

Д. ф.-м. н. З. Д. КОВАЛЮК, к. ф.-м. н. В. Н. КАТЕРИНЧУК,  
О. Н. СИДОР

Украина, Черновицкое отд. Института проблем материаловедения  
им. И. Н. Францевича  
E-mail: chimsp@unicom.cv.ua

Дата поступления в редакцию  
30.09 2004 г.

Оппонент д. т. н. А. А. АЩЕУЛОВ  
(Институт термоэлектричества,  
г. Черновцы)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИММЕТРИЧНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ "ОКИСЕЛ-InSe-ОКИСЕЛ"

*Показана возможность изготовления качественного фототранзистора  $n-p-n$ -типа на основе формирования двойной гетероструктуры "окисел-InSe-окисел".*

По некоторым физическим свойствам кристаллы InSe и Si очень похожи. В первую очередь это касается ширины запрещенной зоны  $E_g$ , которая при комнатной температуре составляет соответственно 1,2 и 1,1 эВ. В то же время имеются между ними и существенные различия.

Низкая температура плавления InSe ( $\approx 650^\circ\text{C}$ ) не позволяет использовать диффузионные методы, присущие Si-технологии, для создания различных электронных приборов.

Кремниевые структуры не всегда могут отвечать требованиям радиационной стойкости. Отличительными свойствами InSe являются ярко выраженное слоистое строение кристаллов, их радиационная стойкость [1].

Подложки из кристаллов InSe не требуют никаких дополнительных обработок поверхности и могут быть доведены до пленочной толщины в несколько микрометров.

Обнаруженная нами металлическая проводимость и высокая прозрачность собственных окислов InSe позволяет создавать при определенных температурно-временных условиях гетероструктуры с удовлетворительными и воспроизводимыми фотоэлектрическими параметрами [2, 3].

Целью данной работы является изготовление на основе  $p$ -InSe двойной гетероструктуры "окисел-InSe-окисел" и исследование ее фотоэлектрических свойств на предмет обнаружения фототранзисторного эффекта.

Особенностями гетероструктуры "собственный окисел—полупроводник" является то, что величина потенциального барьера может достигать максимального значения — половины ширины запрещенной зоны InSe, т. е. 0,6 эВ [3]. Это обстоятельство способствует низким значениям темнового тока насыщения гетероструктуры. Проводящий окисел при этом играет роль широкозонного окна с низким поверхностным сопротивлением.

Таким методом нами создавались фототранзисторы  $n-p-n$ -типа. Расстояние между гетероструктурами в фототранзисторе может быть уменьшено до необходимой величины путем соответствующего

выбора начальной толщины образца. Для получения тонкой базы учитывались как коэффициент поглощения света ( $10^3 \text{ см}^{-1}$  [4]), так и диффузионная длина носителей поперек слоев в полупроводнике ( $10-20 \text{ мкм}$  [5]).

В наших экспериментах использовались образцы кристаллов с толщиной от 10 до 200 мкм. Качество поверхности таких тонких пластин кристаллов контролировалось на предмет обнаружения обрывов слоев или других дефектов с помощью микроскопа.

Затем подготовленные образцы помещались в электропечь с контролируемой и стабилизированной температурой. Окисление образцов проводилось на воздухе при температуре  $450^\circ\text{C}$  и четырехсуточной их выдержке. После окисления образцы обрезались с торцов для предупреждения эффекта короткого замыкания. Омические контакты на эмиттерном и коллекторном переходах получали сплавлением чистого индия. Контакт с базой отсутствовал.

Статические темновые и световые вольт-амперные характеристики (ВАХ) двойной гетероструктуры "окисел-InSe-окисел" определялись на установке Schlumberger SI с компьютерной обработкой данных. Исследовались образцы различной исходной толщины.

Полученные  $n-p-n$ -структуры являются симметричными по отношению к полярности приложенного смещения. Фототранзисторный эффект наблюдался в случае прямого смещения освещаемого  $p-n$ -перехода (эмиттер). Второй  $p-n$ -переход был обратно смещен и служил коллектором. Контакт с базой отсутствовал. Таковым является включение биполярного фототранзистора по схеме с общим эмиттером. В этом случае фототранзистор обладает наибольшей фоточувствительностью [6, с. 383]. В случае изменения полярности смещения двойная гетероструктура представляла собой последовательное включение обратносмещенного диода с прямосмещенным. Обе ситуации включения двойной гетероструктуры иллюстрирует **рис. 1**.

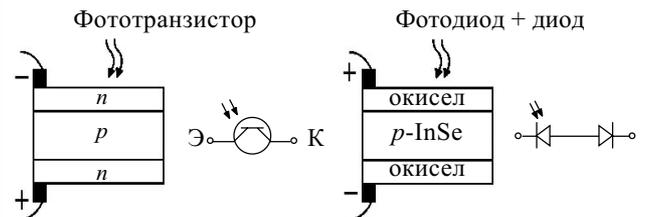


Рис. 1. Схематическое изображение структуры и ее эквивалентная схема (Э — эмиттер, К — коллектор)

На рис. 2 приведены ВАХ, которые отвечают рассмотренным двум случаям подключения структуры "окисел—InSe—окисел" при различной освещенности. Хорошо видно, что в режиме фототранзистора семейство ВАХ расположено от начала координат, а при изменении полярности приложенного напряжения, т. е. в режиме фотодиода, — сдвинуто по оси ординат на величину токов короткого замыкания  $J_{кз}$ .

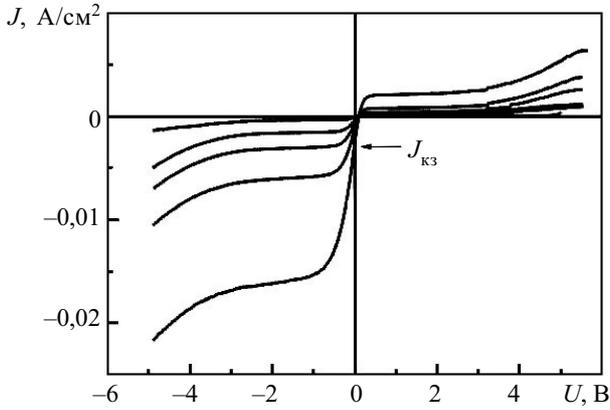


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики двойной гетероструктуры "окисел—InSe—окисел" для толщины образца 60 мкм и разных уровней освещения

Как видно из рис. 2, фототоки насыщения превышают коллекторный ток фототранзистора. Слабое усиление фототранзистора обусловлено малой диффузной длиной неосновных носителей  $L_n$  в сравнении с толщиной базы  $d$ , которую практически можно считать толщиной исходных подложек InSe. Вместе с тем ВАХ свидетельствуют, что инжектированные эмиттером неосновные носители тока частично захватываются коллекторным переходом.

Поскольку толщина базы влияет на коэффициент усиления фототранзистора, то исследовались образцы разной исходной толщины. На рис. 3 показаны такие ВАХ для одного и того же уровня освещения и разных направлений приложенного смещения.

Фототок насыщения фотодиодов разной толщины иллюстрирует рис. 3, а. Совпадение кривых 2—4 показывает, что сформированные на разных подложках гетероструктуры "окисел—InSe" обладают близкими характеристиками. Резкий рост фототока для более тонкого образца (кривая 1) связан с частичным освещением тыльной гетероструктуры "окисел—InSe", которая играет в предложенной схеме роль последовательного сопротивления.

В режиме фототранзистора (рис. 3, б) мы также наблюдаем практически совпадение коллекторного тока для разных образцов фототранзистора (кривые 2—4). Это объясняется рекомбинацией инжектированных эмиттером носителей в толстой базе. Значительное усиление фототока наблюдается лишь для образца толщиной 14 мкм. Особенность такого усиления заключается в том, что при определенных напряжениях, которые зависят от уровня освещения, плотность тока резко возрастает и может достигать значительных величин — 60—100 мА/см<sup>2</sup>.

На рис. 4 приведены ВАХ фототранзистора для образца толщиной 14 мкм. Хорошо видно, что при малых уровнях освещения фототранзисторный эффект

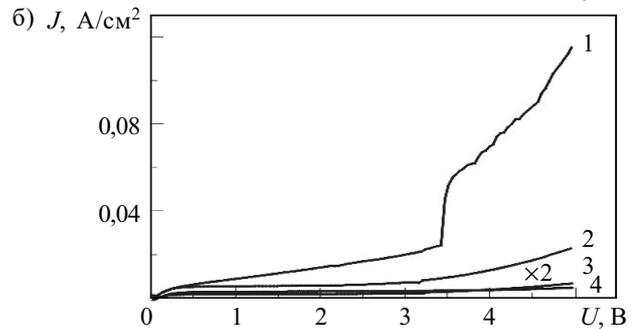
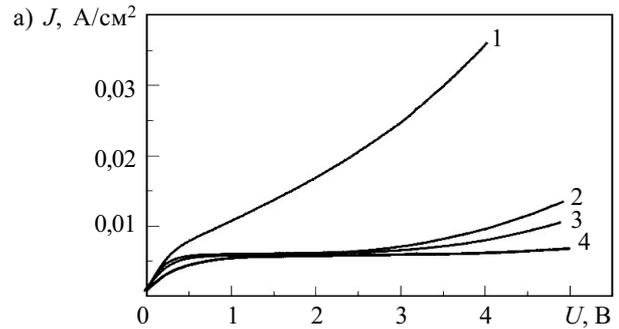


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики двойной гетероструктуры "окисел—InSe—окисел" в режиме фотодиода (а) и фототранзистора (б) при одинаковом уровне освещения для образцов разной исходной толщины: 1 — 14 мкм; 2 — 220; 3 — 60; 4 — 93 мкм. Кривые 2—4 на б изображены в масштабе 2:1

выражен слабо. С увеличением освещения фототранзистор переключается при определенных напряжениях из высокоомного в низкоомное состояние. При напряжениях смещения  $U_1, U_2, U_3$  существенный рост тока коллектора происходит за счет изменения потенциала базы. Оно вызвано освещением эмиттера и, частично, коллектора, которое приводит к дополнительной инжекции неосновных носителей заряда из эмиттера и перехода дырок в базу из коллекторного перехода. Происходит снижение потенциального барьера коллекторного перехода и наступает обратимый пробой фототранзистора.

При напряжениях пробоя статический коэффициент передачи тока эмиттера равен 1. Как видно из рис. 4, с увеличением уровня освещения напряжение пробоя фототранзистора уменьшается ( $U_1 > U_2 > U_3$ ), а ВАХ

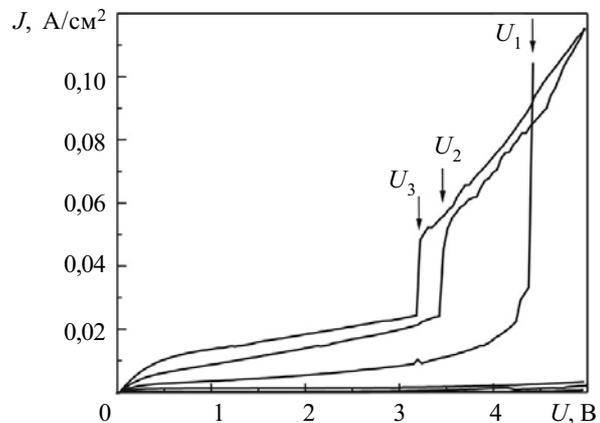


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики двойной гетероструктуры "окисел—InSe—окисел" при исходной толщине образца 14 мкм и разных уровнях освещения

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 усовершенствования 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 озонметр типа М-83 и его модификации [1]. Обладая существенной простотой конструкции и дешевизной, эти озонметры по точности уступают спектрометрам Добсона [2]. Однако потенциальные возможности проведения озонметрических измерений с высокой степенью достоверности с помощью фильтровых озонметров 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

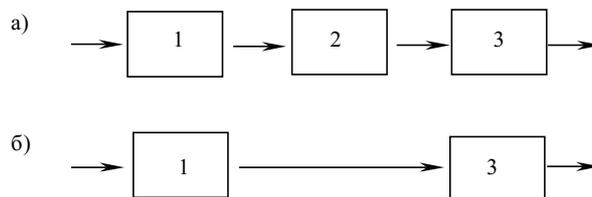


Рис. 1. Варианты модели оптико-электронного тракта фильтрового спектрального прибора:

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 озонметрических приборах.