и дешевизной, эти озонометры по точности уступают спектрометрам Добсона [2]. Однако потенциальные возможности проведения озонометрических измерений с высокой степенью достоверности с помощью фильтровых озонометров еще не до конца раскрыты.

В настоящей работе исследованы фотоэлектрические свойства пленок поликристаллического кремния с целью использования их в фильтровых спектральных приборах.

На рис. 1 показан один из вариантов модели оптико-электронного тракта спектрального прибора, где

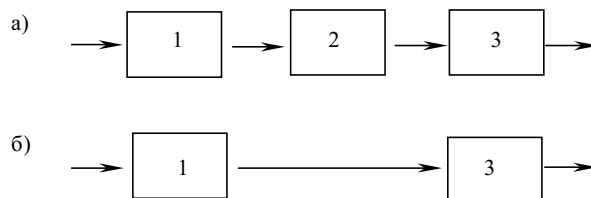


Рис. 1. Варианты модели оптико-электронного тракта фильтрового спектрального прибора:

1 — интерференционный фильтр; 2 — светофильтр; 3 — фоторезистор

через интерференционный фильтр проходят световые сигналы как основной длины волны  $\phi_0(\lambda_1)$ , так и удвоенной —  $\phi_0(2\lambda_1)$ .

Для подавления сигнала удвоенной длины волны в варианте рис. 1, а используется цветное стекло УФ-диапазона, являющееся монохроматическим фильтром. Относительная простота варианта рис. 1, б диктует необходимость выбора именно этой схемы. Но поскольку в этом случае отсутствует светофильтр, отсекающий ненужную часть спектра, то эти функции должен выполнять сам фотоприемник, который в связи с этим должен обладать высокой избирательностью.

Нами исследовались мелкозернистые пленки поликристаллического кремния (ППК), обладающие, как было показано в [3], высокой чувствительностью в коротковолновой области спектра ( $\lambda \approx 0,5$  мкм), пригодные для применения в озонометрических приборах.

Известно, что чувствительность в этой области спектра достигается за счет использования мелких  $p-n$ -переходов. Изготовление последних представляет на сегодня технологические трудности. В этой связи применялись слаболегированные ППК, на границах зерен которых имеются глубокие ловушки, обуславливающие формирование областей пространственного заряда (ОПЗ). Слаболегированные ОПЗ у поверхности пленки могут выступать в роли неглубоких  $p-n$ -переходов, что позволяет использовать их в качестве фотодетекторов, исключая при этом из технологического процесса изготовления этапы диффузии или ионного легирования.

ППК толщиной 6 мкм со средним размером зерна 0,3, 1 и 5 мкм формировались в процессе эпитаксиального наращивания пленок монокристаллического кремния  $n$ -типа проводимости с концентрацией легирующей примеси (фосфор)  $10^{16} \text{ см}^{-3}$  на локально маскированные кремниевые подложки по технологии, описанной в [4]. Размер зерен ППК контролировался с помощью растрового электронного микроскопа МРЭМ. Омические контакты к ППК получали в процессе вакуумного напыления Al на предварительно сформированные  $n^+$ -области.

Для того чтобы проверить зависимость вентиляльной фото-э.д.с.  $U_{\phi}$  и тока короткого замыкания  $I_{\text{кз}}$  от длины и ширины элементов были изготовлены две группы образцов. В одной из них с увеличением длины элемента также увеличивалась и ширина:  $200 \times 20, 400 \times 40, 600 \times 60, 800 \times 80$  мкм. В другой группе образцов ширина всех элементов оставалась фиксированной —  $400 \times 40, 800 \times 40, 1200 \times 40$  мкм. Измерения  $U_{\phi}$  и  $I_{\text{кз}}$  проводились в стационарном режиме и при различной освещенности в диапазоне  $2 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^4$  лк. Освещенность измерялась с помощью люксметра Ю-116.

Измерения показали, что в ППК вентиляльная фото-э.д.с. возрастает с увеличением как длины пленки  $l$ , так и размера зерна в ней (рис. 2 и 3). Причем при

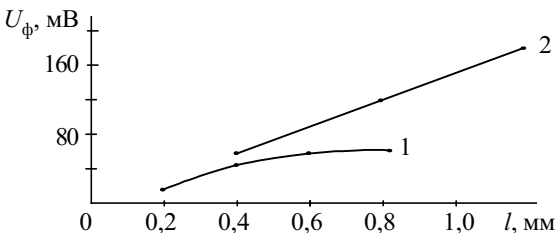


Рис. 2. Зависимости фото-э.д.с. от конструктивных параметров ППК: 1 — ширина пленки меняется от 20 до 80 мкм; 2 — ширина пленки постоянная, 40 мкм

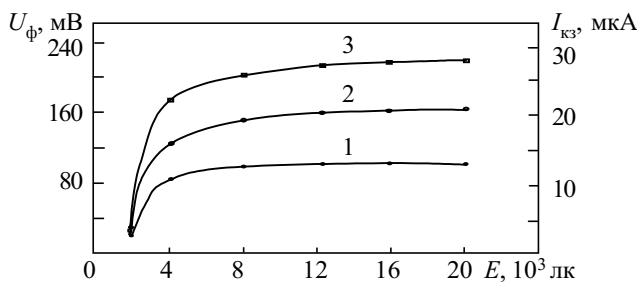


Рис. 3. Фотовольтаические  $U_{\phi}(E)$  и люкс-амперные  $I_{\text{кз}}(E)$  зависимости ППК с различным размером зерна ( $l$  — 0,3 мкм; 2 — 1 мкм; 3 — 5 мкм)

одинаковой ширине пленок  $U_{\phi}$  растет прямо пропорционально ее длине, а в образцах с разной шириной пленки наблюдалась тенденция к насыщению  $U_{\phi}$  (рис. 2), что, по-видимому, может быть объяснено шунтирующим действием фото-э.д.с., возникающей между параллельными рядами зерен в перпендикулярном к протеканию тока направлении.

С увеличением освещенности во всех образцах  $U_{\phi}$  вначале возрастает по логарифмическому закону, а затем переходит в насыщение (рис. 3), обусловленное достижением фото-э.д.с. максимального значения, равного суммарной высоте потенциальных барьеров на границах зерен вдоль направления протекания тока. Величина тока короткого замыкания  $I_{\text{кз}}$  растет с увеличением как ширины ППК, так и ее длины (см. рис. 3), т. е. возникающий под действием света ток пропорционален площади образца.

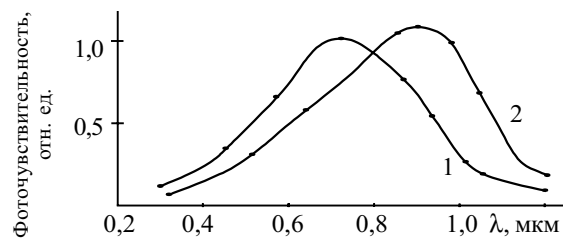


Рис. 4. Спектральные зависимости ППК:

1 — мелкозернистые (0,3 мкм); 2 — крупнозернистые (5 мкм)

Исследование спектрального распределения фоточувствительности при комнатной температуре, проведенное с помощью монохроматора УМ-2, показало, что максимальная чувствительность мелкозернистых пленок наблюдается на длине волны 0,65 мкм и составляет 1600 В/Вт (рис. 4, кривая 1). С увеличением размера зерна, благодаря большей глубине залегания ОПЗ, максимум фоточувствительности сдвигается в длинноволновую область (рис. 4, кривая 2) и растет до значения 2000 В/Вт. В коротковолновой области спектра при длине волны 0,45 мкм чувствительность мелкозернистых ППК имеет значение порядка 600 В/Вт.

\*\*\*

Проведенные исследования фотозлектрических свойств пленок поликристаллического кремния показали, что их можно использовать в качестве фоторезисторов для спектральных приборов в узком диапазоне спектра, определяемом подбором среднего размера зерен ППК, что можно регулировать технологическими методами изготовления.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Шаломьянский А. М., Ромашкина К. И. Распределение и измерение общего содержания озона в различных воздушных массах // Физика атмосферы и океана.— 1980.— № 12.— С. 1258—1265.
2. Dobson G. M. The development of instruments for measuring atmospheric ozone during last fifty years // J. Phys. Sci. Instr.— 1973.— Vol. 6.— P. 938—939.
3. Джавадов Н. Г., Касимова Ф. Ф. Коротковолновые фотоприемники на основе пленок поликристаллического кремния // Физика (НАН Азербайджана).— 1998.— Т. 4, № 2.— С. 18—19.
4. Abdullayev A. G., Kasimov F. D. The simultaneous growth of mono- and polycrystalline silicon films with controlled parameters // Thin Solid Films.— 1984.— Vol. 115, N 3.— P. 237—243.