

## МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Ф.Д. КАСИМОВ, Ф.Г. АГАЕВ

*Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство  
370106, Баку, пр. Азадлыг, 159*

Исследованы фотоэлектрические свойства локально выращенных пленок поликристаллического кремния (ППК) слабого уровня легирования. Выявлена роль глубоких ловушек и потенциальных барьеров на границах зерен ППК в электронных процессах, обуславливающих характер фотопроводимости. Разработаны микроэлектронные фотопреобразователи ближнего ИК - диапазона с ключевым и линейным выходами.

Пленки поликристаллического кремния (ППК) со слабой концентрацией легирующей примеси представляют большой интерес из-за наличия на границах их зерен глубоких ловушек и, обусловленных ими, областей пространственного заряда (ОПЗ). Это позволяет использовать эти пленки в качестве чувствительных элементов в функциональных различных преобразователях незлектрических величин [1].

Технология формирования локальных ППК в процессе эпитаксиального наращивания пленок монокристаллического кремния (МКК) позволяет создавать на единой подложке, как чувствительные элементы, так и интегральные схемы (ИС) усиления и преобразования получаемых с них сигналов [2]. В литературе имеются сведения об исследовании электрофизических свойств ППК [3], использовании их в качестве различных элементов ИС [4,5] в интегральных гальваномагнитных преобразо-

вателях [6] и т.д.

В данной работе приводятся результаты исследований фотоэлектрических свойств планарных ППК n-типа проводимости, легированных фосфором с концентрацией  $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , полученных в эпитаксиальном процессе хлоридного наращивания на предварительно сформированных с помощью силанового процесса затравочных поликремниевых участках, согласно технологии [2]. Исследование фотоэлектрических свойств ППК позволяет уточнить физические механизмы протекающих в них электронных процессов, знание которых необходимо при разработке на их основе функциональных преобразователей.

Геометрические размеры исследованных ППК были  $200 \times 20$ ,  $400 \times 40$ ,  $600 \times 60$ ,  $1200 \times 40$  и  $400 \times 100 \text{ мкм}^2$ , а конструктивно-технологические параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1.

№№ образцов	Температура осаждения затравки, $T, ^\circ\text{C}$	Время осаждения затравки, с	Толщина эпитаксиальной пленки, мкм	Средний размер зерна ППК, мкм
1	800	20	5	0.5
2	860	20	5	5
3	900	120	10	2
4	650	120	20	0.3

Измерения напряжения холостого хода  $U_{xx}$  и тока короткого замыкания  $I_{кз}$  проводились в стационарном режиме при различных освещенностях в диапазоне  $10^3 \div 4 \cdot 10^4 \text{ лк}$ , а также под влиянием солнечного освещения с интенсивностью АМІ ( $925 \text{ Вт/м}^2$ ). Освещенность измерялась с помощью люксметра Ю-116, а для измерения токов и напряжений использовался цифровой универсальный измерительный прибор ЦУИП.

Измерения показали, что в ППК  $U_{xx}$  возрастает как с увеличением длины пленки, так и размера зерна в ней. Причем, при одинаковой ширине пленок  $U_{xx}$  растет пропорционально ее длине, а когда с увеличением длины пленки одновременно увеличивается ее ширина, то наблюдается тенденция к насыщению  $U_{xx}$ .

Поскольку  $U_{xx}$  в поликристаллических пленках возникает благодаря разделению зарядов на потенциальных барьерах границ зерен, обусловленных глубокими ловушками [7], то пропорциональность  $U_{xx}$  длине пленки вполне объяснима. Увеличение же ширины пленки при-

водит к тому, что поперечное сечение в направлении перпендикулярном протеканию тока содержит большее число зерен, между которыми также возникает фотоэдс, шунтирующее действие которой приводит к уменьшению  $U_{xx}$ .

С увеличением освещенности во всех типах образцов,  $U_{xx}$  возрастает в начале по логарифмическому закону, а затем переходит в насыщение (рис. 1), обусловленное достижением величины фотоэдс суммарной высоты потенциальных барьеров на границах зерен.

Измерения  $I_{кз}$  показали, что его значение растет как с увеличением ширины ППК, так и ее длины, т.е. ток, возникающий в ППК под действием света пропорционален площади образца. Люкс-амперная характеристика  $I_{кз}$  аналогична фотовольтаической и также приведена на рис. 1.

Исследование спектрального распределения фоточувствительности при комнатной температуре, проводившееся с помощью монохроматора УМ-2, показало, что

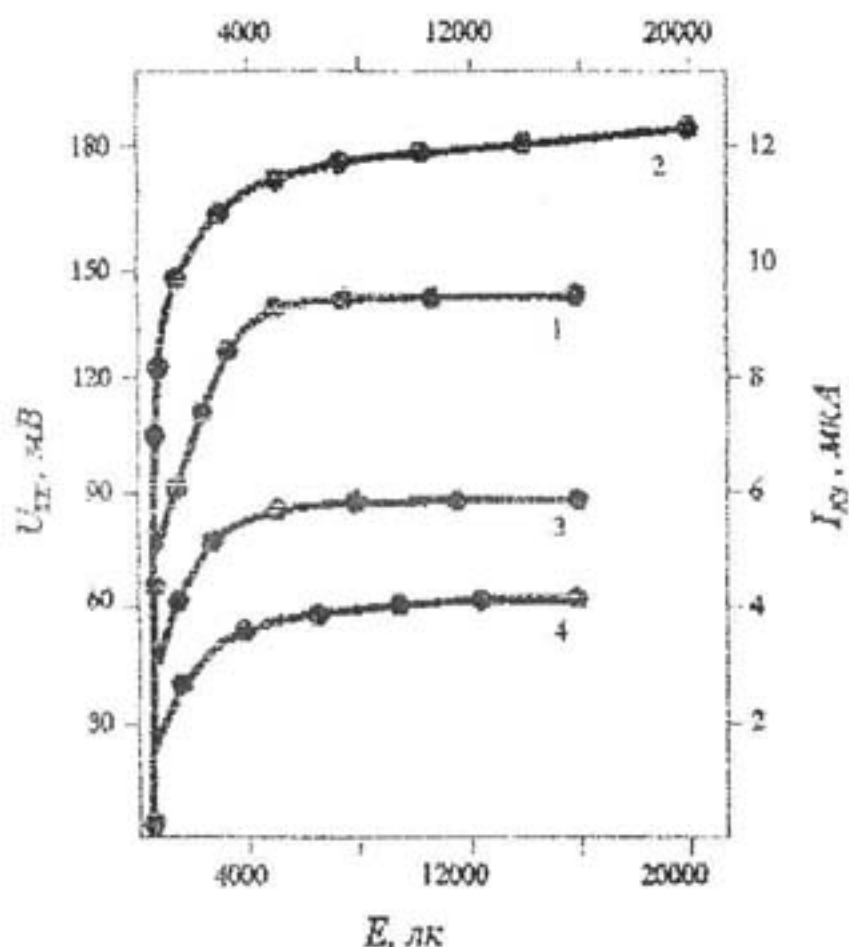


Рис. 1. Фотовольтаические и люкс-амперные зависимости ППК с различными параметрами.

максимальная чувствительность мелкозернистых пленок наблюдается на длине волны 0.75 мкм и составляет 1600 В/Вт (рис.2). С увеличением размера зерна, благодаря большой глубине залегания ОПЗ, максимум фоточувствительности сдвигается в длинноволновую область спектра и растет до значений 200 В/Вт. В коротковолновой области на длине волны 0.5 мкм чувствительность уменьшается до значений ~600 В/Вт.

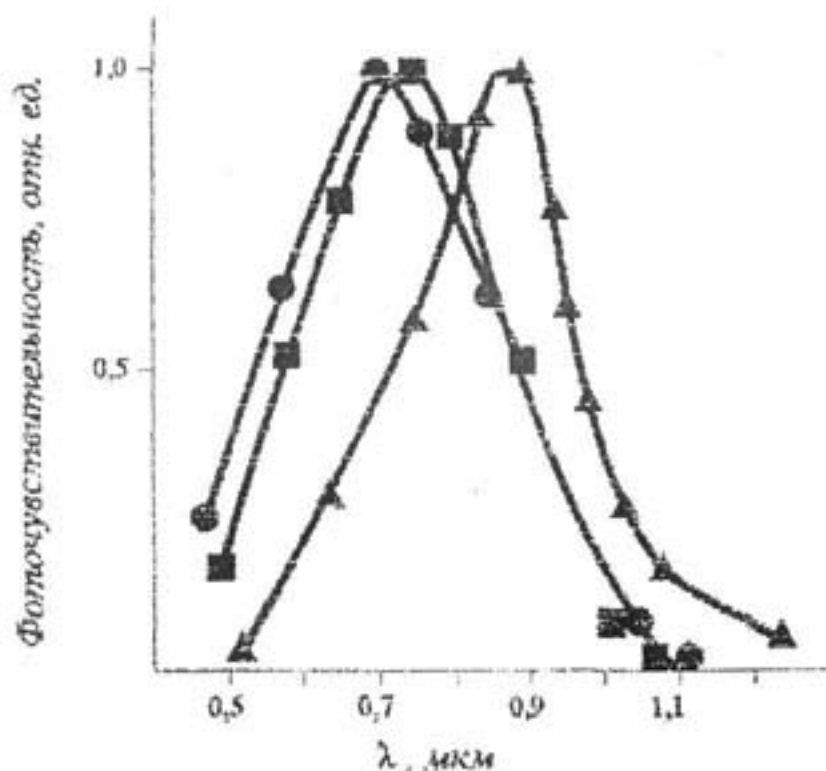


Рис. 2. Спектральные характеристики фоточувствительности мелкозернистых (●), монокристаллических (■) и крупнозернистых (▲) пленок кремния.

Характер кинетики фототока также указывает на роль глубоких ловушек в фотопроводимости ППК (рис.3). При включении освещения идет быстрое возрастание фотото-

ка (1.35 мА за 20 мкс), которое потом замедляется -0.25 мА за следующие 35 мкс. На первом участке устанавливается равновесие между процессами генерации свободных носителей и их рекомбинацией, а второй участок, согласно [8], обусловлен захватом носителей на глубокие ловушки. После выключения освещения ток на начальном участке резко падает примерно на треть своего максимального значения, а затем процесс спада фототока замедляется во времени.

Кинетика спада фототока позволяет определить концентрацию глубоких ловушек [8]:

$$N_{DL} = (\Delta\sigma)_{min} / q\mu_n \quad (1)$$

где  $(\Delta\sigma)_{min}$  - разница между проводимостью пленки в момент начала медленного спада и темновой проводимостью,  $\mu_n$  - подвижность электронов. При длине образца  $4 \cdot 10^{-2}$  см, площади поперечного сечения  $2 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>, напряжении 5В, подвижности электронов, определенной из холловских измерений [9], равной 140 см<sup>2</sup>/В·с и разности значений фототока и темнового тока в точке начала медленного спада 1.07 мА (рис.3), вычисление дает значение концентрации глубоких ловушек порядка  $10^{17}$  см<sup>-3</sup>.

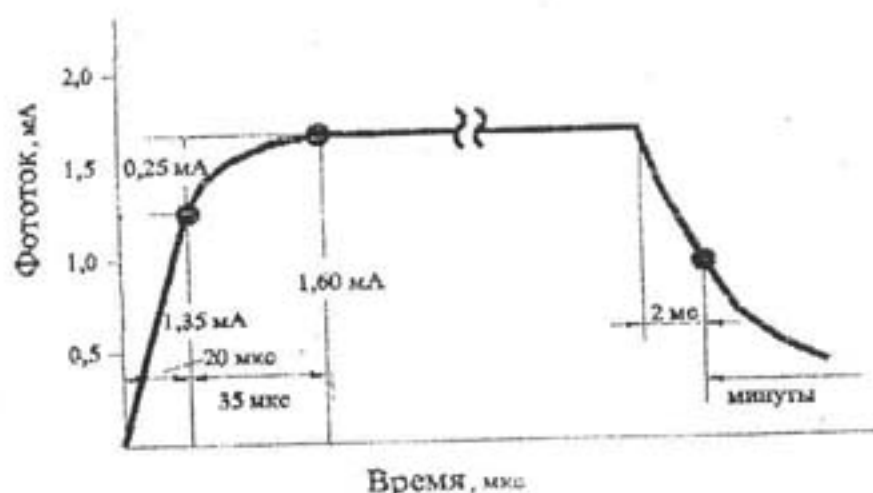


Рис. 3. Кинетика фотопроводимости в ППК.

На основе проведенных исследований были разработаны интегральные фотопреобразователи с ключевым и линейным выходом, чувствительные в ближней ИК-области.

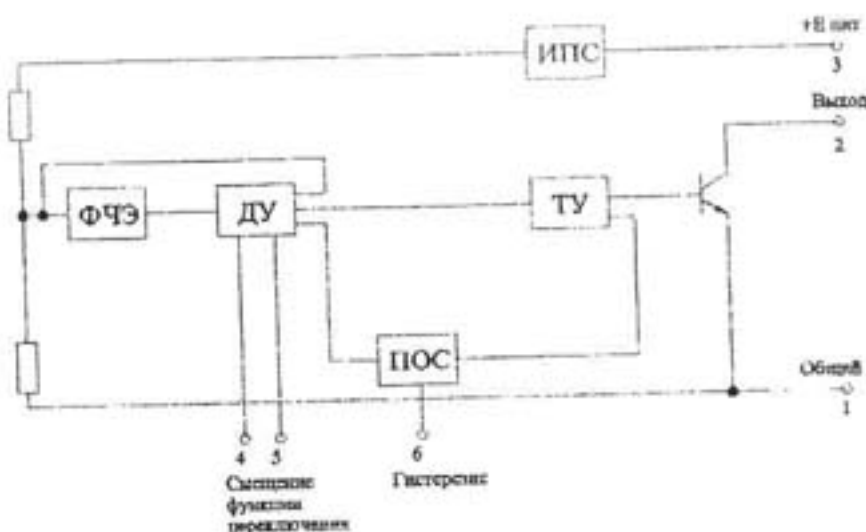


Рис. 4. Функциональная схема ИФП с ключевым выходом: ФЧЭ – фоточувствительный элемент; ИПС – источник питания стабилизированный; ДУ – дифференциальный усилитель; ТУ – токовый усилитель; ПОС – положительная обратная связь.

Интегральный фотопреобразователь (ИФП) с ключевым выходом представляет собой интегральную схему, содержащую фоточувствительную ППК и схему усиления и обработки фотосигнала с логическим выходом (рис.4). Температурный дрейф чувствительности в диапазоне температур от минус 60 до плюс 85°C не превышал 0.5 %/град. При работе в режиме оптронного ключа совместно с фотодиодом АЛ107 с длиной волны излучения 0.92 мкм форма выходного сигнала ИФП сохранялась неизменной до частоты 220 кГц.

ИФП с линейным выходом изготавливался в виде гибридной ИС, содержащей поликремниевый фоточувствительный элемент и бескорпусной операционный усилитель (ОУ) 740УД4. Минимальный уровень мощности излучения, детектируемый ИФП в спектральном диапазоне от 0.5 до 1.1 мкм составлял 10 Вт/см. При коэффициенте усиления ОУ, равном 2000, зависимость выходного напряжения от освещенности оставалась линейной до значения  $6 \cdot 10^3$  лк с чувствительностью не менее 10 Вт/лк.

Создав полностью твердотельную схему и устранив тем самым наводки межсоединений ГИС, можно увеличить коэффициент усиления ОУ, что позволит достичь еще большей чувствительности ИФП.

- [1] Ф.Д. Касимов. Физические свойства и функциональные возможности локально выращенных пленок моно- и поликристаллического кремния. Тезисы докладов 12 Всесоюзной конференции по микроэлектронике, Тбилиси, 1987, ч. 2, с. 175-176.
- [2] A.G. Abdullayev, F.D. Kasimov. Thin Solid Films, 1984, v. 115, № 3, p. 237-243.
- [3] J.Y. Lee, I.C. Cheng. J. Appl. Phys., 1982, v. 53, № 1, p. 490-495.
- [4] H.M. Liaw, J. Rose, P.L. Fejes. Solid State Technology, 1984, №5, p.135-143
- [5] R.D. Davis, J.D. Meind. IEEE J. of Sol. State Circuits, 1977, v. SC-12, № 4, p. 367-375.
- [6] Э.К. Гусейнов, Ф.Ф. Касимова. Повышение чувствительности и температурной стабильности кремниевых гальваноманометрических преобразователей. Тезисы докладов 3-ей Всесоюзной конференции, Таганрог, 1996, с.126.
- [7] C.-Y. Lu, N.C.-C. Lu. Sol. State Electron., 1983, v. 26, № 6, p. 549-557.
- [8] Р. Бьюб. Фотопроводимость твердых тел., М., Иностранная литература, 1962, с. 558.
- [9] Ф.Д. Касимов, Е.В. Кучис, М.А. Пяткунас. Литовский физический сборник, 1990, т. 30, № 1, с.69-71.

F.C. Qasimov, F.Q. Ağayev

## POLİKRIŞTALLİK SİLİSİUM TƏBƏQƏLƏRİN ƏSASINDA MİKROELEKTRON FOTOÇEVİRİCİLƏRİ

Lokal göyərdilmiş zəif aşkarlanmış polikristallik silisium təbəqələrinin fotoelektrik xassələri tədqiq olunmuşdur. Polisilisium dənəciklərin sərhədlərində yerləşən dərin səviyyələrin fotokeçiriciliyə təsiri aydınlaşdırılmışdır. Loqik və analoji çıxışlara malik yaxın infraqırmızı diapazonda işləyən mikroelektron fotoçeviricilər işlənilib hazırlanmışdır.

F.D. Kasimov, F.G. Agajev

## THE MICROELECTRONIC PHOTOTRANSducers ON THE BASE OF THE POLYCRYSTALLINE SILICON FILMS

Photoelectrical properties of the lightly depend level polycrystalline silicon films are investigated. The influence of the deep level traps and potential barriers at the grain boundary on the physical mechanism of polycrystalline silicon photoconductivity is shown. The microelectronic phototransducers with logical and linear output are developed.

Дата поступления: 02.02.98

Редактор: Р.Б. Шафизаде